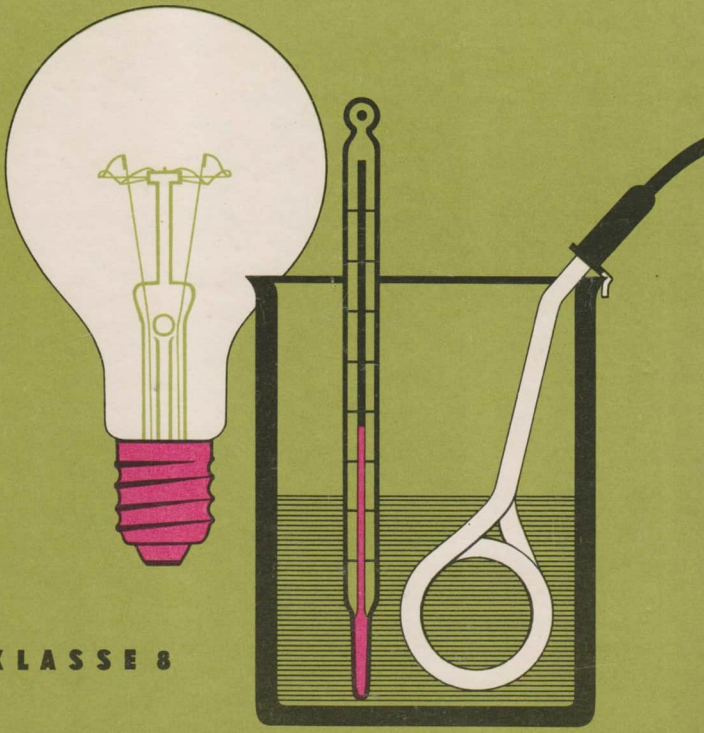
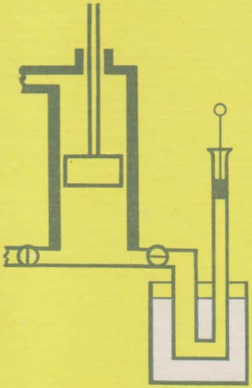
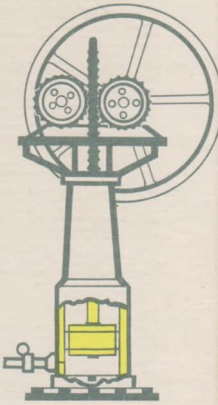
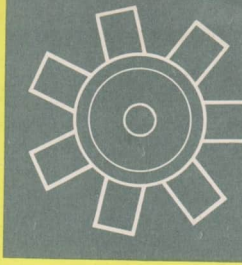
PHYSIK



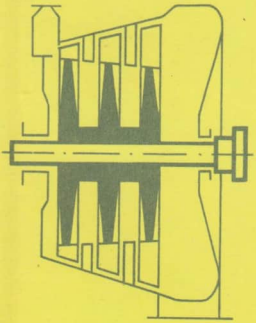
KLASSE 8

1690	1769	1867
Atmosphärische Kolbenmaschine	Dampfmaschine	Gasmotor
		
Denis Papin 1647 bis 1712	James Watt 1736 bis 1819	Nikolaus Otto 1832 bis 1891



1884

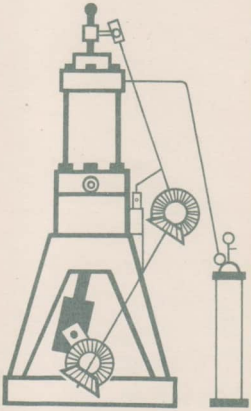
Dampfturbine



Charles Parsons
1854 bis 1931

1893

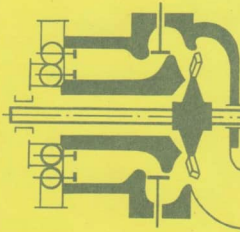
Dieselmotor



Rudolf Diesel
1858 bis 1913

1905

Gasturbine



Hans Holzwarth
1877 bis 1942

Physik

EIN LEHRBUCH FÜR DIE OBERSCHULE

KLASSE 8

Ausgabe 1961

VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

1967

Verfaßt von Horst Schreiter (Wärmelehre und Wärmekraftmaschinen) · Wolfgang Rzymski (Elektrizitätslehre 22 bis 29) · Josef Fischer und Heinrich Paucker (Elektrizitätslehre 30 bis 41)

Bearbeitet von Gerhard Enke · Hans-Dieter Pöltz · Georg Schikora

Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen Republik als Schulbuch bestätigt

Siebente, durchgesehene Auflage

Redaktion: Willi Wörstenfeld
Einband: Günter Klaus
Vorsatz: Edgar Schellenberg nach einem Entwurf von Ing. Günter Meyer
Typografische Gestaltung: Günter Wolff · Günter Runschke

ES 11 H · Bestell-Nr. 02 08 07-7 · Preis: 2,75
Lizenz-Nr. 203 · 1000/66
Vervielfältigungsgenehmigung Nr. 1/50/66
Satz: VEB Druckerei „Thomas Müntzer", Bad Langensalza
Druck: LVZ-Druckerei „Hermann Duncker", Leipzig, III 18 138

INHALTSVERZEICHNIS

WÄRMELEHRE

1. Die Wärme 6
2. Die Temperatur und die Wärmemenge 9
3. Temperaturskalen 11
4. Die Messung der Temperatur 12
5. Die Ausdehnung fester Körper 18
6. Die Ausdehnung flüssiger Körper 27
7. Die Ausdehnung gasförmiger Körper — Das Boylesche Gesetz 30
8. Die Zustandsgleichung der Gase 37
9. Wärmemenge und spezifische Wärme 43
10. Die Aggregatzustände 49
11. Der Übergang zwischen den Aggregatzuständen 52
12. Die Wärme als Energieart 59
13. Das mechanische Wärmeäquivalent 62

WÄRMEKRAFTMASCHINEN

14. Die Dampflokomotive 66
15. Die Brennkraft-Kolbenmaschinen 76
16. Der Viertakt-Ottomotor 77
17. Der Zweitaktmotor 84
18. Der Dieselmotor 88
19. Die Strömungskraftmaschinen — Die Dampfturbine 94
20. Die Gasturbine 99
21. Die Anwendung der Wärmekraftmaschinen in der Luftfahrt 103

ELEKTRIZITÄTSLEHRE

22. Die Elektronen 108
23. Die elektrische Spannung 112
24. Der elektrische Strom 118
25. Das Ohmsche Gesetz 127
26. Der elektrische Widerstand 133
27. Der unverzweigte Stromkreis 143
28. Der verzweigte Stromkreis 149
29. Elektrische Arbeit — Elektrische Leistung 154
30. Wärmewirkungen des elektrischen Stromes 161
31. Das elektrische Licht 170

32. Die Sicherung elektrischer Anlagen 178
33. Magnetische Kraftwirkungen 186
34. Das magnetische Feld — Die Elementarmagnete 189
35. Die Erde als Magnet 193
36. Die Magnetfelder stromdurchflossener Leiter 197
37. Der Elektromagnet 200
38. Der Telegraf 207
39. Die elektrische Klingel 210
40. Das Telefon 212
41. Strommeßgeräte 217

Formelzeichen 220
Schaltzeichen 221
Namen- und Sachverzeichnis 222

WÄRMELEHRE

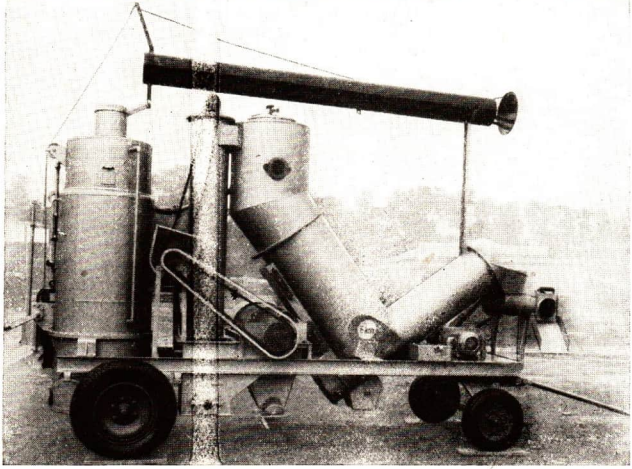


Abb. 5/1. Dämpfanlage

Überall in unseren industriellen und landwirtschaftlichen Betrieben sind die Arbeiter und Bauern bemüht, all die Güter zu erzeugen, die wir zum täglichen Leben brauchen und die mit dazu beitragen, unser Leben schöner werden zu lassen. Sie haben sich dabei als wichtige Helfer Maschinen geschaffen. Diese übernehmen die körperliche Arbeit des Menschen oder erledigen Arbeiten, die Menschen mit ihrer Muskelkraft sonst gar nicht verrichten könnten. Viele dieser Maschinen werden durch den elektrischen Strom angetrieben, der in unseren Kraftwerken erzeugt wird. Um den Dampf zum Antrieb der Turbinen zu gewinnen, müssen täglich große Mengen an Kohle verbrannt werden. Dazu sind große *Dampferzeugungsanlagen* notwendig. Auch zur Gewinnung von Stahl, zur Erzeugung von Düngemitteln, von Dederon usw. sind große *Wärmemengen* erforderlich. Kleinere Dampferzeugungsanlagen stellen die Dämpfanlagen dar (Abb. 5/1).

Bei den genannten Vorgängen spielt die *Wärme* eine große Rolle. Bereits in der Klasse 6 haben wir einige Kenntnisse über die Wärme erworben. In diesem Schuljahr werden wir aus der Fülle der Anwendungen weitere Beispiele kennenlernen und auch einige Tatsachen über das Wesen der Wärme erfahren.

1. Die Wärme

1. Anwendungen der Wärme. Bei der *Verbrennung von Kohle* entsteht *Wärme*, die man bei der Erzeugung des elektrischen Stromes in Kraftwerken nutzt. Man erwärmt das Wasser, wodurch dessen Temperatur steigt. Bei genügend hoher Temperatur erreicht das Wasser den Siedepunkt und geht in Wasserdampf über. Es ändert sich seine Zustandsform. Mit dem Dampf werden Turbinen angetrieben, die mit stromerzeugenden Maschinen, den Generatoren, verbunden sind.
Auch in Kartoffeldämpfern wird Wasser erwärmt. Auf Grund der Kenntnisse aus der Klasse 6 kann man bereits aussagen, daß für die in Abbildung 5/1 dargestellte Dämpfanlage eine größere Wärmemenge nötig ist als für den Kartoffeldämpfer (Abb. 167/1). In der Dämpfanlage müssen nämlich 430 l Wasser bis zum Sieden erwärmt werden, während es im Kartoffeldämpfer nur 5 l bis 6 l sind.

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. Danach müßte ein wärmerer Körper schwerer sein als ein kälterer; denn der warme müßte ja mehr Wärmestoff als der kältere haben. Genaue Wägungen haben aber gezeigt, daß diese Annahme nicht stimmt. Es gab noch viele andere Versuche, die Wärme zu erklären. Aber alle sich daraus ergebenden Anschauungen mußten immer wieder fallengelassen werden, weil sie durch Experimente widerlegt wurden. Wir wissen heute, daß *die Wärme auf der Bewegung der Moleküle beruht.*
Wie bereits aus dem Chemieunterricht bekannt ist, besteht jeder Stoff aus kleinen Teilchen, den *Molekülen.* 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 Eisen $\frac{23}{100\,000\,000}$ mm. Man müßte also etwa 5 500 000 Wasserstoffmoleküle nebeneinanderlegen, um eine Strecke von 1 mm zu erhalten. Wieviel Moleküle sind es bei Eisen? Wegen ihrer Kleinheit sind die Moleküle nicht mit bloßem Auge zu erkennen.

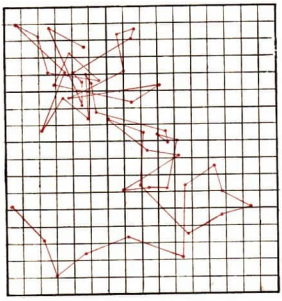


Abb. 6/1. Brownsche Bewegung. Es ist die Lage eines Teilchens nach jeweils 30 s gezeichnet

Die Bewegung der Moleküle konnte erstmalig durch den englischen Biologen Robert Brown nachgewiesen werden. Er beobachtete 1827 in Pflanzensaft die Bewegung kleiner Teilchen. Brown nahm an, daß es sich um winzige Lebewesen handle. Man konnte jedoch diese Bewegung auch an vielen kleinen schwebenden Teilchen in Flüssigkeiten und Gasen beobachten, von denen man wußte, daß sie keine Lebewesen enthalten konnten. Nun vermutete man, daß es sich bei den bewegten Teilchen um die Moleküle handle, jedoch führten Berechnungen zu dem Ergebnis, daß es die Moleküle selbst nicht sein konnten. Man gelangte aber zu der Annahme,

daß sie die Ursache der beobachteten Bewegung bildeten. Diese Vermutung konnte bald bestätigt werden. Man vermag heute auch die von BROWN beobachtete Bewegung zu erklären. Die größeren Teilchen werden nämlich von der Vielzahl der kleineren, sich bewegenden Moleküle hin und her gestoßen. Somit wurde die *Brownsche Bewegung* (Abb. 6/1) zu einem Beweis für die Bewegung der Moleküle.

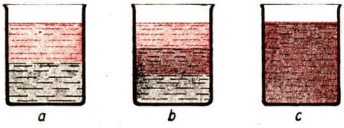


Abb. 7/1. Überschichtete Flüssigkeiten
a) sofort nach Überschichtung
b) nach mehreren Stunden
c) nach einem längeren Zeitraum

Nachdem man nun wußte, daß sich die Moleküle bewegen, war man auch in der Lage, Vorgänge zu deuten, deren Ursache man noch nicht kannte. Wenn man *überschichtete Flüssigkeiten* mehrere Stunden stehenläßt, tritt eine Vermischung ein (Abb. 7/1). Infolge ihrer Bewegung gelangen immer mehr Moleküle der einen Flüssigkeit zwischen die Moleküle der anderen Flüssigkeit, bis sie sich schließlich ganz durchmischt haben.
Gibt man in ein Becherglas Himbeersaft und überschichtet diesen mit Wasser, so vermischen sich langsam beide Flüssigkeiten. Das ist nach einiger Zeit an einem schmalen Streifen an der Grenze zwischen dem Wasser und dem Saft zu erkennen. Die sich bewegenden Moleküle der einen Flüssigkeit gelangen in die andere. Läßt man die beiden Flüssigkeiten lange genug stehen, so mischen sie sich vollständig. Bei flüssigen und bei gasförmigen Stoffen ist die Bewegung der Moleküle mit Hilfe des Brownschen Versuches nachweisbar. Aber auch die Moleküle fester Stoffe bewegen sich, wie man durch Versuche feststellen konnte. Ihre Bewegungen ähneln den Schwingungen, wie wir sie in der Klasse 6 bei der Stimmgabel kennengelernt haben; jedoch erfolgen die Schwingungen der Moleküle bedeutend schneller.
Aus den Gesetzen der Mechanik (vgl. Klasse 7) geht hervor, daß alle Körper, die sich bewegen, *Bewegungsenergie* (kinetische Energie) haben. Da die Moleküle Körper sind, die sich in ständiger Bewegung befinden, haben auch sie kinetische Energie.

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

3. Vom Wesen der Wärme. Nachdem bekannt war, daß sich die Moleküle ständig bewegen, ergab sich die Frage: Was ändert sich, wenn man die Bewegungsenergie der Moleküle vergrößert oder verringert? Die kinetische Energie der Moleküle einer Flüssigkeit kann beispielsweise dadurch vergrößert werden, daß man die Flüssigkeit schüttelt. Dabei werden ihre Moleküle ständig angestoßen und bewegen sich schneller. Infolgedessen nimmt ihre kinetische Energie zu.
Die Zuführung an kinetischer Energie wird noch größer, wenn man ein *Mixgerät* verwendet (Abb. 8/1). Dazu gießt man Milch in einen Becher und läßt die Mixschraube in der Milch rotieren. Schaltet man das Gerät nach einiger Zeit ab, so kommt auch die Milch bald zur Ruhe. Betrachtet man die Milch, so hat sich scheinbar trotz der Vergrößerung der Bewegungsenergie der Moleküle nichts geändert. Die Milch hat ihre Farbe, ihren Geruch und ihren Geschmack beibehalten. Man kann jedoch feststellen, daß die Milch etwas wärmer geworden ist. Zur genaueren Untersuchung

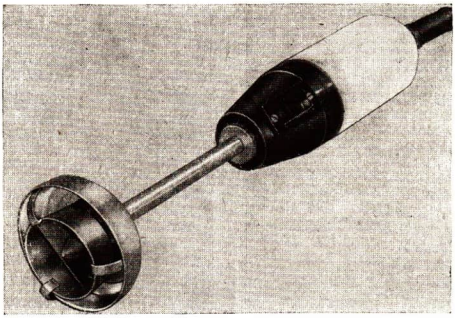


Abb. 8/1. Mixgerät. Es dient zum Durchmischen von Flüssigkeiten

wird der Versuch noch einmal durchgeführt. Man mißt aber nun vor und nach dem Rühren die Temperatur der Milch. Tatsächlich ist eine meßbare Temperaturerhöhung festzustellen. Die zugeführte Bewegungsenergie hat eine Temperaturerhöhung der Milch von etwa 2 grd hervorgerufen.

Dieser Versuch ist ein Beweis dafür, daß *eine Erhöhung der Bewegungsenergie der Moleküle zu einer Erwärmung führt.* Erhöhung der Bewegungsenergie und Erwärmung sind somit untrennbar miteinander verbunden. Auch eine Erwärmung eines Körpers mit Hilfe einer Wärmequelle führt zu einer Vergrößerung der Bewegungsenergie der Moleküle.

Eine Vergrößerung der Bewegungsenergie der Moleküle führt zu einer Erwärmung. Eine Erwärmung führt zur Vergrößerung der Bewegungsenergie der Moleküle.

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Durch welche Beobachtungen kann festgestellt werden, daß die Moleküle in ständiger Bewegung sind?
2. Nenne Beispiele, wie man die Temperatur von festen, flüssigen und gasförmigen Körpern erhöhen kann, ohne eine Wärmequelle zu benutzen!
3. Überschichte in einem Becherglas sorgfältig zwei Flüssigkeiten (z. B. Wasser und Fruchtsirup)! Was stellt man nach einer Stunde, einem Tag, einer Woche fest? Erkläre diese Beobachtungen!

2. Die Temperatur und die Wärmemenge

1. Die Temperatur. Um die Zusammenhänge zwischen der Bewegungsenergie und der **Temperatur** genauer zu untersuchen, führt man den folgenden Versuch durch: Es werden 250 g und 500 g Wasser bis zum Sieden erwärmt. Die Temperatur der beiden Wassermassen beträgt dann 100 °C. Obwohl die Wassermassen unterschiedlich groß sind und somit die Anzahl der Moleküle unterschiedlich ist, sind die Temperaturen beider Wassermassen gleich groß. Für die Höhe der Temperatur kommt es also gar nicht auf die Anzahl der Moleküle an. *Entscheidend für die Temperatur ist, wie schnell sich die Moleküle im Durchschnitt bewegen.* Man muß von der durchschnittlichen Geschwindigkeit, auch mittlere Geschwindigkeit genannt, ausgehen, weil nach genaueren Untersuchungen in einem Körper mit gleichmäßiger Temperatur die Moleküle sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten bewegen. Dadurch haben sie auch verschieden große Bewegungsenergien. Für die Temperatur ist aber, wie man festgestellt hat, der *Mittelwert der Bewegungsenergie aller Moleküle* ausschlaggebend. Die beiden unterschiedlichen Wassermassen haben deshalb die gleiche Temperatur, weil die Mittelwerte der kinetischen Energien ihrer Moleküle gleich groß sind.

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

2. Die Wärmemenge. Bei dem vorhergehenden Versuch mußte man die Wassermasse von 500 g bei der gleichen Wärmequelle länger erwärmen als die Masse von 250 g, um sie zum Sieden zu bringen. Siedet das Wasser in beiden Gläsern, dann besitzen die Moleküle beider Wassermassen die gleiche durchschnittliche Bewegungsenergie; denn sie haben die gleiche Temperatur. Da aber im großen Becherglas mehr Wassermoleküle enthalten sind, ist die *Summe der kinetischen Energien* aller Moleküle, also die *gesamte Bewegungsenergie* größer als im kleinen Becherglas.
Ein Maß für die gesamte kinetische Energie aller Einzelmoleküle eines Körpers ist die **Wärmemenge.** Da diese von der Anzahl der Moleküle abhängt, spielt die Größe des Körpers eine entscheidende Rolle. 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 Wärmemenge ist ein Maß für die gesamte Bewegungsenergie aller Moleküle eines Körpers.

3. Die Einheit der Wärmemenge. Nach internationalen Vereinbarungen wurde gesetzlich in unserer Deutschen Demokratischen Republik als *Maßeinheit der Wärmemenge* die **Kalorie** festgelegt. Eine Vorstellung dieser Maßeinheit gibt folgende Erklärung: Die Wärmemenge, die benötigt wird, um 1 g Wasser um 1 grd zu erwärmen, ist etwa eine Kalorie. Die Kalorie wird mit cal abgekürzt. Das Tausendfache dieser Einheit ist die **Kilokalorie** (kcal).

1 kcal = 1000 cal.

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

Man kann nun angeben, welche Wärmemenge benötigt wurde, um 250 g Wasser von Zimmertemperatur (20 °C) zum Sieden (100 °C) zu bringen.

1 g Wasser um 1 grd zu erwärmen erfordert etwa 1 cal,
250 g Wasser um 1 grd zu erwärmen erfordert etwa 250 cal,
250 g Wasser um 80 grd zu erwärmen erfordert etwa 20000 cal oder 20 kcal.

4. Die Wärmeleitung. Erwärmt man einen kurzen Kupferdraht an einem Ende mit einem Bunsenbrenner, dann wird auch sehr schnell das andere Ende so heiß, daß man es mit der bloßen Hand nicht mehr festhalten kann. Bei der Erwärmung des Kupferdrahtes wird die kinetische Energie der Moleküle vergrößert.
Wird die Bewegung einiger Moleküle nun infolge der Erwärmung heftiger, so stoßen sie gegen die benachbarten, noch nicht so heftig schwingenden und regen diese ebenfalls zu schnellerer Bewegung an. Die Moleküle mit großer Energie geben also einen Teil ihrer Energie an die benachbarten Moleküle mit geringerer kinetischer Energie ab.
Auch hier können die Kenntnisse aus der Lehre vom Schall unsere Vorstellung unterstützen. Hält man eine schwingende Stimmgabel gegen eine Fensterscheibe, so hört man deutlich den Stimmgabelton. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Schwingungen der Stimmgabel auf die Scheibe übertragen werden. Die Energie der angestoßenen Moleküle nimmt zu, während die Energie der stoßenden Moleküle abnimmt. Aus der Wärmequelle wird dauernd neue Energie zugeführt. Dieser Vorgang erstreckt sich über den ganzen Kupferdraht, weshalb nach einer gewissen Zeit auch die Moleküle am anderen Drahtende größere Bewegungsenergie besitzen. Der Kupferdraht hat sich erwärmt. Man nennt diesen Vorgang **Wärmeleitung.**
Dabei hat man bei allen derartigen Vorgängen beobachtet, daß *die Wärmeleitung stets von Gebieten höherer Temperatur zu Gebieten niedrigerer Temperatur erfolgt.* Der umgekehrte Fall ist nicht möglich.

Wärme wird in einem festen Körper durch Wärmeleitung übertragen. Diese erfolgt nur von den wärmeren zu den kälteren Stellen des Körpers.

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Erläutere den Unterschied der Begriffe Temperatur und Wärmemenge!
2. Welche Möglichkeiten der Wärmeübertragung gibt es? Denke an den Physikunterricht der Klasse 6!
3. Nenne Beispiele für Wärmedämmungen!
4. Warum ist die Wärmemenge von 2 l Wasser größer als die von 1 l Wasser, wenn beide Wassermassen die gleiche Temperatur haben?
5. Untersuche, wo in deinem Betrieb gute und schlechte Wärmeleiter benutzt werden, und stelle sie in einer Tabelle zusammen! Begründe ihre Verwendung!
6. Warum empfinden wir im Winter metallene Gegenstände, die im Freien stehen, bei der Berührung kälter als zum Beispiel Holz?

3. Temperaturskalen

1. Die Celsiusskale. Zu Temperaturmessungen wird im allgemeinen die *Celsiusskale* verwendet. Als Nullpunkt, 0 °C, ist der Gefrierpunkt des Wassers festgelegt. Der Siedepunkt des Wassers wurde mit 100 °C festgesetzt. Den Abstand der beiden Fixpunkte teilte man in 100 gleiche Teile, in 100 *Grade*.
Für die Messung von Temperaturen, die unter dem Gefrierpunkt und über dem Siedepunkt des Wassers liegen, wurde die Celsiusskale mit gleichen Teilabständen unterhalb von 0 °C und oberhalb von 100 °C weitergeführt. Die Skalenteile unterhalb 0 °C werden mit einem Minuszeichen versehen.
Die Abstände von Skalenteil zu Skalenteil sind bei den verschiedenen Thermometern unterschiedlich groß. Dies wird ganz besonders deutlich, wenn man die in Grade geteilte Skale eines Thermometers, beispielsweise des Zimmerthermometers, mit der in $\frac{1}{10}$-Grade geteilten Skale eines Thermometers, z. B. des Fieberthermometers, vergleicht. Die Größe des Abstandes richtet sich nach der *Art der Thermometerflüssigkeit*, nach dem *Durchmesser der Kapillare* und nach der *Größe des Thermometergefäßes*. Je nach der erforderlichen Meßgenauigkeit wählt man Thermometer, deren Skalenteile großen oder kleinen Abstand haben.

2. Die Kelvinskale — Die tiefste Temperatur. Da die Temperatur von der Größe der durchschnittlichen Molekularbewegung abhängt, sinkt die Temperatur bei Verringerung dieser Molekularbewegung. Je mehr somit die Bewegung der Moleküle abnimmt, um so tiefer ist auch die Temperatur. Würde schließlich die Eigenbewegung ganz aufhören, so wäre damit die *tiefstmögliche Temperatur* erreicht. Die Wissenschaftler errechneten für diese tiefste Temperatur einen Wert von −273,15 °C. Dieser Punkt der Temperaturskale wird als **absoluter Nullpunkt** bezeichnet. Eine tiefere Temperatur gibt es nicht. Von den Wissenschaftlern konnte der absolute Nullpunkt bis auf 0,0015 grd erreicht werden. Es ist aber nicht möglich, einem Körper sämtliche Wärmeenergie zu entziehen; denn nur dann wäre es möglich, den absoluten Nullpunkt zu erreichen. Immer wieder wird dem Körper von der wärmeren Umgebung Wärmeenergie zugeführt.

Die tiefste Temperatur beträgt —273,15 °C.

Der absolute Nullpunkt wurde als Ausgangspunkt einer anderen Temperaturskale gewählt, der *Kelvinskale*. Der Name wurde zu Ehren des englischen Naturforschers Kelvin gewählt. Die nach dieser Skale angegebene Temperatur wird als **absolute Temperatur** bezeichnet. Ihre Einheit ist der **Grad Kelvin** (°K). Dabei liegt der Gefrierpunkt des Wassers bei 273,15 °K. Das Schema in Abbildung 11/1 zeigt einen Vergleich dieser Skale mit der Celsiusskale. Temperatur-

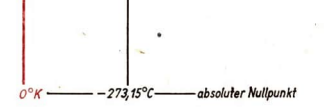


Abb. 11/1. Vergleich der Temperaturskalen nach Kelvin und Celsius

differenzen gibt man auch hier in grd an, da 1 grd der Celsiusskale ebenso groß wie 1 grd der Kelvinskale ist. Für absolute Temperaturen wird als Formelzeichen der Buchstabe T verwendet. Die Kelvinskale wird in der Wissenschaft benutzt.
Beträgt beispielsweise die Temperatur 80 °C, so muß man zu der Maßzahl 80 noch 273,15 hinzuzählen und erhält die Temperatur in °K, weil der Nullpunkt der Kelvinskale um 273,15 grd tiefer liegt als der der Celsiusskale:

$$(80 + 273{,}15)\ °\mathrm{K} = 353{,}15\ °\mathrm{K}.$$

Setzt man für die absolute Temperatur das Formelzeichen T und für die Celsiustemperatur t ein, so kommt man zu den Gleichungen

$$\frac{T}{°\mathrm{K}} = \frac{t}{°\mathrm{C}} + 273{,}15$$

und

$$\frac{t}{°\mathrm{C}} = \frac{T}{°\mathrm{K}} - 273{,}15.$$

Bei einem Versuch wurde eine Temperatur von 525,7 °K gemessen. Welchen Wert hat diese Temperatur in Grad Celsius ausgedrückt?
Im allgemeinen Sprachgebrauch wird neben dem Begriff Wärme auch der Begriff Kälte verwendet. Mit Kälte werden meistens Temperaturen unter 0 °C bezeichnet. Es wird damit jedoch nur ein geringerer Wärmezustand gekennzeichnet. Deshalb spricht man in der Physik nicht von Kälte. Man verwendet diesen Begriff häufig in der Technik, besonders bei Anlagen, die Temperaturen erzeugen, die weit unter dem Gefrierpunkt des Wassers liegen.

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Gib den Schmelzpunkt von Eis, Eisen und Quecksilber in °K an! Die Schmelzpunkte dieser Stoffe sind in der Tabelle auf Seite 54 in °C angegeben.
2. Gib die Siedepunkte von Sauerstoff, Wasserstoff und Wasser in °K an! Benutze hierzu die Tabelle auf Seite 58!
3. Wie entsteht eine Celsiusskale? Wovon hängt die Größe des Abstandes zwischen den Skalenteilen ab?

4. Die Messung der Temperatur

1. Grundbedingungen für Temperaturmessungen. Bereits im Physikunterricht der Klasse 6 wurde eines der wichtigsten Geräte zur Messung von Temperaturen behandelt, das *Thermometer*. Welche Thermometerarten sind dir bekannt?
Beim Messen einer Temperatur muß das Thermometer eine genügend lange Zeit *in unmittelbare Berührung mit dem Körper* gebracht werden. Die kinetische Energie der Moleküle des Körpers, dessen Temperatur bestimmt werden soll, muß sich 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. Um hier eine innige Berührung zu erreichen, ist der Quecksilberkolben in einen Metallschaft von quadratischem Querschnitt eingebettet. Das Thermometer kann mit Hilfe von Knetmasse an das Werkstück

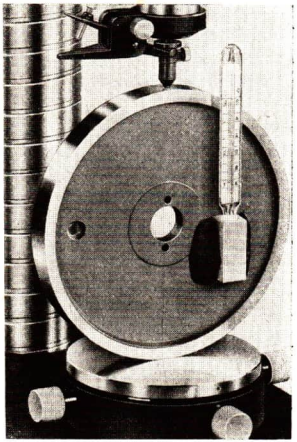
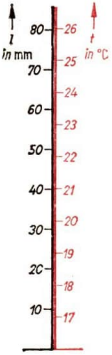


Abb. 13/1. Körperthermometer vom VEB Carl Zeiss Jena

geheftet werden. Von unserem volkseigenen Carl-Zeiss-Werk in Jena wurde das in Abbildung 13/1 wiedergegebene Körperthermometer entwickelt.

2. Verfahren der Temperaturmessung. *a) Temperaturbestimmung mittels Ausdehnung.* Beim Erwärmen 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 gut in einem Röhrchen erkennbar ist. Soll eine Skale hergestellt werden, muß bekannt sein, um wieviel Millimeter die Flüssigkeitssäule bei Erwärmung um 1 grd länger wird. Den Zusammenhang zwischen der Temperatur und der dazugehörigen Länge der Flüssigkeitssäule für ein bestimmtes Thermometer veranschaulicht die Abbildung 13/2.

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



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. Durch Vergleich mit anderen, hier nicht näher zu erläuternden Meßmethoden, hat man festgestellt, daß jede Farbe einem bestimmten Temperaturbereich entspricht (vgl. die Tabelle auf S. 14).

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

Abb. 13/2. Vergleich zwischen Thermometerskale und der Längenänderung der Flüssigkeitssäule

c) Temperaturbestimmung mittels Anlaßfarben. Bei spanabhebenden Werkzeugen müssen die Schneiden die notwendige *Härte* besitzen. Dies gilt zum Beispiel für Metallsägen, Drehmeißel, Bohrer und Fräsköpfe. 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. Würden die Prüfflächen einer Rachenlehre (Abb. 14/1) aus zu weichem Material bestehen, so würden sie sich zu stark abnutzen, so daß die Genauigkeit des Meßgerätes stark herabgesetzt würde.

Aus den angeführten Gründen härtet man Werkzeuge, Meßgeräte und Maschinenteile, indem man sie glüht und in einem Wasser- oder 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 wieder *angelassen*. Das heißt, sie werden nochmals langsam erwärmt und wiederum abgeschreckt. Je höher die Temperatur beim Anlassen steigt, um so geringer werden die Härte und die 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

Übersicht über die Glühfarben

Glühfarbe	Farbbezeichnung	Temperaturbereich in °C
	Weiß	1250 bis 1350
	Hellgelb	1150 bis 1250
	Dunkelgelb	1050 bis 1150
	Gelbrot	850 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

Abb. 14/1. Gebrauch einer Rachenlehre beim Prüfen eines Werkstückes

Glühfarben

Anlaßfarben

Übersicht über die Anlaßfarben

Anlaßfarbe	Farbbezeichnung	Temperatur in °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

Erwärmen überzieht sich der blanke Stahl mit einer hauchdünnen Oxidschicht, deren Farbe sich von Weißgelb bis Graugrün ändert (vgl. hierzu nebenstehende Tabelle). Auf die physikalischen Ursachen der Farbentstehung kann an dieser Stelle noch nicht eingegangen werden. Aus der *Anlaßfarbe* schließt der Facharbeiter auf die erreichte Temperatur.

d) Temperaturbestimmung mittels Pyrometerkegel. Zur Kontrolle der Temperatur in Öfen der keramischen Industrie benutzt man Pyramiden aus einer Tonmischung mit dreieckiger Grundfläche und einer Höhe von 4 bis 6 cm. Sie heißen nach dem Hersteller *Pyrometerkegel*. Bei einer bestimmten Temperatur erweichen sie und sinken um. Durch ihre spezielle Zusammensetzung können Pyrometerkegel mit Erweichungstemperaturen im Bereich von 600 °C bis 2000 °C hergestellt werden.

Bei der Beschickung eines Brennofens, zum Beispiel in einer Porzellanfabrik, werden drei Pyrometerkegel in den Ofen gestellt (Abb. 15/1). Die Erweichungstemperatur des mittleren Pyrometerkegels entspricht der zu erreichenden Brenntemperatur, während der linke eine um 20 grd bis 30 grd höhere und der rechte eine um 20 grd bis 30 grd niedrigere Erweichungstemperatur hat. Diese Abstufung reicht für den vorgesehenen Zweck völlig aus. Die Brenntemperatur ist erreicht, wenn der rechte Pyrometerkegel umsinkt, sich beim mittleren die Spitze neigt und der linke sich noch nicht neigt. Die Pyrometerkegel sind nur einmal verwendbar.

Abb. 15/1. Satz Pyrometerkegel zur Temperaturmessung; links nach dem Brennen, rechts ungebrannter Pyrometerkegel

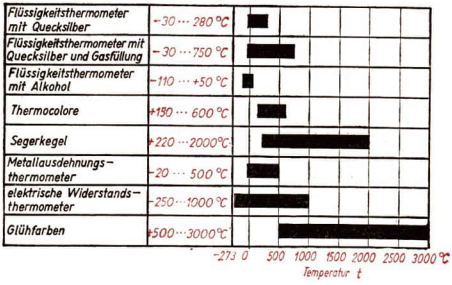
e) Temperaturbestimmung mittels Thermocolore. Manche Stoffe verändern bei Erwärmung bei einer bestimmten Temperatur ihre Farbe. Man nennt solche Stoffe *Thermocolore.* Bei nachfolgender Abkühlung behalten die meisten dieser Thermocolore die geänderte Farbe bei. Sie werden zum Beispiel bei Untersuchungen 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, so daß man eine weitere Möglichkeit hat, die Temperatur zu messen (vgl. S. 139).
g) Die Anwendung der verschiedenen Meßverfahren. Wie die angeführten Beispiele zeigen, werden zur Temperaturmessung *die Eigenschaften der Stoffe ausgenutzt, die durch Temperaturänderung beeinflußt werden können.* In der folgenden Tabelle sind verschiedene Meßverfahren noch einmal zusammengestellt.

Temperaturmeßverfahren

Eigenschaften der Stoffe	Methode der Temperaturbestimmung	Beispiele für die Verwendung
Ausdehnung	Flüssigkeitsthermometer	Zimmerthermometer Badethermometer Körperthermometer
Farbänderung	Glühfarben Anlaßfarben Thermocolore	Bestimmung der Abstichtemperatur des Eisens Härten von Werkzeugen, Meßgeräten und Maschinenteilen Untersuchung von Motorenzylindern
Änderung des elektrischen Widerstandes	Elektrische Widerstandsthermometer	Zur Messung von Temperaturen in der Technik Fernmessung von Temperaturen
Formänderung	Pyrometerkegel	Zur Bestimmung der Ofentemperatur in keramischen Werken

Die Verwendung eines bestimmten Temperaturmeßverfahrens richtet sich unter anderem nach dem Bereich, in dem die zu messenden Temperaturen liegen. So kann man aus der in Abbildung 17/1 wiedergegebenen Übersicht erkennen, daß mit einem Gerät nicht alle Temperaturen gemessen werden können.
Die Skale eines Meßgerätes soll nach Möglichkeit nur den *erforderlichen Meßbereich* umfassen. So sind die Glasröhre und die Füllung eines Fieberthermometers derart

Abb. 17/1. Meßbereiche der verschiedenen Temperaturmeßverfahren



eingerichtet, daß vom möglichen Meßbereich eines Quecksilberthermometers von −30 °C bis 280 °C nur der Bereich von +35 °C bis +42 °C erfaßt wird. Dadurch wird die notwendige Ablesegenauigkeit von $\frac{1}{10}$ grd erreicht, ohne daß das Thermometer zu groß wird.

Ein zweiter Gesichtspunkt bei der Auswahl von Meßgeräten ist die *Meßgenauigkeit*. Nicht bei allen Temperaturmessungen ist die gleiche Meßgenauigkeit erforderlich. Man wählt aus diesem Grunde das Meßgerät aus, mit dem die notwendige Genauigkeit erreicht werden kann. So läßt sich zum Beispiel der Schmelzpunkt von Blei mit Segerkegeln nicht genau genug bestimmen. Hierzu braucht man ein Quecksilberthermometer. Andererseits ist bei Brennprozessen in der keramischen Industrie eine solche Genauigkeit nicht erforderlich. Dort reicht die Angabe der Segerkegel vollständig aus. Auch genügt im allgemeinen beim Anlassen gehärteter Werkzeuge die Temperaturbestimmung mit Hilfe der Anlaßfarben. Dadurch werden Meßgeräte, Arbeitszeit und damit Kosten eingespart.

Härtet man hingegen hochwertige Präzisionswerkzeuge, so erfolgt das Anlassen im Ölbad. Die Temperatur des Anlaßbades muß genau eingehalten werden. Sie wird mit Flüssigkeitsthermometern oder elektrischen Thermometern 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 Brauchbarkeit des Werkzeuges verlängert, so daß insgesamt gesehen die Kosten niedriger liegen als bei der Verwendung von Werkzeugen, die nur in einfacher Weise gehärtet sind.

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.

1. Ermittle die Meßbereiche und 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. Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem Druckmesser der Kapillare und der Meßgenauigkeit?
4. Warum verwendet man beim Körperthermometer einen Metallschaft?
5. Welche Thermometer sind dir aus dem Unterrichtstag in der sozialistischen Produktion bekannt? Welchen Zwecken dienen sie?

5. Die Ausdehnung fester Körper

1. Die Längenausdehnung. Aus der Klasse 6 sind schon zahlreiche Beispiele für die *Längenausdehnung fester Körper* bekannt: So müssen beim Bau von Brücken die Längenänderungen infolge Temperaturschwankungen berücksichtigt werden. Das eine Ende der Brücke ist deshalb auf Rollen gelagert. Die Lager von Wellen müssen genügend geschmiert sein, da sonst infolge der Reibungswärme eine so große Ausdehnung der Welle eintritt, daß sie zunächst klemmt und schließlich bei weiterer Erwärmung festsitzt. Die Freileitungen des elektrischen Versorgungsnetzes und des Telefonnetzes müssen immer etwas durchhängen. In der kalten Luft des Winters ziehen sie sich zusammen und würden reißen, wenn man sie im Sommer zu straff gespannt hätte.
Bei der Planung von Metallkonstruktionen und Leitungen, die Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, müssen daher die Konstrukteure schon die möglichen Ausdehnungen beziehungsweise Verkürzungen infolge Temperaturveränderung berücksichtigen. Dazu muß man die Längenänderungen genau kennen.
Der in Abbildung 18/1 dargestellte Versuch zeigt, wie man von einem bestimmten Stoff die Längenänderung bei einer Temperaturerhöhung bestimmen kann. Der Feinmeßzeiger zeigt unmittelbar die Zunahme der Länge an. Um die Längenänderung eines Stoffes mit der anderer vergleichen zu können, berechnet man die Verlängerung eines Stabes von 1 m Länge bei Erwärmung um 1 grd.
Hat das Eisenrohr bei 20 °C eine Länge von 1 m und beträgt bei 100 °C die Längenänderung 0,96 mm, so hat eine Temperaturerhöhung um 80 grd eine Längenänderung

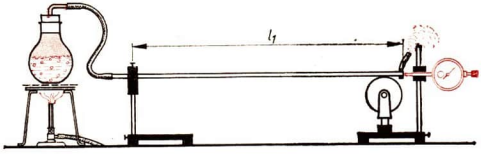


Abb. 18/1. Versuchsanordnung zum Messen der Ausdehnung eines Eisenrohres

um 0,96 mm verursacht. Man hat festgestellt, daß in diesem Temperaturbereich die Längenänderung der Temperaturerhöhung annähernd proportional ist. Eine Erwärmung um 1 grd hat dann eine Längenänderung von 0,012 mm = 0,000012 m bewirkt. Das sind zwölf Millionstel der ursprünglichen Länge von 1 m. Den Wert $\frac{12}{1000000}$ je grd bezeichnet man als Längsausdehnungs-Koeffizienten, als Formelzeichen benutzt man den griechischen Buchstaben α. *Die Maßeinheit des Längsausdehnungs-Koeffizienten* ist $\frac{1}{\text{grd}}$.

Der Längsausdehnungs-Koeffizient gibt zahlenmäßig an, um das Wievielfache der ursprünglichen Länge sich ein Körper bei der Erwärmung um 1 grd ausdehnt. Seine Maßeinheit ist $\frac{1}{\text{grd}}$.

Die folgende Tabelle gibt einige wichtige Längsausdehnungs-Koeffizienten wieder:

Längsausdehnungs-Koeffizient einiger Stoffe

Material	Chemisches Kurzzeichen bzw. Zusammensetzung	Längsausdehnungs-Koeffizient α in $\frac{1}{\text{grd}}$
Aluminium	Al	0,000023
Eisen	Fe	0,000012
Kupfer	Cu	0,000017
Platin	Pt	0,000009
Zink	Zn	0,000036
Zinn	Sn	0,000027
Invar	35% Ni, 65% Fe	0,000001
Konstantan	40% Ni, 60% Cu	0,000015
Messing	55 bis 90% Cu, 10 bis 45% Zn	0,000019
Beton		0,000012
Polyvinylchlorid (PVC)		0,000080
Handelsglas		0,000011
Jenaer Normalglas		0,000008
Jenaer Thermometerglas		0,000006

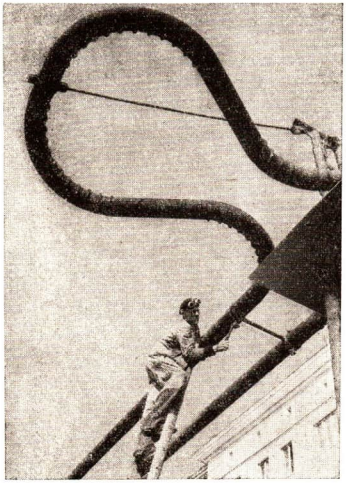


Abb. 20/1. Dehnungsausgleicher in einer Dampfleitung

Man erkennt aus der Tabelle, daß die Größe der Ausdehnungs-Koeffizienten von der Art des Materials abhängt. Eine solche Größe bezeichnet man als *Materialkonstante*.

Die im Versuch erzielte Längenänderung ist zahlenmäßig sehr gering, da die Länge des Versuchsstabes, verglichen mit der Länge von Freileitungen, Brücken usw. nur klein ist. Da aber die bei der Längenänderung auftretende Kraftwirkung, wie bereits in der Klasse 6 festgestellt wurde, sehr groß ist, kommt *auch der geringsten Längenänderung eine große Bedeutung zu*. Kennt man den Längsausdehnungs-Koeffizienten α, so kann man, wie das folgende Beispiel zeigt, für jeden Fall die zu erwartende Längenänderung berechnen.

Die Längenänderung einer 400 m langen Dampfleitung aus Eisen ist zu berechnen. Diese soll bei 0 °C verlegt werden und im Betrieb Dampf von 200 °C weiterleiten. Der Längsausdehnungs-Koeffizient α gibt an, daß ein Eisenrohr von 1 m Länge eine Längenänderung von 0,000012 m erfährt, wenn man es um 1 grd erwärmt. Bei Erwärmung um 200 grd beträgt die Längenänderung dann

$$200 \cdot 0{,}000012 \text{ m} = 0{,}0024 \text{ m}.$$

Bei der Gesamtlänge von $400 \cdot 1$ m ist die Längenänderung 400mal so groß, also

$$400 \cdot 0{,}0024 \text{ m} = 0{,}96 \text{ m}.$$

Somit ergibt sich:

$$0{,}96 \text{ m} = 400 \text{ m} \cdot \frac{12}{1\,000\,000} \frac{1}{\text{grd}} \cdot 200 \text{ grd},$$

$$\textbf{Längenänderung} = \frac{\textbf{ursprüngliche}}{\textbf{Länge}} \cdot \frac{\textbf{Längsausdehnungs-}}{\textbf{Koeffizient}} \cdot \textbf{Temperaturdifferenz.}$$

Man bezeichnet die Längenänderung mit Δl, wobei der griechische Buchstabe Δ (delta) vor dem Formelzeichen für die Länge angibt, daß es sich hierbei um eine *Längendifferenz* handelt. In unserem Falle ist es die Differenz zwischen der ursprünglichen Länge bei 0 °C und der Länge bei 200 °C. Die Länge bei 0 °C bezeichnet man mit l_0, die Temperaturdifferenz mit Δt. Man erhält

$$\boldsymbol{\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t}\,.$$

Will man die Gesamtlänge l_1 des Rohres nach der Erwärmung berechnen, so muß man zu der ursprünglichen Länge l_0 die Längenänderung Δl addieren. Bei dem Beispiel

$$400{,}96\ \text{m} = 400\ \text{m} + 0{,}96\ \text{m}.$$

Gesamtlänge = ursprüngliche Länge + Längenänderung.

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

Setzt man für Δl den oben erhaltenen Wert $l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$ ein, erhält die Gleichung die Form

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

und nach dem Ausklammern von l_0

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

Setzt man in diese Gleichung die Werte des Beispiels ein, so ergibt sich

$$l_1 = 400\ \text{m}\ (1 + 0{,}000012\ \frac{1}{\text{grd}} \cdot 200\ \text{grd}),$$

$$l_1 = 400\ \text{m}\ (1 + 0{,}0024),$$

$$l_1 = 400\ \text{m} \cdot 1{,}0024,$$

$$\underline{\underline{l_1 = 400{,}96\ \text{m}.}}$$

Man erhält also den gleichen Wert wie vorher. Die Verlängerung um 0,96 m wird dadurch ausgeglichen, daß man *Dehnungsausgleicher* einbaut (Abb. 20/1).

2. Die Ursachen der Längenänderung. Es ist bereits bekannt, daß die Bewegungsenergie der Moleküle zunimmt, wenn ein fester Körper erwärmt wird. Die Schwingungen der Moleküle erfolgen schneller, und die Weiten der Schwingungen werden größer. Dazu ist mehr Raum erforderlich. Der Körper dehnt sich infolgedessen 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. Die Größe der Moleküle ist bei allen Stoffen unterschiedlich. Außerdem sind die Stoffe verschieden aufgebaut. Näheres darüber wird im Chemieunterricht mitgeteilt. Auf Grund der genannten Unterschiede sind auch die Änderungen der Schwingungsweiten bei gleicher Temperaturänderung verschieden. Daraus folgt, *daß bei sonst gleichen Bedingungen die Längenausdehnungen unterschiedlich sind.*

3. Kraftwirkung bei der Wärmeausdehnung fester Körper. Durch den folgenden Versuch kann die bei einer Längenänderung auftretende *Kraftwirkung* deutlich erkannt werden. Zwischen zwei Stativstäben, die fest am Tisch angebracht sind, ist ein Draht gespannt (Abb. 21/1). Dieser Draht wird elektrisch geheizt. Infolgedessen dehnt er sich aus. Nun spannt man ihn im warmen Zustand neu. Beim Abkühlen zerreißt er.

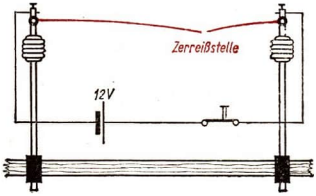


Abb. 21/1. Zerreißen eines sich abkühlenden Drahtes

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. 22/1). 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 aber an Stelle von Holzschwellen Betonschwellen verwendet. Mit diesen Betonschwellen werden die Schienen starr verschraubt (Abb. 22/2). Infolge der besseren Wärmeableitung durch die Betonschwellen, der höheren Füllung mit Schotter und der festen Einbettung der Schienen tritt ein Ausbiegen bei Erwärmung nicht mehr

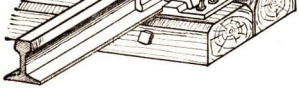


Abb. 22/1. Schienenstoß

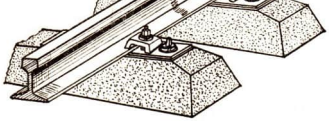


Abb. 22/2. Gleiskörper mit Betonschwelle

in Erscheinung. 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. 22/3). Besteht beispielsweise der Bimetallstreifen aus einem Zink- und einem Eisenstreifen, so dehnt sich der Zinkstreifen bei Erwärmung stärker aus als der Eisenstreifen. Infolge des entstehenden Längenunterschiedes krümmt sich der Bimetallstreifen nach der Seite des Metalls mit dem kleineren Längsausdehnungs-Koeffizienten, bei dem Eisen-Zink-Streifen nach der Eisenseite zu. Bei gleicher Erwärmung ist die Krümmung um so größer, je stärker sich die Längsausdehnungs-Koeffizienten 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 an dem einen Ende des Bimetallstreifens ein Hebelwerk mit einem Zeiger an, der sich vor einer Skale 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 Diagramm, das den Temperaturverlauf für einen längeren Zeit-

Abb. 22/3. Bimetallstreifen

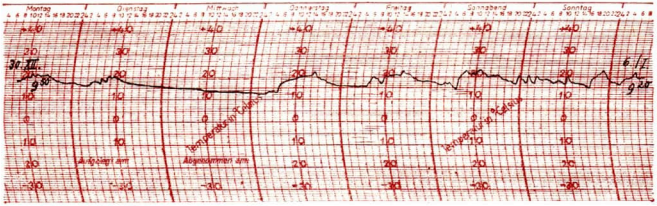


Abb. 23/1. Temperaturdiagramm

raum angibt (Abb.23/1). Das Gerät, mit dem solche Diagramme aufgezeichnet werden, wird als *Thermograph* bezeichnet (Abb. 23/2). Thermographen werden in den Wetterdienststellen benutzt, um den Temperaturverlauf über einen längeren Zeitraum festhalten und auswerten zu können. Die Ergebnisse dienen der Wetterforschung.
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. 24/1 a). So werden in Getreidespeichern Kapseln mit Bimetallstreifen in das aufgeschüttete Getreide gesteckt. Jede Kapsel ist mit der Alarmanlage verbunden. Schwitzt das Getreide, so steigt die Temperatur stark an. Starke Temperaturerhöhungen sind für das Getreide schädlich, weil sie die Vermehrung von Fäulniserregern fördern. Außerdem besteht Brandgefahr. Bei Über-

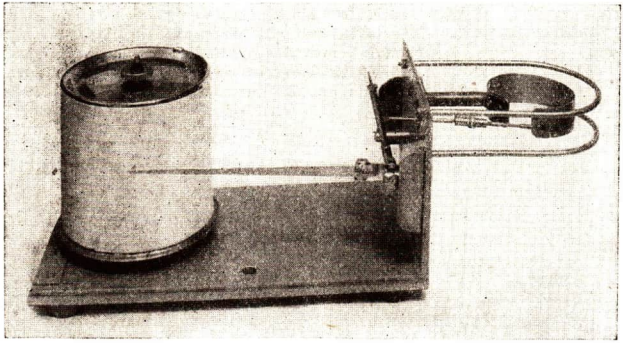


Abb. 23/2. Thermograph

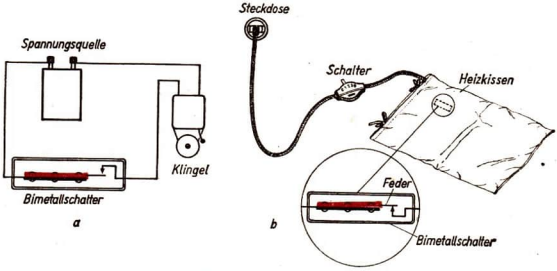


Abb. 24/1. Verwendung eines Bimetallschalters zum Ein- (a) bzw. Ausschalten (b)

schreitung der zulässigen Temperatur wird durch den Bimetallschalter ein Stromkreis geschlossen und die Alarmanlage ausgelöst. Ähnliche Bimetallschalter sind auch im Heizkissen eingebaut. Bei ihnen wird jedoch beim Überschreiten einer bestimmten Temperatur der Stromkreis unterbrochen (Abb. 24/1 b). Außer den Bimetallschaltern verwendet man zum Regeln der Temperatur auch *Kontaktthermometer*. In diese Thermometer sind zwei Drähte eingeschmolzen, durch die ein oder mehrere Stromkreise geschaltet werden. Der eine Draht ist im Thermometergefäß eingeschmolzen, der andere befindet sich in der Kapillare (Abb. 24/2). Wird die eingestellte Temperatur erreicht, so berührt der Quecksilberfaden den oberen Draht, und der Stromkreis wird geschlossen. Dadurch kann beispielsweise eine Alarmanlage eingeschaltet werden (Abb. 24/3). Kontaktthermometer werden aber auch dazu verwendet, um die Temperatur konstant zu halten. Diese Aufgabe erfüllen sie beispielsweise bei der Aquariumheizung. Überschreitet die Temperatur des Wassers einen be-

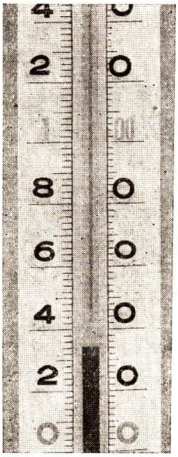


Abb. 24/2. Kontaktthermometer

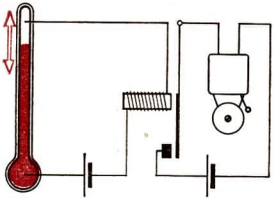


Abb. 24/3. Kontaktthermometer zum Schalten eines Alarmstromkreises

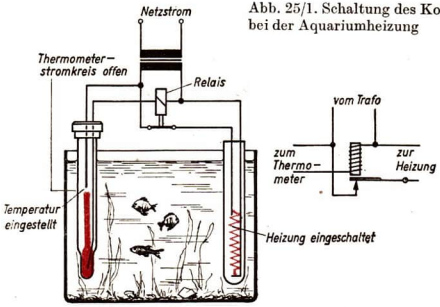


Abb. 25/1. Schaltung des Kontaktthermometers bei der Aquariumheizung

stimmten Wert, so wird die Heizung ausgeschaltet. Die Wassertemperatur sinkt wieder. Unterschreitet sie nun den eingestellten Wert, so wird die Heizung wieder eingeschaltet (Abb. 25/1). Auf diese Weise bleibt die Temperatur des Wassers annähernd gleich.

Die Ausdehnung der Körper bei Erwärmung muß vor allem auch dann berücksichtigt werden, wenn verschiedene Stoffe fest miteinander verbunden werden. Bei jeder Glühlampe und bei jeder Radioröhre werden Drähte für die Stromzuführung in die Glaskolben eingeschmolzen (Abb. 25/2). Glas und Metall müssen annähernd die gleichen Ausdehnungs-Koeffizienten haben, sonst würde bereits beim Abkühlen des Glases dieses an der Einschmelzstelle springen. Da Platin etwa den gleichen Ausdehnungs-Koeffizienten wie Jenaer Glas besitzt, wurden früher für Glühlampen und Radioröhren Platindrähte verwendet. Platin ist jedoch ein wertvoller und teurer Rohstoff. Aus diesem Grunde wurden Metallegierungen und Spezialgläser entwickelt, die etwa die gleichen Ausdehnungs-Koeffizienten haben und auch sonst den Anforderungen für die Herstellung von Glühlampen und Radioröhren genügen. Erst durch die Entwicklung dieser Metallegierungen und entsprechender Glassorten wurde die Serienproduktion von Röhren möglich.

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

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

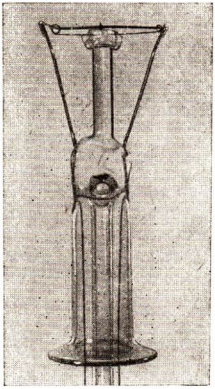


Abb. 25/2. Eingeschmolzene Stromzuführung in einer Glühlampe

Abb. 26/1.
Gefäße aus Jenaer Glas

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 Grunde darf man in dickwandige kalte Gläser, zum Beispiel Einweckgläser, kein siedendes 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 stark zusammen, wodurch der Boden des Einweckglases abspringt. Das Glas muß langsam erwärmt und langsam abgekühlt werden.

In dem VEB Jenaer Glaswerk Schott & Gen. wurden Gläser entwickelt, die nur einen sehr kleinen Ausdehnungs-Koeffizienten haben (s. Tabelle S. 19). In Gefäßen aus Jenaer Glas können Speisen gekocht werden (Abb. 26/1). Aber auch bei diesen Gefäßen muß man sehr starke plötzliche Temperaturschwankungen vermeiden, da die Gefäße dickwandig sind. Laborgefäße, die sehr starken Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, werden meist sehr dünnwandig hergestellt, so daß sie auch bei starker Erwärmung oder Abkühlung nicht zerspringen.

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Ein Stahlmeßband von 20 m Länge ist für 20 °C geeicht. Wie groß ist der Fehler, wenn bei −10 °C eine Strecke von 20 m gemessen wird?
2. Löst sich der Stopfen einer Glasflasche nicht, so erwärmt man die Hülse durch Reiben mit einem umgelegten Band. Erkläre die Wirkung!
3. Auf welche Weise wird beim Bau von Brücken die Wärmeausdehnung berücksichtigt?
4. Die Länge einer eisernen Brücke wird bei 0 °C mit 120 m gemessen. Welche Längenänderung erfährt sie zwischen der höchsten erreichten Sommertemperatur $t_1 = 37$ °C und der tiefsten gemessenen Wintertemperatur $t_2 = -26$ °C?
5. Ein Zinkstreifen und ein Eisenstreifen haben bei 0 °C die gleiche Länge von $l = 50$ mm. Um wieviel unterscheidet sich ihre Länge bei 80 °C?
6. Warum darf man leere Emailletöpfe nie auf die Gasflamme oder das Herdfeuer setzen?
7. An den Brutmaschinen einer Geflügelfarm befinden sich Kontaktthermometer. Begründe ihre Verwendung!
8. In verschiedenen Betrieben muß die durch Temperaturerhöhung eintretende Längen- oder Volumenvergrößerung berücksichtigt werden. Welche Erfahrungen hast du darüber am Unterrichtstag in der sozialistischen Produktion gesammelt?

6. Die Ausdehnung flüssiger Körper

1. Die Volumenausdehnung bei Flüssigkeiten. Füllt man eine Flasche voll mit Wasser und setzt lose einen Stopfen ein, so wird bei einer Erwärmung der Stopfen hochgedrückt. Ein festes Verschließen hätte ein Zerplatzen der Flasche zur Folge. Dieser Versuch zeigt, daß *sich auch die Flüssigkeiten ausdehnen* und daß diese Ausdehnung mit einer *Kraftwirkung* verbunden ist. Wie bei 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, so vergrößert sich bei Erwärmung das Volumen der Flüssigkeiten viel stärker als das fester Körper.

Flüssige Stoffe dehnen sich beim Erwärmen stärker aus als feste. Diese Ausdehnung ist mit großer Kraftwirkung verbunden.

Während bei den festen Körpern meist nur die Änderung der Länge von Bedeutung ist, muß bei Flüssigkeiten im allgemeinen die *Volumänderung* berücksichtigt werden. Aus der Größe des Volumens vor dem Erwärmen, aus der Temperaturerhöhung und aus der Volumänderung kann der *Raumausdehnungs-Koeffizient* berechnet werden. Man bezeichnet ihn mit dem griechischen Buchstaben γ.

Der Raumausdehnungs-Koeffizient γ gibt zahlenmäßig an, um das Wievielfache seines Volumens bei θ °C sich ein Körper bei Erwärmung um 1 grd ausdehnt. Seine Maßeinheit ist $\frac{1}{\text{grd}}$.

In der untenstehenden Tabelle sind die Raumausdehnungs-Koeffizienten einiger Flüssigkeiten zusammengestellt.

Entsprechend der Berechnung der Längenänderung fester Körper wird auch die Volumzunahme ΔV flüssiger Körper berechnet, indem man das ursprüngliche Volumen V_0 bei 0 °C mit dem entsprechenden Ausdehnungs-Koeffizienten γ und der Temperaturerhöhung Δt multipliziert (vgl. S. 20):

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

Das Volumen V_1 nach der Erwärmung ergibt sich aus dem ursprünglichen Volumen V_0 und der Volumvergrößerung ΔV, indem man diese beiden Werte addiert.

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

Setzt man in diese Gleichung den Wert für ΔV ein, so erhält man

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

Durch Ausklammern von V_0 ergibt sich

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

Raumausdehnungs-Koeffizienten einiger Flüssigkeiten

Flüssigkeiten	γ in $\frac{1}{\text{grd}}$
Äthanol	0,00110
Äther	0,00162
Benzol	0,00123
Petroleum	0,00096
Quecksilber	0,00018
Wasser	0,00018

Beispiel:
Ein Flüssigkeitsthermometer enthält 100 mm³ Quecksilber bei einer Temperatur von 0 °C. Wie groß ist das Volumen bei einer Temperatur von 80 °C, wenn der Raumausdehnungs-Koeffizient γ von Quecksilber $0{,}00018 \frac{1}{\text{grd}}$ beträgt?

$$V_1 = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta t),$$
$$V_1 = 100\ \text{mm}^3 \cdot (1 + 0{,}00018 \frac{1}{\text{grd}}\ 80\ \text{grd}),$$
$$V_1 = 100\ \text{mm}^3 \cdot (1 + 0{,}0144),$$
$$V_1 = 100\ \text{mm}^3 \cdot 1{,}0144,$$
$$\underline{V_1 = 101{,}44\ \text{mm}^3.}$$

Das Volumen des Quecksilbers nach dem Erwärmen beträgt 101,44 mm³.

2. Die technische Bedeutung der Ausdehnung von Flüssigkeiten. Eine wichtige Anwendung der Ausdehnung von Flüssigkeiten sind die mit Quecksilber, Alkohol oder Toluol gefüllten *Flüssigkeitsthermometer.*
Auch bei der Konstruktion technischer Anlagen muß die Änderung des Volumens von Flüssigkeiten infolge von Temperaturänderungen berücksichtigt werden. So wird das *Kühlöl von Transformatoren* nicht in kaltem Zustand, sondern mit einer Temperatur von 80 °C eingefüllt. Es zieht sich bei der 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.

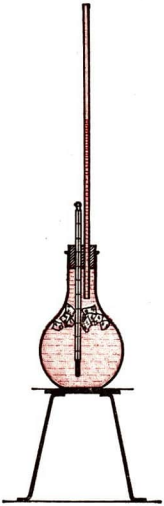
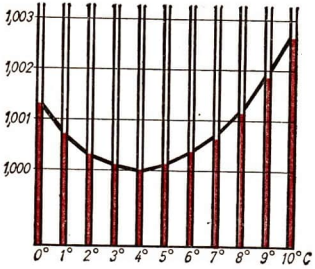


Abb. 28/1. Versuchsanordnung zum Nachweis der Anomalie des Wassers

3. Die Anomalie des Wassers. Das Wasser verhält sich im Temperaturbereich von 0 °C bis 4 °C bei Temperaturänderungen anders als die übrigen Flüssigkeiten. Diese *Anomalie des Wassers* kann man mit dem in Abbildung 28/1 dargestellten Versuch nachweisen. In einer mit Wasser gefüllten Kochflasche schwimmen Eisstückchen. Das Wasser wird langsam erwärmt und bei der jeweiligen Temperatur die Höhe der Wassersäule gemessen. In der Abbildung 29/1 sind die zusammengehörigen Werte von Wasserhöhe und Temperatur eingetragen. Aus den Versuchsergebnissen folgt, daß sich das Volumen des Wassers beim Erwärmen von 0 °C an zunächst verkleinert und daß es bei einer weiteren Erwärmung wieder größer wird. Während sich andere Flüssigkeiten (geschmolzenes Eisen, Alkohol) bei Erwärmung ausdehnen, ist das bei Wasser erst ab 4 °C der Fall. Bei Erwärmung von 0 °C auf 4 °C zieht sich das Wasser zusammen, bei weiterer Erwärmung dehnt es sich wie alle anderen Flüssigkeiten aus. Während des Versuches ändert sich zwar das Volumen des Wassers, nicht aber seine Masse. Infolgedessen ändert sich ständig seine Dichte. Da

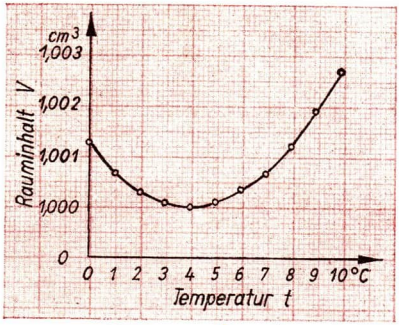
Abb. 29/1. Abhängigkeit des Volumens von der Temperatur
a) Höhe der Wassersäule
b) grafische Darstellung



eine bestimmte Wassermenge bei 4 °C das kleinste Volumen hat, ist bei dieser Temperatur seine Dichte am größten (Abb. 29/2).

Eine bestimmte Wassermenge hat bei 4 °C ihr kleinstes Volumen. Das Wasser hat bei 4 °C seine größte Dichte.

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. 30/1a). Dieser Kreislauf setzt sich so lange 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. 30/1b). 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 entwickeln.



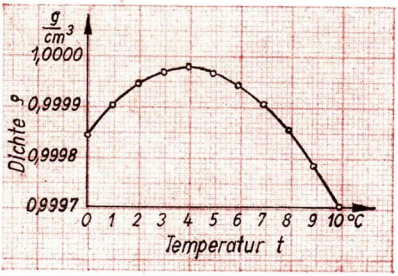


Abb. 29/2. Dichte des Wassers bei verschiedenen Temperaturen

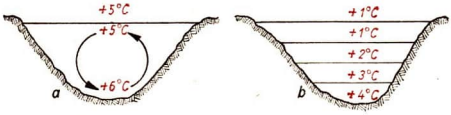


Abb. 30/1. Abkühlung eines stehenden Gewässers
a) Infolge der Abkühlung entsteht eine Strömung
b) Ist das Wasser auf mindestens 4 °C abgekühlt, so ergibt sich eine Schichtung

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Warum muß man bei Berechnung der Ausdehnung einer Flüssigkeit stets den Raumausdehnungs-Koeffizienten verwenden?
2. Welche Bedeutung hat die Anomalie des Wassers in der Natur?
3. 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?
4. Warum frieren tiefe Gewässer nicht bis zum Grunde zu?

7. Die Ausdehnung gasförmiger Körper — Das Boylesche Gesetz

1. Druck, Volumen und Temperatur. Wird der Schlauch eines Fahrrades aufgepumpt, so stellt man fest, daß sich der Zylinder der Luftpumpe nach einiger Zeit erwärmt hat. Die Erwärmung ist um so größer, je mehr Kraft wir beim Pumpen aufwenden. Was ist geschehen? Mit Hilfe der Muskelkraft wurde die Kolbenstange in den Zylinder hineingedrückt und damit der mit Luft gefüllte Raum des Zylinders verringert. Die Luft wurde zusammengedrückt und hat sich gleichzeitig erwärmt. *Durch eine Erhöhung des Druckes hat sich das Volumen verringert und die Temperatur erhöht.*

Legt man einen schwach aufgeblasenen Luftballon auf einen warmen Ofen, so kann man schon nach kurzer Zeit feststellen, daß sich sein Volumen vergrößert hat. Auch faßt er sich nach dem Erwärmen praller an als vorher. Er kann sogar platzen, wenn er zu Beginn des Versuches schon prall mit Luft gefüllt war. *Durch die Erhöhung der Temperatur haben sich bei diesem Versuch Druck und Volumen vergrößert.*

Beide Versuche zeigen, daß zwischen der Temperatur, dem Druck und dem Volumen einer Gasmenge, in diesem Falle der Luft, Beziehungen bestehen. Diese Beziehungen muß man kennen, wenn man die geschilderten Vorgänge erklären will. Um den Zusammenhang zwischen Druck, Volumen und Temperatur genauer untersuchen zu können, verfährt man im allgemeinen so, daß man zunächst die Beziehungen zwischen zwei Größen feststellt, die dritte Größe dabei jedoch konstant hält. Das erreicht man durch die folgenden drei Versuchsreihen:

	Man verändert	untersucht die Veränderung des	läßt konstant
1	Druck	Volumens	Temperatur
2	Temperatur	Volumens	Druck
3	Temperatur	Drucks	Volumen

2. Die Ableitung des Boyleschen Gesetzes. Zunächst soll die *Abhängigkeit des Volumens vom Druck untersucht werden.* Dabei hält man die Temperatur konstant. Das wird bei dem in Abbildung 31/1 wiedergegebenen Versuch weitgehend erreicht. In einem ungleichschenkligen U-Rohr befindet sich eine geringe Menge Quecksilber. Der Querschnitt des Rohres beträgt 1 cm². Da der Hahn geöffnet ist, herrscht in beiden Schenkeln der äußere Luftdruck p_1. Das Quecksilber steht infolgedessen auf beiden Seiten gleich hoch (Abb. 31/1 a).

Schließt man den Hahn und gießt in den langen Schenkel vorsichtig Quecksilber, so wird die eingeschlossene Luftsäule verkürzt; das Volumen dieser Luftmenge wird kleiner (Abb. 31/1 b). Auf ihr lastet 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:

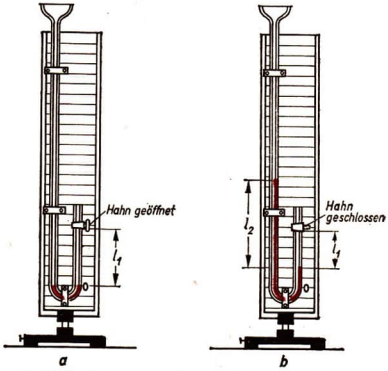


Abb. 31/1. Ungleichschenkliges U-Rohr zum Nachweis des Boyleschen Gesetzes
a) Gleichstand des Quecksilbers
b) Druckerhöhung durch höheren Quecksilberstand im linken Rohr

$$p = p_1 + p_2.$$

Die Luftsäule hat sich dabei von l_1 auf l verkürzt. Faßt man die Meßwerte von l_2 und l und die sich daraus ergebenden Werte von p_2 und p in einer Tabelle zusammen, so ergibt sich folgendes Bild:

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

Quecksilbersäule		Gesamtdruck	Länge l	Volumen V	$p \cdot V$
Höhe l_2 in mm	Schweredruck p_2 in Torr	$p = p_1 + p_2$ in Torr	der eingeschlossenen Luftsäule in cm	in cm³	in Torr · cm³
0	0	750	20,0	20,0	15000
67	67	817	18,2	18,2	14900
153	153	903	16,5	16,5	14900
258	258	1008	14,8	14,8	14900
451	451	1201	12,4	12,4	14900

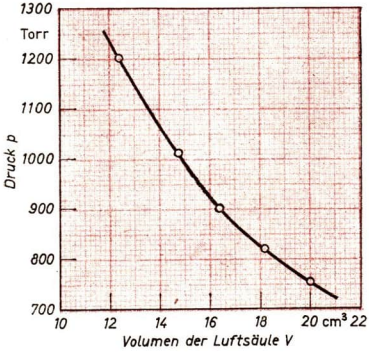


Abb. 32/1. p-V-Diagramm

Aus der Tabelle geht hervor, daß das Volumen der eingeschlossenen Luftsäule um so kleiner wird, je länger die Quecksilbersäule wird. Bildet man das Produkt $p \cdot V$, so erhält man einen nahezu konstanten Wert.

$p \cdot V =$ konstant (bei gleichbleibender Temperatur).

Stellt man das Volumen in Abhängigkeit vom Druck grafisch dar, so erhält man die in Abbildung 32/1 wiedergegebene Kurve. Aus der Form der Kurve ist ebenfalls zu ersehen, daß das Volumen um so kleiner wird, je größer der Druck wird. Die Abhängigkeit des Volumens vom Druck wurde von dem irischen Naturwissenschaftler ROBERT BOYLE näher untersucht. Er faßte seine Ergebnisse 1661/62 in dem nach ihm bekannten **Boyleschen Gesetz** zusammen.

Für eine abgeschlossene Gasmenge ist das Produkt aus Druck und Volumen bei gleichbleibender Temperatur konstant.
$p \cdot V =$ konstant (bei konstanter Temperatur)

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 steigt auf den Wert p_2 an. Für die beiden Punkte p_1 und p_2 sind die zusammengehörenden Druck- und Volumwerte in der Abbildung 32/2 dargestellt. Der Flächeninhalt der beiden eingezeichneten Rechtecke ist gleich groß. Dabei wird die Länge dieser Rechtecke durch das Volumen, die Höhe durch den Druck gebildet. Es ist also:

$A_1 = A_2$ oder

$\boldsymbol{p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2}$
(bei konstanter Temperatur).

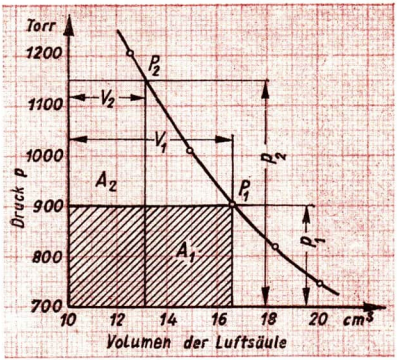


Abb. 32/2. Zusammengehörige Druck- und Volumwerte

Da es sich hierbei um produktgleiche Größen handelt, ergibt sich

doppelter Druck — halbes Volumen
dreifacher Druck — drittel Volumen
halber Druck — doppeltes Volumen
drittel Druck — dreifaches Volumen
und so weiter.

Weil produktgleiche Größen umgekehrt proportional sind, kann man das Boylesche Gesetz auch in der folgenden Form schreiben:

$$p_1 : p_2 = V_2 : V_1.$$

Diese Proportion sagt aus:

Wird ein Gas bei konstanter Temperatur zusammengedrückt, so stehen die Drücke und die Volumina im umgekehrten Verhältnis zueinander.

Die Ursachen für die Erhöhung des Druckes bei einer Verkleinerung des Volumens liegen in der Molekularbewegung begründet. Die Moleküle eines Gases bewegen sich frei in jedem ihnen zur Verfügung stehenden Raum. Folglich füllt, wenn nicht andere Kräfte wirken, eine abgeschlossene Gasmenge einen Hohlraum ganz aus. Sie kann daher im Gegensatz zu festen Körpern und zu Flüssigkeiten 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 sich mit Hilfe eines Modellversuches veranschaulichen. Man läßt aus einem Becherglas Schrotkugeln in schneller Folge auf den Teller einer Briefwaage fallen (Abb. 33/1). 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. Mit dem Ansteigen der Druckkraft wächst auch der Druck. Wird nun das Volumen einer Gasmenge verringert, ohne daß dabei die

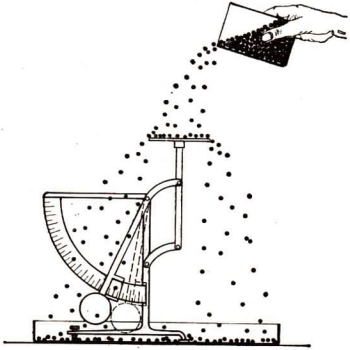


Abb. 33/1. Kraftwirkung herabfallender Schrotkugeln auf eine Briefwaage

Abb. 34/1. Autogenes Schneiden von Blechen

Temperatur verändert wird, so stoßen die Moleküle auf eine kleinere Fläche; der Druck nimmt somit zu. Eine Verkleinerung des Volumens eines Gases führt daher bei konstanter Temperatur zu einer Erhöhung des Druckes.

2. Anwendung des Boyleschen Gesetzes. *a) Gas in Stahlflaschen.* Beim *autogenen Schweißen und Schneiden* wird die erforderliche Temperatur durch Verbrennen von Gasen erzeugt (Abb. 34/1). Aus dem Chemieunterricht der Klasse 7 ist bekannt, daß dazu häufig Wasserstoff oder Äthin und Sauerstoff verwendet werden. Diese Gase werden im allgemeinen in *Stahlflaschen* aufbewahrt und können so dorthin transportiert werden, wo man sie benötigt. Sauerstoffflaschen beispielsweise haben einen Rauminhalt von 40 l. Damit man größere Gasmengen in der Flasche unterbringen kann, wird der Sauerstoff so stark komprimiert, das heißt zusammengedrückt, daß er dann unter einem Druck von 150 at steht. Nach der Gleichung

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

kann man berechnen, wieviel Liter Sauerstoff von normalem Druck in der Stahlflasche 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:

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

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

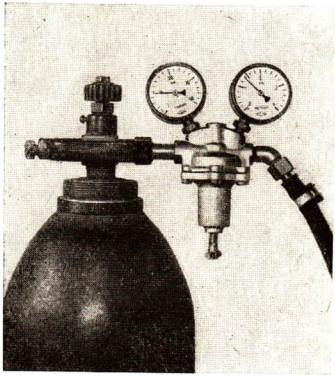
Somit nimmt der in der Stahlflasche enthaltene Sauerstoff bei einem Druck von 1 at 6000 l ein. Dieser Rauminhalt entspricht dem eines Würfels mit einer Kantenlänge von etwa 1,80 m. Wieviel Fässer mit einem Fassungsvermögen von je 100 l haben dieses Volumen?

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. 35/1). Das stark kompri-

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

Außer beim Schweißen und Schneiden werden komprimierte Gase z. B. beim *Metallspritzen* verwendet. Hierbei wird das Metall durch eine Gasflamme zum Schmelzen gebracht. Die Bedeutung des Metallspritzverfahrens besteht darin, daß auf Werkstücken dünne Schichten Metall aufgetragen werden können. So werden beispielsweise unbrauchbar gewordene Lagerschalen durch Aufspritzen von Lagermetall und anschließendes Bearbeiten wieder brauchbar gemacht.

b) Die Melkmaschine. In den Stallungen unserer volkseigenen Güter und landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften wird das anstregende Melken mit der Hand durch das Melken mit Hilfe einer Maschine ersetzt. Diese *Melkmaschine* arbeitet schneller, billiger und hygienischer.



a

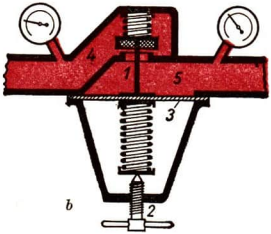
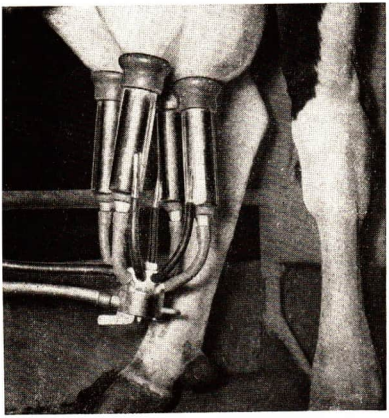


Abb. 35/1. Reduzierventil
a) Ansicht b) Schnitt
1 Ventil; *2* Stellschraube; *3* Membran; *4* Flaschenraum; *5* Arbeitsraum

Mittels einer *Vakuumpumpe* werden ein Behälter und die Leitungen zum Melkstand fast luftleer gepumpt (Abb. 36/3). Wird der Kolben der Pumpe bei geöffnetem Ventil nach rechts bewegt, so wird das Gesamtvolumen vergrößert (Abb. 36/2a). Infolgedessen nimmt nach dem Boyleschen Gesetz der Druck ab. Wird der Kolben nach links bewegt, so ist das Ventil geschlossen (Abb. 36/2b). 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 andere Vakuumpumpen verwendet.



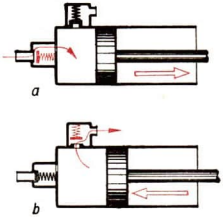


Abb. 36/1 (links)
An das Euter einer Kuh angesetzte Melkbecher

Abb. 36/2 (oben)
Schematischer Schnitt durch eine Kolbenpumpe

An die Unterdruckleitungen wird der *Melkeimer* mit dem *Verteiler* und den vier *Melkbechern* angeschlossen (Abb. 36/1). Diese sind mittels einer Gummiwand in einen Außen- und einen Innenraum getrennt (Abb. 37/1). 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 Melk-

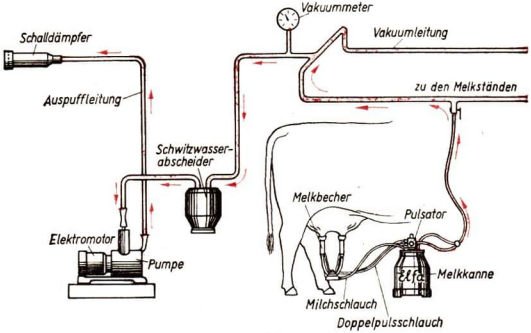


Abb. 36/3. Schematische Darstellung einer Melkmaschine

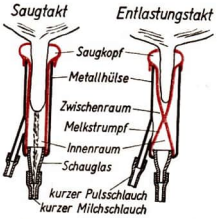


Abb. 37/1 Schnittzeichnung durch einen Melkbecher mit Anschlußschläuchen

eimer, dem *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 die Vakuumpumpe der Unterdruck in den Leitungen aufrechterhalten werden.

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Erkläre die Wirkungsweise einer Fahrradpumpe 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?
4. Das Hochdruckmanometer eines Reduzierventils bei einer 40-l-Stahlflasche (V_2) zeigt einen Druck von $p_2 = 102$ at an. Der Arbeitsdruck beträgt $p_1 = 1{,}5$ at. Wieviel Liter Gas mit einem Druck von 1,5 at können entnommen werden?

8. Die Zustandsgleichung der Gase

1. Ableitung des Gay-Lussacschen Volumgesetzes. Bei der Ableitung des Boyleschen Gesetzes wurde die Temperatur konstant gehalten und die Abhängigkeit des Volumens vom Druck untersucht. Die Tabelle auf Seite 30 zeigt als nächste Möglichkeit, *den Druck konstant zu lassen* und *die Abhängigkeit des Volumens von der Temperatur festzustellen*. Dazu verwendet man die in Abbildung 37/2 wiedergegebene Versuchsanordnung. Das in der Kugel und in dem Rohr befindliche Gas wird durch einen kurzen Flüssigkeitsfaden abgeschlossen. Dadurch wird erreicht, daß immer der gleiche Druck, in diesem Falle der Luftdruck, herrscht. Das mit Luft gefüllte Gefäß wird in einem Wasserbad erwärmt. Die Temperaturänderung kann man an einem Thermometer ablesen.

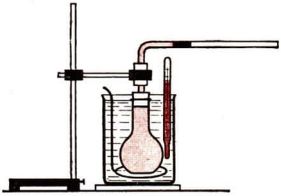


Abb. 37/2. Ausdehnung eines Gases bei konstantem Druck

Bei Erwärmung des Gases vergrößert sich sein Volumen. Der Flüssigkeitsfaden in dem waagerechten Rohr wird nach außen gedrückt. Aus dieser

Verschiebung und dem inneren Durchmesser des Rohres kann man die Volumänderung ΔV errechnen.
Für die Volumausdehnung gilt die von den Flüssigkeiten her bekannte Gleichung

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

da die Volumänderung von Gasen ebenso wie die von Flüssigkeiten von dem ursprünglichen Volumen V_0 bei 0 °C, von dem Raumausdehnungs-Koeffizienten γ des Gases und von der Temperaturdifferenz Δt in der gleichen Weise abhängig ist.
Bei dem in Abbildung 37/2 dargestellten Versuch wird das Volumen vor und nach dem Versuch durch Messen und ΔV durch Rechnen bestimmt. Die Temperaturdifferenz Δt ergibt sich aus der Temperatur zum Beginn und zum Ende des Versuches.
Von den in der Gleichung $\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta t$ enthaltenen vier Größen sind drei bekannt, nämlich ΔV, V_0 und Δt. Man ist daher in der Lage, die vierte Größe, γ, zu berechnen. Dazu löst man die Gleichung nach γ auf und erhält

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \cdot \Delta t}.$$

Genaue Versuche haben für Luft den Wert

$$\gamma = 0{,}00367 \frac{1}{\text{grd}} \approx \frac{1}{273} \frac{1}{\text{grd}}$$

ergeben. Füllt man die Kugel mit einem anderen Gas, so erhält man für γ etwa den gleichen Wert.

Alle Gase dehnen sich bei einer Temperaturerhöhung von 1 grd unter gleichbleibendem Druck um $\frac{1}{273{,}15}$ ihres Volumens bei 0 °C aus.

Die Gleichung für die Volumausdehnung der Gase bei konstantem Druck lautet entsprechend der für Flüssigkeiten:

$$V = V_0 (1 + \gamma \cdot \Delta t) \quad \text{(bei konstantem Druck).}$$

Hierin bedeutet V_0 das Volumen bei 0 °C.
Diese Gleichung wurde bereits im Jahre 1802 von dem französischen Physiker Gay-Lussac nach Durchführung entsprechender Experimente formuliert. Es ist das **Volumgesetz bei konstantem Druck.**

2. Ableitung des Gay-Lussacschen Druckgesetzes. Zur Untersuchung der *Abhängigkeit des Druckes von der Temperatur* (dritte Möglichkeit der Tabelle auf S. 30) *bei konstantem Volumen* verwendet man die in Abbildung 39/1 wiedergegebene Versuchsanordnung.
Zu Beginn des Versuches steht das Wasser in beiden Röhren gleich hoch (Abb. 39/1 a). Daraus folgt, daß der Druck in dem Kolben gleich dem Luftdruck ist. Nach dem Erwärmen des Gases (Abb. 39/1 b) wird die rechte Röhre so weit gehoben, daß die Flüssigkeit im linken Rohr genauso hoch wie zu Beginn des Versuches steht (Abb. 39/1 c). Damit ist das ursprüngliche Volumen wiederhergestellt.

Auf der eingeschlossenen Gasmenge lastet jetzt der äußere Luftdruck zuzüglich des Druckes, der durch die im rechten Rohr überstehende Flüssigkeitssäule h hervorgerufen wird. Die Druckzunahme Δp ist vom ursprünglichen Druck p_0, dem Ausdehnungskoeffizienten γ und der Temperaturdifferenz Δt abhängig. Wertet man die einzelnen Versuchsreihen aus, so ergibt sich eine ähnliche Gleichung wie für die Volumzunahme, nämlich

$$\Delta p = p_0 \cdot \gamma \cdot \Delta t.$$

Durch Auflösen der Gleichung nach γ kann man dessen Wert berechnen, da alle anderen Größen der Gleichung durch den Versuch bekannt sind. Für γ, das man hier als **Spannungskoeffizienten** bezeichnet, hat man ebenfalls den Wert $\frac{1}{273{,}15}\,\frac{1}{\text{grd}}$ ermittelt. Er ist für alle Gase annähernd gleich groß. Der Druck eines Gases nach dem Erwärmen beträgt

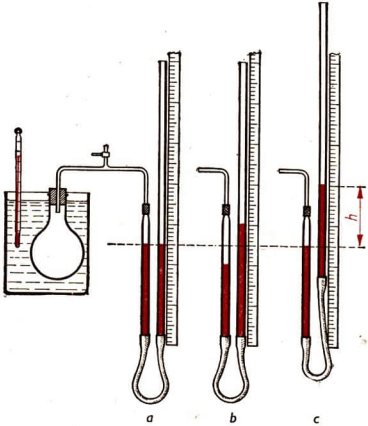


Abb. 39/1. Erwärmung eines Gases bei konstantem Volumen

$$p = p_0 + \Delta p.$$

Setzt man in diese Gleichung den Wert für Δp ein, so erhält man

$$p = p_0\,(1 + \gamma \cdot \Delta t) \quad \text{(bei konstantem Volumen).}$$

Auch dieses Gesetz wurde von Gay-Lussac gefunden und formuliert. Es ist das **Druckgesetz bei konstantem Volumen.**

Der Druck eines Gases nimmt bei konstantem Volumen bei einer Temperaturerhöhung von 1 grd um $\frac{1}{273{,}15}$ des Druckes bei 0 °C zu.

3. Zusammenfassung. Für Gase gelten folgende Gesetze:

1. bei *konstanter Temperatur*

$$p \cdot V = \text{konstant} \qquad \textbf{Boylesches Gesetz,}$$

2. bei *konstantem Druck*

$$V = V_0\,(1 + \gamma \cdot \Delta t) \qquad \textbf{Gay-Lussacsches Gesetz für konstanten Druck,}$$

3. bei *konstantem Volumen*

$$p = p_0\,(1 + \gamma \cdot \Delta t) \qquad \textbf{Gay-Lussacsches Gesetz für konstantes Volumen.}$$

4. Die Zustandsgrößen eines Gases. Erhöht man die Temperatur und hält dabei das Volumen konstant, dann prallen die Gasmoleküle wegen ihrer größeren Bewegungsenergie häufiger und stärker auf die Wände des Gefäßes. Das bedeutet, daß ein größerer Druck herrscht. Somit hat sich infolge der Änderung der Temperatur der *Zustand des Gases geändert.* Soll aber bei einer Temperaturerhöhung der Druck konstant bleiben, dann muß man das Volumen vergrößern. Die Stöße der Moleküle erfolgen dann auf eine größere Fläche, so daß sich der Druck nicht verändert.
Der Zustand eines Gases wird also durch die drei Größen *Temperatur*, *Druck* und *Volumen* bestimmt. Sind diese bekannt, so ist sein Zustand bekannt. Deshalb bezeichnet man diese drei Größen als *Zustandsgrößen eines Gases.*

5. Die Zustandsgleichung für ideale Gase. Bisher wurde immer eine Zustandsgröße konstant gehalten und der Zusammenhang zwischen den anderen beiden Zustandsgrößen untersucht. In der Praxis führt jedoch die Änderung einer Zustandsgröße meist zur Änderung der beiden anderen. So kann ein Gas bei Erwärmung seinen Druck vergrößern und sich gleichzeitig ausdehnen. Man braucht dabei nur an ein in die Sonne gestelltes Fahrrad zu denken. Hier erhöht sich der Druck des Gases im Schlauch, gleichzeitig aber dehnt er sich aus, verändert also sein Volumen. Es ändern sich dabei alle drei Zustandsgrößen: Druck, Volumen und Temperatur.
Die drei Gasgesetze lassen sich in einer Gleichung zusammenfassen:

$$\frac{V \cdot p}{T} = \frac{V_0 \cdot p_0}{T_0} \quad \text{Zustandsgleichung der Gase.}$$

Hierin wird die Temperatur in Grad Kelvin gemessen!

Beispiel:

Eine Stahlflasche für Sauerstoff mit einem Volumen von 40 l wird bei 0 °C unter einem Druck von 150 at gefüllt. Welches Volumen hat das Gas unter einem Druck von 2 at bei 15 °C?

Gegeben: $p_0 = 150$ at, $T_0 = 273{,}15$ °K, $V_0 = 40$ l, $p = 2$ at, $T = 288$ °K.

Gesucht: V (in l)

Löst man die Zustandsgleichung der Gase nach V auf, so erhält man

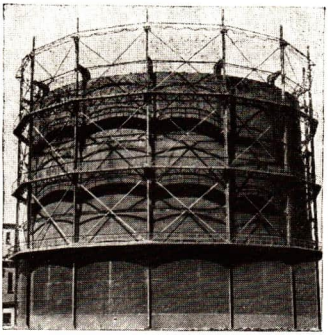
$$V = \frac{V_0 \cdot p_0 \cdot T}{p \cdot T_0}.$$

Setzt man die gegebenen Werte ein, so ergibt sich:

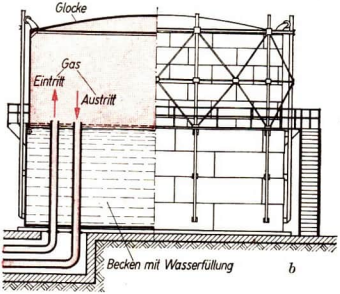
$$V = \frac{40\,\text{l} \cdot 150\,\text{at} \cdot 288\,°\text{K}}{2\,\text{at} \cdot 273{,}15\,°\text{K}} = \underline{\underline{3166\,\text{l}}}.$$

Unter einem Druck von 2 at hat das Gas bei 15 °C ein Volumen von 3165 l. Davon kann man aber nur 3125 l entnehmen, da 40 l in der Flasche verbleiben.

Abb. 41/1. Gasbehälter
a) Ansicht b) Schnitt



a



b

6. Anwendung der Zustandsgleichung der Gase. *a) Der Gasbehälter.* Das Stadtgas wird im Gaswerk bei Tag und bei Nacht gleichmäßig erzeugt. Da aber der Bedarf in der Industrie und im Haushalt im Verlauf eines Tages sehr unterschiedlich ist, macht sich eine Speicherung des erzeugten Gases erforderlich. Als Speicher verwendet man zylinderförmige *Gasbehälter* (Abb. 41/1a). Sie haben ein Volumen von mehreren tausend bis zu etwa 250000 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 oder ab bewegt (Abb. 41/1b). Durch das Gewicht der Glocke bleibt der Druck im Gasbehälter annähernd konstant. Infolge der Beweglichkeit der Glocke bleibt der Druck auch annähernd gleich, 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 *kohlebeheizte* Dämpfer, die häufig als fahrbare *Dämpfanlage* eingerichtet sind (Abb. 42/1).

In dem Dampfkessel wird Dampf erzeugt, der einen Druck von 1,25 at hat. Die zugeführte Wärme bringt das Wasser zum Sieden und erhöht den Druck des Wasser-

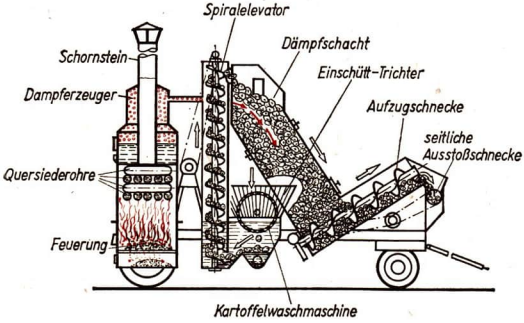


Abb. 42/1
Schematische Darstellung der Wirkungsweise einer Dämpfanlage

dampfes. Dieser Druck darf jedoch einen bestimmten Wert nicht überschreiten, da sonst die Anlage zerstört würde. Weil im Gegensatz zu den Gasbehältern bei Kesseln das Volumen nicht verändert werden kann, ist zur Sicherung gegen einen zu hohen Druck ein Sicherheitsstandrohr eingebaut. Es muß 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.

7. 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 bei niedrigem Druck und bei Temperaturen weit oberhalb des Siedepunktes annähernd wie ideale Gase. Dazu gehören Luft, Wasserstoff und Sauerstoff bei normalen Druck- und Temperaturwerten. Wasserdampf, Kohlendioxid und Chlor verhalten sich dagegen unter normalen Bedingungen wie **reale Gase.** Für sie können die Gasgesetzte nicht unmittelbar angewendet werden.

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

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Ein Klassenzimmer enthält 216 m³ Luft. Wieviel Luft strömt aus, wenn sie von 10 °C auf 18 °C erwärmt wird?
2. 1 m³ Luft steht bei einer Temperatur von 20 °C unter einem Druck von 740 Torr. Berechne den Druck der Luft nach einer Abkühlung auf 0 °C bei konstantem Volumen!
3. Ein Ballon mit einem Rauminhalt von 900 m³ enthält Wasserstoff mit einem Druck von 1,2 at. Die Bodentemperatur beträgt 0 °C. Wieviel Liter Gas strömen aus, wenn der Ballon in einer Höhe von 6000 m platzt? In dieser Höhe herrschen eine Temperatur von − 30 °C und ein Druck von 0,5 at.

9. Wärmemenge und spezifische Wärme

1. Die Wärmemenge. Damit man verschiedene Wärmemengen miteinander vergleichen kann, wurde als *Einheit der Wärmemenge* die **Kalorie** (cal) eingeführt. Es soll nun untersucht werden, von welchen Größen die Wärmemenge eines beliebigen Stoffes abhängig ist.

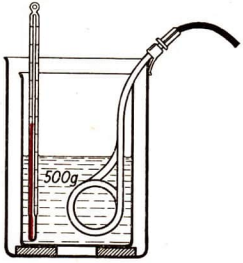


Abb. 43/1. Erwärmen einer bestimmten Wassermenge

a) In einem Becherglas werden 500 g Wasser mit einem Tauchsieder erwärmt (Abb. 43/1). Um das Glas gegen Wärmeableitung zu schützen, wird es in ein noch größeres Becherglas gestellt, auf dessen Boden einige Korkscheiben zur Wärmeisolation liegen. Nach dem Einschalten des Stromes wird nach jeweils $\frac{1}{2}$ min die erreichte Temperatur abgelesen. Man kann annehmen, daß vom Tauchsieder in gleichen Zeitabständen annähernd gleiche Wärmemengen abgegeben werden. Alle abgelesenen Werte sind in Tabelle I auf S. 44 eingetragen.
Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß mit zunehmender Zeit und damit größerer zugeführter Wärmemenge die Temperatur des Wassers größer wird. *Mathematisch ausgedrückt bedeutet dies, daß die Temperaturerhöhung Δt der zugeführten Wärmemenge W direkt proportional ist.* Man schreibt:

$$\Delta t \sim W.$$

Zu dem gleichen Ergebnis kommt man, wenn man die Temperaturerhöhung in Abhängigkeit von der Zeit grafisch darstellt (Abb. 44/1). Durch Verbinden der Punkte erhält man eine Gerade.
b) Führt man den gleichen Versuch mit der doppelten Wassermenge durch, so erhält man die in der Tabelle II auf S. 44 zusammengestellten Meßergebnisse.
Wie aus den 3 Spalten der beiden 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 durchführen, so würde man in der gleichen Zeit nur $\frac{1}{3}$ der Temperaturerhöhung erzielen. *Mathematisch ausgedrückt bedeutet dies, daß die Temperaturerhöhung Δt der Masse des erwärmten Stoffes umgekehrt proportional ist.* Man schreibt:

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

Man hat außerdem festgestellt, daß *die Wärmemenge, die man zuführen muß, um eine bestimmte Temperaturerhöhung zu erreichen, auch noch vom Stoff abhängt.*
Faßt man die Ergebnisse in einer Gleichung zusammen, in der man die Abhängigkeit der Wärmemenge vom Stoff durch c ausdrückt, so erhält man

$$W = m \cdot c \cdot \Delta t$$ **Grundgleichung der Wärmelehre.**

Tabelle I

Temperaturverlauf beim Erwärmen von 500 g Wasser

Ausgangstemperatur 18 °C

Zeit in min	Temperatur in °C	Temperaturerhöhung Δt in grd	$\frac{\text{Temperaturerhöhung}}{\text{Zeit}}$ in $\frac{\text{grd}}{\text{min}}$
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

Tabelle II

Temperaturverlauf beim Erwärmen von 1000 g Wasser

Ausgangstemperatur 18 °C

Zeit in min	Temperatur in °C	Temperaturerhöhung Δt in grd	$\frac{\text{Temperaturerhöhung}}{\text{Zeit}}$ in $\frac{\text{grd}}{\text{min}}$
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

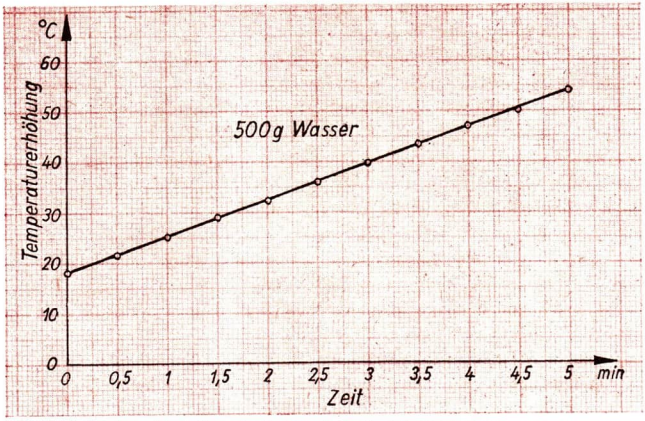


Abb. 44/1. Grafische Darstellung des Temperaturverlaufs beim Erwärmen einer Wassermenge

2. Die spezifische Wärme. Der Faktor c in der Grundgleichung der Wärmelehre berücksichtigt den zu erwärmenden Stoff. Er wird als **spezifische Wärme** bezeichnet. Ein Versuch soll das Wesen der spezifischen Wärme kennzeichnen. Auf einer elektrischen Kochplatte werden in zwei Bechergläsern gleichzeitig je 100 g Wasser und 100 g Maschinenöl erwärmt. Zu Beginn der Erwärmung haben beide Flüssigkeiten die gleiche Anfangstemperatur. Nach einer Zeit von 5 Minuten werden die Temperaturen beider Flüssigkeiten gemessen. Es zeigt sich, daß sich die Temperatur des Maschinenöls ungefähr um das Doppelte gegenüber der des Wassers erhöht hat. Dies ist erstaunlich, da doch die Kochplatte an beide Flüssigkeiten die gleiche Wärmemenge abgegeben hat. Man kann diese Tatsache nur so erklären, daß zur Erwärmung des Wassers eine viel größere Wärmemenge gebraucht wird als zur Erwärmung des Maschinenöls auf die gleiche Temperatur. Daraus ergibt sich:

1. *Wärmezufuhr steigert die Temperatur eines Körpers.*
2. *Verschiedene Stoffe gleicher Masse und gleicher Anfangstemperatur benötigen unterschiedliche Wärmemengen, um die gleiche Temperatur zu erreichen. Die spezifische Wärme der verschiedenen Stoffe ist unterschiedlich groß.*
3. *Derjenige von zwei Stoffen hat die größere spezifische Wärme, der bei gleicher Wärmezufuhr die geringere Temperatur erreicht.*

In dem beschriebenen Versuch hat das Wasser eine etwa doppelt so große spezifische Wärme wie das Maschinenöl. Da die spezifische Wärme vom Stoff abhängig ist, bezeichnet man c als Materialkonstante.

Die spezifische Wärme ist eine Materialkonstante. Sie ist für die verschiedenen Stoffe unterschiedlich groß.

Zur Bestimmung der Maßeinheit von c löst man die Gleichung für die Wärmemenge nach c auf:

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

Setzt man für W die Einheit Kalorie (cal), für m die Einheit Gramm (g) und für Δt die Einheit Grad (grd) in diese Gleichung ein, so erhält man für die spezifische Wärme die Maßeinheit

$$\textbf{Kalorien je Gramm und Grad}\left(\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grd}}\right).$$

Die entsprechend größere Einheit ist

$$\textbf{Kilokalorien je Kilogramm und Grad}\left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{grd}}\right).$$

Die spezifische Wärme ist zahlenmäßig gleich der Wärmemenge, mit der 1 g des betreffenden Stoffes um 1 grd erwärmt wird.

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

$$c_{\text{H}_2\text{O}} = 1\,\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grd}}\,.$$

In der folgenden Tabelle sind die spezifischen Wärmen einiger wichtiger Stoffe zusammengestellt.

Spezifische Wärme einiger fester und flüssiger Stoffe bei 0 °C

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

3. 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. Große Wärmemengen sind erforderlich, damit die Wassertemperatur merklich zunimmt. Infolgedessen dauert es im Frühjahr längere Zeit, bis die Wassertemperatur ansteigt. 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 dagegen 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 große Wasserflächen, beispielsweise in Wüstengegenden, kommt es dagegen zu sehr starken Temperaturschwankungen.

Die große spezifische Wärme des Wassers wird auch 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. 47/1). Diese Temperatur reicht aber infolge der großen spezifischen Wärme des Wassers aus.

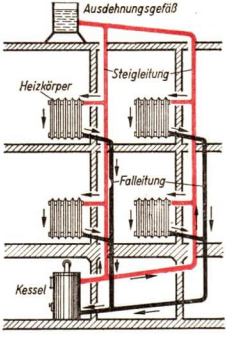


Abb. 47/1. Schematische Darstellung einer Warmwasserheizung. Infolge geringerer Dichte steigt das warme Wasser nach oben, das kalte Wasser sinkt nach unten.

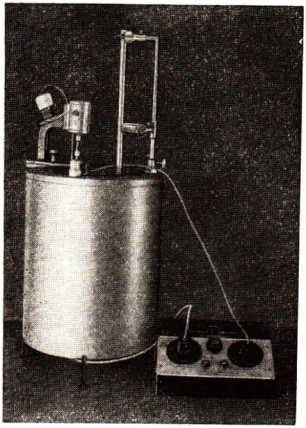
Wasser wird weiterhin zum *Kühlen von Maschinen* verwendet. Derartige Kühlanlagen kleinerer Art befinden sich in vielen Kraftwagen (Abb. 47/2). Große Kühlanlagen werden in den Kraftwerken zum Kondensieren des Dampfes verwendet. Das Wasser wird hierzu in hohe *Kaminkühler* gepumpt. Diese sind oben und unten offen und etwa zur Hälfte mit einem vielfach verzweigten Aufbau von Holzrosten ausgefüllt. Über diese Roste 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.

4. Der Wärmeübergang. Soll eine heiße Speise schnell abgekühlt werden, so stellt man den Topf mit der Speise in eine größere Schüssel mit kaltem Wasser. Nach einiger Zeit hat sich der Topf mit der Speise 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 erwärmt sich die Flüssigkeit sehr stark, so daß sie von Zeit zu Zeit erneuert oder abgekühlt werden muß.

Alle genannten Beispiele zeigen, daß sich ein *Wärmeübergang* vollzieht, wenn sich zwei Körper mit unterschiedlichen Temperaturen berühren. Er erfolgt wie bei allen Wärmeleitungsvorgängen *selbsttätig* und hält so lange an, wie ein Unterschied in der durchschnittlichen kinetischen Energie der Moleküle zwischen den beiden Stoffen besteht. Ist die

Abb. 47/2
Kühler eines Traktors



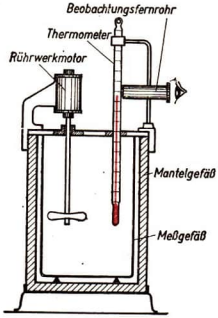


Abb. 48/1. Kalorimeter

durchschnittliche kinetische Energie der Moleküle beider Stoffe gleich groß geworden, haben beide Stoffe also die gleiche Temperatur erreicht, so ist der Wärmeübergang beendet.

5. Die Mischungstemperatur. In einem Glas befinden sich 250 g Wasser mit einer Temperatur von 20 °C. Nun gießt man 250 g Wasser von 100 °C hinzu und mißt die Temperatur. Man erhält einen Wert, der knapp unter 60 °C liegt. Diese Temperatur bezeichnet man als *Mischungstemperatur*. Bei diesem Versuch wurde von dem wärmeren Wasser ein Teil der Wärmemenge an das kältere Wasser abgegeben. Würde man jede Wärmeableitung verhindern, so hätte man genau 60 °C als Mischungstemperatur erhalten, das heißt, das heiße Wasser hätte sich um 40 grd abgekühlt und das kalte Wasser um 40 grd erwärmt. Aus dem Versuch geht hervor, daß die von dem warmen Wasser abgegebene Wärmemenge W_1 ebenso groß ist wie die vom kalten Wasser aufgenommene Wärmemenge W_2. Durch viele Versuche wurde diese Tatsache nachgewiesen. Man bezeichnet sie als das **Grundgesetz des Wärmeüberganges.**

$$W_1 = W_2$$

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

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

6. Das Kalorimeter. Versuche aus der Wärmelehre liefern nur dann genaue Ergebnisse, wenn man erreicht, daß die Versuchsanordnung keine Wärme von außen ungemessen aufnimmt und auch keine Wärme nach außen ungemessen abgibt. Man verwendet daher soweit wie möglich ein *Kalorimeter* (Abb. 48/1). 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 Deckel weitgehend unterbunden. Besonders gut sind Thermosgefäße als Kalorimeter geeignet. Bei ihnen dämmt das Vakuum zwischen den beiden Gefäßen noch besser als ein Luftmantel. Zum Kalorimeter gehören noch ein Thermometer und ein Rührer.

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Warum erfolgt der Wärmeübergang 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?
4. Welche Wärmemenge ist zur Erwärmung von 6 kg Wasser von Zimmertemperatur (18 °C) bis zum Sieden erforderlich? Wieviel kg Blei von 18 °C könnte man mit dieser Wärmemenge auf die gleiche Temperatur erwärmen?
5. Warum erhält man eine bessere Wärmedämmung, wenn anstelle der Luft ein Vakuum zwischen den Wänden einer Thermosflasche ist?
6. Warum ist das Thermosgefäß innen und außen verspiegelt?
7. Überzeuge dich durch ein Hausexperiment von der Richtigkeit des Grundgesetzes des Wärmeüberganges!
   Anleitung: Mische zwei gleiche Wassermassen verschiedener Temperatur in einer Thermosflasche! Überprüfe die Mischungstemperatur!
   Hilfsmittel: Küchenwaage oder Meßzylinder, Thermosflasche, Thermometer (evtl. Badethermometer).

10. Die Aggregatzustände

1. Die Kennzeichen der Aggregatzustände. In der Klasse 6 wurde bereits besprochen, daß es *drei Aggregatzustände* gibt: den festen, den flüssigen und den gasförmigen Aggregatzustand. Im folgenden werden noch einmal die Unterscheidungsmerkmale angegeben:

Feste Körper haben einen bestimmten Rauminhalt und eine bestimmte Form.
Flüssige Körper haben einen bestimmten Rauminhalt, aber keine bestimmte Form. Sie nehmen die Gestalt des Gefäßes an, in dem sie sich befinden.
Gasförmige Körper haben keinen bestimmten Rauminhalt und keine bestimmte Form. Sie passen sich der Form und dem Rauminhalt des Gefäßes an, in dem sie sich befinden.

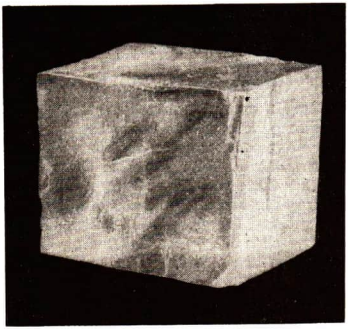


Abb. 50/1. Kochsalzkristall

2. Der feste Aggregatzustand — Der kristalline Aufbau der Körper. Erwärmt man zum Beispiel Blei, so erreicht man schließlich eine bestimmte Temperatur, bei der das Blei *aus dem festen in den flüssigen Aggregatzustand* übergeht. Man kann den flüssigen von dem festen Zustand genau unterscheiden. Genauso verhalten sich Eis, Zinn und viele andere Stoffe. Betrachtet man aber den Schmelzvorgang bei Glas, so kann man keine genaue Temperatur für den Übergang vom festen in den flüssigen Zustand angeben. Je höher die Temperatur ist, desto weicher wird das Glas, bis es schließlich flüssig ist. Es bleibt somit über einen großen Temperaturbereich weich. Auch Wachs und eine Reihe von Plasten zeigen diese Eigenschaft. Zur Unterscheidung von den festen Körpern mit bestimmtem Schmelzpunkt bezeichnet man sie als *starre Flüssigkeiten*.

Aus dem unterschiedlichen Verhalten der Stoffe ist zu schließen, daß sie sich in ihrem Aufbau unterscheiden.

Die Stoffe, die einen festen Schmelzpunkt haben, besitzen einen *regelmäßigen Aufbau*. Sie bestehen aus **Kristallen.** Aus dem Chemieunterricht ist bekannt, daß Kochsalz aus Natrium und Chlor besteht. In einem Kochsalzkristall (Abb. 50/1) sind diese Bestandteile regelmäßig angeordnet. Die Abbildung 50/2 gibt diese regelmäßige Anordnung, die man als *Gitter* bezeichnet, schematisch wieder. Die gestrichelten Linien sind als Hilfslinien gezogen, damit man sich die Würfelform leichter vorstellen kann.

Auch die anderen Stoffe mit einem bestimmten Schmelzpunkt bestehen aus Kristallen (man sagt, sie sind kristallin aufgebaut), jedoch ist die Form der Kristalle dabei unterschiedlich. Sie kann sogar bei ein und demselben Stoff die vielfältigste Gestalt annehmen. Deutlich erkennt man das bei der Betrachtung der Schneekristalle (Physik, ein Lehrbuch für die Klasse 6) und der Eisblumen an den Fensterscheiben.

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

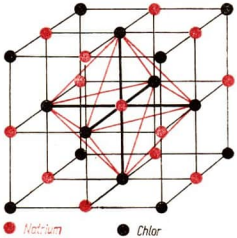


Abb 50/2. Schematische Darstellung der Anordnung der Bestandteile Chlor und Natrium

Stahl zeigt unter dem Mikroskop gewisse Unterschiede gegenüber einem nicht richtig behandelten Stahl (Abb. 51/1). Man kann daher mit Hilfe von Mikrountersuchungen feststellen, ob das Härten beziehungsweise Anlassen die richtigen Veränderungen des Gefüges hervorgerufen hat.

3. Der flüssige Aggregatzustand. Die meisten festen Körper werden bei genügender Erwärmung flüssig. Durch die Zuführung von Wärme steigt die Temperatur. Die Ursache liegt in der größeren kinetischen Energie der Moleküle. Wird eine bestimmte Energie und damit eine bestimmte Temperatur erreicht, so zerfällt der Kristall. Die Moleküle sind nicht mehr regelmäßig angeordnet, sondern bewegen sich frei und unregelmäßig. Zwischen den Molekülen wirkt aber noch die Kohäsion (vgl. Lehrbuch Klasse 6), deshalb bleibt das Volumen erhalten. Andererseits führt die größere Beweglichkeit der Moleküle dazu, *daß flüssige Körper keine bestimmte Form* haben.

4. Der gasförmige Zustand. Wird dem Körper weitere Energie zugeführt, also die Temperatur weiter erhöht, dann wird schließlich bei einer bestimmten Temperatur die Kohäsion ganz überwunden. Der Körper geht in den gasförmigen Zustand über. Die Moleküle bewegen sich regellos frei im Raum, und der Abstand der Moleküle voneinander ändert sich ständig. Aus diesen Gründen haben Gase kein bestimmtes Volumen und keine bestimmte Form. Die leichte Beweglichkeit und die ständige Veränderung des Ortes sind die Ursache dafür, daß Gase jeden ihnen zur Verfügung stehenden Raum ausfüllen.

a

b

Abb. 51/1. Beim Härten richtig (a) und falsch behandelter Stahl (b)

11. Der Übergang zwischen den Aggregatzuständen

1. Schmelzen und Erstarren. Aus dem Physikunterricht der Klasse 6 sind bereits folgende Tatsachen über das Schmelzen fester und das Erstarren flüssiger Körper bekannt:

> **Ein fester Körper geht bei einer für den Stoff charakteristischen Temperatur vom festen in den flüssigen Zustand über; er schmilzt.**
> **Die Temperatur, bei der ein fester Körper schmilzt, heißt Schmelztemperatur.**
> **Umgekehrt erstarrt jede Flüssigkeit bei der gleichen Temperatur zu einem festen Körper.**
> **Die Temperatur, bei der eine Flüssigkeit erstarrt, heißt Erstarrungstemperatur oder Gefriertemperatur.**

Diese Gesetze gelten aber nur für kristalline Körper; denn alle anderen Körper haben keine bestimmte Schmelztemperatur.
In einem Gießlöffel wird Blei erwärmt. Durch die Wärmezufuhr steigt die Temperatur des Körpers an. Er dehnt sich dabei aus. Bei einer bestimmten Temperatur ist die kinetische Energie der Moleküle so groß, daß sie sich aus dem Kristallgefüge lösen: Der Körper schmilzt (vgl. S. 51). Zum Schmelzen muß eine bestimmte Wärmemenge, die **Schmelzwärme**, zugeführt werden.
Beim Erstarren wird dieselbe Wärmemenge wieder frei. Man bezeichnet sie als Erstarrungswärme. Die Moleküle verlieren einen Teil ihrer Bewegungsenergie und gehen wieder eine feste Bindung ein. Nach dem Erstarren nimmt der Körper außerdem im allgemeinen wieder einen kleineren Raum als im flüssigen Zustand ein. In der nebenstehenden Übersicht sind die einander entsprechenden Begriffe des Schmelz- und Erstarrungsvorganges zusammengestellt. Sie geben durch ihre unterschiedlichen Namen die Richtung der Zustandsänderung an.

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

2. Die Abhängigkeit der Schmelztemperatur vom Druck. Aus Versuchen ergab sich, daß *die Schmelztemperatur beziehungsweise die Erstarrungstemperatur eines Körpers von äußeren Umständen beeinflußt wird.* Die meisten Stoffe schmelzen bei Drucksteigerung erst bei einer höheren Temperatur. Deshalb werden in Tabellen meist die Schmelztemperaturen bei normalem Luftdruck angegeben.
Eine Ausnahme bildet das Eis. Bei erhöhtem Druck sinkt die Schmelztemperatur des Eises. Diese Verringerung der Schmelztemperatur wird aus dem in Abbildung 53/1 dargestellten Versuch ersichtlich. Ein Roheisblock wird an seinen Enden unterstützt. Die um ihn gelegte Drahtschlinge trägt ein größeres Gewichtsstück. Langsam wird die Drahtschlinge durch den Eisblock hindurchgezogen. Hebt man anschließend den Block an, so zeigt sich, daß beide Teile wieder zusammengefroren sind. Da der Draht nur einen sehr geringen Durchmesser hat, wird durch das Gewichtsstück ein großer Druck auf das Eis ausgeübt. Die Schmelztemperatur des Eises unter der Schlinge

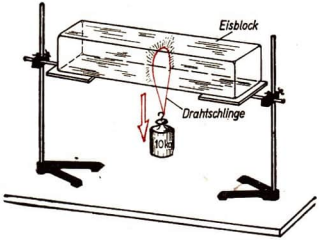


Abb. 53/1. Hindurchgleiten einer Drahtschlinge durch einen Eisblock

sinkt. Das Eis schmilzt an dieser Stelle, so daß die Schlinge tiefer sinkt. Oberhalb der Drahtschlinge gefriert das Wasser infolge der Aufhebung der Druckerhöhung sofort wieder. Aus diesen Versuchen erklärt sich auch das *Wandern der Gletscher*. Unter dem gewaltigen Druck des Eises schmelzen die Schichten an der Gletschersohle. Das sich dabei bildende Wasser wirkt als Gleitmittel; der Gletscher wandert. Die gleiche Erscheinung tritt unter den *Kufen der Schlittschuhe*, *Bobs* oder *Rodelschlitten* auf. Auch hier bildet sich durch den erhöhten Druck Wasser.

Die Schmelztemperatur ist vom Druck abhängig.

3. Die Schmelzwärme. Zum Schmelzen wird bekanntlich eine bestimmte Wärmemenge, die Schmelzwärme, benötigt. Sie kann mit Hilfe des folgenden Versuchs veranschaulicht werden (Abb. 53/2).
Ein Glaskolben wird mit kleinen Eisstücken gefüllt und im warmen Zimmer langsam erwärmt. Mit Hilfe eines Thermometers wird ständig die Temperatur gemessen. Beim Erwärmen steigt zunächst die Temperatur des Eisens an. Sind 0 °C erreicht, beginnt es zu schmelzen. Dabei kommt es während der weiteren Erwärmung zunächst zu keiner Temperaturerhöhung, solange noch Eis im Kolben enthalten ist. Erst nachdem das gesamte Eis geschmolzen ist, steigt die Temperatur des Wassers an. Stellt man die bei einem eingehenderen Versuch gewonnenen Werte grafisch dar, so erhält man das in Abbildung 54/1 dargestellte Diagramm.
Gleichartige Beobachtungen kann man beim Schmelzen vieler fester Körper machen.
Während des Schmelzens wird die zugeführte Wärmemenge zunächst nur zum Auflösung des Kristallgefüges

Abb. 53/2. Versuchsanordnung für die Beobachtung des Temperaturverlaufes beim Schmelzen von Eis

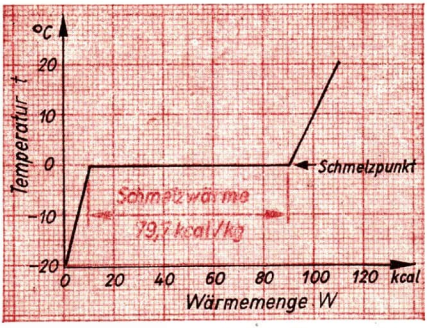


Abb. 54/1. Temperaturverlauf beim Übergang vom festen in den flüssigen Zustand. (Diagramm für 1 kg Eis.)

des Stoffes verbraucht. Sie verursacht also noch keine erhöhte Bewegung der Moleküle. So ist es zu erklären, daß die während des Schmelzvorganges zugeführte Wärmemenge nicht zu einer Temperaturerhöhung führt. Die Schmelzwärme wird in **Kilokalorien je Kilogramm** $\left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}\right)$ gemessen (vgl. hierzu untenstehende Tabelle). Jeder Stoff hat eine bestimmte Schmelzwärme.

Die Schmelzwärme eines Stoffes ist zahlenmäßig gleich der Wärmemenge, die 1 kg eines festen Stoffes zugeführt werden muß, damit er in den flüssigen Zustand übergeht. Sie wird in Kilokalorien je Kilogramm $\left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}\right)$ **gemessen.**

Die *Schmelzwärme des Eises* kann durch einen einfachen Versuch annähernd bestimmt werden.
Dazu wird 1 kg Wasser von 0° C auf 80 °C erwärmt. Dabei muß dem Wasser eine Wärmemenge von 80 kcal zugeführt werden. Man mischt nun 1 kg zerstoßenes gut abgetrocknetes Eis unter das erwärmte Wasser. Nach dem Schmelzen besitzt dies eine Temperatur von ungefähr 0 °C.

Daraus muß gefolgert werden, daß zum Schmelzen von 1 kg Eis die beträchtliche Wärmemenge von 80 kcal notwendig ist. Genaue Messungen ergaben für die Schmelzwärme des Eises den Wert 79,7 $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$.

Die Schmelzwärme des Eises beträgt 79,7 $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$.

Schmelztemperaturen (760 Torr) und Schmelzwärme einiger Stoffe

Stoff	Schmelztemperatur in °C	Schmelzwärme in $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$
Aluminium	659	94,6
Blei	327	5,9
Eis	0	79,7
Eisen	1535	64,9
Kupfer	1083	48,9
Nickel	1455	71
Platin	1774	27
Quecksilber	−39	2,7
Silber	961	25,1
Wolfram	3380	46
Zink	410	26
Zinn	232	14

In der nebenstehenden Tabelle sind die Schmelztemperaturen und -wärmen einiger wichtiger Stoffe zusammengestellt. Man erkennt aus dieser Tabelle, daß Eis eine der höchsten Schmelzwärmen besitzt.

4. Das Schwinden. Nach dem Erstarren nimmt ein Körper im allgemeinen weniger Raum ein als im flüssigen Zustand (welcher Stoff bildet eine Ausnahme?). 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 um ein bestimmtes Maß größer sein, als das zu gießende Werkstück werden soll. 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
Aluminiumlegierung	1,25

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Erkläre die drei Aggregatzustände mit Hilfe der Molekularbewegung! Was versteht man unter dem kristallinen Aufbau eines festen Körpers?
2. Weshalb steigt während des Schmelzens die Temperatur nicht an?
3. Welche Wärmemenge wird zum Schmelzen von 10 kg Eis benötigt? Wieviel Kilogramm Blei könnte man mit der gleichen Wärmemenge schmelzen?
4. Nenne Beispiele für Metallegierungen! Welches sind ihre Besonderheiten?
5. Wie groß ist die Wärmemenge, die beim Erstarren von 320 kg Eisen frei wird?
6. In einer Gießerei soll eine Abdeckplatte von 60 cm Länge und 40 cm Breite aus Stahlguß gegossen werden. Wie groß muß der Modelltischler sein Holzmodell unter Berücksichtigung des Schwindmaßes anfertigen?

5. Verdunsten. Es ist bekannt, daß nasse Straßen nach einem Regen schnell wieder trocknen. Das Wasser *verdunstet*, es geht vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand über. Eine Flüssigkeit verdunstet bei jeder Temperatur unterhalb ihrer Siedetemperatur, aber nur an der Oberfläche. Sie verdunstet um so stärker, je näher die Temperatur der Siedetemperatur der Flüssigkeit ist. Eine schon bei Zimmertemperatur schnell verdunstende Flüssigkeit ist Äther (Siedetemperatur 35 °C).
Außerdem wird das Verdunsten gefördert, wenn die Flüssigkeit eine große Oberfläche besitzt und wenn der entstehende Dampf schnell abgeführt wird. Daher trocknet Wäsche bei Wind schneller als bei Windstille.
Das Verdunsten ist ebenfalls auf die Bewegung der Moleküle zurückzuführen. In einer Flüssigkeit gibt es immer einige Moleküle, deren Bewegungsenergie so groß ist, daß sie aus der Flüssigkeit austreten können und sich sodann im Raum frei weiterbewegen. Dadurch, daß die Moleküle mit der größten Bewegungsenergie aus der Flüssigkeit austreten, wird die mittlere Bewegungsenergie der zurückbleibenden Moleküle geringer. Ein Absinken der mittleren Bewegungsenergie bedeutet aber ein Absinken der Temperatur der Flüssigkeit. Die Flüssigkeit nimmt aus der Umgebung wieder Wärme auf, falls die Umgebung eine höhere Temperatur als die Flüssigkeit aufweist. Unser Gefühl bestätigt bereits diese Feststellung. Benetzt man die Hand mit einer stark verdunstenden Flüssigkeit, so spürt man eine starke Abkühlung. Diese Tatsache nutzt zum Beispiel der Arzt aus. Muß er bei einem Patienten einen

kleinen Eingriff vornehmen, so wird die betreffende Stelle durch Vereisen betäubt. Er verwendet dazu leicht verdunstende Flüssigkeiten.

Beim Verdunsten verdampft eine Flüssigkeit nur an der Oberfläche und bei Temperaturen unterhalb der Siedetemperatur.
Verschiedene Flüssigkeiten verdunsten im allgemeinen verschieden schnell.
Die Verdunstung erfolgt um so rascher,
je größer die Oberfläche der verdunstenden Flüssigkeit ist,
je höher deren Temperatur ist
und je schneller der Dampf fortgeführt wird.

6. Sieden und Kondensieren. Im Gegensatz zum Verdunsten erfolgt das *Sieden* einer Flüssigkeit bei einer ganz bestimmten, für die Flüssigkeit charakteristischen Temperatur, der *Siedetemperatur*. So sieden Wasser bei 100 °C, Alkohol bei 78,5 °C und Quecksilber bei 357 °C. Die freien Gasmoleküle steigen dabei meist in größeren Gruppen, als Blasen sichtbar, durch die Flüssigkeit an die Oberfläche. Beim Sieden einer Flüssigkeit haben alle Moleküle bereits eine sehr große Bewegungsenergie, so daß die Moleküle in großer Anzahl aus der Flüssigkeit austreten.
Die Temperatur des Wasserdampfes beträgt bei seiner Verflüssigung ebenfalls 100 °C. Bei Alkohol und Quecksilber betragen die *Kondensationstemperaturen* 78,5 °C beziehungsweise 357 °C. Die Verflüssigung eines Stoffes erfolgt bei derselben Temperatur, bei der dieser Stoff siedet.

Die Siedetemperaturen und die Kondensationstemperatur einer Flüssigkeit fallen zusammen.

flüssig → gasförmig		gasförmig → flüssig
Verdampfen		Kondensieren
Siedetemperatur	gleich	Kondensationstemperatur
Verdampfungswärme	gleich	Kondensationswärme
(zugeführte Wärme)		(abgegebene Wärme)

In der nebenstehenden Übersicht sind die einander entsprechenden Begriffe des Überganges vom flüssigen in den gasförmigen Zustand und vom gasförmigen in den flüssigen Aggregatzustand zusammengestellt.

7. Die Abhängigkeit der Siedetemperatur vom Druck. Ebenso wie die Schmelztemperatur ist auch *die Siedetemperatur vom Druck abhängig*. Bei einer Erhöhung des Druckes steigt die Siedetemperatur. Daher werden auch die Siedetemperaturen meist für den normalen Luftdruck (760 Torr) angegeben (vgl. Tabelle auf S. 58).
Die Dampfblasen, die beim Sieden im Innern einer Flüssigkeit entstehen, steigen zur Oberfläche empor. Dabei haben sie den auf der Flüssigkeit lastenden äußeren Luftdruck zu überwinden. Ein Versuch soll darüber Aufklärung geben, welchen Einfluß Änderungen des äußeren Druckes auf den Siedevorgang haben.
Ein starkwandiger Rundkolben wird zur Hälfte mit Wasser gefüllt und erwärmt. Beim Erreichen der Siedetemperatur verdrängt der sich bildende Dampf die Luft aus dem Kolben und entweicht aus der Öffnung. Ist dies der Fall, wird der

Kolben von der Flamme genommen und der Hahn geschlossen, so daß kein Dampf mehr entweichen kann. Das Sieden hört auf. Der Kolben wird nun umgedreht (Abb. 57/1) und nach einiger Zeit vorsichtig mit kaltem Wasser übergossen. Das Wasser beginnt trotz der Abkühlung unter 100 °C wieder zu sieden. Nach mehrmaligem Wiederholen des Versuches wird der Kolbenhals mit seiner Öffnung in ein Gefäß mit Wasser getaucht und unter Wasser geöffnet. Das Wasser dringt in den Kolben ein.

Das beweist, daß im Kolben ein verminderter Druck vorhanden war. Durch die Abkühlung verdichtete sich nämlich ein Teil des im Kolben befindlichen Dampfes wieder zu Wasser. Der Versuch zeigt, *daß eine Verminderung des auf der siedenden Flüssigkeit lastenden Druckes ein Absinken der Siedetemperatur zur Folge hat.*

Umgekehrt hat *eine Drucksteigerung eine Erhöhung der Siedetemperatur zur Folge.* Auch dies kann man mit Hilfe eines Versuches nachweisen (Abb.57/2). In dem Rundkolben wirkt einmal der Luftdruck, zum anderen der Druck der bis zum Trichter reichenden Wassersäule. Bringt man das Wasser zum Sieden, so steigt seine Temperatur bis auf etwa 102 °C an. Infolge der Dampfbildung wird das Wasser aus dem Trichter geschleudert. Die Temperatur des Wassers sinkt, und das Sieden hört auf. Erst wenn die Temperatur wieder auf 102 °C gestiegen ist, setzt das Sieden ein.

Dieser Versuch veranschaulicht die Vorgänge, die sich in einem *Geysir*, wie er beispielsweise auf Island vorkommt, abspielen.

Das Sieden unter erhöhtem Druck wird unter anderem in den *Schnellkochtöpfen* ausgenutzt. In diesen Töpfen steigt die Temperatur auf über 100 °C an, so daß die Speisen in kürzerer Zeit gar werden als in offenen Kochtöpfen.

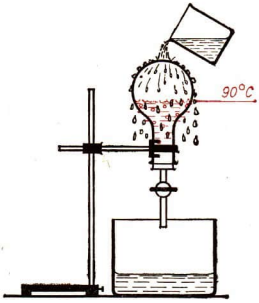


Abb 57/1. Sieden unter vermindertem Druck

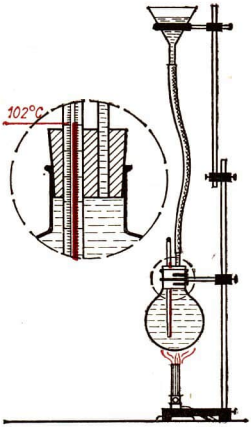


Abb. 57/2. Sieden unter erhöhtem Druck

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

8. Die Verdampfungswärme. Wird einer Flüssigkeit, die bis zum Siedepunkt erwärmt wurde, weiterhin Wärme zugeführt, so steigt die Temperatur der Flüssigkeit nicht weiter an. Die zugeführte Wärmeenergie dient dazu, die Flüssigkeit in den gasförmigen Zustand zu überführen. Diese Wärme wird *Verdampfungswärme* ge-

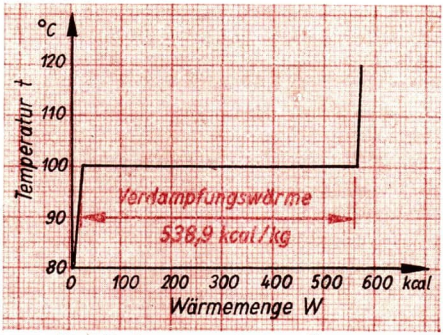


Abb. 58/1. Temperaturverlauf beim Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand. (Diagramm für 1 kg Wasser)

nannt. Erst wenn die gesamte Flüssigkeit verdampft ist, steigt die Temperatur des Dampfes weiter an. Die Abbildung 58/1 zeigt den Temperaturverlauf beim Erwärmen von Wasser. Die Verdampfungswärme ist die Energie, die nötig ist, die Moleküle aus der Flüssigkeit austreten zu lassen. Kondensiert der Dampf, so wird diese Energie in Form von Wärme wieder an die Umgebung abgegeben.

In der untenstehenden Tabelle sind die Siedetemperaturen und die Verdampfungswärmen verschiedener Stoffe zusammengestellt.

Die Verdampfungswärme ist zahlenmäßig gleich der Wärmemenge, die 1 kg einer siedenden Flüssigkeit zugeführt werden muß, damit sie in den gasförmigen Zustand übergeht. Sie wird in Kilokalorien je Kilogramm $\left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}\right)$ gemessen.

Die *Verdampfungswärme des Wassers* beträgt 538,9 $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$. Infolge dieser hohen Verdampfungswärme des Wassers lassen sich auch mit geringen Dampfmengen große Energiemengen übertragen.

Siedetemperaturen (bei 760 Torr) und Verdampfungswärmen einiger Stoffe

Stoff	Siedetemperatur in °C	Verdampfungswärme in $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$
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	538,9
Wasserstoff	−252,8	110

In Wärmekraftanlagen wird der Dampf im *Kondensator* wieder zu Wasser kondensiert. Betrachtet man die Abbildung 97/1, so erkennt man, daß der von der Turbine kommende Dampf durch das Kühlwasser im Kondensator verflüssigt wird. Er gibt dabei Wärme an das Kühlwasser ab und erwärmt es. Das erwärmte Kühlwasser wird nach Möglichkeit zum Heizen verwendet. Da jedoch der Kühlwasserverbrauch sehr groß ist, wird meist einem Teil des Kühlwassers die Wärme in Kühltürmen entzogen.

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 Kilogramm 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. Warum ist es nicht möglich, Wasser in einem offenen Gefäß bei normalem Luftdruck auf mehr als 100 °C zu erwärmen? Wozu wird die während des Siedens zugeführte Wärmemenge verwandt?
3. Warum muß man bei der Festlegung einer Thermometerskale die Bestimmung des oberen Fixpunktes (100 °C) bei normalem Luftdruck vornehmen?
4. In Großküchen sind vielfach Kochkessel aufgestellt, deren Deckel sich dicht schließend mit der Deckelwand verschrauben lassen. Welchen Einfluß hat dieser Verschluß auf den Siedevorgang? Aus welchem Grunde verwendet man solche Kessel?
5. Warum ist es auf hohen Bergen nicht möglich, Fleisch in offenen Gefäßen weichzukochen? Wie kann man sich helfen?

12. Die Wärme als Energieart[1]

1. Die Wärmeenergie. Hebt 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 gehobene Hammer als auch die gespannte Feder besitzen ein Arbeitsvermögen, sie besitzen *mechanische Energie*. So wie der gehobene Hammer haben auch bewegte Moleküle Energie. Der Energiebetrag weniger Moleküle ist jedoch sehr gering. Erst die Energie aller Moleküle eines Körpers stellt in Form der Wärme einen beachtlichen Energievorrat dar. *Wärme ist 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 eine Arbeit verrichtet. Die Ursache für das Arbeitsvermögen des Dampfes ist die zugeführte Wärme.

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

Diese Tatsache, daß durch den Druck des Dampfes ein Körper verschoben werden kann, wird in den Wärmekraftmaschinen ausgenutzt.

[1] Wärmeenergie, elektrische Energie usw. sind verschiedene Energie**arten**, kinetische und potentielle Energie sind verschiedene Energie**formen**.

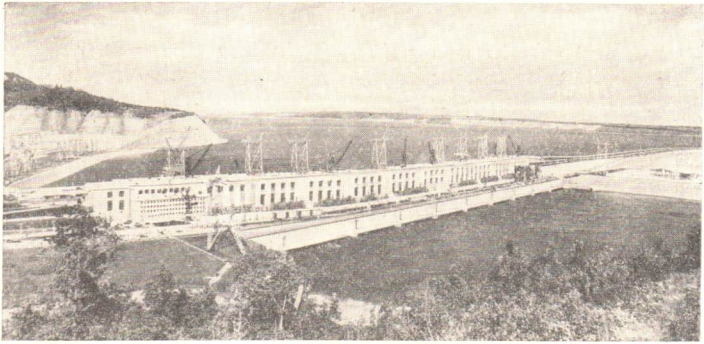


Abb. 60/1. Sowjetisches Wasserkraftwerk „W. I. Lenin" bei Kuibyschew

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 nur 40% die Erdoberfläche erreichen. Diese Energiemenge ist aber trotzdem noch sehr groß. Mit der Energiemenge, die in einer Sekunde auf die Erdoberfläche gelangt, könnte man die Wassermenge, die in drei Tagen von der Elbe in die Nordsee fließt, 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 Wassermengen. 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 in mechanische Energie umgewandelt worden. Durch das in den Stauseen gesammelte Wasser 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 1959 wurden 535900 kWh elektrische Energie aus Wasserkraftwerken gewonnen. Das sind etwa 1,5% der gesamten Elektroenergie der Deutschen Demokratischen Republik.

In der Sowjetunion sind riesige Wasserkraftwerke errichtet worden (Abb. 60/1). Sie lieferten im Jahre 1956 29 Milliarden kWh an elektrischer Energie; das sind etwa 14% der gesamten in der Sowjetunion erzeugten Elektroenergie.

3. Die Gewinnung von Wärmeenergie durch Verbrennung — Der Heizwert der Brennstoffe. Ursprünglich standen dem Menschen als Energiequellen lediglich seine eigene Muskelkraft und die Kraft von Arbeitstieren zur Verfügung. Wie gering diese Energiequellen im Vergleich zur heutigen Zeit sind, zeigt die Tatsache, daß die gesamte damalige Menschheit mit ihren Muskelkräften nur so viel Energie aufbringen konnte, wie heute ein zweimotoriges Flugzeug. Der Mensch begann aber schon bald, andere Energiequellen zu suchen. Dabei lernte er es, Naturkräfte, wie die Wasserkraft und den Wind, auszunutzen. Erst in späterer Zeit gewann man Energie aus Brennstoffen. *Heute sind Kohle, Erdöl und Erdgas die wichtigsten Energiequellen unter den Brennstoffen.*

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.

Den Quotienten aus der frei werdenden Wärmemenge und der verbrannten Stoffmenge bezeichnet man als den Heizwert.

Heizwerte einiger gebräuchlicher Brennstoffe

Brennstoff	Heizwert	
Holz, frisch	2000 bis 3500	kcal/kg
Holz, lufttrocken	3600	kcal/kg
Torf, lufttrocken	2700 bis 3500	kcal/kg
Rohbraunkohle	1500 bis 2800	kcal/kg
Braunkohlenbriketts	3900 bis 4700	kcal/kg
Steinkohle	7000 bis 8000	kcal/kg
Dieselöl	10000	kcal/kg
Vergaserkraftsoff	10200	kcal/kg
Petroleum	9700	kcal/kg
Propan	22210	kcal/m³
Wasserstoff	2580	kcal/m³
Stadtgas	3800	kcal/m³
trockenes Erdgas	700	kcal/m³

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

4. Der Energiegehalt der Nahrungsmittel. Menschen und Tiere benötigen, solange sie leben, eine bestimmte Energiemenge. Diese Energiemenge wird durch *Verbrennen der Nahrung* im Körper gewonnen. Es handelt sich hierbei um eine langsame Verbrennung. 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 benötigen der menschliche und der tierische Körper auch im Ruhezustand zur Unterhaltung der Lebensfunktionen Energie. Diese beträgt bei Erwachsenen täglich 1400 bis 2000 kcal. Der größte Teil dieser Wärmemenge ist zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur erforderlich. Bei körperlicher und geistiger Arbeit erhöht sich je nach der Schwere der Arbeit der Bedarf an Energie auf 3000 bis über 5000 kcal.

13. Das mechanische Wärmeäquivalent

1. Die Umwandlung mechanischer Energie in Wärmeenergie. Die in den Kesselhäusern von Turbinenanlagen durch Verbrennen von Kohle gewonnene Wärmeenergie wird in denTurbinen in mechanische Energie umgewandelt. 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:

Julius Robert Mayer (1814 bis 1878)

Wärmeenergie und mechanische Energie können ineinander umgewandelt werden.

Diese Erkenntnis ist für die gesamte naturwissenschaftliche Forschung und für die Anwendung der physikalischen Gesetze in der Technik von entscheidender Bedeutung. Der deutsche Arzt JULIUS ROBERT MAYER[1] kam durch Beobachtungen und Überlegungen zu der Folgerung, daß zwischen der mechanischen Energie und der Wärmeenergie ein bestimmter, zahlenmäßig angebbarer Zusammenhang bestehen müsse.

Unabhängig von JULIUS ROBERT MAYER führte der englische Physiker JAMES PRESCOTT JOULE[2] experimentelle Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen mechanischer Energie und Wärmeenergie durch (Abb. 62/1).

In einem mit Wasser gefüllten Kalorimeter wird ein mechanisches Rührwerk mit Hilfe von zwei absinkenden Gewichtsstücken in Umdrehung versetzt. Durch das Rührwerk wird das Wasser

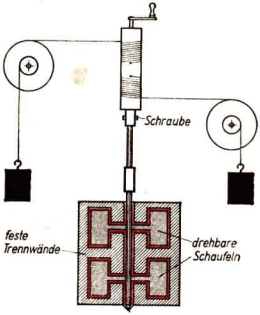


Abb. 62/1. Versuchsanordnung zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents

[1] Julius Robert Mayer (1814 bis 1878), Arzt in Heilbronn. Er war ein bedeutender Naturforscher und erkannte an dem Zusammenhang zwischen Wärme und mechanischer Energie, daß sich die Energiearten nach festen Verhältnissen ineinander umwandeln.

[2] James Prescott Joule (1818 bis 1889), ein bedeutender englischer Physiker, der auf vielen Gebieten der Physik erfolgreich arbeitete. Er untersuchte als erster die Energieumwandlungen experimentell.

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 Wärmemenge ermittelt werden, die aus der mechanischen Energie gewonnen wurde.
JOULE fand aus einer großen Anzahl von Versuchen, daß für eine Wärmeenergie von 1 kcal ein Aufwand an mechanischer Energie von etwa 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. Dabei wurde auch ein genauer Zahlenwert für das Umrechnungsverhältnis ermittelt. Es ergab sich

427 kpm = 1 kcal,
1 kpm = 2,34 cal.

Das Umrechnungsverhältnis von mechanischer Energie in Wärmeenergie bezeichnet man als mechanisches Wärmeäquivalent.
1 kcal Wärmeenergie ist 427 kpm an mechanischer Energie gleichwertig.

Zwei Beispiele soll dieses Verhältnis verdeutlichen. Wenn ein Erdarbeiter eine Woche lang jeden Tag 8 m³ Erde 1,50 m hochschippt, dann entspricht dieser mechanischen Arbeit eine Wärmeenergie, die zum Erwärmen eines Eimers Wasser (10 l) um 35 grd erforderlich ist.
Beim Verbrennen von 50 kg Braunkohlenbriketts wird soviel Energie umgesetzt, wie ein Erdarbeiter bei schwerer körperlicher Arbeit in 10 Jahren aufbringen müßte.

2. Der Satz von der Erhaltung der Energie: Bei der Verbrennung entsteht die Wärmeenergie aus chemischer Energie. Bei der Reibung wird mechanische Energie in Wärmeenergie umgesetzt. Bei allen elektrischen Heizgeräten wird elektrische Energie in Wärmeenergie umgeformt. Niemals kann Energie aus dem Nichts entstehen. Sie wird stets aus einer anderen Energieart gewonnen.

Die Wärmeenergie wird durch Umformen aus anderen Energiearten gewonnen.

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. Auch der Bohrer und das Werkstück erwärmen sich. Somit wird ein Teil der vom Elektromotor abgegebenen mechanischen Energie in Wärmeenergie umgewandelt und geht der Nutzung verloren. 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 aus mechanischer Energie und Wärmeenergie stets gleich. Eine Zunahme der Wärmeenergie ist mit einer Abnahme an mechanischer Energie verbunden.

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[1] erkannte die Allgemeingültigkeit des von JULIUS ROBERT MAYER aufgestellten Satzes für *alle* Energiearten. Diese Verallgemeinerung wird **Energieprinzip** genannt.

Energie kann nicht aus dem Nichts gewonnen werden, sie kann auch nicht verlorengehen. Es können stets nur die einzelnen Arten der Energie ineinander umgeformt werden.

Hermann von Helmholtz
(1821 bis 1894)

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 zu falschen Ergebnissen führen. In Unkenntnis dieses Gesetzes wurde immer wieder versucht, eine Maschine zu entwickeln, die ohne Energiezuführung Arbeit verrichten kann oder bei der mehr Energie gewonnen als aufgewendet wird. Diese Maschine, die man als *Perpetuum mobile* bezeichnet, kann es nach dem Energieprinzip aber nicht geben.

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 Energiearten 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 und niemals etwas aus dem Nichts entstanden sein, entstehen oder verlorengehen.*

Die Kenntnis des Energieprinzips muß bei der Entwicklung neuer Maschinen angewendet werden. Bei allen mechanischen Vorgängen entsteht 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 Energiearten herabzusetzen, um so die Antriebsenergie besser auszunutzen.

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?

[1] Hermann von Helmholtz (1821 bis 1894), einer der hervorragendsten deutschen Naturforscher des vorigen Jahrhunderts, von 1871 bis zu seinem Tode Professor in Berlin. Die Wissenschaft verdankt ihm eine große Anzahl wichtiger Erkenntnisse.

WÄRMEKRAFTMASCHINEN

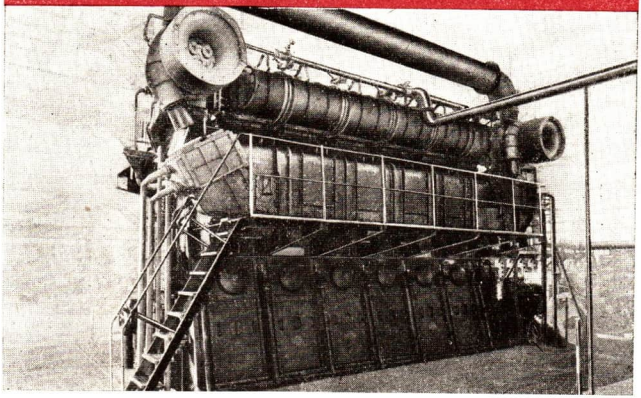


Abb. 65/1. Großdiesel für Schiffsantrieb

Vor über 250 Jahren begann der Mensch mit dem Bau von Maschinen, zu deren Antrieb er die Wärme ausnutzte. Die ersten Maschinen dieser Art wurden mit Wasserdampf angetrieben. Aus ihnen entwickelte man Dampfmaschinen mit immer größerer Leistung. So kam man unter anderem zu der Form, die heute die Dampflokomotive antreibt.

Daneben lief die Entwicklung von Wärmekraftmaschinen, in denen flüssige Treibstoffe (Benzin, Dieselöl) verbrannt werden. Sie sind bei gleicher Leistung leichter und eignen sich deshalb zum Antrieb von Motorrädern, Personenkraftwagen, Lastkraftwagen und Omnibussen. Eine besondere Art dieser Maschinen ist der Dieselmotor (Abb. 65/1). Während er zunächst nur zum Antrieb von Lastkraftwagen und kleineren Schienenfahrzeugen eingesetzt wurde, benutzt man ihn heute auch in Triebwagen und Diesellokomotiven der Deutschen Reichsbahn sowie für moderne Hochseeschiffe.

Aber auch damit ist auf dem Gebiet der Wärmekraftmaschinen die Entwicklung noch nicht abgeschlossen. So wurden für Kraftwerke Dampfturbinen hoher Leistung und zum Antrieb von Flugzeugen leistungsstarke Strahltriebwerke gebaut.

14. Die Dampflokomotive

1. Die Entwicklung der Dampfmaschine. Die ältesten wirtschaftlich genutzten Wärmekraftmaschinen sind die *Dampfmaschinen*. Durch sie werden auch heute noch die Dampflokomotiven angetrieben. Sie nutzen die Energie des unter hohem Druck stehenden Dampfes in einem Zylinder, dem *Dampfzylinder*, aus. In ihm wird ein beweglicher Kolben durch die Energie des Dampfes verschoben (Abb. 66/1).

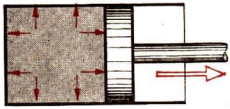


Abb. 66/1. Das Prinzip der Wirkungsweise einer Dampfmaschine

Die Urform der Dampfmaschine stammt von dem französischen Physiker DENIS PAPIN, der im Jahre 1690 erstmalig einen Dampfzylinder konstruierte (Abb. 66/2). Der Engländer THOMAS NEWCOMEN baute 1713 auf der Grundlage des *Papinschen Dampfzylinders* eine Dampfmaschine (Abb. 66/3a), die neben dem Dampfdruck auch den Luftdruck ausnutzte. Nachdem der Dampf im Zylinder Arbeit verrichtet hatte, wurde er durch Einspritzen von Wasser kondensiert. Dadurch entstand ein Unterdruck (Abb. 66/3b). Infolgedessen drückte der äußere Luftdruck den Kolben wieder in die Ausgangsstellung. Unabhängig von ihm entwickelte der Russe IWAN IWANOWITSCH POLSUNOW 1765 eine ähnliche Maschine, die mit zwei Zylindern arbeitete. Auch

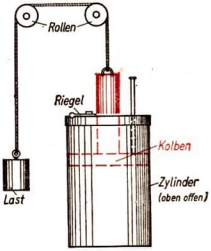


Abb. 66/2. Dampfzylinder nach Denis Papin

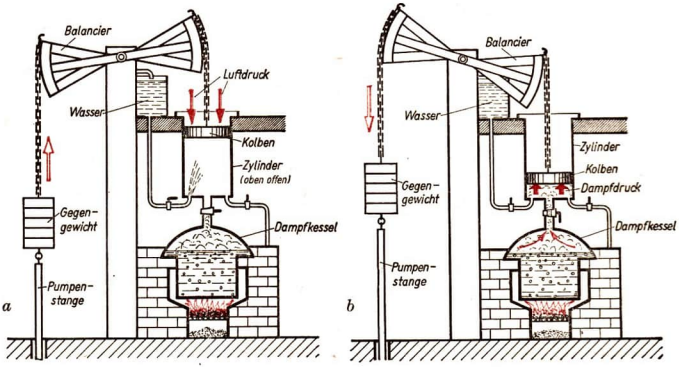
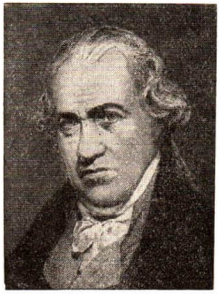


Abb. 66/3. Dampfmaschine nach Newcomen

bei dieser Maschine wirkte neben dem Dampfdruck der Luftdruck mit. Die Erfindungen von NEWCOMEN und POLSUNOW wurden jedoch nur in beschränktem Maße ausgenutzt, da man noch keinen Bedarf an solchen Maschinen hatte.

Als jedoch in England in der zweiten Hälfte des 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, da sonst das Sickerwasser nicht mehr schnell genug ausgepumpt werden konnte. So entwickelte JAMES WATT in jahrelanger Arbeit eine leistungsfähige Dampfmaschine. Sie lief 1782 zum erstenmal. Bei dieser Maschine bestand



James Watt (1736 bis 1819)

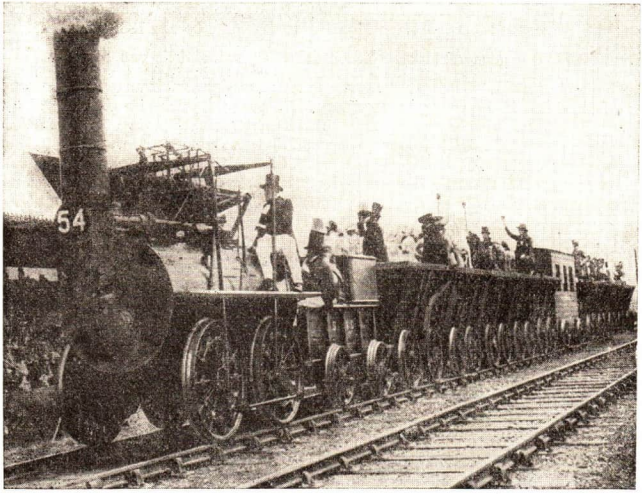


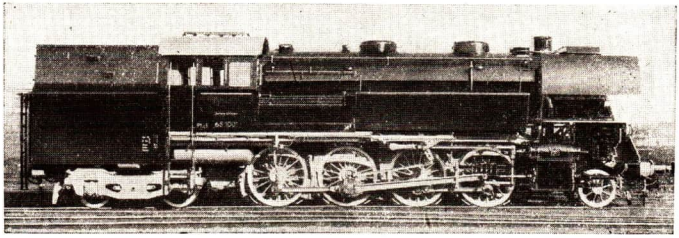
Abb. 67/1. Die erste Lokomotive der Stockton-Darlington-Bahn. Der abgebildete Zug wurde nach alten Unterlagen anläßlich des 100jährigen Jubiläums der Inbetriebnahme dieser Eisenbahnstrecke nachgebaut.

das Neue vor allem darin, daß nur noch der Dampf wirkte, und zwar im Wechsel auf beiden Seiten des Kolbens. Dadurch wurde der Kolben hin und her bewegt. Während anfangs die Ventile mit der Hand betätigt werden mußten, entwickelte WATT für seine Maschine eine sehr einfache, *selbsttätig arbeitende* Steuerung durch Schieber, die die Dampfzuführung regelte. Infolge des damals bereits erreichten Entwicklungsstandes der Technik konnte der Dämpfraum gut abgedichtet werden. Dies war eine der wichtigsten Voraussetzungen für eine bessere Ausnutzung der Energie des Dampfes und damit für eine höhere Leistung der Maschine.

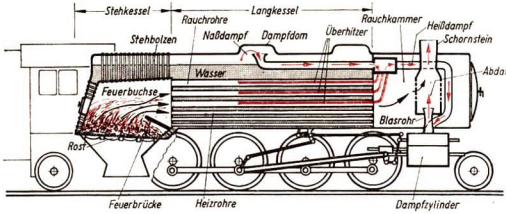
Infolge der steigenden Industrialisierung und des damit verbundenen höheren Kohlenverbrauchs reichte der Transport mit Hilfe von Pferdebahnen und sonstigen Fuhrwerken nicht mehr aus. Man versuchte daher, Dampfmaschinen zum Antrieb von Fahrzeugen zu verwenden. Der englische Maschinenbauer GEORGE STEPHENSON konstruierte 1814 die erste brauchbare Lokomotive, bei der die von JAMES WATT entwickelte Dampfmaschine als Antriebsmaschine verwendet wurde. Diese erste *Lokomotive* wurde zunächst in einem englischen Steinkohlenbergwerk eingesetzt. Erst 1825 erreichte STEPHENSON, daß die von ihm entwickelte Lokomotive auch auf einer 15 km langen Schienenbahn zwischen Stockton und Darlington verwendet wurde (Abb. 67/1). 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 bereits 1830 STEPHENSONS Maschine ohne Zuglast die damals 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. 68/1). Die erste Fernbahnlinie in Deutschland war die 120 Kilometerlange 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. Peters-

Abb. 68/1. Der erste Dampfzug in Deutschland



a) Ansicht



b) Schnitt

Abb. 69/1. Lokomotive der Baureihe 65^{10}, hergestellt im VEB Lokomotivbau Elektrotechnische Werke Hans Beimler, Hennigsdorf bei Berlin

burg, 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.

2. Der Aufbau und die Wirkungsweise einer Dampflokomotive. *a) Der Kessel.* Der größte und auffälligste Teil der Dampflokomotive ist die *Kesselanlage*. In ihr wird der Dampf für die Dampfmaschinen erzeugt (Abb. 69/1). In der *Brennkammer*, auch *Feuerbuchse* genannt, wird die Kohle verbrannt. Die heißen Verbrennungsgase strömen durch eine größere Anzahl parallelliegender *Rohre*, die vollständig von Wasser umgeben sind (Abb. 69/2). Durch die große Anzahl der Rohre wird die Heizfläche vergrößert, damit die erforderliche Dampfmenge erzeugt werden kann. Die Rauchgase gelangen nach dem Verlassen der *Rauchrohre* (auch *Heizrohre* genannt) in die *Rauchkammer* und von da durch den *Schornstein* ins Freie.

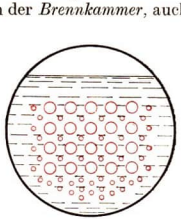


Abb. 69/2. Schnitt durch einen Lokomotivkessel

Der im Kessel entstandene Dampf sammelt sich im Dampfdom. In ihm sind noch viele kleine Wassertröpfchen enthalten. Dieser *Naßdampf* würde in den Rohrleitungen kondensieren. Um den Energiegehalt des Dampfes zu

erhöhen, wird er im *Überhitzer* weitererwärmt. Dieser Heißdampf hat eine Temperatur von 300 °C bis 400 °C und einen Druck von 13 at bis 17 at. Mit dem größeren Druck und der höheren Temperatur wird das Arbeitsvermögen des Dampfes größer.

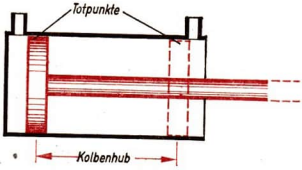


Abb. 70/1. Schematische Darstellung eines Zylinders

In die Rauchkammer ist ein *Blasrohr* mit der Öffnung zum Schornstein eingebaut. Seine Wirkungsweise ist ähnlich wie bei der Wasserstrahlpumpe. Durch das Blasrohr strömt der Dampf, nachdem er Arbeit verrichtet hat, noch mit einem Überdruck von 1,2 at bis 1,3 at aus den Zylindern. Dabei entsteht ein Sog, durch den die Verbrennungsgase aus dem Schornstein gerissen werden. In der Feuerbuchse entsteht dadurch ein Unterdruck, so daß Frischluft durch den Rost nachströmt. Je mehr 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. Dadurch wird die Verbrennung stärker, so daß entsprechend dem größeren Verbrauch mehr Dampf erzeugt wird. Bei geringerem Dampfverbrauch sinkt der Sog und damit die Luftzufuhr. So steuert diese Vorrichtung selbsttätig die Menge der Verbrennungsluft.

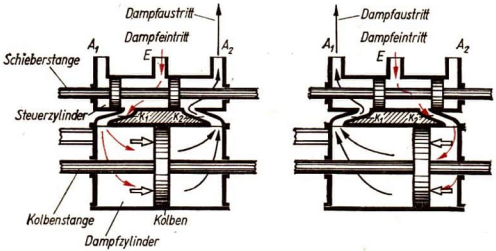


Abb. 70/2. Kolbenschiebersteuerung

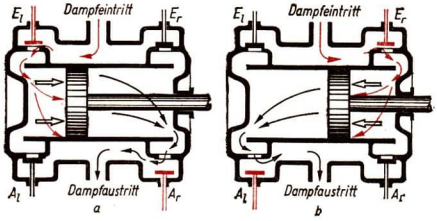
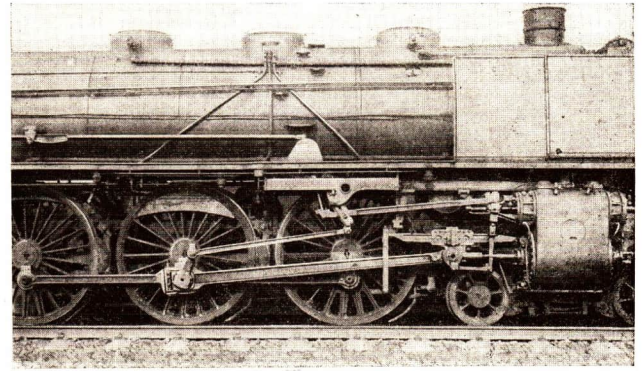


Abb. 70/3. Ventilsteuerung

b) Die Arbeitsweise der Dampfmaschine. Jede Lokomotive ist mit mindestens zwei *Dampfmaschinen* ausgerüstet, die sich an beiden Seiten der Lokomotive befinden. Der Hauptteil jeder Dampfmaschine ist der *Zylinder*, in dem sich ein *Kolben* bewegt, der mit der *Kolbenstange* fest verbunden ist (Abb. 70/1). Der Kolben bewegt sich im Zylinder hin und her. Läßt man von links Dampf einströmen, so wird der Kolben nach rechts gedrückt. Strömt der



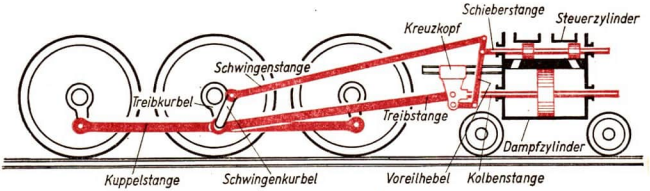


Abb. 71/1. Das Triebwerk einer Lokomotive
a) Ansicht, b) stark vereinfachte Darstellung der Kraftübertragung

Dampf dagegen von rechts in den Zylinder, so wird der Kolben nach links geschoben. Die Umkehrpunkte des Kolbens heißen *Totpunkte*. Der Weg des Kolbens zwischen den beiden Totpunkten wird *Kolbenhub* genannt. Die Umlenkung des Dampfes nach der linken oder rechten Einlaßöffnung des Zylinders wird durch eine *Kolbenschiebersteuerung* erreicht. Erkläre ihre Wirkungsweise an Hand der Abbildung 70/2!
Die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens wird mittels eines Pleuelgelenks auf die Räder übertragen. Dabei wird die geradlinige Bewegung in eine Drehbewegung umgewandelt (Abb. 71/1). Vom Rad aus wird auch die Schieberstange bewegt, so daß die Dampfmaschine ihre Dampfzufuhr selbst steuert.
Bei *ortsfesten Dampfmaschinen* verwendet man statt der Kolbenschiebersteuerung meist die *Ventilsteuerung*. Bei ihr werden die Ein- und Ausströmkanäle durch *Ventile* geöffnet beziehungsweise geschlossen. Erkläre unter Verwendung der Abbildung 70/3 die Wirkungsweise der Ventilsteuerung!

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 be-

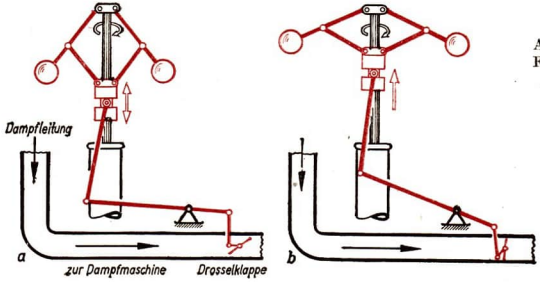


Abb. 72/1
Fliehkraftregler

festigten Kugeln infolge ihrer Trägheit nach außen bewegt (Abb. 72/1a). 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. Infolgedessen wird die Drosselklappe so gedreht, daß die Dampfzufuhr geringer wird (Abb. 72/1b). 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*.

3. 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 entnommen werden, die ihr zugeführt wurde. 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 werden. Der Energieverlust kann aber auch andere Ursachen haben. Nenne solche Ursachen!
Die *Energieverluste* sind bei einer Dampfmaschine besonders 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 oder 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 ihn

noch mit einem Überdruck und einer Temperatur von über 100 °C. Schließlich geht ein Teil der gewonnenen mechanischen Arbeit durch Reibung für die Nutzung verloren. Setzt man den Heizwert des Brennstoffes mit 100% an, so werden von dieser zugeführten Energiemenge nur etwa 12% genutzt (Abb. 73/1). Den Quotienten aus der **abgegebenen Leistung** (P_{ab}) und der **zugeführten Leistung** (P_{zu}) bezeichnet man als den **Wirkungsgrad** (η)[1]. Dabei müssen beide Leistungen selbstverständlich in der gleichen Leistungseinheit angegeben werden.

Den Quotienten aus der abgegebenen Leistung und der zugeführten Leistung bezeichnet man bei einer Maschinenanlage als Wirkungsgrad.

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}.$$

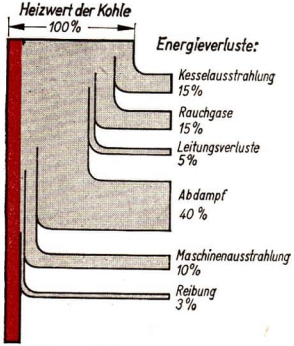


Abb. 73/1. Energiediagramm einer Kolbendampfmaschine

4. Die Verwendung der Dampfmaschine. Die Bedeutung, die die Dampfmaschine auch heute noch hat, ist auf drei 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 störanfällig.

Trotz der genannten Vorteile wird die Dampfmaschine in immer größerem Umfange durch andere Wärmekraftmaschinen ersetzt. Der ständige Rückgang der Bedeutung der Dampfmaschine ist vor allem durch ihren geringen wirtschaftlichen Wirkungsgrad bedingt.
Einen wesentlich günstigeren Wirkungsgrad haben die *Elektroloks* (Abb. 74/1) und die *Dieselloks* (Abb. 74/2). Daher wird die *Elektrifizierung* wichtiger Eisenbahnstrecken unserer Deutschen Demokratischen Republik fortgesetzt. Elektroloks verbrauchen im Gegensatz zu Dampflokomotiven nur während der Fahrt Energie. Außerdem sind sie stets sofort einsatzbereit.
Ähnliche Vorteile haben auch die Dieselloks, die außerdem an kein elektrisches Oberleitungsnetz gebunden sind. 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. 74/3), die ebenfalls mit Dieselmotoren angetrieben werden.

[1] sprich: eta

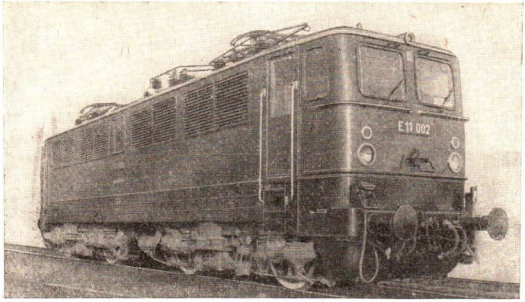
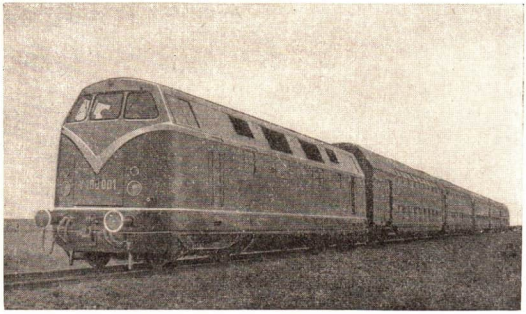
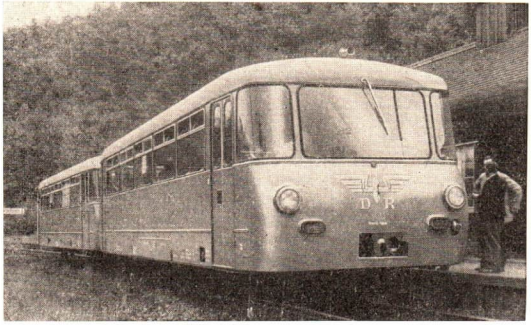


Abb. 74/1 (oben)
Elektrolok
Abb. 74/2 (rechts)
Diesellok
Abb. 74/3 (unten)
Neu entwickelter
Schienenbus





In den kommenden Jahren wird die Verwendung der Elektroloks und der Dieselloks in immer stärkerem Maße zunehmen. Wie auch in anderen sozialistischen Ländern, zum Beispiel in der Sowjetunion und in der Tschechoslowakischen Sozialistischen Republik, wurde die Produktion von Dampflokomotiven bereits eingestellt. Da aber die Elektrifizierung und der Bau der Elektroloks und der Dieselloks einen längeren Zeitraum beanspruchen, so werden auch noch in den nächsten Jahren viele Dampflokomotiven auf den Strecken unserer Deutschen Demokratischen Republik verkehren.

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Warum wurden die erste Dampfmaschine und die erste Dampflokomotive in England entwickelt?
2. Warum ist der Wirkungsgrad einer Dampflokomotive so gering? Wie erreicht man eine Verbesserung dieses Wirkungsgrades?
3. In einem Betrieb wurde berechnet, daß dem Kessel der dort arbeitenden Dampfmaschine in einer Sekunde durchschnittlich 2300 kcal zugeführt werden. Die abgegebene Leistung der Dampfmaschine beträgt 150000 kpm/s (2000 PS). Wie groß ist der wirtschaftliche Wirkungsgrad?
4. Beschreibe bei einer Lokomotive die Umwandlung der linearen Bewegung des Kolbens in die Drehbewegung der Räder! Welche einfachen kraftumformende Maschinen erkennst du dabei?

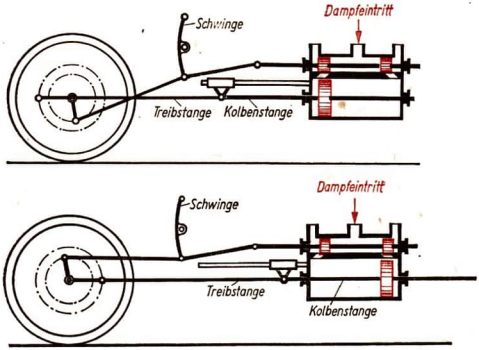


Abb. 75/1. Stellung der Dampfmaschine in den beiden Totpunktstellungen

5. Die Abbildung 75/1 zeigt die Dampfmaschine einer Lokomotive in den beiden Totpunktstellungen. Begründe, warum aus diesen Stellungen heraus die Räder nicht bewegt werden können. Warum kann die Lokomotive trotzdem stets anfahren?

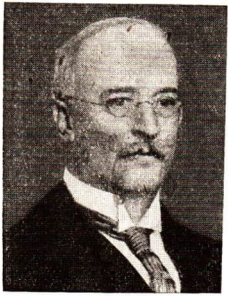
15. Die Brennkraft-Kolbenmaschinen

1. Geschichtliche Entwicklung. Bereits ehe DENIS PAPIN seinen Dampfzylinder schuf, wurden Versuche unternommen, die *Expansion von Verbrennungsgasen* auszunutzen. 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 der äußere Luftdruck wirken konnte. Als man jedoch feststellte, daß der gleiche Vorgang mit Wasserdampf hervorgerufen werden kann, wurden zunächst keine weiteren Versuche durchgeführt. Mit der Erfindung der Dampfmaschine war ja zunächst eine leistungsfähige Antriebsmaschine entwickelt worden.

Nikolaus Otto (1832 bis 1891)

Infolge der zunehmenden Industrialisierung im 19. Jahrhundert wurde jedoch der Bedarf an Antriebsmaschinen immer größer. Die Nachteile der Dampfmaschinen, die vor allem große Dampferzeugungsanlagen benötigten, wurden nun auch immer spürbarer. 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 m^3 Leuchtgas verbrauchte, was verglichen mit den heutigen Motoren ein sehr hoher Verbrauch war.

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 Leuchtgas, später jedoch Benzin verwendet. Die mit diesem Kraftstoff betriebenen Motoren werden *Ottomotoren* genannt.



Rudolf Diesel (1858 bis 1913)

Der deutsche Ingenieur RUDOLF DIESEL entwickelte den Ottomotor so weiter, daß als Kraftstoff der später nach ihm benannte Dieselkraftstoff verwendet werden konnte. Bei dem von Diesel entwickelten Motor ist keine elektrische Zündung erforderlich. Derartige Motoren werden als *Dieselmotoren* bezeichnet.

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 Benzin bzw. Dieselöl, im Zylinder selbst verbrannt. Die dabei frei werdende 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 Benzin-Luft-Gemisch durch einen elektrischen Funken gezündet wird und verbrennt;
b) *Dieselmotoren*, in denen sich ein Dieselkraftstoff-Luft-Gemisch infolge starker Verdichtung selbst entzündet und verbrennt.

Als gemeinsames Merkmal gilt für die beiden Gruppen der Wärmekraftmaschinen: *Sie nutzen die Expansion eines Gases zum Verrichten von Arbeit aus.*

FRAGEN

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

16. Der Viertakt-Ottomotor

1. Wirkungsweise des Ottomotors. Die Hauptteile des Ottomotors sind der *Zylinder* mit den *Ventilen*, der *Kolben*, die *Pleuelstange*, die *Kurbelwelle*, der *Vergaser*, die *Zündungsanlage*, die *Kühlanlage*. 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 mittels eines elektrischen Zündfunkens 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 der Kurbelwelle werden sowohl die Zündeinrichtung und die Kühlwasserpumpe angetrieben als auch die Ventile gesteuert.

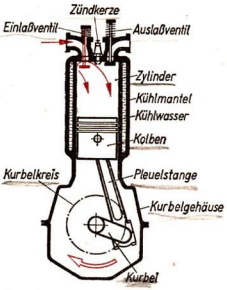


Abb. 77/1. Schnitt durch einen Zylinder

2. Der Aufbau des Zylinders. Der in Abbildung 77/1 wiedergegebene Zylinder eines Ottomotors enthält in seinem oberen Teil, dem *Zylinderkopf*, das *Einlaßventil*, das *Auslaßventil* und die *Zündkerze*. 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. 78/1). Diese Kolbenringe liegen zur Abdichtung eng an der Zylinderwand an. Der unterste

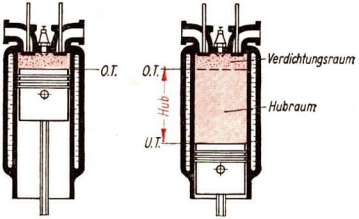


Abb. 78/1 (links). Kolben mit Kolbenringen
Abb. 78/2 (oben). Verdichtungsraum und Hubraum eines Ottomotors

Ring streift gleichzeitig das überflüssige Schmieröl ab, damit es nicht in den Verbrennungsraum gelangt.
Die beiden Umkehrpunkte des Kolbens werden als *Totpunkte* bezeichnet. Befindet sich der Kolben im oberen, dem äußeren Totpunkt, so schließt er mit dem Zylinderkopf den *Verdichtungsraum* ein (Abb. 78/2). 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. Von seinem Volumen ist die Leistung des Motors wesentlich abhängig (vgl. Tabelle auf S. 93).

3. Die Arbeitsweise des Viertaktmotors. Die Vorgänge, die sich im Zylinder abspielen, teilt man in *vier Takte* ein.

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. 79/1).

2. Takt: Der Kolben bewegt sich in Richtung des Zylinderkopfes. Da beide Ventile geschlossen sind, wird das Gemisch durch den Kolben stark verdichtet. Der Verdichtungsdruck beträgt 10 at bis 16 at (Abb. 79/2).

3. Takt: Mit Hilfe der Zündkerze wird das Kraftstoff-Luft-Gemisch entzündet; es verbrennt. Die Verbrennungsgase haben eine Temperatur von 1500 °C bis 2000 °C und einen Druck von 25 at bis 28 at. Die Gase dehnen sich infolgedessen mit großer Kraft aus und bewegen den Kolben in Richtung der Kurbelwelle (Abb. 79/3).

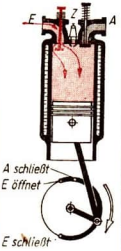
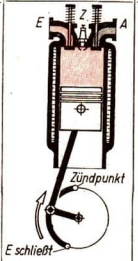
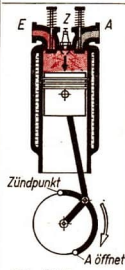
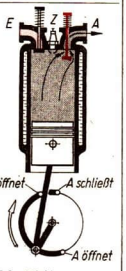
4. Takt: Der Kolben gleitet in Richtung des Zylinderkopfes und schiebt die Verbrennungsgase durch das geöffnete Auslaßventil aus (Abb. 79/4).

Faßt man diese Vorgänge kurz zusammen, so gilt für die einzelnen Takte:

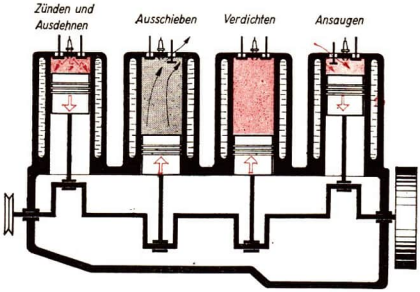
1. Takt: *Ansaugen,*
2. Takt: *Verdichten,*
3. Takt: *Zünden und Ausdehnen,*
4. Takt: *Ausschieben.*

In der folgenden Tabelle sind die Vorgänge im Zylinder und die Stellungen der Ventile während der vier Takte noch einmal zusammengestellt.

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	 Abb. 79/1	 Abb. 79/2	 Abb. 79/3	 Abb. 79/4
Zeitpunkt für das Öffnen und Schließen der Ventile				

Während der vier Takte macht die Kurbelwelle zwei volle Umdrehungen. Doch nur im dritten Takt, das heißt während einer halben Umdrehung, wird Arbeit verrichtet und damit Energie auf die Welle übertragen. Besteht der Motor aus mehr

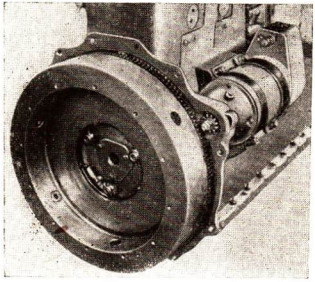


als einem Zylinder, so erhöht sich die Anzahl der Arbeitstakte bei je zwei Kurbelumdrehungen. Beispielsweise wird in einem *Vierzylindermotor* bei zwei Umdrehungen viermal Arbeit verrichtet (Abb. 80/1). Die Zündungen erfolgen aber nicht in der Reihenfolge der Zylinder (1, 2, 3, 4), sondern beim Vierzylindermotor in der Folge 1, 3, 4, 2. Durch die größere Anzahl der Zylinder

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. 80/1. Taktfolge eines Vierzylinder-Viertakt-Motors

und durch die besondere Zündfolge erreicht man einen gleichmäßigeren und ruhigeren Lauf des Motors.
An jeder Kurbelwelle ist ein *Schwungrad* montiert (Abb. 80/2). Seine Masse und damit seine Trägheit müssen so groß sein, daß die Kurbelwelle jeweils bis zum nächsten Arbeitstakt weitergedreht wird.



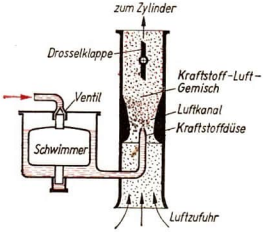


Abb. 80/3 (oben). Vergaser
Abb. 80/2 (links). Schwungrad

4. 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. 80/3) und gelangt zunächst in das *Schwimmergehäuse.* Hier regelt eine schwimmende Dose, der *Schwimmer*, den Kraftstoffzufluß. Schwimmergehäuse und Düse stellen verbundene Gefäße dar. Die Höhe der Flüssigkeitsoberfläche wird vom Schwimmer so geregelt, daß der Kraftstoff bis zur Mündung der Düse reicht, aber nicht herausläuft. Erkläre die Wirkungsweise des Schwimmers!
Durch die an der Düse vorbeiströmende Luft entsteht an der 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. Kraftstoff und Luft sind infolgedessen in inniger Berührung, so daß eine möglichst vollständige Verbrennung erreicht wird.

Abb. 81/1
Zündkerze

5. Die Zündanlage. Das Kraftstoff-Luft-Gemisch wird im Zylinder mit Hilfe eines elektrischen Funkens gezündet. Dieser Funken springt im geeigneten Augenblick zwischen zwei Metallstiften, den Elektroden der *Zündkerze*, über (Abb. 81/1). Dazu ist eine sehr hohe elektrische Spannung erforderlich. Diese wird mit Hilfe einer Zündspule oder einer Zündmaschine erzeugt, auf deren Wirkungsweise hier noch nicht eingegangen werden kann.

6. Die Ventilsteuerung. Die Ventile werden meist mit Hilfe einer *Nockenwelle* gesteuert. Während die Kurbelwelle zwei Umdrehungen ausführt, dreht sich die mit ihr verbundene Nockenwelle nur einmal (Abb. 81/2). 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. Während das Einlaßventil im ersten Takt geöffnet werden muß, hat dies für das Auslaßventil im vierten Takt zu erfolgen (vgl. Tabelle auf S. 79). Das erreicht man dadurch, daß man die zum Einlaß- und zum Auslaßventil eines Zylinders gehörenden Nokken gegeneinander versetzt. Und zwar macht dies eine Dreiviertelumdrehung aus (Abb. 82/1).
Durch die sich drehende Nockenwelle werden jeweils ein Stößel und die damit verbundene Stange gehoben (Abb.82/2). Diese drückt gegen den einen Arm eines zweiseitigen Hebels, so daß das

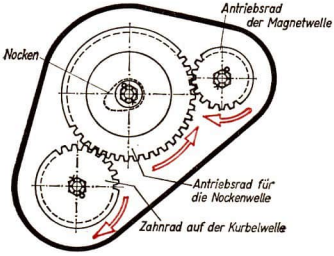


Abb. 81/2. Antrieb der Nockenwelle

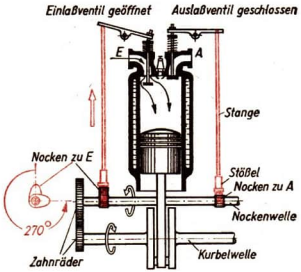


Abb. 82/1. Stellung der zu den Ventilen eines Zylinders gehörenden Nocken

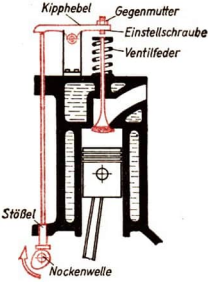


Abb. 82/2. Ventilsteuerung

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.

7. Die Kühlung. Da bei der Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches Temperaturen bis zu 2000 °C auftreten, muß ständig Wärme abgeführt werden. Diese Temperatur liegt oberhalb der Schmelztemperatur des Eisens. Zur Kühlung der Zylinder wird entweder *Luft* oder *Wasser* verwendet. Bei Motoren für Kraftfahrzeuge 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. 82/3). Es strömt dabei durch die lamellenartigen Röhrchen des *Kühlers*, der die Wärme an die umgebende Luft abgibt (Abb. 82/4). Ein vom

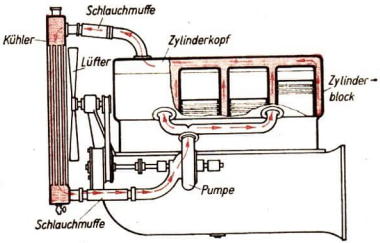


Abb. 82/3. Die Kühlung eines Motors

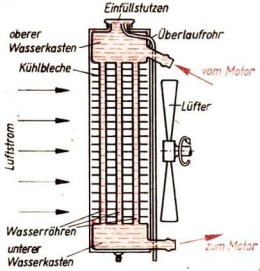


Abb. 82/4. Schnitt durch Wasserkühler

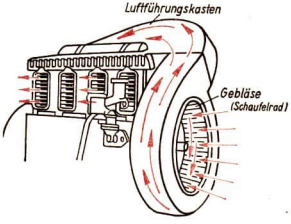


Abb. 83/1. Luftstromverlauf bei der Luftkühlung

Motor angetriebener Ventilator sorgt 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 kleinen Motortypen ist die Umlaufpumpe nicht vorhanden. Das Wasser strömt infolge der Wärmeströmung von selbst durch den Kühlmantel. Welche physikalischen Gesetze sind hierbei wirksam ?

Bei der *Luftkühlung* wird die Luft durch Leitbleche um die Zylinder gelenkt (Abb. 83/1). 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. Diese Gründe beeinflußten auch maßgeblich die Entscheidung, welche Art der Kühlung bei Flugzeugmotoren verwendet werden soll. Die Entscheidung fiel zugunsten der Luftkühlung aus.

Eine einwandfreie Kühlung ist für die Betriebssicherheit des Motors von ausschlaggebender Bedeutung. Wird der Motor infolge ungenügender Kühlung zu heiß, so würde sich der Kolben zu stark ausdehnen, was vermieden werden muß. Außerdem würden sich die Materialeigenschaften ändern, was zu einem erhöhten Verschleiß führen würde. Schließlich verliert das Schmieröl bei zu starker Erwärmung seine Schmierfähigkeit. Infolgedessen wird die Reibung größer, so daß die Kolben in den Zylindern klemmen können, man sagt, „sie fressen sich fest". Ein solcher Schaden, der zu einem Ausfall des Motors führt, muß durch entsprechende Wartung und Pflege des Fahrzeuges unbedingt vermieden werden.

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

Eine einfache Art der Schmierung ist die *Tauchschmierung* (Abb. 83/2). 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.

Reicht diese Art der Schmierung nicht aus, so wird unter Verwendung einer Pumpe das Öl an alle zu schmierenden Teile gedrückt *(Druckschmierung)*.

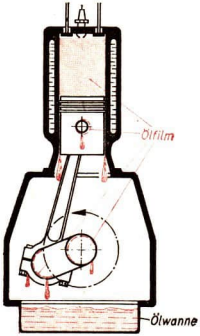


Abb. 83/2. Tauchschmierung

Abb. 84/1
Personenkraftwagen vom Typ „Wolga“

9. Die Verwendung des Viertakt-Ottomotors. Viertakt-Ottomotoren werden vor allem für Kraftfahrzeuge, insbesondere *Personenkraftwagen*, verwendet. So sind beispielsweise die in der Sowjetunion hergestellten Personenkraftwagen „Moskwitsch“ und „Wolga“ mit Viertakt-Ottomotoren ausgestattet (Abb. 84/1). Weiterhin dient der Viertakt-Ottomotor zum Antrieb der *Luftschrauben von Flugzeugen* (vgl. S. 103).

17. Der Zweitaktmotor

1. Die Arbeitsweise des Zweitaktmotors. Die Vorgänge, die sich im Viertaktmotor in vier Takten abspielen, gehen bei dem *Zweitaktmotor* in zwei Takten vor sich.

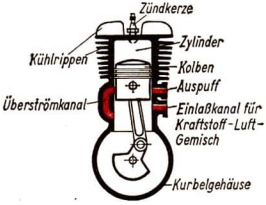


Abb. 84/2
Zylinder eines Zweitaktmotors

1. Takt: *Ansaugen und Verdichten*

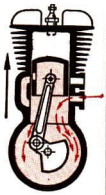
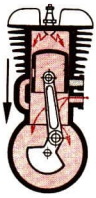
2. Takt: *Zünden und Ausdehnen, Durchspülen.*

Der Zweitaktmotor arbeitet ohne Ventile (Abb. 84/2). Der Einlaßkanal, die Austrittsöffnung und der *Überströmkanal* werden durch den Kolben selbst geschlossen und geöffnet. Der Überströmkanal verbindet Zylinder- und Kurbelgehäuse miteinander. Das Kurbelgehäuse ist insgesamt dicht abgeschlossen.
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. Infolgedessen wird Gemisch angesaugt, sobald der Kolben den Einlaßkanal freigegeben hat (Abb. 85/1 und 85/2).

2. Takt: Das verdichtete Kraftstoff-Luft-Gemisch wird mit Hilfe einer Zündkerze entzündet; es verbrennt. Die Verbrennungsgase treiben den Kolben in Richtung der Kurbelwelle. Dabei wird vom Kolben der Einlaßkanal geschlossen und das unterhalb des Kolbens im Kurbelgehäuse befindliche 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. 85/3 und 85/4).

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	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. 85/1	Abb. 85/2	 Abb. 85/3	Abb. 85/4

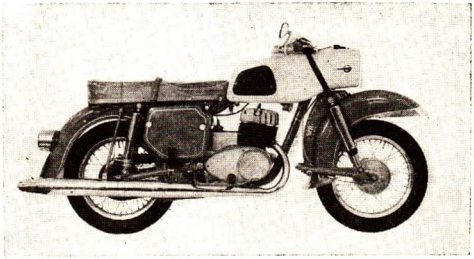


Abb. 86/1. Motorrad vom Typ MZ ES 250/2, Leistung des Motors 17,5 PS

2. Die Schmierung des Zweitaktmotors. Die Schmierung unterscheidet sich bei Zweitaktmotoren wesentlich von der bei Viertaktmotoren. Das Öl wird bereits dem Brennstoff in einem bestimmten Verhältnis, zum Beispiel 1:25, beigemischt. Es gelangt mit dem Treibstoff in den Zylinder. Während der Treibstoff verbrennt, schlägt sich das Öl zum Teil an der Innenwand nieder und schmiert so die Flächen, an denen der Kolben entlanggleitet.

3. Die Verwendung des Zweitakt-Ottomotors. Da sich die geschilderten Vorgänge beim Zweitaktmotor innerhalb von zwei Takten, das heißt während einer Kurbelumdrehung, abspielen, verrichtet der Zweitaktmotor im Gegensatz zum

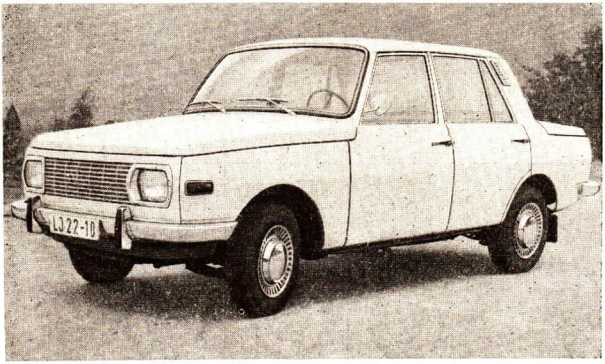


Abb. 86/2. Personenkraftwagen vom Typ „Wartburg". Leistung des Motors 45 PS

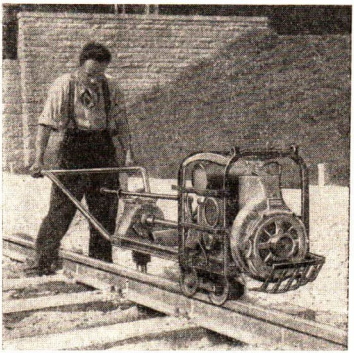


Abb. 87/1. Schwellenschraubmaschine
Abb. 87/2. Motorsäge

Viertaktmotor bei jeder Kurbelumdrehung Arbeit. Trotzdem ist bei gleichen äußeren Abmessungen die Arbeit je Kurbelumdrehung und je Zylinder 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 entfernt. Deshalb vermischt sich das Kraftstoff-Luft-Gemisch teilweise mit den Verbrennungsgasen. Bei gleichem Treibstoffverbrauch hat ein Zweitaktmotor nur etwa vier Fünftel der Leistung eines Viertaktmotors. Da die Arbeitstakte in kürzeren Zeitabständen folgen als beim Viertaktmotor, steigt die Betriebstemperatur. Warum? Deshalb arbeitet man mit geringeren Drehzahlen, was sich negativ auf die Leistung auswirkt.
Trotzdem wird der Zweitaktmotor vielseitig, insbesondere für *Motorräder* (Abb. 86/1) und *Personenkraftwagen* (Abb. 86/2), aber auch zum *Antreiben von Sägen, Pumpen* und dergleichen verwendet (Abb. 87/1 und 87/2).
Der Zweitaktmotor hat gegenüber dem Viertaktmotor die folgenden wesentlichen Vorteile:

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

Diesen Vorteilen stehen folgende Nachteile gegenüber:

1. geringere Leistung bei gleichem Kraftstoffverbrauch,
2. geringere Drehzahl, um die Betriebstemperatur in den zulässigen Grenzen zu halten.

18. 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. Die 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 25 at bis 45 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. 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 30 at bis 60 at bleibt infolge der fast gleichmäßigen Verbrennung eine Zeitlang nahezu konstant. Auch Dieselmotoren können als Viertaktmotoren und als Zweitaktmotoren gebaut werden.

Im einzelnen spielen sich im Dieselmotor folgende Vorgänge ab:

4-Takt-Dieselmotor

1. Takt: Ansaugen (nur Luft)
2. Takt: *Verdichten* (nur Luft)
3. Takt: *Einspritzen und Verbrennen des Kraftstoffes, Ausdehnen*
4. Takt: *Ausschieben*

2-Takt-Dieselmotor

1. Takt:	Im Zylinder:	*Verdichten* (nur Luft)
	im Kurbelgehäuse:	*Ansaugen* (nur Luft)
2. Takt:	Im Zylinder:	*Einspritzen und Verbrennen des Kraftstoffs, Ausdehnen, Durchspülen*
	Im Kurbelgehäuse:	*Vorverdichten der angesaugten Luft, Überströmen in den Zylinder.*

Bei größeren Dieselmotoren (vgl. Abb. 65/1) wird die Luft durch einen besonderen *Kompressor* vorverdichtet, der entweder vom Motor selbst oder durch eine besondere Maschine angetrieben wird.

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* (Abb. 89/1) ist daher ein wesentlicher Bestandteil des Dieselmotors.

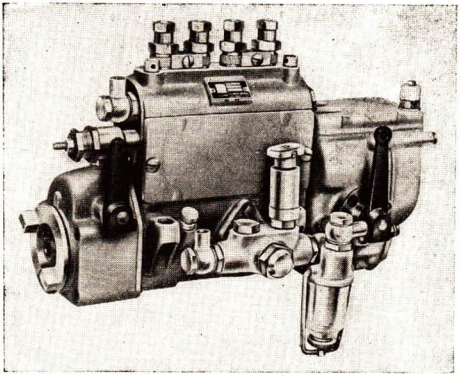


Abb. 89/1
Einspritzpumpe
für einen Vierzylinder-
Viertakt-Dieselmotor

Die Einspritzpumpen sind *Kolbenpumpen*. Man erreicht 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 (Abbildung 89/2). 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.

3. Vergleich von Diesel- und Ottomotoren. Zur Beurteilung einer Wärmekraftmaschine ist die Größe des *Wirkungsgrades* von 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. Die Einheit für den Kraftstoffverbrauch ist daher $\frac{g}{PS \cdot h}$. Während beim Ottomotor 220 $\frac{g}{PS \cdot h}$ bis 350 $\frac{g}{PS \cdot h}$ benötigt werden, braucht man für den Dieselmotor 160 $\frac{g}{PS \cdot h}$ bis 250 $\frac{g}{PS \cdot h}$. 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 not-

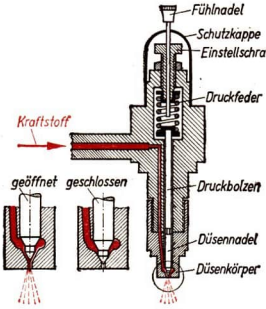


Abb. 89/2. Düse mit Düsennadel

wendig. Auf Grund dieser kräftigeren Bauart sind Dieselmotoren schwerer als Ottomotoren gleicher Leistung.
Trage in eine Tabelle nach der Art des folgenden Schemas die Ergebnisse, die sich aus einem Vergleich der beiden Motortypen ergeben, ein.

Vergleich von Ottomotor und Dieselmotor

	Ottomotor	Dieselmotor
Kraftstoff		
Gemischbildung		
Zündung		
Verdichtungsverhältnis		
Verdichtungsenddruck		
Verbrennungsdruck		
Kraftstoffverbrauch		
Feuergefahr		
Leistungsgewicht		
Wirkungsgrad		

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

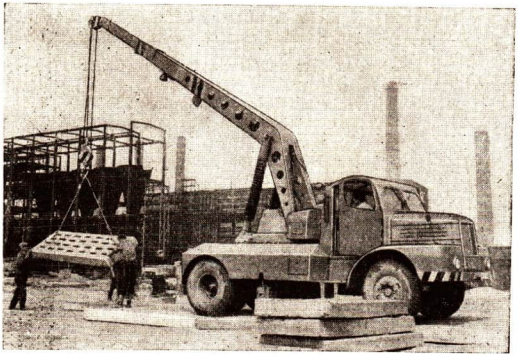


Abb. 90/1
Kranwagen

Motorräder und Personenkraftwagen und für Flugzeuge (vgl. S. 103). Der Mehrverbrauch an Kraftstoff ist infolge 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. 90/1), Traktoren (Abb. 91/1, 91/2 und 91/3), Panzer (Abbildung 92/1), Baumaschinen, Eisenbahntriebwagen (Abbildung 92/2), Schiffe (vgl. Abb. 65/1) aller Art und vor allem *stationäre Anlagen vorwiegend mit Dieselmotoren* ausgerüstet. Für den Schiffsdiesel auf Seite 65 gelten folgende Werte:

Zweitaktmotor mit 6 Zylindern und einer Leistung von 4000 PS

Drehzahl: 225 $\frac{U}{min}$;

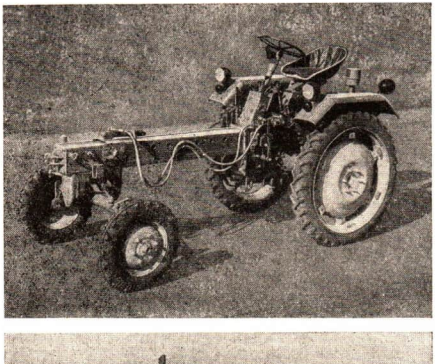
Kolbendurchmesser: 570 mm;

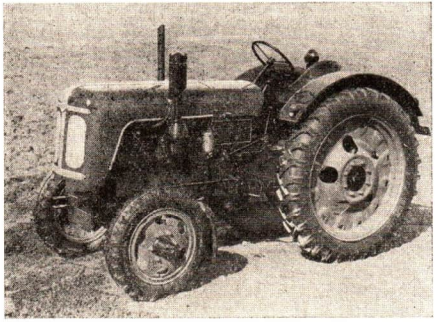
Kolbenhub: 800 mm;

Kraftstoffverbrauch: 160 $\frac{g}{PS}$;

Leistungsgewicht: 30,3 $\frac{kp}{PS}$;

Gewicht: 121 Mp.





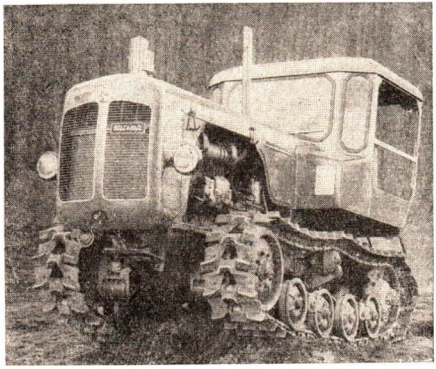


Abb. 91/1. Geräteträger RS 09
Abb. 91/2. Famulus
Abb. 91/3. Kettenschlepper Urtrak

Abb. 92/1. Panzer unserer Nationalen Volksarmee

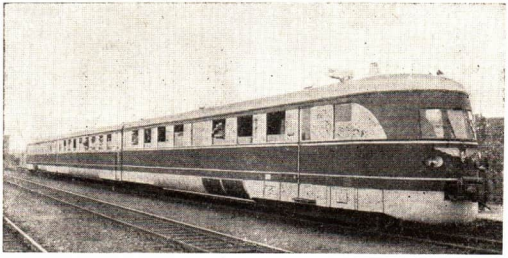


Abb. 92/2 Dieseltriebwagen der Deutschen Reichsbahn. Er fährt als „Saßnitz-Expreß" von Saßnitz mit Anschluß von Schweden nach München.

Man unterscheidet *Einzylinder-* und *Mehrzylindermotoren*. Die Zylinder können dabei unterschiedliche Lagen zur Kurbelwelle haben. So gibt es *stehende*, *liegende* und *hängende Zylinder* (Abb. 92/3). Mehrzylindermotoren können als *V-*, *Reihen-*, *Boxer-* oder *Sternmotoren* ausgeführt sein (Abb. 93/1).

Die verschiedenen Motoren werden im wesentlichen nach der Motorart, dem Hubraum, der Leistung, der Taktzahl, der Zylinderzahl sowie

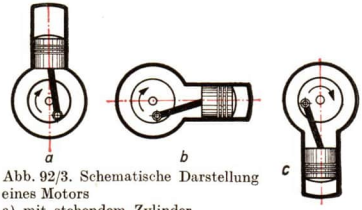


Abb. 92/3. Schematische Darstellung eines Motors
a) mit stehendem Zylinder
b) mit liegendem Zylinder
c) mit hängendem Zylinder

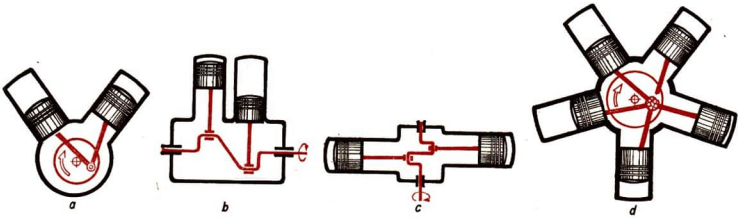


Abb. 93/1. Schematische Darstellung eines Motors
a) als V-Motor b) als Reihenmotor c) als Boxermotor d) als Sternmotor

der Zylinderanordnung unterschieden. Die nachstehende Tabelle gibt eine Zusammenstellung verschiedener Motortypen.

Technische Daten einiger Motoren

Verwendung des Motors	Gesamt-Hubraum in cm³	Motorart	Taktzahl	Zylinder-zahl	Art der Zylinder-anordnung	Leistung in PS
Selbstzünder-Kleinmotor „Aktivist“	21,45	Diesel	2	1	stehend	0,36
Moped SR 4-1 Spatz	47,6	Otto	2	1	schrägstehend	2,0[1]
Kleinroller Schwalbe	49,8	Otto	2	1	schrägstehend	3,4[2]
Trabant	600	Otto	2	2	Reihenmotor stehend	23
Wartburg	1000	Otto	2	3	Reihenmotor stehend	45
Radschlepper RS 14/30 Famulus	3280	Diesel	4	2	Reihenmotor stehend	33
KLW H 3A	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 $5200 \frac{U}{min}$; [2] $6500 \frac{U}{min}$; [3] je Motor

[4] Diese Angabe erfolgt im allgemeinen in der Einheit Liter, 41,2 l bzw. 1224,6 l.

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!
4. Warum ist die Einspritzpumpe beim Dieselmotor ein wichtiger Bestandteil des Motors und muß daher einwandfrei funktionieren?
5. Worin stimmen Otto- und Dieselmotoren überein, und worin unterscheiden sie sich?
6. Nenne Fahrzeuge, die Dieselmotoren verwenden, und solche, die von Ottomotoren angetrieben werden!
7. Begründe den Vorteil der Dieselmotoren hinsichtlich der Betriebskosten! Welchen Nachteil haben Dieselmotoren gegenüber Ottomotoren?

19. Die Strömungskraftmaschinen — Die Dampfturbine

1. Die Wirkungsweise der Strömungskraftmaschinen. Bei den bisher behandelten Wärmekraftmaschinen wurde die Energie hochgespannter Gase zum Verrichten von Arbeit ausgenutzt. Diese Gase dehnten sich aus, sie expandierten und bewegten dadurch einen Kolben. Der Nachteil dieser Expansionsmaschinen besteht vor allem darin, daß man zunächst eine lineare Bewegung erhält, die mit Hilfe einer Pleuelstange und einer Kurbelwelle in eine Drehbewegung umgewandelt wird. Zur Vermeidung dieses Nachteils wurden Maschinen entwickelt, bei denen man sofort eine Drehbewegung erhält. Man faßt sie unter dem Namen *Strömungskraftmaschinen* zusammen, da sie die Strömungsenergie von Wasser oder Gasen ausnutzen.

2. Aus der Geschichte der Dampfturbine. Die erste Dampfturbine wurde 1883 von dem Schweden DE LAVAL konstruiert, 1884 erhielt der englische Ingenieur PARSONS ein Patent auf eine Dampfturbine, die nach der Einführung der *Kondensatoren* sehr leistungsfähig wurde. 1897 wurde die Parsonsturbine erstmalig als Schiffsturbine verwendet. Heute ist man in der Lage, Dampfturbinen bis zu einer Leistung von 200000 PS zu bauen.

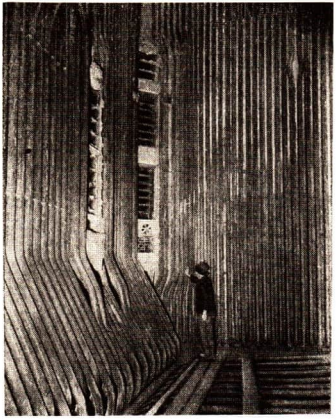
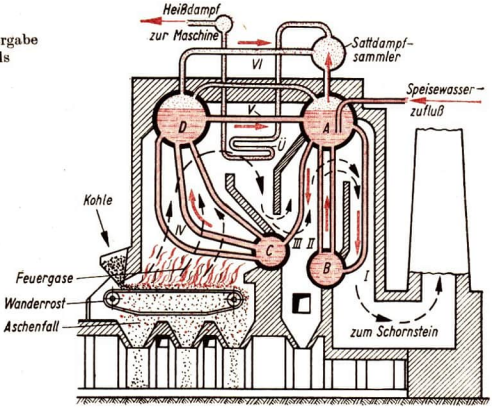


Abb. 94/1. Siederohre im Feuerraum einer Kesselanlage

3. Die Dampferzeugungsanlage. Zur *Dampferzeugung* benötigt man umfangreiche Anlagen, die heute fast ausschließlich automatisch arbeiten. Zur Heizung wird entweder Kohle oder Heizöl verwendet. Die heißen Feuergase umströmen ein System von vielen *Siederohren* (Abb. 94/1). Ein solcher *Siederohrkessel* hat eine wesentlich größere Heizfläche als ein Flammrohr-

Abb. 95/1
Schematische Wiedergabe eines Siederohrkessels



kessel. Er wird heute vorwiegend bei stationären Anlagen verwendet, da die vielen Schweißstellen bei nicht stationären Anlagen zu störanfällig wären. In der Abbildung 95/1 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 sinkt. Das Wasser zirkuliert zwischen den Kesseln *A*, *B*, *C* und *D* durch die *Siederohrgruppen I* bis *V*. Der sich bildende Dampf strömt durch die Rohrgruppe *VI* zum *Sattdampfsammler*. Der Dampf wird überhitzt, bevor er der Maschine zugeführt wird. Warum geschieht dies? Der Dampf durchströmt zu diesem Zweck den *Überhitzer Ü*. In modernen Kesselanlagen kann Dampf mit einer Temperatur von rund 500 °C und einem Druck von über 100 at erzeugt werden. Dieser Hochdruckdampf ist für Turbinenanlagen hoher Leistung erforderlich. Die Größe der Dampferzeugungsanlagen ist auch dadurch bedingt, daß große Dampfmengen 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. Der Hochdruckdampf wird durch *Lavaldüsen* geleitet (Abb. 95/2). Diese verengen sich zuerst, anschließend erweitern sie sich wieder konisch.

Durch die besondere Düsenform wird jede Wirbelbildung vermieden, so daß in dieser Hinsicht keine Energieverluste

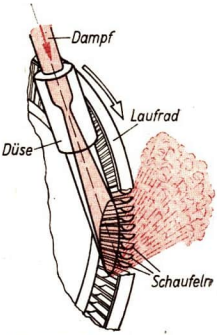


Abb. 95/2. Schnitt durch eine Lavaldüse

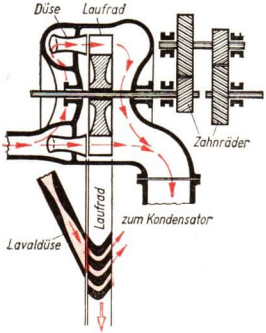


Abb. 96/1. Schematischer Schnitt durch eine einfache Turbine

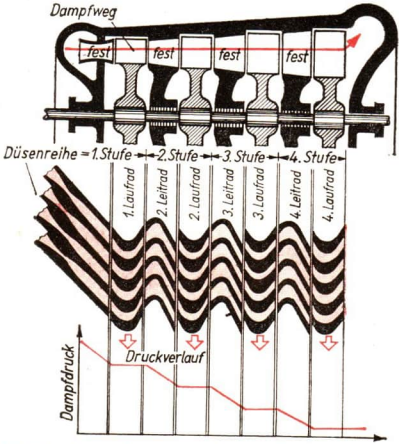


Abb. 96/2. Schnitt durch eine mehrstufige Turbine

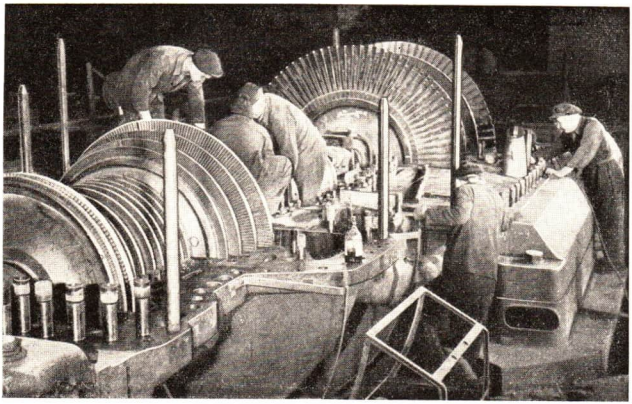


Abb. 96/3. Geöffnete Turbine

auftreten. Der Dampf hat vor der Düse einen hohen Druck und eine geringe Geschwindigkeit. Er verläßt sie mit geringem Druck und hoher Geschwindigkeit.
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. 96/1). Dabei gibt er Energie an das Laufrad ab. Das Laufrad dreht sich. 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. Er kann daher noch weitere Arbeit verrichten. Aus diesem Grunde wird hinter das Laufrad ein feststehendes *Leitrad* gesetzt, das die Dampfrichtung erneut ändert, so daß die ursprüngliche Richtung wieder erreicht wird. Nun strömt der Dampf gegen ein zweites Laufrad. In den Turbinen werden meist mehrere Leiträder und die entsprechende Anzahl von Laufrädern verwendet, so daß die Energie des Dampfes weitgehend ausgenutzt wird. Das Volumen des Dampfes nimmt infolge seiner Entspannung von Leitrad zu Leitrad zu. Aus diesem Grunde hat jedes nachfolgende Rad einen größeren Durchmesser als das vorhergehende (Abb. 96/2 und 96/3).
Die Dampfturbine hat jedoch den Nachteil, daß das *Anlaufen der Turbine* längere Zeit in Anspruch nimmt. 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. Da im allgemeinen Turbinen lange Zeit mit konstanter Geschwindigkeit laufen, ohne abgeschaltet zu werden, sind die Nachteile gegenüber den Vorteilen von untergeordneter Bedeutung.

5. Der Kondensator. Nachdem der Dampf Arbeit verrichtet hat, strömt er in den Kondensator (Abb. 97/1). In ihm wird dem Dampf mit Hilfe von *Kühlwasser* weitere Energie entzogen, so daß er zu Wasser kondensiert. Dadurch verringert sich sehr stark das Volumen, das der Dampf einnahm, so daß ein Unterdruck entsteht. Er führt zu einer weiteren Erhöhung der Geschwindigkeit 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 bei etwa 0,1 at. Die Energie des Dampfes wird in solchen Anlagen viel besser ausgenutzt als in Anlagen ohne Kondensator.
Das erwärmte Kühlwasser gibt die Wärme in *Warmwasserheizungen* oder in *Kaminkühlern* ab und wird wieder in den Kondensator zurückgepumpt. Das *Speisewasser* der Dampferzeugungsanlage ist vom Kühlwasser getrennt (Abb. 98/1). 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.

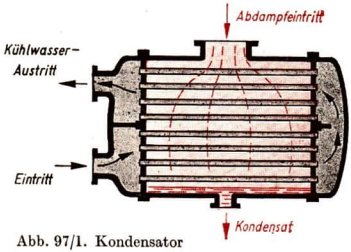


Abb. 97/1. Kondensator

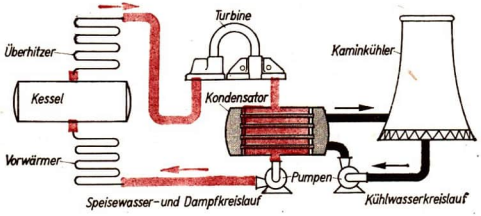


Abb. 98/1
Kreisläufe des Kühlwassers und des Speisewassers

6. Die Bedeutung der Dampfturbine. Mit der Entwicklung der Elektrotechnik entstand ein großer Bedarf an elektrischer Energie. Zum Antreiben der Generatoren wurden zuerst Kolbendampfmaschinen verwendet. Diesen Antrieb findet man jedoch heute nur noch bei kleineren älteren Anlagen.
Auf Grund der folgenden Merkmale eignet sich die Dampfturbine besonders gut zum Antreiben von Elektrogeneratoren. Mit Hilfe der Turbine wird sofort eine *rotierende Bewegung* erreicht. Die Dampfturbinen sind außerdem *Schnelläufer* mit Umdrehungszahlen von 1500 $\frac{U}{min}$ bis 6000 $\frac{U}{min}$. Diese entsprechen den für Generatoren erforderlichen Drehzahlen.
Die Dampfturbinen besitzen *bei einer bestimmten Drehzahl ihren geringsten Dampfverbrauch* im Verhältnis zur abgegebenen Leistung. Durch eine automatische Regelung wird diese günstige Drehzahl recht genau eingehalten.
Der Erzeugung elektrischer Energie aus der Kohle mittels der Dampfturbine kommt beim weiteren Aufbau der Industrie in unserer Deutschen Demokratischen Republik allergrößte Bedeutung zu. Daher entstehen neue *Großkraftwerke* in Lübbenau und in Vetschau. Für Lübbenau wurde vom VEB Bergmann-Borsig, Berlin, die größte Turbine der Republik gebaut. Sie wurde im Jahre 1961 in Betrieb genommen. Der Frischdampf strömt mit einer Temperatur von 525 °C und einem Druck von 126 at 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 beträgt 100 MW.
In Industriewerken, 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 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.

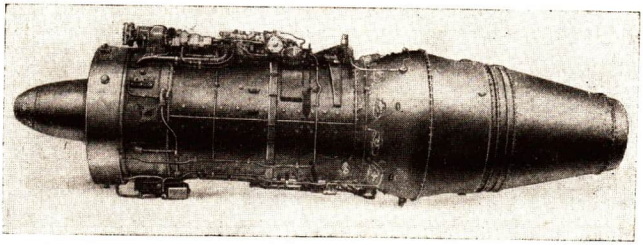
FRAGEN UND AUFGABEN

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!

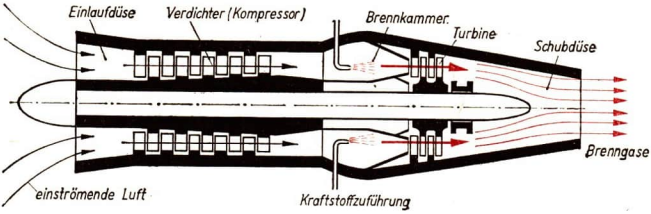
20. Die Gasturbine

1. Der Aufbau und die Wirkungsweise der Gasturbine. Der Vorteil der Brennkraft-Kolbenmaschine gegenüber der Dampfmaschine besteht darin, daß der Brennstoff in der Maschine selbst verbrannt wird. Es sind also keine umfangreichen zusätzlichen Anlagen erforderlich. Stellt die Dampfturbine zwar eine wesentliche Weiterentwicklung gegenüber der Dampfmaschine dar, so hat auch sie den Nachteil, daß eine Dampferzeugungsanlage erforderlich ist. Diesen Nachteil zu beseitigen war das Ziel bei der Konstruktion der *Gasturbinen*.

Die modernen, leistungsfähigen Gasturbinen sind im wesentlichen nach dem bereits 1897 von Kosminski entwickelten Prinzip gebaut. Die Hauptteile der Gasturbinenanlage (Abb. 99/1) sind der *Kompressor*, die *Brennkammer* und die *Tur-*



a



b

Abb. 99/1. Turbinentriebwerk a) Ansicht b) Schnitt

bine 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

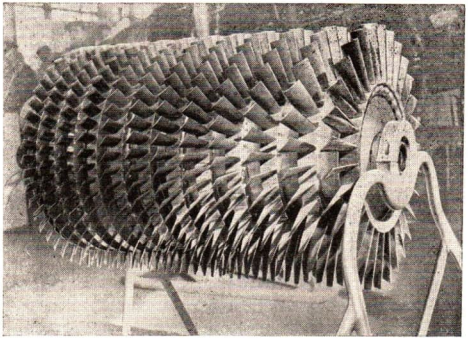


Abb. 100/1. Laufrad des Kompressors

von der Turbine angetrieben (Abb. 100/1). Infolgedessen 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 etwa von der der Turbinenschaufeln ab. Sie haben eine schraubenförmige Gestalt, damit eine Wirbelbildung beim Zusammentreffen von ruhender und strömender Luft vermieden wird.

b) Die Brennkammer. Durch Schlitze in der Rohrwand strömt die verdichtete Luft in die Brennkammer (Abb. 100/2). 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 Brennkammer auf mindestens 900 °C gesenkt werden. Das wird gleichzeitig auf zweierlei 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 dieses strömt die komprimierte Luft. Sie kühlt dadurch einerseits die Brennkammer, andererseits erwärmt sie sich. Durch die erhöhte Temperatur der Luft wird die Verbrennung wesentlich gefördert.

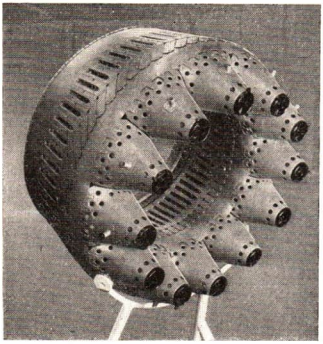


Abb. 100/2
Brennkammern

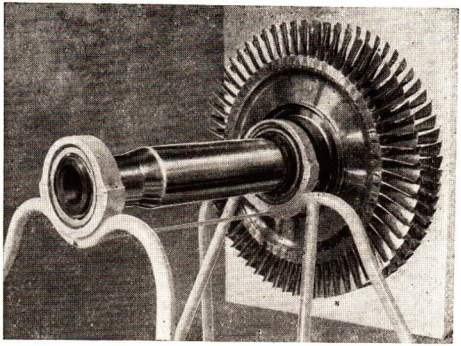


Abb. 101/1. Laufrad der Turbine

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

c) Die Turbine. Die Wirkungsweise der *Gasturbine* selbst entspricht weitgehend der der Dampfturbine. Die Laufräder dieser beiden Turbinenarten ähneln sich daher sehr (Abb. 101/1). 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 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 dem 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 weiteres Ausnutzen der Energie der Verbrennungsgase in einer 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 *Leistungsgewicht* wesentlich geringer als bei anderen Wärmekraftmaschinen ist.

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

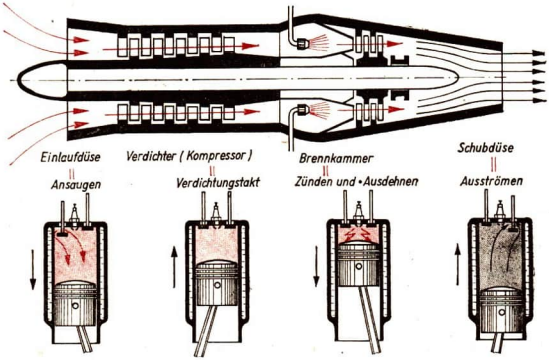


Abb. 102/1. Vergleich zwischen Gasturbine und Brennkraft-Kolbenmaschine

2. Vergleich der Gasturbine mit der Brennkraft-Kolbenmaschine. Brennkraft-Kolbenmaschinen haben mit der Gasturbine gemeinsam, daß der Brennstoff in der Maschine selbst verbrannt wird. Vergleicht man im übrigen die Vorgänge, die sich in den beiden Maschinen abspielen, miteinander, so stellt man folgendes fest (Abb. 102/1): Die vier Takte, Ansaugen, Verdichten, Verbrennen und Ausströmen, spielen sich beim Brennkraft-Kolbenmotor zeitlich nacheinander ab. Bei der Gasturbine dagegen laufen diese Vorgänge gleichzeitig, aber räumlich getrennt voneinander ab. Auch daraus ergibt sich, daß die Gasturbine kontinuierlicher arbeitet als beispielsweise ein Viertakt-Ottomotor. Bei der Gasturbine wird ständig Arbeit verrichtet.

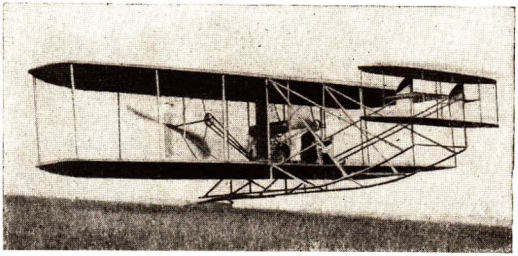
FRAGEN UND AUFGABEN

1. Beschreibe den Aufbau und die Wirkungsweise einer Gasturbine!
2. Worin unterscheiden sich die Dampfturbine und die Gasturbine? Welche gemeinsamen Merkmale haben sie?
3. Übertrage die folgende Tabelle in dein Heft! Nenne alle Arten der Wärmekraftmaschinen und trage sie in die entsprechenden Spalten ein!

Übersicht über die Wärmekraftmaschinen

	Dampfmaschine	Verbrennungskraftmaschine
Expansionsmaschine		
Strömungsmaschine		

Abb. 103/1
Wright-Doppeldecker (Bauart 1907)



21. Die Anwendung der Wärmekraftmaschinen in der Luftfahrt

1. Die Brennkraft-Kolbenmaschine als Flugzeugmotor. Immer mehr Menschen benutzen für ihre Reisen das Flugzeug. Für den Flug von Prag über Moskau nach Peking benötigt man zur Zeit nur 10 Stunden. Noch vor wenigen Jahren brauchte man dafür 25 Stunden. Die Verkürzung der Flugzeiten 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. 103/1). 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 in kp und seiner Leistung in PS.* 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. 103/2
Doppelsternmotor

Die Flugzeuge, die mit Ottomotoren ausgerüstet sind, haben Reihen-, Boxer-, Stern- oder Doppelsternmotoren (Abb. 103/2). So besitzt das *Mittelstreckenflugzeug Il 14* zwei 14-Zylinder-Doppelsternmotoren mit einer Leistung von je 1900 PS, insgesamt also 3800 PS (Abb. 104/1). Das ist etwa die doppelte Leistung einer Schnellzuglokomotive. Die Reisegeschwindigkeit des Flugzeuges vom Typ Il 14 beträgt etwa 325 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Bei voller Leistung der Motoren kann eine Höchstgeschwindigkeit von 400 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ erreicht werden.

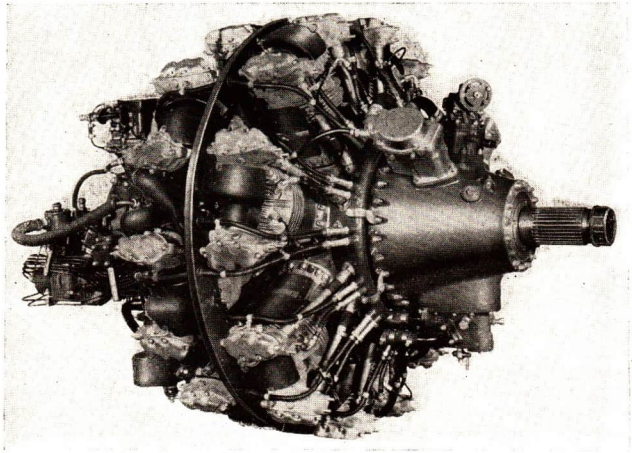


Abb. 104/1. Doppelsternmotor einer Il 14

Das Flugzeug Il 14 ist ein in der Sowjetunion entwickeltes Flugzeug, das in vielen sozialistischen Ländern eingesetzt wird.

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 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 Landgeschwindigkeiten und damit kurze Landebahnen sehr erwünscht. Infolgedessen wird beim Starten und Landen der Luftschraube mehr Energie zugeführt, während beim Fliegen die

Abb. 105/1. Il 18 über Moskau

Hauptenergie für den Schub verwandt wird. Mit Propellerturbinen, kurz *Turboprop* genannt, ist das von dem sowjetischen Konstrukteur Iljuschin entwickelte Mittel- und Langstreckenflugzeug *Il 18* ausgerüstet (Abb. 105/1).

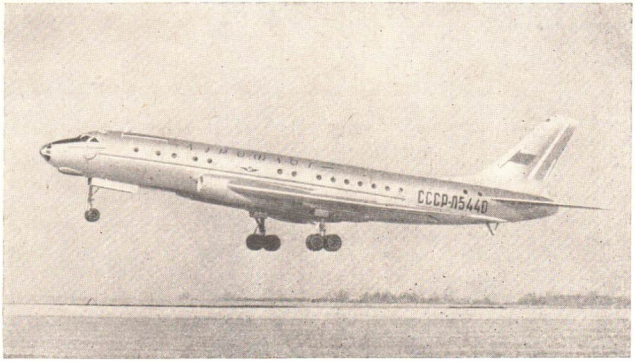


Abb. 105/2. Tu 104 A beim Start

Propellerturbinen haben ein Leistungsgewicht von etwa 0,75 $\frac{kp}{PS}$. Es liegt somit unter dem des Ottomotors von 1,3 $\frac{kp}{PS}$. 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 Strahlturbine. Langstreckenflugzeuge müssen eine wesentlich höhere Geschwindigkeit als bisher erreichen, um lange Strecken in möglichst kurzer Zeit zurücklegen zu können. Diese Forderung wird mit Hilfe der Strahlturbine erfüllt. Sie hat *keine Luftschraube*. Die gesamte Nutzenergie wird für die Erzeugung des Schubes verwendet. Eine dieser Maschinen, die mit Strahlturbinen angetrieben werden, ist das sowjetische Flugzeug *Tu 104 A*. Es erreicht eine Reisegeschwindigkeit von 900 $\frac{km}{h}$ (Abb. 105/2).

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 $\frac{kp}{PS}$. Die Leistung eines Strahltriebwerkes wird meist nicht in PS angegeben, sondern sie wird durch den Schub in Kilopond, der vom Triebwerk erzeugt wird, gekennzeichnet. Mit Hilfe des Strahltriebwerkes können Leistungen von dem zehnfachen Wert der Brennkraft-Kolbenmaschinen und der Propellerturbinen erreicht werden.

Die sowjetische Luftverkehrsgesellschaft 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 11000 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 3 Stunden und 35 Minuten benötigt.

FRAGEN

1. Warum kommt es bei der Entwicklung von Flugzeugmotoren auf die Senkung des Leistungsgewichtes 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?

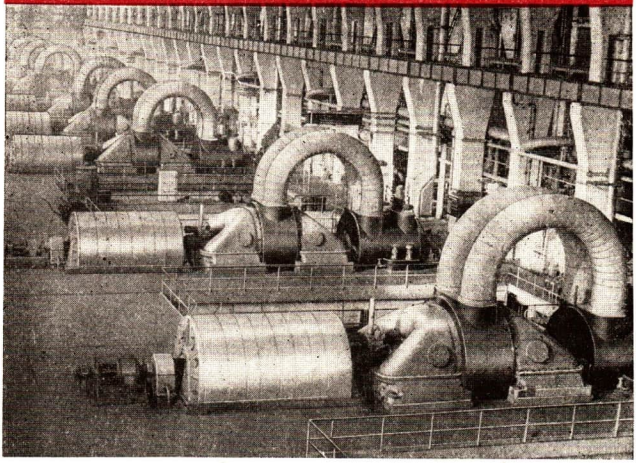


Abb. 107/1. Blick in ein Kraftwerk

In der Industrie und in der Landwirtschaft, im Verkehrs- und im Nachrichtenwesen sowie im Haushalt werden viele elektrische Geräte verwendet. So werden mit Hilfe des elektrischen Lichtes Werkhallen, Ställe und Wohnungen beleuchtet. Elektrische Motoren treiben Bohrmaschinen, große Bagger, Elektroloks und Pumpen für Melkanlagen an. Der Rundfunk und das Fernsehen, die Telefonie und die Telegrafie beruhen auf den Wirkungen des elektrischen Stromes. Zum Betrieb all dieser Anlagen, die nur wenige Beispiele aus der Fülle der Anwendungen der Elektrizität darstellen, wird elektrische Energie benötigt. Daneben entstehen an vielen Orten unserer Republik neue große Industriewerke, wie das Braunkohlenkombinat Schwarze Pumpe, das Erdölverarbeitungswerk Schwedt an der Oder, ein weiteres Werk der Leuna-Werke „Walter Ulbricht". In diesen Werken werden Tausende von Elektromotoren die Maschinen antreiben. Daher wird in den nächsten Jahren der Bedarf an elektrischer Energie immer weiter ansteigen. Neue Kraftwerke sind bereits im Bau, weitere sind geplant. Für diese Kraftwerke werden in unseren volkseigenen Betrieben des Energiemaschinenbaus die erforderlichen Dampfturbinen und Generatoren entwickelt und gebaut (Abb. 107/1).

22. Die Elektronen

1. Wirkung des elektrischen Stromes. Die verschiedenen elektrischen Geräte erfüllen sehr unterschiedliche Aufgaben, je nach den Wirkungen, die sie hervorrufen. So entwickelt das Bügeleisen *Wärme*, die Leuchtstoffröhre sendet *Licht* aus. Beim Verchromen von Werkstücken spielen sich *chemische Vorgänge* ab, und schließlich können auf Grund der *magnetischen Wirkungen* beim Lasthebemagneten schwere

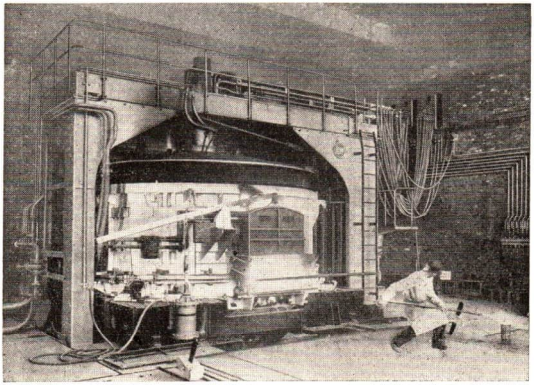


Abb. 108/1
Elektrostahlofen

Abb. 108/2
Leuchtstofflampen

Stahlteile gehoben werden. Untersucht man noch weitere elektrische Geräte hinsichtlich ihrer Wirkung, so kann man sie alle einer der vier genannten Wirkungen zuordnen. Die Tabelle nennt für jede der Wirkungen einige typische Geräte:

Wärmewirkung	Lichtwirkung	chemische Wirkung	magnetische Wirkung
Bügeleisen Heizkissen Tauchsieder Glühlampe Bogenlampe Infrarotstrahler Elektroschweißgerät Elektrostahlofen (Abb. 108/1) elektrischer Kartoffeldämpfer Brutschrank	Leuchtröhre Leuchtstoffröhre (Abb. 108/2) Blitzröhre Quecksilber- hochdrucklampe	galvanisches Element Oberflächen- veredlung Herstellung von Galvanoplastiken (Abb. 109/1) Herstellung von Wasserstoff und Sauerstoff durch Elektrolyse Laden von Akkumulatoren Gewinnung von Elektrolytkupfer	elektrische Klingel Elektromotor Generator Elektromagnet (Abb. 109/2)

Abb. 109/1. Herausnahme einer galvanisch überzogenen Matrize aus dem Galvanisierungstrog

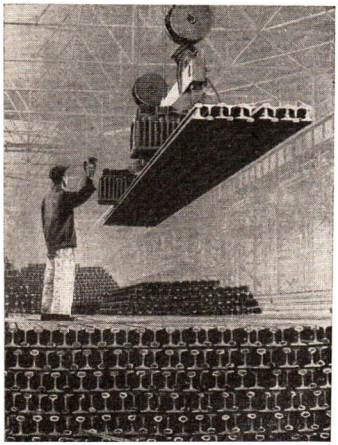


Abb. 109/2. Elektromagnet als Lastheber

2. Die elektrische Ladung. Zur Klärung der sich in den elektrischen Geräten abspielenden Vorgänge sollen zunächst einige Erscheinungen untersucht werden, die scheinbar mit der Elektrizität nichts zu tun haben.

Ein mit einem Wollappen geriebener Hartgummistab zieht leichte Stoffteilchen, wie Papierschnitzel und Holundermarkkügelchen, an (Abb. 110/1). Das gleiche beobachtet man, wenn man den Papierschnitzeln einen mit einem Lederlappen geriebenen Glasstab nähert.

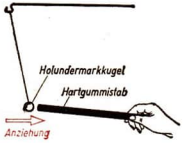


Abb. 110/1. Ein geriebener Hartgummistab zieht ein Holundermarkkügelchen an.

Hängt man nun einen geriebenen Hartgummistab leicht drehbar auf und bringt einen geriebenen Glasstab in seine Nähe, so ziehen die beiden Stäbe einander an (Abb. 110/2). Nähert man dagegen dem Hartgummistab einen zweiten, ebenfalls geriebenen Hartgummistab, so stoßen beide einander ab (Abb. 110/3).

Die Versuche zeigen, daß von geriebenen Hartgummi- und Glasstäben Kraftwirkungen ausgehen, die an ungeriebenen Stäben nicht zu beobachten sind. 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. Berührt man mit einem geriebenen Hartgummistab zwei dicht nebeneinander aufgehängte Holundermarkkugeln, so stoßen sie einander ab (Abb. 111/1). Der elektrische Zustand des Hartgummistabes ist also auf die Holunderkmarkkugeln übertragen worden. Berührt man mit dem gleichen Stab, ohne ihn neu aufzuladen, ein weiteres Paar Holundermarkkugeln, so kann man die gleiche Erscheinung beobachten, aber der Abstand der beiden Kugeln ist kleiner. Somit hat sich die Wirksamkeit des elektrischen Zustandes verringert. Wie Untersuchungen gezeigt haben, kann man dies bis zu einer bestimmten Grenze fortsetzen. Man stellte dabei fest, daß die Ursache für den elek-

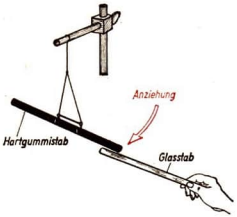


Abb. 110/2. Ein geriebener Hartgummistab und ein geriebener Glasstab ziehen sich an.

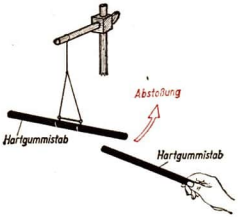


Abb. 110/3. Zwei geriebene Hartgummistäbe stoßen sich ab.

trischen Zustand die **elektrischen Ladungen** sind.
Aus dem unterschiedlichen Verhalten der Ladungen gleichartiger Stäbe zueinander und dem der Ladungen ungleichartiger Stäbe ist zu entnehmen, daß es unterschiedliche elektrische Ladungen gibt. Zur Unterscheidung bezeichnet man die Ladungen eines geriebenen Glasstabes als **positive Ladungen,** während die eines geriebenen Hartgummistabes als **negative Ladungen** bezeichnet werden.

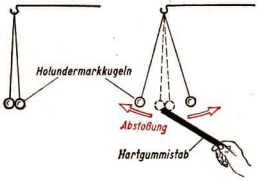


Abb 111/1. Zwei elektrisch geladene Holundermarkkügelchen stoßen sich ab.

Die elektrischen Ladungen sind die Ursache für das Auftreten elektrischer Anziehungskräfte.
Körper mit gleichartigen elektrischen Ladungen stoßen einander ab.
Körper mit ungleichartigen elektrischen Ladungen ziehen einander an.

3. Das Atom. Obwohl die im Abschnitt 2 beschriebenen Erscheinungen schon lange bekannt waren, konnten sie erst dann erklärt werden, als der Aufbau der Stoffe genauer erforscht worden war. Alle festen, flüssigen und gasförmigen Körper bestehen bekanntlich aus **Atomen.** Alle Elemente, wie Eisen, Kupfer usw., bestehen aus einer bestimmten „Sorte" von Atomen. Obwohl die Atome so klein sind, daß man sie auch mit einem Mikroskop nicht einzeln sehen kann, fanden die Forscher dennoch Wege, über diese kleinen Bausteine der Natur weitere Erkenntnisse zu gewinnen. Damit wurde ein weiterer Beweis dafür erbracht, daß es auch dann gelingt, die Vorgänge in der Natur zu erforschen, wenn sie den Sinnen unzugänglich sind.

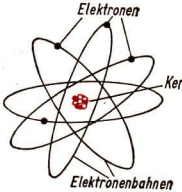


Abb. 111/2
Modell eines Atoms

Früher hielt man die Atome für unteilbar. Heute jedoch weiß man, daß *das Atom aus einem Kern besteht, um den sich die* **Elektronen** *bewegen* (Abb. 111/2). Die Atome unterschiedlicher Stoffe haben auch eine *unterschiedliche Anzahl von Elektronen.* Während sich beispielsweise im Wasserstoffatom nur 1 Elektron um den Kern bewegt, sind es bei Eisen 26 und bei Uran sogar 92 Elektronen. Der Begriff Elektron ist sehr alt. Bereits die Griechen beobachteten, daß geriebener *Bernstein* kleine Körperchen anzieht. Der griechische Name für Bernstein ist Elektron.
Durch zahlreiche Versuche wurde festgestellt, daß *der Atomkern positiv geladen* ist. *Die Elektronen tragen dagegen negative Ladungen.* Die positive Ladung des Kerns und die negative Ladung der Elektronen sind gleich groß. Sie heben sich in ihrer Wirkung nach außen auf. Daher zeigt das Atom nach außen keine elektrische Ladung. Zwischen den Elektronen und dem Atomkern wirkt eine Anziehungskraft.

Das Atom besteht aus dem positiv geladenen Kern und negativ geladenen Elektronen, die sich um den Kern bewegen.

4. Die Elektronen. Wie aus dem in Abbildung 111/1 wiedergegebenen Versuch hervorgeht, können negative Ladungen von einem Körper auf den anderen übertragen werden. Weiter zeigte dieser Versuch, daß die Ladungen geteilt werden können; denn die Ladung des Hartgummistabes nahm nach jeder Berührung mit den Holundermarkkugeln ab.
Genau durchgeführte Untersuchungen haben aber 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. Eine solche *kleinste elektrisch negative Ladung trägt das Elektron*, das bereits als Bestandteil des Atoms erkannt worden ist.

Elektrische Ladungen sind bis zu einer bestimmten Grenze teilbar. Die kleinsten elektrisch negativ geladenen Teilchen sind die Elektronen.

Trotz der geringen Größe der Elektronen ist es nicht nur gelungen, ihr Vorhandensein nachzuweisen, sondern auch die Masse eines Elektrons zu bestimmen. Sie ist so klein, daß erst etwa 1000000000000000000000000000 = 10^{27} Elektronen eine Masse von 1 g ergeben. Könnte man beispielsweise die gleiche Anzahl getrockneter Kastanien sammeln, so hätten diese zusammen die gleiche Masse wie die gesamte Erdkugel.

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Für welche Zwecke wird die Elektrizität in eurem Haushalt und in deinem Betrieb verwendet?
2. Welche elektrischen Geräte kennst du? Ordne sie entsprechend der Tabelle auf Seite 109 nach ihren Wirkungen!
3. Reibe einen Kamm an deiner Jacke und halte ihn dicht über kleine, trockene Papierschnitzel! Erkläre deine Beobachtung!
4. Was weißt du über die Elektronen?

23. Die elektrische Spannung

1. Der Spannungsbegriff. Aus den Versuchen mit dem Hartgummistab, mit dem Glasstab und mit den Holundermarkkugeln folgt, daß ein Körper unter bestimmten Bedingungen *elektrische Eigenschaften* annehmen kann. Es müssen sich dann Veränderungen in den Atomen abgespielt haben; denn das elektrische Gleichgewicht der Ladungen muß gestört sein. Normalerweise zeigen ja die Atome nach außen keine Ladung. Wie auf Grund von Versuchen festgestellt worden ist, *können einzelne Elektronen aus dem Atomverband gelöst werden*, während die positive Ladung des Kernes unverändert bleibt. Durch das Reiben, beispielsweise des Glasstabes, kommt es zu einer sehr engen Berührung zwischen dem Glas und dem Reibzeug. Dabei treten Elektronen aus dem Glasstab in das Reibzeug über. Infolgedessen herrscht im Glasstab ein Elektronenmangel. Daher ist er *positiv geladen*. Im Reibzeug dagegen ist ein Elektronenüberschuß vorhanden. Es ist *negativ geladen*. Beim Reiben eines Hartgummistabes spielt sich der umgekehrte Vorgang ab. In diesem

Falle sind der Hartgummistab negativ und das Reibzeug positiv geladen. Besitzt das Atom einen Überschuß an positiver Ladung, so bezeichnet man es als **positives Ion.** Der Atomrest und das entfernte freie Elektron üben eine *anziehende Kraft* aufeinander aus. Man sagt, zwischen ihnen herrscht eine **Spannung.** Eine Spannung tritt aber nicht nur zwischen einem Elektron und einem positiven Ion auf, sie herrscht beispielsweise auch zwischen einem negativ geladenen Hartgummistab und einem positiv geladenen Glasstab (vgl. Abb. 110/2).

Trennt man unterschiedliche Ladungen, so besteht zwischen ihnen eine elektrische Spannung.

Einen Spannungszustand kann man auch zwischen zwei isoliert aufgestellten Metallplatten herstellen (Abb. 113/1). Die Platte *A* wird durch Berühren mit einem geriebenen Glasstab positiv und die Platte *B* durch Berühren mit einem geriebenen Hartgummistab negativ aufgeladen. Zwischen den beiden Platten herrscht eine elektrische Spannung.

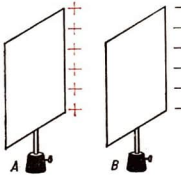


Abb. 113/1. Zwischen unterschiedlich geladenen Platten herrscht eine Spannung

Berührt man die eine der beiden Platten mit zwei dicht nebeneinanderhängenden Holundermarkkugeln, so spreizen sie sich sofort. Damit ist bestätigt, daß die Platte geladen ist. In gleicher Weise kann man auch die Ladung der anderen Platte nachweisen. Nun verbindet man die Metallplatten *A* und *B* durch einen Draht. Hält man jetzt die Holundermarkkugeln an die Platten, so ist kein Ausschlag zu beobachten. Die Spannung hat sich somit ausgeglichen. Dieser Ausgleich ist darauf zurückzuführen, daß die Elektronen in bestimmten Stoffen, und dazu gehören die Metalle, leicht beweglich sind. Da zwischen ihnen und den positiven Ladungen eine anziehende Kraft wirksam ist, bewegen sich die Elektronen in Richtung auf die positiven Ladungen und stellen das elektrische Gleichgewicht wieder her. *Die Ladungen haben sich ausgeglichen.*

Die Spannung kann man sich an einem Modell aus der Mechanik veranschaulichen. Zwischen den beiden Wandhaken *A* und *B* ist eine Schraubenfeder gespannt (Abb. 113/2). Sie befindet sich im Zustand der Spannung. Man sagt auch: Zwischen den Punkten *A* und *B* herrscht eine Spannung. Löst man die Schraubenfeder von einem Wandhaken, so zieht sie sich infolge der bestehenden Spannungen zusammen.

An diesem Modell kann man die Kennzeichen einer Spannung erkennen.

1. *Zu einer Spannung gehören stets zwei Punkte, zwischen denen sie besteht.*
2. *Sobald die Möglichkeit besteht, gleicht sich die Spannung aus.*

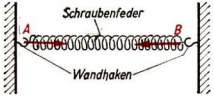


Abb. 113/2
Zwischen den Punkten *A* und *B* einer Schraubenfeder herrscht eine Spannung

2. Das Elektrometer. Bei den bisherigen Versuchen wurden zum Nachweis der Spannung die Holundermarkkugeln benutzt. Genaue Messungen sind mit ihnen jedoch nicht möglich. Hierzu verwendet man *Elektrometer.*

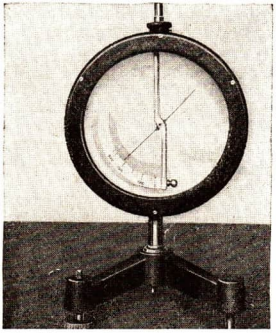
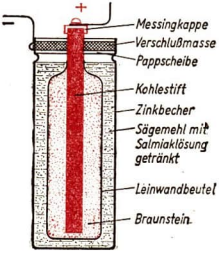


Abb. 114/1 (links). Braunsches Elektrometer
Abb. 114/2 (rechts)
Schaltzeichen eines Elektrometers
Abb. 114/3 (Mitte)
Element einer Taschenlampenbatterie



Das Elektrometer besteht aus einem Metallgehäuse, in das isoliert ein Metallstab hineinragt (Abb. 114/1 und 114/2). An diesem Metallstab befindet sich ein drehbar gelagerter Zeiger, der über einer Skale spielt. Bringt man auf den Metallstab Elektronen, so verteilen sie sich auf den ganzen Stab und den Zeiger. Da nun der Stab und der Zeiger gleichartige elektrische Ladungen haben, stoßen sie einander ab. Der Zeiger schlägt aus. Je mehr Elektronen sich auf dem Metallstab und dem Zeiger befinden, desto größer ist die Kraftwirkung und infolgedessen der Ausschlag. Von der Weite des Zeigerausschlages kann man daher auf die Größe der vorhandenen Ladungen und damit auf die Spannung schließen. Die Skale trägt eine entsprechende Teilung, so daß man die Größe der Spannung ablesen kann.
Eine vereinfachte Form des Elektrometers ist das *Elektroskop*. Es hat keine Skale, so daß Spannungen nur grob verglichen werden können.

3. Elektrische Spannungsquellen. Um eine Spannung zu erhalten, muß man *positive und negative Ladungen trennen*. Dazu ist eine bestimmte Arbeit erforderlich. Man bezeichnet eine Vorrichtung, mit deren Hilfe Ladungen getrennt werden, als *Spannungsquelle*. Die Anschlußstellen einer Spannungsquelle, zwischen denen eine Spannung besteht, nennt man *Pole*. Der Pol, an dem Elektronenüberschuß herrscht, heißt *Minuspol* oder negativer Pol; der Pol mit Elektronenmangel ist der *Pluspol* oder positive Pol.

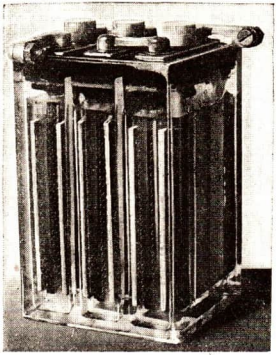
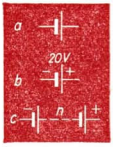


Abb. 114/4 (links). Akkumulator (hergestellt im VEB Akkumulatoren-Fabrik Berlin-Oberschöneweide)
Abb. 114/5 (rechts)
Schaltzeichen eines Akkumulators
a) allgemein
b) mit Angabe der Spannung
c) Batterie mit *n-Zellen*



a) Die Taschenlampenbatterie. Eine kleine, leicht transportierbare Spannungsquelle ist das *Kohle-Zink-Element*, aus dem die *Taschenlampenbatterie* aufgebaut ist (Abb. 114/3). Die elektrische Spannung wird durch chemische Vorgänge im Element hervorgerufen, die nicht rückgängig gemacht werden können. Die chemischen Veränderungen führen dazu, daß die Spannung zunächst sehr langsam, aber dann immer schneller absinkt, so daß sie schließlich nicht mehr ausreicht, die Glühlampe zum Leuchten zu bringen. Daher ist die Taschenlampenbatterie nur eine begrenzte Zeit verwendbar.

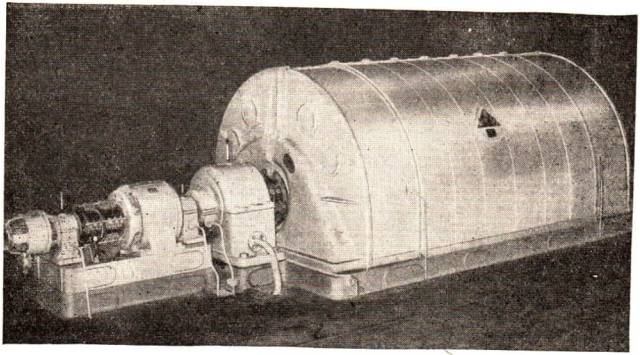
b) Der Akkumulator. Im Gegensatz zur Taschenlampenbatterie kann der *Akkumulator* ständig neue elektrische Energie speichern und wieder abgeben (Abb. 114/4 und 114/5). Zum Zuführen elektrischer Energie, zum *Aufladen*, werden die Anschlußklemmen des Akkumulators an die Pole eines Ladegerätes angeschlossen. Die zugeführte elektrische Energie wird in chemische Energie umgewandelt.

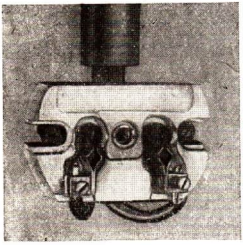
Wird ein Elektrogerät an den Akkumulator angeschlossen, so wird durch den Ablauf chemischer Prozesse die chemische Energie wieder in elektrische Energie umgewandelt. Der Akkumulator wird *entladen*. Akkumulatoren werden vor allem in Kraftfahrzeugen und in Eisenbahnwagen als Spannungsquellen verwendet. Aber auch die Elektromotoren von Elektrokarren und bestimmten Autotypen werden von großen Akkumulatorenbatterien gespeist.

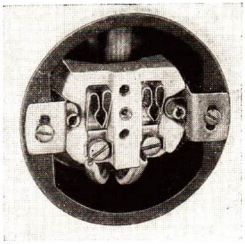
c) Der Generator. Die wichtigsten elektrischen Spannungsquellen sind die *Generatoren* (Abb. 115/1 und 115/2). Über ein weitverzweigtes elektrisches Leitungsnetz wird die von ihm erzeugte Spannung dem Verbraucher zugeführt. Die viel-

Abb. 115/1 (rechts). Schaltzeichen eines Generators
a) Gleichstromgenerator
b) Wechselstromgenerator

Abb. 115/2 (unten). Generator (hergestellt im VEB Bergmann-Borsig Berlin)







a *b*

Abb. 116/1
Elektrische Steckdose (ohne Schutzkappe)
a) Überputzsteckdose
b) Unterputzsteckdose

Abb. 116/2. Schaltzeichen einer Steckdose
a) ohne Schutzkontakt
b) mit Schutzkontakt

fachen Verzweigungen des Leitungsnetzes enden häufig in *Steckdosen*, an die elektrische Geräte angeschlossen werden können (Abb. 116/1 und 116/2). Man kann daher die an das Leitungsnetz angeschlossene Steckdose als Spannungsquelle ansehen.

d) Der Bandgenerator. Zum Erzeugen sehr hoher Spannungen verwendet man in der Technik und in der Forschung oft *Bandgeneratoren*. Die Wirkungsweise dieser Spannungsquelle ist stark vereinfacht folgende: Einem schnell umlaufenden, endlosen Band aus Gummi oder Seide werden mit Hilfe einer Metallbürste fortlaufend Elektronen entzogen (Abb. 116/3). Zwischen dem Band und der Metallbürste herrscht somit eine Spannung. Mittels Bandgeneratoren erreicht man Spannungen, die in ihrer Größe die der Taschenlampenbatterie um das Millionenfache übertreffen.

4. Die Einheit der elektrischen Spannung. Zum Messen von Spannungen benötigt man eine Einheit. Die *Einheit der Spannung* ist das **Volt** (V). Sie wurde nach dem italienischen Physiker ALESSANDRO VOLTA benannt.

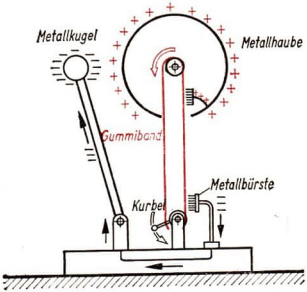


Abb. 116/3. Wirkungsweise des Bandgenerators

Dezimale Vielfache und Teile sind das **Kilovolt** (kV) und das **Millivolt** (mV).

$$1\ \text{kV} = 1000\ \text{V},$$
$$1\ \text{mV} = 0{,}001\ \text{V}.$$

Spannungen unter 42 V bezeichnet man als *Kleinspannungen*. Sie sind für den menschlichen Körper ungefährlich. So werden für elektrische Spielzeuge Spannungen bis zu 24 V verwendet.

Spannungen von 42 V bis 250 V bezeichnet man als *Niederspannungen*. Für sie bestehen gesetzlich angeordnete Arbeitsvorschriften. Die elektrischen Anlagen in unseren Wohnungen haben Spannungen von 220 V, in wenigen Fällen noch 110 V. Bei

Allessandro Volta (1745 bis 1827)

Arbeiten an elektrischen Anlagen müssen die Schutzbestimmungen genau beachtet werden. Oberster Grundsatz ist, daß das Gerät oder die Leitung, an denen gearbeitet wird, vom Netz zu trennen sind. Weitere Verhaltensregeln sind auf den Seiten 183 und 184 wiedergegeben. Ihr werdet sie auch im polytechnischen Unterricht kennenlernen.
Spannungen über 250 V heißen *Hochspannungen*. Für sie gelten besondere Vorschriften. Hochspannungsanlagen sind durch Warnschilder gekennzeichnet (Abb. 117/2).

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

In der Tabelle auf S. 118 sind die Spannungen wichtiger Spannungsquellen sowie die einiger wichtiger technischer Anlagen zusammengestellt.

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 Spannungen an!
3. Auf welchen physikalischen Gesetzen beruht die Wirkungsweise eines Elektrometers?
4. Stelle fest, welche elektrischen Spannungen in deinem Betrieb benutzt werden!
   Achte auf Hochspannungs-Warnschilder!
5. Fertige aus einer Milchflasche, einem Korken, einer Fahrradspeiche, einem Lamettafaden und aus Stanniol ein Elektroskop nach Abbildung 117/1 an!
6. Prüfe mit dem selbstgebauten Elektroskop die Teilbarkeit elektrischer Ladungen!
7. Welche Arbeitsschutzbestimmungen müssen beim Arbeiten an elektrischen Anlagen beachtet werden. Sprich darüber mit deinem Betreuer!

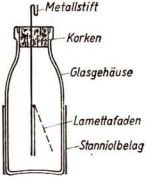


Abb. 117/1
Elektroskop

Abb. 117/2. Warnschilder für Hochspannung

a) Spannungen wichtiger Spannungsquellen	
Kadmium-Normalelement	1,0183 V
Nickel-Kadmium-Akkumulator	1,25 V
Kohle-Zink-Element einer Taschenlampenbatterie	1,50 V
Blei-Akkumulator je Zelle	2 V
Fahrraddynamo	6 V
Kraftwagen-Akkumulator	6 bis 24 V
Lichtnetz	220 V
Hochspannungsbandgenerator	bis zu 5000000 V
b) Betriebsspannungen wichtiger technischer Anlagen	
Elektrokarren	bis 80 V
Haushaltsgeräte	220 V
Elektromotoren für Werkzeugmaschinen	380 V
Elektrische Straßenbahn	500 V
Neon-Leuchtröhre	6000 V
Zündkerze im Kraftwagenmotor	bis 15000 V
Elektrische Eisenbahn	15000 V
Röntgenröhren für medizinische Zwecke	60000 V
Röntgenröhren für Werkstoffprüfung	200000 V
Hochspannungsleitungen	bis 400000 V

24. Der elektrische Strom

1. Der Elektronenstrom — Richtung des Elektronenstroms. Als bei dem in Abbildung 113/1 wiedergegebenen Versuch die beiden Platten mit einem Metallstab verbunden wurden, kam es zu einem Ladungsausgleich. Sooft man diesen Versuch wiederholt, immer kommt man zu dem gleichen Ergebnis. Wenn zwei Punkte, zwischen denen eine elektrische Spannung besteht, durch einen Metalldraht verbunden werden, so gleichen sich die Ladungen aus. Dies wird von den Elektronen bewirkt, die aus dem Atomverband gelöst sind. Solche Elektronen, die frei beweglich sind, bezeichnet man als *freie Elektronen*. Sie fließen von der Stelle mit dem Elektronenüberschuß, dem negativen Pol, zu der Stelle, an der Elektronenmangel herrscht, also zum positiven Pol. Die Bewegung der Elektronen in einer Richtung bezeichnet man als *Elektronenstrom*.

Die elektrische Spannung ist die Ursache für das Zustandekommen eines elektrischen Stromes.
Die Elektronen fließen im äußeren Stromkreis vom Minuspol der Spannungsquelle zu deren Pluspol.
Man bezeichnet die Richtung vom negativen zum positiven Pol als Richtung des Elektronenstroms.

2. Die elektrische Stromrichtung. Als die Stromrichtung festgelegt wurde, waren Einzelheiten über die Vorgänge beim elektrischen Stromfluß noch nicht bekannt. Man nahm damals willkürlich an, daß der elektrische Strom vom Pluspol zum Minuspol fließe. Diese Stromrichtung wird die elektrische Stromrichtung genannt. Die Richtung des Stromes der Elektronen ist entgegengesetzt zur elektrischen Stromrichtung.

Man bezeichnet die Richtung vom positiven zum negativen Pol als die elektrische Stromrichtung.

3. Leiter und Isolatoren. Verbindet man die beiden aufgeladenen Platten (vgl. Abb. 113/1) mit einem Holzstab, so bleibt die Spannung erhalten. Erprobt man noch andere Stoffe, wie Kupfer, Gummi, Glas und so weiter in der gleichen Weise, so erkennt man: Nicht bei allen Stoffen tritt beim Anlegen einer Spannung ein Stromfluß auf. Stoffe, in denen die Elektronen wandern können, heißen *Leiter*. Diese Stoffe, zu denen die Metalle gehören, haben leichtbewegliche Elektronen.
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, Plaste und Gase sind Isolatoren. Da bei ihnen die Elektronenleitung praktisch bedeutungslos ist, werden die Isolatoren oft als Nichtleiter bezeichnet. Diese Bezeichnung ist aber wissenschaftlich nicht einwandfrei und sollte daher vermieden werden.

Werden die Pole einer Spannungsquelle durch einen Leiter verbunden, so fließt durch ihn ein elektrischer Strom.
Isolatoren verhindern das Fließen eines elektrischen Stromes.

Die unerwünschte Berührung zweier Leitungen wird durch geeignete Anwendung von Isolatoren ausgeschlossen. Die elektrischen Leitungen und Geräte müssen aber vor allem zum Schutze des Menschen isoliert sein. Demgemäß hat man geeignete Formen für elektrisches Leitungsmaterial entwickelt, zum Beispiel Kabel, Rohrdraht, Im-Putz-Leitungen und andere, die im Grundlehrgang für Elektrotechnik näher behandelt werden. Die Drähte der elektrischen Freileitungen sind an Porzellankörpern befestigt. Dadurch verhindert man, daß ein elektrischer Strom über den Mast zur Erde fließt. Diese Porzellankörper werden als *Isolatoren* bezeichnet. Der Name für die Eigenschaft wird auch für den Gegenstand verwendet.
Isolationen können aber auch unerwünscht auftreten. So können Oxidschichten und Staub zwischen der Verbindung zweier Leiter den Strom unterbrechen. Deshalb müssen leitend zu verbindende Teile an den Berührungsstellen blank sein und genügend fest aneinandergeklemmt werden (Abb. 119/1). Als unlösbare, gut leitende Verbindungen werden im Freileitungsbau Niet- und Kerbverbindungen angewandt. In Maschinen und Geräten stellt man die elektrischen Verbindungen hauptsächlich durch Löten her.

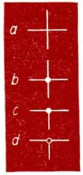


Abb. 119/1
Schaltzeichen von Verbindungen
a) Kreuzung zweier Leiter ohne leitende Verbindung
b) Kreuzung zweier Leiter mit leitender Verbindung (Lötverbindung)
c) Abzweigung (Lötverbindung)
d) Abzweigung (lösbare Verbindung)

4. Der elektrische Stromkreis. In einer Taschenlampe ist eine *Glühlampe* (Abb. 120/1) über einen *Schalter* (Abb. 120/2) an eine *Batterie* angeschlossen (Abb. 120/3). Bei geschlossenem Schalter leuchtet die Lampe. Es fließt nämlich dann durch die Zuleitung und den Glühfaden ein elektrischer Strom. Öffnet man den Schalter, so können die Elektronen nicht mehr wandern. Die Lampe leuchtet infolgedessen nicht mehr.

Abb. 120/1. Schaltbild einer Glühlampe

Abb. 120/2. Schaltbild eines Schalters
a) allgemein
b) mit Handbetätigung

Während außerhalb der Spannungsquelle die Elektronen vom Minuspol zum Pluspol fließen, wandern sie im Innern infolge chemischer Vorgänge zum Minuspol zurück. Dadurch werden die vom Minuspol abgegebenen Elektronen, durch die vom Pluspol aufgenommenen Elektronen wieder ergänzt. Der Minuspol behält so einen Überschuß an Elektronen, während der Pluspol 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. 120/4). Man spricht von einem *elektrischen Stromkreis*. Hierbei unterscheidet man zwischen 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, den chemischen Füllstoffen und dem Minuspol gebildet.

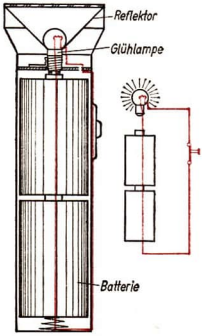


Abb. 120/3. Stromkreis in einer Taschenlampe

Ein elektrischer Strom fließt nur dann, wenn der Stromkreis geschlossen ist.

5. Gleichstrom und Wechselstrom. Bei dem in Abbildung 120/4 dargestellten Stromkreis fließt der elektrische Strom ständig in der gleichen Richtung. Die Ursache hierfür liegt darin, daß ein Pol der Spannungsquelle stets positiv und der andere stets negativ bleibt. In diesem Fall spricht man von einer **Gleichspannung.** Wird ein Leiter an eine solche Spannungsquelle angeschlossen, so fließen in ihm die Elektronen immer in der gleichen Richtung. Ein solcher Strom wird als **Gleichstrom** bezeichnet.

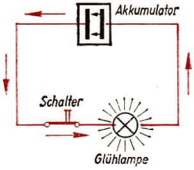
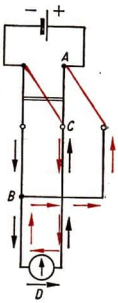


Abb. 120/4. Elektrischer Stromkreis (schematisch)

Ein Gleichstrom ist ein elektrischer Strom, der immer in der gleichen Richtung fließt.

Bei der in Abbildung 121/1 dargestellten Versuchsanordnung fließen die Elektronen von *B* über *D* nach *A*

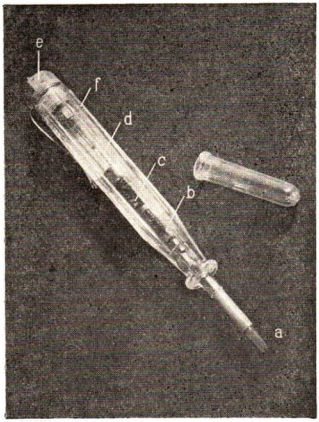
Abb. 121/1. Stromrichtung in einem Stromkreis mit Umschalter



(schwarze Pfeile). Legt man den Schalter in die rot gekennzeichnete Lage, so ist jetzt B mit dem Pluspol, C mit dem Minuspol verbunden. Die Elektronen fließen bei dieser Stellung von C über D nach B, also in der entgegengesetzten Richtung (rote Pfeile) wie im ersten Falle. Die Änderung der Stromrichtung kann an dem eingeschalteten Meßgerät abgelesen werden. Der Zeiger schlägt bei der ersten Stellung des Schalters nach der einen Seite, bei der zweiten Stellung nach der anderen Seite aus. Bewegt man den Umschalter fortwährend hin und her, dann pendelt der Zeiger des Meßgerätes im gleichen Rhythmus.
Einen solchen ständig seine Richtung ändernden Strom bezeichnet man als **Wechselstrom.** Er wird von einer **Wechselspannung** verursacht.

Ein Wechselstrom ist ein elektrischer Strom, der in kurzen Zeitabständen seine Richtung ändert.

Die technischen Wechselströme erzeugt man aber nicht in der beschriebenen Weise sondern sie entstehen unmittelbar in den Generatoren.
Die Anzahl der Richtungsänderungen in der Sekunde beim Wechselstrom wird durch den Begriff *Frequenz* erfaßt. Sie gibt an, wie oft ein Pol in der Zeiteinheit denselben Zustand zeigt, das heißt, wie oft er Minus- und Pluspol ist. Die *Einheit der Frequenz* ist das **Hertz** (Hz). Ein Strom hat die Frequenz von 1 Hz, wenn in jeder Sekunde jeder Pol einmal Plus- und einmal Minuspol ist.
Der von den Elektrizitätswerken gelieferte Strom wechselt in einer Sekunde 100mal seine Richtung. Jeder Pol ist dabei 50mal Pluspol und 50mal Minuspol. Der Strom hat also eine Frequenz von 50 Hz. In der Nachrichtentechnik werden auch Wechselströme mit wesentlich höheren Frequenzen verwendet, beispielsweise von 1 000 000 Hz. Man spricht in diesem Falle von *Hochfrequenz*.
Um festzustellen, ob an einer Steckdose eine Gleich- oder eine Wechselspannung liegt, benutzt man einen *Polsucher* (Abb. 122/1). Er enthält eine zylindrisch fast luftleer gepumpte Röhre, eine *Glimmlampe* (Abb. 122/2), in der sich Neongas befindet. Von den Enden her ragen in diese Röhre zwei Drahtstifte, sogenannte *Elektroden* hinein, die einander nicht berühren. Verbindet man die beiden Elektroden mit den Polen einer Gleichspannungsquelle, so überzieht sich die mit dem negativen Pol verbundene Elektrode mit rötlichem *Glimmlicht* (Abb. 122/3a). Die mit dem positiven Pol verbundene Elektrode bleibt dunkel.
Legt man nunmehr den Polsucher an eine Wechselspannungsquelle, so ist zu erkennen, daß beide Elektroden der Glimmröhre mit Glimmlicht überzogen sind (Abb. 122/3b). Bewegt man aber den Polsucher mit der Hand schnell hin und her, so sieht man, daß abwechselnd die obere und die untere Elektrode leuchten (Abb. 122/4). Man kann hieraus wieder auf den regelmäßigen Wechsel der Pole in der Steckdose schließen.



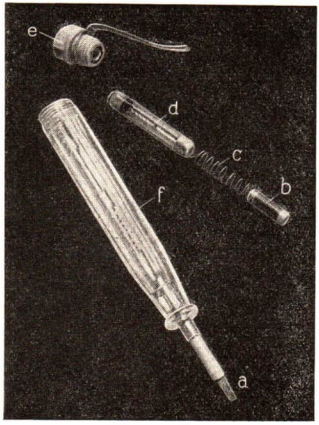


Abb. 122/1. Polsucher
a Kontakt in Form einer Schraubenzieherklinge
b Widerstand
c Feder
d Glimmlampe
e Schraube mit Kontakt
f Gehäuse

Abb. 122/2. Schaltzeichen einer Glimmlampe

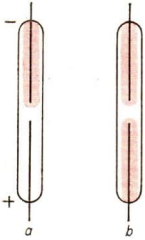


Abb. 122/3. Glimmlampe eines Polsuchers
a) bei Gleichstrom
b) bei Wechselstrom

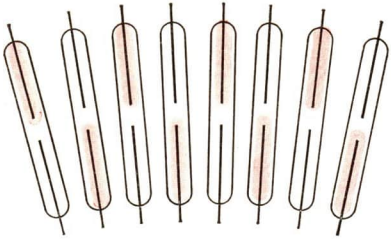
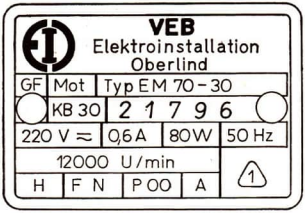


Abb. 122/4. Lichtband eines bewegten Polsuchers, der an eine Wechselspannung angeschlossen ist



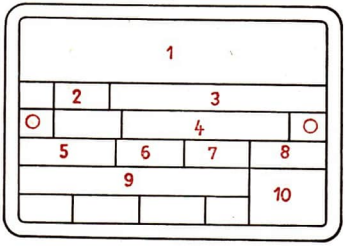


Abb. 123/1. Typenschild eines Staubsaugermotors

1 Betrieb 2 Geräteart 3 Typenbezeichnung 4 Nummer 5 Spannung
6 Stromstärke 7 Leistung 8 Frequenz 9 Drehzahl 10 Gütezeichen

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. 123/1, vgl. auch die folgende Tabelle).

Schaltzeichen für die Stromarten

Zeichen (Abb. 123/2)	Stromart
a —	Gleichstrom
b ~	Wechselstrom
c ≂	Gleich- und Wechselstrom, kurz Allstrom (ein so bezeichnetes Gerät kann mit Gleichstrom oder Wechselstrom betrieben werden)

Geräte, für die eine bestimmte Stromart angegeben ist, dürfen nur mit dieser betrieben werden. Die Glühlampen und die meisten elektrischen Wärmegeräte sind *Allstromgeräte.* Das Wort „Allstrom" sagt hierbei aus, daß diese Geräte sowohl mit Gleich- als auch mit Wechselstrom betrieben werden können. Sie sind meist nicht besonders gekennzeichnet.

7. Die Einheit der elektrischen Stromstärke. Ein elektrischer Strom kann mit unterschiedlicher Stärke fließen. Deshalb muß man elektrische Ströme messen können. Dazu benötigt man eine *Maßeinheit.* Die Stärke eines elektrischen Stromes ist von der Anzahl der Elektronen abhängig, die in der Sekunde den Querschnitt eines Leiters durchfließen. Somit wäre die Anzahl der Elektronen ein Maß für die Stromstärke. Da man die Elektronen aber nicht zählen kann, wurde die Einheit

André Marie Ampère
(1775 bis 1836)

auf Grund magnetischer Wirkungen des elektrischen Stromes festgelegt. Man nennt zu Ehren des französischen Physikers ANDRÉ MARIE AMPÈRE diese Einheit **Ampere** (A).
Dezimale Teile sind das **Milliampere** (mA) und das **Mikroampere** (μA).

$$1\ \text{mA} = 0{,}001\ \text{A},$$
$$1\ \mu\text{A} = 0{,}000\,000\,1\ \text{A}.$$

Die Stärke des Stromes, der durch ein kleines Bügeleisen mit einer Leistung von 250 W bei einer Spannung von 220 V fließt, beträgt etwas mehr als 1 A.
Bei einer Stromstärke von einem Ampere fließen in einer Sekunde rund $6000000000000000000 = 6 \cdot 10^{18}$ 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 aber der Teilnehmer in Peking die in Berlin gesprochenen Worte praktisch im gleichen Augenblick. Somit besteht zwischen der Geschwindigkeit der Elektronen und der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wirkungen des elektrischen Stromes ein großer Unterschied. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wirkung beträgt annähernd $300000\,\frac{\text{km}}{\text{s}}$. Dies kann man sich durch folgendes Modell veranschaulichen: Wird an einen Wasserhahn ein langer mit Wasser gefüllter Schlauch angeschlossen, so fließt Wasser im gleichen Augenblick aus, in dem der Hahn geöffnet wird. Auch hierbei wird die Wirkung viel schneller übertragen, als dies der Bewegung des Wassers entspricht.

Beispiele für einige in der Technik vorkommende Stromstärken

Elektrischer Belichtungsmesser	100	mA	Elektromotor (Straßenbahn)	150 A
Bandgenerator	1	mA	Elektroschweißgerät	500 A
Elektronenröhre	5	mA	Elektrische Gruben-lokomotive (über Tag)	1500 A
40-W-Glühlampe	0,18	A	Aluminiumschmelzofen	16000 A
Bügeleisen (500 W)	2	A	Elektrostahlofen	120000 A
Bogenlampe (Kinoprojektor)	15	A		

8. Strommeßgeräte. Elektrische *Strommesser*, auch *Amperemeter* genannt, beruhen meist auf der magnetischen Wirkung des elektrischen Stromes. Einen Strommesser zur Messung von Stromstärken bis 120 A zeigt die Abbildung 125/1 (vgl. auch Abb. 125/2 und 125/3). Bei kleinen Strömen benutzt man sogenannte *Milliamperemeter* oder *Mikroamperemeter*. Diese Meßgeräte sind in der gleichen Weise aufgebaut wie die Amperemeter. Nur ist das Meßwerk wesentlich empfindlicher.

9. Spannungsmeßgeräte. Eine Gruppe von *Spannungsmeßgeräten* wurde bereits auf Seite 113 beschrieben. Bei der Anwendung dieser Meßgeräte ist kein geschlossener

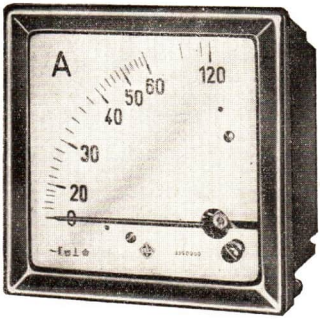


Abb. 125/1. Technischer Strommesser (Meßbereich 0 bis 120 A)

Stromkreis vorhanden. Sie werden daher auch nicht vom Strom durchflossen. Man nennt sie *statische Meßgeräte*. Im Gegensatz dazu werden die *stromdurchflossenen Meßgeräte* in geschlossenen Stromkreisen verwendet. Zu diesen Geräten gehören auch die bereits beschriebenen Strommesser. Während die Elektrometer nur in besonderen Forschungslaboratorien verwendet werden, findet man die stromdurchflossenen Spannungsmesser

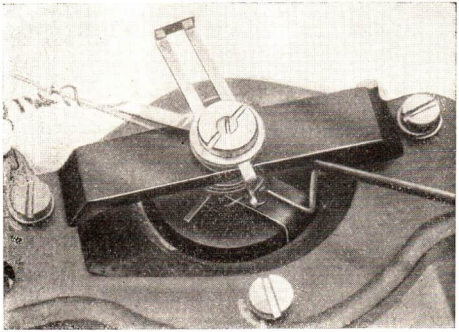


Abb. 125/3. Meßwerk eines Strommessers

Abb. 125/2 Schaltzeichen eines Strommessers a) anzeigend b) registrierend

Abb. 125/4 Schaltzeichen eines stromdurchflossenen Spannungsmessers

überall in den Produktionsbetrieben an Schalttafeln und verschiedenen elektrischen Geräten. Auch als tragbare Voltmeter werden sie benutzt.

Die stromdurchflossenen Spannungsmesser haben einen ähnlichen Aufbau wie die Strommesser (Abb. 125/4 und 125/5). Sie nutzen ebenfalls im allgemeinen die magnetische Wirkung des elektrischen Stromes aus.

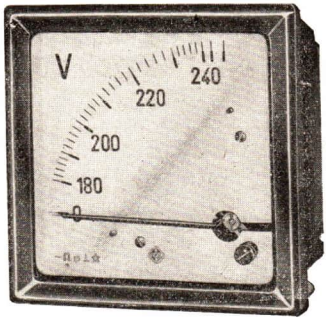


Abb. 125/5. Stromdurchflossener Spannungsmesser

10. 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. 126/1). 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

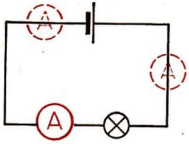


Abb. 126/1. Schaltung eines Strommessers im Stromkreis

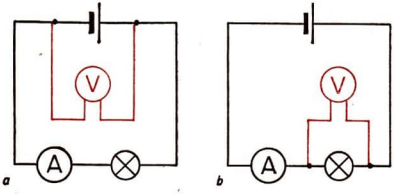


Abb. 126/2. Schaltung eines Spannungsmessers
a) Spannungsmessung der Spannungsquelle
b) Spannungsmessung der an einer Glühlampe anliegenden Spannung

Stromkreises durch den Leiterquerschnitt je Sekunde die gleiche Anzahl Elektronen fließt.

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. 126/2). Ein Spannungsmesser liegt immer *parallel* zu dem Stromverbraucher oder 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.

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Woraus erklärt sich die Tatsache, daß es Isolatoren und Leiter gibt?
2. Sprich über die Verwendung von Isolatoren bei elektrischen Geräten und Anlagen, die du zu Hause und im Betrieb kennengelernt hast!
3. Welche Isolatoren lerntest du bei Isolierarbeiten im polytechnischen Unterricht kennen?
4. Welche Arten leitender Verbindungen hast du im polytechnischen Unterricht kennengelernt?
5. Beschreibe den Stromkreis in deiner Taschenlampe! Fertige hierzu eine Schaltskizze an!
6. Worin unterscheiden sich Gleich- und Wechselstrom?
7. Sieh dir die Typenschilder verschiedener elektrischer Geräte an und stelle die Stromart fest! Wann darf ein Gerät mit Gleich- und mit Wechselstrom betrieben werden?

8. Nimm verschiedene Gegenstände (Metalle und Plaste) und prüfe mit einer Taschenlampenbatterie nach, ob es Leiter oder Isolatoren sind! Trage das Ergebnis in eine Tabelle nach dem folgenden Muster ein!

Leiter	Isolatoren
Eisen	Porzellan

25. Das Ohmsche Gesetz

1. Der Widerstandsbegriff. Ist ein Stromkreis geschlossen, so beginnen die freien Elektronen zu wandern. Sie bewegen sich in den Räumen zwischen den Ionen. Es kommt dabei zu einer Art Reibung zwischen den Ionen und den Elektronen, die sich als Widerstand äußert, der dem Stromfluß entgegenwirkt.

Jeder elektrische Stromkreis hat einen elektrischen Widerstand.

Die verschiedenen Leiter haben einen unterschiedlichen inneren Aufbau. Das bedeutet, daß die Elektronen in verschiedenen Leitern einen unterschiedlichen Widerstand zu überwinden haben.

Die Größe des elektrischen Widerstandes ist von dem Stoff abhängig, aus dem der Leiter besteht. Der Widerstand ist eine Eigenschaft des Stoffes.

Man bezeichnet jedoch nicht nur die Eigenschaft der Leiter, den elektrischen Strom zu hemmen, als Widerstand, sondern auch die Geräte selbst, bei denen diese Eigenschaft ausgenutzt wird (Abb. 127/1).

2. Das Ohmsche Gesetz. In der in Abbildung 120/4 dargestellten Versuchsanordnung wird eine Glühlampe für 6 V verwendet. Schaltet man nur eine Akkumulatorzelle (2 V) ein, so leuchtet die Glühlampe nur sehr schwach. Erhöht man nun die Spannung auf 4 V und schließlich auf 6 V, so leuchtet die Glühlampe heller beziehungsweise mit voller Lichtstärke. Der Stromkreis ist bei diesem Versuch nicht verändert worden, das heißt, der Widerstand ist der gleiche geblieben. Auf Grund des helleren Leuchtens der Glühlampe ist aber anzunehmen, daß mehr Elektronen den Glühfaden durchflossen haben, daß also die Stromstärke zugenommen hat. Es muß somit ein Zusammen-

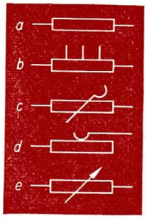


Abb. 127/1. Schaltzeichen von Widerständen
a) allgemein
b) mit drei Anzapfungen
c) und d) stufig verstellbar
e) stetig verstellbar

hang zwischen der Spannung und der Stromstärke bestehen. *Wird die Spannung erhöht, nimmt die Stromstärke zu.*

Der deutsche Physiker GEORG SIMON OHM (1789 bis 1854) untersuchte als erster die geschilderten Erscheinungen und stellte im Jahre 1827 fest, daß ein bestimmter gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen den elektrischen Grundgrößen Spannung, Stromstärke und Widerstand besteht.

Für die drei elektrischen Grundgrößen sind folgende Formelzeichen festgelegt worden:

Spannung	U,
Stromstärke	I,
Widerstand	R.

a) Die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung. Zunächst soll untersucht werden, in welchem Maße sich die Stromstärke ändert, wenn die Spannung vergrößert wird. Der Widerstand des Stromkreises soll sich während der Messungen nicht ändern. Durch Überlegungen kommt man zu folgendem Ergebnis: Damit durch den Leiter ein elektrischer Strom fließt, muß eine Spannung vorhanden sein. Infolge der Spannung bewegen sich die freien Elektronen und überwinden den Widerstand des Leiters. Der elektrische Strom erreicht eine bestimmte Stärke. Wird die Spannung erhöht, so wirkt eine größere Kraft auf die freien Elektronen. Infolgedessen fließen mehr Elektronen durch den Querschnitt des Drahtes. *Die Stromstärke wird um so größer, je größer die Spannung ist.*

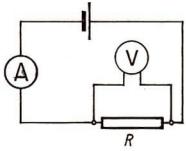


Abb. 128/1. Schaltskizze der Versuchsanordnung zur Untersuchung der Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung

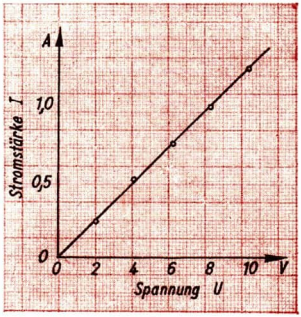
Die Richtigkeit der Überlegungen kann man durch folgenden Versuch nachprüfen: Ein Widerstandsdraht wird mit einem Strommesser und einer Akkumulatorenzelle zu einem Stromkreis zusammengeschaltet (Abb. 128/1). Die an den Enden des Widerstandsdrahtes liegende Spannung mißt man mit einem Spannungsmesser. Durch Hinzuschalten weiterer Akkumulatorenzellen wird die Spannung jeweils um 2 V erhöht. Es ergeben sich folgende Meßergebnisse:

Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung bei konstantem Widerstand

Spannung U in V	Stromstärke I in A	$\frac{\text{Spannung } U}{\text{Stromstärke } I}$ in $\frac{\text{V}}{\text{A}}$
2	0,25	8,0
4	0,51	7,8
6	0,75	8,0
8	0,99	8,1
10	1,24	8,1

Bei doppelter Spannung ist die Stromstärke doppelt so groß. Wird die Spannung auf das Dreifache erhöht, ergibt sich auch die dreifache Stromstärke. Bildet man die Quotienten aus der Spannung und der zugehörigen Stromstärke, so erhält man annähernd gleich große Werte. *Spannung und*

Abb. 129/1. Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung bei konstantem Widerstand



Stromstärke wachsen beide im gleichen Verhältnis. Stellt man die Versuchsergebnisse grafisch dar, so erhält man eine durch den Nullpunkt gehende Gerade (Abb. 129/1). Eine solche Gerade ist immer das Zeichen dafür, daß die untersuchten Größen verhältnisgleich sind. Die Richtigkeit der Ergebnisse ist durch viele Versuche an verschiedenen Stromkreisen bestätigt worden.

Bei dem beschriebenen Versuch hat der Quotient $\frac{U}{I}$ etwa den Wert 8,0 $\frac{\text{V}}{\text{A}}$. Die Abweichungen von diesem Mittelwert sind auf Meßfehler zurückzuführen. Den Wert $\frac{U}{I}$ verwendet man als Meßgröße für den Widerstand. Als Einheit des Widerstandes wurde zu Ehren GEORG SIMON OHMS das **Ohm** (Ω) festgelegt.

In einem Gleichstromkreis ist der Quotient aus Spannung und Stromstärke eine Konstante. Diese heißt der Widerstand des Stromkreises.

Die Gleichung

$$R = \frac{U}{I}$$

zeigt eine Möglichkeit, den Widerstand eines Leiters zu bestimmen. Man mißt Stromstärke und Spannung und berechnet den Widerstand (vgl. S. 140).

b) Die Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand. Verwendet man die obengenannte Gleichung in der Form

$$I = \frac{U}{R},$$

so kann man die Stromstärke ermitteln, sobald die Spannung und der Widerstand bekannt sind. Außerdem zeigt diese Gleichung die Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand. Diese Abhängigkeit kann man experimentell nachprüfen, indem man die Spannung konstant hält und den Widerstand verändert. Man schaltet in einem Stromkreis völlig gleiche Widerstandsdrähte hintereinander (Abb. 129/2). Die Werte für die Stromstärke und den Widerstand werden in eine Tabelle eingetragen.

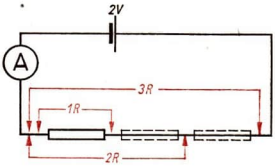


Abb. 129/2. Schaltskizze der Versuchsanordnung zur Untersuchung der Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand

Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand bei konstanter Spannung ($U = 2$ V)

Stromstärke I in A	Widerstand R Grundwiderstand	Stromstärke · Widerstand $I \cdot R$ 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

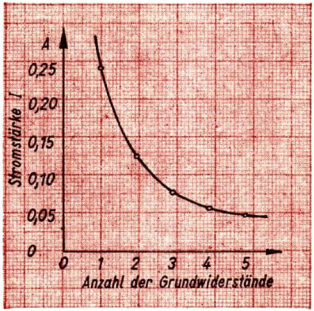


Abb. 130/1. Grafische Darstellung der Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand

Vergleicht man die Werte miteinander, so stellt man fest: Je größer der Widerstand ist, um so kleiner ist die Stromstärke. Bildet man das Produkt aus der Stromstärke und dem Widerstand, so ist dieses, von kleinen Abweichungen abgesehen, konstant. Daraus folgt, daß die beiden Größen Stromstärke und Widerstand im umgekehrten Verhältnis zueinander stehen.
Stellt man die Versuchsergebnisse wiederum grafisch dar, so erhält man eine Kurve, wie sie die Abbildung 130/1 zeigt.

c) Formulierung des Ohmschen Gesetzes – Die Einheit des Widerstandes. Faßt man die Ergebnisse der beiden Abschnitte *a)* und *b)* zusammen, so ergibt sich, daß zwischen Spannung, Stromstärke und Widerstand ein bestimmter gesetzmäßiger Zusammenhang besteht, für den folgende Gleichung gilt:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Die elektrische Stromstärke ist der Quotient aus der elektrischen Spannung und dem elektrischen Widerstand.

Dieses Gesetz wurde von Georg Simon Ohm gefunden und wird daher ihm zu Ehren als **Ohmsches Gesetz** bezeichnet.
Ihm zu Ehren erhielt auch die Maßeinheit für den elektrischen Widerstand den Namen Ohm.

Hinsichtlich der Einheit des Widerstandes wurde festgelegt:

Ein Draht hat den elektrischen Widerstand von 1 Ω, wenn durch ihn bei einer Spannung von 1 V ein Strom von 1 A fließt.

$$1\ \Omega = \frac{1\ \text{V}}{1\ \text{A}}$$

Georg Simon Ohm (1789 bis 1854)

Dezimale Vielfache sind das **Kiloohm** (kΩ) und das **Megaohm** (MΩ).

$$1\ \text{k}\Omega = 1000\ \Omega$$
$$1\ \text{M}\Omega = 1000\ \text{k}\Omega = 1\,000\,000\ \Omega.$$

Die Entdeckung des Zusammenhanges zwischen Stromstärke, Spannung und Widerstand durch Georg Simon Ohm bedeutete für die Entwicklung der Elektrizitätslehre einen großen Schritt vorwärts.
Dieses Gesetz und die anderen Naturgesetze, wie das Boylesche Gesetz und das Energieprinzip, die die Wissenschaftler bisher gefunden haben, gelten überall, auch im Weltall. Dies beweisen die von der Sowjetunion gestarteten Sputniks und Weltraumschiffe. 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 nur möglich, weil die entsprechenden Naturgesetze erforscht waren und angewandt wurden.

3. Technische Anwendung des Ohmschen Gesetzes. Die praktische Bedeutung des Ohmschen Gesetzes zeigen folgende technische Beispiele:

a) Die Lichtwurflampe des Zeiss-Kleinbildprojektors 375 W ist für eine Spannung von 75 V bei einer Stromstärke von 5 A gebaut (Abb. 131/1). Der Widerstand des Glühfadens beträgt somit

$$R = \frac{U}{I},$$
$$R = \frac{75\ \text{V}}{5\ \text{A}},$$
$$R = 15\ \Omega.$$

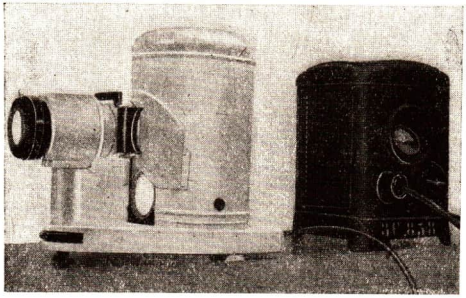


Abb. 131/1. Zeiss-Kleinbildprojektor

Würde diese Lampe an das 220-V-Lichtnetz angeschlossen werden, so würde durch ihren Glühfaden ein Strom mit der Stärke

$$I = \frac{U}{R},$$
$$I = \frac{220\ \text{V}}{15\ \Omega},$$
$$I \approx 14{,}7\ \text{A}$$

fließen. Innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde wäre infolge der Überhitzung der Glühfaden geschmolzen. 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

$$R = \frac{U}{I},$$
$$R = \frac{220\ \text{V}}{5\ \text{A}},$$
$$R = 44\ \Omega$$

notwendig. Da der Widerstand des Glühfadens aber nur 15 Ω beträgt, muß noch ein Widerstand von

$$44\ \Omega - 15\ \Omega = \underline{\underline{29\ \Omega}}$$

zusätzlich in den Stromkreis geschaltet werden. Durch die Lampe fließt dann nur ein Strom mit der vorgeschriebenen Stärke von 5 A. Der Widerstand erwärmt sich dabei infolge der großen Stromstärke ziemlich stark, so daß man zu seiner Unterbringung ein besonderes Gehäuse benutzt.
Ein Widerstand zum Schutz eines Gerätes, dessen Betriebsspannung niedriger ist als die Spannung, an die es angeschlossen wird, wird als *Vorschaltwiderstand* bezeichnet.

b) Durch einen elektrischen Heizofen, der an eine Spannung von 220 V angeschlossen ist, fließt ein Strom von 4,5 A. Wie groß ist der Widerstand des Ofens?

Gegeben:	Gesucht:	Gleichung:
$U = 220\ \text{V},$	R (in Ω)	$R = \frac{U}{I},$
$I = 4{,}5\ \text{A}$		$R = \frac{220\ \text{V}}{4{,}5\ \text{A}},$
		$\underline{\underline{R \approx 49\ \Omega.}}$

Der Widerstand des Heizofens beträgt etwa 49 Ω.

c) Wie groß müßte der Widerstand des Heizofens sein, wenn er bei doppelt so großer Stromstärke an eine 110-V-Spannungsquelle angeschlossen werden soll?
Den Wert für den Widerstand kann man wieder nach der Gleichung

$$R = \frac{U}{I}$$

berechnen:

$$R = \frac{U}{I},$$

$$R = \frac{110\ \text{V}}{9\ \text{A}},$$

$$R \approx 12{,}2\ \Omega.$$

Der Widerstand braucht in diesem Falle nur ein Viertel so groß zu sein.

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Welche doppelte Bedeutung hat das Wort Widerstand?
2. Wie stellt man bei drei zusammengehörigen physikalischen Größen, zum Beispiel Spannung, Stromstärke und Widerstand, experimentell die Abhängigkeit dieser Größen voneinander fest?
3. 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 1200 Ω. Wie groß ist die Stromstärke?
4. 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?
5. Was ist ein Vorschaltwiderstand, und wozu braucht man ihn?
6. Mit welcher Spannung muß eine Klingel mit einem Widerstand von 12 Ω betrieben werden, wenn sie einen Arbeitsstrom von 0,5 A benötigt?

26. Der elektrische Widerstand

Eine wichtige Eigenschaft eines elektrischen Leiters ist ein elektrischer Widerstand (vgl. S. 127). Es wurde bereits auf Seite 129 eine Möglichkeit gezeigt, den Widerstand zu ermitteln. Da nun der Widerstand vom Material abhängig ist, müßte doch eine Möglichkeit bestehen, seine Größe aus den Abmessungen des Leiters zu berechnen. Zu diesem Zweck muß man untersuchen, in welcher Weise der Widerstand von der Länge des Leiters, seinem Querschnitt und dem Material abhängt.

1. Die Abhängigkeit des Widerstandes von der Länge des Leiters. In einem Stromkreis ist an einem ausgespannten Widerstandsdraht ein Abgriff verschiebbar angebracht (Abb. 133/1). 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 um so größer wird, je länger der Draht ist.

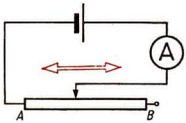


Abb. 133/1. Versuchsanordnung zur Untersuchung der Abhängigkeit des Widerstandes

Der elektrische Widerstand ändert sich im gleichen Verhältnis wie die Länge des Leiters.
$R \sim l$.

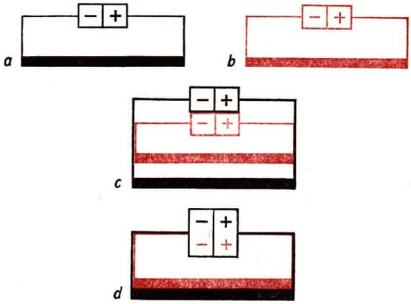


Abb. 134/1. Abhängigkeit des Widerstandes vom Querschnitt (schematisch)

2. Die Abhängigkeit des Widerstandes vom Querschnitt des Leiters. In den Abbildungen 134/1a und b sind zwei völlig gleiche Stromkreise schematisch dargestellt. Da die Spannungen und die Widerstände in beiden Stromkreisen jeweils gleich groß sind, haben die elektrischen Ströme auch in beiden Kreisen die gleiche Stärke. Schaltet man nun die beiden Stromkreise, wie es in der Abbildung 134/1c angedeutet ist, zusammen, so fließen die Elektronen nach wie vor mit derselben Geschwindigkeit und in derselben Anzahl durch jeden Leiter. Werden aber jetzt die beiden Stromkreise vereint, so hat der aus den beiden Leitern zusammengesetzte neue Leiter den doppelten Querschnitt. Die Spannung bleibt konstant, so daß die Elektronen weiterhin mit derselben Geschwindigkeit fließen wie zuvor. Da der neue Leiter in sich die beiden einzelnen Leiter vereint, haben sich auch die beiden Elektronenströme vereinigt. Die Anzahl der Elektronen hat sich infolgedessen verdoppelt. Das äußert sich darin, daß die Stromstärke den doppelten Wert annimmt. Bei gleicher Spannung ist aber auf Grund des Ohmschen Gesetzes eine Verdoppelung der Stromstärke nur möglich, wenn der Widerstand auf die Hälfte gesunken ist. 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
2 Stromkreisen	2facher Querschnitt	2fache Stromstärke	$\frac{1}{2}$ seines Wertes
3 Stromkreisen	3facher Querschnitt	3fache Stromstärke	$\frac{1}{3}$ seines Wertes
4 Stromkreisen	4facher Querschnitt	4fache Stromstärke	$\frac{1}{4}$ seines Wertes
5 Stromkreisen	5facher Querschnitt	5fache Stromstärke	$\frac{1}{5}$ seines Wertes
⋮	⋮	⋮	⋮
n Stromkreisen	$n$facher Querschnitt	$n$fache Stromstärke	$\frac{1}{n}$ seines Wertes

Daraus folgt:

Der elektrische Widerstand ändert sich im umgekehrten Verhältnis wie der Querschnitt des Leiters.

$$R \sim \frac{1}{A}.$$

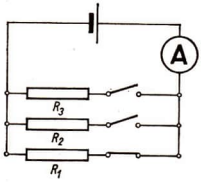


Abb. 135/1. Versuchsanordnung zur Untersuchung der Abhängigkeit des Widerstandes vom Querschnitt

Prüfe dieses Ergebnis mit Hilfe der in Abbildung 135/1 wiedergegebenen Versuchsanordnung nach! Schalte erst einen, dann zwei und schließlich drei gleichartige Drähte mit gleichen Abmessungen in den Stromkreis und stelle die entsprechenden Meßwerte zusammen!

3. Die Abhängigkeit des Widerstandes vom Stoff. Bei den bisherigen Untersuchungen wurde noch nicht der Einfluß des Materials auf die Größe des Widerstandes untersucht. Um eine Vergleichsmöglichkeit zu haben, hat es sich als zweckmäßig erwiesen, den Widerstand eines Leiters von 1 m Länge und einem Querschnitt von 1 mm² zu ermitteln. Den Wert, den man dabei erhält, bezeichnet man als **spezifischen Widerstand** ϱ. Er ist eine Materialkonstante und hat für jeden Stoff einen anderen Wert. Der spezifische Widerstand hat die Maßeinheit:

$$\frac{\Omega \cdot \mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}.$$

Während Blei einen spezifischen Widerstand von

$$\varrho_{Pb} = 0{,}207\ \Omega \cdot \frac{\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}$$

hat, beträgt er bei Kupfer

$$\varrho_{Cu} = 0{,}017\ \Omega \cdot \frac{\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}.$$

Man kann also bereits aus der Größe des spezifischen Widerstandes entnehmen, ob es sich um einen guten oder einen schlechten Leiter handelt. Ein Stoff leitet den elektrischen Strom um so besser, je kleiner sein spezifischer Widerstand ist (vgl. Tabelle auf Seite 136).

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 $\Omega \cdot \frac{\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}$.

Der spezifische Widerstand metallischer Leiter liegt in der Größenordnung von 0,01 bis 1 $\Omega \cdot \frac{\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}$. Stoffe, deren spezifischer Widerstand größer als $10^{14}\ \Omega \cdot \frac{\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}$ ist, nennt man Isolatoren. Als *Halbleiter* bezeichnet man Stoffe mit besonderen Eigenschaften. Ihr spezifischer Widerstand liegt zwischen dem der reinen Metalle und

Spezifischer Widerstand einiger Stoffe

Stoff		spezifischer Widerstand ϱ in $\Omega \frac{mm^2}{m}$
Leiter:	Silber	0,016
	Kupfer	0,017
	Aluminium	0,028
	Zink	0,048
	Nickel	0,061
	Platin	0,098
	Stahl	0,10 bis 0,25
	Zinn	0,013
	Chrom	0,19
	Blei	0,207
	Messing	0,07 bis 0,09
	Neusilber	0,30 bis 0,36
	Nickelin (67% Cu, 30% Ni, 3% Mn)	0,40
	Manganin (86% Cu, 2% Ni, 12% Mn)	0,43
	Konstantan (54% Cu, 45% Ni, 1% Mn)	0,50
Halbleiter:	Kohle	86 bis 100
	Germanium	etwa 550000
	Silizium	$1{,}2 \cdot 10^{11}$
Isolatoren:	Glas	10^{17} bis 10^{18}
	Glimmer	10^{19} bis 10^{21}
	Hartgummi	10^{19} bis 10^{22}
	Schellack	10^{19} bis 10^{20}
	Paraffin	10^{20} bis 10^{22}
	Schwefel	größer als 10^{22}
	Bernstein	größer als 10^{22}
	Polystyrol	größer als 10^{22}

dem der Isolatoren. So sind unter anderem Kohle, Germanium und Silizium Halbleiter.

Wegen ihres geringen spezifischen Widerstandes benutzt man für elektrische Leitungen in der Technik meist Kupfer- oder Aluminiumdrähte. Da der spezifische Widerstand von Aluminium etwa 1,6mal so groß wie der spezifische Widerstand des Kupfers ist, muß bei gleichem Widerstand und gleicher Länge der Aluminiumdraht einen 1,6mal so großen Querschnitt wie der Kupferdraht haben. Für viele Verwendungszwecke, beispielsweise für die Lichtleitungen in Gebäuden, ist die geringe Vergrößerung des Durchmessers 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 Phenoplaste.

So haben als Isoliermittel für Drähte die Silikonlacke die bisherigen Isolationsmittel, wie Baumwoll- oder Seidenumspinnung, verdrängt. Silikonlacke 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 Fähigkeit wie Stahl, aber eine viel geringere Wichte haben.

4. Das Widerstandsgesetz. Die Untersuchungen des Widerstandes brachten folgende Ergebnisse:
Der Widerstand eines Leiters ist um so größer,

a) je größer die *Länge* l des Leiters,
b) je geringer sein *Querschnitt* A und
c) je größer sein *spezifischer Widerstand* ϱ ist.

Drückt man diese Zusammenhänge durch eine Gleichung aus, so erhält man:

$$R = \varrho \cdot \frac{l}{A}.$$

Dieses Gesetz bezeichnet man als **Widerstandsgesetz.** Es kann selbstverständlich nur angewendet werden, wenn der Leiter auf seiner ganzen Länge aus dem gleichen Stoff besteht und den gleichen Querschnitt hat.

5. Die Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur. Aus der Wärmelehre ist bekannt, daß sich die physikalischen Eigenschaften der Stoffe ändern, sobald ihre Temperatur zu- oder abnimmt. Es liegt nahe zu vermuten, daß auch der elektrische Widerstand von der Temperatur des Leiters abhängig ist. Diese Vermutung ist um so mehr begründet, als beispielsweise bei Erhöhung der Temperatur die Bewegung der Moleküle größer wird. Das müßte doch einen Einfluß auf die bewegten Elektronen haben.
In einem Stromkreis ist ein Eisendraht mit einem Strommesser in Reihe geschaltet (Abb. 137/1). Beim Erwärmen des Drahtes durch eine Bunsenflamme stellt man ein deutliches Absinken der Stromstärke fest. Da die Spannung unverändert geblieben ist, folgt aus dem Ohmschen Gesetz, daß der Widerstand größer geworden ist. Läßt man den Draht sich abkühlen, so steigt die Stromstärke wieder an. Wird der gleiche Versuch mit Leitern aus anderen Metallen durchgeführt, so zeigt sich das gleiche Verhalten.

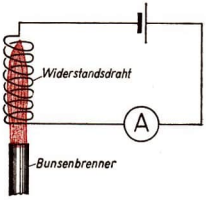


Abb. 137/1. Nachweis der Abhängigkeit des Widerstandes eines Eisendrahtes von der Temperatur

Der Widerstand eines Leiters ist von der Temperatur abhängig.
Der Widerstand von Metallen wird beim Erwärmen größer.

Durch Erwärmung wird die Bewegung der Moleküle vergrößert. Damit werden die freien Räume verkleinert. Die auf die freien Elektronen wirkenden Kräfte sind daher größer, so daß sie in ihrer Bewegung stärker behindert werden. Der Widerstand des Leiters nimmt zu. Es fließen infolgedessen in der Sekunde weniger Elektronen durch den Leiterquerschnitt als vor der Erwärmung. Die Stromstärke wird kleiner. Dies trifft für alle reinen Metalle zu. Die Anzahl der vorhandenen Leitungselektronen in reinen Metallen ändert sich nämlich bei Erwärmung nicht. Auch bei sehr tiefen Temperaturen haben Metalle bereits die größtmögliche Anzahl freier Elektronen.
Halbleiter dagegen haben bei tiefen Temperaturen nur wenige oder gar keine Leitungselektronen. Wird ein stromdurchflossener Halbleiter, zum Beispiel ein Kohlestab, erwärmt, so nimmt die Stromstärke zu. Sein Widerstand ist demnach kleiner geworden. Bei Erwärmung eines stromdurchflossenen Halbleiters spielen sich zwei Vorgänge ab, die sich einander überlagern:

1. Wie bei den reinen Metallen nimmt der Widerstand infolge der größeren Bewegung der Moleküle zu.
2. Außerdem werden aber mit steigender Temperatur weitere Elektronen frei, so daß die Stromstärke anwächst.

Der Einfluß durch 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 Urandioxid, sind bei tiefen Temperaturen Isolatoren. Bei hohen Temperaturen jedoch haben sie so viele freie Elektronen wie die Metalle. Ihr spezifischer Widerstand ist dann klein. Stoffe mit dieser Eigenschaft werden *Heißleiter* genannt. Sie werden in der Technik oft zum Regeln von Stromkreisen verwandt, da sie gerade die entgegengesetzte Eigenschaft wie die anderen Leiter haben. Man kann deshalb die Auswirkung der einen Eigenschaft durch die der anderen aufheben.
So benutzt man bei Allstrom-Rundfunkempfängern Heißleiter oft zum Schutze der Skalenlampen (Abb. 138/1). 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 größerer Stärke, der sich mit zunehmender Erwärmung der Heizfäden verringert. Die Skalenlampe jedoch würde durch diesen Stromstoß zerstört werden. Deshalb wird in den Stromkreis

Abb. 138/1. Schaltung der Heizfäden und der Skalenlampen in einem Allstromempfänger

zusätzlich ein Urdoxwiderstand *(Urandioxid)* als Heißleiter geschaltet. Sein Widerstand ist im kalten Zustand sehr groß, so daß er die Stromstärke begrenzt und damit den Glühfaden der Skalenlampe schützt. Infolge des Stromflusses erwärmen sich die Heizfäden, ihr Widerstand nimmt zu. Gleichzeitig erwärmt sich auch der Heißleiter. Dessen Widerstand sinkt etwa in gleichem Maße, wie der Widerstand der Heizfäden zunimmt. Die Stromstärke bleibt infolgedessen annähernd konstant. Der Vorwiderstand R_v wird so bemessen, daß durch die Glühlampe und die Heizfäden ein Strom mit der vorgesehenen Stärke fließt, sobald der Heißleiter 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 zum Beispiel für Meßwiderstände benutzt.

6. Elektrische Temperaturmessung. Da sich der Widerstand eines Leiters mit der Temperatur ändert, kann man diese Änderung zur Messung der Temperatur ausnutzen. Die Meßdrähte, die meist aus Platin oder Nickel bestehen, sind auf einen Isolierkörper gewickelt und werden von einer Schutzhülle umgeben (Abb. 139/1). Die Anschlußleitungen führt man zu einer zentralen Überwachungsstelle (Abb. 139/2). An dem Meßgerät kann unmittelbar die Temperatur abgelesen werden. Mit Hilfe der elektrischen Widerstandsthermometer, wie sie allgemein genannt werden, können Feinmessungen an unzugänglichen Meßstellen bis zu Entfernungen von einigen Kilometern ausgeführt werden.

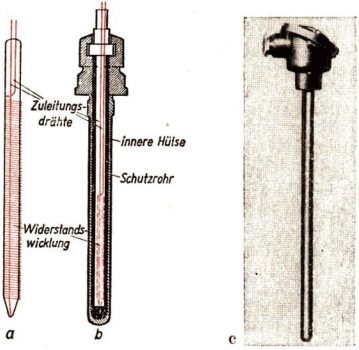


Abb. 139/1. Meßeinsatz eines Widerstandsthermometers
a) Isolierkörper mit Meßdrähten
b) Schnittzeichnung
c) Ansicht

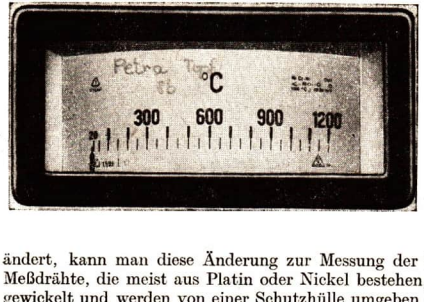


Abb. 139/2.
In Temperaturgrade eingeteilte Skale des Meßgerätes

7. Die Messung eines Widerstandes. Es gibt mehrere Verfahren zum *Messen des Widerstandes von Leitern.* Ein Verfahren wurde bereits auf Seite 129 beschrieben. Es ergibt sich aus dem Ohmschen Gesetz: Die an dem Leiter liegende Spannung und die Stärke des in ihm fließenden Stromes werden gemessen (Abb. 140/1). Der Widerstand des Leiters ist dann der Quotient aus der Spannung und der Stromstärke.

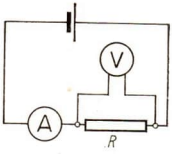


Abb. 140/1. Widerstandsmessung mit Strom- und Spannungsmesser

Wesentlich einfacher ist die Widerstandsbestimmung unter Verwendung eines *Ohmmeters.* Der zu bestimmende Widerstand braucht nur an die hierfür vorgesehenen Buchsen angeschlossen zu werden. Die Spannungsquelle, zum Beispiel eine Taschenlampenbatterie, ist im Meßgerät selbst eingebaut. Das Meßwerk ist als Strommesser geschaltet. Da bei konstanter Spannung die Stromstärke und der Widerstand im umgekehrten Verhältnis zueinander stehen, können auf der Skale unmittelbar die Widerstandswerte aufgetragen werden (Abb. 140/2). Voraussetzung für ein genaues Messen ist, daß die Spannungsquelle die vorgeschriebene Spannung hat.

8. Technische Widerstände. In der Technik ist es vielfach notwendig, die Stärke des Stromes, der durch einen Verbraucher fließt, zu verändern. Dazu verwendet man Widerstände, wie es auch bei dem Zeiss-Projektor getan wurde. Ein anderes Beispiel ist die Änderung der Fahrgeschwindigkeit einer elektrischen Straßenbahn. Sie wird vom Wagenführer durch Drehen einer Kurbel vollzogen. Er schließt und

Abb. 140/2. Widerstandsmesser

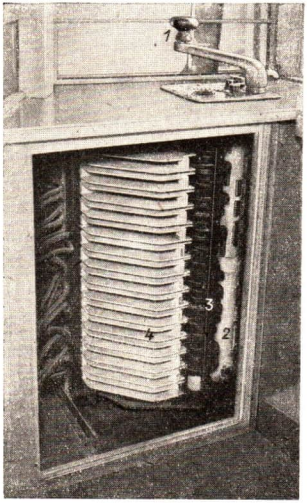


Abb. 140/3. Drehschalter im Führerstand eines von dem Lowa, Werdau, gebauten Straßenbahnwagens

1 Schaltkurbel; *2* Schaltwalzen für Vorwärts- und Rückwärtsfahrt; *3* Schaltwalzen für Fahrstufen; *4* Funkenlöschkammern

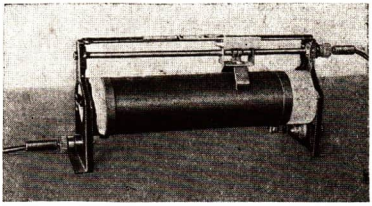


Abb. 141/1.
Stellwiderstand

öffnet dadurch Kontakte und bewirkt damit, daß Widerstände, die auf dem Dach des Wagens liegen, in die zum Motor führende Leitung einbeziehungsweise ausgeschaltet werden (Abb. 140/3):

Will man die Stromstärke in kleineren Stufen ändern, so benutzt man häufig *Schiebewiderstände*. Ein solcher Widerstand besteht aus einem Rohr, das meist aus einer keramischen Masse hergestellt und mit einem oxydierten Widerstandsdraht umwickelt ist. Die Oxidschicht ist ein Isolator, so daß sich die Windungen nicht leitend berühren (Abb. 141/1). Über das Rohr gleitet an einer Führungsstange ein federnder Kontaktbügel, der zum Abgriff des Stromes dient. An den Stellen, an denen der Kontaktbügel über den Widerstandsdraht gleitet, ist die Oxidschicht entfernt, so daß der Kontaktbügel leitend mit dem Widerstandsdraht verbunden ist. Man ändert die Stromstärke, indem man den Kontaktbügel verschiebt. Auf diese Weise schaltet man mehr oder weniger große Teile des Widerstandsdrahtes in den Stromkreis.

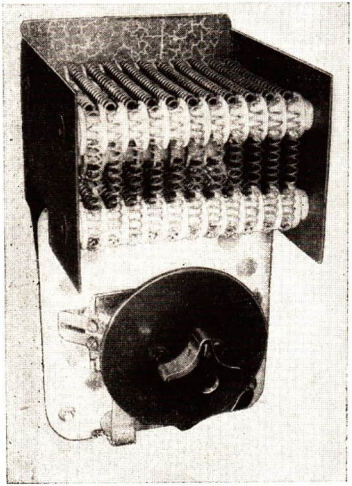
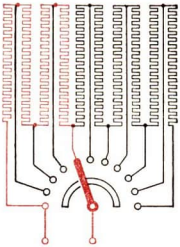


Abb. 141/2. Kurbelwiderstand
a) Ansicht b) Schaltbild
Die rot gezeichneten Widerstandsteile sind bei der im Bild wiedergegebenen Kurbelstellung vom Strom durchflossen.



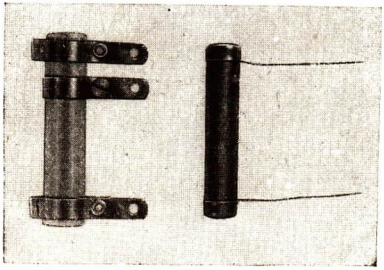


Abb. 142/1. Widerstände für die Funktechnik.
Links Drahtwiderstand, rechts Schichtwiderstand

Eine andere häufig verwendete Form eines technischen Widerstandes ist der *Kurbelwiderstand* (Abb. 141/2). Bei ihm liegen eine Reihe von Widerstandsdrähten, meist als Drahtwendeln auf einem Rahmen befestigt, zwischen mehreren, kreisförmig angeordneten Kontakten, auf denen eine Kurbel gleitet. Durch Drehen der Kurbel wird eine bestimmte Anzahl von Teilwiderständen in den Stromkreis geschaltet.

Die in der Rundfunk- und Fernsehtechnik sehr häufig verwendeten *technischen Widerstände* dienen in elektrischen Schaltungen zum Verändern oder zum Einstellen von Stromstärke- und Spannungswerten. Neben den üblichen *Drahtwiderständen* werden heute immer mehr *Schichtwiderstände* benutzt (Abb. 142/1). 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 die 2. Ziffer. Ein farbiger Punkt oder Ring in der Mitte des Widerstandes kennzeichnet die Anzahl der Nullen. Ein goldener Ring oder die goldene Farbe der anderen Kappe zeigt, daß der angegebene Widerstand auf 5% genau ist. Silber weist auf eine Genauigkeit von 10% hin.

Beispiel: Der Widerstandswert eines roten Schichtwiderstandes mit einer violetten und einer silbernen Kappe sowie einem gelben Ring in der Mitte ist (Abb. 142/2):

rot:	2 (1. Ziffer)
violett:	7 (2. Ziffer)
gelb:	4 Nullen

Der Widerstandswert beträgt somit 270000 Ω.
Dieser Wert ist auf 10% genau. Das heißt, der Widerstandswert kann zwischen 243000 Ω und 297000 Ω schwanken.

Abb. 142/2.
Schichtwiderstand

Farbkennzeichnung von Masse- und Schichtwiderständen

Ziffer	Farbe	Ziffer	Farbe
0	schwarz	5	grün
1	braun	6	blau
2	rot	7	violett
3	orange	8	grau
4	gelb	9	weiß

1. Welches Gesetz der Elektrizitätslehre wird bei den Schiebewiderständen ausgenutzt?
2. Die Durchmesser zweier gleich langer Kupferdrähte verhalten sich wie 1 : 2. Wie verhalten sich die Widerstände?
3. Welchen Widerstand hat eine Fernsprechleitung, die aus einem 650 m langen Stahldraht mit einem Durchmesser von 3 mm besteht?
$\left(\varrho_{Fe} = 0{,}12\ \Omega\,\frac{\text{mm}^2}{\text{m}}\right)$
4. Ein Telefondraht aus Kupfer hat eine Länge von 3 km und einen Querschnitt von 35 mm². Er soll durch einen Aluminiumdraht ersetzt werden. Welchen Querschnitt muß dieser aufweisen, wenn er den gleichen Widerstand haben soll wie der Kupferdraht?
5. Wie bestimmt man den Widerstand eines elektrischen Gerätes mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes?

27. Der unverzweigte Stromkreis

1. Die Stromstärke im unverzweigten Stromkreis. Beim Anschluß des Zeiss-Projektors wurden die Projektionslampe und der Vorschaltwiderstand hintereinandergeschaltet. Einen solchen Stromkreis nennt man *unverzweigt*. Schaltet man an verschiedenen Stellen des Stromkreises einen Strommesser ein, so findet man, daß an jeder Stelle die Stromstärke gleich groß ist (Abb. 134/1). Sie beträgt in diesem Falle etwa 5 A.

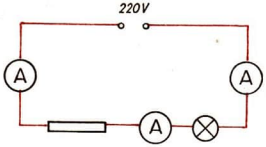


Abb. 143/1. Schaltbild eines Projektors mit Vorschaltwiderstand

Die elektrische Stromstärke ist in einem unverzweigten Stromkreis an allen Stellen gleich groß.

2. Die Spannung und der Spannungsabfall im unverzweigten Stromkreis. Um den Projektor in Betrieb zu setzen, schließt man ihn und den Vorschaltwiderstand an eine Spannungsquelle mit einer Spannung von 220 V an. Wird jedoch die Spannung gemessen, die direkt an der Glühlampe liegt, so stellt man fest, daß sie nur 75 V beträgt (Abb. 143/2). Dagegen beträgt die Spannung am Vorwiderstand 145 V. Es ist auffällig, daß die Summe dieser beiden Spannungen 220 V ergibt.

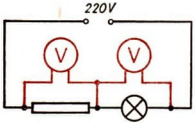


Abb. 143/2. Spannungsmessung am Vorwiderstand und an der Projektionslampe

Zur näheren Untersuchung der Zusammenhänge wird aus einer Akkuzelle und einem einfachen Widerstandsdraht ein Stromkreis gebildet. Mißt man mit einem Spannungsmesser die Spannung, die am Widerstandsdraht liegt (Abb. 144/1 a), so erhält man 2 V. Wird ein Anschluß des Spannungsmessers mit der Mitte des Widerstandsdrahtes

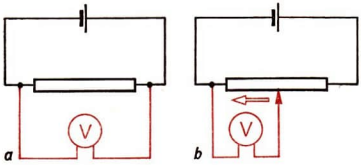


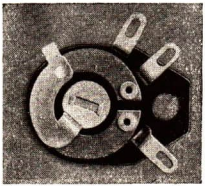
Abb. 144/1. Messung des Spannungsabfalls

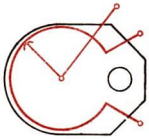
verbunden (Abb. 144/1 b), so zeigt es nur 1 V an. Wird die Anschlußklemme in der Richtung des Pfeiles bewegt, so sinkt die angezeigte Spannung weiter ab. Sie wird Null, wenn der linke Anschluß erreicht wird. Bewegt man nun die Anschlußklemme in der entgegengesetzten Richtung, so steigt die Spannung wieder an und erreicht 2 V, wenn das rechte Ende des Widerstandsdrahtes erreicht ist.

Die Abnahme der Spannung entlang des Widerstandsdrahtes nennt man *Spannungsabfall*. Mit Hilfe dieser Schaltung kann *jede beliebige Spannung abgegriffen werden, die kleiner als die Spannung ist, die am Widerstandsdraht liegt.*

Die Anschlußklemme sei an einer beliebigen Stelle des Widerstandsdrahtes angeklemmt. Danach mißt man die Spannung U_1 zwischen der Anschlußklemme und dem linken Ende sowie die Spannung U_2 zwischen der Anschlußklemme und dem rechten Ende des Widerstandsdrahtes. Die Summe beider Spannungen ergibt wiederum die Gesamtspannung U, in diesem Falle 2 V. Dabei ist es gleich, an welcher Stelle die Anschlußklemme befestigt wurde.

$$U = U_1 + U_2.$$





a b

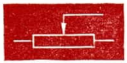


Abb. 144/2. Schaltbild eines Spannungsteilers

Abb. 144/3. Potentiometer
a) Ansicht
b) schematische Zeichnung

Durch den Abgriff wird die angelegte Spannung in zwei kleinere Spannungen geteilt. Diese Schaltung heißt darum *Spannungsteilerschaltung* oder *Potentiometerschaltung* (Abb. 144/2). Ein Beispiel ist das *Potentiometer*, wie es in Rundfunkgeräten verwendet wird (Abb. 144/3).

Werden an diesem Widerstand mehrere Abgriffe angebracht oder werden mehrere Widerstände hintereinandergeschaltet, so gilt auch in diesem Falle (Abb. 144/4):

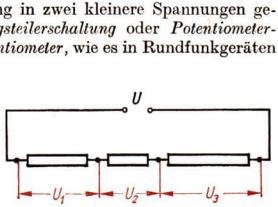


Abb. 144/4. Spannungsteiler

In einem unverzweigten Stromkreis ist die Summe der Teilspannungen gleich der Gesamtspannung.

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \ldots + U_n .$$

3. Der Widerstand im unverzweigten Stromkreis. Auf ihrem Weg durch den Stromkreis müssen die Elektronen nacheinander den Vorwiderstand R_1 und den Widerstand R_2 der Projektionslampe überwinden. Darum ist der Gesamtwiderstand im unverzweigten Stromkreis die Summe der einzelnen Widerstände. In diesem Falle gilt dann

$$\boldsymbol{R = R_1 + R_2} .$$

Setzt man die auf Seite 132 angegebenen Werte ein, so erhält man

$$R = 29\,\Omega + 15\,\Omega ,$$
$$R = 44\,\Omega .$$

Von der Richtigkeit dieser Überlegungen kann man sich dadurch überzeugen, daß man die Einzelwiderstände und den Gesamtwiderstand bestimmt. Führe diese Messungen aus!

Zu dem gleichen Ergebnis kommt man, wenn man von folgenden Überlegungen ausgeht: In dem in Abbildung 143/1 dargestellten Stromkreis liegen zwei Widerstände, der Vorwiderstand R_1 und der Widerstand R_2 der Glühlampe. Auf jeden Teilwiderstand läßt sich das Ohmsche Gesetz anwenden. Somit gilt:

$$R_1 = \frac{U_1}{I} ,$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I} .$$

Löst man die Gleichungen nach der Spannung auf, so erhält man

$$U_1 = R_1 \cdot I ,$$
$$U_2 = R_2 \cdot I .$$

Außerdem gilt für den Gesamtstromkreis:

$$U = R \cdot I .$$

Da

$$U = U_1 + U_2$$

ist, ergibt sich:

$$R \cdot I = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I .$$

Dividiert man beide Seiten der Gleichung durch I, so nimmt die Gleichung die Form

$$R = R_1 + R_2$$

an.

Befinden sich in einem unverzweigten Stromkreis mehr als zwei Widerstände, so muß natürlich die Summe aller Widerstände gebildet werden, damit man den Gesamtwiderstand erhält.

$$R = R_0 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n .$$

Im unverzweigten Stromkreis ist der Gesamtwiderstand gleich der Summe der Einzelwiderstände.

4. Der innere Widerstand eines Elementes. Jeder elektrische Leiter setzt dem Elektronenstrom einen mehr oder weniger großen Widerstand entgegen. Auch die Spannungsquelle besitzt einen Widerstand, den man den *inneren Widerstand* R_i nennt. In vielen Fällen ist der innere Widerstand jedoch im Verhältnis zum äußeren so klein, daß er vernachlässigt werden kann. Der Gesamtwiderstand eines unverzweigten Stromkreises setzt sich also aus der Summe der Außenwiderstände und dem Innenwiderstand des Elementes zusammen.

Beispiel: Ein Klingelelement hat eine Spannung von 1,5 V, sein innerer Widerstand beträgt 0,3 Ω. Die Klingel hat einen Widerstand von 2,7 Ω. Somit ergibt sich ein Gesamtwiderstand:

$$R = R_i + R_{kl} ,$$
$$R = 0{,}3\ \Omega + 2{,}7\ \Omega ,$$
$$R = 3\ \Omega .$$

Mithin ergibt sich eine Stromstärke:

$$I = \frac{U}{R} ,$$
$$I = \frac{1{,}5\ \text{V}}{3\ \Omega} ,$$
$$I = 0{,}5\ \text{A} .$$

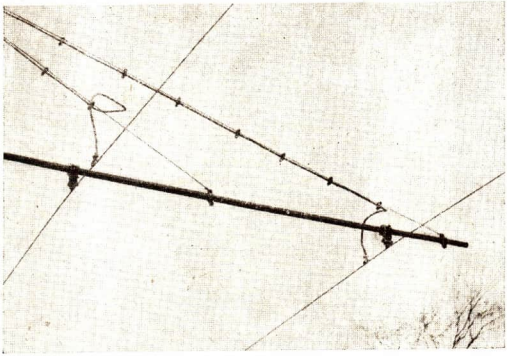
Da beim Fließen des Stromes am Innenwiderstand R_i bereits ein Spannungsabfall auftritt, ist die vom Element an den Klemmen abgegebene Spannung, die Klemmenspannung U_k, kleiner als 1,5 V. Der Spannungsabfall U_i am Innenwiderstand kann nach dem Ohmschen Gesetz berechnet werden.

$$U_i = I \cdot R_i ,$$
$$U_i = 0{,}5\ \text{A} \cdot 0{,}3\ \Omega ,$$
$$U_i = 0{,}15\ \text{V} .$$

Die Klemmenspannung U_k erhalten wir, wenn wir die Spannung U_i von der Gesamtspannung U abziehen.

$$U_k = U - U_i ,$$
$$U_k = 1{,}5\ \text{V} - 0{,}15\ \text{V} ,$$
$$\underline{\underline{U_k = 1{,}35\ \text{V}}} .$$

Abb. 147/1
Fahrdrähte
der Straßenbahn
mit Einspeisung



Dieses Beispiel erklärt, warum *die Klemmenspannung im belasteten Zustand absinkt*, und zwar um so mehr, je geringer der Außenwiderstand ist, das heißt, je größer die entnommene Stromstärke ist. Berechne, auf welchen Wert die Klemmenspannung sinkt, wenn man an das Klingelelement eine Glühlampe mit einem Widerstand von 0,15 Ω anschließt!

5. Anwendungsbeispiele aus der Technik. Vorwiderstände, wie beim Zeiss-Projektor, werden auch zum Anlassen von Elektromotoren verwendet. Durch das Ein- und Ausschalten verschiedener Vorwiderstande reguliert man die Geschwindigkeit der Straßenbahn.
Auch bei den langen Fahrdrähten der Straßenbahn ist ein Spannungsabfall vorhanden. Hier ist er jedoch unerwünscht. Um ihn möglichst gering zu halten, wird die Spannungsquelle nicht nur an die Enden des Fahrdrahtes angeschlossen, sondern an mehreren Stellen über die gesamte Fahrleitung verteilt (Abb. 147/1).
Spannungsteiler werden in allen Rundfunkgeräten und Fernsehempfängern in der Art, wie sie Abbildung 144/2 zeigt, verwendet. Mit dem stufenlos einstellbaren Spannungsabgriff kann die Lautstärke, die Klangfarbe oder die Bildhelligkeit eingestellt werden.

6. Meßbereichserweiterung eines Spannungsmessers. Es gibt Meßgeräte, beispielsweise *Vielfachmeßgeräte* (Abb. 148/1), an denen verschiedene Meßbereiche eingestellt werden können. Welche physikalischen Gesetze werden nun angewendet, um bei einem Spannungsmesser eine Meßbereichserweiterung zu erreichen?
Durch einen Spannungsmesser mit einem Meßbereich von 0 bis 30 V fließt bei vollem Ausschlag ein Strom von der Stärke 0,003 A. Dieser Spannungsmesser soll auf einen Meßbereich von 0 bis 300 V erweitert werden. Trotzdem darf sich die höchste Stromstärke nicht ändern, das heißt, am Meßgerät darf nach wie vor nur höchstens eine Spannung von 30 V liegen. Eine ähnliche Aufgabe war beim Zeiss-

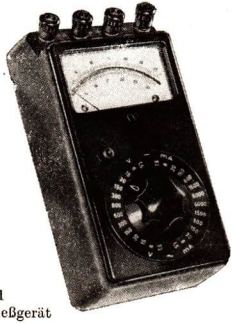
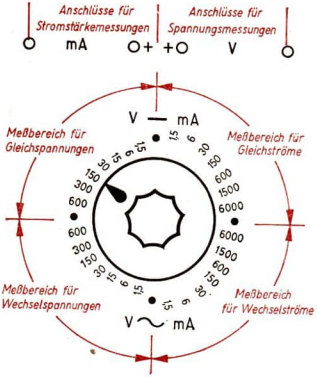


Abb. 148/1
Vielfachmeßgerät



Projektor zu lösen. Die Begrenzung der Spannung wurde in diesem Falle durch einen Vorwiderstand erreicht. Das gleiche Verfahren ist auch beim Spannungsmesser anwendbar. Man schaltet 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. 148/2). Da außerdem die Stromstärke $I = 0{,}003\ \text{A}$ bekannt ist, kann mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes die Größe des Vorwiderstandes R_v berechnet werden.

$$R_v = \frac{U_v}{I},$$

$$R_v = \frac{270\ \text{V}}{0{,}003\ \text{A}},$$

$$\underline{\underline{R_v = 90000\ \Omega = 90\ \text{k}\Omega}}.$$

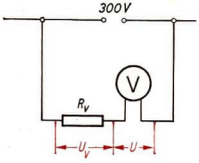


Abb. 148/2
Meßbereichserweiterung eines Spannungsmessers durch einen Vorwiderstand

Durch Vorschalten eines Widerstandes von 90 kΩ wird bei diesem Spannungsmesser der Meßbereich auf 300 V erweitert.

Der Meßbereich eines Spannungsmessers kann durch einen Vorwiderstand, der in Reihe mit dem Meßgerät liegt, erweitert werden.

Sollen Spannungen oder 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 Meß-

bereiche 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.
Meßgeräte sind empfindliche und wertvolle Instrumente. Man muß sie deshalb sorgfältig behandeln.

Sei vorsichtig beim Umgang mit Meßgeräten!
Schalte zu Beginn der Messung stets den größten Meßbereich ein!

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Nenne Anwendungen von Vorwiderständen, die du im polytechnischen Unterricht kennenlerntest!
2. Wie groß muß der Widerstand sein, wenn durch ein 6-Volt-Lämpchen mit einem Widerstand von 20 Ω nur die Hälfte der zulässigen Stromstärke fließen soll?
3. Wie kann der Meßbereich eines Spannungsmessers erweitert werden?
4. Ein Spannungsmesser hat einen Meßbereich von 25 V und einen Innenwiderstand von 200 Ω. Der Meßbereich soll auf 250 V erweitert werden!
5. Warum sinkt die Spannung einer Taschenlampenbatterie, sobald ein Glühlämpchen angeschlossen wird?
6. Erkläre die Wirkungsweise eines Spannungsteilers!
7. Welche Spannung liegt bei einer Weihnachtsbaumbeleuchtung an den Glühlämpchen?

28. Der verzweigte Stromkreis

1. Spannung und Stromstärke im verzweigten Stromkreis. Schaltet man an eine Taschenlampenbatterie ein Glühlämpchen an, so leuchtet es mit normaler Helligkeit (Abb. 149/1a). Schaltet man nun ein zweites Glühlämpchen in den Stromkreis, so leuchten beide nur noch schwach (Abb. 149/1b). Die Ursache liegt darin, daß wegen der Gesetze des unverzweigten Stromkreises jetzt an beiden Lämpchen nur noch die halbe Spannung liegt.

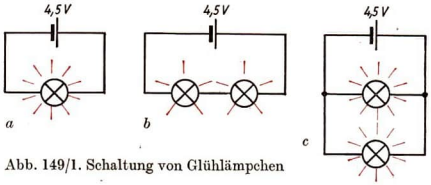


Abb. 149/1. Schaltung von Glühlämpchen

Wie muß nun aber das zweite Lämpchen geschaltet werden, damit es auch mit normaler Helligkeit leuchtet? Man muß erreichen, daß auch das zweite Lämpchen unmittelbar an der Spannungsquelle liegt. Eine solche Schaltungsmöglichkeit zeigt die Abbildung 149/1c. Jetzt leuchten beide Lämpchen mit voller Helligkeit.
In der Abbildung 149/1c sind die Lämpchen *parallelgeschaltet*. Beide Lampen leuchten in diesem Fall mit voller Helligkeit, denn an beiden liegt die volle Spannung der Spannungsquelle. Einen solchen Stromkreis nennt man einen *verzweigten Stromkreis*.

Jeder verzweigte Stromkreis besteht aus mehreren *Stromzweigen* (Abb. 150/1). An den Verzweigungsstellen liegt die Spannung U. Folglich liegt an allen Stromzweigen die gleiche Spannung.

Bei einem verzweigten Stromkreis liegt an jedem Stromzweig die gleiche Spannung.

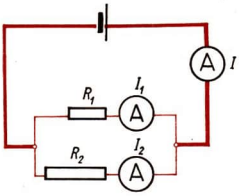


Abb. 150/1.
Verzweigter Stromkreis

Daraus ergibt sich die Stromstärke in den einzelnen Zweigen. 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

$$I_1 = \frac{U}{R_1}$$

und

$$I_2 = \frac{U}{R_2}.$$

Der von der Spannungsquelle kommende Elektronenstrom teilt sich an der Verzweigungsstelle. Die Gesamtstromstärke ändert sich nicht; denn *die Summe der zufließenden Elektronen muß gleich der Summe der abfließenden sein.* Daher ist die Summe der Teilstromstärken gleich der Gesamtstromstärke.

$$I = I_1 + I_2.$$

Zur Bestätigung dieser Überlegungen schaltet man drei Strommesser so in den Stromkreis, wie es die Abbildung 150/1 zeigt. Bildet man die Summe der Stromstärken I_1 und I_2, so erhält man annähernd die Stromstärke I.
Die durchgeführten Überlegungen und 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 Stromkreises.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n.$$

2. Der Widerstand im verzweigten Stromkreis. In der Schaltung nach Abbildung 150/1 sollen R_1 und R_2 nicht gleich groß sein. Aus den Anzeigen der Strommesser geht hervor, daß durch den kleineren Widerstand ein stärkerer Strom fließt als durch den größeren Widerstand. Da an beiden Stromzweigen die gleiche Spannung U liegt, gelten nach dem Ohmschen Gesetz die Gleichungen

$$I_1 = \frac{U}{R_1}$$

und

$$I_2 = \frac{U}{R_2}.$$

Löst man die Gleichung nach U auf, so erhält man

$$U = I_1 \cdot R_1$$

und

$$U = I_2 \cdot R_2$$

Daraus folgt

$$I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2$$

oder

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

und

$$I_1 : I_2 = R_2 : R_1 .$$

In einem verzweigten Stromkreis stehen die Stromstärken und die Widerstände im umgekehrten Verhältnis zueinander.

Die Stromzweige mit den Widerständen R_1 und R_2 können durch einen einzigen Gesamtwiderstand ersetzt werden, der die gleiche Wirkung wie die parallelgeschalteten Widerstände hat. Zu seiner Berechnung geht man von der Gleichung

$$I = I_1 + I_2$$

aus. Die Stromstärke I ergibt sich aus der Spannung U und dem Gesamtwiderstand R. Für die Ermittlung der Stromstärken I_1 und I_2 muß man von den entsprechenden Werten der Stromzweige ausgehen. Es gelten die Gleichungen:

$$I = \frac{U}{R},$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1},$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2}.$$

Setzt man diese Werte in die Gleichung $I = I_1 + I_2$ ein, so ergibt sich

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$$

Beide Seiten der Gleichung werden durch U dividiert, und man erhält:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

Der Kehrwert des Gesamtwiderstandes ist gleich der Summe der Kehrwerte der Teilwiderstände.

Bei mehrfacher Verzweigung gilt dann:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n}.$$

Wie man durch Rechnung und durch Messung nachweisen kann, gilt bei parallelgeschalteten Widerständen:

Der Gesamtwiderstand eines verzweigten Stromkreises ist stets kleiner als der kleinste Teilwiderstand.

Dieses Ergebnis kann auch mit Hilfe der Elektronenbewegung erklärt werden. Wird einem Widerstand ein zweiter Widerstand parallelgeschaltet, so wird damit ein zweiter Weg für die Elektronen geschaffen. Dies ist gleichbedeutend mit einer Vergrößerung des Leiterquerschnitts. Infolgedessen sinkt der Gesamtwiderstand.

3. Anwendungen. Das elektrische Leitungsnetz in jedem Haushalt und jedem Betrieb stellt einen verzweigten Stromkreis dar. Alle elektrischen Geräte sind parallelgeschaltet. Durch die Geräte fließen Teilströme, während durch die Sicherung und durch den Elektrizitätszähler der Gesamtstrom fließt.

Die Gesetze des verzweigten Stromkreises können dazu angewandt werden, den Meßbereich eines Strommessers zu erweitern. Durch einen Strommesser mit einem Meßbereich von 0 bis 3 mA fließt bei Vollausschlag ein Strom von 3 mA. Er hat einen Innenwiderstand von $R_i = 18{,}5\ \Omega$. Der Meßbereich soll auf 6 A erweitert werden. Durch das Meßgerät dürfen nach wie vor höchstens 3 mA fließen. Also muß der größere Teil des Stromes am Meßgerät vorbeigeleitet werden. Dies erreicht man mit Hilfe einer Stromverzweigung.

Ein Widerstand R_s, auch *Shunt* genannt, wird parallel zum Strommesser geschaltet, so daß ein Strom von

$$6000\ \text{mA} - 3\ \text{mA} = 5997\ \text{mA}$$

durch diesen Widerstand fließt (Abbildung 152/1).

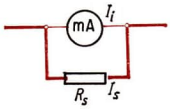


Abb. 152/1. Meßbereichserweiterung eines Strommessers durch Parallelschalten eines Widerstandes

Da der Strommesser einen Innenwiderstand von 18,5 Ω hat und die Stromstärke bei Vollausschlag 0,003 A beträgt, ergibt sich für die Spannung am Meßgerät:

$$U = I \cdot R_i\,,$$
$$U = 0{,}003\ \text{A} \cdot 18{,}5\ \Omega\,,$$
$$U = 0{,}0555\ \text{V}.$$

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.

$$R_s = \frac{U}{I_s}\,,$$
$$R_s = \frac{0{,}0555\ \text{V}}{5{,}997\ \text{A}}\,,$$
$$\underline{\underline{R_s = 0{,}009\ \Omega}}\,.$$

Zur Erweiterung des Meßbereiches von 0,003 A auf 6 A ist dem Strommesser ein Shunt von 0,009 Ω parallelzuschalten.

Der Meßbereich eines Strommessers kann durch einen parallel zum Meßgerät geschalteten Widerstand erweitert werden.

5. Stromstärkemessungen. Sobald man in einen Stromkreis ein Meßgerät einschaltet, werden die Verhältnisse in dem Stromkreis verändert. Damit diese Veränderungen möglichst geringfügig sind, muß man bei der Verwendung von Meßgeräten einige Hinweise beachten.

Welchen Einfluß ein Strommesser auf den Stromkreis hat, möge folgendes Beispiel zeigen:

An einen Akkumulator mit der Klemmenspannung $U = 12$ V wird eine Glühlampe mit dem Widerstand $R_g = 6\ \Omega$ angeschlossen. Die Stromstärke beträgt dann

$$I_1 = \frac{12\ \text{V}}{6\ \Omega} = 2\ \text{A}.$$

Schaltet man nun mit der Glühlampe einen Strommesser mit dem Innenwiderstand $R_i = 2\ \Omega$ in Reihe (Abb. 153/1), so erhöht sich der Gesamtwiderstand des Stromkreises um 2 Ω und 8 Ω. Infolgedessen sinkt die Stromstärke auf

$$I_2 = \frac{12\ \text{V}}{8\ \Omega} = \underline{1{,}5\ \text{A}}.$$

Diese Stromstärke wird von dem Strommesser angezeigt.

Wird der Strommesser dagegen in einem Stromkreis benutzt, in dem der Gesamtwiderstand wesentlich höher ist als der Innenwiderstand des Meßgerätes, so ist die Beeinflussung wesentlich geringer. Verwendet man beispielsweise in dem in Abbildung 153/1 wiedergegebenen Versuch eine Glühlampe mit einem Widerstand von 600 Ω, so beträgt die Stromstärke ohne Meßgerät

$$I_1 = \frac{12\ \text{V}}{600\ \Omega} = 0{,}02\ \text{A} = 20\ \text{mA}.$$

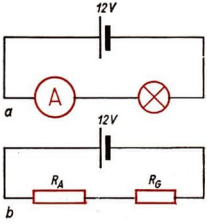


Abb. 153/1. Stromkreis mit Glühlampe und Strommesser

Mit eingeschaltetem Meßgerät beträgt der Gesamtwiderstand 602 Ω, so daß die Stromstärke den Wert

$$I_1 = \frac{12\ \text{V}}{602\ \Omega} = 0{,}0199\ \text{A} = \underline{\underline{19{,}9\ \text{mA}}}$$

annimmt.

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 Ω verwendet, so zeigt der Strommesser an Stelle von 2,0 A den Wert 1,997 A an.

Die Änderung der Stromstärke ist dann gering, wenn der Innenwiderstand des Strommessers sehr viel kleiner als der Widerstand des Stromkreises ist.

Bei der Messung der Stromstärke soll der Innenwiderstand des Strommessers möglichst klein gegenüber dem Gesamtwiderstand des Stromkreises sein.

FRAGEN UND AUFGABEN

1. In einem Haushalt ist die elektrische Leitung mit einer 6-Ampere-Sicherung abgesichert. Es sind bereits zwei Glühlampen mit je 0,46 A eingeschaltet. Ein Bügeleisen mit 2,3 A und ein Rundfunkgerät mit 0,36 A sollen noch angeschlossen werden. Entscheide, ob es noch zulässig ist, einen elektrischen Heizkörper mit einer Stromaufnahme von 2,5 A in Betrieb zu nehmen!
2. Ermittle, welche elektrischen Geräte in eurer LPG benutzt werden und welche Ströme sie einzeln etwa benötigen! Stelle weiterhin fest, mit welcher Stromstärke die elektrischen Anschlüsse abgesichert sind! Überlege, welche Gruppen von Geräten jeweils gleichzeitig angeschlossen werden können!
3. Wie kann der Meßbereich eines Strommessers erweitert werden?
4. Der Meßbereich eines Milliamperemeters von 0 bis 100 mA soll auf einen Meßbereich von 0 bis 1 A erweitert werden. Welchen Widerstand muß der Shunt haben, wenn der Innenwiderstand des Meßgerätes 1 Ω beträgt?
5. Begründe die Tatsache $I = I_1 + I_2$ mit Hilfe der Elektronentheorie!
6. a) Warum wird bei jeder Strom- oder Spannungsmessung das Ergebnis durch das Meßgerät selbst beinflußt?
   b) Wie kann diese Beeinflussung sehr gering gehalten werden?

29. Elektrische Arbeit — Elektrische Leistung

1. Elektrische Energie. Mit Hilfe von Elektromotoren werden Werkstücke bearbeitet, Werkstücke gehoben, Fahrzeuge angetrieben usw. Diese Beispiele zeigen, daß der elektrische Strom die *Fähigkeit hat, Arbeit zu verrichten*, er besitzt also **elektrische Energie.** Diese Energie wird aus anderen Energiearten gewonnen. So wird in den galvanischen 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 Energiearten 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 Art der Energie.

Elektrische Energie kann aus anderen Energiearten gewonnen und kann in andere Energiearten umgewandelt werden.

2. Die elektrische Leistung. Zur Kennzeichnung der Energiemenge, die ein elektrisches Gerät abgeben kann, wird, wie auch bei mechanischen Geräten, die **Leistung** angegeben. Sie wird bei kleineren Geräten in **Watt** gemessen und ist auf dem Typen-

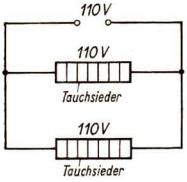


Abb. 155/1. Parallelgeschaltete Tauchsieder

schild vermerkt. Nach dieser Angabe kann man entscheiden, ob das betreffende Gerät für den gewünschten Zweck geeignet ist. Um 1 l Wasser zu erwärmen, reicht zum Beispiel ein Tauchsieder mit einer Leistung von 500 W aus. Sollen jedoch 5 l Wasser erwärmt werden, so ist ein Tauchsieder mit einer Leistung von 1000 W besser geeignet, weil das Erwärmen des Wassers sonst zu lange dauern würde. Der Tauchsieder mit der größeren Leistung gibt je Sekunde eine größere Wärmemenge ab als der mit der kleineren Leistung. Statt eines Tauchsieders mit 1000 W Leistung kann man auch 2 Tauchsieder mit je 500 W parallelschalten. Dann beträgt die Gesamtleistung ebenfalls 1000 W. Aus der Abbildung 155/1 ist ersichtlich, daß nach den Gesetzen des verzweigten Stromkreises durch das Hinzuschalten des zweiten Tauchsieders die Stromstärke doppelt so groß wird. Zu einer höheren Leistung gehört also auch eine größere Stromstärke. Der Versuch könnte mit 3 und 4 Tauchsiedern gleicher Leistung fortgeführt werden. Durch Messen der Stromstärke kann man nachweisen, daß die Stromstärke bei gleichbleibender Spannung auf das Dreifache beziehungsweise Vierfache anwächst.

Die Leistung wächst bei konstanter Spannung im gleichen Verhältnis wie die Stromstärke.

Schaltet man die beiden Tauchsieder an eine Spannungsquelle mit 220 V, so können sie hintereinandergeschaltet werden (Abb. 155/2). Nach den Gesetzen des unverzweigten Stromkreises fällt an jedem Tauchsieder eine Spannung von 110 V, also die Betriebsspannung, ab. Die Stromstärke bleibt für jeden Tauchsieder dadurch unverändert. Aus diesem Versuch geht hervor, daß bei gleicher Stromstärke für eine höhere Leistung eine größere Spannung erforderlich ist.

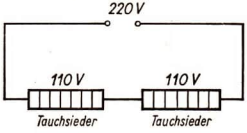


Abb. 155/2. Hintereinandergeschaltete Tauchsieder

Die Leistung wächst bei konstanter Stromstärke im gleichen Verhältnis wie die Spannung.

Durch entsprechende Festlegung der Leistungseinheit kann man die Abhängigkeit der Leistung von der Spannung und von der Stromstärke zu einer Gleichung vereinigen:

$$P = U \cdot I.$$

Die elektrische Leistung ist das Produkt aus Spannung und Stromstärke.

Somit ist auch die Maßeinheit **Watt** festgelegt:

$$1\ \mathrm{W} = 1\ \mathrm{V} \cdot 1\ \mathrm{A}.$$

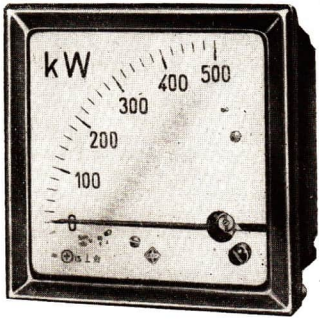


Abb. 156/1. Leistungsmesser

Als größere Maßeinheiten sind das **Kilowatt** (kW) und das **Megawatt** (MW) gebräuchlich:

1 kW = 1000 W,
1 MW = 1000 kW = 1000000 W.

3. Das Messen der elektrischen Leistung. Mit Hilfe der Gleichung $P = U \cdot I$ ergibt sich eine Möglichkeit, die Leistung eines elektrischen Gerätes zu ermitteln. Man mißt die Spannung und die Stromstärke und setzt diese Werte in die Gleichung ein. Es gibt aber auch Meßgeräte, mit denen man die Leistung direkt bestimmen kann. Solche Geräte heißen *Leistungsmesser* (man nennt sie auch *Wattmeter*) (Abb. 156/1).

Beispiel für die Berechnung der Leistung: An einem Bügeleisen wurde bei einer Betriebsspannung von 220 V eine Stromstärke von 3,41 A gemessen. Die Leistung des Bügeleisens beträgt dann:

$$P = U \cdot I,$$
$$P = 220\,\text{V} \cdot 3{,}41\,\text{A},$$
$$P = 750{,}2\,\text{W},$$
$$P \approx 750\,\text{W}.$$

Bei Spannungsschwankungen wird die Leistung eines elektrischen Gerätes stärker beeinflußt als dies auf Grund der Gleichung zu erwarten ist. Wird die Spannung beispielsweise etwas geringer, so sinkt nach dem Ohmschen Gesetz gleichzeitig auch die Stromstärke; denn:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Setzt man diesen Wert in die Gleichung für die Leistung ein, so ergibt sich

$$P = U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}.$$

Die Leistung ist somit vom Quadrat der Spannung abhängig. Daher zieht eine kleine Spannungsänderung eine große Leistungsänderung nach sich. Bei Fernsehempfängern können diese Schwankungen zu Störungen in der Bildwiedergabe führen. Man schließt Fernsehempfänger darum meist nicht direkt an die Steckdose an, sondern schaltet ein besonderes Gerät, das die Spannung in bestimmten Grenzen konstant hält, dazwischen. Neuerdings werden *Spannungsstabilisatoren* unmittelbar in die Geräte eingebaut.

1. Welche Leistungsaufnahme hat ein Elektromotor, durch den bei 6 V Spannung ein Strom mit einer Stärke von 2,5 A fließt?
2. Welche Stromstärke fließt durch eine 100-W-Lampe bei 220 V Betriebsspannung?
3. Wie groß ist der Widerstand dieser 100-W-Lampe?
4. Für welche Betriebsspannung ist eine 500-W-Kochplatte gedacht, wenn ihre Nennstromstärke 4,55 A beträgt?
5. Wie groß ist die Leistung dieser Kochplatte, wenn die Betriebsspannung um 20 V sinkt?

4. Elektrische Arbeit. Im Physikunterricht der Klasse 7 wurde bereits der Zusammenhang zwischen der mechanischen Arbeit und der mechanischen Leistung erarbeitet. Es gilt die Gleichung

$$\text{Leistung} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}},$$

$$P = \frac{W}{t}.$$

Diese Gleichung gilt nicht nur für die mechanische Leistung, sondern für die Leistung allgemein. Sie hat also auch für die elektrische Leistung Gültigkeit. Löst man die Gleichung nach W auf, so erhält man die Gleichung für die Arbeit:

$$W = P \cdot t$$

Arbeit ist das Produkt aus Leistung und Zeit.

Nach dieser Gleichung kann auch die elektrische Arbeit berechnet werden. Dazu setzt man für die Leistung P die elektrischen Größe U und I gemäß der Gleichung $P = U \cdot I$ ein.

$$W = U \cdot I \cdot t$$

Als *Maßeinheit für die elektrische Arbeit* ergibt sich das Produkt aus Watt und Sekunde, die **Wattsekunde** (Ws). Als größere Maßeinheiten sind die **Wattstunde** (Wh) und die **Kilowattstunde** (kWh) gebräuchlich.

$$1\ \text{Wh} = 3600\ \text{Ws},$$
$$1\ \text{kWh} = 1000\ \text{Wh}.$$

Beispiel für die Berechnung der Arbeit: Ein 500-Watt-Bügeleisen ist 3 Stunden lang in Betrieb. Die elektrische Arbeit beträgt dann

$$W = P \cdot t,$$
$$W = 500\ \text{W} \cdot 3\ \text{h},$$
$$W = 1500\ \text{Wh},$$
$$\underline{\underline{W = 1{,}5\ \text{kWh}}}.$$

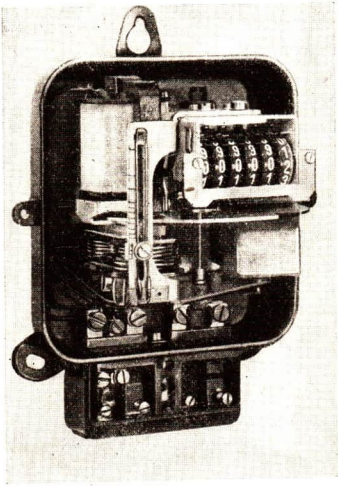


Abb. 158/1
Elektrizitätszähler,
hergestellt in dem
VEB Elektro-Apparatewerke
Berlin-Treptow

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. 158/1). Der Elektrizitätszähler gibt die Arbeit in Kilowattstunden an. In ihm wird durch den elektrischen Strom 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, da sich ja mit der Leistung die Stromstärke ändert. Die Spannung bleibt konstant. Also steigt mit zunehmender Leistung die Stromstärke, mit abnehmender Leistung sinkt sie. Je größer aber die erforderliche elektrische Leistung ist, um so schneller dreht sich die Scheibe. Die Anzahl der Umdrehungen für 1 kWh ist auf dem Typenschild jedes Elektrizitätszählers angegeben. Welche Zahl ist hierfür bei dem in Abbildung 158/2 dargestellten Typenschild angegeben?
Mit Hilfe des Elektrizitätszählers kann man auch die elektrische Leistung eines Gerätes bestimmen. Zu diesem Zweck schaltet man nur dieses Gerät in den Stromkreis 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.

5. Energieumwandlung. Da Energie bekanntlich nicht verlorengeht und Energie auch nicht aus dem Nichts gewonnen werden kann, ist mit Hilfe einer bestimmten Menge elektrischer Energie eine ganz bestimmte Menge an Wärmeenergie zu gewinnen. Versuche haben diese Aussage bestätigt. Die auf-

Abb. 158/2. Typenschild
eines Elektrizitätszählers

genommene *elektrische Energie steht zur angegebenen Wärmeenergie immer in einem bestimmten konstanten Verhältnis.* Es gilt:

$$1\ \text{Ws} = 0{,}239\ \text{cal}.$$

Dieser Wert gilt für alle Geräte, in denen elektrische Energie in Wärme umgewandelt wird. Den Quotienten aus der Wärmemenge W und der ihr entsprechenden elektrischen Energie W_{el} bezeichnet man als das **elektrische Wärmeäquivalent K.**

$$K = \frac{W}{W_{el}}.$$

Das elektrische Wärmeäquivalent hat den Wert:

$$K = 0{,}239\,\frac{\text{cal}}{\text{Ws}}.$$

Das elektrische Wärmeäquivalent ist der Faktor zur Umrechnung der elektrischen Energie in Wärmeenergie und umgekehrt.

Beispiel: Ein Tauchsieder mit einer elektrischen Leistung von 1000 W erwärmt 2 min lang 1 kg Wasser mit der Anfangstemperatur von 20 °C. Wie groß ist die Arbeit?

$$W = P \cdot t,$$
$$W = 100\ \text{W} \cdot 120\ \text{s},$$
$$W = 120\,000\ \text{Ws}.$$

Dem Tauchsieder sind somit 120000 Ws an elektrischer Energie zugeführt worden. Mit diesem Zahlenwert läßt sich die Wärmemenge berechnen, die an das Wasser abgegeben wird.

$$1\ \text{Ws} = 0{,}239\ \text{cal},$$
$$120\,000\ \text{Ws} = 28\,680\ \text{cal}.$$

Aus der Wärmelehre ist bekannt, daß man die für die Erwärmung einer bestimmten Wassermasse notwendige Wärmemenge mit Hilfe der Gleichung

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

ermitteln kann. Löst man die Gleichung nach Δt auf, so ergibt sich

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

In diese Gleichung setzt man die gegebenen Zahlenwerte ein. Da es sich um Wasser handelt, hat die spezifische Wärme c den Wert $1\,\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grd}}$.

$$\Delta t = \frac{28\,680\ \text{cal} \cdot \text{g} \cdot \text{grd}}{1000\ \text{g} \cdot 1\ \text{cal}},$$
$$\Delta t \approx 28{,}7\ \text{grd}.$$

Nach 2 Minuten Erwärmen müßte die Temperatur des Wassers demnach um 28,7 grd auf 48,7 °C gestiegen sein. Bei der Durchführung des Versuches wird diese Temperatur jedoch nicht ganz erreicht, weil während des Erwärmens Wärme in die Umgebung abgestrahlt wird.

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Wie kann man mit Hilfe eines Elektrizitätszählers die Leistung eines elektrischen Gerätes bestimmen?
2. Welche elektrische Arbeit wird verrichtet, wenn ein Elektromotor mit 0,5 kW 2 Stunden lang läuft?
3. Eine 60-W-Lampe brannte 2 Stunden unnötig. Ein Bügeleisen mit einer Leistung von 600 W war 12 Minuten unnötig in Betrieb. Wieviel elektrische Energie wurde in beiden Fällen vergeudet? Welche Schlußfolgerungen sind daraus zu ziehen?
4. Wieviel Kalorien an Wärmeenergie werden einem Liter Wasser zugeführt, wenn ein 500-W-Tauchsieder 10 Minuten lang eingeschaltet bleibt?
5. Führe einen Hausversuch zur Bestimmung des elektrischen Wärmeäquivalents durch!
   Du benötigtst dazu einen Tauchsieder, einen Topf von ungefähr 2 l Fassungsvermögen, eine Uhr mit Sekundenzeiger, eine Küchenwaage oder ein Litermaß sowie ein Thermometer (z. B. Einkochthermometer).

   Versuchsanleitung:

   1. Stelle die Leistungsaufnahme des Tauchsieders fest! Dazu steckst du den Tauchsieder in einen Topf mit einer beliebigen Wassermenge, schließt ihn an das Stromnetz an und zählst am Elektrizitätszähler, wieviel Umdrehungen die Scheibe in einer bestimmten Zeit (z. B. 3 Minuten) macht. Daraus und aus der Angabe auf dem Elektrizitätszähler, wieviel Umdrehungen für eine Kilowattstunde notwendig sind, kannst du die Leistungsaufnahme des Tauchsieders nachprüfen.
   2. Fülle in den Topf 1500 g Wasser! Benutze dazu die Küchenwaage oder ein Litermaß!
   3. Nun erwärmst du mit dem Tauchsieder das Wasser. (Erwärme zuvor den Tauchsieder in einem anderen beliebigen Gefäß mit Wasser!)
   4. Beobachte, um wieviel Grad das Wasser während der Zeit von 3 Minuten erwärmt wird! Rühre das Wasser ständig gut um, damit es eine einheitliche Temperatur hat! Wiederhole diese Messung mehrmals und bilde aus den verschiedenen Werten den Mittelwert!
   5. Berechne die Wärmemenge, die von dem Wasser in 3 Minuten aufgenommen wurde!
   6. Berechne die elektrische Arbeit, die der Strom im Tauchsieder in 3 Minuten verrichtet!
   7. Berechne das elektrische Wärmeäquivalent als Quotienten aus Wärmemenge und elektrischer Arbeit!
   8. Vergleiche dein Ergebnis mit dem wirklichen Wert! Halte alle Zahlenwerte in einem Protokoll nach folgendem Muster fest:
   Protokoll. Das elektrische Wärmeäquivalent
   a) Die Zählerscheibe braucht für 1 kWh . . . Umdrehungen.
   b) Wenn der Tauchsieder eingeschaltet ist, macht die Scheibe in 3 Minuten . . . Umdrehungen.
   c) Die Leistungsaufnahme des Tauchsieders beträgt demnach . . . Watt.
   d) Die Temperatur der 1500 g Wasser steigt in 3 Minuten um durchschnittlich . . . grd.

e) Vom Wasser werden demnach . . . cal aufgenommen.

f) Der elektrische Strom hat in dem Tauchsieder in 3 Minuten eine Arbeit von . . . Ws verrichtet.

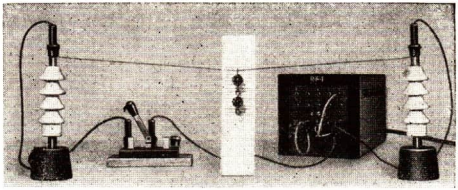
g) Der ermittelte Wert für das elektrische Wärmeäquivalent beträgt nach den erzielten Meßergebnissen somit . . . $\frac{\text{cal}}{\text{Ws}}$.

h) Vom wirklichen Wert weicht er um . . . $\frac{\text{cal}}{\text{Ws}}$ ab.

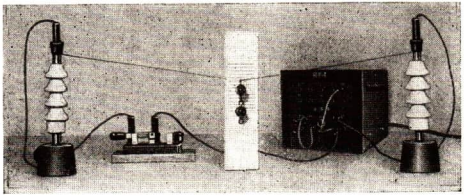
6. Begründe die Abweichung des im Hausversuch ermittelten Wertes vom wirklichen Wert des elektrischen Wärmeäquivalents!

30. Wärmewirkungen des elektrischen Stromes

1. Grundversuch zur Wärmewirkung des elektrischen Stromes. Eine der wichtigsten Wirkungen des elektrischen Stromes ist die *Wärmewirkung*. Sie wird in vielen elektrischen Geräten, wie Tauchsiedern, Bügeleisen und Kochplatten, ausgenutzt. Diese Wirkung kann durch folgenden Versuch veranschaulicht werden:
Zwischen zwei Fußklemmen ist ein dünner Eisendraht ausgespannt und über einen Schalter an eine Spannungsquelle angeschlossen (Abb. 161/1a). Der Draht ist in der Mitte durch ein Gewichtsstück belastet. Sobald ein elektrischer Strom durch den Draht fließt, erwärmt sich der Draht und dehnt sich aus. Das Gewichtsstück senkt sich infolgedessen etwas (Abb. 161/1b). Wird der Stromfluß unterbrochen, so kühlt sich der Draht ab und zieht sich zusammen. Dadurch wird das Gewichtsstück wieder gehoben. Vergrößert man die Stromstärke, dann beginnt der Draht sogar zu glühen, und die Längenausdehnung wird noch größer.



a



b

Abb. 161/1. Versuch zur Wärmewirkung des elektrischen Stromes
a) vor dem Einschalten des Stromes
b) nach dem Einschalten des Stromes

Fließt ein elektrischer Strom durch einen Leiter, so wird dieser erwärmt. Je größer die Stromstärke ist, desto stärker erwärmt sich der Leiter.

Die Wärmeentwicklung des elektrischen Stromes ist auf den Widerstand des Leiters zurückzuführen. Daher ist die Wärmewirkung bei hohen Stromstärken und bei Leitern mit großem Widerstand, zum Beispiel dünnen Drähten, besonders stark. Zwischen den Leitungselektronen und den Molekülen tritt nämlich eine Wechselwirkung ein. Dadurch geraten die Moleküle in eine größere Bewegung, was sich als Temperaturerhöhung äußert.

Abb. 162/1. Schaltzeichen für Wärmegeräte

Da in einem elektrischen Stromkreis die Stärke des elektrischen Stromes sehr leicht verändert werden kann, ist auch die Wärmewirkung der in diesem Stromkreis liegenden Wärmegeräte *in weiten Grenzen stetig veränderlich*. Aus diesem Grunde und infolge der vielseitigen Verwendbarkeit werden *elektrische Wärmegeräte* (Abb. 162/1) in der Industrie, in der Landwirtschaft und im Haushalt in immer stärkerem Maße eingesetzt. Die unmittelbare Umwandlung elektrischer Energie in Wärmeenergie ist eines der wichtigsten Verfahren zum Erzeugen von Wärme.

2. Elektrische Heizgeräte im Haushalt. In vielen Haushalten werden bereits *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. 162/2). Diese Wendel besteht aus einer hitzebeständigen Eisenlegierung. Nickelin oder Konstanten. Sie liegt in einer meist spiralig angeordneten Rinne einer *Zeramikplatte* (*5*). Dadurch können sich die einzelnen Windungen nicht berühren. Überlege, warum dies nicht geschehen darf! 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.

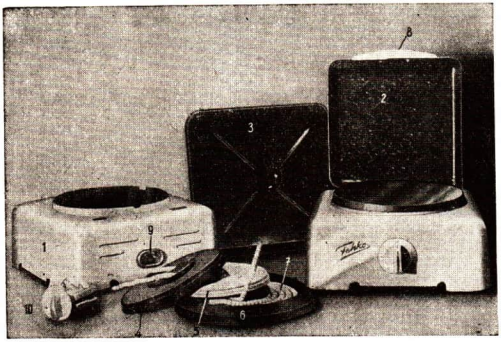


Abb. 162/2 Elektrische Kochplatte mit freigelegter Heizwendel aus dem VEB Fehko, Gräfenthal (Thür.) Durch einen Deckel (2) mit Griff (8) kann die Kochplatte abgedeckt werden.

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. 163/1 und 163/2). Derartige Anschlußleitungen müssen so beschaffen sein, daß man die unter Spannung stehenden Metallteile nicht versehentlich berühren kann. Aus diesem Grunde dürfen Stecker und Steckdosen nur in ganz bestimmten 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, an denen keine elektrische Spannung liegen darf. 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. 163/3). Für Schukostecker sind auch entsprechende Steckdosen, die *Schukosteckdosen*, entwickelt worden. Die Schutzkontakte dieser Steckdosen sind geerdet.

Berührt bei einem schadhaften elektrischen Kocher ein spannungsführender Leiter beispielsweise die Kochplatte, so steht die Kochplatte gegenüber der Erde unter

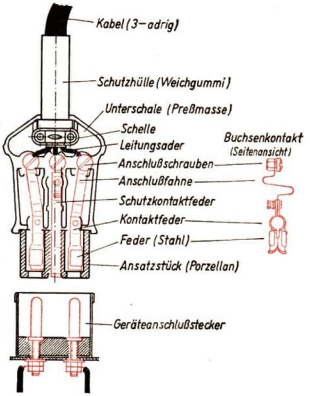
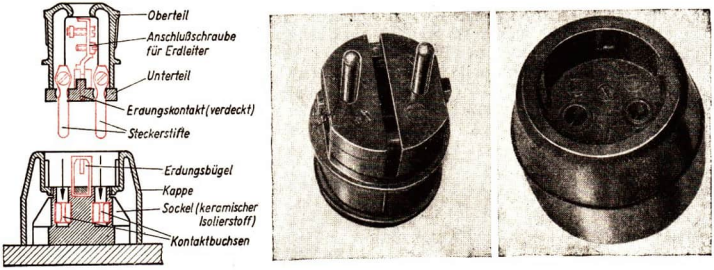


Abb. 163/1. Längsschnitt durch eine Gerätesteckdose und einen Geräteanschlußstecker

Abb. 163/2. Schaltzeichen für Steckverbindungen

Abb. 163/3. Schukostecker und Schukosteckdose



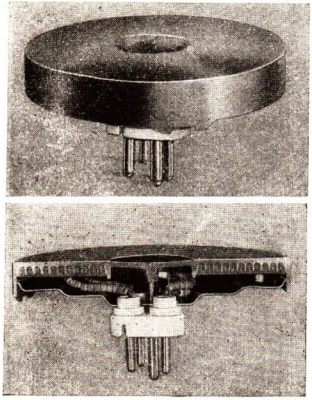


Abb. 164/1. Schnittmodell einer Kochplatte mit eingegossenem Heizdraht aus dem VEB Elektrowärme Sörnewitz

Abb. 164/2. Elektroherd vom VEB Elektrowärme Sörnewitz

Spannung, man sagt, der Kocher hat *Gehäuseschluß*. Berührt man die unter Spannung stehende Kochplatte, so ist man stark gefährdet, denn der Mensch stellt dann eine leitende Verbindung zur Erde dar. Wird aber nun die Platte über die Schutzkontakte geerdet, so ist eine gut leitende Verbindung zur Erde hergestellt, deren Widerstand wesentlich geringer ist als der des menschlichen Körpers. Die Unfallgefahr ist beseitigt. Im allgemeinen wird bei Gehäuseschluß ein *Kurzschluß* erzeugt. Die Sicherung spricht an und unterbricht den Stromkreis. Geräteanschlußkabel werden nicht nur für Kochplatten, sondern für alle transportablen elektrischen Geräte verwendet.

Bei Kochplatten anderer Konstruktion als der beschriebenen ist der Heizdraht ganz von der Keramikmasse umgeben (Abb. 164/1). In solchen Kochplatten ist der Heizdraht nicht gewendelt, sondern mäanderförmig gebogen (Abb. 164/4). Kochplatten dieser Bauart haben 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* (Abb. 164/3). Damit kann man bestimmte Abschnitte des Heizdrahtes zu- oder abschalten und dadurch die Wärmeentwicklung verändern. Zeichne unter Verwendung des Schaltbildes für den Stufenschalter das Schaltbild einer Kochplatte!

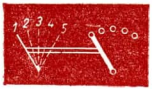


Abb. 164/3. Schaltbild eines Stufenschalters

Abb. 164/4. Mäanderförmig gebogener Heizdraht

Ein *Elektroherd* hat mehrere Kochplatten mit getrennten Stufenschaltern (Abb. 164/2). Außerdem ist eine Backröhre eingebaut. Sie wird durch zwei Heizkörper von oben und unten beheizt. Ober- und Unterhitze können getrennt eingestellt werden.

Die elektrische Kleinküche wird zum Backen und Kochen verwendet (Abb. 165/1). Die Heizwendel ist in den Deckel eingelegt. Weil Metalle die Wärme gut leiten, werden von dieser Heizwendel auch die Seitenwände und der Boden erwärmt. Die Kleinküche muß daher 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. Bei ihm wird fast die gesamte erzeugte Wärme an das Wasser abgegeben, da er unmittelbar vom Wasser umgeben ist. Der Wirkungsgrad ist daher beim Tauchsieder höher als bei anderen Wärmegeräten.

Beim *elektrischen Warmwasserbereiter* fließt das Wasser durch einen Kessel, in dem ein

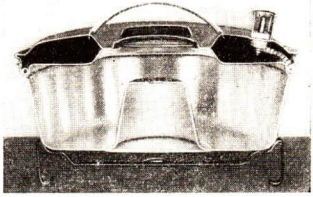
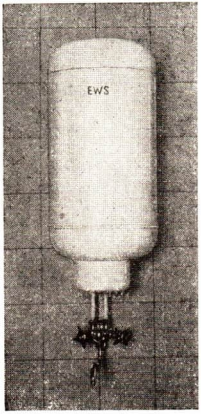
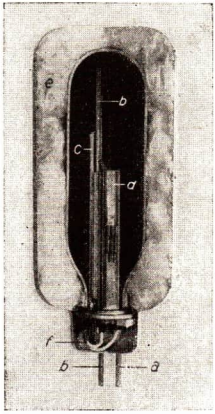
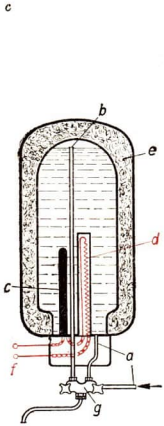


Abb. 165/1. Elektrische Kleinküche des VEB Elektrowärme Sörnewitz

Abb. 165/2. Warmwasserbereiter des VEB Elektrowärme Sörnewitz
a) Ansicht b) Schnittmodell c) schematische Zeichnung
a Kaltwasserzufluß; *b* Warmwasserabfluß; *c* Temperaturschalter; *d* Heizspirale; *e* Wärmeisolation; *f* Netzanschluß; *g* Mischbatterie

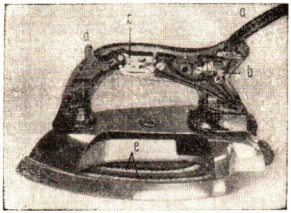


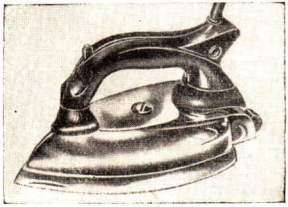


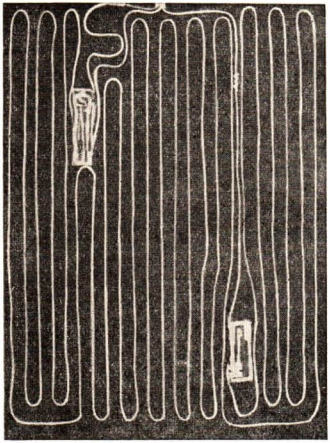


elektrischer Heizkörper eingebaut ist (Abb. 165/2). Ein *Temperaturschalter*, meist ein Bimetallstreifen, unterbricht den Stromkreis selbsttätig, sobald eine bestimmte Temperatur erreicht ist. Dadurch wird vermieden, daß das Wasser bis zum Sieden erwärmt wird. Eine Wärmeisolierung, die den Kessel umgibt, 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. Stelle fest, wo es in deinem Betrieb Geräte gibt, in denen sich ähnliche Regelvorgänge abspielen!

Beim *elektrischen Bügeleisen* ist die Heizwendel im Innern des Gehäuses untergebracht (Abb. 166/1). Zur Isolierung des Heizdrahtes dienen meist Keramikperlen. Weitere Heizgeräte sind der *elektrische Heizofen* und das *Heizkissen* (Abb. 166/2).







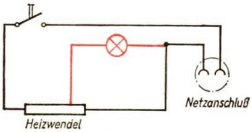


Abb. 166/2. Elektrische Heizkissen (Röntgenbild). Die im Bild erscheinenden rechteckigen Teile sind Temperaturregler, die bei hoher Temperatur den Strom selbsttätig abschalten (vgl. Abb. 24/1).

Abb. 166/1. (links) Elektrisches Bügeleisen mit Schalter und Signallampe

a Anschlußkabel; *b* Signallampe; *c* Schalter; *d* Schalthebel,; *e* Heizwendel

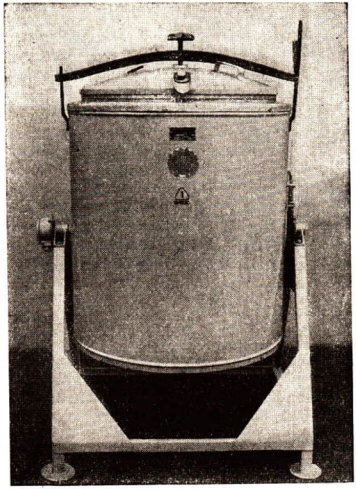


Abb. 167/1. Elektrischer Futterdämpfer (Kippdämpfer)

3. Elektrowärmegeräte in der Landwirtschaft und in der Industrie. Elektrowärmegeräte werden in immer stärkerem Maße in unseren landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften verwendet. Infolge ihrer einfachen Handhabung erleichtern elektrische Geräte unseren Menschen auf dem Lande die Arbeit. Es wird außerdem Zeit eingespart und so die Arbeitsproduktivität gesteigert. Im Boden des *elektrischen Futterdämpfers* ist ein Heizkörper eingebaut, der das eingefüllte Wasser zum Sieden bringt (Abb. 167/1). 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 während der Nacht ein und nach Ablauf einer bestimmten Zeit wieder aus. Solche Futterdämpfer entnehmen nur nachts, das heißt außerhalb der Spitzenbelastungszeiten, elektrische Energie. Unter Spitzenbelastungszeiten versteht man die Zeiten, in denen der Verbrauch an elektrischer Energie besonders groß ist. Diese Zeiten werden täglich im Rundfunk und in der Presse bekanntgegeben, so daß jeder dazu beitragen kann, besonders in diesen Zeiten mit elektrischer Energie zu sparen.

In unseren 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 Geflügelzucht sind Elektrowärmegeräte notwendig. Die Eier werden im elektrisch beheizten *Brutschrank* bei einer Temperatur von 37 °C bis 37,8 °C ausgebrütet. Zur weiteren Aufzucht der Küken dienen *Elektrowärmeglocken*, die *Kükenaufzuchtvitrine* und die *Kükenaufzuchtbatterie*. Unter der Elektrowärmeglocke herrscht eine Temperatur von 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 beheizt wird.

Die elektrischen Geflügelaufzuchtgeräte sind mit *automatischen Temperaturreglern* ausgerüstet, so daß eine gleichbleibende Temperatur gewährleistet ist. Der Regler wird so eingestellt, daß unabhängig von der jeweils herrschenden Außentemperatur stets die für die Aufzucht notwendige Temperatur herrscht. Durch die Verwendung elektrischer Geräte in der Geflügelaufzucht können bereits in der kalten Jahreszeit

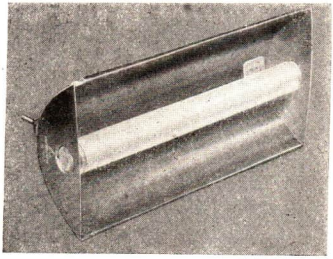


Abb. 168/1. Infrarotstrahler (Dunkelstrahler)

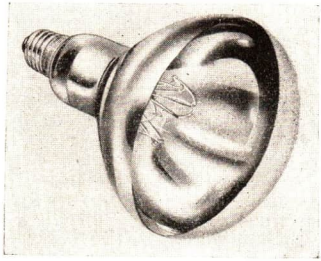


Abb. 168/2. Infrarotstrahler (Hellstrahler)

Küken in genügender Anzahl herangezogen werden. Sie sind bis zum Sommer so weit entwickelt, daß sie legereif sind. Dieses Beispiel zeigt auch, wie 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 Heizwendel durch den elektrischen Strom zum Glühen gebracht. Bei der in Abbildung 168/1 dargestellten Ausführung 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

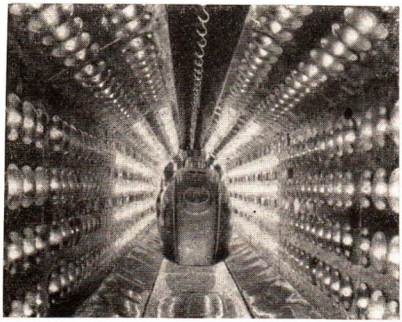


Abb. 168/3. Infrarottrockenanlage für Kraftfahrzeugkarosserien im VEB Industrie-Werke Ludwigsfelde. Der Lackanstrich einer Karosserie wird in etwa 10 Minuten durch Infrarotbestrahlung getrocknet und eingebrannt.

Dunkelstrahler müssen stets in genügender Entfernung von leicht brennbaren Gegenständen, wie Möbeln, aufgestellt werden, um eine Brandgefahr zu vermeiden.
Bei einer anderen Ausführung der Infrarotstrahler, den *Hellstrahlern*, ist die Heizwendel in einem Glaskolben untergebracht (Abb. 168/2). Als Reflektor dient 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.
Unsere Landwirtschaft verwendet Infrarotstrahler, ähnlich den obengenannten Wärmegeräten, zur Geflügelaufzucht und zum Geflügelhalten. Sie erzeugen in den Hühnerställen im Winter die notwendige 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. 168/3). Durch dieses neue Verfahren werden die bisher langwierigen Trocknungsprozesse wesentlich verkürzt, so daß Zeit und damit Kosten eingespart werden können.
Auch in der Metallbearbeitung spielen Wärmevorgänge eine wichtige Rolle. So werden Metalle häufig durch Löten miteinander verbunden. Hierzu verwendet man *elektrische Lötkolben* (Abb. 169/1). Die kupferne Lötspitze wird durch einen elektrischen Heizkörper erwärmt.
In Maschinenfabriken, Werkzeugfabriken und Laboratorien werden vielfach elektrische *Glüh-* und *Härteöfen* verwendet (Abb. 169/2). Als Heizkörper dienen Heizdrähte oder Stäbe aus Silit. Diese werden aus Kohlenstoff und Quarz hergestellt. Die Silitstäbe werden vom elektrischen Strom durchflossen, wobei Temperaturen von 1300 °C und mehr erreicht werden.

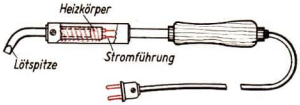


Abb. 169/1. Elektrischer Lötkolben (Schnittzeichnung, schematisch)

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!
   Worin besteht der Unterschied zwischen Dunkelstrahlern und Hellstrahlern?
3. Warum müssen elektrische Geräte mit Schutzkontakten versehen sein?
4. Stelle fest, welche Wärmegeräte in eurer LPG Verwendung finden!

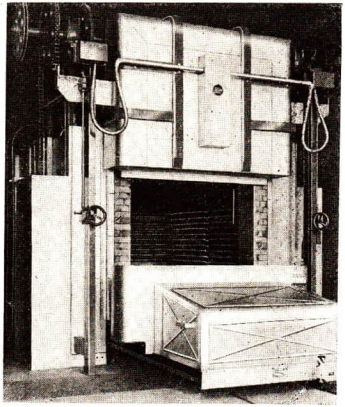


Abb. 169/2. Elektrischer Glühofen

31. Das elektrische Licht

1. Die elektrische Glühlampe. Die vom elektrischen Strom durchflossene Heizwendel eines Heizofens glüht und sendet dabei Licht aus. Diese Erscheinung wird bei den Glühlampen ausgenutzt. Der Leiter wird zu diesem Zweck so stark erhitzt, daß er ein helles Licht aussendet.

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. 1872 entwickelte der russische Erfinder ALEXANDER NIKOLAJEWITSCH LODIGYN eine ähnliche Vorrichtung, verwendete jedoch als Glühkörper ein dünnes Kohlestäbchen. Damit waren die Grundlagen zur Entwicklung einer brauchbaren elektrischen Beleuchtung gegeben. Die ersten Glühlampen hatten den Nachteil, daß ihre Lebensdauer sehr kurz und ihre Anfertigung sehr umständlich waren. Viele Versuche zur Verbesserung der Glühlampe wurden unternommen. Schließlich gelang es dem Amerikaner THOMAS ALVA EDISON in Auswertung der bereits vorliegenden Erfahrungen eine Glühlampe zu konstruieren, die industriell gefertigt werden konnte. Damit konnte die elektrische Beleuchtung in immer stärkerem Maße angewendet werden. Der *Aufbau der Glühlampe* ist sehr einfach (Abb. 170/1). Ein dünner Glühdraht aus einem schwer schmelzbaren Metall ist an einem Gestell ausgespannt. Geeignete Metalle sind z. B. Osmium, Tantal und Wolfram, da ihre Schmelzpunkte bei 2700 °C, 3000 °C und 3350 °C liegen. Der Glühfaden hat entweder die Form einer *Einfachwendel* oder die einer *Doppelwendel* (Abb. 170/2). Dadurch kann ein etwa 1 m langer Glühfaden 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 zu hellem Glühen zu bringen. Ist der Draht jedoch

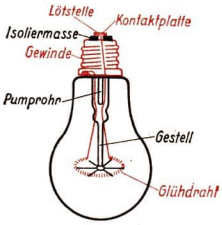


Abb. 170/1. Aufbau einer Glühlampe

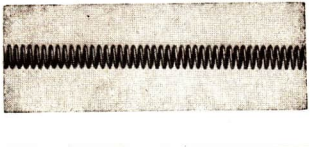


Abb. 170/2
Wendel einer Glühlampe
a) Einfachwendel
b) Doppelwendel

gewendelt, so heizen die nebeneinanderliegenden Windungen der Wendel einander auf. Es genügt dann bereits ein schwächerer Strom, um die erforderliche Glühtemperatur zu erreichen. Damit der Glühfaden nicht verbrennen kann, muß die Luft und damit der Sauerstoff aus dem Glaskolben ausgepumpt werden. Um jedoch zu verhindern, daß das Metall der glühenden Wendel zu schnell verdampft, füllt man die Lampenkolben mit einem Schutzgas, zum Beispiel mit Stickstoff. Warum besteht die Gefahr des Verdampfens?

Die Glühlampen werden in Fassungen geschraubt. Diese Lampenfassungen sind berührungssicher gebaut, so daß eine Berührung spannungsführender Teile unmöglich ist (Abb. 171/1). 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 elektrische Leistung an, die zu ihrem Betrieb notwendig ist. Die am häufigsten verwendeten Glühlampen haben Leistungen von 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. 171/2). 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 Deckenleuchte mit 200 W an, sondern verwendet eine Tischleuchte mit höchstens 40 W. Auf dieseWeise kann elektrischeEnergie eingespart 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 möglichst kleine leuchtende Fläche bildet (Abb. 171/3). Alle Kraftfahrzeuge sind mit Scheinwerfern ausgerüstet,

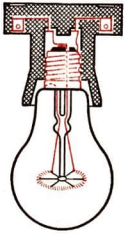


Abb. 171/1 (oben). Berührungssichere Lampenfassung einer Glühlampe (Schnittzeichnung, schematisch)

Abb. 171/2 (Mitte). Leistungsschild einer Glühlampe. Es enthält außer der Leistung und der Spannung noch die Angabe der Wendelung (D = Doppelwendel), das Warenzeichen (NARVA; N = Nitrogenium, AR = Argon, VA = Vakuum) und Kenndaten für die Gewährleistung (. . 25).

Abb. 171/3 (unten). Projektionslampe 75 V, 375 W

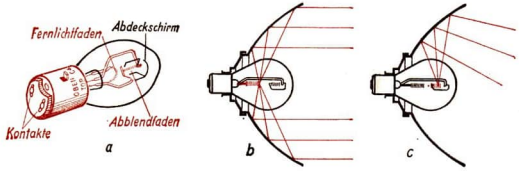


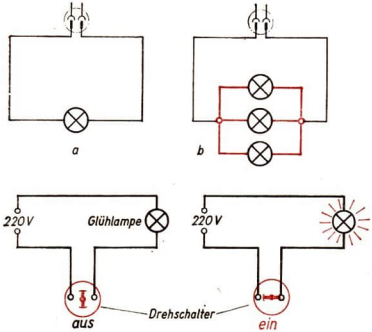
Abb. 172/1. Scheinwerfer mit Biluxlampe (Schnittzeichnung schematisch)
a) Ansicht, b) Fernlicht, c) Abblendlicht

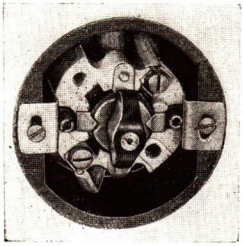
die auf- und abgeblendet werden können. Diesem Zweck dienen die mit zwei Glühfäden ausgerüsteten *Biluxlampen* (Abb. 172/1).

2. Die Schaltung von Glühlampen. Glühlampen leuchten mit ihrer normalen Helligkeit nur, wenn an ihnen die volle Spannung liegt. Man muß sie daher *parallelschalten* (Abb. 173/1). Die Parallelschaltung hat also den Vorteil, daß alle Stromverbraucher für die gleiche Spannung, nämlich die des Lichtnetzes, gebaut werden können.

Beim Anschluß an das Lichtnetz werden Glühlampen und andere elektrische Geräte parallelgeschaltet.

Zum Öffnen und Schließen des Stromkreises dienen *Schalter* (Abb. 173/2). Bei Lichtanlagen werden im allgemeinen *Dreh-*, *Kipp-* oder *Druckschalter* verwendet.
Bei den Drehschaltern werden die zwei gegenüberliegenden Kontaktfedern durch einen drehbaren Kontakt miteinander verbunden (Abb. 173/3). Diese Verbindung wird bei den Kippschaltern durch das Umlegen eines Kontakthebels hergestellt (Abb. 173/4).
Bei einem Druckschalter wird durch das Eindrücken des Knopfes ein federnder Kontakt mit einem festen Kontakt in Berührung gebracht (vgl. Abb. 211/3). Schalter dieser Art werden beispielsweise in Treppenhäusern verwendet. Sie sind dann meist mit einem Zeitschaltwerk verbunden, das nach einer bestimmten Zeit den Strom automatisch ausschaltet. Die Verwendung dieser Druckschalter und der Zeitschaltwerke 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. 173/5). Man verwendet Wechselschalter 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.
Sind mehrere Glühlampen zu einer Leuchte zusammengefaßt, so ist es oft zweckmäßig, mehrere Lampen einzeln oder in Gruppen einschalten zu können. Dies erreicht man entweder durch Verwenden eines Doppelkippschalters (Abb. 174/1) oder





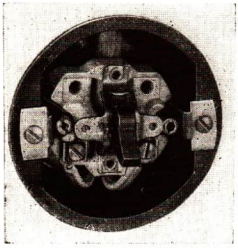


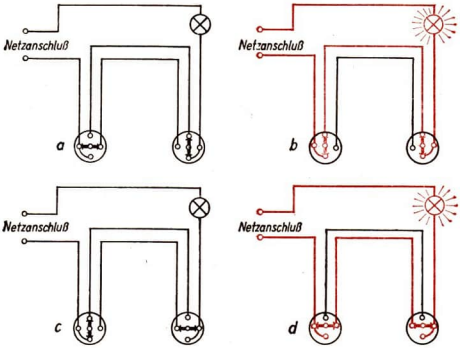
Abb. 173/1 (oben). Schaltung von Glühlampen

Abb. 173/2 (darunter). Schalten einer Glühlampe mit Hilfe eines Drehschalters

Abb. 173/3 (rechts oben). Drehschalter. Das Schutzgehäuse ist abgenommen

Abb. 173/4 (rechts Mitte). Kippschalter. Das Schutzgehäuse ist abgenommen

Abb. 173/5 (unten). Wechselschaltung einer Lampe bei zwei Schaltstellen



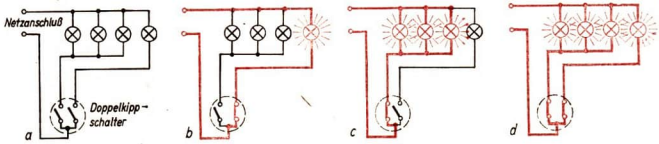


Abb. 174/1. Schaltung von Glühlampen unter Verwendung eines Doppelkippschalters

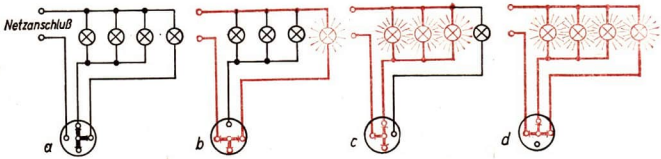


Abb. 174/2. Serienschaltung unter Verwendung eines Serienschalters

durch *Serienschaltung* (Abb. 174/2). Für die Serienschaltung eignen sich nur Drehschalter, die vier Kontakte enthalten. Der drehbare Teil des Schalters trägt drei Kontakte, die leitend miteinander verbunden sind.

Bei der Wechselschaltung kann eine Glühlampe von zwei verschiedenen Stellen aus geschaltet werden. Bei der Serienschaltung kann man mit einem Schalter mehrere Glühlampen wahlweise einzeln oder in Gruppen schalten.

3. Der elektrische Lichtbogen. Beobachtet man das Arbeiten eines Elektroschweißers, so fallen sofort die grellen Lichterscheinungen auf, die den Arbeitsvorgang begleiten. Der folgende Versuch zeigt den zugrunde liegenden Vorgang in einfacher Weise. Zwei Kohlestifte werden unter Einschalten eines Vorwiderstandes mit den Polen einer Spannungsquelle verbunden, so daß an den Kohlestiften eine Spannung von etwa 20 V liegt (Abb. 174/3). 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 Kohleteilchen gebildet wird. Diese leiten den elektrischen Strom und schließen dadurch den Stromkreis. Die Enden 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.

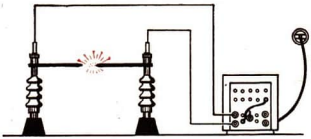


Abb. 174/3. Versuchsanordnung zum Erzeugen eines elektrischen Lichtbogens

Pawel Nikolajewitsch Jablotschkow (1847 bis 1894)

Abb. 175/1 Modell einer Jablotschkow-Kerze

Die hohe Temperatur im Lichtbogen wird beim *Elektroschweißen* ausgenutzt. Durch einfache Versuche kann man diese hohe Temperatur nachweisen. Bringt man zum Beispiel einen dünnen Nagel in den Lichtbogen, so schmilzt dieser sofort unter starker Funkenbildung. Zieht man einige mit einer Zange zusammengepreßte Rasierklingen oder zwei dünne Streifen Konservenbüchsenblech langsam am Lichtbogen entlang, so werden sie zusammengeschweißt.

Der erste, der diese Erscheinung im Jahre 1800 näher beschrieb, war der englische Gelehrte Sir Humphry Davy. Aber erst der russische Ingenieur Pawel Nikolajewitsch Jablotschkow konstruierte eine Lampe, bei der der elektrische Lichtbogen als Lichtquelle verwendet wurde. Nach ihrem Konstrukteur wird sie als *Jablotschkow-Kerze* bezeichnet. Sie besteht aus zwei isoliert nebeneinanderstehenden Kohlestäben (Abb. 175/1). Nachdem man den Strom eingeschaltet hat, bringt man die Kerze zum Zünden. Dies geschieht dadurch, daß man mittels einer dritten Kohle kurzzeitig eine leitende Verbindung zwischen den schräggefeilten Kohleflächen herstellt. Nach dem Aufflammen des Bogens wird die Hilfskohle wieder weggenommen. Der Vorteil einer Bogenlampe dieser Bauart besteht darin, daß die Kohlen während des Abbrennens nicht nachgeschoben zu werden brauchen.

Auf der Pariser Weltausstellung im Jahre 1879 wurden erstmalig derartige *Bogenlampen* benutzt. Heute werden elektrische Bogenlampen immer weniger eingesetzt, da eine ständige Aufsicht und Wartung erforderlich ist. Man benutzt sie zum Beispiel noch für Scheinwerfer und für Kinoprojektionsgeräte, da es hier auf eine möglichst kleine Leuchtfläche mit großer Helligkeit ankommt. Die Abbildung 175/2 zeigt einen Blick in eine geöffnete Bogenlampe.

Der elektrische Lichtbogen hat in der Technik

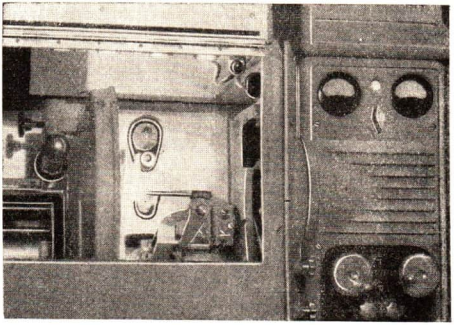


Abb. 175/2. Blick in die geöffnete Bogenlampe eines Kinoprojektors

Abb. 176/1. Elektrisches Lichtbogenschweißen

eine große Bedeutung als Wärmequelle erlangt. Er wird in immer stärkerem Maße zum *Schweißen* benutzt (Abb. 176/1). Das *elektrische Lichtbogenschweißen* wird unter anderem beim Bau von Maschinen, beim Schiffsbau und beim Brückenbau angewendet. Besonders im Schiffsbau wird das Schweißen heute vielfach an Stelle 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 große Mengen an Material eingespart, da die zu verbindenden Teile unmittelbar aneinandergeschweißt werden (Abb. 176/2a). Beim Nieten dagegen müssen sich die zu verbindenden Teile überlappen (Abb. 176/2b). 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 hervorstehenden Nietköpfen. Weitere Vorteile des Schweißens sind Gewichts- und Zeitersparnis.

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. Zwischen der Schweißelektrode und den Eisenteilen bildet sich ein Lichtbogen aus. Auf Grund der hohen Temperatur des Lichtbogens schmelzen die Ränder der Eisenteile. Außerdem schmilzt von der Elektrode etwas Eisen ab, das die Fuge zwischen den Eisenteilen ausfüllt. Nach dem Erkalten sind diese Teile verschmolzen und dadurch fest miteinander verbunden. Die zum Schweißen erforderliche große Wärmeenergie kann nur mit Hilfe einer hohen elektrischen Energie gewonnen werden. Im allgemeinen verwendet man eine Spannung von 20 V bis 30 V. Die Stromstärke liegt dann zwischen 200 A und 300 A. Zwischen welchen Grenzen liegt dann die Leistung?

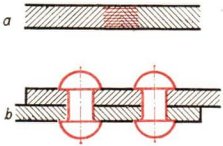


Abb. 176/2. Verbinden zweier Metallteile
a) durch Schweißen
b) durch Nieten

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 Gefahr hin (Abb. 177/1). Der Schweißer hält zum Schutz der Augen vor sein Gesicht ein Schutzschild, in dem eine Scheibe aus dunkelblauem Glas eingelassen ist.

Abb. 177/1. Warnschild bei Schweißanlagen

Der *elektrische Lichtbogenofen*, auch Elektrostahlofen genannt, ist ein wichtiges Hilfsmittel zur Stahlerzeugung, insbesondere zur Edelstahlgewinnung (vgl. Abb. 108/1). In ihm wird mit Hilfe des Lichtbogens das Material geschmolzen und dabei unmittelbar Schrott zu Stahl verarbeitet. Durch Beimengung anderer Metalle, wie Chrom, Nickel und Mangan, werden Edelstahllegierungen 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 177/2 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. Würde sich ein Lichtbogen bilden, so würden die Kontakte verschmoren, und der Schalter wäre damit unbrauchbar. Außerdem ist mit dem Lichtbogen eine Erwärmung verbunden, die eine Brandgefahr bedeutet. Schalter, mit denen Ströme hoher Stromstärke geschaltet werden, enthalten häufig Öl. Dieses unterbindet das Entstehen eines Lichtbogens.

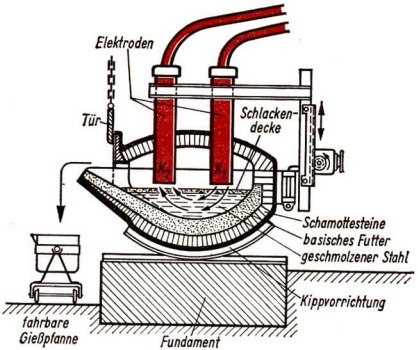


Abb. 177/2. Schnitt durch einen Lichtbogenofen (schematisch)
Der Strom fließt von der Kohle K_1 durch das Schmelzgut zur Kohle K_2 oder umgekehrt

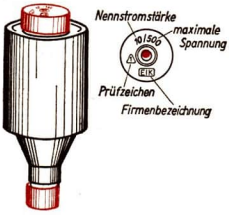
1. Nenne die wichtigsten Schaltungsarten einer Glühlampe und erkläre sie!
2. Welche Vorteile haben bei Glühlampen die Doppelwendeln gegenüber den Einfachwendeln?
3. Erkläre die Wirkungsweise der Biluxlampe! Welche optischen Gesetze werden bei ihr angewendet?
4. Warum sind Schalter mit Federn ausgestattet?
5. Nenne und erkläre technische Anwendungen des elektrischen Lichtbogens!

32. Die Sicherung elektrischer Anlagen

1. Die Schmelzsicherung. Die Wärmewirkungen des elektrischen Stromes werden sehr vielseitig in der Technik ausgenutzt. Dort sind diese Wirkungen beabsichtigt, und der Mensch ist in der Lage, sie zu beherrschen. Außerdem können jedoch Erwärmungen durch den elektrischen Strom auftreten, die nicht beabsichtigt sind und zum Gefahrenherd werden können. Das kann z. B. dann der Fall sein, wenn eine elektrische Anlage „überlastet" wird. Man versteht darunter einen solchen Zustand, bei dem die Stromstärke zu hoch ist, so daß die Leitungen unzulässig erwärmt werden. Das kann bis zur Weißglut der Drähte führen. Es ist einleuchtend, daß durch diese Erwärmungen sehr leicht Brände auftreten können. Das muß unter allen Umständen vermieden werden. Damit die Temperatur des Leiters ein zulässiges Maß nicht überschreitet, darf 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 elektrischen Leitungsanlagen *Sicherungen* ein, die den Stromkreis beim Überschreiten einer bestimmten Stromstärke unterbrechen (Abb. 178/1).

Abb. 178/1. Schaltzeichen von Sicherungen

Am einfachsten in ihrem Aufbau ist die *Schmelzsicherung* (Abb. 178/2). 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 (Abbildung 178/3). Der *Schmelzeinsatz* wird in eine Schraubfassung eingeführt und mit einem Deckel festgeschraubt



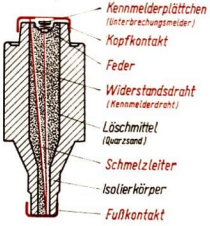


Abb. 178/2 (links.) Schmelzeinsatz einer Schmelzsicherung
Abb. 178/3 (rechts). Geöffneter Schmelzeinsatz. Man sieht neben der Metallfolie noch einen sehr dünnen Draht, der ein farbiges Plättchen festhält. Er schmilzt gleichzeitig mit der Metallfolie durch.

(Abb. 179/1). Den Stromweg in einer Schmelzsicherung zeigt die Abbildung 179/2.

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, füllt sofort die entstehende Lücke aus und verhindert so die Entstehung eines Lichtbogens.

In der Kopfplatte des Schmelzeinsatzes ist ein farbiges Plättchen, der *Unterbrechungsmelder*, eingebaut. Dieser wird durch einen sehr dünnen Draht gehalten (vgl. Abb.178/3). Schmilzt die Metallfolie, so schmilzt auch der dünne Draht, und das Plättchen fällt heraus (vgl. Abb. 179/2). 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 dem Kurzschluß versteht man die leitende Überbrückung stromführender Leiter, wobei 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 infolge 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 179/3 wieder-

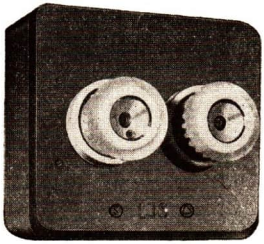


Abb. 179/1. Schmelzsicherung im Gehäuse. Der linke Einsatz ist durchgeschmolzen.

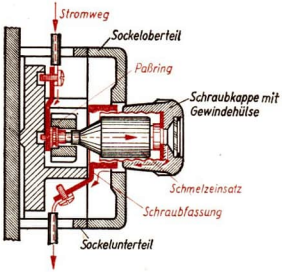


Abb. 179/2. Stromweg in einer Sicherungsanlage mit Schmelzsicherung: Kontaktplatte – Schmelzeinsatz – Gewinde des Deckels – Gewinde des Gehäuses

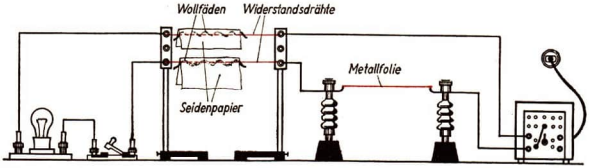


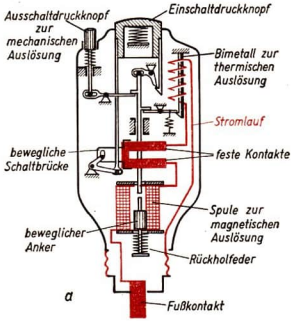
Abb. 179/3. Die Wirkungsweise einer Sicherung (Modellversuch)

Abb. 180/1. Paßringe

gegebene Versuch. Wird der Stromkreis geschlossen, so leuchtet die Lampe und zeigt damit an, daß ein Strom fließt. Die Leitungsdrähte und auch die Metallfolie 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 dadurch so stark, daß sie durchschmilzt. Der Stromkreis wird unterbrochen. Der Kurzschluß müßte beseitigt und an Stelle der durchgebrannten „Sicherung" wieder eine dünne Metallfolie als neue „Sicherung" eingesetzt werden. Statt dessen wird ein dicker Draht eingesetzt, die Sicherung wird damit „geflickt". Schaltet man wieder den Strom ein, ohne den Kurzschluß zu beseitigen, so fangen die Widerstandsdrähte an zu glühen. Die Wollfäden und die Papierstreifen verbrennen. Dieser Versuch zeigt, daß durch die geflickte Sicherung schwere Brandschäden entstehen können. Daher ist es *streng verboten, Sicherungen zu flicken.* In jedem Haushalt sollten stets einige Sicherungen vorrätig sein, so daß man eine durchgebrannte Sicherung sofort gegen eine neue auswechseln kann.

Das Überbrücken der Sicherungen durch Drähte ist verboten! Durchgebrannte Sicherungen sind stets durch neue Sicherungen zu ersetzen!

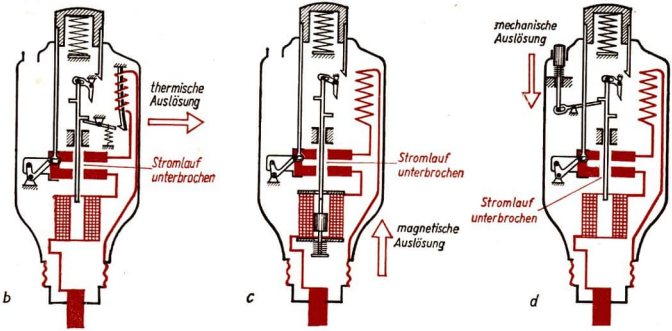
Abb. 180/2 (links) (Sicherungsautomat
Abb. 180/3 (rechts) Schema eines Sicherungsautomaten



a) im eingeschalteten Zustand

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 eingeprägt und außerdem an der Farbe des Unterbrechungsmelders zu erkennen. 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 (Abb. 180/1). Ist der Paßring für einen Schmelzeinsatz von 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 das Leitungsmaterial nur für eine bestimmte Stromstärke bemessen ist. Würde eine Sicherung für eine zu hohe Stromstärke eingesetzt, so könnten die Zuleitungen überlastet werden, ohne daß die Sicherung den Stromkreis unterbricht. Dies bedeutet aber eine Brandgefahr. Daher ist es auch *verboten, Paßringe auszuwechseln oder zu beseitigen.*
In Wohnungen genügt meist eine Sicherung von 6 A oder 10 A. Kleinere Häuser werden mit 15 A abgesichert. In großen Häusern mit vielen Wohnungen werden für die Hauptsicherung Schmelzeinsätze von 20 A oder 25 A verwendet. In industriellen und in landwirtschaftlichen Anlagen werden Hauptsicherungen mit noch höheren Belastungsgrenzen eingebaut. Welche Größe haben die Sicherungen in deinem Betrieb?

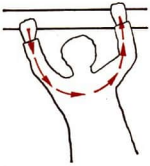
2. Der Sicherungsautomat. Die Schmelzsicherungen haben den Nachteil, daß man durchgebrannte Sicherungen nicht wieder verwenden kann. Das Sammeln verbrauchter Sicherungen und der Transport zum Herstellerbetrieb wären teurer als die Neuanfertigung. Dieser Mangel wird bei den *Sicherungsautomaten* vermieden (Abb. 180/2).



b) thermische Auslösung c) magnetische Auslösung d) mechanische Auslösung

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 (Abb. 180/3a und b). 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 Stromkreis ist unterbrochen. Der Schalterknopf springt heraus.
Tritt plötzlich eine sehr hohe Stromstärke auf, wie dies bei einem 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 noch eine *magnetische Auslösung* (Abb. 180/3c) eingebaut, die auf jede plötzlich auftretende erhebliche Erhöhung der Stromstärke sofort anspricht, während die *thermische Auslösung* vor allem auf kleine Erhöhungen der Stromstärken reagiert.
Man kann den Stromkreis auch willkürlich öffnen, indem man einen zweiten, kleineren Schaltknopf drückt (Abb. 180/3d). Dadurch wird ebenfalls die Sperrvorrichtung ausgeklinkt. Hat nun der Sicherungsautomat den Stromkreis infolge eines Kurzschlusses oder einer Überbelastung unterbrochen, so kann der Stromkreis nach Beseitigung der Störung durch Drücken des großen Schaltknopfes wieder geschlossen werden. Sicherungsautomaten lassen sich also immer wieder verwenden.

3. Regeln für den Umgang mit elektrischen Anlagen. Das unsachgemäße Umgehen mit elektrischen Geräten kann nicht nur Brand- und Sachschaden verursachen. Leichtsinn 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 der 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. 182/1). Aber auch das Berühren nur eines Leiters muß vermieden werden. Der eine Pol unseres Stromnetzes ist



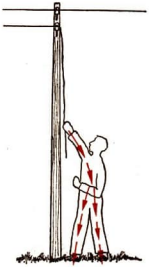


Abb. 182/1 (links außen)
Beim Berühren beider Pole einer Lichtleitung fließt ein elektrischer Strom durch den menschlichen Körper

Abb. 182/2 (links)
Auch beim Berühren nur eines Leiters kann ein elektrischer Strom durch den menschlichen Körper fließen

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 ebenfalls durch den menschlichen Körper fließen (Abb. 182/2). Der Mensch darf also auf keinen Fall mit spannungsführenden Leiterteilen in Berührung kommen. Nur Kleinspannungen unter 42 V, wie sie beispielsweise für Spielzeug verwendet werden, sind ungefährlich.

Beim Arbeiten mit elektrischen Geräten sind folgende Regeln zu beachten:

1. Jede elektrische Anlage muß mit vorschriftsmäßigen *Sicherungen* versehen sein.
2. An Leitungen, 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. 183/1).
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 Aufhängevorrichtung* für Kleidungsstücke oder andere Gegenstände benutzt werden.
7. Ortsfeste elektrische Anlagen müssen entweder *von einem Fachmann verlegt und 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 kleineren 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 und dergleichen dürfen niemals mit einem feuchten Tuch abgewischt werden.
10. Lichtschalter und Steckdosen sollen *nicht in der Nähe von Wasserleitungen* und im Badezimmer 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.

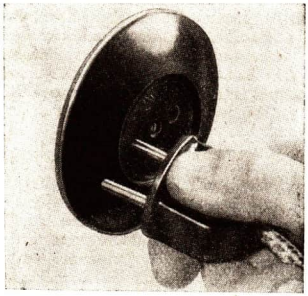


Abb. 183/1. Durch die Form der Steckdose wird ein einpoliges Einstecken verhindert

Abb. 184/1. Lampe mit Schutzkorb und Überglocke

11. *Ans Lichtnetz angeschlossene Geräte und Metallkörper, die mit der Erde in Verbindung stehen, dürfen nicht gleichzeitig berührt werden.*
Man soll 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 Geräteschaden 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. 184/1).
13. Bei *Schülerversuchen dürfen nur Kleinspannungen* bis höchstens 42 V benutzt werden.

4. Die Bedeutung der Standardisierung. Beim Kauf von Schmelzsicherungen braucht man nur die richtige Belastungsgrenze anzugeben, und man erhält einen Schmelzeinsatz, der auf alle Fälle in die Schraubfassung paßt. Alle Schmelzeinsätze für eine bestimmte Belastungsgrenze haben eine einheitliche Form und Größe und sind mit gleichen Farbplättchen gekennzeichnet, unabhängig davon, welcher Betrieb diese Schmelzeinsätze herstellt. Man sagt, die Teile sind standardisiert.
Anders ist es bei nicht standardisierten 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 Standardisierung stellt also für den Käufer und für den Verkäufer eine erhebliche Vereinfachung dar. Aber die Standardisierung 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 standardisierte Teile können wesentlich kleiner sein als für nicht standardisierte Teile. Auch lassen sich Ersatzteile leichter beschaffen.
Unter Standardisierung 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.
Wegen der großen Vorteile ist die Standardisierung für unsere gesamte Volkswirtschaft von größter Bedeutung. Während des ersten Weltkrieges wurden in Deutschland die ersten Standards für Industrieprodukte aufgestellt. Man nannte diese Standards damals *Deutsche Industrienormen*. Die für unsere Deutsche Demokratische Republik verbindlichen Standards werden als TGL-Blätter herausgegeben

DK 621.3.061:003.62 **DDR-Standard** Februar 1963

Deutsche Demokratische Republik

Elektrotechnik
Schaltzeichen
WIDERSTÄNDE
allgemein

☆ TGL 16008
Blatt 1
Gruppe 360

Электротехника
Условные графические обозначения в электрических схемах
Сопротивления
в общем

Electrical Engineering
Circuit Symbols
RESISTORS
general

Verbindlich ab 1.1.1964

Lfd. Nr.	Benennung	Schaltzeichen vereinfacht	Schaltzeichen ausführlich	Bemerkung
1.	Widerstand allgemein			Seiten-verhältnis 1:3 bis 1:6
1.1.	Festwiderstand mit Anzapfungen			

Abb. 185/1. Kopf eines DDR-Standards

(Abb. 185/1). Dazu gehören auch die in dem vorliegenden Buch verwendeten Formelzeichen. Sie sind im TGL-Blatt 0–1304 festgelegt (siehe Seite 220). Für fast alle anderen Zweige der Technik bestehen Normen.

Große Anstrengungen werden sowohl von unseren Werktätigen als auch von den Wissenschaftlern, Konstrukteuren und Ingenieuren unternommen, Maschinen, Maschinenteile und Geräte zu standardisieren. Bisher wurden in der Deutschen Demokratischen Republik 21 verschiedene Arten von Bügeleisen produziert. Es ist leicht einzusehen, daß eine Fülle von Ersatzteilen hierfür notwendig ist. In Zukunft werden aber nur noch 5 Arten von Bügeleisen produziert werden. Damit verringert sich auch die Vielzahl der Ersatzteile. Diese Bügeleisen werden von den Betrieben produziert, die hierfür die besten Voraussetzungen bieten. Sicher gibt es auch eine ganze Reihe von Beispielen in eurem Betrieb, die die Bedeutung und die Vorteile der Standardisierung zeigen. Laßt euch von euren Betreuern und von den Arbeitern erzählen, welche Anstrengungen in dieser Hinsicht in eurem Betrieb unternommen werden!

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Warum werden Sicherungen in elektrische Stromkreise eingebaut?
2. Warum darf man elektrische Sicherungen nicht flicken?
3. Erkläre die Vorteile der Standardisierung am Beispiel der Glühlampen!
4. Beobachte, ob die Regeln für das Arbeiten mit elektrischen Geräten auch bei dir zu Hause genauestens eingehalten werden!
5. Gib zu jeder der auf den Seiten 183 und 184 aufgeführten Regeln für den Umgang mit elektrischer Anlagen eine Begründung!

Abb. 186/1. Magneteisenstein

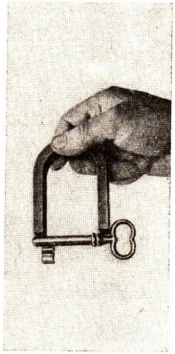


Abb. 186/2. Hufeisenmagnet

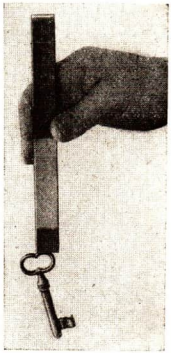


Abb. 186/3. Stabmagnet

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 das magnetische Eisenerz *Magneteisenstein* gefunden (Abb. 186/1).

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 Stahllegierungen bestehen. Die künstlichen Magnete

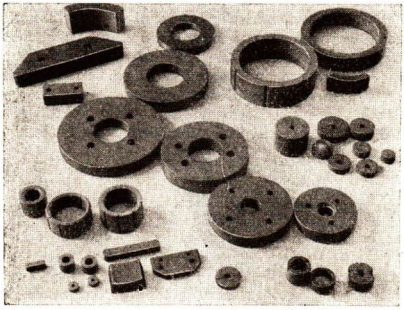


Abb. 186/4
Keramische Magnete unterschiedlicher Form

haben meist *Hufeisen-* oder *Stabform* (Abb. 186/2 und 186/3). Außerdem stellt man für die verschiedensten Zwecke, besonders für die Fernmeldetechnik, leistungsfähige *keramische Magnete* in vielerlei Formen her (Abb. 186/4). Die Grundbestandteile der keramischen Magnete sind magnetische Metalloxide, im wesentlichen Eisenoxid und Bariumoxid. Die Rohstoffe werden zunächst aufbereitet. 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 Kraftwirkung eines Magneten auf Kobalt und Nickel 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. Diese wird durch die Versuchsanordnung veranschaulicht, die in Abbildung 187/1 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.

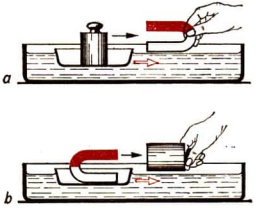


Abb. 187/1
Die magnetische Kraftwirkung ist wechselseitig

2. Die Magnetpole. Wie aus dem in Abbildung 187/2 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. Dieser magnetisch unwirksame Teil wird als *indifferente Zone* bezeichnet.

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.

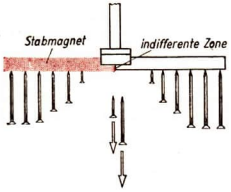


Abb. 187/2. An einem Stabmagneten hängende Nägel. Die Anziehungskraft ist in der Nähe der Stabenden am größten

3. Die magnetische Anziehung und Abstoßung. Nähert man einem Magneten einen unmagnetischen Nagel, so wird dieser sowohl vom Nordpol als auch vom Südpol angezogen. Verwendet man jedoch statt des Nagels eine Magnetnadel, so wird diese nur dann angezogen, wenn sich ungleichnamige Pole gegenüberstehen (Abb. 188/1). Gleichnamige Pole dagegen stoßen einander ab (Abb. 188/2).

Abb. 188/1. Anziehung zwischen dem Südpol eines Stabmagneten und dem Nordpol einer Magnetnadel

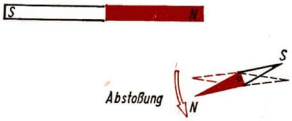


Abb. 188/2. Abstoßung zwischen dem Nordpol eines Stabmagneten und dem Nordpol einer Magnetnadel

Ungleichnamige Magnetpole ziehen einander an. Gleichnamige Magnetpole stoßen einander ab.

Man hängt einen Stabmagneten leicht drehbar auf, so wie es die Abbildung 188/3 zeigt. Der Magnet stellt sich etwa in die Nord-Süd-Richtung ein. Auch wenn man ihn aus dieser Lage herausdreht, geht er immer wieder in die gleiche Lage zurück. Überlege, warum für diesen Versuch ein Holzstativ verwendet werden muß!

Ebenso verhält sich eine *Magnetnadel*. Sie ist ein kleiner 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. Als Ursache dafür hat man die *magnetische Kraft der Erde* ermittelt. Die Erde selbst ist ein großer Magnet mit zwei Polen (vgl. S. 193). Die Magnetpole sind nach der Richtung benannt worden, nach der sie bei einem frei aufgehängten Magneten zeigen. So heißt der nach Norden zeigende Pol *Nordpol* und der nach Süden zeigende *Südpol* (Abbildung 188/4). 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.

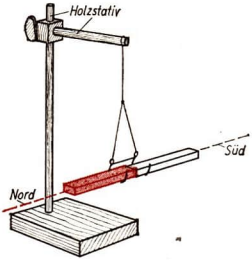


Abb. 188/3. Stabmagnet an einem Stativ

Abb. 188/4. Schaltzeichen eines Magneten a) allgemein, b) mit Angabe der Pole

Jeder Magnet, der um eine lotrechte Achse drehbar ist, stellt sich annähernd in die Nord-Süd-Richtung ein.

FRAGEN

1. Wie verhalten sich gleichnamige und wie ungleichnamige Magnetpole zueinander?
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

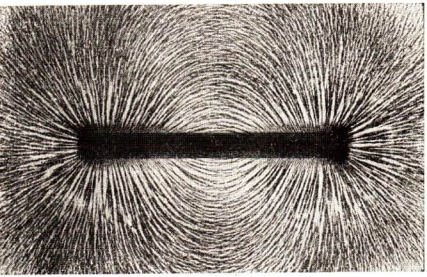
1. Die magnetischen Feldlinien. Die bisher mit Hilfe der Magneten durchgeführten Versuche zeigen, daß von ihnen *Kraftwirkungen* ausgehen, die über große Entfernungen wirksam sein können. Auch wenn man beispielsweise bei dem in Abbildung 188/1 wiedergegebenen Versuch ein Kartonblatt zwischen den Stabmagneten und die Magnetnadel hält, ändert sich die Wirkung nicht. Die Kraftwirkung geht also auch durch andere Stoffe hindurch. Im folgenden soll die Kraftwirkung einmal näher untersucht werden.

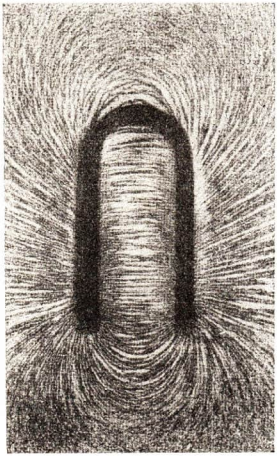
Man streut auf eine Glasscheibe, unter der ein Stabmagnet liegt, Eisenfeilspäne und klopft leicht gegen die Scheibe. Dabei beobachtet man, daß sich die Eisenfeilspäne in einer bestimmten Weise ordnen. Es bilden sich zusammenhängende Ketten von Eisenfeilspänen, die von dem einen Pol des Magneten zum anderen reichen (Abb. 189/1). Der Versuch zeigt, daß in der Umgebung des Magneten Kräfte wirksam sind. Er zeigt aber auch zugleich, in welcher Weise sich diese Kräfte auswirken. Die *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. 189/2).

Jeder Magnet ist von einem magnetischen Feld umgeben.

Die Abbildungen 189/1 und 189/2 zeigen weiterhin, daß die Feldlinien dort besonders dicht sind, wo auch die magnetischen Wirkungen besonders groß sind. Man kann also aus der *Form des Feldes* auf die *Größe der Kraftwirkungen* schließen.

Abb. 189/2 (rechts
Feldlinienbild eines Hufeisenmagneten
Abb. 189/1 (unten)
Feldlinienbild eines Stabmagneten





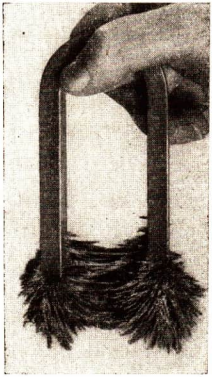


Abb. 190/1. Eisenfeilspäne an einem Stabmagneten
Abb. 190/2. Eisenfeilspäne an einem Hufeisenmagneten

Die Abbildungen 189/1 und 189/2 zeigen das Magnetfeld nur in einer Ebene. Es ist jedoch nicht auf eine Ebene beschränkt, sondern erstreckt sich räumlich um den Magneten. Taucht man beispielsweise einen Stabmagneten oder einen Hufeisenmagneten in Eisenfeilspäne und hebt ihn dann hoch, so beobachtet man die *räumliche Wirksamkeit des Magnetfeldes* (Abb. 190/1 und 190/2).

Die von den Eisenfeilspänen gebildeten Linien bezeichnet man als *magnetische Feldlinien*. Diese Feldlinien veranschaulichen den Aufbau des magnetischen Feldes.

Die Bedeutung der Feldlinien erkennt man mit Hilfe des folgenden Versuches:

In einem Glastrog schwimmt an einem Korken eine magnetisierte Stricknadel (Abb. 190/3). Der Nordpol ragt aus dem Wasser. Nähert man nun diesem Nordpol den Nordpol eines starken Magneten, wie es die Abbildung 190/3 zeigt, 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.

Wie man aus all diesen Versuchen entnehmen kann, haben die magnetischen Feldlinien folgende Eigenschaften:

a) Die magnetischen Feldlinien sind in sich *geschlossene Kurven*, die den Magneten räumlich umgeben.
b) Sie *durchkreuzen einander nicht*.
c) Sie besitzen weder einen Anfang noch ein Ende.
d) Sie verlaufen außerhalb des Magneten vom Nordpol zum Südpol und geben die Richtung an, in der die magnetische Kraft wirkt.

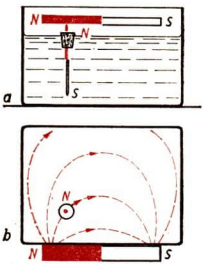
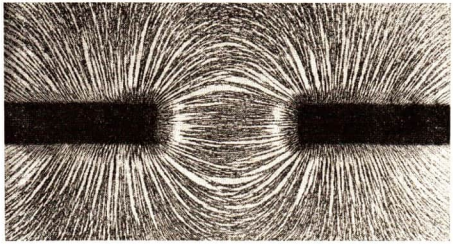


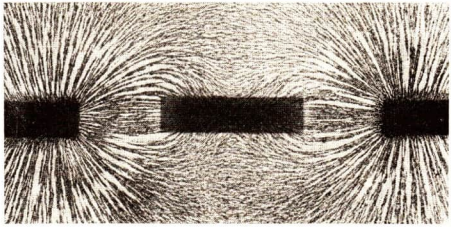
Abb. 190/3. Der Nordpol einer schwimmenden Stricknadel schwimmt entlang einer Feldlinie von einem Pol zum anderen
a) Ansicht b) Aufsicht

2. Eisenkörper im magnetischen Feld. Das magnetische Feld hat seinen Ursprung in einem Magneten.

Abb. 191/1. Änderung des Feldlinienverlaufs durch ein Weicheisenstück
a) Ungestörtes Magnetfeld zwischen ungleichnamigen Polen
b) die Feldlinien werden durch den Eisenkörper gesammelt



a



b

Seine Form ist von der Gestalt des Magneten bestimmt. Legt man zwei ungleichnamige Pole einander gegenüber, so hat das Feld die in Abbildung 191/1a wiedergegebene Form. Bringt man nun einen Eisenkörper zwischen die beiden Pole, so ändert sich sehr stark der Verlauf des Feldes (Abb. 191/1b). 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. Bei den bisher durchgeführten Versuchen traten die beiden Pole immer gemeinsam auf. Um zu untersuchen, ob dies immer so ist, wird eine Stricknadel magnetisiert. Sie hat an dem einen Ende einen Nordpol und an dem anderen einen Südpol. Nun zerlegt man die Stricknadel im Bereich der indifferenten Zone in zwei gleich lange Teile und ermittelt mit Hilfe einer Magnetnadel die Pole. Dabei stellt man fest, daß beide Teile wieder 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. 191/1). Denkt man sich die Teilung immer weiter fortgesetzt, so erhält man schließlich sehr kleine, nicht weiter zerlegbare Magnete, aus denen der Körper besteht. Sie werden als *Elementarmagnete* bezeichnet. Die Vorstellung von den Elementarmagneten ist ein sehr vereinfachtes, aber praktisches Modell. Der Versuch zeigt, daß es nicht möglich ist, einen Nordpol von einem Südpol zu trennen. Die beiden Pole, die in ihren Eigenschaften entgegengesetzt sind, treten immer zusammen auf. Aber nicht nur die magnetischen Eisenstücke bestehen aus Elementarmagneten, sondern bereits jedes unmagnetische Eisenstück. In ihm sind die Elementarmagnete jedoch *ungeordnet* und liegen wirr durcheinander (Abb. 192/2). Wird dieses Eisenstück in ein Magnetfeld gebracht, ordnen sich die Elementarmagnete so, daß alle gleichnamigen Pole in die gleiche Richtung weisen. Der ganze Körper wirkt somit wie ein Magnet.

Abb. 192/1. Zerlegung einer magnetisierten Stricknadel. Jedes Teilstück ist ein vollständiger Magnet mit einem Nordpol und einem Südpol

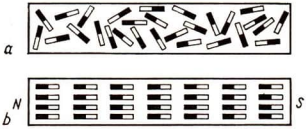


Abb. 192/2. Anordnung der Elementarmagnete
a) im unmagnetischen Eisen
b) im magnetischen Eisen

Eisenkörper bestehen aus Elementarmagneten. Im unmagnetischen Eisen sind die Elementarmagnete ungeordnet, im Magneten dagegen geordnet.

Ein Versuch soll dies veranschaulichen. Dazu wird ein Reagenzglas zum Teil mit Stahlspänen gefüllt und mit einem Korken verschlossen. Die Späne liegen alle wirr durcheinander; es sind keine magnetischen Wirkungen feststellbar. Bestreicht man es nun von außen mit einem kräftigen Magneten, so sieht man, wie sich die Stahlspäne alle in eine Richtung einstellen. Das mit den Stahlspänen gefüllte Reagenzglas ist zum Magneten geworden. Mit einer Magnetnadel kann man dies nachweisen. So wird zum Beispiel von dem einen Ende des Reagenzglases der Nordpol der Magnetnadel angezogen und der Südpol abgestoßen. Schüttelt man das Reagenzglas, so verliert es seine magnetische Wirkung; denn die Stahlspäne sind wieder ungeordnet.

Die Stahlspäne sind jedoch selbst noch nicht die Elementarmagnete. Diese sind noch kleiner. Die Stahlspäne zeigen aber ganz grob, was sich im Inneren der Eisenteile in ganz kleinen Größenordnungen abspielt.

Ein unmagnetisches Eisenstück kann man also dadurch magnetisieren, daß man *die Elementarmagnete ausrichtet*. Dazu führt man an ihm mehrfach das gleiche Ende eines Magneten entlang (Abb. 192/3). Benutzt man für diesen

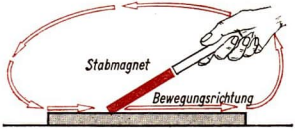


Abb. 192/3. Magnetisierung eines Eisenstabes

Versuch eine Stricknadel aus Stahl, so wirkt sie selbst als Magnet. Ein Schlüssel aus Weicheisen dagegen wird nach dem Magnetisieren sehr schnell wieder unmagnetisch. Für Dauermagnete eignet sich infolgedessen Weicheisen nicht. Sobald das Weicheisenstück wieder aus dem Magnetfeld herausgenommen wird, nehmen die Elementarmagnete sofort wieder ihre ungeordnete Lage ein. Sind jedoch in einem Stahlstück die Elementarmagnete einmal geordnet, so behalten sie diese Ordnung auch bei, wenn das Stahlstück aus dem Magnetfeld entfernt wird.

Stahl behält nach dem Magnetisieren den Magnetismus bei, Weicheisen dagegen verliert ihn fast völlig.

Damit Stahlmagnete ihre magnetische Wirkung behalten, müssen sie sorgfältig behandelt werden. Durch Stoß oder Schlag können die Elementarmagnete wieder aus ihrer Ordnung gebracht werden. Daher darf man Stahlmagnete *nicht fallenlassen*. Auch dürfen Magnete *nicht geglüht werden*, da sie dadurch ebenfalls ihren Magnetismus verlieren. Infolge der Erwärmung nimmt die Bewegung der Moleküle zu. Das hat zur Folge, daß die Elementarmagnete wieder in Unordnung geraten.

FRAGEN

1. Wie kann man das magnetische Feld im Raum untersuchen?
2. Was versteht man unter Elementarmagneten?
3. Wie kann man eine Stricknadel magnetisieren?

35. Die Erde als Magnet

1. Das Magnetfeld der Erde. Bei dem in Abbildung 188/3 dargestellten Versuch stellte sich der Magnet immer in eine bestimmte Richtung, die Nord-Süd-Richtung, ein. Da diese Erscheinung an anderen Stellen der Erde die gleiche ist, muß die Erde offenbar einen ganz bestimmten Einfluß auf den Magneten ausüben. Versuche haben ergeben, daß *die Erde selbst wie ein Magnet wirkt* und von einem magnetischen Feld umgeben ist (Abb. 193/1). Da die nach Norden zeigende Spitze der Magnetnadel als Nordpol bezeichnet wird und sich ungleichnamige Pole 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 1904 in Nordamerika auf etwa 71° nördlicher Breite und 96° westlicher Länge. Im Jahre 1950 dagegen befand er sich auf etwa 73° nördlicher Breite und 100° westlicher Länge. Die Ursachen des Erdmagnetismus sind noch nicht in allen

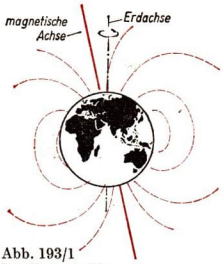


Abb. 193/1
Die Erde als Magnet

Einzelheiten erforscht. Die Versuche der sowjetischen Wissenschaftler mit Hilfe der Sputniks haben aber gezeigt, daß der Magnetismus keine Eigenschaft aller Himmelskörper ist; denn der Mond ist beispielsweise nicht von einem Magnetfeld umgeben.

Die Erde wirkt wie 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 stets 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 beeinflußt wird und darum falsch anzeigt.

Die Erfindung des Kompasses war für die Entwicklung der Seefahrt von größter Bedeutung. Nur hierdurch hatte man bei bewölktem Himmel einen sicheren Wegweiser auf dem freien Meer. Eine Orientierung auf See war ohne Kompaß nur sehr schwer möglich. Man richtete sich nach der Sonne und nach den Sternen, soweit das Wetter dies gestattet, oder ließ Vögel auffliegen, um zu sehen, in welcher Richtung Land sei. Später lernte man, sich auch durch die Strömungen des Meeres und der Winde zu orientieren.

Zuerst kannte man den Kompaß in China. Er hieß dort Shinan, der Südweiser. Sowohl bei ihren Landreisen als auch bei den Seefahrten haben sich die Chinesen des Kompasses bedient. Er bestand bei ihnen aus einem magnetischen Metallstück, das man auf einer Holzplatte auf Wasser schwimmen ließ.

Zur Orientierung in unbekanntem Gelände benutzt man heute den *Marschkompaß*. Er enthält außer der Magnetnadel eine *Teilringscheibe* mit Stricheinteilung und eine *Visiereinrichtung* (Abb. 194/1). 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.

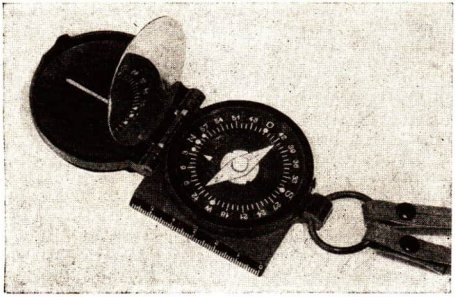
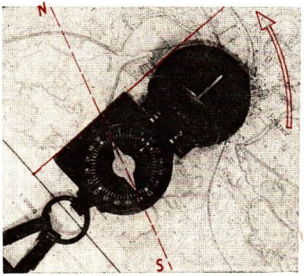


Abb. 194/1. Marschkompaß. Beim Visieren kann man die Stellung der Magnetnadel im Spiegel beobachten.

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 den Kartenrand! Drehe die Karte so weit, bis die Magnetnadel auf die Nord- und Südmarkierung des Kompasses einspielt (Abb. 195/1)! Die Karte ist jetzt eingenordet.



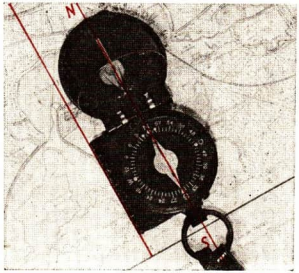


Abb. 195/1. Einnorden der Karte

b) Übertragen einer im Gelände beobachteten Richtung auf die Karte:

Visiere mit Hilfe des Marschkompasses einen bestimmten Geländepunkt an! Drehe die Teilringscheibe so, daß die Marschrichtungszahl 0 unter dem Nordpol der Magnetnadel liegt! 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- und Südmarkierungen des Kompasses einspielt! Du erhälst 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!

Bei *Schiffskompassen* ist die Teilringscheibe (Kompaßrose) drehbar gelagert und wird durch unter ihr befestigte Stabmagnete in der Nord-Süd-Richtung gehalten (Abb. 196/1.) Da die magnetischen Pole nicht mit den geographischen Polen übereinstimmen, zeigt die Magnetnadel nicht nach den geographischen Polen. Die 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

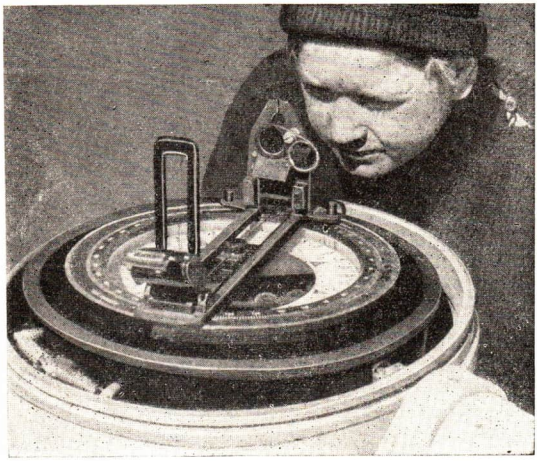


Abb. 196/1. Schiffskompaß, hergestellt im VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow

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.

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Baue nach Abbildung 196/2 einen behelfsmäßigen Kompaß! Man benötigt dazu eine magnetisierte Stricknadel, ein kleines Fläschen mit Korken, eine Nadel, einen Pappstreifen und einen Druckknopf.
2. Warum darf bei der Benutzung eines Kompasses kein Eisen in seiner Nähe sein?
3. Warum ist der beim geographischen Nordpol befindliche magnetische Pol ein Südpol?
4. Führe mit dem Marschkompaß die drei Grundaufgaben durch! Erkläre dabei deine Tätigkeit!

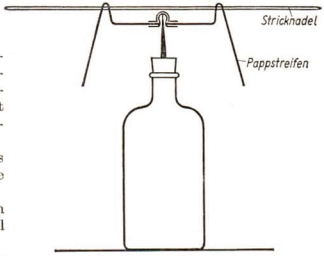


Abb. 196/2. Behelfsmäßiger Kompaß aus einer magnetisierten Stricknadel

36. Die Magnetfelder stromdurchflossener Leiter

1. Das Magnetfeld um einen geraden stromdurchflossenen Leiter. In Abbildung 109/2 ist ein *Lasthebemagnet* dargestellt, wie er in Industriebetrieben zum Heben von Schienen, von Eisenbarren, von Eisenschrott usw. verwendet wird. Bei diesem Gerät wird die magnetische Wirkung des elektrischen Stromes ausgenutzt. Offenbar

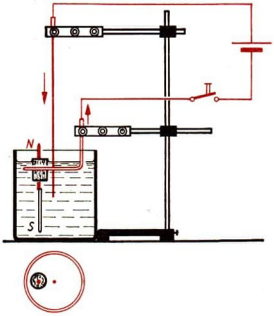


Abb. 197/1. Versuch zum Nachweis des Magnetfeldes um einen geraden stromdurchflossenen Leiter

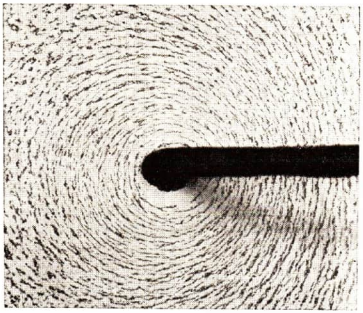


Abb. 197/2. Magnetische Feldlinien um einen geraden stromdurchflossenen Leiter

hat der elektrische Strom die gleichen Wirkungen, wie sie die bereits beschriebenen Magneten aufweisen.

Zur näheren Untersuchung der magnetischen Wirkungen wird der in Abbildung 197/1 dargestellte Versuch durchgeführt. Beim Einschalten des Stromes beginnt die Stricknadel innerhalb des Drahtringes um den geraden Leiter zu kreisen. Kehrt man die Stromrichtung um, so schwimmt die Nadel in entgegengesetzter Richtung. Daraus folgt, daß von dem stromdurchflossenen Leiter eine magnetische Kraft auf die magnetische Stricknadel ausgeübt wird. *Ein stromdurchflossener Leiter ist somit von einem Magnetfeld umgeben.*

Das Feldlinienbild kann wie beim Dauermagneten mit Hilfe von Eisenfeilspänen oder kleinen Magnetnadeln sichtbar gemacht werden. Wird das Feld eines geraden Leiters untersucht, so erhält man *konzentrische Kreise* (Abb. 197/2). Veranschaulicht man auch das Feld in anderen Ebenen, so ergibt sich an jeder Stelle des Leiters das gleiche Bild (Abb. 197/3). Wie der Versuch mit der schwimmenden Magnetnadel zeigt,

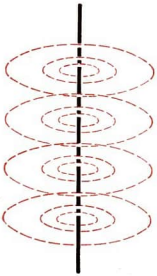
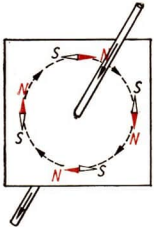


Abb. 197/3. Schematische Darstellung des Magnetfeldes eines stromdurchflossenen Leiters



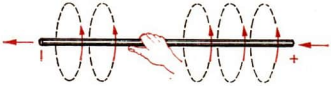


Abb. 198/2 (oben). Rechte-Faust-Regel für einen geraden stromdurchflossenen Leiter
Abb. 198/1 (links). Verhalten einer Magnetnadel im Magnetfeld eines Leiters. Die Magnetnadel zeigt die Richtung der Feldlinien an.

haben auch die Feldlinien eines stromdurchflossenen Leiters eine bestimmte Richtung, die mit Hilfe der elektrischen Stromrichtung bestimmt werden kann. Sie kann mit Hilfe kleiner, leicht drehbarer Magnetnadeln (Abb. 198/1) nachgewiesen und mittels der **Rechten-Faust-Regel** (Abb. 198/2) bestimmt werden:

Umschließt man mit der rechten Faust einen Leiter so, daß der abgespreizte Daumen in die elektrische Stromrichtung zeigt, so zeigen die gekrümmten Finger die Richtung der magnetischen Feldlinien an, die den Leiter umgeben.

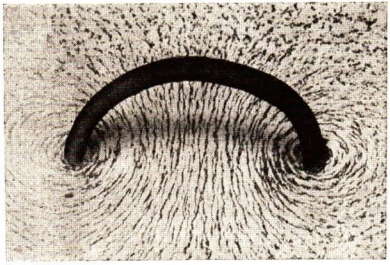
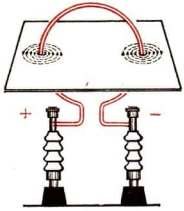
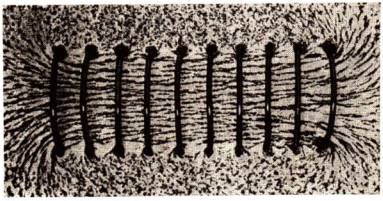


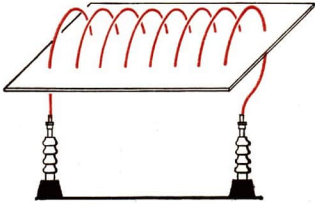
Abb. 198/3. Magnetfeld einer Leiterschleife und einer stromdurchflossenen Spule



a *b*

c *d*





2. Das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule. Bisher wurde nur der geradlinige Leiter untersucht. Wie ändert sich nun das Magnetfeld, wenn man den Leiter zu einer Schleife biegt? Die Abbildung 198/3b zeigt die zur Untersuchung erforderliche Versuchsanordnung. In der Abbildung 198/3a ist das Feldlinienbild als Ergebnis des Versuches wiedergegeben. Es zeigt, daß sich *die magnetischen Feldlinien an keiner Stelle überschneiden*. Mit Hilfe einer Magnetnadel kann außerdem festgestellt werden, daß die eine Seite der *Leiterschleife* wie ein magnetischer Nordpol und die andere Seite wie ein magnetischer Südpol wirkt. Man bringt neben die eine Leiterschleife weitere, die man hintereinanderschaltet, so daß sie alle in der gleichen Richtung vom Strom durchflossen werden (Abb. 198/3d). Auf diese Weise erhält man eine *Spule*. Ihr Magnetfeld ähnelt sehr stark dem eines Stabmagneten (Abb. 198/3c). Die Feldlinien quellen aus dem einen Spulenende hervor, führen im Boden 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 Anfang noch Ende. Ähnliche Feldlinienbilder erhält man auch bei Spulen mit höheren Windungszahlen (Abb. 199/1).

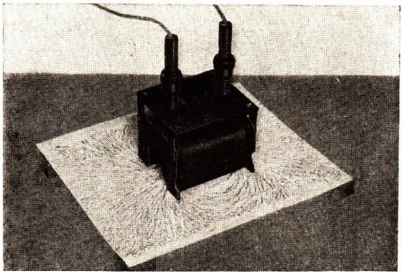


Abb. 199/1. Magnetfeld einer Kastenspule

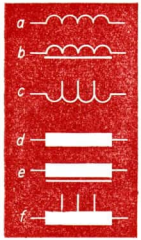


Abb. 199/2. Schaltzeichen für Spulen
a) und d) allgemein,
b) und e) mit Eisenkern,
c) und f) mit Anzapfungen

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 der Spule 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 Spulenenden vertauscht. Daraus folgt, daß die Richtung des Magnetfeldes einer Spule von der elektrischen Stromrichtung abhängig ist.

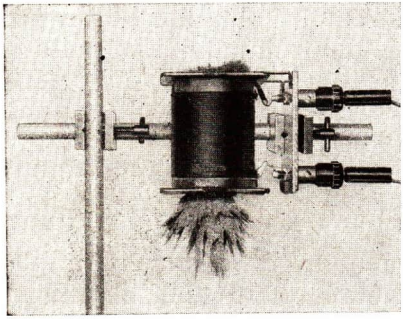


Abb. 202/2 (oben). Rechte-Faust-Regel für eine stromdurchflossene Spule
Abb. 200/1 (links). Büschel von Eisenfeilspänen an einer stromdurchflossenen Spule

Auch für den Zusammenhang zwischen elektrischer Stromrichtung und Richtung des Magnetfeldes gibt es eine **Rechte-Faust-Regel** (Abb. 200/2):

Umschließen die gekrümmten Finger der rechten Faust die Spule so, daß sie in die elektrische Stromrichtung in den Windungen zeigen, so weist der abgespreizte Daumen nach demjenigen Ende der Spule, an dem der Nordpol liegt.

Legt man dieser Regel die Richtung des Elektronenstroms (von − nach +) zugrunde, so gilt sie sinngemäß für die linke Hand. Das gilt auch für die Regel auf S. 198 oben.
Auch das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule ist, wie das eines Dauermagneten, nicht auf eine Ebene beschränkt. Die in Abbildung 200/1 an der Spule hängenden Eisenfeilspäne lassen deutlich erkennen, wie die Feldlinien nach allen Seiten räumlich auseinanderlaufen.

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Vergleiche das Feld eines Stabmagneten mit dem Feld einer stromdurchflossenen Spule! Fertige dazu eine Zeichnung an!
2. Vergleiche die beiden Fotografien in Abbildung 198/3 miteinander! Wie kann man sich die Entstehung des Magnetfeldes einer Spule erklären?

37. Der Elektromagnet

1. Die magnetische Wirkung einer stromdurchflossenen Spule. *Permanente Magnete* haben den Nachteil, daß man die magnetische Wirkung in ihrer Stärke nicht verändern kann. Anders ist es dagegen bei *Elektromagneten*. Es soll nun untersucht werden, von welchen Größen die Stärke des Magnetfeldes abhängig ist, da man dies für die Konstruktion und die Anwendung der Elektromagnete wissen muß.
Über einer Spule hängt an einer Federwaage ein Eisenstück (Abb. 201/1). Schließt man den Stromkreis, so wird das Eisenstück in die Spule hineingezogen. Die Kraft-

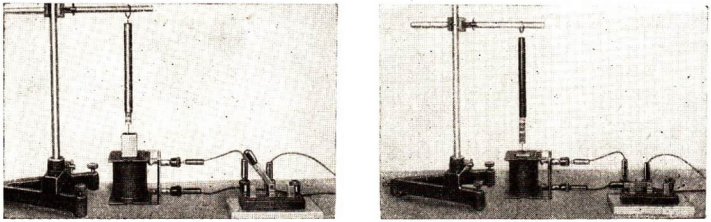


Abb. 201/1. Der über der Spule hängende Eisenkörper wird beim Schließen des Stromkreises in das Innere der Spule gezogen.

wirkung 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 (Abb. 201/2).

Die magnetische Wirkung einer Spule wächst mit zunehmender Windungszahl.

Außerdem hängt die magnetische Kraft bei sonst gleichen Bedingungen von der Länge der Spule ab. Die Kraft ist bei gleicher Windungszahl um so größer, je kürzer die Spule ist (Abb. 201/2b).

Die magnetische Wirkung einer Spule ist bei sonst gleichen Bedingungen um so größer, je kürzer die Spule ist.

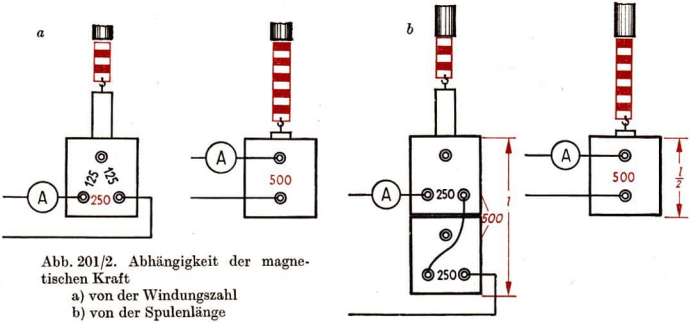


Abb. 201/2. Abhängigkeit der magnetischen Kraft
a) von der Windungszahl
b) von der Spulenlänge

Faßt man die Ergebnisse zusammen, so ergibt sich:

Die magnetische Wirkung einer stromdurchflossenen Spule wächst im gleichen Verhältnis wie die Stromstärke und die Windungszahl, im umgekehrten Verhältnis wie die Länge der Spule.

2. Die Verstärkung der magnetischen Wirkung einer Spule mit Hilfe eines Eisenkernes. Es ist bereits bekannt, daß Eisenkörper in einem Magnetfeld selbst zu Magneten werden. Daher ist es einmal interessant zu untersuchen, welchen Einfluß ein Eisenkern auf eine Spule hat.

Senkrecht zu einer in die Nord-Süd-Richtung eingespielten Magnetnadel wird eine Spule aufgestellt (Abb. 202/1a). Legt man an die Spule eine Gleichspannung, so wird die Magnetnadel um einen bestimmten Winkel abgelenkt (Abb. 202/1b). Steckt man nun einen Weicheisenkern in die Spule, ohne die Stromstärke zu verändern, so wird die Magnetnadel um einen wesentlich größeren Winkel abgelenkt (Abb. 202/1c).

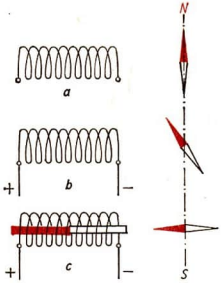


Abb. 202/1. Die Ablenkung einer Magnetnadel im Magnetfeld einer Spule
a) stromlose Spule
b) stromdurchflossene Spule ohne Eisenkern
c) stromdurchflossene Spule mit Eisenkern

Auch der folgende Versuch zeigt deutlich, daß *ein Eisenkern die Wirkung einer Spule verstärkt.* 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 Stromstärke den Schlüssel und auch wesentlich schwerere Eisenstücke tragen (Abb. 202/2).

Die magnetische Wirkung einer Spule wird durch einen Eisenkern verstärkt.

Diese Beobachtung läßt sich wie folgt erklären: Die Kraft eines Magneten ist bekanntlich um so größer, je dichter die Feldlinien zusammenliegen. Da nun bei Vorhandensein von Eisen die Feldlinien zum größten Teil durch das Eisen verlaufen und dabei eng zusammengebündelt sind, ist die magnetische Wirkung einer Spule mit Eisenkern wesentlich größer als die einer Spule ohne Eisenkern.

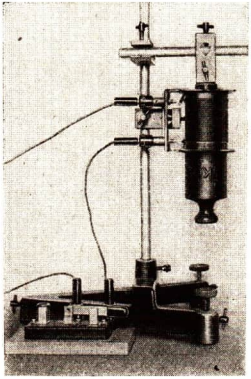


Abb. 202/2. Eine Spule mit Weicheisenkern trägt ein 1-kg-Stück. Angelegte Spannung 2 V

3. Der Elektromagnet. Aus den Gesetzmäßigkeiten über die magnetische Wirkung einer stromdurchflossenen Spule ergibt sich der Aufbau eines Elektromagneten. Er besitzt im Gegensatz zu den Stahlmagneten die Eigenschaft, nur während der Dauer des Stromflusses magnetisch zu sein und beim Öffnen des Stromkreises die magnetische Wirkung zu verlieren. Erst diese Eigenschaft verleiht den Elektromagneten ihre große Bedeutung. Man kann so mit ihnen nach Belieben Kräfte wirksam und wieder unwirksam werden lassen. Als Eisenkerne für Elektromagnete kommen solche aus Weicheisen in Frage; denn nur dieses verliert im Gegensatz zu Stahl seinen Magnetismus wieder, sobald das Magnetfeld der Spule zusammenbricht.

Ein Elektromagnet besteht aus einer Spule und einem Weicheisenkern. Der Kern wirkt so lange als Magnet, wie die Spule vom Strom durchflossen wird.

Soll die magnetische Wirkung sehr groß werden, so muß man dafür sorgen, daß möglichst alle Feldlinien längs ihres ganzen Weges im Eisen verlaufen. Deshalb verwendet man hufeisenförmige Elektromagnete, deren Pol durch Eisenstücke, *Anker* genannt, überbrückt sind. Dadurch verlaufen die meisten 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.
Eine sehr große magnetische Wirkung erreicht man mit Magneten, deren Eisenkern *topfförmig* gestaltet ist. Die Abbildung 203/1 zeigt den Schnitt durch einen solchen Topfmagneten. Der Eisenkern wird bei diesem Magneten durch einen besonderen Anker geschlossen. Dadurch verlaufen die Feldlinien ihrer ganzen Länge nach im Eisen. Ein faustgroßer Elektromagnet dieser Art kann bei geringer elektrischer Leistung Körper mit einem Gewicht bis zu 100 kp tragen. Bei dem in Abbildung 109/2 dargestellten Magneten bildet die Last selbst den Anker.

4. Die Anwendung der Elektromagnete. In unseren großen Stahlwerken sind vielfach Kräne eingesetzt, die an Stelle des Greifers einen großen *Topfmagneten* haben (vgl. Abb. 109/2). 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.
Elektromagneten werden häufig als Bestandteil verschiedenartiger Geräte verwendet, die von einer anderen Stelle aus betätigt werden sollen. 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. 204/1). Wird der Strom-

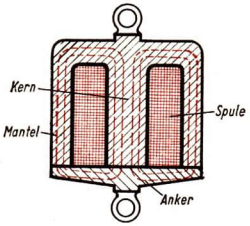


Abb. 203/1. Querschnitt durch einen Elektromagneten mit topfförmigem Eisenkern und Anker. Die Last hängt an einem Haken, der am Anker befestigt ist.

Abb. 203/2. Schaltzeichen eines Lasthebemagneten

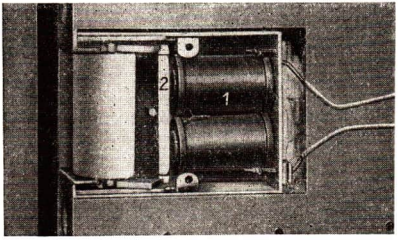


Abb. 204/1
Elektrischer Türöffner
1 Elektromagnet;
2 Sperrvorrichtung

Abb. 204/2. Schaltzeichen für ein Relais

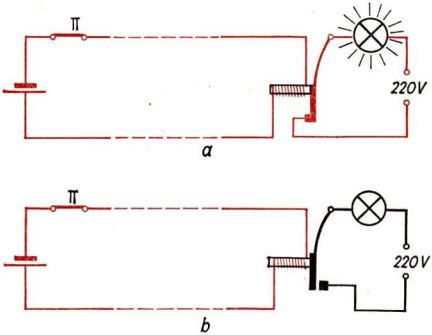


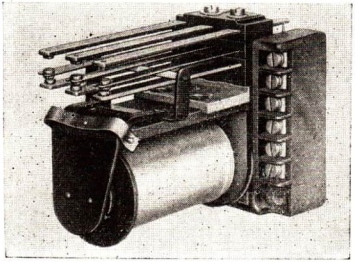
Abb. 204/3. Prinzip des Relais
a) Arbeitsstromschaltung b) Ruhestromschaltung

kreis geöffnet, so federt die Sperre wieder zurück.

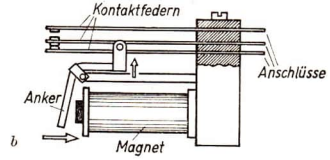
Bei vielen Produktionsprozessen werden elektrische Vorgänge von einem Überwachungsraum aus geschaltet. Soll beispielsweise der Motor einer Fernschreibanlage aus größerer Entfernung in Betrieb gesetzt werden, so würde der Strom durch den Widerstand der langen Leitungsdrähte so stark geschwächt werden, daß er nicht mehr zum Betrieb der Anlage ausreichen würde. In solchen Fällen wird in den Stromkreis ein *Relais* (Abb. 204/2) eingebaut. Es besteht aus einem Elektromagneten und einem federnden Anker. Fließt durch die Spulen des Elektromagneten ein Strom, so wird der Anker angezogen. Dadurch wird der zweite Stromkreis ein- oder ausgeschaltet. Das Relais ist heute eines der wichtigsten Bauelemente in der Elektrotechnik. Deshalb ist es notwendig, die Wirkungsweise genau zu kennen. Es bestehen zwei verschiedene Schaltmöglichkeiten:

a) In der *Arbeitsstromschaltung* (Abb. 204/3a) zieht der Magnet den Anker an und schließt den örtlichen Stromkreis, solange der Fernstromkreis geschlossen ist.
b) In der *Ruhestromschaltung* (Abb. 204/3b) wird der Anker dauernd angezogen. Dadurch ist der örtliche Stromkreis geöffnet. Wird nun der Fernstromkreis unterbrochen, so schließt der zurückfedernde Anker den Stromkreis. Diese Schaltung wird bei Sicherungsanlagen häufig verwendet. So kann zum Beispiel bei einer Unterbrechung des Fernstromkreises automatisch Alarm ausgelöst werden.

Abb. 205/1. Relais
a) Ansicht
b) schematische Darstellung



a



b

Für viele Zwecke werden Relais verwendet, die mehrere Schaltkontakte besitzen (Abb. 205/1). 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; denn nur mit ihrer Hilfe ist es möglich, viele Stromkreise zentral zu schalten.

In der vom volkseigenen Betrieb Carl Zeiss, Jena, gebauten Rechenmaschine „Oprema", die besonders für komplizierte und langwierige Rechnungen auf dem Gebiet der Optik eingesetzt wird, sind beispielsweise 83000 Relais eingebaut.

Auch zum Befestigen von Werkstücken in Maschinen der Metallbearbeitung werden Magnete verwendet. So werden bei Flächenschleifmaschinen die Werkstücke *elektromagnetisch gehalten* (Abb. 205/2).

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. 206/1). Im Innern dieser Trommel befindet sich ein feststehender Elektromagnet. Infolge der magnetischen Wirkung werden die Erzteilchen ein Stück mitgenommen

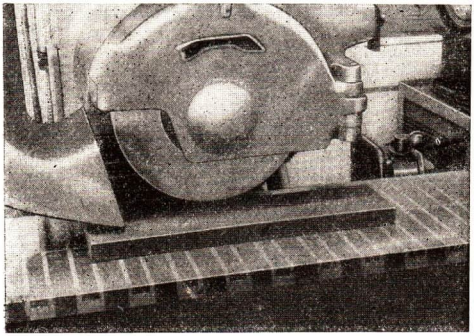
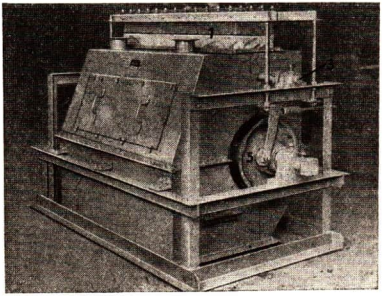


Abb. 205/2
Werkzeugmaschine mit magnetischer Haltevorrichtung



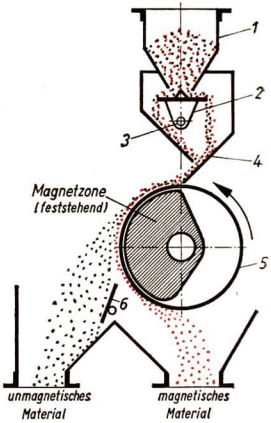


Abb. 206/1. Magnetscheider

a) Ansicht

b) schematische Darstellung der Wirkungsweise

1 Aufgabetrichter; *2* Rütteltisch; *3* Achse; *4* Aufgaberutsche; *5* Elektromagnettrommel; *6* Abfangblech

a

b

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 rauhen Unkrautsamen hängen, jedoch nicht an den glatten Saatkörnchen des Klees. Nun läßt man alles über eine sich drehende Trommel laufen, in der sich ein Elektromagnet befindet. Dabei werden die mit Stahlstaub behafteten Unkrautsamen angezogen, während die Körnchen der Kleesaat über den Zylinder hinweg in einen Sammelbehälter fallen. Man gewinnt auf diese Weise ein Saatgut, das nahezu frei von Unkrautsamen ist.

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Wovon ist die magnetische Kraftwirkung einer Spule abhängig?
2. Welche Vorteile hat ein Elektromagnet gegenüber einem Dauermagneten?
3. Warum ist die Tragfähigkeit von Topfmagneten besonders groß?
4. Welche Aufgaben haben Relais? Erläutere die beiden Schaltungsarten!
5. Beschreibe technische Anwendungen des Elektromagneten!

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. Die Anzahl und die Länge der zu übermittelnden Nachrichten nahmen ständig zu. Auch kam es darauf an, diese Nachrichten in möglichst kurzer Zeit an den Empfänger durchzugeben. Die Grundlagen zur elektrischen Nachrichtenübermittlung schufen die Göttinger Professoren FRIEDRICH GAUSS und WILHELM WEBER im Jahre 1833. Praktische Bedeutung erlangte erst der von dem Amerikaner SAMUEL MORSE im Jahre 1837 konstruierte *elektromagnetische Schreibtafeltelegraf*.

In der Abbildung 207/1 ist das Modell eines *Morsetelegrafen* wiedergegeben. Ein Elektromagnet ist über einen Schalter, die *Morsetaste*, an eine Gleichspannungsquelle angeschlossen. Drückt man auf die Taste, so wird der Stromkreis geschlossen, und der Elektromagnet zieht die Blattfeder mit der Schreibspitze an. Auf dem sich langsam bewegenden 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. 209). Die Wirkungsweise des Morsetelegrafen ist aus der in der Abbildung 207/2 wiedergegebenen Schaltskizze ersichtlich.

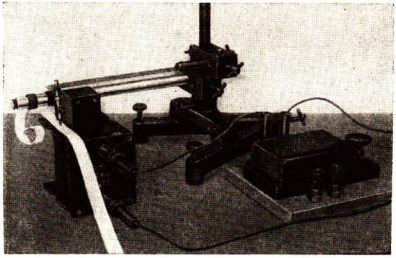


Abb. 207/1. Modell eines Morsetelegrafen

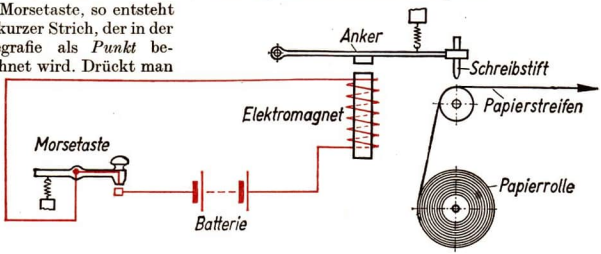


Abb. 207/2. Schaltskizze eines Morsetelegrafen

Mit Hilfe eines Morsetelegrafen werden kurze und lange Stromstöße übertragen und als Punkte beziehungsweise Striche aufgezeichnet.

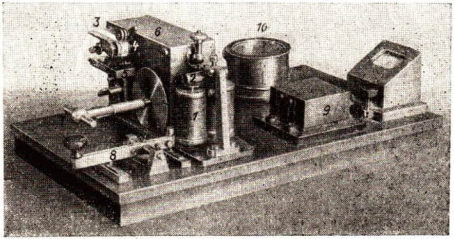


Abb. 208/1. Morsestation der Deutschen Reichsbahn
1 Elektromagnet; *2* Anker (Traghebel nicht sichtbar); *3* Papierstreifen; *4* Transportrolle; *5* Schreibrad; *6* Gehäuse mit Uhrwerk zum Bandtransport; *7* Handgriff zum Aufziehen des Uhrwerkes; *8* Morsetaste; *9* Relais; *10* Blitzschutz

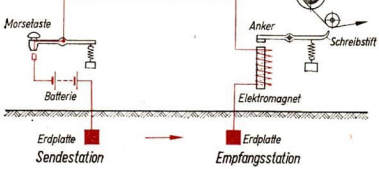


Abb. 208/2. Anlage einer Telegrafenverbindung mit Erdleitung

Bei der technischen Ausführung des Morsetelegrafen wird an Stelle der Blattfeder ein Hebel verwendet, der nach dem Öffnen des Stromkreises durch eine Feder wieder in die Ausgangsstellung zurückgezogen wird. 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 an dem Schreibrad vorbeigezogen wird. In der Abbildung 208/1 ist eine Morsestation wiedergegeben, wie sie auch heute noch bei der Deutschen Reichsbahn benutzt wird. Sämtliche Meldungen über den Zugverkehr müssen mit Hilfe des Morseapparates durchgegeben werden, damit sie festgehalten und jederzeit nachgelesen werden können.

Im Jahre 1837 entdeckte Karl August Steinheil, daß man bei der Anlage von Telegrafenleitungen an Stelle des einen Drahtes die Erde verwenden kann. Daher werden die Leitungen der Morsetelegrafen häufig nur eindrähtig verlegt. Sowohl die Sende- als auch die Empfangsstation wird durch je eine Erdplatte an das feuchte Erdreich angeschlossen. Die Abbildung 208/2 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 ebenfalls eine Spannungsquelle befindet.

2. Das Morsealphabet. Samuel Morse erfand nicht nur den Telegrafen, sondern stellte auch das nach ihm benannte internationale *Morsealphabet* auf. Es setzt sich aus Punkten und Strichen zusammen.

a	·–	j	·–––	s	···	0	–––––
ä	·–·–	k	–·–	t	–	1	·–––––
b	–···	l	·–··	u	··–	2	··–––
c	–·–·	m	––	ü	··––	3	···–––
d	–··	n	–·	v	···–	4	····–
e	·	o	–––	w	·––	5	·····
f	··–·	ö	–––·	x	–··–	6	–····
g	––·	p	·––·	y	–·––	7	––···
h	····	q	––·–	z	––··	8	–––··
i	··	r	·–·	ch	––––	9	––––·

Punkt	·–·–·–
Doppelpunkt	–––···
Bindestrich	–····–
Klammer ()	–·––·–
Bruchstrich	–··–·
Fragezeichen	··––··
Komma	––··––
Irrung	··· ··· ··
Anfangszeichen	–·––·
Schlußzeichen	·–·–·

Internationaler Notruf: SOS ···–––···

3. Der Fernschreiber. Der 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.

Seit einigen Jahren besteht im Bereich der Deutschen Demokratischen Republik sowie über das zuständige Auslandsamt auch im Internationalen Fernschreibverkehr die Möglichkeit, den Fernschreibteilnehmer selbständig anzuwählen. Der öffentliche Fernschreibverkehr wird als *Telex-Betrieb* bezeichnet.

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Beschreibe den Aufbau eines Telegrafen!
2. Wie könnte man unter Verwendung eines Relais, zweier Spannungsquellen, eines Schalters, einer Lampe und Leitungsmaterial Nachrichten übermitteln?
3. Baue ein Übungsgerät mit Summer und Blinklicht!

Bauanleitung:

Das Übungsgerät besteht aus vier Teilen:
1. Geber (Morsetaste),
2. Empfänger (Summer und Glühlampe),
3. Spannungsquelle (Transformator oder Batterie),
4. Fernleitung.

Auf einer Hartholzplatte (80 mm × 40 mm × 100 mm) wird ein kleiner Lagerbock aus Eisen- oder Aluminiumblech befestigt, der 15 mm von seiner unteren Auflagefläche entfernt mit einer etwa 4 mm großen Bohrung zur Aufnahme des Lagerstiftes versehen wird (Abb. 209/1). Der Tasthebel besteht aus einem Stück Hartholz (110 mm × 20 mm × 10 mm). Er erhält 45 mm von seinem hinteren Ende eine Bohrung von 4 mm zur Aufnahme des Lagerstiftes. 40 mm vom vorderen Ende entfernt wird an der Unterseite die winklig gebogene Kontaktplatte mit dem Morsekontakt befestigt. Genau darunterliegend kommt die Befestigungsschraube der unteren

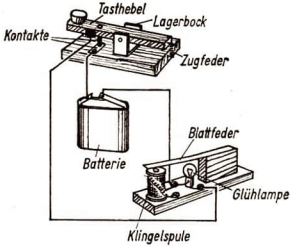


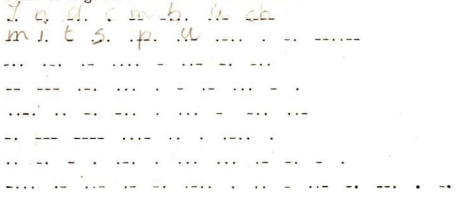
Abb. 209/1. Übungsmorsegerät

Kontaktplatte auf die Grundplatte. Die hinteren Stirnseiten des Hebels und der Grundplatte sind durch eine kleine Zugfeder (oder durch Gummi) zu verbinden, die nach dem Drücken der Taste ein selbständiges Lösen der Kontakte voneinander bewirkt. 15 mm von seinem hinteren Ende erhält der Hebel an seiner Unterseite einen Anschlag, der den Kontaktweg begrenzt. Die Vorderseite des Hebels erhält noch einen Knopf für den tastenden Finger.

Als Empfänger benutzen wir eine kleine Glühlampe beziehungsweise einen Summer. Beide werden auf einer Grundplatte von 100 mm × 40 mm × 10 mm Größe befestigt. Eine alte Klingelspule dient als Summerspule. Auf einer Seite der Grundplatte wird ein Federblock 30 mm × 15 mm mit einer Höhe, die etwa 1 mm mehr beträgt als der Kern der Summerspule hoch ist, aufgesetzt. Darauf befestigen wir ein Stück Blattfeder (eventuell ein Stück einer alten Uhrfeder benutzen!). Zwischen Blattfeder und Spulenkern muß ein Abstand von ungefähr 1 mm vorhanden sein. Die Glühlampe wird zwischen Summerspule und Federblock montiert.

Bei der Benutzung des Summers empfiehlt sich als Spannungsquelle ein Klingeltransformator, dessen 5-V- oder 8-V-Anzapfung benutzt wird. Arbeitet man mit der Glühlampe als Empfänger, dann genügt als Spannungsquelle schon eine Taschenlampen-Flachbatterie.

4. Schreibe folgenden Text in Buchstabenschrift:

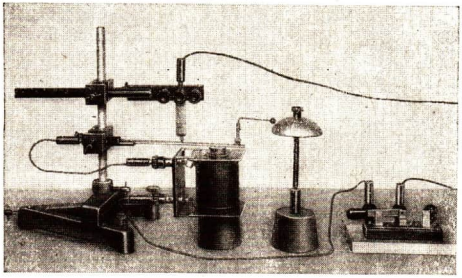


39. Die elektrische Klingel

1. Die Wirkungsweise der elektrischen Klingel. Ändert man die in Abbildung 207/2 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. Dieses Verfahren ist aber zu umständlich. Jede *elektrische Klingel* (Abb. 210/1) ist daher mit einer Vorrichtung versehen, durch die der Stromkreis selbständig unterbrochen und geschlossen wird (Abb. 211/1). Der elektrische Strom wird dem Elektromagneten über eine Kontaktschraube zugeführt, die den Anker berührt. Aus der Abbildung 211/2a ist zu ersehen, daß bei geöffnetem Stromkreis der Anker die Kontaktschraube berührt. Sobald der Stromkreis geschlossen wird, zieht der Elektromagnet den

Abb. 210/1
Schaltzeichen eines Weckers (Klingel),
a) allgemein
b) Gleichstromwecker,
c) Wechselstromwecker

Abb. 211/1
Modell einer elektrischen Klingel



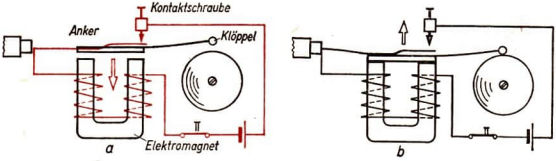


Abb. 211/2. Wagnerscher Hammer
a) Kontaktgabe, b) Stromunterbrechung

Anker an. Dadurch wird aber der Stromkreis zwischen der Kontaktschraube und dem Anker sofort wieder unterbrochen (Abb. 211/2b). Der Elektromagnet wird wieder unwirksam. Infolgedessen federt der Anker in seine ursprüngliche Lage zurück und schließt den Stromkreis von neuem. Kontakt und Unterbrechung 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 ihr Ende, wenn der Schalter geöffnet wird. Für Klingelanlagen verwendet man als Schalter meist einen *Klingelknopf* (Abb. 211/3). Er gibt nur während des Drückens Kontakt. In der Abbildung 212/1 ist eine geöffnete elektrische Klingel moderner Bauart wiedergegeben. Versagt 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 Oxidschicht überzogen sind. Durch

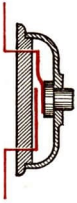


Abb. 211/3
Schnittzeichnung eines Klingelknopfes

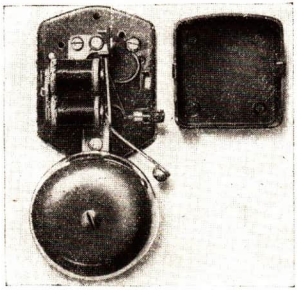


Abb. 212/1. Elektrische Klingel. Der Gehäusedeckel ist abgenommen

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.

Abb. 212/2. Schaltzeichen eines Summers

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* (Abb. 212/2).

Mitunter ist an den Klingeln in den Wohnungen, die über einen Klingeltransformator an das Netz angeschlossen sind, kein Unterbrecher zu finden. Wird nämlich eine Klingel nur mit Wechselstrom betrieben, so erübrigt sich an ihr der Wagnersche Hammer. Durch den dauernden Richtungswechsel des Stromes baut sich das Magnetfeld der Spule dauernd auf und ab. Die Anziehungskraft auf den Anker wird also in rhythmischer Folge stärker und schwächer, wodurch die Feder bereits in die gewünschten Schwingungen gerät.

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Beschreibe an einer Schaltskizze die Wirkungsweise des Wagnerschen Hammers!
2. Was versteht man unter einem Summer?
3. Untersuche eine elektrische Klingel auf die Vollständigkeit der in der Schaltskizze angegebenen Teile!
4. Welche Fehler können bei einer elektrischen Klingel auftreten, und wie kann man sie beheben?

40. Das Telefon

1. Die Entwicklung und der Aufbau des Telefons. Die Nachrichtenübermittlung mit Hilfe von Morsezeichen, die auch heute noch eine wichtige Rolle spielt, hat aber den Nachteil, daß die Kenntnis des Morsealphabets erforderlich ist. Man suchte daher nach einer Möglichkeit, die Sprache unmittelbar zu übertragen.

Die grundsätzlichen Bestandteile des *Telefons* wurden von dem Lehrer PHILLIPP REIS erfunden. Er gab die Ergebnisse seiner Erfindung 1861 in einem Vortrag bekannt. Mit seinem Telefon konnten aber nur Töne und Melodien übertragen werden. Daher

Abb. 213/1. Telefonapparat
Der abnehmbare Handapparat enthält das Mikrofon und das Telefon

erlangte seine Erfindung keine praktische Bedeutung. Dies gelang erst dem Amerikaner GRAHAM BELL, der das Telefon so weit entwickelte, daß es zur Übertragung von Sprache und Musik eingesetzt werden konnte.

Die ersten *Fernsprecher* gibt es seit dem Jahre 1876. Diese Apparate bestanden nur aus einem *Fernhörer*, der sowohl zum Sprechen als auch zum Hören diente. Seit 1887 benutzte man das *Mikrofon*. Man schuf damit getrennte Geräte zum Sprechen und zum Hören. In Deutschland begann die Entwicklung des Fernsprechwesens im Jahre 1881 mit der Einrichtung der ersten Fernsprechvermittlung in Berlin. 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. 213/1).

Abb. 213/2. Schaltzeichen eines Mikrofons

2. Das Mikrofon. Die Wirkungsweise des Mikrofons (Abb. 213/2) kann mit der in Abbildung 213/3 wiedergegebenen Versuchsanordnung veranschaulicht werden. Das in den Stromkreis geschaltete Glühlämpchen leuchtet zunächst nur sehr schwach. Daraus folgt, daß nur ein schwacher Strom fließt. Drückt man aber 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.

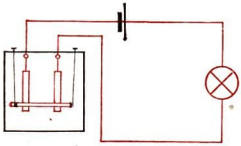


Abb. 213/3. Modell zur Wirkungsweise des Mikrofons.
Das Glühlämpchen leuchtet hell, wenn das waagerechte Kohlestäbchen fest gegen die beiden lotrechten gedrückt wird.

Ersetzt man das Lämpchen durch einen Kopfhörer und hält den Holzrahmen gegen eine schwingende Stimmgabel oder eine tickende Uhr, so hört man deutlich den Ton beziehungsweise das Ticken im Hörer (Abb. 214/1). Die Schwingungen der Stimmgabel werden auf den Holzrahmen übertragen, wodurch die Kohlestäbchen

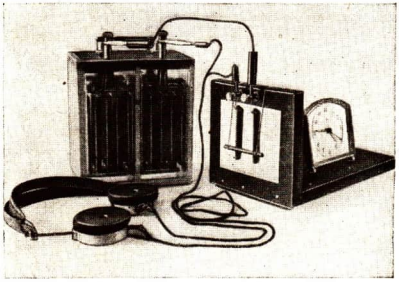


Abb. 214/1. Mikrofonmodell. Die Erschütterungen des Brettchens werden in Schwankungen der Stromstärke umgewandelt.

im gleichen Rhythmus erschüttert werden. Das waagerechte Stäbchen liegt daher bald mehr, 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 elektrischen Stromstärke umgewandelt.

Das in Abbildung 214/1 wiedergegebene einfache *Mikrofonmodell* reicht jedoch zur einwandfreien Übertragung von Sprache, Gesang und Musik nicht aus. Die Kohlestäbchen sind zu schwer und zu träge, sie können den außerordentlich schnellen Schallschwingungen 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. 214/2). 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.

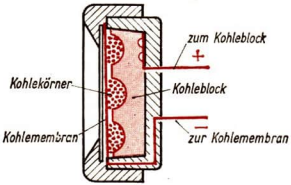


Abb. 214/2. Schnitt durch ein Kohlekörnermikrofon

3. Das Telefon. Das Telefon (Abb. 215/1) enthält einen kleinen hufeisenförmigen Magneten, auf dessen Schenkeln je eine Spule aufgesetzt ist. Über den Polen ist in geringem Abstand eine dünne, schwingungsfähige Eisenmembran angebracht (Abb. 215/2). Fließt durch die Spulen ein elektrischer Strom, so entsteht in ihnen ein Mangetfeld. Dieses Magnetfeld überlagert sich mit dem Magnetfeld des Hufeisenmagneten. Je nach der Richtung des Magnetfeldes der Spulen wird das Magnetfeld des Hufeisenmagneten verstärkt oder geschwächt. Außerdem ist die Verstärkung und Schwächung von der Stromstärke abhängig. Die Eisenmembran wird stärker oder schwächer angezogen, sie schwingt. Die Schwankungen der Stromstärke werden beim Telefon in Schwingungen der Membran umgewandelt.

Abb. 215/1 Schaltzeichen eines Telefons

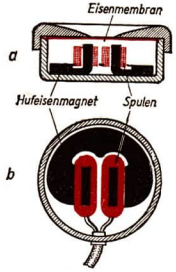


Abb. 215/2. Telefon
a) im Schnitt
b) Draufsicht bei geöffnetem Gehäuse

Schaltet man das Telefon mit einem Mikrofon und einer Gleichstromquelle in einen Stromkreis, so werden Telefon und Mikrofon von dem gleichen Strom durchflossen (Abb. 215/3). 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 aufgenommen.

Im Telefon werden Schwankungen der elektrischen Stromstärke in Schallwellen umgewandelt.

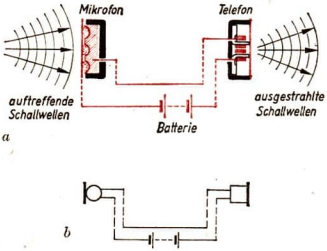


Abb. 215/3. Schaltskizze einer einfachen Fernsprechanlage
a) in schematischer Darstellung,
b) unter Verwendung der Schaltzeichen des Mikrofons und des Telefons

4. Verwendung und Ausbau der Fernsprechanlagen. Bei Geländeübungen der Gesellschaft für Sport und Technik und im Geländedienst der Volksarmee werden *Feldfernsprecher* eingesetzt. Ein Feldfernsprecher besteht aus einem Preßstoffgehäuse, dessen Deckel aufgeklappt werden kann. Obenauf liegt der herausnehmbare Handapparat. In dem Gehäuse sind die Spannungsquelle sowie die Klingel und der Kurbelinduktor zum Rufen eingebaut.

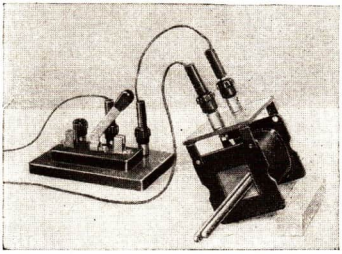
Zur einwandfreien Verständigung über größere Entfernungen reichen Fernsprechanlagen der in Abbildung 215/3 wiedergegebenen Form nicht aus. Zu diesem Zweck wurden

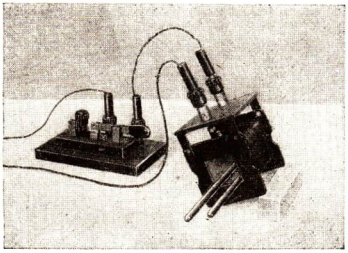
Geräte entwickelt, in denen die schwachen Telefonieströme verstärkt werden. Mit der Entwicklung des öffentlichen *Fernsprechnetzes* mußten zentrale Vermittlungsämter eingerichtet werden. In der Anfangszeit wurden die gewünschten Verbindungen von Telefonistinnen hergestellt. Mit zunehmender Anzahl der Teilnehmer konnten diese Vermittlungsämter ihre Aufgaben nicht mehr bewältigen. Heute ist der *Selbstwählbetrieb* die modernste Vermittlungsart. Die Fernsprechapparate sind mit einer Nummernscheibe ausgestattet, mit deren Hilfe der Fernsprechteilnehmer eine beliebige Verbindung innerhalb des Ortsnetzes selbst herstellen kann. Als Stromquelle dienen im Amt zentral aufgestellte Batterien.
Alle Schaltvorgänge beim Herstellen und Trennen einer Verbindung, das Zählen der Gespräche und das Rufen des Teilnehmers werden mittels Wähler und Relais automatisch ausgeführt.
Soll eine Verbindung zustande kommen, so muß mit Hilfe der Wählerscheibe des Fernsprechapparates die Nummer des gewünschten Teilnehmers gewählt werden. Beim Zurücklaufen der Wählerscheibe wird eine der gewählten Nummern entsprechende Anzahl von Stromstößen erzeugt, durch die im Selbstwählamt Schaltvorgänge ausgelöst werden, die die gewünschte Verbindung herstellen. Nun erfolgt der Anruf des Gesprächsteilnehmers. Im 10-Sekunden-Rhythmus ertönt automatisch das Klingelzeichen, bis der betreffende Teilnehmer sich meldet. Ist der gewählte Apparat jedoch gerade besetzt, so wird dies wiederum selbsttätig durch ein bestimmtes Tonzeichen dem Anrufenden zurückgemeldet.
In der Weiterentwicklung ist in unserer Republik die Einrichtung von Haupt- und Zentralämtern geplant. Dann besteht für jeden Fernsprechteilnehmer die Möglichkeit, selbständig eine beliebige Verbindung mit allen Städten der Deutschen Demokratischen Republik und später auch mit dem Ausland herzustellen.
Der anrufende Teilnehmer wählt dann die für den gewünschten Bereich angegebene Vorwählnummer und schaltet sich dadurch auf das betreffende Ortsnetz. Nach Ertönen des Wählzeichens kann er dann wie im Ortsverkehr die Rufnummer seines Teilnehmers wählen. Anlagen dieser Art besitzt bereits die Deutsche Reichsbahn. Von jeder beliebigen Dienststelle kann jede andere im Selbstwählbetrieb erreicht werden.

5. Dispatcheranlagen. Bei der Reichsbahn und in Industrieanlagen ist das Telefon ein wichtiges Mittel für die Erhöhung der Betriebssicherheit und die Lenkung des Produktionsablaufes. Daher wurden neben den sonst üblichen Fernsprech- und Fernschreibanlagen *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. Es kann daher auch jederzeit Anweisungen für die Verbesserung des Verkehrsablaufes geben.

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Beschreibe die Wirkungsweise des Mikrofons und die des Telefons!
2. Warum kann man ein Kohlekörnermikrofon nicht gleichzeitig als Telefon benutzen?
3. Welche Perspektiven hat der Telefonverkehr in der weiteren Entwicklung?
4. Welche Vorteile bietet eine Dispatcheranlage?





b

Abb. 217/1. Zwei Eisenstäbe im Magnetfeld einer Spule werden magnetisch und stoßen einander ab. a) Stromkreis geöffnet, b) Stromkreis geschlossen

41. Strommeßgeräte

1. Das Dreheiseninstrument. Bei den bisher durchgeführten Versuchen zur Elektrizitätslehre wurden bereits verschiedene elektrische Meßgeräte verwendet. Dazu gehörten Strommesser, Spannungsmesser, Leistungsmesser u. a. Als Strommesser sind zwei Arten, das *Dreheiseninstrument* und das *Drehspulinstrument*, gebräuchlich.

Die Wirkungsweise eines *Dreheiseninstruments* zeigt der in Abbildung 217/1 wiedergegebene Versuch. Wird der Stromkreis geschlossen, so wird das Eisen im Feld der Spule magnetisch, und zwar beide Stäbe im gleichen Sinn. Da sich infolgedessen gleichnamige Pole einander gegenüberstehen, stoßen die Stäbe einander ab. Sie rollen auseinander.

Die magnetische Wirkung einer Spule ist bekanntlich von der Stromstärke abhängig. Daher kann die Kraft, mit der sich die zwei Eisenkörper in der Spule abstoßen, zur Messung der Stromstärke ausgenutzt werden. In der Abbildung 217/2 ist das Meßwerk eines Dreheiseninstruments wiedergegeben. Während der Eisenblechstreifen *E* fest mit dem Spulenkörper verbunden ist, sitzt der Blechstreifen *B* auf einer dünnen Welle, die in der Spule drehbar gelagert ist. Als Gegenkraft wirkt die Kraft einer Feder *F*, die auch Rückholfeder heißt. 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 Skale pendelt, ist eine Dämpfungseinrichtung eingebaut.

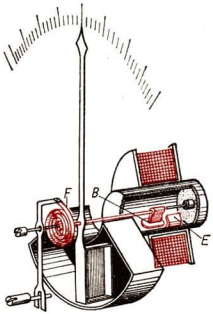


Abb. 217/2. Meßwerk eines Dreheiseninstruments

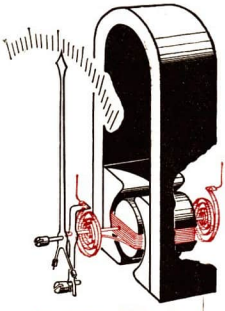
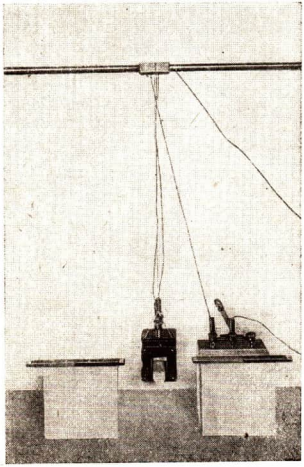


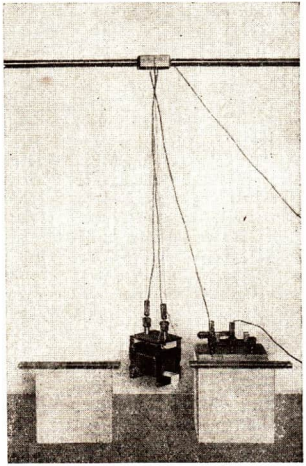
Abb. 218/1. Meßwerk eines Drehspulinstruments

Vertauscht man die Anschlüsse der Leitungsdrähte an der Stromquelle, so neigt sich der Blechstreifen wieder nach der gleichen Seite. Mit der Stromrichtung ändert sich auch die Polarität der Eisenteile. Es liegen aber nach wie vor gleichnamige Pole einander gegenüber. Infolgedessen stoßen auch bei geänderter Stromrichtung die Eisenteile einander ab. *Das Dreheiseninstrument kann daher sowohl zur Messung von Gleichstrom als auch zur Messung von Wechselstrom verwendet werden.* Dreheiseninstrumente sind in ihrem Aufbau sehr einfach und werden vielseitig eingesetzt. Sie sind auch gegen Überlastung wenig empfindlich.

2. Das Drehspulinstrument. Beim *Drehspulinstrument* wird die magnetische Wirkung einer stromdurchflossenen Spule ausgenutzt. Eine kleine rechteckige Rähmchenspule ist zwischen den Polen eines Hufeisenmagneten leicht drehbar gelagert (Abb. 218/1). Inner-



a



b

Abb. 218/2. Modell eines Drehspulinstruments
a) Stromkreis geöffnet, b) Stromkreis geschlossen

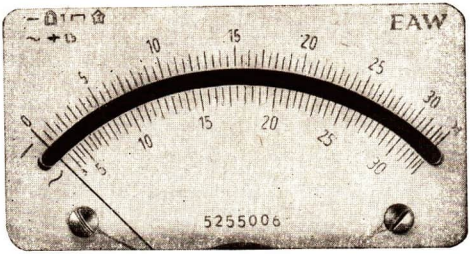


Abb. 219/1. Skale eines Meßgerätes

halb der Rähmchenspule ist auf der gleichen Achse ein zylindrischer Eisenkörper angebracht. Dadurch wird der Luftspalt verringert 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 Stromstärke auf einer Skale anzeigt.

Die Arbeitsweise des Drehspulinstruments zeigt der in der Abbildung 218/2 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 angezogen. Ebenso wird der Südpol der Spule von dem Nordpol des einen Stabmagneten angezogen und vom Südpol des anderen abgestoßen. 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 der Stabmagneten aber 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 in unserem Lichtnetz, infolge ihrer Trägheit nicht ausführen. Daher würde sie in ihrer Ruhelage stehenbleiben. *Somit kann das Drehspulinstrument nur zum Messen von Gleichstrom verwendet werden.*

Das Meßwerk eines Drehspulinstruments entspricht in seinem Aufbau dem beschriebenen Modellversuch. Als Gegenkraft sind jedoch bei der technischen Ausführung des Drehspulmeßwerks Rückholfedern eingebaut (vgl. Abb. 218/1).

Strommesser dienen zur Messung der Stromstärke. Dreheiseninstrumente sind für Gleich- und Wechselstrom, Drehspulinstrumente dagegen nur für Gleichstrom geeignet.

Abb. 219/2. Kennzeichen elektrischer Meßgeräte

3. Kennzeichnung der Meßgeräte. Damit man feststellen kann, für welchen Zweck ein Meßgerät eingesetzt werden kann, sind auf den Skalenscheiben der Geräte verschiedene *Kennzeichen* angebracht (Abb. 219/1). Diese Zeichen sind in der Abbildung 219/2 zusammengestellt.

FRAGEN UND AUFGABEN

1. Begründe, warum mit einem Dreheiseninstrument sowohl die Stromstärke von Wechselstrom als auch die von Gleichstrom gemessen werden kann, während Drehspulinstrumente nur für die Messung von Gleichstrom geeignet sind!
2. Gib die prinzipielle Schaltung eines Vielfachmeßgerätes für Stromstärke- und Spannungsmessungen an!
3. Erkläre die Bedeutung der Kennzeichen auf dem in Abbildung 219/1 sichtbaren Meßgerät!
4. Welche Überlegungen mußt du vor jeder Messung elektrischer Größen durchführen?
5. Gib an, welche elektrischen Meßgeräte du am Unterrichtstag in der sozialistischen Produktion kennengelernt hast! Welchen besonderen Zwecken dienten sie?

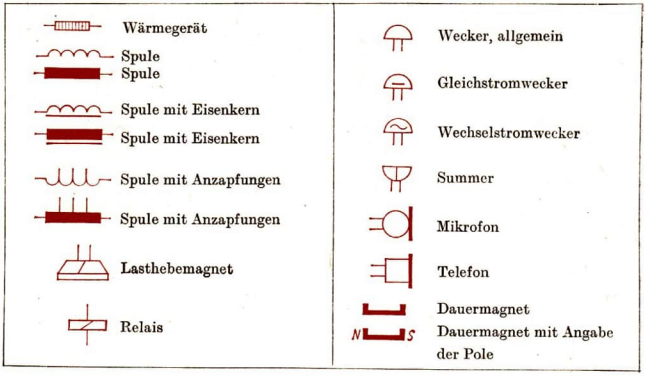
Formelzeichen

nach TGL-Blatt-0-1304 (Auszug).
Das an erster Stelle angegebene Zeichen ist bevorzugt anzuwenden.

	Geometrische Größen
l, L	Länge
h, H	Höhe
b, B	Breite
r, R	Halbmesser, Radius
d, D	Durchmesser
s	Weglänge (Kurvenlänge)
A, S, F	Fläche (auch Querschnitt, Oberfläche)
V, τ	Rauminhalt, Volumen
	Mechanik
m	Masse
ϱ, d	Dichte
F, P, K	Kraft
p	Druck
	Wärmelehre
t, ϑ, y	Celsius-Temperatur
T, Θ, Y	Kelvin-Temperatur (thermodynamische Temperatur — absolute Temperatur)
α	Längsausdehnungs-Koeffizient
γ, β	Raumausdehnungs-Koeffizient
W, Q	Wärmemenge
c	spezifische Wärme
	Optik
c	Lichtgeschwindigkeit
f	Brennweite
	Elektrizitätslehre
U	elektrische Spannung
I	elektrische Stromstärke
R	elektrischer Widerstand
ϱ	spezifischer elektrischer Widerstand
N, w	Windungszahl
	Zeit, Arbeit, Energie
t, τ, z	Zeit (Zeitpunkt oder Zeitspanne)
n	Umlauffrequenz (Drehzahl, Umlaufzahl)
v, u, w	Geschwindigkeit
W, A	Arbeit
W, E	Energie
P, N	Leistung
η	Wirkungsgrad

Schaltzeichen

Gleichstrom	Anzeigendes Meßgerät
Wechselstrom	Schreibendes Meßgerät
Gleich- oder Wechselstrom	Galvanometer
Kreuzung zweier Leiter ohne leitende Verbindung	Galvanometer mit Nullpunktmittellage
Kreuzung zweier Leiter mit leitender Verbindung (Lötverbindung)	Strommesser
Abzweigung (Lötverbindung)	Strommesser, in Milliampere geeicht
Abzweigung (lösbare Verbindung)	Spannungsmesser
Galvanische Spannungsquelle (allgemein)	Spannungsmesser, in Millivolt geeicht
Galvanische Spannungsquelle (mit Angabe der Spannung)	statischer Spannungsmesser (Elektrometer)
Batterie mit *n* Zellen	Sicherung, allgemein
Gleichstromgenerator	Feinsicherung
Wechselstromgenerator	Glühlampe
Steckdose	Glimmlampe
Steckdose mit Schutzkontakt	Widerstand, allgemein
Steckverbindung	Widerstand mit Anzapfungen
Schalter allgemein	Widerstand, stufig verstellbar
Schalter mit Handbetätigung	Widerstand, stetig verstellbar
Stufenschalter	Spannungsteiler



Namen- und Sachverzeichnis

Aggregatzustände 49 ff.
Akkumulator 115
Ampére, André Marie 124
Ampere (A) 124
Anlaßfarbe 14 f.
Anomalie des Wassers 28 ff.
Arbeit, elektrische 157 ff.
Atom 111

Bandgenerator 116
Bewegungsenergie 7 f.
Biluxlampe 172
Bimetallsteifen 22 ff., 166, 182
Boxermotor 93
Boyle, Robert 32
Boylesches Gesetz 30 ff.
Brennkammer 100 ff.
Brennkraftkolbenmaschine 76 f.
Brown, Robert 6, 7

Celsius 11

Dampf 66 ff.
Dämpfanlage 5, 42
Dampferzeuger 5
Dampfmaschine 66 ff.
Dampfturbine 94 ff.
Dauermagnete 186 f.
Davy Sir Humphry 175
Diesellok 73 f.
Dieselmotor 88 f.
Dispatcheranlage 216
Doppelsternmotor 103 f.
Doppelwendel 170
Drahtwiderstand 142
Dreheiseninstrument 217
Drehschalter 172 f.
Drehspulinstrument 218
Druckgesetz für konstantes Volumen 38 f.
Druckschalter 172 f.

Edison, Thomas Alva 170
Einfachwendel 170
Einspritzpumpe 88 f.
Elektrizitätszähler 158
Elektrolok 73
Elektromagnet 200 ff.
Elektrometer 113 f.
Elektron 108 ff.
Elektronenstrom 118 ff.
Elektroskop 114 ff.
Elementarmagnete 191
Energie, elektrische 154
—, kinetische 7 f.
Energieprinzip 64
Erstarren 52

Feldfernsprecher 215
Feld, magnetisches 189 ff.
Fliehkraftregler 72
Flüssigkeitsthermometer 13
Frequenz 121
Futterdämpfer 41, 167

Gas, ideales 42
—, reales 42
Gasbehälter 41
Gasturbine 99
Gay-Lussac 38 f.
Generator 115
Gleichspannung 120
Gleichstrom 120
Glimmlampe 121 f.

Glühfarbe 13
Glühlampe 170 ff.
GOEBEL, HEINRICH 170

Halbleiter 138
Heißleiter 138
Heizwert 61 ff.
HELMHOLTZ, HERMANN VON 64
Hertz (Hz) 121
Hochfrequenz 121
Hochspannung 117
Hub 78
Hubraum 78
Hufeisenmagnet 186, 215

Infrarotstrahler 168
Isolator 119

JABLOTSCHKOW, PAWEL NIKOLAJEWITSCH 175
JOULE, JAMES PRESCOTT 62

Kalorie 9 f., 45
Kalorimeter 48 f.
KELVIN 11
Kippschalter 172 f.
Klingel 210 f.
Kolben 70, 77
Kolbenhub 71
Kolbenschiebersteuerung 70
Kompaß 194 ff.
Kompressor 99 f.
Kondensationspunkt 56
Kondensator 97 f.
Kontaktthermometer 24 f.
Körperthermometer 13
KOSMINSKI, P. D. 99
Kristall 50
Kühler 82 f.
Kühlung 82
Kurbelwiderstand 141
Kurzschluß 164

Ladung, elektrische 110 f.
Längenausdehnung 18 ff.
Längenschwindmaße 55
Längsausdehnungs-Koeffizient 19 ff.
Lavaldüse 95
Leistung, elektrische 154 ff.
Leistungsgewicht 103
Leistungsmesser 156
Leiter 119
Licht, elektrisches 170 ff.
Lichtbogen 174 ff.
Lichtbogenofen 177
LODYGIN, ALEXANDER NIKOLAJEWITSCH 170
Lokomotive 66 f.
Lötkolben 169
Luftkühlung 82

Magnet, keramischer 187
Magnetismus 186 ff.
Magnetnadel 188
Magnetschneider 206
Marschkompaß 194 f.
Massewiderstand 142
MAYER, JULIUS ROBERT 62 ff.
Mechanisches Wärmeäquivale 62 f.
Melkmaschine 35 ff.
Metallspritzverfahren 35
Mikrofon 213
Mißweisung 195
Molekül 6 ff.
MORSE, SAMUEL 207
Morsealphabet 208 f.
Morsetelegraf 207 f.

NEWCOMEN, THOMAS 66
Niederspannung 116
Normung 184 f.
Nullpunkt, absoluter 11

OHM, GEORG SIMON 131
Ohm (Ω) 129
Ohmsches Gesetz 127 ff.
OTTO, NIKOLAUS 76
Ottomotor 76 ff.

PAPIN, DENIS 66
Paßringe 181
Perpetuum mobile 64
Polsucher 121 f.
POLSUNOW, IWAN IWANOWITSCH 66
Projektionslampe 171
Propellerturbine 104
Pyrometerkegel 15

Raumausdehnungs-Koeffizient 27, 38
Reduzierventil 35
Reihenmotor 93
REIS, PHILIPP 212
Relais 204 f.

Schichtwiderstand 142
Schiffskompaß 196
Schmelzen 52 ff.
Schmelzwärme 52 f.
Schmierung 83, 86
Schneiden, autogenes 34
Schweißen, elektrisches 176
Schwinden 55
Schukosteckdose 163
Schukostecker 163
Serienschaltung 174
Shunt 152
Sicherung 178 ff.
Sicherungsautomat 180 f.
Sieden 56 f.
Siedepunkt 56 f.
Siederohrkessel 95
Spannung 112 ff., 128, 149
Spannungsabfall 143
Spannungskoeffizient 39
Spannungsmesser 113, 125 f., 147 f.
Spannungsquelle 114 ff.
Spannungsteiler 144
Spezifische Wärme 43 ff.
Stabmagnet 186 f.
STEINHEIL, KARL AUGUST 208
STEPHENSON, GEORGE 68
Sternmotor 93
Strahltriebwerk 106
Stromkreis 120
—, unverzweigter 143 ff.
—, verzweigter 149 ff.
Stromrichtung 118 f.
Stromstärke 123 ff., 128 f., 149 f.
Strömungskraftmaschine 94
Summer 212

Taschenlampenbatterie 115
Tauchschmierung 83
Telefon 212 ff.
Telegraf 207 ff.
Temperatur 9 ff.
—, absolute 11
Temperaturmessungen 12 ff.
Thermocolor 16
Thermograf 23
Thermometer 12 f.
Topfmagnet 203
Turbine 101
Turboprop 105

Ventil 77
Ventilsteuerung 70 f., 81 f.
Verdampfungswärme 57 f.
Verdunsten 55 f.
Vergaser 81
Vielfachmeßgerät 147 f.
Viertaktmotor 77 ff.
VOLTA, ALESSANDRO 116 f.
Volt (V) 116
Volumausdehnung 27 ff.
Volumgesetz für konstanten Druck 37 f.
V-Motor 93
Vorschaltwiderstand 131 ff.

Wagnerscher Hammer 211
Wärme 5 ff.
Wärmeäquivalent, elektrisches 159
—, mechanisches 62 f.
Wärmeenergie 59 ff., 158 f.
Wärmekraftmaschine 65 ff.
Wärmeleitung 10
Wärmemenge 5, 8 f., 43
Wärmeübergang, Grundgesetz des 48
Wärmewirkungen 161 ff.
Warmwasserheizung 47
Wasserkühlung 82
WATT, JAMES 67 f.
Watt (W) 155
Wattmeter 156
Wattsekunde (Ws) 157
Wattstunde (Wh) 157
Wechselschalter 172
Wechselschaltung 172 ff.
Wechselspannung 121
Wechselstrom 121
Widerstand 127, 133, 145f., 150f.
—, innerer 146
—, spezifischer 135 f.
Widerstände, technische 142
Widerstandsthermometer 139
Wirkungsgrad 72 f., 101

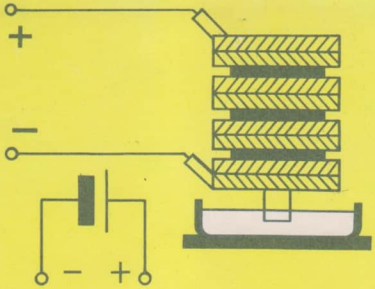
Zündanlage 81
Zündkerze 77
Zustandsgleichung der Gase 40
Zustandsgrößen eines Gases 40
Zweitaktmotor 84 ff.
Zylinder 69, 77 ff.

Quellenverzeichnis der Abbildungen

Zeichnungen: Kurt Dornbusch

VVB Automobilbau, Karl-Marx-Stadt: 86/1, 86/2 · Werkfoto VEB Berliner Akkumulatoren- und Elemente-Fabrik, Berlin-Oberschöneweide: Abb. 114/4 · Werkfoto Berliner Glühlampenwerk, Berlin: Abb. 170/2, 171/2 · Herbert Blunck, Berlin-Mahlsdorf: Abb. 196/1 · Foto Brüggemann, Leipzig: Abb. 104/1, 108/2 · Bolling, Leipzig: Abb. 14/1 Werner Bunschuh, Berlin: Abb. 8/1, 23/2, 24/2, 25/2, 51/1, 84/1, 116/1b, 125/2, 131/2, 141/2, 142/1, 147/1, 173/3, 173/4, 175/2, 180/1, 183/1, 205/2, 213/1, 219/1 · Werkfoto VEB Dämpferbau Lommatzsch: Abb. 5/1, 167/1 Christian Darre, Dresden: Abb. 168/1 · Zentrale Bildstelle Deutsche Reichsbahn: 74/1, 74/2 · Dewag-Foto, Berlin: 168/3 · Dewag-Werbung, Leipzig: 100/2 · Werkfoto Dieselmotorenwerk Rostock: Abb. 65/1 · VEB Elektroapparatewerke Berlin-Treptow: Abb. 125/1, 125/5, 140/2, 148/1, 156/1, 158/1, 205/1 Werkfoto VEB Elektrowärme Sörnewitz: Abb. 164/1, 164/2, 165/1, 165/2, 166/1 · Werkfoto VEB Elfa, Elsterwerda: Abb. 36/1 Werkfoto Fehko, Gräfenthal (Thür.): Abb. 162/1 — Lothar Gabriel, Plauc/Havel: Abb. 91/2, 91/3 · Werkfoto VEB Gaselan, Fürstenwalde: Abb. 41/1 · Werkfoto VEB Keramische Werke Hermsdorf (Thür.): Abb. 186/4 Pressefoto Horst Klein, Berlin: Abb. 34/1, 107/1, 115/2 · VEB Kooperationszentrale für die Flugzeugindustrie, Dresden: Abb. 99/1 · Lenka von Körber, Leipzig: Abb. 109/1 · Photokino Krütgen, Halle: Abb. 35/1a, 116/1a, 161/1, 140/3, 141/1, 179/1, 180/2, 186/2, 186/3, 189/2, 190/1, 190/2, 191/1, 197/2, 198/3, 199/1, 200/1, 201/1 202/2 204/1, 205/1, 207/1, 211/1, 212/1, 214/1, 217/1, 218/1 · VEB Werkfoto Lokomotivbau Elektrotechnische Werke „Hans Beimler", Hennigsdorf: Abb. 69/1, 108/1, 169/2 · Werkfoto VEB Meßgeräte- und Armaturenwerk „Karl Marx", Magdeburg: Abb. 139/2, 139/1c · Werkfoto VEB Metallwerke Harzgerode: Abb. 78/1 · Marttin-Luther-Universität, Halle Wittenberg: Abb. 48/1 · Heinz Meusel, Halle: Abb. 50/1 · Werner Mohn, Dresden: Abb. 100/1 101/1 · Werkfoto VEB Motorenwerk Karl-Marx-Stadt: Abb. 87/1, 89/1 · Siegfried Müller, Leipzig: Abb. 96/3 Werkfoto VEB Porzellanwerk, Neuhaus: Abb. 81/1 · PGH Fototechnische Werkstätten, Berlin: Abb. 122/1, 171/3 · Reichsbahndirektion Halle, Bildarchiv: Abb. 71/1, 208/1 · Werkfoto VEB Schott & Gen., Jena: Abb. 26/1 Horst E. Schulze Berlin: Abb. 176/1 · Werkfoto VEB Schwermaschinenbau Ernst Thälmann, Magdeburg: Abbildung 206/1 · Max Seifert, Verlag Volk und Wissen, Berlin: Abb. 14/43, 163/3, 184/1, 186/1, 194/1, 195/1 · Staatliche Fotothek, Dresden: Abb. 94/1 · Werkfoto VEB Staatliche Porzellan-Manufaktur Meißen: Abb. 15/1 B. G. Teubner, Leipzig: Abb. 166/2 · Werkfoto VEB Traktorenwerk Schönebeck/Elbe: Abb. 91/1 · Volk und Wissen, Berlin: Abb. 80/2 · Werkfoto VEB Carl Zeiss, Jena: Abb. 13/1 · Zentralbild, Berlin: Abb. 20/1, 60/1, 67/1, 68/1, 74/3, 87/2, 90/1, 92/2, 103/1, 105/1, 105/2, 109/2.

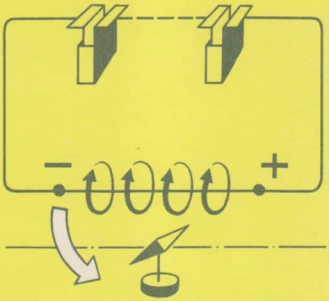
Physikerbildnisse: Deutsches Museum, München: James Watt · Dewag, Berlin: Hermann v. Helmholtz · Zentralbild, Berlin: André Marie Ampère, Rudolf Diesel, Nikolajewitsch Jablotschkow, Robert Mayer, Georg Simon Ohm, Nikolaus Otto, Alessandro Volta.



1800

Elektrochemische Spannungsquelle

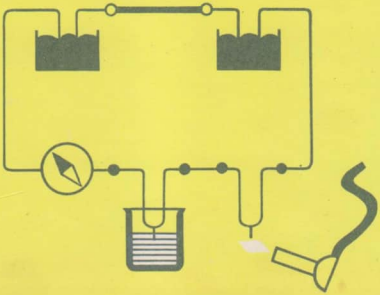
Alessandro Volta
1745 bis 1827



1820

Elektromagnetisches Feld

Christian Oersted
1777 bis 1851



1827

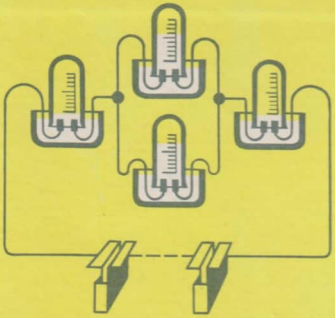
Ohmsches Gesetz

Georg S. Ohm
1789 bis 1854

1833

Elektrolyse

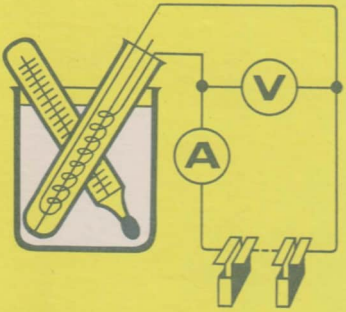
Michael Faraday
1791 bis 1867



1841

Stromwärmegesetz

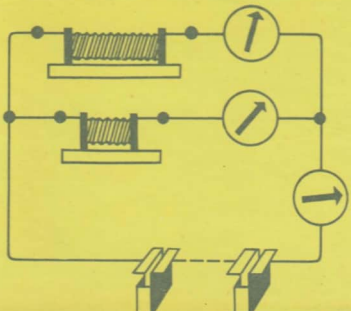
James P. Joule
1818 bis 1889



1845

Stromverzweigung

Robert Kirchhoff
1824 bis 1887



02 08 07 - 7
2,75