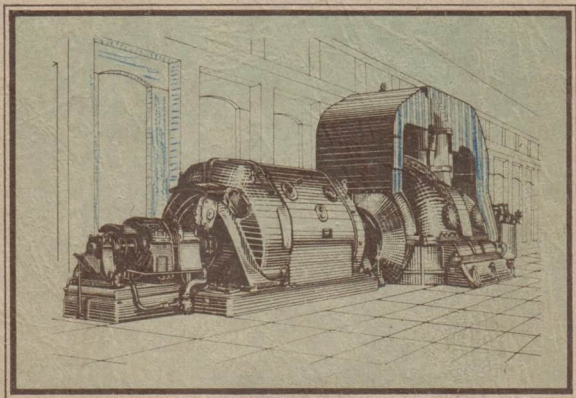


LEHRBUCH DER PHYSIK

ACHTES SCHULJAHR



LEHRBUCH DER PHYSIK

FÜR DAS ACHTE SCHULJAHR

Magnetismus

Elektrizitätslehre

Die Verrichtung von Arbeit durch Maschinen

Technische Zeichnungen

Mit 314 Abbildungen



VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

1 9 5 4

Herausgegeben von Georg Sprockhoff
unter Mitarbeit von
Wolfgang Brunstein und Josef Fischer

Den Abschnitt „Technische Zeichnungen“
verfaßte Kurt Dornbusch

Zeichnungen von Kurt Dornbusch

Redaktionschluß: 1. Dezember 1953

Bestell-Nr. 02 803-2 1.90 DM · 414. bis 433. Tausend · (DN) · Zweite, durchgesehene Auflage
Lizenz-Nr. 203 · 1000-P-02 54 11
Textkarte genehmigt: M. d. I. der DDR Nr. 765
Satz: VEB Leipziger Druckhaus, Leipzig (III/18/203)
Rotationskupfertiefdruck: VEB Graphische Werkstätten Leipzig III/18/97)

Inhaltsverzeichnis

I. Der Magnetismus	5
§ 1. Stahlmagnete und natürliche Magnete	6
§ 2. Die Magnetpole – Die magnetische Anziehung und Abstoßung	8
§ 3. Das magnetische Feld – Die Elementarmagnete	10
§ 4. Die Erde als Magnet	15
II. Die Grundlagen der Elektrizitätslehre	17
§ 5. Der elektrische Strom	18
§ 6. Die elektrische Spannung	22
§ 7. Die elektrische Stromstärke – Die Stromrichtung	25
§ 8. Wärmewirkungen des elektrischen Stromes	29
§ 9. Das elektrische Licht	34
§ 10. Die Sicherung elektrischer Anlagen	42
§ 11. Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes	47
§ 12. Die Bedeutung der Elektrolyse für die Technik – Das Ampere	52
§ 13. Akkumulatoren, galvanische Elemente, Batterien	55
§ 14. Die elektrische Ladung – Die Elektronen	61
§ 15. Ruhende Elektrizität	65
§ 16. Das Gewitter	70
§ 17. Die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung und vom Widerstand – Das Ohmsche Gesetz	73
§ 18. Das Widerstandsgesetz – Technische Widerstandsgeräte	78
§ 19. Leistung und Arbeit eines elektrischen Stromes	82
III. Der Elektromagnetismus – Die elektromagnetische Induktion	87
§ 20. Das Magnetfeld eines stromdurchflossenen geradlinigen Leiters	88
§ 21. Das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule	91
§ 22. Der Elektromagnet	94
§ 23. Die elektrische Klingel	99
§ 24. Der Telegraph	101
§ 25. Das Telephon	105
§ 26. Strommeßgeräte	108
§ 27. Der Gleichstrommotor	112

§ 28. Die elektromagnetische Induktion	118
§ 29. Wechselstromgeneratoren	121
§ 30. Gleichstromgeneratoren — Allgemeines über Generatoren und Motoren	128
§ 31. Der Transformator	131
§ 32. Die elektrische Energieversorgung	137
Elektrische Schaltzeichen	143
IV. Die Verrichtung von Arbeit durch Maschinen	144
§ 33. Kurze Übersicht über die Entwicklung der Maschinen	145
§ 34. Wasser- und Windkraftmaschinen	146
§ 35. Dampfkraftmaschinen	150
§ 36. Verbrennungskraftmaschinen	159
§ 37. Die Energie	165
Anhang: Technische Zeichnungen und ihre Verwendung in der Physik	169
Namen- und Sachverzeichnis	185
Quellenverzeichnis der Abbildungen	188

I. Der Magnetismus



Abb. 1. Schiffsjunge vor dem Kompaß eines Fischloggers
Der Kompaß wurde hergestellt vom volkseigenen Werk Askania, Teltow.

Wir besteigen einen der Fischlogger, die auf unseren volkseigenen Werften gebaut werden, und sehen uns seine Einrichtung an. Wie jedes Hochseeschiff ist auch ein Fischlogger mit einem zuverlässigen, modernen Kompaß ausgestattet. Abbildung 1 zeigt uns, wie auf der Steuerbrücke eines Fischloggers ein Schiffsjunge von einem erfahrenen Ausbilder in den Gebrauch des Kompasses eingewiesen wird. Der Kompaß ist schon etwa um das Jahr 300 von den Chinesen erfunden worden, die ihn als Orientierungsmittel beim Durchqueren der innerasiatischen Wüsten verwendeten. In Europa ist der Kompaß etwa seit Ende des 12. Jahrhunderts in Gebrauch. Heute wird er auf allen Seeschiffen als unentbehrlicher Richtungsweiser benutzt. Er ermöglicht es den Seefahrern, auf hoher See

den Kurs des Schiffes festzulegen, ohne daß sie etwas vom Land oder von den Gestirnen sehen. Die Wirkungsweise des Kompasses beruht auf der Ausnutzung magnetischer Kräfte, über die wir in den folgenden Paragraphen Näheres erfahren werden.

§ 1. Stahlmagnete und natürliche Magnete

1. Die wichtigsten Magnetformen. In vielen Werkstätten gehören *Magnete* zu den ständigen Ausrüstungsgegenständen. Man bedient sich ihrer, wenn man zu Boden gefallene Nägel, Nadeln, eiserne Stifte, eiserne Nieten und ähnliche kleine eiserne Gegenstände aufheben will. Diese kleinen Körper bleiben an den Magneten haften und lassen sich mit ihrer Hilfe leicht vom Boden auflesen. Die hierbei verwendeten Magnete haben in der Regel eine U-förmige Gestalt wie ein Hufeisen und werden deshalb *Hufeisenmagnete* genannt (Abb. 2). Außerdem gibt es Magnete, die man wegen ihrer geraden, gestreckten Form als *Stabmagnete* bezeichnet (Abb. 3).



Abb. 2. Hufeisenmagnet

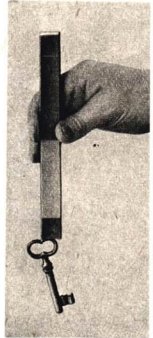


Abb. 3. Stabmagnet

2. Magnetische und unmagnetische Stoffe. Die meisten Magnete bestehen aus Eisen, und zwar aus gehärtetem Stahl. Wir überzeugen uns davon, indem wir versuchen, einen Magneten mit einer Feile zu ritzen, was sich als unmöglich erweist.

Wir untersuchen, ob die magnetische Wirkung an Eisen (Stahl) gebunden ist oder ob ein Magnet auch andere Stoffe anziehen kann. Zu diesem Zweck bringen wir in die Nähe eines Magneten eine Reihe kleinerer Körper aus den verschiedensten Stoffen, beispielsweise je ein kleines Stück

Glas, Papier, Pappe, Igelit, Holz, Leder, Kupfer, Messing, Blei, ein 10-Pfennig-Stück, ein 50-Pfennig-Stück, einen Aluminiumschlüssel, einige eiserne Nägel oder Schrauben, ein Stück Eisenblech oder Eisendraht, eine Schreibfeder, eine Stahlkugel aus einem Kugellager u. a. m.

Wir stellen fest, daß sich magnetische Wirkungen nur an eisernen Versuchskörpern nachweisen lassen.

Ein Magnet ist ein Körper aus Stahl von Hufeisen- oder von Stabform, der imstande ist, andere Eisenkörper anzuziehen.

Diese Eigenschaft eines Magneten, andere Eisenkörper anzuziehen, nennt man **Magnetismus**.

Auch *Nickel* und *Kobalt* werden von einem starken Magneten angezogen, aber in viel geringerem Maße als Eisen.

3. Natürliche Magnete. Es gibt ein Eisenerz, das von Natur aus magnetisch ist. Man nennt es *Magneteisenstein*. Es wird in Europa hauptsächlich in Schweden gefunden. Eine schon im Altertum bekannte Fundstätte lag in der Nähe der kleinasiatischen Stadt *Magnesia*, die dem Erz und dem Magneten überhaupt ihren Namen gegeben hat.

4. Die künstliche Magnetisierung eines Eisenstücks. Man kann Eisenkörper, beispielsweise einen Nagel oder eine Stricknadel, dadurch magnetisch machen, daß man an ihnen zu wiederholten Malen das gleiche Ende eines Stabmagneten oder eines Hufeisenmagneten der ganzen Länge nach entlangführt (Abb. 4). Dabei braucht der Eisenmagnet den Eisenkörper keineswegs zu berühren. Man kann das zum Beispiel dadurch verhindern, daß man den Eisenkörper und den Magneten durch ein Blatt Papier trennt. Wichtig ist allein, daß dasselbe Ende des Magneten immer wieder in derselben Richtung an dem zu magnetisierenden Eisenstück entlanggeführt wird. Welche Vorgänge sich dabei im Inneren des Versuchskörpers abspielen, werden wir in einem der folgenden Paragraphen erfahren. Es genügt uns zunächst zu wissen, wie man einen Eisenkörper magnetisieren kann.

Für die Herstellung von Dauermagneten muß man Stahl verwenden, da Schmiedeeisen und Gußeisen ihren Magnetismus schnell wieder verlieren.

Nur gehärteter Stahl ist für die Herstellung von Dauermagneten geeignet.

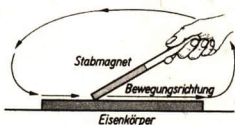


Abb. 4. Magnetisierung eines Eisenstabes. Am Stab wird immer wieder das gleiche Ende des Magneten in derselben Richtung entlanggeführt.

5. Versuche und Fragen:

1. Prüfe selbst nach, ob an den auf Seite 6 angegebenen Stoffen magnetische Wirkungen nachweisbar sind! Untersuche noch in derselben Weise, wie sie in Abschnitt 2 angegeben wurde, einen Kieselstein, ein Stück Kohle, einen Lappen und andere Stoffe! Nähere die Enden eines Hufeisenmagneten einem Häufchen von Eisenfeilspänen!
2. Bedecke einen eisernen Nagel mit einem Blatt Papier und nähere ihm die beiden Enden eines Hufeisenmagneten! Was ist zu beobachten?
3. Magnetisiere einen unmagnetischen Eisenschlüssel durch häufiges Bestreichen mit dem einen Ende des Magneten in der gleichen Richtung!
4. Was ist festzustellen, wenn man dasselbe an einem Aluminiumschlüssel zu erreichen sucht?
5. Behandle drei unmagnetische Stricknadeln durch Bestreichen mit einem Ende eines Stabmagneten in folgender Weise:
 1. Stricknadel zwanzigmal mit dem einen Ende des Magneten in derselben Richtung bestreichen!
 2. Stricknadel zehnmal mit dem einen Ende des Magneten in einer Richtung, darauf zehnmal mit demselben Ende in der anderen Richtung bestreichen!
 3. Stricknadel zehnmal mit dem einen Ende in der einen Richtung, darauf zehnmal mit dem anderen Ende in der anderen Richtung bestreichen!

Welchen Erfolg hat diese Behandlung?

§ 2. Die Magnetpole – Die magnetische Anziehung und Abstoßung

1. Das Vorhandensein von Magnetpolen. Wir wälzen einen Stabmagneten der Länge nach in Eisenfeilspänen, die auf einem Bogen Papier ausgeschüttet sind.



Abb. 6. Eisenfeilspäne, an einem Hufeisenmagneten hängend

Abb. 5. Eisenfeilspäne, an einem Stabmagneten hängend

Heben wir den Magneten hoch, so beobachten wir, daß ein dichter Behang von Eisenfeilspänen haften geblieben ist (Abb. 5). Die Späne sind aber nicht über die ganze Länge des Magneten gleichmäßig verteilt, sondern hängen in der Nähe der beiden Enden besonders dicht. In der Mitte des Stabmagneten bleiben überhaupt keine Eisenfeilspäne hängen.

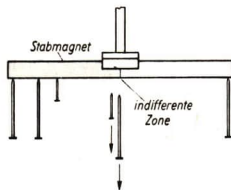
Wir führen den Versuch mit einem Hufeisenmagneten aus. Die Eisenfeilspäne bilden dichte, zusammenhängende Ketten, die sich bogenartig von dem einen Ende des Ma-

gneten zum anderen spannen (Abb. 6). Wie beim Stabmagneten bleibt die Mitte des Hufeisenmagneten ganz frei von Eisenfeilspänen.

Man bezeichnet an jedem Magneten die Stellen stärkster Wirkung als die *Pole* des Magneten.

Jeder Magnet besitzt zwei Pole. Die Pole liegen in der Nähe der Enden des Magneten.

Wir können den Versuch auch so durchführen, daß wir einen Stabmagneten waagrecht an einem Stativ festklemmen und einen Nagel an ihn hängen (Abb. 7). Der Nagel bleibt in der Nähe der Enden haften, in der Mitte fällt er ab. Man nennt diese unwirksame Stelle des Magneten die *indifferente Zone*.



2. Die Arten der Magnetpole. Wir hängen einen Stabmagneten mit Hilfe eines um ihn gelegten Papierblattes und eines Zwirnfadens an

Abb. 7. Abtasten eines Stabmagneten mit Hilfe eines Nagels. Der Nagel bleibt an den Polen haften, an der indifferenten Zone fällt er ab.

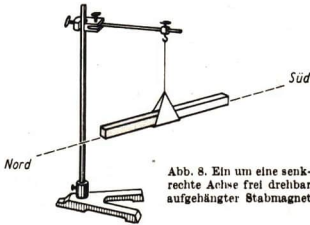


Abb. 8. Ein um eine senkrechte Achse frei drehbar aufgehängter Stabmagnet

chens, das in seiner Mitte angebracht ist, auf einer senkrecht gestellten Spitze in waagerechter Lage freischwebend aufgehängt (Abb. 9). Auch die Magnetnadel zeigt in der Ruhelage immer wieder mit dem einen Ende annähernd nach Norden und mit dem anderen Ende nach Süden. Wir erkennen daraus:

Jeder Magnet, der um eine senkrechte Achse drehbar ist, stellt sich in die Nord-Süd-Richtung ein. Dabei zeigt der eine Pol immer nach Norden, der andere immer nach Süden. Der nach Norden zeigende Pol heißt Nordpol, der nach Süden zeigende Pol Südpol.

Häufig werden die Pole durch verschiedene Farben gekennzeichnet, und zwar bei einem Stab- oder einem Hufeisenmagneten der Nordpol durch Rot, der Südpol durch Blau oder Grün. Der Nordpol einer Magnetnadel trägt meist die blaue Anlaufarbe des Stahls.

3. Die magnetischen Kraftwirkungen. Nähert man einen Magneten einem unmagnetischen Nagel, so zeigen die Pole des Magneten in ihrem Verhalten keine Unterschiede. Jeder Pol eines Magneten zieht unmagnetisches Eisen an. Doch kommt man zu ganz anderen Ergebnissen, wenn man einen Magneten einem anderen Magneten, etwa einer Magnetnadel, nähert.

Wir richten den Versuch zunächst so ein, daß der Südpol des freien Magneten dem Nordpol der Magnetnadel genähert wird. Man beobachtet, daß die Magnetnadel ihre Ruhelage verläßt und daß sich ihr Nordpol dem Südpol des anderen Magneten zuwendet (Abb. 10). Es findet zwischen diesen beiden *ungleichnamigen* Polen eine *Anziehung* statt. Nähert man dagegen den Nordpol des freien Magneten dem Nordpol der Magnetnadel, so weicht dieser vor dem angenäherten Nordpol aus (Abb. 11). *Die beiden*

einem Stativ auf (Abb. 8). Der Magnet kommt nach einigen Drehungen bzw. Schwingungen immer wieder in der Nord-Süd-Richtung zur Ruhe. Auch wenn wir ihn um 180° herumdrehen, kehrt er von selbst in die alte Lage zurück. Dasselbe können wir beobachten, wenn wir auf den Tisch eine *Magnetnadel* stellen. Wir verstehen darunter einen kleinen, an den Enden zugespitzten, flachen Stabmagneten. Er ist mittels eines Hüt-

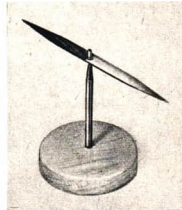


Abb. 9. Magnetnadel. Das eine Ende der Magnetnadel zeigt immer annähernd nach Norden, das andere nach Süden.

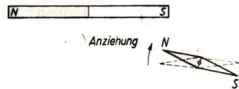


Abb. 10. Anziehung zwischen dem Nordpol einer Magnetnadel und dem Südpol eines angenäherten Stabmagneten

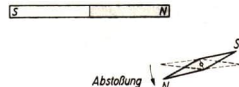


Abb. 11. Abstoßung zwischen dem Nordpol einer Magnetnadel und dem Nordpol eines angenäherten Stabmagneten

Nordpole stoßen einander ab. Die gleichen Beobachtungen macht man, wenn man dem Südpol der Magnetnadel den Südpol des Stabmagneten nähert. Nordpol und Südpol ziehen einander an, Nordpol und Nordpol bzw. Südpol und Südpol stoßen einander ab.

Gleichnamige Magnetpole stoßen einander ab, ungleichnamige Magnetpole ziehen einander an.

Man kann mit Hilfe dieser Erscheinungen ermitteln, wie die Magnetpole an einem magnetischen Stück Eisen verteilt sind. Nähert man beispielsweise einen magnetisierten Nagel mit seiner Spitze dem Südpol einer Magnetnadel und stellt fest, daß der Südpol vor der Nagelspitze ausweicht, so muß notwendigerweise an der Nagelspitze der Südpol, am Nagelkopf demnach der Nordpol des Nagels liegen.

4. Versuche und Fragen:

1. Magnetisiere eine Rasierklinge! Befestige in ihrer Mitte einen Druckknopf und lasse sie mit dem Hütchen des Druckknopfes auf einer senkrecht gestellten Stopfnadel in waagerechter Lage schweben! Benutze die Vorrichtung als Magnetnadel!
2. Magnetisiere eine Rasierklinge oder eine Nähnaedel und lege sie vorsichtig auf eine freie Wasseroberfläche! Beobachte ihr Verhalten!
3. Untersuche mittels eines Kompasses, ob ein Werkzeug (eine Feile, ein Schraubenzieher usw.) magnetisch ist, und gib die Verteilung der Pole an!
4. Lege zwei magnetische Stricknadeln auf eine glatte, waagerechte Fläche in geringem Abstand so nebeneinander, daß sich a) ungleichnamige und b) gleichnamige Pole gegenüberliegen. Was geschieht?
5. Man beobachtet, daß sich zwei Eisenkörper anziehen. Warum kann man daran allein noch nicht erkennen, welcher von beiden Eisenkörpern magnetisch ist?
6. Wie kann man mit Hilfe einer Magnetnadel entscheiden, ob ein Eisenstab unmagnetisch oder magnetisch ist? Wie kann man die Verteilung der Pole feststellen?
7. Man nähert einen Eisenstab mit einem seiner Enden einer Magnetnadel, beispielsweise dem Nordpol. Dieser wendet sich dem Eisenstab zu. Beim Annähern des anderen Endes an den Nordpol geschieht dasselbe. Was kann man daraus schließen?
8. Bei einem ebenso wie in Nr. 7 durchgeführten Versuch wird beim Annähern eines Eisenstabes an eine Magnetnadel der Nordpol der Nadel von dem einen Ende des Eisenstabes angezogen, vom anderen abgestoßen. Was folgt daraus?
9. Zwei Eisenstäbe (A und B) werden T-förmig aneinandergelegt, und zwar
 - a) A an die Mitte von B: die Stäbe haften aneinander.
 - b) B an die Mitte von A: die Stäbe haften nicht aneinander.
 Welcher der beiden Stäbe ist magnetisch?

§ 3. Das magnetische Feld – Die Elementarmagnete

1. Die magnetischen Feldlinien. Wir bedecken einen auf dem Tisch liegenden Stabmagneten oder einen Hufeisenmagneten mit einer Glasscheibe oder einer Papptafel und bestreuen sie mit Eisenfeilspänen. Diese ballen sich etwas zu-

sammen, so daß die Umrisse des Magneten auf der Pappe deutlich sichtbar werden. Klopfen wir leicht gegen die Papptafel, ohne daß sie sich dabei in ihrer Lage verschiebt, so sehen wir, daß sich die Eisenfeilspäne in der Umgebung der Magnete in einer bestimmten Weise ordnen. Es bilden sich zusammenhängende Ketten von Eisenfeilspänen, die von dem einen Pol des Magneten zum anderen reichen (Abb. 12 u. 13). Wir ersehen aus diesem Versuch, daß in der Umgebung eines Magneten magnetische Kräfte wirksam sind, und bezeichnen den Wirkungsbereich eines Magneten als sein *magnetisches Feld*.

Jeder Magnet ist von einem magnetischen Feld umgeben.

Das magnetische Feld ist durchaus nicht auf eine Ebene beschränkt. Es erstreckt sich räumlich um den Magneten nach allen Seiten. Vergleiche dazu Abb. 6!

Die durch die Eisenfeilspäne wiedergegebenen Linien bezeichnet man als *magnetische Feldlinien*. Man legt ihnen außerhalb des Magneten eine bestimmte Richtung bei und hat festgesetzt:

Die magnetischen Feldlinien sind vom Nordpol zum Südpol gerichtet.

2. Eisenkörper im Magnetfeld. Wir untersuchen nunmehr, in welcher Weise das Feld eines Magneten beeinflußt wird, wenn man einen Eisenkörper in das Magnetfeld bringt.

Zu diesem Zweck legen wir in der Entfernung von etwa 1 cm bis 2 cm vor die Pole eines Hufeisenmagneten ein quaderförmiges Stück Eisen. Der Verlauf der Feldlinien wird dadurch wesentlich geändert (Abb. 14). Ein großer Teil der Feldlinien verläuft jetzt nicht mehr im Bogen unmittelbar von einem Pol zum anderen, sondern von beiden Polen auf das Eisenstück zu.

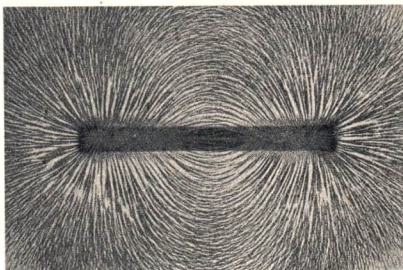


Abb. 12. Feldlinienbild eines Stabmagneten

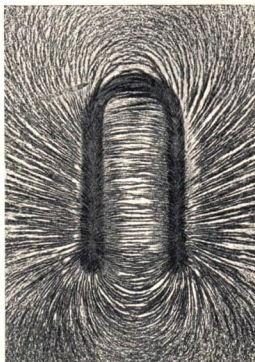


Abb. 13. Feldlinienbild eines Hufeisenmagneten

In den Abbildungen 12 bis 15 liegen die Magnete unter einer Milchglasscheibe. Sie sind von unten beleuchtet und erscheinen als Schattenbilder.

Eine ähnliche Erscheinung kann man beobachten, wenn man das Feld zwischen zwei ungleichnamigen Polen zweier Stabmagnete betrachtet und zwischen die Magnetpole ein kleines, flaches Stück Weich-eisen legt (Abb. 15). Auch hier sieht man deutlich, daß die Feldlinien in ihrem Verlauf durch das Eisenstück beeinflußt und vom Eisen gesammelt werden.

Die Feldlinien eines Magnetfeldes werden von Eisenkörpern, die man in das Feld hineinbringt, aufgenommen und durchsetzen das Eisen der Länge nach. Sie treten an einem Ende des Eisenkörpers in diesen ein und am anderen Ende wieder heraus. Ein eiserner Körper wird selbst zu einem Magneten, sobald er in die Nähe eines Magneten gebracht wird. Entfernen wir dagegen den eisernen Körper aus dem Magnetfeld, so wird er wieder unmagnetisch.

Bringt man in die Nähe eines Magnetpols einen vorher unmagnetischen Eisenkörper, so wird dieser selbst zu einem Magneten, solange er sich in der Nähe des Magnetpols befindet. An seinem dem Magnetpol zugewendeten Ende entsteht der ungleichnamige, am abgewendeten Ende der gleichnamige Magnetpol.

Durch Versuche läßt sich dies leicht bestätigen. Hängt man beispielsweise an einen Magneten einen Nagel und nähert seinem dem Magneten abgewendeten Ende einen zweiten unmagnetischen Nagel, so bleibt dieser am ersten Nagel haften.

3. Die Elementarmagnete. Eine Stricknadel wird magnetisiert. Wir untersuchen, ob man ihre beiden Pole voneinander trennen kann. Zu diesem Zweck zerlegen wir die Stricknadel mittels einer scharfen Zange an der indifferenten Zone in zwei Teile von etwa gleicher Länge. Mit Hilfe einer Magnetnadel stellen wir fest, daß beide Teilstücke je einen Nord-

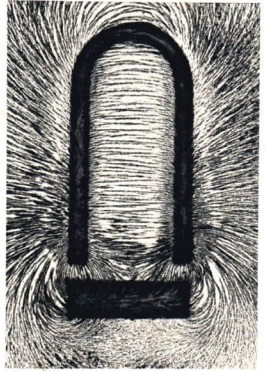


Abb. 14. Feldlinienbild eines Hufeisenmagneten bei einem vor die Magnetpole gelegten Eisenklotz. Die Feldlinien werden auf den Eisenklotz hin abgelenkt.

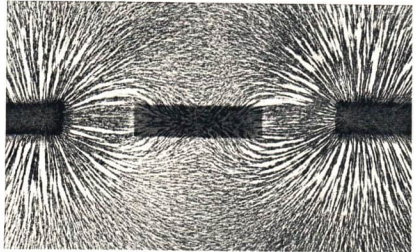


Abb. 15. Magnetfeld zwischen ungleichnamigen Polen zweier einander gegenüberliegender Stabmagnete. Die Feldlinien werden durch einen in das Feld gebrachten Eisenkörper gesammelt.

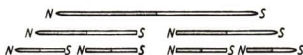


Abb. 16. Zerlegung einer Stricknadel in magnetische Teilstücke. Jedes Teilstück ist ein vollständiger Magnet mit einem Nord- und einem Südpol.

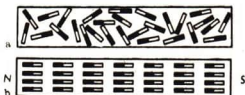


Abb. 17. Anordnung der Elementarmagnete. a) im unmagnetischen Eisen b) im magnetischen Eisen. Die kleinsten Eisenteilchen sind durch kleine Magnetnadeln veranschaulicht.

und einen Südpol besitzen. Es sind mithin an der Bruchstelle wieder zwei neue ungleichnamige Magnetpole entstanden. Zerlegt man die Teilstücke weiter und untersucht sie jedesmal von neuem, so findet man immer wieder, daß die neu entstandenen Teilstücke vollständige Magnete sind und zwei Magnetpole besitzen, soweit man auch die Teilung fortsetzt (Abb. 16). Aus diesem Versuch und aus vielen anderen Gründen ergibt sich, daß die kleinsten Teile eines Magneten selbst kleine Magnete sind. Man bezeichnet sie deshalb als *Elementarmagnete*.

Die Physiker sind weiterhin zur Erkenntnis gelangt, daß auch die kleinsten Teile jedes unmagnetischen Eisenstücks vollständige Magnete sind. Ein unmagnetisches Eisenstück unterscheidet sich von einem Magneten dadurch, daß seine Elementarmagnete ungeordnet und durcheinander liegen (Abb. 17a). In einem Magneten dagegen sind alle Elementarmagnete geordnet (Abb. 17b). Alle gleichnamigen Pole weisen in eine Richtung, der ganze Körper wirkt als ein Magnet.

Alle kleinsten Teile des Eisens haben einen magnetischen Nordpol und einen magnetischen Südpol. Sie wirken als kleine Magnete.

Auf welche Ursachen die magnetischen Eigenschaften der kleinsten Eisenteilchen zurückzuführen sind, ist aus dem Vorangehenden freilich noch nicht ersichtlich. Später werden wir sehen, daß die Ursachen hierfür elektrischer Natur sind. Wir werden unsere Kenntnisse vom Magnetismus dementsprechend zu ergänzen haben. Vorläufig aber genügt die gewonnene Erkenntnis von den Elementarmagneten zur Erklärung der uns bekannten magnetischen Erscheinungen.

Wir verstehen nun auch, warum ein unmagnetisches Weicheisenstück schon dadurch, daß es in die Nähe eines Magnetpols gebracht wird, die Eigenschaften eines Magneten annimmt. Durch die Annäherung an einen Magnetpol werden alle ungleichnamigen Pole der Elementarmagnete auf den Magnetpol hin gerichtet; alle Elementarmagnete ordnen sich in der gleichen Weise. Entfernt man das Weicheisenstück wieder aus dem Wirkungsbereich des Magnetpols, so nehmen die Elementarmagnete auf Grund der zwischen den kleinsten Teilchen wirksamen Kräfte ihre alte, ungeordnete Lage wieder ein. Das Eisenstück verliert dadurch wieder seinen Magnetismus. Nur in einem Stahlstück behalten die Elementarmagnete ihre neue Lage bei. Alle Dauermagnete werden deshalb aus Stahl bzw. aus Stahllegierungen gefertigt. Durch Glühen wird jeder Magnet entmagnetisiert.

Die sich beim Magnetisieren innerhalb eines Eisenkörpers abspielenden Vorgänge können wir uns durch einen Modellversuch veranschaulichen.

Wir füllen zu diesem Zweck ein Reagenzglas reichlich zur Hälfte mit Eisenfeilspänen und verschließen es mit einem Stopfen. Nachdem wir es in waagerechte Lage gebracht haben, magnetisieren wir seinen Inhalt, indem wir einen Magnetpol am Glase entlangführen. Mit Hilfe einer Magnetnadel läßt sich feststellen, daß

die Gesamtheit der Eisenfeilspäne einen vollständigen Magneten darstellt. Schüttelt man aber die Eisenspäne durcheinander, so bleiben zwar die einzelnen Späne magnetisch. Sie geraten aber in Unordnung und heben sich in ihrer Wirkung nach außen auf. Als Ganzes betrachtet sind jetzt die Eisenfeilspäne unmagnetisch.

4. Versuche und Fragen:

1. Erzeuge in der auf Seite 11 beschriebenen Weise mit Hilfe von Eisenfeilspänen das Feldlinienbild a) eines Stabmagneten, b) eines Hufeisenmagneten!
2. Lege zwei Stabmagnete in einer Geraden a) mit ungleichnamigen, b) mit gleichnamigen Polen hintereinander und erzeuge jedesmal das Feldlinienbild in dem zwischen den Polen liegenden Bereich!
3. Lege zwei Stabmagnete in einer Entfernung von etwa 5 cm parallel zueinander, so daß a) gleichnamige, b) ungleichnamige Pole nebeneinander liegen, und erzeuge ihr Feldlinienbild!
4. Lege vor einen Hufeisenmagneten in einem Abstand von 2 bis 3 cm ein unmagnetisches Eisenstück und erzeuge das Feldlinienbild!
5. Welche Änderung des Feldlinienbildes ist festzustellen, wenn man statt des unmagnetischen Eisenstücks einen kleinen Stabmagneten dem Hufeisenmagneten a) mit ungleichnamigen, b) mit gleichnamigen Polen gegenüberlegt?
6. Lege zwischen zwei mit ungleichnamigen Polen gegenüberliegende Stabmagnete a) ein kreisrundes, massives Eisenstück, b) ein ringförmiges Eisenstück und erzeuge die Feldlinienbilder! Welcher Unterschied besteht zwischen beiden Bildern? Beurteile die magnetische Wirkung im Innern eines eisernen Hohlkörpers!
7. An einem senkrecht in ein Stativ geklemmten Magneten hängt ein Eisenstab. Untersuche mit Hilfe einer angehängten Magnetnadel die Art des Magnetpols am freien Ende des Stabes!
8. Zwei kleine eiserne Nägel werden an zwei gleichlange Zwirnfäden gebunden und an diesen aufgehängt. Nähert man von unten her einen Magnetpol eines Stabmagneten, so spreizen sich die Nägel etwas auseinander (Abb. 18). Wie ist das zu erklären?
9. Führe denselben Versuch mit Hilfe zweier an Fäden hängender Rasierklingen durch!
10. Man legt einen Stabmagneten auf einen Holzklötz, so daß sich der eine der beiden Pole in gleicher Höhe vor einer in der Verlängerung des Magneten stehenden Magnetnadel befindet, ohne diese zu berühren. Nähert man einen Eisenstab von der Seite her parallel zur Magnetnadel, so weicht der dem Pole des Stabmagneten gegenüberstehende Pol der Nadel etwas zur Seite aus (Abb. 19). Gib die Ursache dieser Erscheinung an!



Abb. 18. Zwei über dem Magnetpol mit Fäden gehaltene Nägel spreizen sich auseinander.

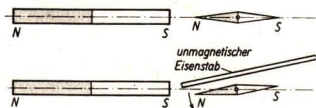


Abb. 19. Eine vor einem Magnetpol stehende Magnetnadel weicht einem seitlich angehängten Eisenkörper aus.

§ 4. Die Erde als Magnet

1. Das magnetische Feld der Erde. Aus der Tatsache, daß sich jede Magnetnadel annähernd in die Nord-Süd-Richtung einstellt, folgt, daß von der Erde selbst eine magnetische Wirkung ausgeht. Dies wird auch dadurch bestätigt, daß ein Stahlkörper, den man in die Nord-Süd-Richtung legt, allmählich magnetisch wird.

Die Erde wirkt wie ein Magnet. Sie ist von einem Magnetfeld umgeben.

Den Verlauf der Feldlinien ersehen wir aus Abb. 20. Da man die nach Norden zeigende Spitze einer Magnetnadel als Nordpol bezeichnet und sich ungleichnamige Magnetpole anziehen, hat die Erde auf der nördlichen Halbkugel den *magnetischen Südpol*, auf der südlichen Halbkugel den *magnetischen Nordpol*. Die magnetischen Pole auf der Erde fallen nicht mit den geographischen Polen zusammen. Sie ändern allmählich ihre Lage. Der magnetische Südpol liegt zur Zeit in Nordamerika auf etwa 73° nördlicher Breite und 100° westlicher Länge. Der magnetische Nordpol liegt gegenwärtig in der Antarktis zwischen Viktoria-Land und Wilkens-Land bei etwa 73° südlicher Breite und 156° östlicher Länge.

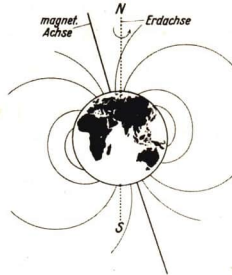


Abb. 20. Feldlinienbild der Erde

2. Der Kompaß. Die Einstellung einer um eine senkrechte Achse drehbaren Magnetnadel in der Nord-Süd-Richtung findet ihre Verwendung beim *Kompaß*. Dieser ermöglicht die Festlegung einer Himmelsrichtung in einem unbekanntem Gelände oder auf dem Meer, ohne daß dazu andere Anhaltspunkte oder Hilfsmittel erforderlich sind. Bekannt sind der *Wanderkompaß* oder *Marschkompaß* (Abb. 21) und der *Schiffskompaß* (vgl. Abb. 1). Auf großen Schiffen und Flugzeugen, die ebenfalls mit einem Kompaß ausgestattet sind, wird statt eines magnetischen Kompasses in neuerer Zeit vielfach ein *Kreisellkompaß* verwendet, auf den hier nicht näher eingegangen werden kann.

Jeder Kompaß enthält in einem mit Glas abgedeckten Gehäuse eine in der horizontalen Ebene drehbare Magnetnadel, die über einer *Windrose* spielt. Beim *Schiffskompaß* ist die *Windrose* meist selbst drehbar gelagert und wird durch mehrere unter ihr befestigte Stabmagnete in der Nord-Süd-Richtung gehalten



Abb. 21. Marschkompaß. Er enthält die Kompaßnadel in einem rechteckigen Gehäuse mit aufgesetzter, drehbarer Strichteilung. Der Deckel des Kompasses ist zu einer Visiereinrichtung ausgestattet. In einem aufklappbaren Spiegel kann beim Visieren gleichzeitig die Stellung der Kompaßnadel beobachtet werden. Der abgebildete Kompaß ist mit einer Zehnerskala versehen.

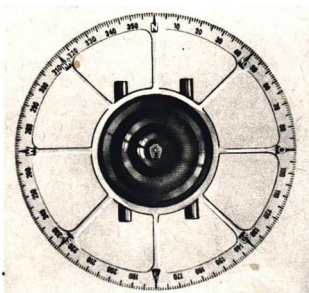


Abb. 22

Windrose eines Schiffskompasses.

Die unter der Windrose befindlichen beiden Stabmagnete sind mit der Windrose fest verbunden und richten sie nach Nord-Süd aus.

(Abb. 22). Die Kreisskala der Kom-
passe ist meist in 360 Winkelgrade,
beim Marschkompaß manchmal auch
in 64 Striche (64°) eingeteilt.

Der Marschkompaß ist für die
Durchführung von geländesport-
lichen Übungen unentbehrlich. Die
Grundaufgaben beim Geländesport,
zu deren Lösung man einen Marsch-
kompaß braucht, sind

- a) das Einrichten einer Karte nach dem Marschkompaß,
- b) das Übertragen einer im Gelände beobachteten Marschrichtungszahl auf die Karte,
- c) das Übertragen einer aus der Karte entnommenen Marschrichtungszahl auf das Gelände.

Vergleiche dazu die Aufgaben 1 bis 3 des Abschnittes 4!

3. Die Deklination. Die Magnetnadel zeigt an den meisten Orten der Erdoberfläche nicht genau nach Norden. Ihre Abweichung von der Nord-Süd-Richtung bezeichnet man als *Mißweisung* oder *Deklination*. Für Berlin betrug sie beispielsweise im Jahre 1952 $2,3^\circ$ westl. Sie ist von der geographischen Lage abhängig und ändert sich allmählich. Die Deklination nimmt in Mitteleuropa jährlich etwa um $0,125^\circ$ zu. Ist die Deklination eines Ortes bekannt, so kann man aus ihr die Nord-Süd-Richtung ermitteln.

4. Versuche und Fragen:

1. Lege einen Marschkompaß auf eine Wanderkarte, und zwar mit seiner Anlegekante an den linken Kartenrand! Richte die Karte durch Drehen nach den Himmelsrichtungen ein! Beachte dabei wie bei Aufgabe 2 und 3 die Mißweisung!
2. Visiere mit Hilfe eines Marschkompasses einen Geländepunkt an und lies die Marschrichtungszahl ab! Lege den Kompaß auf ein nach den Himmelsrichtungen orientiertes Kartenblatt, so daß die Anlegekante durch den Kartenpunkt des Beobachtungsortes geht! Lege auf diese Weise auf der Karte die Richtung fest, in der der anvisierte Geländepunkt zu suchen ist!
3. Entnimm einem eingerichteten Kartenblatt mit Hilfe eines Kompasses die Marschrichtungszahl eines Geländepunktes! Suche ihn dann im Gelände durch Visieren über den Kompaß auf!
4. Ein Flugzeug fliegt nach dem Kompaß fortgesetzt (auch nach Zwischenlandungen) nach Osten. Wie sieht die Flugbahn aus? Verfolge sie auf einem Globus! Von den Einflüssen des Windes ist dabei abzusehen!

II. Die Grundlagen der Elektrizitätslehre

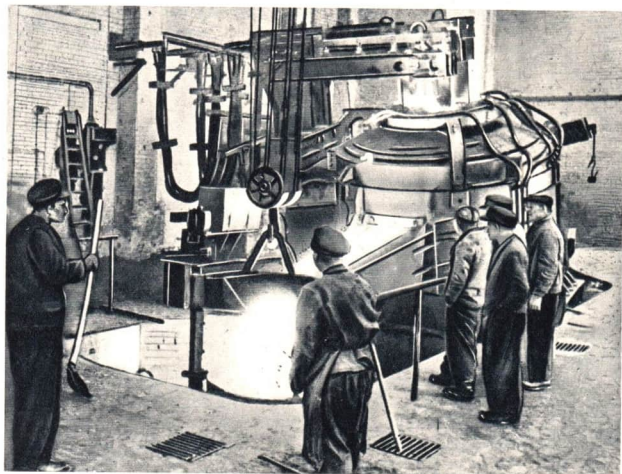


Abb. 23. Abstich eines Elektrostahlofens
Lokomotivbau-Elektrotechnische Werke „Hans Beimler“ VEB Hennigsdorf

Groß sind die Erfolge, die in der Erfüllung unserer Volkswirtschaftspläne durch die Anstrengungen unserer Arbeiter und werktätigen Bauern, Ingenieure und Wissenschaftler bereits errungen worden sind. Besonders wichtig für den Aufbau unserer Wirtschaft ist die Weiterentwicklung der Schwerindustrie und der Ausbau der elektrischen Energieversorgungsanlagen. Für den Aufbau des Sozialismus in unserer Deutschen Demokratischen Republik ist die Versorgung mit elektrischer Energie von entscheidender Bedeutung. Nicht nur beim Antrieb elektrischer Geräte und Maschinen ist die elektrische Energie zu einem unentbehrlichen Helfer geworden; auch bei der Gewinnung unseres wichtigsten Werkstoffes, des Stahls, fällt ihr ein beträchtlicher Anteil zu. So zeigt uns Abb. 23 den Abstich eines Elektrostahlofens in einem großen volkseigenen Werk. Die Elektroöfen verarbeiten Schrott unmittelbar zu hochwertigem Stahl und helfen dadurch Roheisen und Koks sparen. Schon an diesem Beispiel sehen wir, wie

wichtig es ist, die elektrische Energie als Naturkraft für unsere Produktion auszunutzen. Um zu lernen, sie richtig anzuwenden, werden wir uns in den folgenden Paragraphen mit den wichtigsten Grunderscheinungen der Elektrizitätslehre beschäftigen.

§ 5. Der elektrische Strom

1. Die Stromentnahme aus einer Steckdose. Eine elektrische Tischlampe wird beim Gebrauch an eine elektrische *Steckdose* angeschlossen (Abb. 24). Im Anschlußkabel befinden sich zwei Drähte, die beide mit je einem Stift des Steckers verbunden sind. Die Steckdose selbst enthält zwei *Buchsen* oder *Pole* und ist wiederum durch zwei Drähte an das *elektrische Netz* angeschlossen (Abb. 25). Auch ein elektrisches Bügeleisen oder eine elektrische Kochplatte werden erst dann warm, wenn der mit ihnen verbundene Stecker in die Steckdose gesteckt wird. Es ergibt sich für uns die Frage, wie diese Wirkungen zu erklären sind.



Abb. 24. Anschluß eines Steckers an eine Steckdose

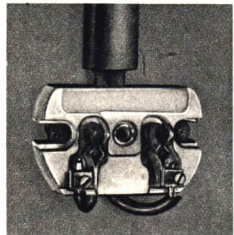
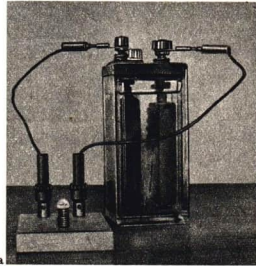


Abb. 25. Steckdose. Die Schutzkappe ist entfernt worden. Jede Buchse ist durch einen Draht mit dem elektrischen Leitungsnetz verbunden

Wir sind gewöhnt, als Ursache das Vorhandensein eines **elektrischen Stromes** anzugeben. Doch ist nicht ohne weiteres ersichtlich, welcher Vorgang sich in der Leitung abspielt, und von welcher Art die strömende Substanz ist. Denn von einer Strömung ist rein äußerlich nicht das geringste zu erkennen. Wir wissen nur, daß die Steckdose über das elektrische Netz an das *Elektrizitätswerk* angeschlossen ist. Dort stehen Maschinen, die *Generatoren*, die durch ihre Arbeit die Glühlampe zum Leuchten bringen. Tatsächlich spielt sich in den elektrischen Leitungsdrähten ein Vorgang ab, der als *Strömung* zu bezeichnen ist. Näheres darüber werden wir allerdings erst später erfahren. Hier sei nur mitgeteilt, daß es kleinste Elektrizitätsteilchen gibt, die man als **Elektronen** bezeichnet. Sie bewegen sich im Inneren der Leitungsdrähte. Zunächst wollen wir uns mit dieser Feststellung begnügen.

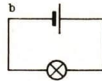
2. Der elektrische Stromkreis. Bisher entnahmen wir den Strom aus einer Steckdose. In vielen Fällen empfiehlt es sich, statt dessen eine *Taschenlampen-*

batterie oder eine *Akkumulatorzelle* zu verwenden. Beide haben ebenfalls zwei Pole. Schließen wir eine kleine Glühlampe durch zwei Drähte an die beiden Pole einer Akkumulatorzelle an, so leuchtet die Lampe hell auf (Abb. 26). Verbinden wir dagegen die Lampe nur durch einen Draht mit der Batterie, so leuchtet die Lampe nicht. Wir schließen daraus, daß die Lampe immer durch zwei Drähte mit beiden Polen der *Stromquelle* verbunden sein muß. Nur wenn die Strombahn geschlossen ist, fließt ein elektrischer Strom. Man spricht in diesem Falle von einem geschlossenen *Stromkreis*. Wir werden später erkennen, daß die Elektronen durch den einen Draht von der Stromquelle zur Lampe hin und durch den anderen Draht zur Stromquelle zurückfließen. Sie fließen dann durch diese hindurch und treten einen neuen *Kreislauf* an.



a) Versuchsanordnung
b) Schaltskizze

Abb. 26. Spelung einer kleinen Glühlampe durch eine Akkumulatorzelle



Ein elektrischer Strom fließt nur in einem geschlossenen Stromkreise.

Beim Anschluß einer Lampe an eine Steckdose liegen die Verhältnisse wesentlich verwickelter. Denn der Stromkreis ist mit der Steckdose noch nicht geschlossen. Wir müssen den Strom durch das ganze elektrische Leitungsnetz bis zum Elektrizitätswerk verfolgen, wenn wir von einem geschlossenen Stromkreis sprechen wollen. Denn im Elektrizitätswerk stehen die Maschinen, die die Elektronen im Umlauf halten. Jeder Stromkreis besteht aus einem *Stromerzeuger*, aus *Leitungen*, in die in den meisten Fällen *Schalter* eingebaut sind, und aus einem oder mehreren *Stromverbrauchern*.

3. Leiter und Nichtleiter. Wir wiederholen den oben beschriebenen Versuch, bei dem wir eine kleine Glühlampe durch Anschließen an eine Akkumulatorzelle zum Leuchten brachten. In den einen Verbindungsdraht fügen wir zwei *Fußklemmen* ein, zwischen denen wir Drähte aus verschiedenem Material einklemmen. Wir verwenden nacheinander Drähte aus Kupfer, Eisen, Messing, Aluminium, Blei (Abb. 27). Die Lampe leuchtet jedesmal auf, wenn der Stromkreis durch einen zwischen den Fußklemmen ausgespannten Draht geschlossen ist.

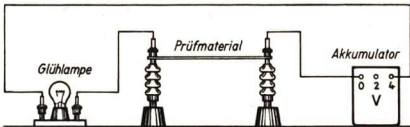


Abb. 27. Versuchsanordnung zur Untersuchung verschiedener fester Stoffe auf ihre Leitfähigkeit. Das Fließen eines Stromes erkennt man am Aufleuchten der Lampe

Wählen wir dagegen als Verbindung eine Hanfschnur, einen Baumwollfaden, einen Holz-, Glas-, Hartgummi- oder Porzellanstab, einen Papierstreifen, ein Stück Igelit, so leuchtet die Lampe nicht. Der Stromkreis ist unterbrochen.

Wir folgern aus diesem Versuch: *Es gibt Stoffe, die den elektrischen Strom gut leiten, und solche, die ihn schlecht oder gar nicht leiten.* Die Stoffe der ersten Gruppe bezeichnet man als **Leiter**. Wir unterscheiden dabei *gute* und *schlechte Leiter*. Die Stoffe, die den Strom überhaupt nicht leiten, heißen **Nichtleiter** oder **Isolatoren**.

Stoffe, durch die ein elektrischer Strom fließen kann, sind Leiter.

Stoffe, durch die ein elektrischer Strom nicht fließen kann, sind Nichtleiter.

Auch trockene Luft und andere Gase sind Isolatoren. Einige in der Elektrotechnik als Isolatoren häufig verwendete Stoffe sind Marmor, Baumwolle, Gutta-percha, ölgetränkte Papiere, Glas, Porzellan, Hartgummi, Bernstein, Isolierband. Ein flüssiger Isolator ist Öl, das deswegen bei großen Hochspannungsschaltanlagen häufig verwendet wird.

Die Isolierung der stromführenden Drähte ist von großer Bedeutung für alle elektrotechnischen Anlagen. Zur Vermeidung von Schäden muß verhütet werden, daß der elektrische Strom von einem Leiter in einen anderen übertritt und unkontrolliert weiterfließt. Aus diesem Grunde werden stromführende Drähte meist mit einer Isolierschicht umgeben. Zu diesem Zweck umspann man sie bisher mit isolierenden Seidenfäden oder mit Fäden aus Baumwolle, die man mit einer isolierenden Masse, meist Gummi, tränkte.

In neuester Zeit werden vielfach harzähnliche Kunststoffe, die man als *Silikone* bezeichnet, zum Isolieren verwendet. Sie kommen insbesondere für Leitungen in Frage, die hohen Temperaturen ausgesetzt sind. In langwieriger Arbeit ist es dem Nationalpreisträger *Dr. Richard Müller, Dresden*, gelungen, ein Verfahren zu finden, nach dem die Silikone unmittelbar aus Kohle und Sand hergestellt werden. Man verarbeitet die Silikone in Verbindung mit einem Lösungsmittel zu einer lackartigen Masse und überzieht die Drähte unmittelbar mit diesen Silikonlacken oder umspinn die Leitungsdrähte mit Glasseide, die man mit Silikonlack tränkt (Abb. 28). Glasseide besteht aus feinen Glasfäden mit einem Durchmesser von 0,07 mm bis 0,09 mm.

Das mit dem Nationalpreis ausgezeichnete, von sechs Wissenschaftlern gebildete *Isoperlonkollektiv*¹ entwickelte in zäher Gemeinschaftsarbeit ein Verfahren zur Gewinnung des *Isoperlons*, eines anderen hochwertigen Isolierstoffes. Isoperlon ist ein lackartiger Stoff, mit dem die Drähte ohne Verwendung von Spinnstoffen überzogen werden. Er eignet sich besonders zum Isolieren von Leitungen, die sich nicht stark erwärmen.

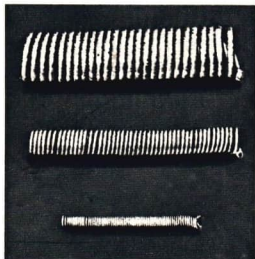


Abb. 28. Wickelproben von Kupferdrähten verschiedenen Durchmessers, die durch Umspinnen mit Glasseide und Imprägnieren mit Silikonlack isoliert sind

¹ Dipl.-Ing. Franz Bandel, Chefdirektor, Walzwerk Hettstedt – Ing. Ernst Seidel, Betriebsleiter, Walzwerk Hettstedt – Dr. phil. Dieter Sundhoff, Direktor, Leuna-Werke Walter Ulbricht, Leuna – Dr. rer. techn. Ehrhard Fritzsche, Kunstseidenwerke, Premnitz – Ing. Gotthart Köhler, Direktor, VEB-Elektromotorenwerke Wernigerode – Ing. Otto Fritsche, VEB-Elektromotorenwerke Wernigerode.

Durch die Verwendung dieser neuartigen Isolierstoffe werden wertvolle Rohstoffe wie Kautschuk, Seide, Baumwolle für andere Aufgaben unseres Volkswirtschaftsplanes frei. Außerdem haben Isolierungen aus Silikon und Isoperlon den Vorzug des geringeren Raumbedarfs im Vergleich zu den bisher üblichen Isoliermitteln.

Nur in besonderen Fällen, zum Beispiel bei den Fahrdrähten der elektrischen Straßenbahn und der elektrischen Eisenbahn, verlegt man blanke Leitungsdrähte. Auch die Hochspannungsleitungen der Überlandzentralen werden ohne isolierenden Überzug an den Gittermasten ausgespannt. Sie werden aber durch starke *Isolatorenketten* gegen die Berührung mit den Metallteilen der Gittermasten geschützt (Abb. 29). In ähnlicher Weise sind die Drähte der Telefon- und Telegraphenleitungen, die man neben jeder Eisenbahnstrecke sehen kann, an glockenartigen *Porzellanisolatoren* befestigt (Abb. 30).



Abb. 29. Isolator einer Hochspannungsleitung. Die einzelnen Glieder sind kettenartig aneinandergesetzt.

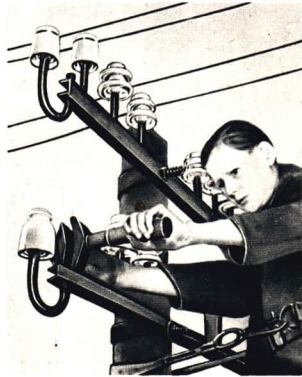


Abb. 30. Isolatoren einer Telefonleitung

4. Versuche und Fragen:

1. Stelle aus einer Akkumulatorzelle, einer Glühlampe und einem Schalter einen geschlossenen Stromkreis her und schalte den Strom ein!
2. Nimm den Schalter aus dem Stromkreis heraus, ohne sonst etwas an der Schaltung zu ändern! Was muß geschehen, wenn der Strom wieder fließen soll?
3. Untersuche selbst nach Art des auf Seite 19 angegebenen Versuches folgende Stoffe auf ihre Leitfähigkeit: Eisendraht, Kupferdraht, Aluminiumdraht, Stanniolstreifen, Wollfäden, Haare, Löschpapierstreifen, Zellophanstreifen, Gummifäden! Welche Stoffe erweisen sich als Leiter, welche als Nichtleiter? Wiederhole die Untersuchung des Löschpapiers, nachdem es angefeuchtet wurde!
4. Jemand benutzt zum Verbinden einer Glühlampe mit einer Akkumulatorzelle verrostete Eisendrähte, die er an die Klemmschrauben anschließt. Warum leuchtet die Lampe nicht?
5. Warum ist der Fahrdraht einer elektrischen Straßenbahn nicht mit isolierendem Material umgeben? In welcher Weise wird er gegen die Erde isoliert?

6. Warum ist ein Vogel, der auf einem Draht einer elektrischen Hochspannungsleitung sitzt, nicht gefährdet?
7. Das Gehäuse eines Klingelknopfes enthält zwei unter einem Druckknopf liegende Blattfedern, die beide an die Leitungsdrähte angeschlossen sind. Erkläre die Wirkungsweise dieser Einrichtung!

§ 6. Die elektrische Spannung

1. Elektrische Erscheinungen ohne Stromfluß. Bei dem in § 5,1 angegebenen

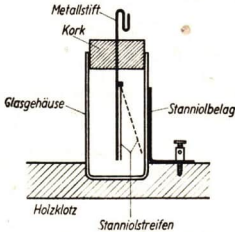


Abb. 31. Behelfsmäßiges Elektroskop. Für das Glasgehäuse wird ein Tablettenröhrchen, für den Metallstift ein starker Draht verwendet

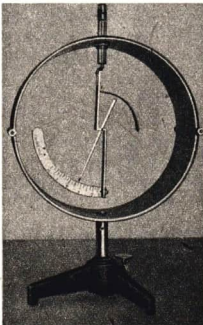


Abb. 32. Technische Ausführungsform eines Elektroskops. Im Innern des Metallgehäuses befindet sich ein Zeiger, der an einem isoliert durch das Gehäuse geführten Metallgestell aufgehängt ist.

Schaltzeichen eines Elektroskops (b)

Versuch speisten wir eine Glühlampe mit dem aus einer Steckdose entnommenen Strom. Es erhebt sich die Frage, ob in der Steckdose auch ein Strom fließt, wenn der Stecker der Lampe noch nicht in die Steckdose eingeführt ist. Ein Versuch gibt uns darüber Auskunft.

Wir benutzen ein Gerät, das man als *Elektroskop* bezeichnet. Man kann sich ein solches Gerät nach Art von Abb. 31 aus einem Glasröhrchen, einem Gummistopfen, einem Metallstift und Stanniol behelfsmäßig herstellen. Die wichtigsten Teile des Gerätes sind ein an die Außenwand des Glasgehäuses geklebter breiter Stanniolbelag und ein an einem Metallstift hängender schmaler Stanniolstreifen im Innern des Gehäuses. Abb. 32 zeigt die werkmäßige Ausführungsform eines Elektroskops. Bei ihr sind der äußere Stanniolbelag durch das Metallgehäuse, der Stanniolstreifen durch einen leicht beweglichen, starren Metallstreifen ersetzt.

Den äußeren Stanniolbelag des Gehäuses und den beweglichen Stanniolstreifen verbindet man durch je einen Draht mit den Polen einer Steckdose. Dabei legt man in jede Leitung eine Glühlampe (Abb. 33). Beide Glühlampen bleiben dunkel.

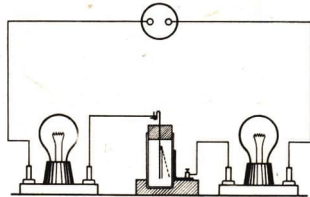


Abb. 33. Anschluß eines behelfsmäßigen Elektroskops an eine Steckdose. Zur Stromanzeige und gleichzeitig zur Sicherung ist in jede Leitung eine Glühlampe gelegt

Der Stanniolstreifen im Röhrchen aber spreizt sich von dem Metallstift ab und nähert sich dem äußeren Stanniolbelag, ohne ihn zu berühren. Denn eine Berührung wird durch das Glasgehäuse unmöglich gemacht. Der Ausschlag ist zwar nur gering, aber deutlich erkennbar. Das Gerät ist um so empfindlicher, je schmaler, dünner und schmiegsamer der Stanniolstreifen ist.

Aus der Tatsache, daß die Glühlampen nicht leuchten, müssen wir schließen, daß kein Strom in der Leitung fließt. Erst wenn wir den Zwischenraum zwischen Metallstift und Stanniolbelag wieder durch einen isolierten Draht überbrücken, leuchten die Lampen schwach auf. Es fließt dann ein Strom. Der Stanniolstreifen sinkt dabei in seine Ruhelage zurück.

2. Die elektrische Spannung. Aus den beiden im vorigen Abschnitt beschriebenen Versuchen folgt, daß in einer an das elektrische Netz angeschlossenen Steckdose ein Zustand vorhanden ist, der elektrische Wirkungen hervorrufen kann. Man bezeichnet diesen in der Steckdose herrschenden elektrischen Zustand als Spannungszustand und die die Wirkungen auslösende Ursache als die elektrische Spannung. Sie wird durch die im Elektrizitätswerk aufgestellten Maschinen hervorgerufen, mit denen die Steckdose über das elektrische Leitungsnetz in Verbindung steht. Diese Maschinen bewirken durch ihre Arbeit, daß die Elektrizitätsteilchen in einer bestimmten Richtung fließen. Sie rufen dadurch den eben erwähnten Spannungszustand in der Steckdose hervor.

Bei unseren Versuchen leuchteten die in die Versuchsanordnungen eingefügten Glühlampen erst dann auf, als wir das Elektroskop überbrückten. Es geht daraus deutlich hervor, daß das Vorhandensein der Spannung die Ursache für das Auftreten eines Stromes ist. Der elektrische Spannungszustand stellt eine Bereitschaft für den Stromfluß dar. Der Strom fließt erst dann, wenn der Stromkreis geschlossen wird.

Ein elektrischer Strom kann zwischen zwei leitend miteinander verbundenen Punkten nur dann fließen, wenn zwischen ihnen eine Spannung besteht.

Der Begriff der Spannung ist uns keineswegs unbekannt. An den Masten der Überlandleitungen und an den Transformatorenhäusern ist durch Warnungsschilder auf die vorhandene Hochspannung hingewiesen (Abb. 34). Beim Kauf von Glühlampen und anderen elektrischen Geräten werden wir nach der im Lichtnetz der Wohnung herrschenden Spannung gefragt.

Wir hatten in § 5,2 von einer Stromquelle gesprochen. Ebensogut kann man statt dessen die Bezeichnung Spannungsquelle benutzen, was wir auch künftig häufig tun werden. Andere Stromquellen, die wir für unsere Versuche öfter verwenden werden, sind die Taschenlampenbatterien, die Akkumulatorenbatterien, die galvanischen Elemente¹. In den Schulen wird häufig als Spannungsquelle ein vom volkseigenen RFT-Funkwerk² Zittau-

¹ Luigi Galvani (1737–1798), Professor der Anatomie in Bologna. Er beobachtete beim Arbeiten mit frisch präparierten Froschschenkeln an diesen Zuckungen, die auf elektrische Einflüsse zurückzuführen waren.

² RFT Abkürzung für die VVB, die Geräte für Rundfunk- und Fernmeldetechnik herstellt.



Abb. 34
Warnungsschild für Hochspannung

Olbersdorf geschaffenes *Stromversorgungsgerät* verwendet, das an das Leitungsnetz angeschlossen wird und die Entnahme niedriger Spannungen ermöglicht (Abb. 35).

3. Die Einheit der Spannung. Bei vielen wissenschaftlichen und technischen Arbeiten ist es notwendig, Spannungen zu vergleichen und zu messen. Dies setzt voraus, daß eine *Spannungseinheit* zur Verfügung steht. Sie wird nach dem italienischen Physiker *Volta*¹ als ein *Volt* bezeichnet. Die Einheit der Spannung ist das *Volt* (V).

Eine tausendmal so große Spannung ist das *Kilovolt* (kV).

$$1 \text{ kV} = 1000 \text{ V.}$$

Den tausendsten Teil eines Volts bezeichnet man als ein *Millivolt* (mV).

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

Ein Volt ist etwa gleich der Spannung, die zwischen den Polen eines *Kupfer-Zink-Elementes* herrscht. An den Polen einer frisch geladenen Akkumulatorzelle ist die Spannung von 2 Volt vorhanden. Die Netzspannung unserer an die elektrischen Überlandzentralen angeschlossenen Versorgungsnetze beträgt in der Regel 220 V, bei örtlichen Anlagen hier und da auch noch 110 V. Die Betriebsspannung der elektrischen Straßenbahn ist in der Regel 440 V. Die Fahrdrähte der elektrischen Eisenbahn weisen meist 15000 V, die

Hochspannungsfernleitungen der Überlandzentralen 220000 V und mehr auf. Das neu erbaute Wolgaskraftwerk bei Kuibyschew erzeugt eine Spannung von 400000 Volt.

Versieht man ein Elektroskop mit einer in Volt geteilten Skala, so erhält man ein für Spannungsmessungen häufig verwendetes *Elektrometer*. Andere als Zeigerinstrumente konstruierte Spannungsmesser, die man auch als *Voltmeter* bezeichnet, beruhen auf einer Ausnutzung magnetischer Wirkungen (Abb. 36).



Abb. 36. Voltmeter für technische Spannungsmessungen. Meßbereich bis zu 500 V

Schaltzeichen eines Voltmeters V



Abb. 35. Stromversorgungsgerät zu Experimentierzwecken aus dem volkseigenen RFT-Funkwerk Zittau-Olbersdorf



Alessandro Volta (1745—1827)

¹ Alessandro Volta (1745—1827), Professor der Physik in Pavia. Er schuf das erste elektrische Element.

Wir werden diese Instrumente als Meßgeräte verwenden, ohne zunächst auf ihre Wirkungsweise einzugehen. Man schließt ein Voltmeter stets an die Punkte an, zwischen denen die Spannung zu messen ist.

4. Versuche und Fragen:

1. Stelle in der in Abschnitt I angegebenen Weise ein Elektroskop selbst her! Wiederhole den oben beschriebenen Versuch unter Aufsicht des Lehrers!
2. Eine kleine Glühlampe oder ein anderer Stromverbraucher ist an eine Akkumulatorenbatterie angeschlossen. Prüfe mit einem Voltmeter nach, welche Spannung an der Glühlampe liegt! Wie muß man das Voltmeter schalten? Fertige eine Schaltskizze an!
3. Was bedeutet die Angabe 220 V bzw. 110 V auf dem Glaskolben einer elektrischen Glühlampe?
4. Für welche Spannungen sind die in einer Taschenlampe verwendeten kleinen Glühlampen genormt?
5. Welche Spannungen liefert der Dynamo eines Fahrrades?
6. Was geschieht, wenn man an eine für eine Spannung von 2 V bestimmte kleine Glühlampe die Spannung von 8 V legt?

§ 7. Die elektrische Stromstärke — Die Stromrichtung

1. Der Zusammenhang zwischen elektrischer Spannung und elektrischem Strom.

In § 6 wurde festgestellt, daß die elektrische Spannung die Ursache für das Auftreten eines Stromes ist. Die Begriffe Spannung und Strom gehören untrennbar zusammen. Es kann kein Strom entstehen, ohne daß eine Spannung vorhanden ist. Wohl aber kann zwischen zwei voneinander isolierten Körpern eine Spannung bestehen, ohne daß ein Strom fließt.

2. **Modellversuch.** Den Zusammenhang zwischen Spannung und Strom können wir uns durch einen *Modellversuch* veranschaulichen (Abb. 37). Wir erzeugen

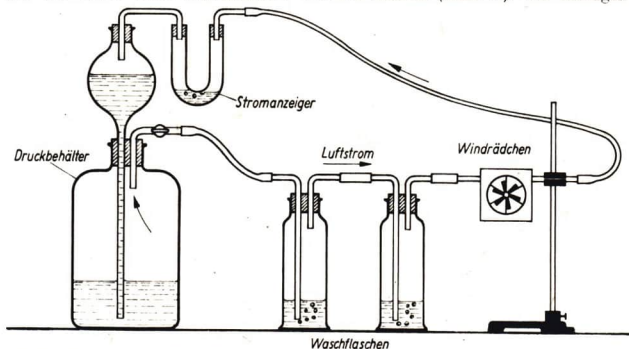


Abb. 37. Modellversuch zur Veranschaulichung eines elektrischen Stromkreises. Der Druckbehälter dient als Modell einer Spannungsquelle, die Waschflaschen und das Windrad als Modelle von Stromverbrauchern.

zu diesem Zweck einen in sich geschlossenen *Luftstrom*. Dabei benutzen wir eine Meßflasche für Gase als *Druckbehälter* (vgl. Lehrbuch der Physik für das 6. Schuljahr Abb. 22). Die Flasche füllen wir etwa zur Hälfte, den Trichter fast ganz mit Wasser und verschließen die seitliche Öffnung des Behälters durch einen Hahn. Mit Hilfe von Schläuchen stellen wir aus einem solchen Druckbehälter und zwei *Waschflaschen* für Gase eine Versuchsanordnung zusammen. In die zum Trichter zurückführende Schlauchleitung wird noch als *Stromnachweisgerät* ein U-Rohr gelegt, dessen Rundung durch Wasser verschlossen ist. Auch in die Waschflaschen gießt man vorher etwas Wasser.

Öffnet man den Hahn des Druckbehälters, so wird die im oberen Teil der Flasche befindliche Luft infolge des Wasserdruckes hinausgedrückt und durchströmt die beiden Waschflaschen und das U-Rohr. Von dort kehrt sie zum oberen Teil des Trichters zurück. Zum Erzielen einer motorischen Wirkung kann man ein kleines eingekapseltes *Windrad* in die Schlauchleitung einbauen. Es dreht sich, sobald das Gas in der Schlauchleitung strömt.

Man kann diese Anordnung als *Modell eines elektrischen Stromkreises* ansehen. An die Stelle des elektrischen Stromes tritt hier ein Luftstrom. Er wird durch den im Druckbehälter vorhandenen Wasserdruck hervorgerufen, so wie der elektrische Strom durch die Spannung verursacht wird. Der Druckbehälter vertritt im Modell die Spannungsquelle. Er verkörpert einen Akkumulator, der sich allmählich entlädt. Die Waschflaschen, das Windrad und das U-Rohr stehen an Stelle von Stromverbrauchern. Wie der Gasstrom nur so lange fließt, als im Druckbehälter ein Überdruck vorhanden ist, so kann ein elektrischer Strom nur als Folge einer Spannung auftreten.

3. Wirkungen des elektrischen Stromes. Man vermag einem Leiter nicht anzusehen, ob er einen elektrischen Strom führt oder nicht; denn wir besitzen kein Sinnesorgan für elektrische Vorgänge. Man kann den Strom aber an seinen Wirkungen erkennen. Die Wirkungen des elektrischen Stromes, die für unser gesamtes wirtschaftliches und kulturelles Leben größte Bedeutung erlangt haben, sind

1. die Erzeugung von Wärme und Licht,
2. chemische Wirkungen,
3. magnetische Wirkungen und damit verbunden das Verrichten mechanischer Arbeit.

Wir werden uns in den folgenden Paragraphen mit diesen Wirkungen im einzelnen zu beschäftigen haben. Man erkennt daran, daß nicht nur die sinnlich wahrnehmbaren Dinge erkennbar sind. In unermüdlichem Bemühen haben es viele hervorragende Physiker verstanden, auch Vorgänge zu klären, die unmittelbar nicht beobachtbar sind.

4. Die Stromstärke und ihre Einheit. Ein elektrischer Strom, der durch eine Leitung fließt, kann in seiner Stärke schwanken. Da es sehr wichtig ist, über die elektrische Stromstärke Bescheid zu wissen, haben die Physiker Verfahren erdacht, die ihre Messung ermöglichen. Bei einem Gas- oder Flüssigkeitsstrom liegen die Verhältnisse in dieser Hinsicht weit einfacher; denn man braucht nur die an einer bestimmten Stelle der Leitung in jeder Sekunde durch den Rohr-



André Marie Ampère
(1775–1836)

querschnitt fließende Gas- bzw. Flüssigkeitsmenge zu messen, um ein Maß für die Stromstärke des Gas- oder Flüssigkeitsstromes zu erhalten. Schon im 6. Schuljahr sind uns die zum Messen von Flüssigkeits- und Gasmen gen geschaffenen Meßgeräte, nämlich der Wassermesser und der Gasmesser, bekannt geworden.

Weit schwieriger ist es, die Stärke eines elektrischen Stromes festzustellen. Denn es hat sich als unmöglich erwiesen, die Menge der fließenden Elektrizitätsteilchen etwa wie eine Wasser- oder Gasmenge auszumessen. Den Physikern ist es aber gelungen, aus den Wirkungen des elektrischen Stromes ein Maß für die Stromstärke zu gewinnen und diese mit besonderen Geräten zu messen.

Es ist eine Einheit für die elektrische Stromstärke festgesetzt worden, über die wir noch Näheres erfahren werden. Hier wollen wir uns damit begnügen, den Namen für die *Einheit der Stromstärke* kennenzulernen. Die Einheit der elektrischen Stromstärke ist das **Ampere (A)**.

Die Einheit der Stromstärke trägt ihren Namen nach dem französischen Physiker *Ampère*¹.

Außerdem ist noch der tausendste Teil eines Amperes, das **Milliampere (mA)**, als Einheit gebräuchlich.

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

Man hat Geräte konstruiert, mit deren Hilfe man die Stromstärke unmittelbar messen kann. Die Skala dieser Meßgeräte ist in Ampere geteilt. Man bezeichnet solche Geräte als *Amperemeter* (Abb. 38). In einem unverzweigten Stromkreis zeigt ein Amperemeter an jeder Stelle die gleiche Stromstärke an.

In einem unverzweigten Stromkreis fließt überall ein Strom von gleicher Stärke.

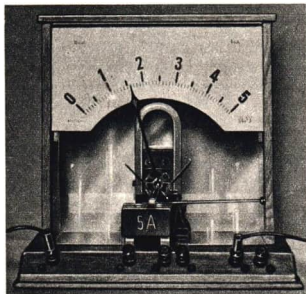



Abb. 38. Amperemeter für Unterrichtszwecke. Meßbereich bis zu 5 A. Schaltbild eines Amperemeters 

5. Die technische Stromrichtung des elektrischen Stromes. Jeder Flüssigkeitsstrom und jeder Gasstrom hat eine bestimmte Richtung. Es erhebt sich die Frage, ob auch der elektrische Strom eine bestimmte Richtung hat. Diese Frage ist unmittelbar gar nicht zu beantworten, da man den elektrischen Strom selbst nicht sehen kann.

Wir führen zur Klärung dieser Frage folgenden Versuch aus: An eine Akkumulatorzelle (2V) schließen wir eine kleine Glühlampe. In die Leitung legen

¹ André Marie Ampère (1775–1836), französischer Mathematiker und Physiker, Professor der Physik in Paris.

wir ein Amperemeter, dessen Zeiger bei Stromlosigkeit in der Mitte der Skala steht. Das Gerät zeigt einen Ausschlag nach rechts (Abb. 39). Vertauschen wir die Anschlüsse der Verbindungsdrähte mit den Polen untereinander, so hat dies auf die Stärke des Ausschlages keinen Einfluß, wohl aber auf dessen Richtung. Der Zeiger neigt sich nach links. Stellt man die ursprüngliche Verbindung wieder her, so schlägt der Zeiger wieder nach rechts aus. Dies ist ein sicheres Zeichen dafür, daß der elektrische Strom eine bestimmte Richtung hat, und daß ein Polwechsel eine Richtungsänderung bewirkt. Daraus geht gleichzeitig hervor, daß die Pole einer Batterie nicht gleichartig sind. Das gleiche gilt für die Pole jeder anderen Spannungsquelle. Es ist üblich geworden, den Polen einer Spannungsquelle die Namen der mathematischen Vorzeichen zu geben und einen *positiven* und einen *negativen* Pol zu unterscheiden.

Jede Spannungsquelle hat einen positiven und einen negativen Pol.

In welcher Richtung der elektrische Strom fließt, geht freilich aus dem Vorangehenden noch nicht hervor. Die Strömung ist wegen der Kleinheit der Elektrizitätsteilchen nicht unmittelbar zu beobachten.

Um eine eindeutige Darstellung zu erzielen und um die Verständigung zu erleichtern, hat man dem elektrischen Strom eine bestimmte Richtung beigelegt. Man hat sich daran gewöhnt, als die *Flußrichtung des elektrischen Stromes* im äußeren Stromkreis die Richtung *vom positiven zum negativen Pol* zu betrachten. Diese Darstellungsweise ist heute noch allgemein gebräuchlich und ist in der Wissenschaft wie in der Technik zu einer festen Gewohnheit geworden.

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

6. Die Richtung des Elektronenstromes. Es ist allerdings festgestellt worden, daß in festen Metallen nur negative Elektrizitätsteilchen beweglich sind. Sie sind gleichbedeutend mit den Elektronen, die wir bereits in § 5,1 erwähnten. Die Elektronen können sich demnach nur vom negativen zum positiven Pol hin bewegen.

Der Elektronenstrom fließt vom negativen zum positiven Pol.

Es scheint ein Widerspruch zwischen dieser Tatsache und der technischen Stromrichtung zu bestehen. Man darf aber nicht vergessen, daß der Begriff der technischen Stromrichtung lediglich ein Mittel der Verständigung ist und über die wirkliche Stromrichtung nichts aussagt. Tatsächlich fließen in gasförmigen und flüssigen Leitern, auch in flüssigen Metallen, Ströme in beiden Richtungen.

Hätte man bereits vor zweihundert Jahren erkannt, daß die Elektronen sich nur vom negativen zum positiven Pol hin bewegen, so hätte man wahrscheinlich die technische Stromrichtung umgekehrt, d. h. vom negativen zum positiven Pol, festgesetzt. In dem gesamten wissenschaftlichen und technischen Schrifttum wird aber die in Abschnitt 5 eingeführte technische Stromrichtung als Fachausdruck gebraucht. Viele

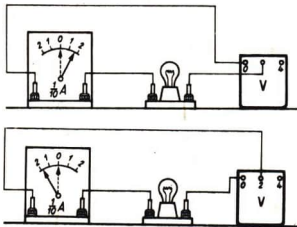


Abb. 39. Wechsel der Richtung des Zeigerausschlages an einem Amperemeter beim Vertauschen der Anschlüsse an der Spannungsquelle

physikalische und technische Gesetze und Regeln, denen man die technische Stromrichtung zugrunde gelegt hat, sind im Laufe der Zeit entstanden. Eine Änderung dieser Regeln würde nur eine Verwirrung stiften, ohne daß mit der Änderung eine tiefere Erkenntnis verbunden wäre. Es ist daher zweckmäßig, die Festsetzung der technischen Stromrichtung in der bisherigen Weise bestehen zu lassen, zumal dadurch kein Schaden in unserer wissenschaftlichen Erkenntnis verursacht wird. Man darf natürlich nicht die technische Stromrichtung mit der Richtung des Elektronenstromes verwechseln.

7. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Ordne den im Modellversuch auftretenden mechanischen Größen die aus der Elektrizitätslehre entnommenen Begriffe Spannung, Strom, Stromkreis, Stromverbraucher zu!
2. In welchen Einheiten mißt man die Stromstärke?
3. Stelle aus einem Akkumulator, einer Glühlampe und einem einfachen Tischschalter einen Stromkreis her! Lege in den Stromkreis ein Amperemeter und miß die Stromstärke! Wie ist das Amperemeter zu schalten?
Zeichne ein Schaltbild!
4. Lege in Aufgabe 3 das Amperemeter in den Stromkreis einmal vor und einmal hinter die Lampe und lies jedesmal die Stromstärke ab! Was ist zu beobachten?

§ 8. Wärmewirkungen des elektrischen Stromes

1. Elektrische Heizgeräte im Haushalt. In vielen Haushalten wird heute die elektrische *Kochplatte* als Hilfsgerät verwendet (Abb. 40). Die Kochplatte ist von kreisförmiger Gestalt und ruht auf einem zylindrischen Untergestell. Sie besteht bei einfacher Ausführung aus einer keramischen Masse, in deren rinnenartigen Vertiefungen eine aus Chromstahl bestehende *Heizwendel* liegt. Chromstahl ist eine äußerst hitzebeständige Eisenlegierung mit einem Schmelzpunkt von etwa 1300°C . Die Keramikplatte ist zum Schutze gegen äußere Einflüsse mit einer glattgeschliffenen Stahlplatte bedeckt.

Mittels einer *Geräteanschlußschnur* wird die Kochplatte mit einer Steckdose verbunden. An dem einen Ende der Geräteanschlußschnur (Abb. 41) befindet



Abb. 40. Elektrische Kochplatte mit freiliegender Heizwendel aus dem volkseigenen IKA-Werk Elektrowärme Sörnewitz. Die Heizwendel liegt in spiralförmig angeordneten Rinnen einer Keramikplatte. Links die Einzelteile der Kochplatte. IKA Abkürzung für Installationen, Kabel, Apparate, Bezeichnung der VVB, die elektrotechnische Geräte herstellt



Abb. 41
Geräteanschlußschnur

sich ein Stecker der üblichen Ausführungsform, ein *Netzstecker*, am anderen Ende ein *Gerätestecker*, der auf die an der Kochplatte selbst befindlichen *Anschlußstifte* paßt. Solche mit einem Gerätestecker versehene Anschlußkabel werden überall dort verwendet, wo aus technischen Gründen das Anschlußkabel nicht unmittelbar fest mit dem Gerät verbunden werden kann. Gerätestecker (Abb. 42) sind so konstruiert, daß sie berührungssicher auf die Anschlußstifte gesteckt werden können, so daß der Benutzer durch den elektrischen Strom nicht gefährdet wird.

Sobald die Netzspannung an den Heizdraht gelegt wird, beginnt dieser unter dem Einfluß des hindurchfließenden Stromes zu glühen und gibt eine erhebliche Wärme ab. Diese überträgt sich auf die keramische Masse und auf die Stahlplatte. Von dieser wird sie an den Kochtopf weitergegeben.

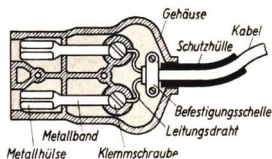


Abb. 42
Längsschnitt durch einen Gerätestecker

Bei anderen Kochplatten ist die Heizwendel ganz von der Keramikmasse umgeben und in diese eingebettet (Abb. 43). Die Heizwendel ist dann meist zu mehreren Windungsgruppen angeordnet, die einzeln oder insgesamt eingeschaltet werden können. Auf diese Weise ist es möglich, die Wärmeabgabe zu regeln.

Bei jeder Kochplatte muß mit einer gewissen Anheizzeit gerechnet werden.

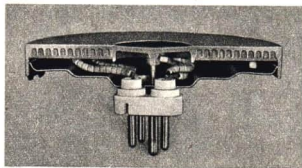
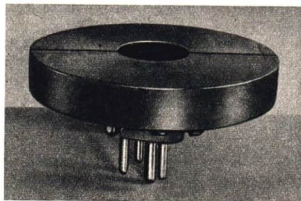


Abb. 43. Schnittmodell einer Kochplatte mit eingebetteter Heizwendel aus dem IKA-Werk Elektrowärme Sörniewitz VEB. Die Heizwendel ist ganz von der Keramikmasse eingehüllt.

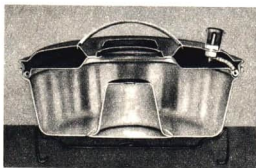


Abb. 44. Elektrische Kleinküche des IKA-Werkes Elektrowärme Sörniewitz. Die Heizkörper befinden sich im Deckel.



Abb. 45. Tauchsieder



Abb. 46. Elektrisches Bügeleisen

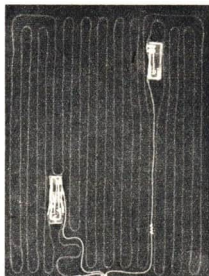


Abb. 47. Elektrisches Heizkissen (Röntgenbild). Die im Bild weiß erscheinenden rechteckigen Konstruktionsteile sind Temperaturregler, die bei hoher Temperatur den Strom selbsttätig abschalten.

Doch gibt umgekehrt die Kochplatte noch längere Zeit nach dem Ausschalten des Stromes Wärme an den Kochtopf ab. Man berücksichtigt dies beim Gebrauch, indem man den Strom früher ausschaltet und die in der Keramikplatte aufgespeicherte Wärme ausnutzt. Will man Wärmeverluste vermeiden, so wird man darauf achten, daß der Boden des Topfes die eiserne Abschlußplatte des Kochers überall berührt und daß sein Durchmesser dem der Kochplatte genau angeglichen ist. Ein *elektrischer Herd* vereinigt mehrere Kochplatten zu einer größeren Kochfläche.

Neben der Kochplatte wird neuerdings vielfach ein als *elektrische Kleinküche* bezeichnetes Koch- und Backgerät verwendet. Es gleicht äußerlich einer Backform. Die Heizwendel ist in den Deckel eingebaut (Abb. 44).

Zum Erhitzen kleiner Flüssigkeitsmengen verwendet man häufig einen *Tauchsieder* (Abb. 45). In den meisten Haushalten und in vielen Werkstätten werden heute elektrische *Bügeleisen* verwendet (Abb. 46). Bei ihnen ist die Heizwendel im Innern des Gehäuses untergebracht. An elek-

trischen Heizgeräten sind noch zu nennen der elektrische *Heizofen* und das bei Heilbehandlungen benutzte elektrische *Heizkissen* (Abb. 47).

2. Die experimentelle Behandlung der Wärmewirkung des elektrischen Stromes. Wir befestigen zwischen zwei Fußklemmen einen dünnen, etwa 1 m langen Eisendraht und belasten ihn in der Mitte durch ein angehängtes Gewichtsstück. Die Enden des Eisendrahtes schließen wir an eine Stromquelle an

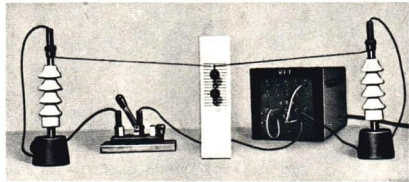
(Abb. 48a). Sobald ein elektrischer Strom durch den Draht fließt, können wir beobachten, daß sich das Gewichtsstück etwas senkt (Abb. 48b). Wird der Strom ausgeschaltet, so hebt sich das Gewichtsstück wieder. Diese Erscheinung hat ihre Ursache in einer durch den Strom hervorgerufenen Erwärmung des Drahtes und in der nach dem Ausschalten des Stromes wieder eingetretenen Abkühlung.

Wir stellen fest:

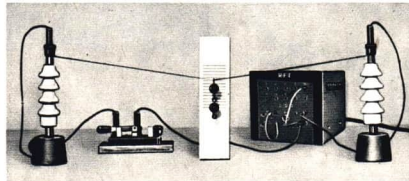
Fließt durch einen Leiter ein elektrischer Strom, so tritt dabei eine Wärmewirkung auf.

Wir führen die Wärmewirkung des elektrischen Stromes auf einen Widerstand zurück, den der Draht der Bewegung der Elektronen entgegensetzt.

3. Elektrowärmegeräte in der Technik. Von besonderer Bedeutung ist die Verwendung elektrischer Heizgeräte in der Technik. Ein elektrisch geheiztes Werkzeug ist der *elektrische Lötcolben* (Abb. 49). In Maschinenfabriken, Werkzeugfabriken, Laboratorien und anderen Werken werden häufig *elektrische Glüh- und Härteöfen* verwendet (Abb. 50). Man bezeichnet diese Öfen auch als *Muffelöfen*, da die offene Kammer mit Schamottmuffeln ausgekleidet ist. Als Heizkörper dienen stromdurchflossene Stäbe aus *Silit*, einer

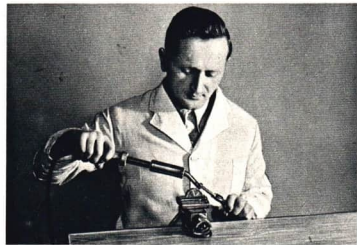


a) vor Einschalten des Stromes

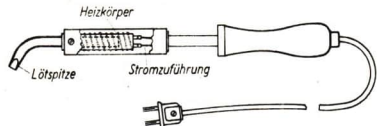


b) nach Einschalten des Stromes

Abb. 48. Versuch zur Wärmewirkung des elektrischen Stromes



a) Ansicht



b) Schnittbild (schematisch)

Abb. 49. Elektrischer Lötcolben

aus Kohlenstoff und Quarz hergestellten synthetischen Masse. Sie sind in Wandnischen der Muffeln eingebaut und werden vom elektrischen Strom durchflossen, wobei Temperaturen bis zu 1300°C und mehr erreicht werden.

In landwirtschaftlichen Betrieben ist heute überall der elektrisch beheizte *Brutschrank* anzutreffen. In Werkküchen, Krankenhäusern und ähnlichen Einrichtungen sind häufig *elektrische Warmwasserbereiter* in Gebrauch (Abb. 51 und 52). Sie bestehen aus einem an der Wand befestigten Kessel, der sowohl an die Wasserleitung wie an das elektrische Leitungsnetz angeschlossen ist. In den Boden des Kessels ist ein elektrischer Heizkörper eingebaut, der vom Strom durchflossen wird. Im Wasserkessel befindet sich außerdem, im selben Stromkreis liegend, ein Temperaturschalter. Er schaltet den Strom selbsttätig aus, sobald eine gewisse Temperatur erreicht ist.

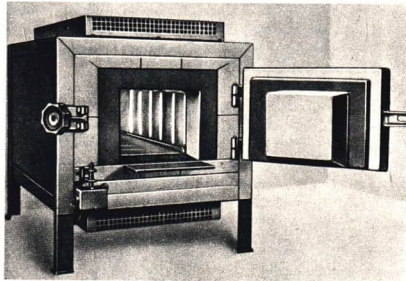


Abb. 50. Elektrischer Muffelofen für Werkstätten aus dem Werk Siemens-Plania der Elektrotechnischen AG. Die glühenden Silberröhren sind in senkrecht stehenden Nischen untergebracht.



Abb. 51. Elektrischer Warmwasserbereiter aus dem IKA-Werk Elektrowärme Sörnewitz VEB

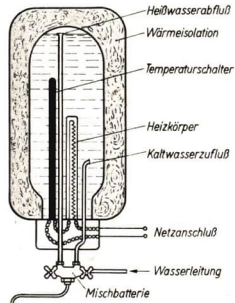


Abb. 52. Längsschnitt durch einen Warmwasserbereiter (schematisch). Das heiße Wasser läuft oben über ein Überlaufrohr ab.

4. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Fülle einen Litertopf mit Wasser und miß die Temperatur! Stelle den Topf auf eine elektrische Kochplatte und miß die Zeit, die nach dem Einschalten des Stromes bis zum Beginn des Siedens verstreicht! Ermittle aus der Anfangstemperatur und der Siedetemperatur die Wärmemenge, die das Wasser während dieser Zeit aufgenommen hat. Vergleiche dazu Lehrbuch der Physik für das 6. Schuljahr, § 16.2! Berechne, wieviel Kalorien die Kochplatte in einer Sekunde abgibt!

2. Warum darf eine Geräteanschlußschnur nicht auf beiden Seiten mit einem gewöhnlichen Stecker versehen sein?
3. Welchen Zweck erfüllt die Stahlplatte, mit der die meisten elektrischen Kochplatten abgedeckt sind?
4. Welche Nachteile ergeben sich für die Wärmeausnutzung, wenn ein Kochtopf nicht genau auf die elektrische Kochplatte paßt?
5. In welchem Teil des Tauchsieders liegt die Heizspirale? Warum wird beim Tauchsieder die Wärme besser ausgenutzt als bei der Kochplatte?
6. Warum muß man erst den Strom ausschalten, ehe man den Tauchsieder aus dem Wasser herausnimmt?
7. Auf welche Ursache ist die Wärmeentwicklung bei der Kochplatte, beim Tauchsieder und anderen Elektrowärmegegeräten zurückzuführen?
8. Wie erfolgt bei einer Kochplatte die Weitergabe der Wärme an den Kochtopf? Wie wird die Wärme beim elektrischen Ofen an die Umgebung abgegeben?

§ 9. Das elektrische Licht

1. Die Erfindung der Glühlampe. Die Lichterzeugung in der *Glühlampe* beruht darauf, daß in ihr ein dünner, fadenförmiger *Glühkörper* vom elektrischen Strom durchflossen wird. Infolge des *Widerstandes*, den der Glühkörper dem Strom entgegensetzt, erwärmt sich der Glühkörper so stark, daß er zu glühen beginnt und Licht ausstrahlt. Die Wirkungsweise der Glühlampe ist demnach auf die *Wärmewirkung* des elektrischen Stromes zurückzuführen. Man empfindet die beim Leuchten einer Glühlampe freiwerdende Wärme deutlich, wenn man den Glaskolben einer brennenden Glühlampe vorsichtig berührt.

Die Versuche, den elektrischen Strom zur Erzeugung von Licht auszunutzen, begannen schon in der Mitte des vorigen Jahrhunderts. Im Jahre 1855 brachte in New York der aus Deutschland gebürtige *Heinrich Göbel* eine in einem ausgepumpten Glaskolben eingeschlossene verkohlte Bambusfaser zum Glühen und benutzte diese Vorrichtung als behelfsmäßige Lichtquelle. Die erste brauchbare Glühlampe konstruierte 1873 der russische Erfinder *Alexander Nikolajewitsch Lodygin*¹. Er verwendete als Glühkörper einen kurzen Kohlestift, der zwischen zwei Haltern ruhte und in eine leergepumpte Glaskugel eingeschlossen war (Abb. 53). Lodygin beleuchtete mit seinen Glühlampen die Admiralität in Petersburg, dem heutigen Leningrad, und erbrachte damit den Beweis für die Brauchbarkeit seiner Erfindung zur Beleuchtung von Gebäuden und Straßen. Doch wurde die industrielle Entwicklung der Glühlampe im



Alexander Nikolajewitsch
Lodygin (1847—1923)

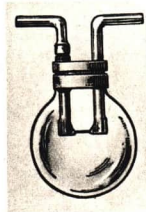


Abb. 53
Glühlampe von Lodygin

¹ Alexander Nikolajewitsch Lodygin (1847—1923), lebte in Petersburg, dem heutigen Leningrad.

zaristischen Rußland nicht weiter verfolgt. Etwas später konstruierte der Amerikaner *Alva Edison*¹ eine Lampe, deren industrielle Erzeugung aufgenommen wurde.

2. Der Bau der Glühlampe. Charakteristisch für die Glühlampe ist ein Glaskolben von birnenförmiger Gestalt, nach der die ganze Glühlampe auch als *Glühbirne* bezeichnet wird (Abb. 54). Der Glaskolben ist an seinem verjüngten Ende durch einen Glasfuß abgeschlossen,

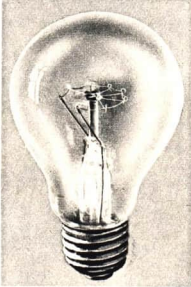
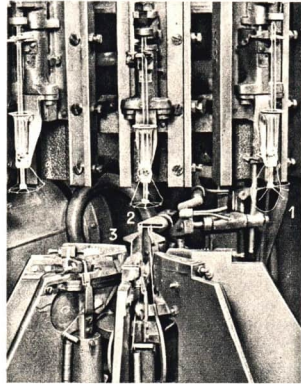


Abb. 54. Glühbirne

Abb. 55. Teilansicht eines Spannautomaten im Berliner Glühlampenwerk VEB. Der am Gestell befestigte, aber noch lose herabhängende Glühdraht 1 wird von einem aus der Düse 2 austretenden Luftstrom über eine Spannvorrichtung 3 gelegt. Die Drähte des Traggestells werden zu Ösen umgebogen.



der nach innen zu einem gläsernen *Gestell* geformt ist. Dieses trägt die aus feinem Draht bestehenden Haltedrähte, an denen der Glühfaden aufgehängt ist. Die Glaskolben und die Glasgestelle der Glühlampen werden getrennt hergestellt und nach Aufhängen des Glühdrahtes miteinander verschmolzen. In modernen Glühlampenwerken ist dieser Prozeß weitgehend automatisiert (Abb. 55 und 56).

¹ Thomas Alva Edison (1847 bis 1931), amerikanischer Erfinder. Er erfand u. a. den Phonographen, den Vorläufer unseres heutigen Grammophons.

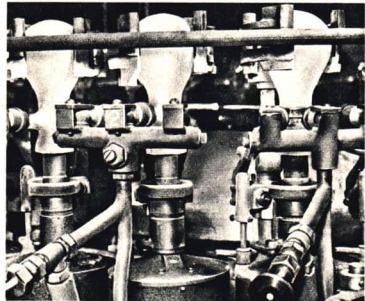


Abb. 56. Teilansicht eines Einschmelzautomaten im Berliner Glühlampenwerk VEB. Die nach unten verjüngten Teile der Glaskolben und die Ränder der Gestelle werden durch je drei Gasflammen erhitzt und zusammengeschmolzen.

Durch die Arbeit unserer Rationalisatoren und Neuerer werden weitere Verbesserungen durchgeführt. So konnte durch Verbessern des Arbeitsablaufes an Halbautomaten eine dauernde Produktionssteigerung von 17% erreicht werden.

Früher benutzte man als Glühkörper Kohlefäden, heute verwendet man dazu ausschließlich Metalldrähte. Geeignet sind die schwer schmelzbaren Metalle Osmium, Tantal, Wolfram, deren Schmelzpunkte bei 2700° C, 3000° C, 3350° C liegen. Der Glühdraht ist bei allen modernen Glühlampen zu einer *Wendel*, bei Lampen besonders hoher Leistung zu einer *Doppelwendel* geformt (Abb. 57). Die Glühlampe ist mit einem Sockel aus Keramikmasse versehen, in den der Fuß eingekittet wird. Der Sockel trägt außen ein *Metallgewinde* und an der Stirnfläche eine kleine *Kontaktplatte*, die gegen das Gewinde isoliert ist. In jüngster Zeit ist es unseren Ingenieuren und Arbeitern gelungen, das Metallgewinde durch ein Keramikgewinde zu ersetzen und dieses nur mit einem schmalen Metallstreifen zu versehen. Dadurch werden große Mengen Buntmetall eingespart, die für andere Aufgaben unseres Aufbaus frei werden.

Die Zuleitungsdrähte zum Glühfaden führen durch den Lampenfuß hindurch und sind mit ihm fest verschmolzen. Der eine Draht endet am Gewinde, der andere an der Kontakt-



a) Einfachwendel



b) Doppelwendel

Abb. 57. Wendel einer Glühlampe

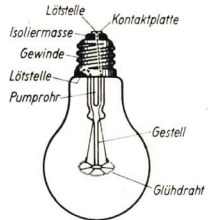


Abb. 58. Aufbau einer Glühlampe

platte. Mit diesen Teilen sind die Drähte fest verlötet (Abb. 58). Um ein Verbrennen des Glühfadens zu verhindern, füllt man die Glühbirnen mit einem Schutzgas, wozu man meist Stickstoff verwendet.

Zur Aufnahme von Glühbirnen dienen *Lampenfassungen* aus Porzellan oder Kunstharz. Diese sind mit einem metallischen Innengewinde versehen, in das das Metallgewinde des Lampensockels hineinpaßt. Heute werden nur noch berührungssichere Lampenfassungen verwendet (Abb. 59). In der Mitte des Bodens besitzen sie ein Kontaktplättchen und seitlich davon eine

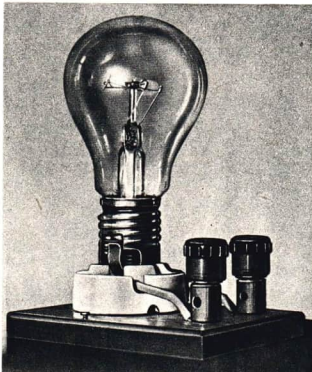


Abb. 59. Berührungssichere Lampenfassung einer Glühlampe. Die Schutzhülle aus Porzellan ist abgeschraubt.

Kontaktfeder. Mit diesen beiden Kontakten ist je ein Leitungsdraht des Netzes verbunden. Die Kontaktfeder berührt das Gewinde des Lampensockels erst dann, wenn die Glühlampe ganz in die Fassung geschraubt wird. Gleichzeitig berühren sich dabei auch die Kontaktplättchen des Sockels und der Fassung. Das Gewinde der Fassung selbst ist nicht mit einem Leitungsdraht des Netzes unmittelbar verbunden. Es ist mit einer Aussparung für die oben erwähnte Kontaktfeder versehen. Auf diese Weise wird erreicht, daß beim Herausdrehen einer Glühlampe das Gewinde des Lampensockels nicht unter Spannung steht. Bei einer eingeschalteten Glühlampe durchfließt der Strom folgende Leiter: Kontaktfeder – Gewinde des Lampensockels – Glühdraht einschließlich der Zuleitungsdrähte – Kontaktplättchen des Lampensockels – Kontaktplättchen der Lampenfassung oder umgekehrt (vgl. Abb. 59).

Die Glühlampen werden nach der Leistungsaufnahme bezeichnet, d. h. nach der Arbeit je Sekunde, die der Strom beim Speisen der Lampe vollbringen muß. Die elektrische Leistungseinheit ist das **Watt (W)**. Vergleiche dazu § 19! Die am häufigsten verwendeten Lampennormen sind 15 W, 25 W, 40 W, 60 W, 100 W. Doch werden auch Lampen mit höheren Normwerten hergestellt.

3. Die Schaltung von Glühlampen. Zum Öffnen und Schließen des Stromkreises dienen Schalter. Verwendet werden bei Lichtanlagen in der Regel *Dreh-* und *Kippschalter*, hier und da auch *Druckschalter*.

Bei den Drehschaltern sind die Leitungsdrähte an zwei gegenüberliegende Kontaktfedern angeschlossen, die durch einen drehbaren Kontakt miteinander verbunden werden können (Abb. 60). Bei den Kippschaltern erfolgt das Herstellen dieser Verbindung durch das Umlegen eines Kontakthebels (Abb. 61).

Abbildung 62 zeigt die Anlage eines einfachen Schalters für eine einzelne Glühlampe. *Wechsel-schalter* ermöglichen es, eine Lampe von ver-

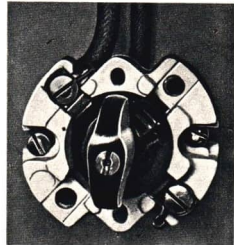


Abb. 60. Drehschalter
Das Schutzgehäuse ist abgenommen.

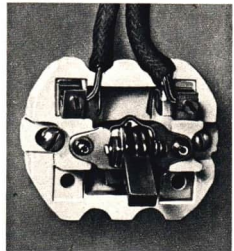


Abb. 61. Kippschalter
Das Schutzgehäuse ist abgenommen.

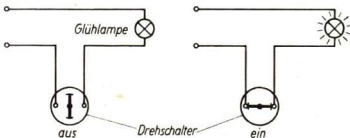


Abb. 62
Schalter im Stromkreis einer Glühlampe

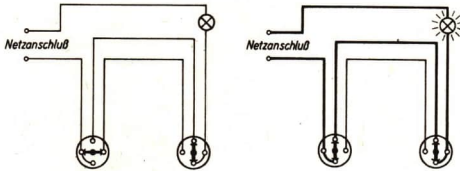


Abb. 63
Wechselschaltung einer Lampe mit zwei Schaltstellen. Die Lampe leuchtet ebenfalls, wenn beide in der Abbildung wiedergegebenen drehbaren Schaltertafel waagrecht liegen.

schiedenen Stellen aus ein- und auszuschalten (Abb. 63). Man verwendet sie beispielsweise in Treppenhäusern und auf langen Fluren.

Befinden sich in einem Raum mehrere Lampen, so ist es häufig notwendig, sie von einer Stelle aus einzeln oder in Gruppen zusammengefaßt einzuschalten. Man bezeichnet einen Schalter, der dies ermöglicht, als *Serienschalter* (Abb. 64).

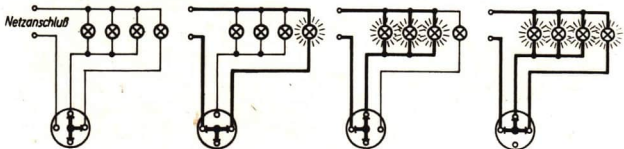
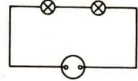


Abb. 64. Serienschaltung einer Einzellampe und einer Lampengruppe
Schematische Wiedergabe der vier möglichen Schaltstellungen

Liegt in einem Stromkreis nur eine Lampe, so bietet die Schaltung keine Schwierigkeit. Der Strom durchfließt hintereinander den Schalter und die Lampe. Anders ist es, wenn von dem Strom zwei Lampen gleicher Wattzahl gespeist werden sollen. Legt man die Lampen so in den Stromkreis, daß der Strom der Reihe nach durch die beiden Lampen fließt (Abb. 65), so leuchten sie bei weitem nicht so hell, wie sie es normalerweise tun. Jede Lampe erfordert zur vollen Lichtentfaltung eine Spannung von 220 V. Da aber beide Lampen hintereinander liegen, verteilt sich die Spannung auf den gesamten Stromweg zwischen den beiden Anschlußklemmen. An jeder Lampe liegt infolgedessen nur eine Spannung von 110 V, die zum Hervorrufen der vollen Lichtstärke nicht ausreicht.

Abb. 65. Zwei Glühlampen in Reihenschaltung. Der Strom fließt hintereinander durch beide Lampen. An jeder Lampe liegt die halbe Netzspannung.



Man spricht von einem *Spannungsgefälle* und veranschaulicht es durch eine graphische Darstellung (Abb. 66). Auf einer von links nach rechts verlaufenden Achse, der *Abszissenachse*, stellt man die Leiterlänge als Strecke dar. Auf einer dazu senkrechten Achse, der *Ordinatenachse*, veranschaulicht man die Spannung. Unter der Voraussetzung, daß der Leiter überall die gleiche Beschaffenheit hat, wird der Spannungsabfall in der graphischen Darstellung durch eine vom Punkt 220 V der Ordinatenachse zum Endpunkt der Abszissenachse verlaufende Gerade wiedergegeben. Man sieht, daß in jeder Leiterhälfte die Spannung um 110 V sinkt.

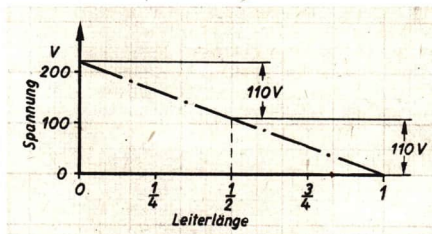


Abb. 66. Spannungsgefälle längs eines Stromweges bei gleichmäßigem Spannungsabfall

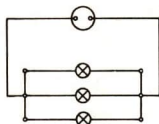


Abb. 67. Parallelschaltung dreier Lampen. Der Strom durchfließt jede Lampe unabhängig von den anderen. An jeder Lampe liegt die volle Netzspannung.

Man bezeichnet eine derartige Schaltung von Stromverbrauchern als **Hinterinanderschaltung** oder als **Reihenschaltung**. Sie ist für den gleichzeitigen Betrieb mehrerer Glühlampen nicht geeignet.

Sollen die Lampen mit voller Lichtstärke leuchten, so muß an jeder Lampe die volle Netzspannung liegen. Dies erreicht man durch eine Stromverzweigung, wie sie in Abb. 67 wiedergegeben ist. Da die einzelnen Stromzweige sozusagen parallel zueinander liegen, trägt eine solche Schaltung den Namen **Parallelschaltung**.

Sollen mehrere Lampen oder andere Stromverbraucher gleichzeitig von derselben Spannungsquelle gespeist werden, so sind sie parallel zu schalten.

Ein Beispiel für eine Reihenschaltung bietet die Abb. 63. Die beiden Schalter liegen mit der Lampe in Reihe. In Abb. 64 sind die einzelnen Lampen zur Lampengruppe und die Lampen der Gruppe untereinander parallel geschaltet.

Da bei Parallelschaltung die Lampen mit voller Lichtstärke leuchten, ist der Strom stärker, als wenn nur eine Lampe im Stromkreis liegt. Beim Hinzuschalten weiterer Lampen oder anderer Stromverbraucher nimmt die Stromstärke immer mehr zu, bis sie schließlich die Sicherungsgrenze erreicht.

4. Der elektrische Lichtbogen. Man klemmt in zwei Fußklemmen zwei Kohlestifte in waagerechter Lage so ein, daß sie sich nicht berühren. Die Fußklemmen verbindet man mit den Polen einer Spannungsquelle von etwa 20 V (Abb. 68). Man verschiebt die Fußklemmen so, daß sich die Kohlestifte mit ihren Spitzen berühren. Zieht man diese dann ein wenig auseinander, so strahlen sie helles Licht aus. Sie sind durch ein Lichtband miteinander verbunden, das man als einen **Lichtbogen** bezeichnet. Dieser besteht aus

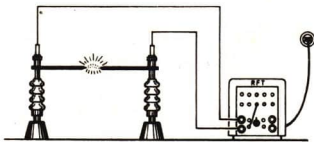


Abb. 68. Versuchsanordnung zur Erzeugung eines elektrischen Lichtbogens



Pawel Nikolajewitsch
Jablotschkow (1847–1894)

glühenden Kohledämpfen. Er leitet den elektrischen Strom und überbrückt den Raum zwischen den Kohlestäben. Es kommt im Lichtbogen zu einer außerordentlichen Wärmeentwicklung, unter deren Einfluß die Enden der langsam verbrennenden Kohlestifte erglühen. Es werden im Lichtbogen Temperaturen bis zu 3500°C erreicht.

Der erste, der diese Erscheinung im Jahre 1803 näher beschrieb, war der russische Gelehrte *Wassili Wladimirowitsch Petrow*¹. Eine Lampe, bei der der elektrische Lichtbogen als Lichtquelle verwendet wurde, konstruierte der russische Ingenieur *Pawel Nikolajewitsch Jablotschkow*². Man nannte diese Lampen elektrische *Bogenlampen*. Sie wurden auf der Pariser Weltausstellung im Jahre 1878 zum ersten Male praktisch ver-

wendet. Heute sind elektrische Bogenlampen nur noch selten in Gebrauch, da es in den letzten Jahrzehnten gelungen ist, Glühlampen zu entwickeln, die ihnen an Helligkeit nahezu gleichkommen.

Der elektrische Lichtbogen hat eine große technische Bedeutung als Wärmequelle erlangt. Er wird beispielsweise zum Schweißen benutzt. *Das elektrische Schweißen* wird überall von unseren Werk tätigen beim Bau von Maschinen, beim Schiffsbau, beim Brückenbau und bei anderen Montagearbeiten angewendet. Mit Hilfe eines elektrischen Lichtbogens werden die zusammenschweißenden Eisenteile so stark erhitzt, daß sie erweichen (Abb. 69).

Der Lichtbogen entsteht zwischen dem Werkstück und einem Eisenstab, der mit einer isolierten Zange gehalten wird. Von dem glühenden Eisenstab schmilzt etwas Eisen ab, das die Fuge zwischen den Eisenteilen ausfüllt, die zusammengeschweißt werden sollen. Sie haften dann nach dem Erkalten fest



Abb. 69. Elektroschweißen eines Kesselbodens im EKM Dampfkesselbau Meerane VEB nach dem durch den Schweißingenieur Gerhard Bauch entwickelten Bündelschweißverfahren. Statt eines einzelnen dicken Eisendrahtes wird ein Bündel dünner Eisendrahte verwendet. Hierdurch wird das zur Verfügung stehende Material besser ausgenutzt. Der Schweißer blickt durch eine davorgehaltene Kappe. Diese enthält zum Verhüten der Blendung eine Scheibe aus dunkelblauem Glas.

¹ Wassili Wladimirowitsch Petrow (1762–1834), ein bedeutender russischer Physiker, Mitglied der russischen Akademie der Wissenschaften, erkannte als erster die Bedeutung der Elektrolyse.

² Pawel Nikolajewitsch Jablotschkow (1847–1894), russischer Erfinder, schuf die nach ihm benannte Jablotschkow-Kerze, die erste Form einer Bogenlampe, die er 1876 in Paris patentieren ließ.

zusammen. Die Schweißstelle wird beim Schweißen von einem Strom mit einer Stärke von 200 A bis 300 A durchflossen. Die Spannung wird so geregelt, daß sie 20 V nicht übersteigt.

Ein anderes Beispiel für die technische Verwendung des Lichtbogens als Wärmequelle ist der *Elektrostahlofen* (vgl. Abb. 23). Er ist neben dem *Martinofen* und dem *Konverter* das wichtigste Hilfsmittel zur Stahlerzeugung, insbesondere zur Gewinnung von Qualitätsstählen. Im Elektrostahlofen wird unmittelbar Schrott zu Stahl verarbeitet. Der so gewonnene Stahl wird wiederum im Elektroofen zusammen mit Beimengungen anderer Metalle wie Chrom, Nickel, Mangan u. a. zu Edelstahllegierungen umgeschmolzen, die heute bei unserer hochentwickelten Industrie in großen Mengen gebraucht werden. Aus diesem Grunde hat die Elektrostahlerzeugung für unseren sozialistischen Aufbau eine große Bedeutung. Denn die Stahlproduktion bildet die Grundlage für die gesamte Produktionssteigerung in unserer Deutschen Demokratischen Republik. Nach dem Fünfjahrplan werden im Jahre 1955 3 Mill. t Rohstahl erzeugt werden. Ein beträchtlicher Teil davon wird in den Elektrostahlöfen unserer Hüttenwerke veredelt. Auch die Abb. 23 entstammt einem unserer volkseigenen Stahl verarbeitenden Werke.

Abb. 70 gibt die Anlage eines Elektrostahlofens schematisch wieder. Ein solcher Ofen besteht im wesentlichen aus einem geschlossenen, pfannenartigen Behälter. Dieser ist auf einem Fundament so gelagert, daß er nach der einen Seite hin gekippt werden kann. An dieser Seite befindet sich ein Füll- und Gießansatz. Die Wände sind innen mit einem feuerfesten Futter ausgekleidet. Von oben her ragen in den Ofenraum zwei oder drei armdicke Kohlestäbe hinein. Zwischen ihnen und dem in den Ofen gebrachten Eisen entstehen Lichtbögen, unter deren Wärmewirkung das Roheisen schmilzt.

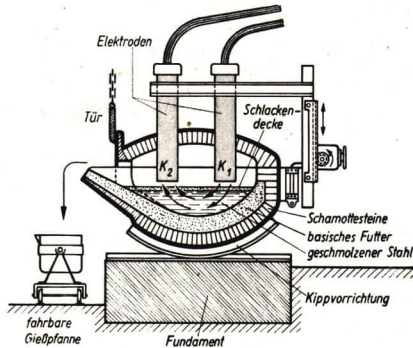


Abb. 70. Schnitt durch einen Elektroofen (schematisch). Der Strom fließt von der Kohle K_1 durch das Schmelzgut zur Kohle K_2 oder umgekehrt.

5. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Was bedeuten die entweder am Sockel einer Glühlampe oder auf dem Glaskörper befindlichen Angaben 220 V bzw. 110 V?
2. Gib den Stromweg in einer elektrischen Glühlampe an! Fertige eine schematische Zeichnung dazu an!
3. Aus welchem Grunde müssen die Fassungen der Glühlampen berührungssicher sein?

4. Fertige die schematische Zeichnung eines Drehschalters, eines Kippschalters an!
5. Stelle aus starker Pappe, etwas Draht und Blech das Modell eines Drehschalters her und verbinde es mit einem Akkumulator und einer kleinen Glühlampe zu einem Stromkreis (vgl. Abb. 62)!
6. Fertige eine Schaltskizze für eine Lampenanlage an, die mit zwei Wechselschaltern ausgestattet ist!
7. Zeichne die Schaltskizze einer Serienschaltung für zwei Lampengruppen, die aus je zwei Lampen bestehen!
8. Alle technischen Schalter sind mit federnden Kontakten versehen, die beim Öffnen den Stromkreis ruckartig unterbrechen, so daß kein Lichtbogen entsteht. Aus welchem Grunde muß das Entstehen eines Lichtbogens verhindert werden?

§ 10. Die Sicherung elektrischer Anlagen

1. Die Schmelzsicherung. Ein Leiter erwärmt sich um so mehr, je stärker der Strom ist, von dem er durchflossen wird. Es müssen daher Maßnahmen getroffen werden, die eine übermäßige Erwärmung der Leitungsdrähte verhindern, damit kein Schaden angerichtet wird. Man baut in jede elektrische Leitungsanlage *Sicherungen* ein. Meist verwendet man dazu die allgemein bekannte *Schmelzsicherung*, kurz *Sicherung* genannt (Abb. 71). Die Sicherung ist aus Porzellan gefertigt und ist innen hohl. Sie ist mit feinem Sand gefüllt. Durch diesen führt ein dünner Draht oder ein schmaler Streifen aus einer sehr dünnen Metallfolie, der sowohl am Fußende wie am Kopf der Sicherung in zwei Kontakten endet (Abb. 72).

Die Sicherung wird in eine ebenfalls aus Porzellan bestehende *Schraubfassung* eingeführt und mittels eines Deckels festgeschraubt (Abb. 73). Dabei drückt der Fußkontakt gegen eine im Gehäuse befindliche Kontaktplatte; der Kopfkontakt steht mit dem Metallgewinde des Deckels und dadurch auch mit dem Gewinde des



Abb. 71
Schmelzeinsatz einer
Schmelzsicherung



Abb. 72. Geöffneter Schmelzeinsatz. Man sieht neben der Metallfolie noch einen sehr dünnen Draht, der ein in die Kopfplatte eingebettetes Metallplättchen festhält. Er schmilzt gleichzeitig mit der Metallfolie durch.

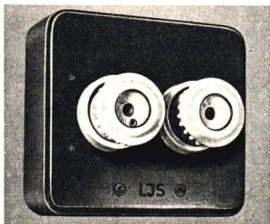


Abb. 73
Schmelzsicherungen im Gehäuse. Der linke
Schmelzeinsatz ist durchgebrannt.

Gehäuses in leitender Berührung. Auf diese Weise wird durch die im *Schmelzeinsatz* befindliche Metallfolie eine leitende Verbindung zwischen den Enden der Leitungsdrähte hergestellt, die mit der Kontaktplatte und mit dem Gewinde des Gehäuses fest verschraubt sind (Abb. 74).

Fließt durch die Sicherung ein stärkerer Strom, als er der Belastbarkeit der Sicherung entspricht, so schmilzt die in der Sicherung befindliche Metallfolie und verbrennt. Der Sand, in den sie eingebettet ist, erstickt sofort die Flamme und beseitigt jede Gefahr. Die Leitung wird dabei unterbrochen und stromlos.

Ist eine Sicherung durchgebrannt, so wird dies durch ein farbiges Blättchen angezeigt, das in der Technik als *Unterbrechungsmelder* bezeichnet wird. Es ist in einer Vertiefung der Kopfplatte des Schmelzeinsatzes eingebettet und fällt beim Durchbrennen heraus (vgl. Abb. 73).

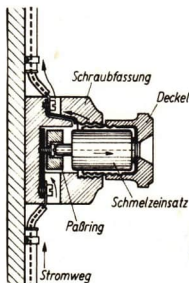


Abb. 74. Stromweg in einer Schmelzsicherung: Kontaktplatte — Fußkontakt — Schmelzstreifen — Kopfkontakt — Gewinde des Deckels — Gewinde des Gehäuses

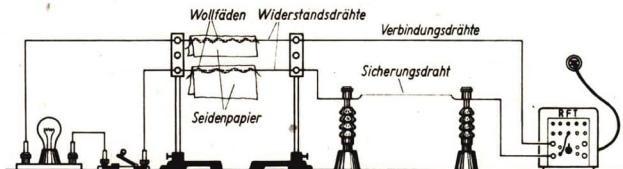


Abb. 75. Die Wirkungsweise einer Sicherung (Modellversuch)

Will man die Leitung wieder betriebsfähig machen, so beseitigt man die Ursache für den Kurzschluß und ersetzt den durchgebrannten Schmelzeinsatz durch einen neuen.

Die Wirkungsweise der Sicherung veranschaulicht folgender Versuch (Abb. 75).

Zwischen zwei mit Klemmschrauben versehene Halter werden zwei blanke Widerstandsdrähte mit einem Durchmesser von etwa 0,4 mm als Leitungsdrähte ausgespannt. An dem einen Ende sind sie durch eine für eine Spannung von 16 V genommene Glühlampe verbunden. Um die blanken Drähte werden als leicht-entzündlicher Stoff einige Wollfäden gewickelt, über die man noch zwei Streifen aus Seidenpapier legt. In der von der Stromquelle herkommenden Zuleitung liegt zwischen zwei Fußklemmen ein ganz dünner Draht (Durchmesser etwa 0,1 mm), der die Sicherung darstellt.

Legt man an die Eingangsklemmen eine Spannung von 16 V, so fließt durch die Drahtleitung ein Strom; die Lampe leuchtet hell. Wir stellen absichtlich einen Kurzschluß her, indem wir die Klemmschrauben der Lampe durch einen dicken Draht verbinden. Der dünne Draht erwärmt sich so stark, daß er zu glühen anfängt und durchbrennt. Der Stromkreis wird dadurch unterbrochen.

Will man die Lampe wieder zum Leuchten bringen, müßte man eigentlich einen neuen Sicherungsdraht anbringen. Statt dessen schließen wir aber die Lücke zwischen den Fußklemmen durch ein Verbindungskabel. Wir schalten den Strom wieder ein und schließen die Lampe von neuem kurz. Nach kurzer Zeit fangen die Leitungsdrähte selbst an zu glühen. Die Wollfäden und die darübergelegten Papierstreifen verbrennen.

Wir entnehmen aus diesem Versuch, wie gefährlich es ist, wenn man durchgebrannte Sicherungen durch Drähte überbrückt. Schwere Brandschäden können die Folgen eines solchen Verhaltens sein.

Das Überbrücken von Sicherungen durch Drähte oder, wie man auch sagt, das Flicken von Sicherungen ist verboten!

Die Sicherungen sind je nach der zulässigen höchsten Beanspruchung genormt auf eine Belastung mit 6 A, 10 A, 15 A, 20 A, 25 A. Jeder Sicherungsnorm ist ein Fuß von ganz bestimmtem Durchmesser zugeordnet. Damit die Schmelzeinsätze nicht beliebig ausgewechselt werden können, werden in die Sicherungshäuser *Paßringe* eingeschraubt, in die die Füße der Schmelzeinsätze gerade hineinpasse. In Wohnungen genügt meist eine Sicherung von 6 A bzw. 10 A. Kleinere Häuser werden mit 15 A abgesichert. In großen Häusern, die viele Wohnungen enthalten, werden für die Hauptsicherung Schmelzeinsätze von 20 A bzw. 25 A verwendet. In industriellen und landwirtschaftlichen Anlagen werden Hauptsicherungen mit einer noch höheren Belastungsgrenze eingebaut.

2. Automatische Sicherungen. An Stelle von Schmelzsicherungen werden heute vielfach *automatische Sicherungen* verwendet, die man auch als *Selbstschalter* bezeichnet (Abb. 76). Im Innern des Gehäuses befindet sich ein Druckkontakt, durch dessen Betätigung der Stromschluß hergestellt wird. Eine *Sperrklinke* hält den Druckknopf in der Kontaktstellung fest (Abb. 77). Der Strom durchfließt einen im Innern



Abb. 76. Automatische Sicherung, hergestellt von einem Werk der IKA

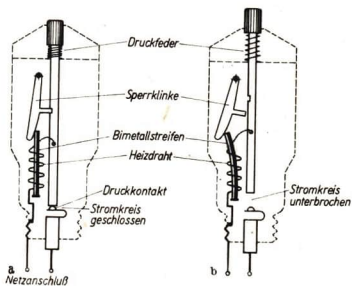


Abb. 77. Längsschnitt durch eine automatische Sicherung (weitgehend schematisiert) a) Schalter geschlossen, b) Schalter geöffnet. Die Wiedergabe des Druck- und Sperrmechanismus ist stark vereinfacht und weicht von der Wirklichkeit in wesentlichen Punkten ab. Der in Abb. 76 sichtbare kleine Auslöseknopf ist im Schema fortgelassen.

des Automaten befindlichen Heizdraht, der durch seine Wärmeentwicklung auf einen *Bimetallstreifen* einwirkt. Übersteigt der Strom die zulässige Stärke, so krümmt sich der Bimetallstreifen so stark, daß er die Klinke aus der Sperrstellung drückt. Der Kontakt wird dadurch ausgelöst, der Druckknopf springt heraus; der Strom ist im gleichen Augenblick unterbrochen.

Will man den Stromkreis willkürlich öffnen, so drückt man einen seitlich befindlichen kleinen Auslöseknopf hinein, wodurch ebenfalls die Sperrvorrichtung ausklinkt. Solche Sicherungsautomaten haben den Vorzug, daß bei etwa eintretenden Selbstauschaltungen der Stromkreis durch einfaches Hineindrücken des Druckknopfes jederzeit wieder geschlossen werden kann, sofern die Ursache für das Selbstauschalten behoben ist. Andernfalls springt die Klinke wieder aus der Sperrstellung.

3. Regeln für den Umgang mit elektrischen Anlagen. Nicht nur Brand- und Sachschäden können durch das unsachgemäße Umgehen mit elektrischen Geräten verursacht werden. Leichtsinn und Fahrlässigkeit bei der Benutzung elektrischer Anlagen können unter Umständen auch zu schweren gesundheitlichen Schäden führen, ja sogar eine Lebensgefahr bedeuten. Unter allen Umständen muß bei der Benutzung von elektrischen Geräten verhütet werden, daß ein Strom durch den menschlichen Körper fließt. Der mit elektrischen Geräten arbeitende Mensch darf auf keinen Fall mit spannungsführenden Leiterteilen in Berührung kommen. Es hat sich herausgestellt, daß bereits Spannungen von 42 V gefahrbringend sein können.

Beachte beim Arbeiten mit elektrischen Geräten folgende *Regeln*:

1. Das Vorhandensein von Sicherungen im Leitungsnetz befreit den Benutzer elektrischer Geräte nicht von der Verpflichtung, seine Geräte in Ordnung zu halten und sie sachgemäß zu gebrauchen.
2. Als Schalter, Steckdosen, Stecker und dergleichen sind nur solche Erzeugnisse zu verwenden, die ein unbeabsichtigtes wie ein absichtliches Berühren der leitenden Teile unmöglich machen. Insbesondere muß das einpolige Einführen von Steckern in Steckdosen ausgeschlossen sein (Abb. 78).
3. Das Bilden von Schlingen, Knoten oder gar Knicken in den Anschlußschnüren ist zu vermeiden. Es führt leicht zu einer Beschädigung der Isolierung und zum Entstehen von Bruchstellen. Dadurch können Kurzschlüsse verursacht werden.
4. Damit die Befestigungen der Anschlußschnüre in den Steckern nicht gelockert und die Isolierungen der Schnüre nicht beschädigt werden,



Abb. 78. Steckdose mit Wulst zum Verhindern des einpoligen Einsteckens

darf man Anschlußschnüre niemals an den Schnüren aus der Steckdose ziehen. Man fasse dabei die Porzellan- oder Preßstoffteile der Stecker selbst an!

5. Schalter und Steckdosen dürfen nicht als Aufhängevorrichtung verwendet werden!
6. Beschädigte Schalter, Steckdosen, Stecker und andere Geräte dürfen nur durch einen Fachmann ausgebessert bzw. durch neue ersetzt werden.
7. Beim Beseitigen von Schäden in der Leitung und an Geräten, ja schon beim Auswechseln einer Glühbirne, sind die Sicherungen herauszudrehen oder der Selbstschalter auszulösen.
8. Da Feuchtigkeit die Leitfähigkeit der menschlichen Haut erhöht, ist unter allen Umständen das Berühren elektrischer Geräte mit feuchten Händen zu vermeiden. Schalter, Lampenfassungen, Steckdosen und dergleichen dürfen niemals mit einem feuchten Tuch abgewischt werden.
9. Lichtschalter und Steckdosen dürfen in der Küche nicht in der Nähe von Wasserleitungen angebracht werden.

In Räumen, in denen elektrische Anlagen der Einwirkung feuchter Luft ausgesetzt sind, etwa in Badezimmern, Waschküchen und Ställen, dürfen nur solche Leitungen, Schalter und Lampen verlegt werden, die gegen Feuchtigkeit besonders geschützt sind.

10. Grundsätzlich darf man unter Spannung stehende elektrische Geräte und andere metallische Körper nicht gleichzeitig berühren.

So soll man nicht in der einen Hand ein elektrisches Bügeleisen halten und mit der anderen Hand beispielsweise einen Gashahn verstellen. Ebenso falsch ist es, mit der einen Hand einen elektrischen Kochtopf zu berühren und etwa mit der anderen Hand an der Wasserleitung zu drehen. In allen solchen Fällen besteht die Möglichkeit, daß bei vorhandenen Geräteschäden ein elektrischer Strom vom Gerät durch den Körper zur Erde fließt.

Man mache es sich zur Regel, das benutzte elektrische Gerät abzustellen, den Stecker herauszuziehen und dann erst die Wasserleitung bzw. die Gasleitung anzufassen.

4. Die Bedeutung der Normung. An dem Beispiel der Schmelzsicherung wird die Bedeutung der *Normung* besonders offensichtlich. Es wäre mit dem Zweck der Sicherung unvereinbar, wenn die Wahl der Abmessung der Schmelzeinsätze dem einzelnen Herstellerwerk oder gar dem Verbraucher überlassen würde. Außerdem bedeutet die Beschränkung der Einzeltypen für den Hersteller, für den Verkäufer und für den Verbraucher eine erhebliche Vereinfachung. Dies gilt nicht nur für Schmelzsicherungen, sondern überhaupt für fast alle Industrieerzeugnisse.

Man ist daher seit etwa 50 Jahren dazu übergegangen, für industrielle Halb- und Fertigwaren Normen einzuführen, die die Formen, die Abmessungen, die Eigenschaften und die Zusammensetzungen der Erzeugnisse und ähnliches festlegen. Für unseren Aufbau ist die Weiterentwicklung der Normen von größter Bedeutung. Denn die Normung und die damit verbundene Beschränkung der Typen-

zahl führt notwendigerweise zu einer Vereinfachung der Herstellung, zu einer Verringerung des Arbeitsaufwandes, zu einer erheblichen Materialersparnis und Produktionssteigerung. Es senken sich dadurch die Betriebskosten; es vereinfacht sich die Lagerhaltung.

5. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Aus welchem Grunde müssen in jede elektrische Anlage Sicherungen eingebaut werden?
2. Was bedeuten die Angaben 5 A, 10 A, 15 A usw. auf den Schmelzeinsätzen einer Sicherung?
3. Fertige die Schnittzeichnung eines Schmelzeinsatzes an!
4. Warum dürfen sich spannungsführende Teile in einer elektrischen Leitung nicht berühren?
5. Erläutere die Wirkungsweise einer automatischen Sicherung!
6. Begründe die in Abschnitt 3 angeführten Regeln! Welche Folgen hat ihre Nichtbeachtung im einzelnen?
7. Welche Vorteile ergeben sich aus der Normung von Industrieerzeugnissen und anderen Dingen?
8. Gib Beispiele für genormte Gegenstände an, die heute allgemein im Gebrauch sind, und begründe an diesen Beispielen die Vorteile der Normung!

§ 11. Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes

Bei den chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes sind chemische und physikalische Vorgänge eng miteinander verknüpft. Über die rein chemischen Vorgänge erfahren wir Näheres im chemischen Unterricht. Wir beschränken uns hier auf die Untersuchung der physikalischen Zusammenhänge. Als einfachstes Beispiel betrachten wir zunächst die Zersetzung angesäuerten Wassers durch den elektrischen Strom.

1. Die elektrische Leitfähigkeit des Wassers. Wir verbinden die Enden zweier Leitungsdrähte mit zwei einer Taschenlampenbatterie entnommenen Kohlestäbchen und stellen sie in ein Glas mit Wasser, so daß sie sich nicht berühren. Sie dienen zum Zu- und Ableiten des elektrischen Stromes und werden als *Elektroden*¹ bezeichnet. Wir schließen diese Elektroden durch Leitungsdrähte an eine Akkumulatorenbatterie mit einer Spannung von 12 V an. Dabei legen wir in den Stromkreis eine kleine Glühlampe und ein Amperemeter, damit wir sehen können, ob ein elektrischer Strom fließt und wie stark er ist (Abb. 79).

Führen wir den Versuch mit destilliertem Wasser

¹ hodós (griech.) = Weg, Elektrode = Elektrizitätsweg

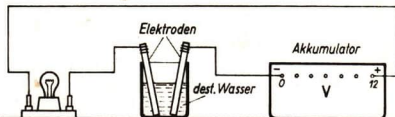


Abb. 79. Untersuchung der Leitfähigkeit des Wassers. Die Lampe leuchtet, wenn die Prü fzelle mit angesäuertem Wasser gefüllt ist.

durch, so leuchtet die Glühlampe nicht; ein empfindliches Strommeßgerät zeigt nur einen ganz geringen Ausschlag. Verwenden wir dagegen Leitungswasser, so leuchtet die Lampe schwach auf, das Strommeßgerät zeigt einen stärkeren Ausschlag.

Wir tauschen das empfindliche Meßgerät gegen ein weniger empfindliches aus und setzen dem Wasser allmählich verdünnte Schwefelsäure zu. Die Lampe gewinnt rasch ihre volle Leuchtkraft, der Strommesser schlägt kräftig aus. Die gleiche Erscheinung beobachtet man, wenn man dem Wasser andere Säuren oder Laugen beimengt oder Salze im Wasser auflöst.

Reines Wasser ist ein sehr schlechter Leiter. Seine Leitfähigkeit wird durch das Beimengen von Säuren, Laugen oder Salzen erhöht.

2. Die Zersetzung angesäuerten Wassers durch den elektrischen Strom – Der Gleichstrom. Wir ändern die Versuchsanordnung und schließen die Elektroden direkt, d. h. ohne Zwischenschalten einer Lampe bzw. eines Strommeßgerätes, an einen Akkumulator an. Die Elektroden dürfen sich auf keinen Fall dabei berühren, da sonst der Akkumulator durch eine zu starke Stromentnahme beschädigt werden kann. Wir füllen das Glas mit Wasser, dem etwas Schwefelsäure zugesetzt ist.

An beiden Elektroden ist eine lebhafte *Gasentwicklung* festzustellen. Dabei fällt auf, daß die Gasentwicklung an beiden Elektroden verschieden stark ist. Dies führt zu der Vermutung, daß es sich um verschiedene Gasarten handelt.

Um diese Frage nachzuprüfen, fangen wir die Gase, die an den beiden Elektroden aufsteigen, getrennt auf. Die Enden der Drähte werden umgebogen, so daß die Elektroden aufrecht stehen. Am einfachsten benutzt man als Elektroden zwei kurze Kohlestäbchen. Wir tauchen sie vollständig unter und stülpen zwei mit angesäuertem Wasser gefüllte Reagenzgläser darüber. Diese dürfen keine Luftblasen enthalten. Sobald man den Stromkreis schließt, beginnt die Gasentwicklung. Wir stellen fest, daß sich über der mit dem negativen Pol der Akkumulatortablette verbundenen Elektrode etwa doppelt soviel Gas ansammelt wie über der anderen (Abb. 80). Das Versuchsergebnis kann infolge chemischer Zersetzung der Kohlestäbe und aus anderen Gründen stark von dem Verhältnis 2 : 1 abweichen.

Wir unterbrechen den Strom und verschließen das Glas, in dem sich die mit dem positiven Pol verbundene Elektrode befindet, mit dem Daumen. Dann nehmen wir das Glas aus dem Wasser heraus und drehen es um. Bringen wir einen glimmenden Span in das aufgefangene Gas, so glüht er hell auf und verbrennt. Wir erkennen daraus, daß sich an der positiv gepolten Elektrode *Sauerstoff* (O) abgeschieden hat. In ähnlicher Weise wird das an der negativen Elektrode ausgeschiedene Gas untersucht. Das Gas entzündet sich an einem brennenden Span und verbrennt mit schwach bläulicher

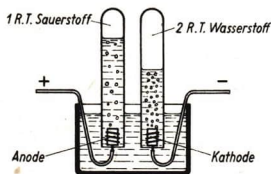


Abb. 80. Gasentwicklung aus angesäuertem Wasser in einer Zersetzungszelle. Es scheiden sich in gleichen Zeiten 2 Raumentelle (R.T.) Wasserstoff und 1 Raumentell Sauerstoff ab.

Flamme. Es erweist sich somit als *Wasserstoff* (H). (Vorsicht! Knallgasbildung bei Zutritt von Sauerstoff zum Wasserstoff!)

Die Tatsache, daß die Arten der sich entwickelnden Gase in bestimmter Weise den beiden Elektroden zugeordnet sind, ist ein Beweis dafür, daß der einem Akkumulator entnommene Strom immer in derselben Richtung fließt.

Zur besseren Unterscheidung der beiden Elektroden hat man für diese besondere Namen eingeführt. Nach der in § 7,5 getroffenen Festsetzung der technischen Stromrichtung tritt der Strom bei der mit dem positiven Pol verbundenen Elektrode in die Zersetzungszelle ein. Diese Elektrode heißt *Anode*¹. Die mit dem negativen Pol verbundene Elektrode trägt den Namen *Kathode*².

Einen Strom, der in einem Stromkreis dauernd in der gleichen Richtung fließt, nennt man einen Gleichstrom. Die Spannung, die ihn hervorruft, heißt Gleichspannung.

Die Spannung eines Akkumulators ist eine Gleichspannung, der aus ihm entnommene Strom ein Gleichstrom. Dasselbe gilt für alle galvanischen Elemente. Wir merken uns:

Durch Gleichstrom werden aus angesäuertem Wasser die chemischen Bestandteile des Wassers als Gase abgeschieden. Es werden an der Anode ein Raumteil Sauerstoff, an der Kathode zwei Raumteile Wasserstoff frei.

Einen solchen Vorgang, bei dem Bestandteile einer chemischen Verbindung aus dieser durch den elektrischen Strom ausgeschieden werden, bezeichnet man als *Elektrolyse*.

Zu genauen Messungen verwendet man statt der einfachen Zersetzungszelle ein *Wasserzersetzungsgesäß* (Abb. 81). Die beiden seitlichen, oben mit Hähnen verschlossenen Röhren enthalten unten je eine Elektrode aus Platin oder Kohle und sind mit einer Kubikzentimeterteilung versehen. Die mittlere Röhre dient zum Einfüllen der Flüssigkeit.

3. Die Unterscheidung der beiden Pole einer Gleichspannungsquelle. Es erhebt sich die Frage, ob es möglich ist, bei einer Gleichspannungsquelle von vornherein festzustellen, welcher ihrer beiden Pole der positive und welcher der negative ist. Sehr brauchbar für diesen Zweck ist *Polreagenzpapier*. Es handelt sich um ein Saugpapier, das mit einer neutral reagierenden *Kaliumlösung*, meist Kalisalpeter, und mit *Phenolphthalein*, einer Kohlenstoffverbindung, getränkt ist.

¹ Anode (aus dem Griechischen) = Aufweg, Eintrittsstelle des Stromes

² Kathode (aus dem Griechischen) = Abweg, Austrittsstelle des Stromes

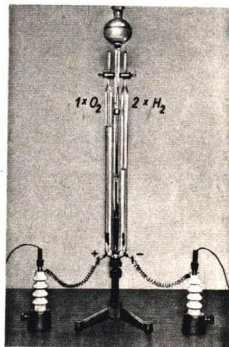


Abb. 81. Wasserzersetzungsgesäß im Gleichstromkreis. Die seitlichen Röhren tragen eine Kubikzentimeterteilung und ermöglichen die genaue Feststellung der entwickelten Gas mengen. An der Kathode entstehen zwei Raumteile Wasserstoff, an der Anode ein Raumteil Sauerstoff.

Man legt einen angefeuchteten Streifen Polreagenzpapier auf eine Glasscheibe und drückt zwei Bananenstecker dagegen, die man mit Drähten an die Pole eines Akkumulators angeschlossen hat. Man beobachtet, daß sich das Papier unter dem mit dem *negativen Pol* der Batterie verbundenen Stecker rot färbt (Abb. 82). Unter dem Bananenstecker, der mit dem positiven Pol verbunden ist, verfärbt sich das Papier dagegen nicht. Man kann auf diese Weise leicht die Verteilung der Pole einer Gleichspannungsquelle feststellen.

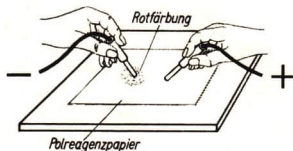


Abb. 82. Rotfärbung von angefeuchtetem Polreagenzpapier am negativen Pol einer Gleichspannungsquelle

Kennzeichen der Pole einer Gleichspannungsquelle:

positiver Pol: *keine Verfärbung* des Polreagenzpapiers,

negativer Pol: *Rotfärbung* des Polreagenzpapiers.

Diese Erscheinung beruht auf einem elektrolytischen Vorgang. Es entwickelt sich aus dem Kaliumsalz an der Kathode *Kaliumlauge*, die das Phenolphthalein rot färbt. Man kann auf diese Weise mit Sicherheit an einer Gleichspannungsquelle den positiven vom negativen Pol unterscheiden.

Wir halten nunmehr die beiden an den Akkumulator angeschlossenen Bananenstecker parallel dicht nebeneinander, so daß sich die Metallteile nicht berühren, und ziehen sie mit gleichmäßigem Druck über feuchtes Polreagenzpapier hinweg. Der mit dem negativen Pol verbundene Bananenstecker hinterläßt dabei auf dem Papier einen *roten Strich* (Abb. 83).

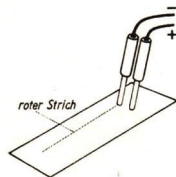


Abb. 83. Bewegt man zwei mit einer Gleichspannungsquelle verbundene Bananenstecker über angefeuchtetes Polreagenzpapier hinweg, so entsteht an dem negativ gepolten Bananenstecker eine rote Strichspur.

4. Der Wechselstrom. Die meisten Stromnetze führen heute keinen Gleichstrom mehr, sondern einen Strom, den man als **Wechselstrom** bezeichnet. Wir wenden wieder Polreagenzpapier an, um die Pole der Steckdose eines Wechselstromnetzes (220 V) zu untersuchen. An jeden Pol der Steckdose schließen wir je einen isolierten Leitungsdraht an, der an beiden Enden mit Bananensteckern versehen ist. Um jede Gefahr eines Kurzschlusses oder einer gesundheitlichen Schädigung auszuschließen, legen wir in die Leitung eine elektrische Glühlampe. Wie bei dem im vorigen Abschnitt beschriebenen Versuch halten wir die freien Bananenstecker parallel dicht nebeneinander und ziehen sie mit gleichmäßigem Druck über angefeuchtetes Polreagenzpapier hinweg. Im Gegensatz zum ersten Versuch entsteht jetzt nicht nur bei einem Bananenstecker eine rote Linie, sondern beide Bananenstecker erzeugen eine solche Spur, die aber in eine *Reihe roter Punkte* zerlegt ist (Abb. 84).

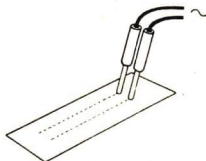


Abb. 84. Bewegt man zwei an ein Wechselstromnetz angeschlossene Bananenstecker über das angefeuchtete Polreagenzpapier hinweg, so entstehen zwei Punktreihen.

Beide Punktreihen sind gegeneinander so verschoben, daß ein Punkt der einen Reihe neben einer Lücke in der anderen Reihe liegt. Wir schließen daraus, daß die Pole einer Wechselstromsteckdose ihr Vorzeichen fortlaufend wechseln.

Entnimmt man aus einer an ein Wechselstromnetz angeschlossenen Steckdose einen Strom, so fließt dieser nicht wie bei einer Akkumulatorenbatterie immer in der gleichen Richtung. Er wechselt in schneller zeitlicher Folge seine Richtung, so daß jede der beiden Elektroden in schnellem Wechsel als Anode und als Kathode wirkt.

Einen Strom, der schnell und regelmäßig seine Richtung wechselt, bezeichnet man als Wechselstrom und die Spannung, die ihn erzeugt, als Wechselspannung.

Noch deutlicher tritt der Richtungswechsel des Stromes hervor, wenn man einen *Polsucher* verwendet, den man in der Elektrotechnik bei Leitungsarbeiten oft benutzt. Er enthält eine zylindrische, fast luftleer gepumpte Röhre, in der sich ein wenig *Neongas* befindet. Von den Enden her ragen in diese Röhre als Elektroden zwei Drahtstifte 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, die Kathode, mit rötlichem *Glimmlicht*. Die andere Elektrode bleibt dunkel.

Man legt nunmehr an eine Wechselspannungssteckdose ein Verlängerungskabel und schließt an das Kupplungsstück den Polsucher an. Deutlich ist zu erkennen, daß beide Elektroden der Glimmröhre mit Glimmlicht überzogen sind. Man hat den Eindruck, daß beide Elektroden gleichzeitig glimmen. Bewegt man aber den senkrecht nach oben gehaltenen Polsucher mit der Hand schnell hin und her, so sieht man ein *gezacktes Lichtband*, das aus abwechselnd nach oben und nach unten gerichteten, *leuchtenden Feldern* besteht (Abb. 85). Man kann hieraus wieder auf den regelmäßigen Wechsel der Pole in der Steckdose schließen.

In den meisten Stromnetzen arbeitet man heute mit Wechselspannungen und mit Wechselströmen. Gleichstromnetze sind nur noch verhältnismäßig selten anzutreffen und haben rein örtliche Bedeutung. Auf die großen Vorteile des Wechselstromes gegenüber dem Gleichstrom werden wir an einer anderen Stelle des Buches eingehen. In der Regel fließt der Wechselstrom in der Sekunde fünfzigmal hin und her; das sind 100 Stromrichtungswechsel in der Sekunde.

Das bereits in § 6,2 erwähnte Stromversorgungsgerät des volkseigenen RFT-Funkwerkes Zittau-Olbersdorf ermöglicht sowohl die Entnahme von Gleichströmen als auch von Wechselströmen.

5. Kennzeichnung elektrischer Geräte. Alle elektrischen Geräte, die nur mit einer bestimmten Stromart betrieben werden können, tragen neben der Angabe der Netzanschlußspannung ein Zeichen für die erforderliche Stromart.

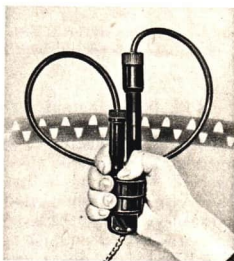


Abb. 85. Polsucher. Das Lichtband, das beim Bewegen eines an ein Wechselstromnetz angeschlossenen Polsuchers erscheint ist nachträglich hineingezeichnet.

- Das Zeichen — bedeutet: Das Gerät darf nur an Gleichspannung angeschlossen werden. — Gleichstromgerät.
- Das Zeichen \sim bedeutet: Das Gerät darf nur an Wechselspannung angeschlossen werden. — Wechselstromgerät.
- Das Zeichen \approx bedeutet: Das Gerät kann mit Gleichspannung wie mit Wechselspannung betrieben werden. Solche Geräte bezeichnet man als Allstromgeräte.

Diese Zeichen sind im allgemeinen auf der Rückseite jedes Rundfunkgerätes und auf den Leistungsschildern von Motoren zu finden. Sie müssen unbedingt beachtet werden, da ein Anschluß an eine falsche Stromart zur Beschädigung der Geräte führen kann.

Die Wärmegeräte und Glühlampen tragen keine Kennzeichen für die Stromart, da sie mit beiden Stromarten betrieben werden können. Hier ist nur auf die Netzanschlußspannung zu achten.

6. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Ein Strom von 1 A scheidet bei 0° C und einem Druck von 760 mm Hg in einer Sekunde etwa 7 cm³ Wasserstoff aus angesäuertem Wasser ab. Wieviel Wasserstoff und wieviel Sauerstoff werden in 12 Sekunden, in 15 Minuten entwickelt?
2. In einem Wasserzersetzungsgesetzgerät nach Abb. 81 werden von einem Gleichstrom an der Kathode in 5 Minuten 17,4 cm³ Wasserstoff ausgeschieden. Wie groß ist die Stromstärke?
3. Stecke die blanken Enden zweier Drähte, die an eine Akkumulatoren-batterie angeschlossen sind, dicht nebeneinander in die Schnittfläche einer rohen Kartoffel! Was kann man an den beiden Polen beobachten?
4. Wir halten einen Bleistift vor einem dunklen Hintergrund so in das Licht einer von Wechselstrom durchflossenen Glühlampe, daß er das Licht in unser Auge reflektiert. Was kann man beobachten, wenn man den Bleistift schnell hin und her bewegt? Wie ist diese Erscheinung zu erklären?
5. Die elektrische Wärmewirkung ist von der Stromrichtung unabhängig. Erkläre, warum elektrische Wärmegeräte mit Gleichstrom wie mit Wechselstrom betrieben werden können!

§ 12. Die Bedeutung der Elektrolyse für die Technik — Das Ampere

1. **Metallgewinnung durch Elektrolyse.** Am Beispiel der Elektrolyse des angesäuerten Wassers wurde erkannt, daß man durch den elektrischen Strom eine chemische Verbindung in ihre Bestandteile zerlegen kann. Ähnliche elektrolytische Vorgänge kann man bei allen wäßrigen Lösungen von Säuren, Laugen, Salzen und auch bei Salzschnmelzen beobachten. Die praktische Bedeutung der Elektrolyse liegt darin, daß man mit ihrer Hilfe einen bestimmten Stoff, meist ein Metall, aus seiner Verbindung, die sich in wäßriger Lösung befindet, ausscheiden kann. Die Elektrolyse wird technisch weitgehend zur *Metallgewinnung* nutzbar gemacht. Bei Metallen, von denen man wasserlösliche Verbindungen nicht herstellen kann, benutzt man zur Elektrolyse geschmolzene Salze oder Hydroxyde.

So gewinnt man heute Aluminium, Natrium und Kalium durch *Schmelzflußelektrolyse* aus ihren Oxyden bzw. aus ihren Hydroxyden, Magnesium aus geschmolzenen Magnesiumsalzen. Auch Reinkupfer (*Elektrolytkupfer*) wird durch Elektrolyse aus Rohkupfer (*Schwarzkupfer*) hergestellt (Abb. 86). Bei allen elektrolytischen Prozessen wandern die in der Lösung bzw. in der Schmelze befindlichen Metallteilchen in der technischen Stromrichtung und gelangen an der Kathode zur Ausscheidung.

2. Galvanotechnik. Eine hohe technische Bedeutung hat die Elektrolyse für die Herstellung von festhaftenden metallischen Überzügen zum Schutze leicht oxydierender Metalle erlangt. So wird das Vernickeln, Verchromen, Versilbern und Verkupfern von Eisen, Messing oder anderen Metallen heute ausschließlich elektrolytisch durchgeführt. Bekannt sind die verchromten oder vernickelten Teile der Fahrräder und Kraftwagen.

Das Herstellen eines solchen Metallüberzuges bezeichnet man als *Galvanostegie*. Das Verfahren spielt sich folgendermaßen ab: In einem Trog aus Holz, Steingut oder Glas befindet sich die Lösung eines Salzes des Metalls, aus dem der Überzug hergestellt werden soll. Die zu überziehenden Werkstücke hängen in der Lösung. Sie sind leitend mit dem Minuspol einer Gleichstromquelle verbunden und bilden mithin die Kathode. Als Anode werden für gewöhnlich Platten aus dem Metall, das den Überzug bilden soll, in die Gefäße gehängt (Abb. 87).

Beim Einschalten des Stromes beginnt an den Werkstücken, der Kathode, das Abscheiden des Metallüberzuges. In demselben Maße, wie sich das Metall an der Kathode aus der Salzlösung abscheidet, geht es an der Anode wieder in Lösung. Es wandert, wie schon in Abschnitt I erwähnt wurde, in der technischen Stromrichtung.

Auf ähnliche Weise werden *Galvanoplastiken* hergestellt. Man versteht darunter galvanisch hergestellte Nachbildungen metallischer und nichtmetallischer Gegenstände. Nichtleitende Formstücke werden vorher mit einer Graphitschicht überstäubt und dadurch leitend gemacht. Sie werden dann wie bei der Galvanostegie von einem

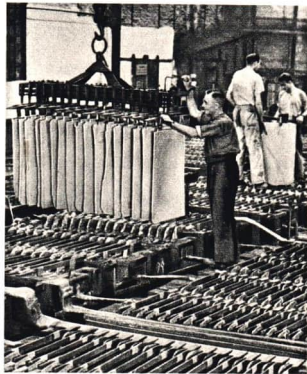


Abb. 86. Gewinnung von Reinkupfer durch Elektrolyse in der Ilsener Kupferhütte VEB. In großen, mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Trögen hängen in wechselnder Folge Platten aus Rohkupfer als Anode und Platten aus Elektrolytkupfer als Kathode. Eine Gruppe von Kathodenplatten wird gerade aus dem Bad gehoben.

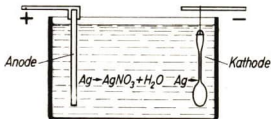


Abb. 87. Galvanisierungszelle. Die zu galvanisierenden Werkstücke sind mit der Kathode fest verbunden.

metallischen Überzug bedeckt. Dieser haftet nicht fest an der Form, sondern läßt sich von dieser abheben. Er wird zur Festigung mit Blei hintergossen. Dieses Verfahren hat für die Drucktechnik eine große Bedeutung erlangt. Denn die nach dem Ätzverfahren aus Zink hergestellten Druckstöcke für Bilder und Zeichnungen nutzen sich beim Drucken sehr schnell ab.

Man fertigt daher von den Druckstöcken zunächst *Matrizen* an, das sind Abdrucke aus Wachs oder einem anderen plastischen Material. Von diesen stellt man galvanoplastische Abzüge aus Kupfer her, die man als *Galvanos* bezeichnet (Abb. 88). Diese verwendet man statt der Druckstöcke. Auch die Erzeugung von *Elektroformen* für die Herstellung komplizierter Werkstücke mit genauer Maßeinhaltung erfolgt galvanotechnisch.



Abb. 88. Herausnehmen einer von einem Galvano überzogenen Matrize aus dem Galvanisierstrog. Der metallische Niederschlag ist deutlich erkennbar.

3. Das Ampere. Als Einheit der Stromstärke hatten wir in § 7,4 bereits das Ampere kennengelernt. Die Schwierigkeit der Ermittlung der Stromstärke liegt darin, daß die fließende Elektrizitätsmenge nicht wie die Menge eines anderen Stoffes in g oder in cm^3 angegeben werden kann. Aus den Wirkungen des elektrischen Stromes vermag man aber einen Schluß auf seine Stärke zu ziehen.

Die chemische Wirkung des Stromes hat sich hierfür als besonders zweckmäßig erwiesen. Bereits in den Abschnitten 1 und 2 dieses Paragraphen wurde festgestellt, daß bei einer Elektrolyse das an der Kathode zur Ausscheidung gelangende Metall mit dem Strom in der technischen Stromrichtung wandert. Man ist daher dazu übergegangen, an Stelle der fließenden Elektrizitätsmenge die Menge des mit dem Strom wandernden und an der Kathode abgeschiedenen Metalls zu messen.

Besonders geeignet für diesen Zweck ist *Silbernitrat*, ein Silbersalz der Salpetersäure (AgNO_3). Bei der Elektrolyse einer Lösung von Silbernitrat in Wasser scheidet sich an der Kathode metallisches Silber ab. Man benutzt die in einer Sekunde ausgeschiedene Silbermenge als Maß für die Stromstärke. Es ist international vereinbart worden:

Die Einheit der Stromstärke ist das Ampere (A).

Ein Strom hat die Stärke von einem Ampere, wenn er aus einer wäßrigen Silbernitratlösung in einer Sekunde 1,118 mg Silber ausscheidet.

In Deutschland wurde diese Festlegung im Jahre 1898 zum Gesetz erhoben.

Die uns merkwürdig erscheinende Zahl von 1,118 mg ist darauf zurückzuführen, daß die Einheit Ampere ursprünglich auf andere Weise, nämlich

im Zusammenhang mit den magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes festgesetzt worden ist.

Ein Strom ist doppelt so stark wie ein anderer Strom, wenn er in der gleichen Zeit die doppelte Menge Silber ausscheidet, dreimal so stark, wenn er in der gleichen Zeit die dreifache Menge Silber ausscheidet.

4. Strommeßgeräte. In der Praxis wäre die Strommessung mit Geräten, die auf der chemischen Wirkung beruhen, sehr umständlich. Darum hat man Meßgeräte entwickelt, deren Arbeitsweise auf der magnetischen Wirkung bzw. auf der Wärmewirkung beruht. Diese Geräte wurden bereits in § 7.4 als *Amperemeter* erwähnt (vgl. Abb. 38). Sie können so empfindlich gebaut werden, daß sie noch Ströme von Tausendstelampere anzeigen. Man nennt sie dann *Milliamperemeter*. Abb. 89 zeigt ein als Schalttafelgerät gebautes Amperemeter.

Bei dieser Gelegenheit sei darauf hingewiesen, daß Strommeßgeräte, Amperemeter, stets mit dem Stromverbraucher in Reihe geschaltet werden. Spannungsmesser, Voltmeter, werden immer zum Stromverbraucher parallel geschaltet (Abb. 90). Man sagt:

Amperemeter liegen im Hauptschluß, Voltmeter im Nebenschluß.

5. Fragen, Aufgaben:

1. Warum kann man für eine Elektrolyse nur Gleichstrom verwenden?
2. An welchen Pol muß ein Werkstück aus Messing oder Kupfer angeschlossen werden, wenn es versilbert werden soll?
3. Welche Silbermenge wird durch einen Strom von 2 Ampere in 1 Minute aus einer Silbernitratlösung abgeschieden?

§ 13. Akkumulatoren, galvanische Elemente, Batterien

1. Das Kupfer-Zink-Element. Zur Verwendung als kleine, bewegliche Spannungsquellen stellt die Elektroindustrie *elektrische Elemente* her. In einem Element befinden sich in einer Säure oder einer Salzlösung zwei Elektroden aus chemisch verschiedenen Stoffen.

Es laufen im Element chemische Vorgänge ab, die eine Gleichspannung hervorrufen und eine Stromentnahme ermöglichen. Ein besonders einfaches Beispiel



Abb. 89
Amperemeter (Schalttafelgerät)

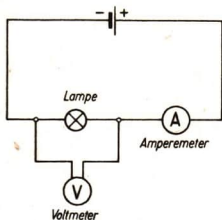


Abb. 90. Schaltbild eines Amperemeters und eines Voltmeters, die beide in einem Lampenstromkreis liegen. Das Amperemeter liegt im Hauptschluß, das Voltmeter im Nebenschluß.

eines solchen Elementes ist das *Kupfer-Zink-Element* (Abb. 91). Es ist als erstes Element von dem italienischen Physiker *Alessandro Volta* zusammengestellt worden (vgl. S. 24), hat aber heute für die Technik keine Bedeutung mehr.

Wir stellen in ein Glas mit verdünnter Schwefelsäure eine Zink- und eine Kupferplatte, die wir durch Leitungsdrähte mit einem Voltmeter verbinden. Zwischen den beiden Platten besteht eine Gleichspannung; das Voltmeter zeigt ungefähr 1 V an. Mit Hilfe von Polreagenzpapier erkennt man, daß die Zinkplatte negativ, die Kupferplatte positiv ist. Besteht die negative Platte aus chemisch reinem Zink, so bemerken wir, daß an der Kupferplatte Gasbläschen aufsteigen, sobald aus dem Element ein Strom entnommen wird. Es handelt sich um Wasserstoff.

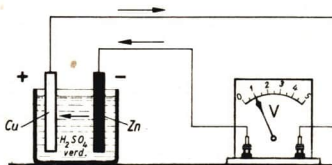


Abb. 91. Kupfer-Zink-Element

Wir wissen von der Elektrolyse des Wassers her, daß sich der Wasserstoff an der Austrittsstelle des Stromes aus der Flüssigkeit abscheidet. Man kann daraus folgern, daß im Element selbst ein Strom von der Zink- zur Kupferplatte fließt. Die *Austrittsstelle des Stromes* aus dem Kupfer-Zink-Element ist die *positive Kupferplatte*. Die Kupferplatte selbst bleibt unverändert. Die Zinkplatte löst sich allmählich auf.

Diese Erscheinungen zeigen uns, daß sich im Element chemische Vorgänge abspielen. Sie sind mit der Umlagerung von Elektronen verbunden und rufen eine elektrische Spannung hervor, die in einem geschlossenen Stromkreis einen elektrischen Strom auslöst.

Ein Element, das eine gleichbleibende Spannung behält, wenn man ihm keinen Strom entnimmt, ist das *Quecksilber-Kadmium-Normalelement*. Die Spannung dieses Elementes beträgt bei 0° C genau 1,0187 V. Man benutzt es, um danach die Skalen von Spannungsmessern in Volt einzuteilen.

2. Das Kohle-Zink-Element. Ein *Kohle-Zink-Element* verwendet man noch hier und da zum Betrieb von Klingelanlagen. Es ist folgendermaßen zusammengestellt: In einem Glasgefäß mit *Salmiaklösung* befindet sich ein *Zinkblechzylinder* (Abb. 92). In diesen ist ein *Kohlestab* hineingestellt, der von einem Beutel mit Braunsteinfüllung umhüllt ist. Der *Kohlestab* bildet den *Pluspol* des Elementes, der *Zinkmantel* den *Minuspol*, wie man durch Polreagenzpapier feststellen kann. Der Braunstein bindet den Wasserstoff, der sich bei Stromentnahme an dem positiven Kohlestab abscheidet, durch Sauerstoffabgabe chemisch zu Wasser.

Ähnlich arbeiten die Elemente in einer *Taschenlampenbatterie* (vgl. dazu Abschnitt 6). Damit sie in jeder Stellung verwendet werden können, dürfen sie keine flüssige Füllung enthalten.

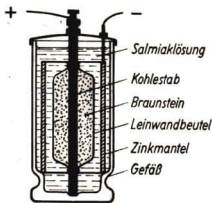


Abb. 92. Kohle-Zink-Element

Abb. 93 zeigt einen Schnitt durch ein Element einer Taschenlampenbatterie. Der Zinkmantel ist zu einem geschlossenen Gefäß ausgebildet. Oben ist er durch eine Pappscheibe und eine Vergußmasse geschlossen. Der Kopf eines Kohlestäbchens ragt mit einer Messingkappe heraus. Der Kohlestab ist wieder mit einem Braunsteinbeutel umgeben. Dieser Inhalt des Zinkzylinders ist mit einer verdickten Salmiaklösung durchtränkt. Man bezeichnet solche oder ähnliche Elemente auch als *Trockenelemente*. Sie haben eine Spannung von etwa 1,5 V.

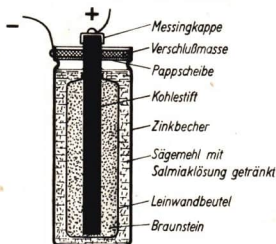


Abb. 93. Element einer Taschenlampenbatterie (schematische Schnittzeichnung)

3. Der Bleiakкумуляtor. Wir füllen ein Becherglas mit verdünnter Schwefelsäure und stellen zwei Bleiplatten (Größe etwa 2 cm × 10 cm) hinein, an denen oben Leitungsdrähte befestigt sind. An die Platten legen wir ein Amperemeter; wir können keinen Stromfluß feststellen. Nunmehr schließen wir die Bleiplatten an eine Gleichstromquelle mit einer Spannung von etwa 12 V an (Abb. 94). Wir benutzen dazu eine Akkumulatorenbatterie oder das Stromversorgungsgerät des RFT-Funkwerkes Zittau-Olbersdorf.

Sobald der Stromkreis geschlossen ist, beobachten wir an den Bleiplatten die uns schon bekannte Gasentwicklung, die bei der Zersetzung des angesäuerten Wassers auftritt. Schon nach wenigen Minuten bemerken wir eine Veränderung der an den Pluspol der Spannungsquelle angeschlossenen Anodenplatte. Sie überzieht sich mit einer braunen Schicht aus *Bleiodioxyd*, das sich durch Verbindung des aus der Säure fre werdenden Sauerstoffes mit dem Blei bildet. Die Kathodenplatte bleibt unverändert.

Nachdem sich die Anodenplatte ganz mit Bleiodioxyd überzogen hat, lösen wir die beiden Leitungsdrähte von der Stromquelle und schließen sie an eine für 1,8 V genormte Glühlampe an (Abb. 95). Die Lampe leuchtet ein paar Minuten lang auf. Zwischen der Bleiodioxydplatte und der Bleiplatte, die beide in der verdünnten Schwefelsäure stehen, herrscht jetzt eine elektrische Spannung; diese treibt einen Strom durch die Glühlampe.

Wir haben einen *Akkumulator*, einen *Energiespeicher*, in einfachster

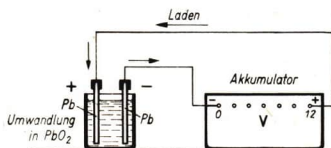


Abb. 94. Laden eines Akkumulators

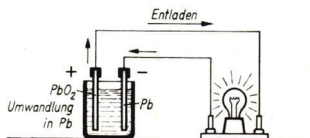


Abb. 95. Entladen eines Akkumulators. Der Entladestrom ist dem Ladestrom entgegengesetzt gerichtet.

Form vor uns. Mit Polreagenzpapier stellen wir fest, daß er eine Gleichspannung liefert und daß die ursprüngliche Kathodenplatte zum negativen Pol der kleinen Spannungsquelle geworden ist. Schließlich hört die Lampe auf zu leuchten, obwohl noch ein schwacher Strom durch sie hindurchfließt. Lassen wir den Stromkreis trotzdem noch ein paar Minuten geschlossen, so wird allmählich die Bleidioxidschicht zu Blei reduziert.

Wir entnehmen aus diesem Versuch:

Der durch den Akkumulator beim Laden fließende elektrische Strom verrichtet im Akkumulator chemische Arbeit. Beim Entladen laufen die chemischen Umwandlungen wieder rückwärts ab; es wird elektrische Arbeit gewonnen.

Diese Arbeit wird in den technischen Akkumulatoren nutzbar gemacht. Da Akkumulatoren als Energiespeicher wirken, tragen sie auch die Bezeichnung *Sammler*.

4. Das Laden und Entladen eines Akkumulators. Bleiakkumulatoren bestehen aus einem aus Glas oder aus säurefestem Preßstoff hergestellten Gefäß, in dem

sich verdünnte Schwefelsäure befindet. In die Säure sind zwei Plattengruppen eingetaucht, bei denen die einzelnen Platten durch *Polbrücken* untereinander verbunden sind (Abb. 96). Die beiden Platten bestehen aus einem Bleigitter, in dessen rechteckigen Feldern sich im entladenen Zustand eine poröse Bleisulfatmasse (PbSO_4) befindet. Die positive und negative Platte sind dabei in ihrer Form etwas verschieden.

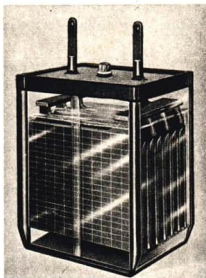


Abb. 96. Akkumulatorzelle, hergestellt im volkseigenen Akkumulatorenwerk Oberspreewald.

Schaltzeichen eines Elementes oder einer Akkumulatorzelle: $\begin{array}{|c|} \hline \text{+} \\ \hline \text{---} \\ \hline \text{-} \\ \hline \end{array}$. Die Zeichen + und - werden vielfach auch fortgelassen.

Das Aufspeichern der elektrischen Arbeit bezeichnet man als *Laden des Akkumulators*. Zum Laden wird der Akkumulator an eine Gleichstromquelle angeschlossen, so daß seine positive Platte am Pluspol und die negative Platte am Minuspol der Stromquelle liegt. Mit einem Strommeßgerät wird die Ladestromstärke überwacht. Sie ist für jeden Akkumulator festgelegt.

Die Bleisulfatmasse, die in die Zellen der positiven Platten eingebettet ist, verwandelt sich beim Laden in Bleidioxid, die Bleisulfatmasse der negativen Platten in reines Blei. Der Säurerest SO_4 des Bleisulfats verbindet sich beim Aufladen mit dem Wasserstoff des Wassers zu Schwefelsäure, so daß die Konzentration der Säure steigt. Wenn die Umwandlung der Platten beendet ist, ist der Akkumulator geladen. Eine Akkumulatorzelle hat im frischgeladenen Zustand eine Spannung von etwa 2,4 V. Beim Entladen hält die Zelle lange Zeit eine Spannung von etwa 2 V. Nach einer längeren Stromentnahme beginnt die Spannung merklich abzufallen. Ist sie auf 1,8 V gesunken, so muß der Akkumulator wieder von neuem geladen werden.

Neben den Bleiakkumulatoren werden *Nickel-Cadmium-Akkumulatoren* hergestellt (Abb. 97). In diesen laufen die chemischen Vorgänge zwischen zwei Stahlplatten ab, die mit Nickel- und Cadmiumverbindungen präpariert sind. Die Platten sind in ein Stahlblechgehäuse eingeschlossen, das mit Kalilauge gefüllt ist. Die Nickel-Cadmium-Sammler sind widerstandsfähiger als Blei-Sammler. Sie haben aber eine etwas geringere Spannung, etwa 1,25 V je Zelle.

5. Die Wartung der Akkumulatoren. Alle Akkumulatoren bedürfen zur Erhaltung ihrer Gebrauchsfähigkeit einer sorgfältigen Pflege. Zu starke Lade- und Entladeströme müssen vermieden werden, da sonst die Platten an-

gegriffen werden. Infolge der chemischen Umsetzungen und infolge von Verdunstung nimmt der Wassergehalt der verdünnten Säure allmählich ab. Das Wasser muß ersetzt werden. Dazu darf man nur destilliertes Wasser verwenden, da Leitungswasser bald Salzablagerungen zur Folge hätte, die die Bleiplatten schädigen würden.

Die Wichte der Säure gibt einen Anhalt für den Ladungszustand des Akkumulators. Sie wird mit einem *Aräometer* gemessen (Abb. 98).

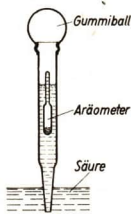


Abb. 98. Säureprüfer. Das Aräometer befindet sich in einer Röhre, in die mittels eines Gummiballes Säure gesaugt wird.

Wichte der Säure im geladenen Akkumulator etwa 1,24 bis 1,25 p/cm³.

Wichte der Säure im entladenen Akkumulator etwa 1,17 bis 1,18 p/cm³.

Nicht benutzte Akkumulatoren müssen von Zeit zu Zeit nachgeladen werden, da sie sich allmählich selbst entladen. Der Ladestrom muß immer Gleichstrom sein.

6. Elektrische Batterien. Wir können zusammenfassend feststellen, daß die chemischen Spannungsquellen, Akkumulatorzellen und galvanischen Elemente nur niedere Gleichspannungen von 1 bis 2 V liefern. Sind zu einer technischen Verwendung höhere Spannungen erforderlich, so werden mehrere Akkumulatorzellen oder Elemente zu einer *Batterie* zusammengeschlossen.

In den flachen *Taschenlampenbatterien* sind drei Elemente zusammengeschaltet (Abb. 99). An

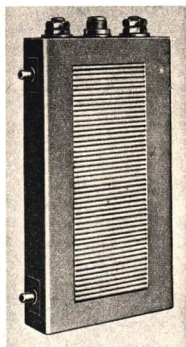


Abb. 97. Nickel-Cadmium-Akkumulator, hergestellt von den volkeigenen Grubenlampenwerken Zwickau.

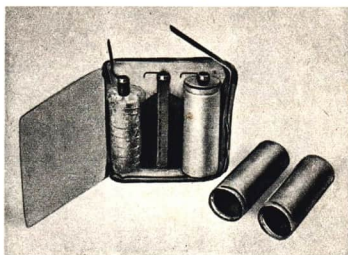


Abb. 99. Zerlegte Taschenlampenbatterie. Drei Elemente sind in Reihe geschaltet.

den Zinkmantel des ersten Elementes ist ein *langer Messingstreifen* angelötet. Er ist der *Minuspol* der Batterie. Der Kohlestab dieses Elementes ist durch einen Draht mit dem Zinkmantel des zweiten Elementes verbunden. Der Kohlestab des zweiten Elementes ist wieder mit dem Zinkmantel des dritten Elementes verbunden. Von dem Kohlestab dieses Elementes ist ein *kurzer Messingstreifen* als *Pluspol* aus der Batterie herausgeführt. Durch Pappstreifen sind die Zinkmäntel der drei Elemente voneinander isoliert.

Diese Schaltungsart von Elementen bezeichnet man wie die Schaltung von Lampen als *Hintereinander-* oder *Reihenschaltung*. Die Spannungen der Einzellemente addieren sich zur Gesamtspannung der Batterie von etwa 4,5 V.

Bei einer Akkumulatorenbatterie sind die hintereinander geschalteten Zellen durch Bleibrücken miteinander verbunden. Diese liegen über der Vergußmasse und verbinden immer den Pluspol der einen mit dem Minuspol der nächsten Zelle. Die Reihenschaltung von 6 Akkumulatorzellen ergibt eine Gesamtspannung der Batterie von 12 V.

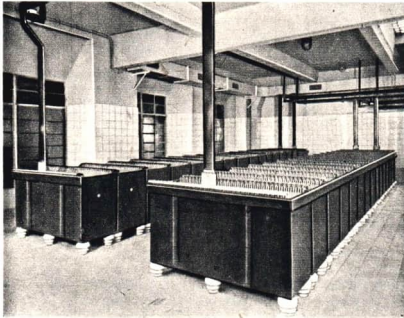


Abb. 100. Akkumulatorenstation in einem Fernsprechant

Akkumulatorenbatterien finden heute in der Technik mannigfache Verwendung. So sind in Kinos, Theatern, Krankenhäusern leistungsfähige Akkumulatorenbatterien vorhanden, die zur Speisung von Stromkreisen für die Notbeleuchtung dienen. Auch in Fernsprechämtern wird die Betriebsspannung meist Akkumulatorenbatterien entnommen (Abb. 100).

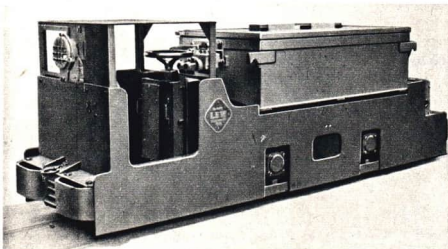


Abb. 101. Elektrische Grubenlokomotive für Akkumulatorenbetrieb. Lokomotivbau—Elektrotechnische Werke „Hans Beimler“, VEB, Hennigsdorf

In jedem Kraftwagen befindet sich eine Batterie, die die zahlreichen elektrischen Einrichtungen des Wagens, den Anlasser, die Zündkerzen, die Winker, die Scheinwerfer, die vielen anderen Lampen, die Hupe und anderes mehr mit Strom versorgt. Sie wird selbsttätig während der Fahrt durch die mit dem Motor gekoppelte *Lichtmaschine* aufgeladen.

Bei vielen Fahrzeugen bilden Akkumulatorenbatterien die Energiequelle für den Antrieb. Auf großen Bahnhöfen werden beispielsweise Pakete und Gepäckstücke durch *Elektrokarren* befördert. Abb. 101 zeigt eine *elektrische Grubenlokomotive* mit Akkumulatorenantrieb. Die Batterie ist leicht zugänglich auf dem hinteren Teil des Fahrgestells gelagert. Abb. 102 gibt einen ebenfalls von Akkumulatoren gespeisten Elektrokran wieder, der auf dem Baugelände der Stalinallee in Berlin verwendet wird.

Diese Fahrzeuge haben entweder auswechselbare Batterien, von denen sich immer eine in einer Ladestation zum Aufladen befindet, oder ihre Batterien werden nachts bei Betriebsruhe wieder aufgeladen.



Abb. 102. Elektrokran, hergestellt von der Transportanlagenfabrik Bleichert der AG Transmasch, Leipzig, bei der Arbeitsverwendung auf dem Baugelände der Stalinallee in Berlin. Sowohl der Antriebsmotor des Fahrzeuges wie der Motor des Kranes entnehmen ihren Strom aus einer Batterie.

7. Fragen, Aufgaben:

1. Wie muß man die Pole eines Akkumulators zum Aufladen an die Pole einer Gleichstromquelle anschließen?
2. Wie muß man die Pole von drei Taschenlampenbatterien verbinden, wenn man die Batterien in Reihe schaltet?
Fertige eine Schaltskizze an!
Wie groß ist die Gesamtspannung?
3. Wie muß man die Pole von drei Taschenlampenbatterien verbinden, wenn man die Batterien parallel schalten will? Fertige eine Schaltskizze an!
Welche Stromstärke gibt jede Batterie ab, wenn ein angeschlossener Stromverbraucher einen Strom von 3,6 A hindurchläßt?

§ 14. Die elektrische Ladung – Die Elektronen

1. Elektrische Ladungen. Schon in § 5,2 und in § 6,2 wurde darauf hingewiesen, daß die Arbeit, die die in den Elektrizitätswerken stehenden Generatoren verrichten, die Ursache für das Auftreten der elektrischen Spannung ist. Durch diese Maschinen wird im Leitungsnetz etwas in Umlauf versetzt, das man ganz

allgemein als *Elektrizität* bezeichnet. Man kann zwar die Elektrizität nicht unmittelbar beobachten, die von einem elektrischen Strom ausgehenden Wirkungen sind aber ein sicherer Beweis dafür, daß die Elektrizität materieller Natur ist. Man spricht von *elektrischen Ladungen* und unterscheidet *positive* und *negative Ladungen*.

Verbindet man bei einem Elektroskop einerseits den Metallstift und den daran hängenden Stanniolstreifen und andererseits das Gehäuse des Elektroskops mit den Polen einer Steckdose, so geht ein Teil der dort befindlichen Ladungen unter dem Einfluß der Spannung auf die genannten Teile des Elektroskops über. Die Ladungen lösen abstoßende Kräfte aus und rufen dadurch einen Ausschlag des Stanniolstreifens hervor. Auf dem Elektroskop befinden sie sich in Ruhe, da keine Möglichkeit zum Weiterfließen besteht.

2. Die Teilbarkeit elektrischer Ladungen. Das Erkennen dieser Zusammenhänge wird wesentlich erleichtert, wenn man höhere Spannungen als 220 V verwendet. Dazu sind besondere Spannungsquellen erforderlich. Als solche benutzte man früher vorwiegend die Influenzmaschine, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll. Heute ist zum Erzeugen höherer Spannungen ein *Bandgenerator* entwickelt worden. Bandgeneratoren gewaltigen Ausmaßes werden von den Wissenschaftlern bei der Erforschung des Atombaus verwendet. Vereinfachte Ausführungen solcher Bandgeneratoren wurden neuerdings von unserer volkseigenen Industrie als Unterrichtsmittel geschaffen.

Abb. 103 zeigt einen solchen für Unterrichtszwecke bestimmten Bandgenerator. Die Erklärung seiner Wirkungsweise wird § 15 bringen. Es genügt hier zu zeigen, daß sich mit dem Bandgenerator erhebliche Spannungen erzeugen lassen. Dreht man an der Kurbel des Generators, so springen zwischen der Metallhaube und der daneben befindlichen Kugel nach kurzer Zeit kräftige Funken über, die eine Länge bis zu 10 cm erreichen können. Dies ist ein deutlicher Beweis für das Vorhandensein ganz erheblicher Spannungen. Mit dem in Abb. 103 wiedergegebenen Bandgenerator lassen sich Spannungen bis zu etwa 200000 V erzeugen.

Wir benutzen einen Bandgenerator, um folgenden Versuch durchzuführen: Von einer gegen die Tischplatte isolierten Fußklemme wird eine Metallkugel mit einem Durchmesser von etwa 10 cm getragen, die mit dem Meßsystem eines Elektrometers verbunden ist. Man bezeichnet eine solche Kugel als einen *Konduktor*. Auf den Konduktor übertragen wir elektrische Ladungen, die wir der Haube eines Bandgenerators entnehmen. Wir benutzen dazu eine mit einem isolierten Handgriff versehene kleine Metallscheibe mit einem

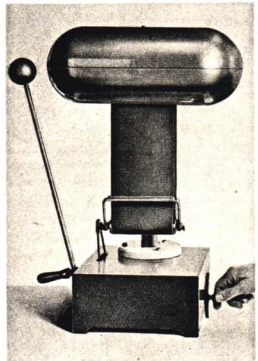


Abb. 103. Bandgenerator für Unterrichtszwecke, hergestellt im volkseigenen RFT-Funkwerk Zittau-Olbersdorf

Durchmesser von etwa 2 cm. Mit der Metallscheibe berühren wir die Haube des Generators und kurz darauf den Konduktor (Abb. 104). Wir können beobachten, daß der Zeigerausschlag des Elektrometers jedesmal nach der Berührung des Konduktors ein wenig zunimmt. Wir setzen dies fort, bis der Zeigerausschlag seinen größten Wert erreicht hat.

Es werden dabei von der Haube des Bandgenerators durch die Scheibe wie mit einem Löffel Ladungen entnommen und auf den Konduktor übertragen. Der Versuch lehrt uns, daß elektrische *Ladungen portionsweise übertragen* werden können. Es folgt daraus:

Elektrische Ladungen sind teilbar.

Stellen wir zwischen dem geladenen Konduktor und der Erde eine leitende Verbindung her, so fließt die gesamte Ladung ab. Der Ausschlag des Elektrometers geht auf Null zurück. Wir können auch in diesem Falle die *Entladung stufenweise* vornehmen, indem wir die Metallscheibe abwechselnd zwischen dem geladenen Konduktor und einem mit der Erde verbundenen Metallgegenstand hin- und herbewegen. Bei jeder Berührung des Konduktors mit der Metallscheibe verringert sich der Ausschlag des Elektrometers ein wenig, da jedesmal durch die Scheibe eine elektrische Ladung entnommen wird.

3. Die Elektronen. Diese Versuche zeigen deutlich, daß elektrische Ladungen teilbar sind. Man kann daraus hinsichtlich der Zusammensetzung elektrischer Ladungen ganz bestimmte Schlüsse ziehen.

Wir wissen, daß alle Stoffe aus kleinsten Teilchen, den Atomen, bestehen. Es ist heute erwiesen, daß sich auch alle elektrischen Ladungen aus kleinsten *Ladungsteilchen* zusammensetzen. Die Elektrizitätsteilchen übertreffen die Atome der Stoffe an Feinheit bei weitem. Sie sind durch elektrische Kräfte an die Atome bzw. Moleküle gebunden.

Es steht heute fest, daß kleinste Elektrizitätsteilchen zu den Grundbestandteilen der Atome gehören. Dabei sind die negativ geladenen Elektrizitätsteilchen besonders bedeutungsvoll. Man nennt sie **Elektronen**. Die Masse eines Elektrons ist außerordentlich klein. Sie beträgt nur etwa den 1830. Teil der Masse eines Wasserstoffatoms.

Die Forschungen haben erwiesen, daß sich einzelne Elektronen von den Atomen, zu denen sie gehören, lösen können. Sie sind dann innerhalb leitender Stoffe frei verschiebbar; man bezeichnet solche Elektronen als *freie Elektronen*. Positive Elektrizitätsteilchen existieren ebenfalls, sind aber an die Atome gebunden. Man kann sie von diesen nur in vereinzelt Fällen unter großen Schwierigkeiten für ganz kurze Zeit trennen.

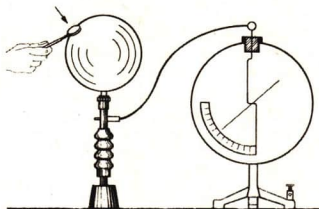


Abb. 104. Konduktor mit angeschlossenem Elektrometer. Der Konduktor wird durch wiederholtes Berühren mit einer geladenen Metallscheibe aufgeladen.

Als freie Elektrizitätsteilchen treten nur negative Elektronen auf.

Diese Erkenntnis ermöglicht uns eine genaue und deutliche Vorstellung aller Vorgänge, an denen elektrische Ladungen beteiligt sind.

Jeder Körper enthält von Natur aus eine ungeheuer große Menge von Atomen bzw. Molekülen und damit auch von Elektronen. Diese sind aber nach außen hin nicht wirksam, da sie an die Atome bzw. Moleküle gebunden sind. Sie sind in ihrer Wirkung nach außen durch gleich große positive Ladungen ausgeglichen. Der Körper erscheint infolgedessen *elektrisch neutral*. Befinden sich aber im Körper außer den stoffgebundenen noch freie Elektronen im Überfluß, so ist er negativ geladen. Haben sich Elektronen, die vorher an die Atome bzw. Moleküle gebunden waren, von diesen gelöst und sich aus dem Körper entfernt, so überwiegen die positiven Ladungen. Der Körper ist in diesem Falle positiv geladen.

Wir merken uns:

**Elektronenüberfluß ist gleichbedeutend mit negativer Ladung.
Elektronenmangel ist gleichbedeutend mit positiver Ladung.**

4. Der elektrische Strom. Wir kommen nunmehr auch zu einer klaren Vorstellung über den elektrischen Strom. Dabei ist für uns der Strom in einem metallischen Leiter von besonderer Wichtigkeit. Er kommt dadurch zustande, daß freie Elektronen unter dem Einfluß der Spannung zu strömen beginnen und sich durch das Atomgefüge des Leiters hindurchbewegen. Wie ein Gasstrom in einer Rohrleitung zwischen zwei Gaskesseln nur von einer Stelle höheren Drucks zu einer Stelle niederen Drucks hin fließen kann, so können auch die Elektronen nur von einer Stelle des Elektronenüberflusses zu einer Stelle des Elektronenmangels hin in Bewegung geraten.

Der Elektronenstrom ist vom negativen zum positiven Pol gerichtet.

Unberührt davon bleibt die Festsetzung der technischen Stromrichtung, die wir früher schon einmal kennengelernt haben. (Vergleiche dazu § 7,5!).

In flüssigen Leitern und in Gasen liegen die Verhältnisse etwas anders. In ihnen können auch positiv und negativ geladene Atome in Fluß geraten. Man bezeichnet solche positiv bzw. negativ geladenen Atome oder Moleküle als **Ionen**. Sind positive und negative Ionen in Flüssigkeiten und in Gasen vorhanden, so treten in diesen außer den negativen auch positive Ströme auf.

5. Fragen:

1. Von welcher der beiden Elektrizitätsarten sind kleinste Elektrizitätsteilchen mit einfachen Mitteln nachweisbar? Wie heißen sie?
2. Welcher Unterschied besteht zwischen einem gebundenen und einem freien Elektron?
3. Stelle die technische Stromrichtung der Richtung des Elektronenstromes gegenüber!
4. Wie unterscheidet sich ein positiv geladener Körper von einem negativ geladenen?

§ 15. Ruhende Elektrizität

1. Trennen elektrischer Ladungen durch Reibung. In vielen Fällen genügt es, zwei Körper aneinander zu reiben, wenn man Elektronen von den Atomen bzw. Molekülen des einen Körpers trennen und so elektrische Ladungen hervorrufen will. Ein Versuch gibt uns ein Beispiel dafür:

Wir legen eine Schreibunterlage aus Igelit auf eine hölzerne Tischplatte und reiben einige Male kräftig mit einem Wolltuch auf der Oberfläche der Igelitplatte. Hebt man diese hoch, so vernimmt man deutlich ein Knistern, ein Zeichen dafür, daß zwischen der Igelitplatte und der Tischplatte eine Spannung besteht. Nähert man die Igelitplatte einigen auf dem Tisch liegenden leichten Papierschnitzeln oder Holundermarkkugeln, so werden diese von der Igelitplatte angezogen und bleiben an ihr haften.

Das gleiche läßt sich beobachten, wenn man einen *Hartgummistab* oder einen Stab aus *Kunstharz* mit einem *Wolltuch* reibt und ihn einigen Papierschnitzeln nähert.

Es sind elektrische Kräfte, die diese Erscheinungen verursachen. Dies geht aus folgendem deutlich hervor:

Wir streichen einen geriebenen Hartgummistab an dem Metallstab eines empfindlichen Elektroskops ab, dessen Wand wir erden. Man kann deutlich einen Ausschlag des Stanniolstreifens beobachten, genau so, wie es schon bei den Versuchen in § 6, 1 der Fall war. Wir folgern, daß zwischen dem geriebenen Stab und der Erde eine Spannung besteht, und schließen daraus, daß auf dem Stab eine elektrische Ladung vorhanden ist. Versuche, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, haben ergeben, daß es sich dabei um eine negative Ladung handelt.

Die Ursache für diese Erscheinung ist darin zu suchen, daß beim Reiben Elektronen von dem Wolltuch auf den Hartgummistab übergegangen sind und nun an ihm haften. Sie sind sozusagen durch den Stab von den Molekülen des Wolltuches abgestreift worden. Da der Hartgummistab ein Nichtleiter ist, können die Elektronen nicht abfließen; der Hartgummistab erscheint infolgedessen nach dem Reiben negativ geladen.

Ein anderes Stoffpaar, an dem sich diese Erscheinung leicht beobachten läßt, ist *Glas* und *Seide*. Reibt man einen Glasstab mit einem Seidenlappen, so erweist sich der Stab als positiv geladen. In diesem Falle sind durch den Seidenlappen Elektronen vom Glasstab abgestreift worden. Es herrscht auf dem Stab daher ein Mangel an Elektronen, mithin ein Überfluß an positiver Ladung.

Für die auf diese Weise getrennten Ladungen ist vielfach noch die Bezeichnung *Reibungselektrizität* im Gebrauch. Dieser Ausdruck darf nicht dahin mißverstanden werden, daß es sich dabei um eine besondere Art elektrischer Ladungen handelt. Er kennzeichnet lediglich ein bestimmtes Verfahren, Ladungen voneinander zu trennen und eine Spannung hervorzurufen,

2. Kraftwirkungen zwischen elektrisch geladenen Körpern. Neben den anziehenden Kraftwirkungen lassen sich zwischen zwei elektrisch geladenen Körpern auch Abstöße feststellen. Wir hängen zwei *Holundermarkkugeln* oder zwei Tischtennisbälle mittels zweier Seidenfäden an einem Stativ auf und nähern ihnen von unten her einen geriebenen Hartgummistab. Sobald der Stab die Kugeln

berührt, spreizen sie sich auseinander (Abb. 105) und behalten diese Stellung auch nach dem Entfernen des Stabes bei. Es wird in diesem Falle durch die auf die beiden Kugeln übertragenen Ladungen eine Abstoßung verursacht.

Mit Hilfe geriebener Hartgummi- bzw. Kunstharzstäbe und Glasstäbe kann man die zwischen gleichartigen und ungleichartigen Ladungen auftretenden Kräfte noch besser veranschaulichen. Wir hängen einen geriebenen Hartgummistab mittels eines Drahtbügels an zwei Seidenschnüren auf. Von der Seite her nähern wir ihm einen zweiten geriebenen Hartgummistab (Abb. 106). Es ist zu beobachten, daß der hängende Stab dem angenäherten ausweicht.

Das gleiche tritt ein, wenn man zwei geriebene Glasstäbe zum Versuch benutzt. Es ergibt sich wieder daraus, daß zwischen gleichartigen elektrischen Ladungen abstoßende Kräfte wirken.

Nähern wir dagegen einem hängenden Hartgummistab einen geriebenen Glasstab, so beobachten wir deutlich eine Annäherung des hängenden Stabes an den anderen (Abb. 107).

Gleichartige elektrische Ladungen stoßen sich ab, ungleichartige elektrische Ladungen ziehen sich an.

3. Der Bandgenerator. In § 14, 2 wurde der Bandgenerator als Spannungsquelle verwendet. Wir wollen nunmehr seine Wirkungsweise kennenlernen und betrachten dazu die Abb. 108. Sie gibt

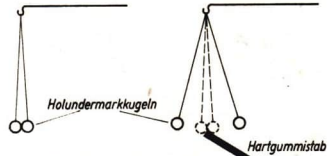


Abb. 105. Zwei isoliert aufgehängte Kugeln spreizen sich auseinander, wenn von einem geriebenen Hartgummistab gleichartige Ladungen auf die Kugeln übertragen werden.

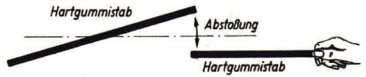


Abb. 106. Gegenseitige Abstoßung zweier geriebener Hartgummistäbe. Versuchsanordnung von oben gesehen



Abb. 107. Anziehung zwischen einem geriebenen Glasstab und einem geriebenen Hartgummistab. Versuchsanordnung von oben gesehen

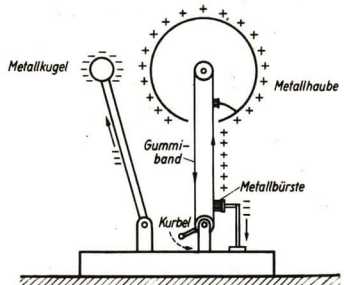


Abb. 108. Schnitt durch das Modell eines Bandgenerators (schematisch). Das durch eine Kurbel gedrehte Gummi- und Metallband transportiert positive Ladungen von der Berührungsstelle mit der Metallbürste zur Haube.

schematisch einen Längsschnitt durch den Bandgenerator wieder. (Vergleiche dazu auch Abb. 103!)

Der wichtigste Teil eines Bandgenerators ist ein in sich geschlossenes *Band aus nichtleitendem Material*, am besten aus Gummi. Es ist um zwei übereinanderliegende Walzen herumgeführt und wird durch eine Kurbel im Umlauf gehalten. Die obere Walze ist mit einer allseitig gerundeten Metallhaube umgeben, so daß sie am Bandgenerator selbst nicht zu sehen ist. Die Haube und die in ihr enthaltene Walze werden von einem isolierenden Gestell getragen. Gegen den aufwärts laufenden Teil des Bandes drückt eine Leiste, die mit einer federnden Metallbürste besetzt ist und mit der Erde in leitender Verbindung steht.

Beim Vorbeistreichen des Bandes an der Bürste werden vom Band durch die Bürste Elektronen heruntergewischt, so daß sich das Band positiv aufladet. Sobald es oben in die Haube eintritt, gibt es seine Ladung an diese über eine zweite Metallbürste ab. Seitlich von der Haube befindet sich eine Metallkugel, die von einer Metallstange getragen wird. Sie ist durch diese über den Sockel des Gerätes mit der Erde verbunden.

Beim Drehen der Kurbel sammeln sich auf der Haube immer größere Ladungen an, so daß die Spannung zwischen der Haube und der Kugel schnell auf einen beträchtlichen Wert ansteigt. Sobald die Spannung eine genügende Höhe erreicht hat, kommt es zu einer *Funkenentladung* zwischen der Haube und der Kugel. Es können mit dem RFT-Bandgenerator Spannungen bis zu 200000 V erzeugt werden. Berührt man die Haube des Generators mit der Hand, so erhält man einen elektrischen Schlag, der aber in diesem Falle gefahrlos ist. Denn wenn auch die mit unserem Bandgenerator erreichte Spannung sehr hoch ist, so sind doch die angesammelten Elektrizitätsmengen außerordentlich klein.

4. Der Kondensator. Berührt man die Haube eines Bandgenerators mit einer Scheibe, die mit einem isolierenden Handgriff versehen ist, so geht, wie wir schon in § 14,2 sahen, ein Teil der Ladung auf die Scheibe über. Doch handelt es sich dabei immer nur um kleine Ladungsmengen.

Es erhebt sich die Frage, ob es auch Vorrichtungen gibt, die größere Ladungsmengen aufzunehmen vermögen. Eine solche Vorrichtung ist ein **Kondensator**.

Abb. 109 zeigt einen einfachen Plattenkondensator. Er besteht aus zwei gegen die Erde isolierten und parallel zueinander aufgestellten Platten. Verbindet man durch isolierte Drähte für kurze Zeit die eine Kondensatorplatte mit der Haube, die andere mit der Kugel eines Bandgenerators, so laden

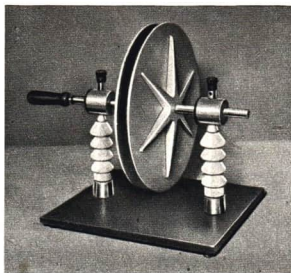


Abb. 109. Modell eines Plattenkondensators mit zwei auf isolierenden Füßen parallel zueinander gestellten Metallplatten. Der Abstand zwischen den Platten des Kondensators ist veränderlich.
Schaltzeichen eines Kondensators —||—

sich die Platten auf (Abb. 110). Man erkennt dies an dem Ausschlag, den ein Elektroskop zeigt, wenn man seinen Stanniolstreifen mit der einen Platte und sein Gehäuse mit der anderen Platte des Kondensators verbindet. Stellt man durch einen Metallbügel eine Verbindung zwischen den beiden Platten her, so entladen sie sich. Wir ersehen daraus, daß der Kondensator größere Ladungen aufgenommen hat als die einfache Scheibe, die wir erst benutzten.

Dies erklärt sich auf folgende Weise: Die dem Kondensator zugeführten ungleichartigen Ladungen stehen sich auf den Platten gegenüber und ziehen sich gegenseitig an; sie binden sich. Es strömen daher dem Kondensator weiterhin neue Ladungen zu. Erst wenn man die beiden Platten leitend miteinander verbindet, können die entgegengesetzten elektrischen Ladungen unter dem Einfluß der Spannung den zwischen ihnen vorhandenen Kräften folgen. Ihre Bewegung erzeugt einen elektrischen Strom, der so lange andauert, bis der Kondensator vollständig entladen ist.

Man kann die Aufnahmefähigkeit eines Kondensators dadurch erhöhen, daß man zwischen die Metallplatten eine isolierende Platte aus Glas, Hartgummi, Paraffinpapier oder dgl. bringt (Abb. 111).

Kondensatoren finden in der Elektrotechnik, insbesondere in der Radiotechnik, in verschiedenen Ausführungen mannigfache Verwendung. Abb. 112 zeigt einen *Blockkondensator*, Abb. 113 einen *Drehkondensator*.

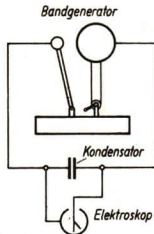


Abb. 110. Aufladen eines Plattenkondensators Nachweis der Spannung mit einem Elektroskop



Abb. 111. Schnitt durch einen Plattenkondensator, dessen Platten durch eine Glasscheibe getrennt sind (schematisch)

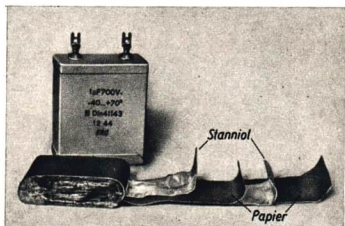


Abb. 112. Blockkondensator. Der Kondensatorblock ist aus dem Gehäuse herausgenommen. Er besteht aus zwei Stanniolstreifen und zwei Streifen aus paraffiniertem Papier, die aufeinandergelegt und zusammengewickelt sind.

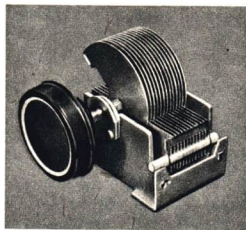


Abb. 113. Drehkondensator. Er besteht aus zwei gegeneinanderisolierten Plattensystemen aus Metall. Die Aufnahmefähigkeit des Kondensators wird dadurch geändert, daß man die beiden Plattensysteme gegeneinander verdreht.

5. Das elektrische Feld. Wie ein Magnet von einem Magnetfeld umgeben ist, so zeigt auch die Umgebung elektrisch geladener Körper eine besondere Beschaffenheit.

Man kann dies aus folgendem Versuch erkennen: In eine flache Glasschale mit ebenem Boden (Durchmesser etwa 12 cm) gießt man etwa 1 bis 1,5 mm hoch etwas Rizinusöl. Auf den Boden legt man, etwa 3 bis 4 cm voneinander entfernt, zwei schmale Blechstreifen und veranschaulicht dadurch bildhaft einen Kondensator. (Vergleiche dazu das Schaltzeichen in Abb. 109!) Die Blechstreifen verbindet man durch Drähte mit der Haube bzw. der Kugel eines Bandgenerators und streut ein wenig Grieß auf das Rizinusöl. Dreht man die Kurbel des Bandgenerators, so ordnen sich die Grießkörnchen unter dem Einfluß der Spannung zu Linien an, wie wir sie bereits vom magnetischen Feld her kennen (Abb. 114). Hier handelt es sich aber nicht um ein magnetisches Feld, sondern um ein *elektrisches Feld* und mithin auch um *elektrische Feldlinien*. Ein elektrisches Feld darf nicht mit einem magnetischen Feld verwechselt werden. Während magnetische Feldlinien die Wirkungslinien magnetischer Kräfte sind, zeigen uns die elektrischen Feldlinien an, längs welcher Linien die elektrischen Kräfte wirksam werden.

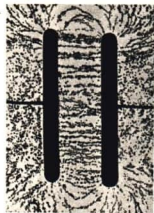


Abb. 114. Feldlinienbild eines Plattenkondensators

Elektrisch geladene Körper sind von einem elektrischen Feld umgeben.

6. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Halte eine geriebene Igelittafel (Schreibunterlage) über den Kopf eines Mitschülers! Was ist an seinen Haaren zu beobachten?
2. Lege einen langen Holzstab (Spazierstock oder Zeigestock) quer über eine Stuhllehne, so daß er sich im Gleichgewicht befindet! Halte eine geriebene Igelittafel neben oder über das eine Ende des Stabes! Was ist zu beobachten?
3. Hält man an einen heißen Kachelofen einen Bogen Zeitungspapier und reibt ihn längere Zeit mit einer Bürste, so bleibt er am Kachelofen haften, auch wenn man ihn losläßt. Führe diesen Versuch in einem dunklen Zimmer aus und beobachte die Erscheinungen beim Fortnehmen des Bogens von der heißen Ofenwand!
4. Welche elektrischen Erscheinungen kann man bisweilen beobachten, wenn man trockenes Haar mit einem Kamm aus Hartgummi oder Kunstharz kämmt?
5. Reibe eine Siegellackstange mehrere Male mit einem Wolltuch und bringe sie in die Nähe von Papierschnitzeln, Federn oder dgl.! Was ist zu beobachten?
6. Steckt man auf die Haube eines Bandgenerators eine kurze Metallstange, die am freien Ende ein aus Papierstreifen bestehendes Büschel trägt, so spreizen sich die Streifen nach allen Seiten auseinander. Wie ist dies zu erklären?

§ 16. Das Gewitter

1. Die Entstehung eines Gewitters. Eine uns allen bekannte Naturerscheinung, bei der es zum Ausgleich elektrischer Ladungen in großem Ausmaße kommt, ist das *Gewitter*. Die Erfahrung lehrt uns, daß Gewitter meist an warmen, schwülen Sommertagen auftreten, wenn bei hoher Lufttemperatur in Bodennähe ein verhältnismäßig großer Feuchtigkeitsgehalt vorhanden ist. Obwohl sich infolge der starken Sonneneinstrahlung die unteren Luftschichten stark erwärmen, kann es bei herrschender Windstille doch geschehen, daß sie längere Zeit am Boden liegenbleiben und dann plötzlich emporsteigen und die über ihnen lagernden kühleren Luftschichten durchstoßen. Die warmen, feuchten Luftmassen strömen dabei mit einer Geschwindigkeit von über 100 km/h in große Höhen empor und kühlen sich ab. Infolge der Verdichtung des Wasserdampfes entstehen in kurzer Zeit mächtige Haufenwolken (*Kumuluswolken* – Abb. 115).



Abb. 115. Gewitterwolke (Kumuluswolke)

Bei der sich in kurzer Zeit vollziehenden Wolkenbildung sammeln sich aus ähnlichen Gründen wie sie in § 15, 1 angegeben wurden, in den Wolken Ladungen von beträchtlicher Stärke an. In dem schnell aufsteigenden Luftstrom tritt eine feine Zerstäubung der durcheinanderwirbelnden Wassertropfen ein. Die kleinen Tröpfchen werden durch den Wind von den schwereren getrennt und hoch emporgehoben. Dabei kommt es, wie Zerstäubungsversuche ergeben haben, zu einer Trennung der elektrischen Ladungen. Die hochliegenden Teile der Gewitterwolken sind meist negativ geladen, die tiefer liegenden Wolkenanteile und die Erde weisen positive Ladungen auf. Wolken und Erde, aber auch Wolkenpaare sind vergleichbar mit Kondensatoren riesigen Ausmaßes.

Man nennt Gewitter der geschilderten Art auch *Wärmegewitter* zum Unterschied gegen die seltener auftretenden *Frontgewitter*. Diese entstehen, wenn Warmluftmassen durch schnell eindringende Kaltluftmassen verdrängt und zu raschem Emporsteigen gezwungen werden. Auch im Winter können, wenn auch seltener, Gewitter entstehen. Es handelt sich dann fast immer um Frontgewitter.

2. Der Blitz. Bei einer Gewitterbildung steigen die Spannungen bis auf mehrere 100 Mill. Volt an. Schließlich kommt es zu einem Ausgleich. Dieser vollzieht sich in Form eines riesigen Funkens, den man als *Blitz* bezeichnet. Blitze können zwischen einer Wolke und der Erde, aber auch zwischen zwei mit verschiedenen Ladungen behafteten Wolken auftreten. Am auffallendsten sind *Linienblitze* mit einer hellleuchtenden, vielfach verzweigten Funkenbahn (Abb. 116). Die Entladung vollzieht sich in einer Zeit von weniger als einer Tausendstelsekunde. Es treten dabei Ströme von einer Stärke bis zu 20000 A auf. Bisweilen sind die Blitze selbst

nicht zu sehen, sondern durch tiefliegende Wolken verdeckt, insbesondere wenn es sich um Ausgleiche zwischen zwei Wolken handelt. In solchen Fällen wirken die Wolken als Ganzes wie eine leuchtende Fläche. Man spricht dann von *Flächenblitzen*.

3. Der Donner. Der Donner ist eine unmittelbare Folge des Blitzes. Durch den Blitz und die dadurch hervorgerufene überaus starke Erwärmung werden die einzelnen Luftmoleküle stoßartig auseinandergetrieben und geraten in lebhaftige Schwingungen. Dabei rufen sie eine mächtige Schallwirkung hervor. Da sämtliche Punkte der Blitzbahn zu Ausgangspunkten von Schallwellen werden und diese zeitlich nacheinander entstehen, hören wir beim Blitz nicht einen einmal auftretenden scharfen Knall, sondern ein langandauerndes rollendes Geräusch, das wir als *Donner* bezeichnen. Es wird durch das an der Wolkendecke entstehende Echo noch verstärkt und verlängert.

4. Vom Blitzschutz. Der Blitz schlägt vorzugsweise in hochragende Gegenstände wie Türme, Schornsteine, einzelstehende Bäume oder ähnliches ein und verursacht dabei unter Umständen erhebliche Zerstörungen (Abb. 117). Auch andere Stellen, die mit der Erde in gut leitender Verbindung stehen, sind der Gefahr eines Blitzeinschlages ausgesetzt, zum Beispiel Gewässer. Will man Gebäude vor den Folgen eines Blitzeinschlages bewahren, so versieht man sie mit einem *Blitzableiter*. Durch diesen wird für den Blitz eine gute Verbindung zur Erde geschaffen. Er wird dadurch abgeleitet, ohne Schaden anzurichten. An den



Abb. 116. Blitzaufnahme. Man erkennt deutlich die vielfach verzweigte Bahn des Blitzes.



Abb. 117. Ein vom Blitz getroffener Baum. Der Blitz folgte der die Feuchtigkeit führenden Basttschicht, die dicht unter der Rinde liegt. Infolge der gewaltigen Wärmeentwicklung verdampfte die Feuchtigkeit. Der entstehende Dampf sprengte die Rinde des Stammes der ganzen Länge nach.

höchsten Stellen des Gebäudes trägt jeder Blitzableiter frei emporragende, spitz zulaufende Stangen (Abb. 118).

Soll ein Blitzableiter wirksam sein, so muß er den bestehenden Vorschriften genügen. Diese sind in den dafür in Frage kommenden DIN-Blättern angegeben. Vor allem ist darauf zu achten, daß die Leitung nirgends beschädigt und unterbrochen ist. Die Erdleitung soll bis in das Grundwasser hinein führen. Zweckmäßigerweise läßt man sie in einer *Grundplatte* aus Metall enden. Schlecht angelegte oder beschädigte Blitzableiter können beim Blitzschlag sogar eine Gefahr für das Gebäude bedeuten, da sie den Blitz wohl anziehen aber nicht ableiten.

Wir erkannten, daß es sich beim Gewitter um den Ausgleich riesiger elektrischer Ladungen handelt, die durch Vorgänge in der Atmosphäre auf natürliche Weise voneinander getrennt werden. In den Ablauf dieses Naturgeschehens können wir nicht eingreifen. Wir können aber die Naturgesetze erkennen, die für den Ablauf bestimmend sind, und können uns durch geeignete Vorrichtungen vor der zerstörenden Wirkung eines Blitzschlages schützen. Die gleiche Art von Elektrizität ist es aber auch, die unsere Motoren dreht, unsere Elektrostahlöfen heizt, unsere Arbeitsstätten und Wohnungen beleuchtet. Wir ersehen an diesem Beispiel mit besonderer Deutlichkeit, daß es den Menschen gelungen ist, die Naturkräfte zu bändigen und der menschlichen Gesellschaft nutzbar zu machen.

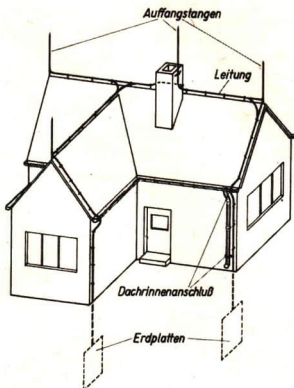


Abb. 118. Blitzschutzanlage eines Hauses. Sie überzieht das ganze Hausdach und erstreckt sich vor allem auf Schornsteine und andere emporragende Gebäudeteile. Zwischen der Blitzschutzanlage und den Dachrinnen muß eine leitende Verbindung bestehen.

5. Fragen und Aufgaben:

1. Inwiefern trägt ein heftiger Regen während eines Gewitters zum Ladungsausgleich ohne Entstehen eines Blitzes bei?
2. Wie ist es zu erklären, daß uns Nachtgewitter meist heftiger erscheinen als Taggewitter?
3. Warum führt die Erdleitung eines Blitzableiters bis in das Grundwasser?
4. Ein Blitz schlägt aus einer 2000 m hoch liegenden Wolke in die Erde. Wieviel Sekunden nach dem Beobachten des Blitzes vernimmt ein 4000 m von der Einschlagstelle entfernt stehender Beobachter den Donner? (Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft etwa $\frac{1}{3}$ km/s)
5. Ergänzung zu Aufgabe 4. Angenommen, der Ursprung des Blitzes befindet sich senkrecht über der Einschlagstelle. In welcher Zeit erreicht der in der Nähe der Ursprungsstelle entstehende Donner den Beobachter?
6. Ein Beobachter vernimmt 3 s nach dem Beobachten eines Blitzes den Donner. Wie weit ist die Einschlagstelle von ihm entfernt?

§ 17. Die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung und vom Widerstand – Das Ohmsche Gesetz

1. Der Widerstand einer Glühlampe. Bereits in § 8,2 wurde vom *elektrischen Widerstand* gesprochen. Wir begegneten diesem Begriff im Zusammenhang mit der Wärmewirkung des elektrischen Stromes. Ein Versuch wird uns noch näher mit dem Widerstandsbegriff bekannt machen.

Eine für 3,5 V genommene Glühlampe legen wir in Reihe mit einem Amperemeter an zwei Akkumulatorzellen (Abb. 119). Die Lampe leuchtet hell, das Amperemeter zeigt 0,27 A an. Legen wir in den Stromkreis eine zweite Lampe der gleichen Art in Reihe zur ersten, so leuchten beide Lampen, aber erheblich schwächer als vorher die einzelne Lampe. Am Amperemeter lesen wir nur noch 0,20 A ab. Schalten wir eine dritte Lampe in Reihe hinzu, so ist ein Leuchten kaum noch wahrzunehmen. Die Stromstärke sinkt dabei auf etwa 0,15 A.

Wenn wir auch aus diesem Versuch noch keine zahlenmäßigen Schlüsse ziehen können, so entnehmen wir doch aus ihm, daß jede Lampe die Eigenart hat, die Stromstärke herabzumindern. Der Strom wird um so schwächer, je mehr Lampen hintereinandergeschaltet werden.

Man bezeichnet diese Eigenschaft der Lampen, den Strom zu schwächen, als ihren **elektrischen Widerstand**.

2. Die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung. Ohne daß man aus dem in Abschnitt 1 beschriebenen Versuch schon Einzelheiten erkennen kann, sieht man, daß zwischen der Größe des Widerstandes und der Stromstärke enge Zusammenhänge bestehen. Die Stromstärke wird geringer, wenn man den Widerstand vergrößert. Ebenso wissen wir, daß der Strom eine Folgeerscheinung der Spannung ist. Wir vermuten deshalb, daß seine Stärke von der Spannung abhängt. Die Kenntnis der Beziehungen zwischen den drei grundlegenden Begriffen **Spannung**, **Widerstand** und **Stromstärke** verdanken wir dem deutschen Physiker *Georg Simon Ohm*¹. Er fand das nach ihm benannte Gesetz, das er im Jahre 1827 veröffentlichte.

Zum experimentellen Nachweis der Zusammenhänge zwischen **Spannung**, **Widerstand** und **Stromstärke**

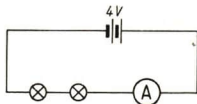


Abb. 119. Schaltbild eines Stromkreises. Eine Glühlampe und ein Amperemeter sind in Reihe geschaltet. Weitere Lampen werden hinzugeschaltet, die Spannung bleibt unverändert.



Georg Simon Ohm
(1787–1854)

¹ Georg Simon Ohm (1787–1854), deutscher Physiker. Ohm wurde in Erlangen als Sohn eines Schlossers geboren. Er studierte Mathematik und Physik und wurde Lehrer. 1826 entdeckte er das Gesetz über die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung und vom Widerstand und schuf dadurch die Grundlage für die gesamte Lehre von den elektrischen Strömen. Von 1849 ab war er Universitätsprofessor in München.



Abb. 120. Experimentierbrett zur Untersuchung der Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung und vom Widerstand

benutzen wir ein Brett, auf dem nebeneinander drei dünne Drähte aus dem gleichen Material, nämlich aus *Konstantan*, zwischen je zwei Klemmschrauben ausgespannt sind (Abb. 120). Konstantan ist eine Metallegierung, die aus Kupfer und Nickel besteht. Die Drähte haben sämtlich die gleiche Länge von 75 cm und den gleichen Durchmesser von 0,45 mm und mithin auch den gleichen Querschnitt von etwa $0,16 \text{ mm}^2$.

Wir untersuchen mit Hilfe dieser Vorrichtung die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung. Dazu schalten wir zwei Drähte hintereinander und legen beide Drähte in Reihe mit einem empfindlichen Amperemeter an eine Akkumulatorzelle mit der Spannung 2 V (Abb. 121). Am Amperemeter lesen wir die Stromstärke 0,18 A ab. Legt man an die Drähte die Spannung zweier Akkumulatorzellen, mithin eine Spannung von 4 V, so steigt die Stromstärke auf 0,35 A. Wählt man als Spannungsquelle drei Akkumulatorzellen mit einer Spannung von 6 V, so zeigt das Meßgerät eine Stromstärke von 0,55 A an.

Die Meßwerte stellen wir in einer Tabelle zusammen und zeichnen dazu auf Millimeterpapier ein Schaubild (Abb. 122).

Abb. 122
Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung

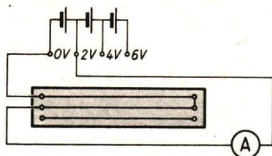
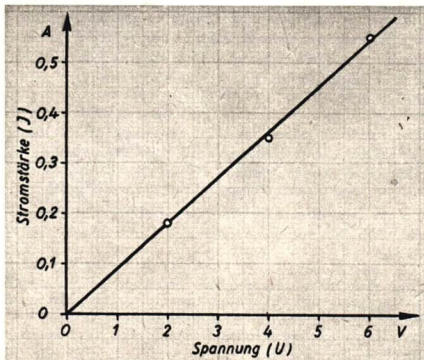


Abb. 121. Versuchsanordnung zur Feststellung der Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung (Schaltbild)

Einfluß der Spannung auf die Stromstärke

Spannung (U)	Stromstärke (I)
2 V = 1 · 2 V	0,18 A = 1 · 0,18 A
4 V = 2 · 2 V	0,35 A ≈ 2 · 0,18 A
6 V = 3 · 2 V	0,55 A ≈ 3 · 0,18 A



Die Spannung (U) veranschaulichen wir auf der Abszissenachse, die Stromstärke (I) auf der Ordinatenachse. Wir erhalten drei Bildpunkte, die annähernd auf einer Geraden liegen. Man erkennt aus der Tabelle wie aus dem Schaubild, daß sich die Stromstärke im gleichen Verhältnis wie die Spannung ändert.

Die Stromstärke ist der Spannung verhältnismäßig.

Man drückt dies durch das Zeichen \sim aus und schreibt

$$I \sim U.$$

3. Der Vergleich von Widerständen. Wir legen an einen der drei Drähte des im vorigen Abschnitt angegebenen Versuchsbrettes eine Spannung von 2 V. In Reihe mit dem Meßdraht schalten wir ein Amperemeter und lesen eine Stromstärke von 0,34 A ab. Dieselbe Messung führen wir mit jedem der drei Drähte durch. Es ergibt sich immer wieder die gleiche Stromstärke. Wir ziehen daraus den Schluß, daß die Widerstände der Drähte gleich groß sind, und setzen fest:

Der Widerstand eines Drahtes ist ebenso groß wie der eines anderen, wenn man bei gleichbleibender Spannung den einen Draht an die Stelle des anderen in den Stromkreis schalten kann, ohne daß sich die Stromstärke ändert.

Die Drähte verkörpern bestimmte Widerstandswerte, deren wir uns bei den folgenden Versuchen als *behelfsmäßige Widerstandseinheiten* (bhm. W. E.) bedienen. Das Schaltzeichen eines Meßwiderstandes ist $\sim\sim\sim\sim\sim$

4. Die Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand. Wir legen noch einmal an einen Draht des Versuchsbrettes eine Spannung von 2 V. Es wird wieder die Stromstärke 0,34 A abgelesen. Nunmehr verändern wir den Widerstand, indem wir zwei und dann drei Drähte hintereinander in den Stromkreis schalten (Abb. 123). Der Widerstand wächst dabei von einer auf zwei und dann auf drei behelfsmäßige Widerstandseinheiten. Entsprechend sinkt die Stromstärke auf 0,17 A und dann auf 0,11 A.

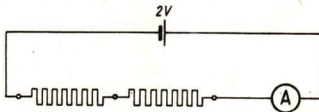


Abb. 123. Versuchsanordnung zur Feststellung der Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand

Wie bei der in Abschnitt 2 angegebenen Versuchsreihe tragen wir die Meßwerte in eine Tabelle ein und fertigen dazu eine graphische Darstellung an.

Einfluß des Widerstandes auf die Stromstärke

Widerstand (R)	Stromstärke (I)
1 bhm. W. E. = 1 · 1 bhm. W. E.	0,34 A = 1 · 0,34 A
2 bhm. W. E. = 2 · 1 bhm. W. E.	0,17 A = $\frac{1}{2}$ · 0,34 A
3 bhm. W. E. = 3 · 1 bhm. W. E.	0,11 A \approx $\frac{1}{3}$ · 0,34 A

Die Widerstandswerte (R) veranschaulichen wir auf der Abszissenachse, die Stromwerte (I) auf der Ordinatenachse und legen durch die drei Bildpunkte eine Kurve

(Abb. 124 auf Seite 76). Die Tabelle wie die graphische Darstellung zeigen, daß die Stromstärke auf die Hälfte bzw. auf ein Drittel des ursprünglichen Wertes absinkt, wenn man den Widerstand verzweifacht, verdreifacht.

Die Stromstärke ändert sich im umgekehrten Verhältnis wie der Widerstand:

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

5. Das Ohmsche Gesetz – Die Widerstandseinheit. Die in den Abschnitten 2 und 4 gefundenen Ergebnisse lassen sich zu einem Satz zusammenfassen:

Die Stromstärke ändert sich im gleichen Verhältnis wie die Spannung und im umgekehrten Verhältnis wie der Widerstand:

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

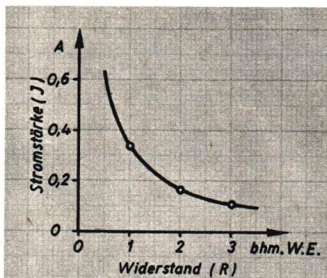


Abb. 124. Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand. Die in der Tabelle wie in der graphischen Darstellung verwendeten Buchstaben bhm. W. E. bedeuten beheimäufige Widerstandseinheiten.

Bisher wurden die Beziehungen zwischen Stromstärke, Spannung und Widerstand angegeben, ohne daß eine physikalisch bestimmte Widerstandseinheit zugrunde lag. Wir benutzten die einzelnen Drahtstücke des Widerstandsbrettes als behelfsmäßige Widerstandseinheiten. Nunmehr wird eine physikalisch begründete *Widerstandseinheit* eingeführt, die man als **Ohm** (Ω) bezeichnet. Man hat festgesetzt:

Ein Draht, an dessen Enden die Spannung 1 Volt liegt, hat den Widerstand 1 Ohm, wenn durch den Draht ein Strom von der Stärke 1 Ampere fließt.

Eine tausendmal so große Einheit ist das **Kilohm** ($k\Omega$), eine millionenmal so große Einheit ist das **Megaohm** ($M\Omega$).

$$1 k\Omega = 1000 \Omega .$$

$$1 M\Omega = 1000000 \Omega .$$

Gibt man den Widerstand in Ohm an, so nimmt der zu Anfang dieses Abschnittes aufgestellte Satz folgende einfache Form an, die man als *Ohmsches Gesetz* bezeichnet:

Die Stromstärke ist gleich dem Quotienten aus Spannung und Widerstand.

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

Rechenbeispiele:

1. Eine für 220 V genormte Kochplatte mit einer Leistungsaufnahme von 500 Watt hat einen Widerstand von etwa 97 Ω . Der durch sie hindurchfließende Strom ergibt sich nach dem Ohmschen Gesetz zu

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{97} \text{ A} \approx 2,3 \text{ A} .$$

2. Wie im Abschnitt 3 festgestellt wurde, fließt in jedem der auf dem Brett befindlichen Drähte ein Strom von 0,34 A, wenn man eine Spannung von 2 V anlegt. Multipliziert man beide Seiten der Gleichung

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

mit R und dividiert sie durch I , so ergibt sich die Gleichung

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

Demnach hat jeder Draht den Widerstand

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2}{0,34} \Omega \approx 5,9 \Omega.$$

Grundsätzlich ist festzustellen, daß jede der drei Größen Stromstärke (I), Spannung (U), Widerstand (R), die in der Ohmschen Gleichung auftreten, durch Umformen der Gleichung aus den beiden anderen Größen errechnet werden kann.

6. Fragen und Aufgaben:

1. Wie ist es zu erklären, daß zwei in Reihe geschaltete Glühlampen gleicher Art schwächer leuchten als eine einzelne Lampe an der gleichen Spannung, daß dagegen von zwei parallelgeschalteten Lampen jede ebenso hell leuchtet wie die einzelne Lampe?
2. Was geschieht, wenn man von zwei a) in Reihe, b) parallel geschalteten gleichen Glühlampen die eine in der Fassung locker schraubt? Wie ändert sich dabei die Stromstärke?
3. Durch einen elektrischen Ofen, der an eine 220-V-Leitung angeschlossen ist, fließt ein Strom von 4,5 A. Wie groß ist der Widerstand des Ofens?
4. Wie groß müßte der Widerstand des in Aufgabe 3 genannten Ofens sein, wenn er bei der gleichen Stromstärke an eine 110-V-Leitung angeschlossen werden soll?
5. Bei einem Versuch legt man einen Draht, dessen Widerstand 2,5 Ω beträgt, an eine Gleichspannung von 12 V. Wie groß ist die Stärke des hindurchfließenden Stromes?
6. Wie groß ist bei einer Gleichspannung von 220 V die Stromstärke
 - a) in einem Bügeleisen mit einem Widerstand von 80 Ω ,
 - b) in einer Kochplatte mit einem Widerstand von 66 Ω ,
 - c) in einem Tauchsieder mit einem Widerstand von 120 Ω ?
7. Schaltet man mehrere stromverbrauchende Geräte parallel zueinander in einen Stromkreis, so ist die Stromstärke in der Hauptleitung gleich der Summe der Stromstärken in den einzelnen Geräten. Dieser Fall liegt vor, wenn man die in Aufgabe 6 genannten Geräte gleichzeitig an drei Steckdosen desselben Netzes anschließt. Auf wieviel Ampere muß die Leitung abgesichert sein, wenn alle Geräte gleichzeitig benutzt werden?
8. An ein Netz mit einer Spannung von 220 V werden nacheinander eine 25-W-Lampe, eine 40-W-Lampe und eine 60-W-Lampe angeschlossen. Jedemal wird die Stromstärke gemessen. In der 25-W-Lampe fließt ein Strom von 0,11 A, in der 40-W-Lampe ein Strom von 0,18 A, in der 60-W-Lampe ein Strom von 0,27 A. Welchen Widerstand haben die Lampen?

§ 18. Das Widerstandsgesetz – Technische Widerstandsgeräte

1. Die Abhängigkeit des Widerstandes von der Länge und vom Querschnitt. Bei dem in § 17,4 beschriebenen Versuch wurde der Widerstand (R) dadurch geändert, daß man mehrere Drähte hintereinander schaltete. Man veränderte dadurch die Länge des Drahtes l . Wir beobachteten, daß die Verlängerung des Drahtes eine Schwächung des Stromes verursachte, und folgern daraus, daß mit der Verlängerung des Drahtes eine Zunahme des Widerstandes verbunden ist.

Der Widerstand ändert sich im gleichen Verhältnis wie die Drahtlänge.

$$R \sim l.$$

Es erhebt sich die Frage, welchen Einfluß der Querschnitt (F) einer Leitung auf den Widerstand hat.

Wir legen wieder einen der Drähte des von uns verwendeten Widerstandsbrettes an eine Spannungsquelle von 2 V und lesen die Stromstärke 0,34 A ab. Dann nehmen wir eine Änderung des Leitungsquerschnittes dadurch vor, daß wir zwei oder drei Drähte parallel zueinander schalten, ohne die angelegte Spannung zu ändern (Abb. 125). Es läuft dies auf dasselbe hinaus, als wenn man statt des ursprünglichen Drahtes einen solchen mit doppeltem bzw. dreifachem Querschnitt verwendet. Zur Veranschaulichung könnte man sich die parallel geschalteten Drähte auch bindfadenartig umeinandergewunden denken. Es kommt nicht auf den Durchmesser des Drahtes, sondern auf die gesamte Querschnittsfläche F an; denn die Elektronen fließen durch den ganzen Querschnitt des Drahtes.

Wir lesen bei zwei parallel geschalteten Drähten eine Stromstärke von 0,70 A, bei drei parallel geschalteten Drähten eine Stromstärke von 1,10 A ab. Mithin steigt die Stromstärke bei doppeltem Querschnitt etwa auf das Doppelte, bei dreifachem Querschnitt etwa auf das Dreifache des ursprünglichen Wertes an. Hieraus ergibt sich, daß der Widerstand bei doppeltem Querschnitt auf die Hälfte bei dreifachem Querschnitt auf den dritten Teil seines Wertes absinkt. Es folgt daraus:

Der Widerstand ändert sich im umgekehrten Verhältnis wie der Querschnitt.

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

2. Das Widerstandsgesetz. Bei den Ausführungen des Abschnittes 1 wurde noch nicht beachtet, daß auch das Material des Leiters einen Einfluß auf den Widerstand ausübt. Aus § 5.3 ist aber bekannt, daß die Stoffe eine verschiedene Leitfähigkeit haben. Man berücksichtigt diese Tatsache dadurch, daß man den spezifischen Widerstand einführt (Formelzeichen ρ). Dabei werden die Länge in m, die Querschnittsfläche in mm² gemessen.

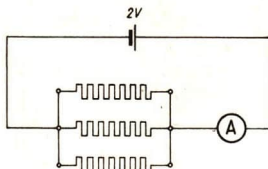


Abb. 125. Versuchsanordnung zur Feststellung der Abhängigkeit des Widerstandes vom Querschnitt der Leitung

Unter dem spezifischen Widerstand versteht man den in Ω gemessenen Widerstand eines 1 m langen Drahtes mit einem Querschnitt von 1 mm².

Somit ergibt sich das *Widerstandsgesetz*:

Der Widerstand eines Drahtes ist gleich dem spezifischen Widerstand, multipliziert mit dem Quotienten aus Drahtlänge und Drahtquerschnitt. Hierbei ist beim spezifischen Widerstand die Länge in Metern, der Querschnitt in Quadratmillimetern zu messen.

$$R = \varrho \cdot \frac{l}{F}$$

Spezifische Widerstände einiger Leiter

Leiter	Spezifischer Widerstand (ϱ), angegeben in Ω je 1 m Drahtlänge bei 1 mm ² Querschnitt
Kupfer	0,016
Aluminium	0,024
Zink	0,048
Eisen	0,10
Nickelin	0,40
Manganin	0,43
Konstantan	0,50
Graphit	20
Kohlestifte	65
Kohle	100
Nickelin:	67 % Kupfer, 30 % Nickel, 3 % Mangan
Manganin:	86 % Kupfer, 2 % Nickel, 12 % Mangan
Konstantan:	54 % Kupfer, 45 % Nickel, 1 % Mangan

Rechenbeispiel:

Der kupferne Fahrdrabt der elektrischen Förderbahn in einem Braunkohlentagebau hat eine Länge von 5 km. Sein Querschnitt beträgt 120 mm², sein spezifischer Widerstand 0,018 Ω . Der Widerstand des Fahrdrabtes ist demnach

$$R = \varrho \cdot \frac{l}{F} = 0,018 \cdot \frac{5000}{120} \Omega \approx 0,75 \Omega.$$

Zum Verlegen eines solchen Fahrdrabtes sind 5100 kg Kupfer erforderlich. Man kann demnach ganz erhebliche Mengen an Kupfer sparen, wenn man die Fahrdrähte elektrischer Bahnanlagen durch ein anderes Material ersetzt, etwa durch Stahl. Nur muß man dann den Querschnitt des Drahtes erheblich vergrößern, da Stahl eine weit geringere Leitfähigkeit hat als Kupfer.

In dem volkseigenen Braunkohlentagebau Freiheit I bei Bitterfeld wurde nach einem Verbesserungsvorschlag des Elektroingenieurs *Bjarne Iversen* die Oberleitung einer 860 m langen Gleisstrecke der elektrischen Grubenbahn so umgestaltet, daß dabei je Kilometer etwa eine Tonne Kupfer eingespart wurde. Über den Gleisen wurden je 2 stählerne *Fahrdrähte* angebracht, die an einem starken Aluminiumseil aufgehängt wurden. Diese Aluminiumseile sind selbst an der Stromführung beteiligt

und hängen ihrerseits isoliert an den Schräg- auslegern der Tragmasten (Abb. 126a und b). Der elektrische Strom fließt nicht nur durch die Fahrdrähte, sondern auch durch die Aluminiumseile, die deswegen auch *Stromseile* heißen. Diese Art der Oberleitungskonstruktion wurde von einem von den Ingenieuren *Roderich Guß* und *Herbert Radestock* geführten Ingenieurkollektiv überprüft. Sie wurde im mitteldeutschen Braunkohlenrevier für die Verbesserung eines elektrischen Grubenbahnnetzes übernommen, das eine Gesamtstrecke von mehr als 100 km umfaßt. Auf diese Weise werden große Mengen Kupfer gespart.

An diesem Beispiel sieht man deutlich, wie die Kenntnis der physikalischen Zusammenhänge und die Beherrschung der physikalischen Gesetze unsere Ingenieure und Arbeiter in den Stand setzen, ihre Leistungen zu steigern und durch eine beträchtliche Materialersparnis an wertvollen Rohstoffen zum Aufbau des Sozialismus in unserer Deutschen Demokratischen Republik beizutragen.

3. Das Internationale Ohm. Die Abhängigkeit des Widerstandes von der Länge und dem Querschnitt des Leiters ermöglichen es, die Widerstandseinheit selbst durch ein Leiterstück darzustellen. Am besten eignet sich hierfür Quecksilber, da es sich jederzeit ganz rein herstellen läßt. Im Jahre 1893 wurde international vereinbart:

Ein Ohm ist der Widerstand eines 1,063 m langen Quecksilberfadens mit dem Querschnitt 1 mm² bei der Temperatur 0° C.

Die so festgesetzte Widerstandseinheit entspricht genau der im § 17,5 auf Grund des Ohmschen Gesetzes vorgenommenen Begriffsprägung. Sie wird das *Internationale Ohm* genannt.

4. Die Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur. Bei der Festsetzung des Internationalen Ohms fällt auf, daß die Temperatur angegeben wurde. Dies ist erforderlich, da die Widerstände fast aller Stoffe von der Temperatur abhängig sind. Um dies experimentell zu beweisen, legt man eine Wendel aus dünnem Eisendraht mit einem Amperemeter in Reihe in einen Stromkreis und liest die Stromstärke ab (Abb. 127). Erhitzt man die Drahtwendel mit einer Bunsenflamme, so fängt sie schließlich an zu glühen. Gleichzeitig ist ein Absinken

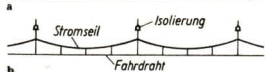


Abb. 126. Aufhängung des Fahrdrahtes der elektrischen Gruben-Förderbahn des volkseigenen Braunkohlentagebaus Freiheit I. Der Fahrdraht hängt an Stromseilen, mit denen er leitend verbunden ist. Die Stromseile sind selbst ein Teil des stromführenden Systems. Sie sind gegen die Masten isoliert.

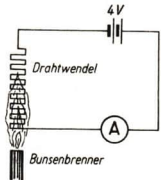


Abb. 127. Versuchsanordnung zur Feststellung der Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur. Im Stromkreis liegt eine Drahtwendel, die durch eine Bunsenflamme erhitzt wird.

der Stromstärke zu beobachten. Es folgt daraus, daß der Widerstand eines Eisendrahtes mit wachsender Temperatur zunimmt.

5. Technische Widerstandsgeräte. Die Notwendigkeit zur Veränderung der Stärke des Stromes, der durch einen Verbraucher fließt, ist in der Technik vielfach gegeben. Es sei hingewiesen auf die Regelung der Fahrgeschwindigkeit einer elektrischen Straßenbahn. Sie wird vom Wagenführer durch Drehen einer Kurbelwelle vollzogen. Er öffnet und schließt dadurch Kontakte, durch die die auf dem Dach des Wagens liegenden Widerstände in die zum Motor führende Leitung ein- bzw. ausgeschaltet werden (Abb. 128).

Will man die Stromstärke in kleineren Stufen regeln, so benutzt man Geräte, deren Widerstand man verändern kann. Solche Geräte tragen ebenfalls den Namen *Widerstände*. Man meint aber in diesem Falle nicht die als Widerstand benannte Eigenschaft des Leiters, sondern das technische Gerät selbst.

Besonders häufig wird der *Schiebewiderstand* verwendet. Er besteht aus einem Hohlzylinder, der meist aus Porzellan oder aus einer anderen keramischen Masse hergestellt ist. Er ist mit einem oxydiertem Widerstandsdraht umwickelt, dessen Windungen sich gegenseitig nicht leitend berühren (Abb. 129). Über den Hohlzylinder gleitet an einer Führungsstange ein federnder Kontaktbügel, der zum Abgriff des Stromes dient. Die Regelung der Stromstärke wird dadurch bewerkstelligt, daß man den Kontaktbügel verschiebt. Man legt auf diese Weise mehr oder weniger große Stücke des Widerstandsdrahtes in den Stromkreis.

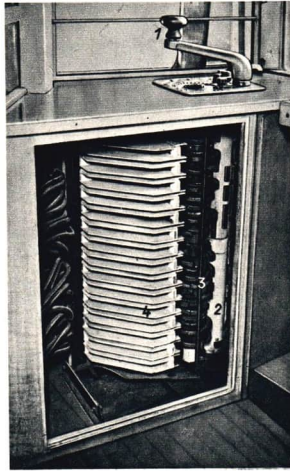


Abb. 128. Drehschalter im Führerstand eines von dem VEB Lova, Werdaun, gebauten Straßenbahnwagens. Der Drehschalter dient zum Ein- und Ausschalten der elektrischen Widerstände, die dem Motor vorgeschaltet sind.

1 Schaltkurbel, 2 Schalterwalze für Vorwärts- und Rückwärtsfahrt, 3 Schalterkammern für Fahrstufen, 4 Funkenlöschkammern

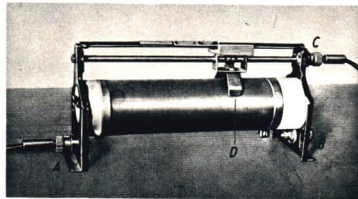


Abb. 129. Schiebewiderstand. A, B, C Klemmschrauben, D Gleitkontakt, AD stromdurchflossener, DB stromloser Teil des Widerstandes. D befindet sich in leitender Verbindung mit C.

Allgemeines Schaltzeichen eines Widerstandes: $\text{---} \square \text{---}$. Schaltzeichen eines stetig regelbaren Schiebewiderstandes: $\text{---} \text{---} \text{---}$.

Eine andere häufig verwendete Form eines technischen Widerstandes ist der *Kurbelwiderstand* (Abb. 130). 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 Zahl von Teilwiderständen in den Stromkreis geschaltet.

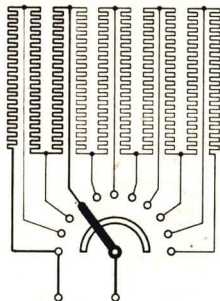


Abb. 130. Kurbelwiderstand, schematisch. Die einzelnen Widerstände sind über einem Rahmen ausgespannt. Sie stehen mit kreisförmig angeordneten Kontakten in Verbindung. Die verstärkt gezeichneten Widerstandsteile sind bei der im Bild wiedergegebenen Kurbelstellung vom Strom durchflossen.

6. Fragen und Aufgaben:

- In einer Schule gebraucht man als Vorschaltwiderstand beim Experimentieren sechs parallelgeschaltete Lampen, die einzeln ein- und ausgeschaltet werden können. Wie ändert sich die Stromstärke, wenn man die Lampen der Reihe nach einschaltet?
- Ein Leitungsdraht aus Kupfer ist 20 m lang. Er hat einen Durchmesser von a) 0,5 mm, b) 1 mm, c) 5 mm und somit einen Querschnitt von a) 0,196 mm², b) 0,785 mm², c) 19,6 mm². Wie groß ist sein Widerstand?
- Wie groß ist der Widerstand einer Leitung aus Aluminium mit einer Länge von 8 km und einem Querschnitt von 50 mm²?
- Ein Fahrradrahm aus Kupfer hat eine Länge von 3 km und einen Querschnitt von 35 mm². Er soll durch einen Stahldraht ersetzt werden. Welchen Querschnitt muß dieser aufweisen, wenn er den gleichen Widerstand haben soll wie der Kupferdraht?
- Ein Schiebewiderstand besteht aus einem 53 m langen Konstantdraht mit einem Querschnitt von 1,13 mm², der mit 280 Windungen um einen Keramikzylinder gewickelt ist. Welchen Widerstand besitzt er im ganzen? Welchen Widerstand bietet er, wenn 100 Windungen vom Strom durchflossen werden?

Benutze für die Aufgaben 2 bis 5 die Tabelle in Abschnitt 2!

§ 19. Leistung und Arbeit eines elektrischen Stromes

1. **Allgemeines über die Leistung eines elektrischen Stromes.** Jeder elektrische Strom, der ein Verbrauchsgerät eine gewisse Zeit durchfließt, ruft eine elektrische Wirkung hervor und verrichtet dadurch eine *Arbeit* (A). Die in der Zeiteinheit, in 1 s, verrichtete Arbeit wird als die **Leistung** (N) des Stromes bezeichnet. Wie in der Mechanik ist die Leistung der Quotient aus der Arbeit und der dabei verfließenden Zeit (t). Es ist

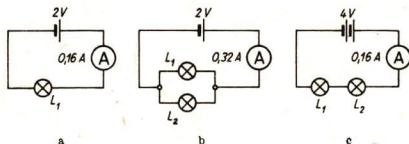
$$N = \frac{A}{t}.$$

Die verschiedenen Wirkungen des Stromes sind unmittelbar nicht wahrnehmbar. Sie treten in Form von Wärme und Licht, ferner in Form chemischer Umwandlungen und magnetischer Kräfte auf. Wenn man die elektrische Arbeit und Leistung in einem Stromkreis untersuchen will, so muß man eine der bekannten Wirkungen zugrunde legen. Wir benutzen dazu die Wärme- und Lichtwirkung der Glühlampen.

2. Die Abhängigkeit der elektrischen Leistung von der Stromstärke. Eine kleine Glühlampe L_1 einer elektrischen Taschenlampe legen wir an eine Akkumulatorzelle (2 V) und in Reihe zur Lampe ein Amperemeter. Wir lesen eine Stromstärke von 0,16 A ab, die Lampe leuchtet (Abb. 131 a). Der Strom verrichtet Arbeit in Form von Wärme und Licht und vollbringt in jeder Sekunde eine bestimmte Leistung. Schaltet man parallel zur Lampe L_1 eine zweite Lampe L_2 von gleicher Beschaffenheit wie die erste, so leuchtet L_2 in gleicher Stärke wie L_1 (Abb. 131 b).

Abb. 131. Abhängigkeit der Stromleistung von Spannung und Stromstärke (Schaltbild der Versuchsanordnung)

- Stromkreis mit einer Lampe,
- Stromkreis mit zwei parallel geschalteten Lampen,
- Stromkreis mit zwei in Reihe geschalteten Lampen



Der Strom leistet jetzt an Wärme und Licht das Doppelte wie vorher. Am Amperemeter lesen wir etwa die doppelte Stromstärke 0,32 A ab. Beim Parallelschalten einer dritten Lampe L_3 leuchtet auch diese ebenso hell wie die beiden anderen. Die elektrische Leistung ist auf den dreifachen Betrag gestiegen. Entsprechend zeigt das Amperemeter eine Stromstärke von 0,48 A an.

3. Die Abhängigkeit der elektrischen Leistung von der Spannung. Wir wiederholen den Versuch, legen aber eine zweite Lampe L_2 in Reihe zur Lampe L_1 . Beide Lampen leuchten mit verringerter Leuchtkraft. Will man beide Lampen ebenso hell zum Leuchten bringen wie vorher eine Lampe, so muß man die doppelte Spannung (4 V) an die Lampen legen (Abb. 131 c). Dementsprechend steigt die elektrische Leistung auf das Doppelte. Das Amperemeter zeigt unverändert 0,16 A an. Sollen drei hintereinandergeschaltete Lampen der gleichen Art mit der ursprünglichen Lichtstärke leuchten, so muß die elektrische Leistung verdreifacht werden. Man erreicht dies, wenn man die dreifache Spannung (6 V) an die Lampen legt. Die Stromstärke ist wieder 0,16 A.

4. Die elektrische Leistung. Wir fassen die Ergebnisse der in den vorangehenden Abschnitten dargestellten Versuchsreihen in der auf S. 84 stehenden Tabelle zusammen. In der letzten Spalte ist für jede Zeile das Produkt von Spannung und Stromstärke angegeben.

Abhängigkeit der Stromleistung von der Spannung und der Stromstärke

Zahl der Lampen		Spannung (U)	Stromstärke (I)	$U \cdot I$
in Parallel- schaltung	1	2 V	} konstant 0,16 A = 1 · 0,16 A 0,32 A = 2 · 0,16 A 0,48 A = 3 · 0,16 A	0,32 VA = 1 · 0,32 VA 0,64 VA = 2 · 0,32 VA 0,96 VA = 3 · 0,32 VA
	2	2 V		
	3	2 V		
in Reihen- schaltung	1	2 V = 1 · 2 V	} konstant 0,16 A 0,16 A 0,16 A	0,32 VA = 1 · 0,32 VA 0,64 VA = 2 · 0,32 VA 0,96 VA = 3 · 0,32 VA
	2	4 V = 2 · 2 V		
	3	6 V = 3 · 2 V		

Man ersieht daraus, daß sich das Produkt aus Spannung und Stromstärke in demselben Verhältnis ändert wie jeder der beiden Faktoren. Die Größe der Faktoren ist aber abhängig von der Zahl der vom Strom gespeisten Lampen, mithin von der Leistung des Stromes.

Aus diesem Grunde hat man das Produkt aus Spannung und Stromstärke als Maß für die Stromleistung gewählt. Man hat festgesetzt:

Die Leistung eines elektrischen Stromes ist gleich dem Produkt aus Spannung und Stromstärke.

$$N = U \cdot I.$$

Daraus ergibt sich als *Einheit für die elektrische Leistung* das **Voltampere (VA)**. Man hat dafür die Bezeichnung **Watt (W)** eingeführt. Die elektrotechnische Leistungseinheit Watt ist gleichbedeutend mit der uns aus der Mechanik her bekannten Leistungseinheit gleichen Namens. In der Technik benutzt man meist eine tausendmal so große Einheit, das **Kilowatt (kW)**, und eine millionenmal so große Einheit, das **Megawatt (MW)**.

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W},$$

$$1 \text{ MW} = 1000000 \text{ W}.$$

Das Watt ist uns bereits bei der Behandlung der Glühlampen im § 9,2 als Leistungseinheit bekannt geworden. Wir verstehen jetzt die Angaben, die sich auf jeder Lampe, auf jedem Bügeleisen und überhaupt auf allen elektrischen Geräten befinden.

Jedes elektrische Gerät ist für eine bestimmte Anschlußspannung genormt. Da es einen durch Material und Bauart bestimmten Widerstand besitzt, fließt nach dem Ohmschen Gesetz beim Anschluß an die festgelegte Spannung ein Strom von ganz bestimmter Stärke. Das Produkt aus der Netzanschlußspannung und der Stromstärke ergibt die elektrische Leistungsaufnahme des Gerätes, die auf dem Gerät in Watt angegeben ist.

5. Die elektrische Arbeit. Die vom elektrischen Strom in einem Stromverbraucher verrichtete Arbeit hängt nicht nur von der Spannung und der Stromstärke, sondern auch noch von der Zeit ab, während der der Strom das Gerät durch-

fließt. Die Zusammenhänge sind die gleichen wie zwischen mechanischer Leistung und mechanischer Arbeit. Auch für den elektrischen Strom ist die Leistung N gleich dem Quotienten aus Arbeit A und Zeit t ,

$$N = \frac{A}{t}.$$

Umgekehrt gilt:

$$A = N \cdot t.$$

Die Stromarbeit ist gleich dem Produkt aus Leistung und Zeit, mithin gleich dem Produkt aus Spannung, Stromstärke und Zeit.

$$A = U \cdot I \cdot t.$$

Als *elektrische Arbeitseinheit* wird die Arbeit verwendet, die ein Stromkreis bei einer Leistungsabgabe von 1 Watt während einer Stunde verrichtet. Sie heißt eine **Wattstunde (Wh)**. Eine *tausendmal so große Arbeitseinheit* ist die **Kilowattstunde (kWh)**. Daneben ist auch für physikalische Messungen die **Wattsekunde (Ws)** im Gebrauch.

$$1 \text{ Wh} = 3600 \text{ Ws}.$$

Rechenbeispiel:

Ein Tauchsieder ist an ein Netz mit einer Spannung von 220 V angeschlossen. Der durch ihn fließende Strom wird mit einem Amperemeter gemessen und beträgt 1,13 A. Ist der Tauchsieder 10 Minuten lang in Betrieb, so beträgt die elektrische Arbeit

$$A = U \cdot I \cdot t = 220 \text{ V} \cdot 1,13 \text{ A} \cdot 10 \cdot 60 \text{ s} \approx 15000 \text{ Ws} \approx 4,1 \text{ Wh} \approx 0,004 \text{ kWh}.$$

Das Kilowatt bzw. die Kilowattstunde werden heute in der Technik nicht nur zur Angabe elektrischer Arbeiten, sondern auch zum Messen mechanischer Arbeiten gebraucht. Die früher verwendete Leistungseinheit Pferdestärke tritt demgegenüber immer mehr zurück. Zum Messen der vom elektrischen Strom in einem Betrieb, in einer Werkstatt, in einer Wohnung verrichteten Arbeit dienen **Elektrizitätszähler** (Abb. 132). Dies sind Geräte, deren Konstruktion mit einem kleinen Motor vergleichbar ist. Die Ziffern des Zählers zeigen die Größe der verrichteten Arbeit in kWh an.

Spare elektrische Energie, wo es immer möglich ist, besonders in den Spitzenzeiten! Sie wird für den Aufbau unserer Wirtschaft dringend gebraucht!

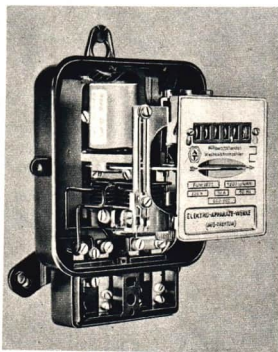


Abb. 132. Elektrizitätszähler aus dem Elektro-Apparate-Werk Treptow. Das Gehäuse ist abgenommen.

6. Fragen und Aufgaben:

1. Wie lange kann eine 100-Watt-Lampe brennen, bis sie 1 kWh verbraucht hat?
2. In einer Wohnung wurde eine halbe Stunde lang elektrisch gekocht. Die Leistungsaufnahme der Kochplatte beträgt 500 W. Wie groß ist die dem Netz entnommene Arbeit?
3. Ein Büroraum hat eine Deckenleuchte mit einer Leistungsaufnahme von 100 W. Auf dem Schreibtisch steht eine Tischlampe für 40 W. Welchen Betrag an elektrischer Arbeit spart man, wenn man 8 Stunden lang nur die Tischlampe, nicht dagegen die Deckenleuchte einschaltet?
4. Man hat vergessen, während der Nacht die Flurlampe (40 W) auszuschalten. Sie brennt von 22.00 Uhr bis 7.00 Uhr. Wieviel elektrische Arbeit ist vergeudet worden?
5. Ein Tauchsieder verbraucht in 15 Minuten 0,1 kWh. Wie groß ist seine Leistungsaufnahme?
6. Wie groß ist in einer für 220 V genormten 40-Watt-Lampe die Stromstärke? Welchen Widerstand hat die Lampe?
7. Eine Akkumulatorzelle wird bei einer Spannung von 2,7 V 24 Stunden geladen. Die Stromstärke wird durch vorgelegte Widerstände auf 2,5 A gehalten. Welche elektrische Arbeit (gemessen in kWh) wird in der Zelle aufgespeichert?

III. Der Elektromagnetismus

Die elektromagnetische Induktion

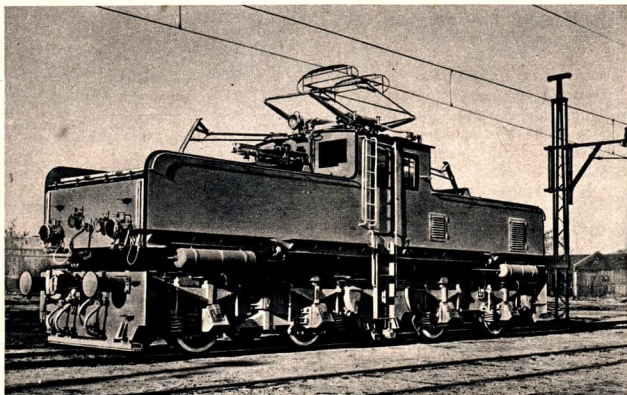


Abb. 133. Elektrische Grubenlokomotive auf dem Gelände des Herstellerwerkes
Lokomotivbau-Elektrotechnische Werke „Hans Beimler“ VEB, Hennigsdorf

Für den Aufbau unserer Friedenswirtschaft ist die Versorgung mit elektrischer Energie von entscheidender Bedeutung. Denn überall sind es vorwiegend elektrische Maschinen und Einrichtungen, die in unseren volkseigenen Werken und Betrieben, in der Landwirtschaft, aber auch im Verkehrswesen für uns arbeiten. Insbesondere gilt dies für eine der wichtigsten Grundlagenindustrien, den Bergbau. Die mächtigen Eimerkettenbagger und Schaufelradbagger, die in unseren Braunkohlengruben ständig in Betrieb sind, ebenso auch die anderen dort arbeitenden Großmaschinen, verwenden fast ausschließlich Elektromotoren zum Antrieb. Ein einziger Schaufelradbagger, wie er zum Beispiel im Lehrbuch der Physik für das 7. Schuljahr in Abb. 91 wiedergegeben wurde, enthält etwa 100 Elektromotoren. Große elektrische Grubenlokomotiven ziehen die Züge der Grubenbahnen, durch die Tag und Nacht die gewonnene Kohle und der abgetragene Abraum fortgeschafft werden. Abb. 133 zeigt uns eine Grubenlokomotive auf dem Werksgelände des LEW Hennigsdorf.

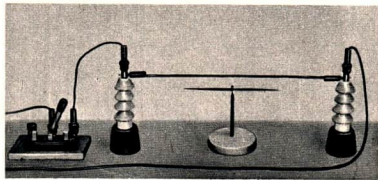
Damit wir die Wirkungsweise solcher Maschinen verstehen lernen, werden uns die folgenden Paragraphen in die Grundlagen der Elektrotechnik einführen.

§ 20. Das Magnetfeld eines stromdurchflossenen geradlinigen Leiters

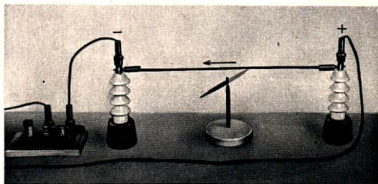
1. Die Ablenkung einer Magnetnadel durch den elektrischen Strom. Aus § 2, 2 wissen wir, daß eine Magnetnadel, die bei störungsfreier Aufstellung in die Nord-Süd-Richtung zeigt, durch einen in ihre Nähe gebrachten Magneten aus der Nord-Süd-Richtung abgelenkt wird. Sie stellt sich annähernd in die Richtung der Feldlinien des Magneten ein. Wir bringen eine Magnetnadel in die Nähe eines stromdurchflossenen Leiters und führen einen Versuch durch, den man nach seinem Urheber als den *Oersted'schen Versuch* bezeichnet.¹

Aus einem Akkumulator oder einem Stromversorgungsgerät als Gleichstromquelle und einer kleinen Glühlampe stellen wir einen Stromkreis her. Den einen der beiden Leitungsdrähte spannen wir zwischen zwei Fußklemmen dicht über einer Magnetnadel in der Nord-Süd-Richtung aus (Abb. 134). Sobald wir den Stromkreis schließen, dreht sich die Magnetnadel etwas zur Seite. Sie zeigt eine Ablenkung von der Nord-Süd-Richtung. Schalten wir eine zweite Glühlampe parallel zur ersten in den Stromkreis ein, so wird der Ausschlag der Magnetnadel noch größer. Denn durch zwei parallelgeschaltete Glühlampen fließt ein stärkerer Strom als durch eine Lampe (vgl. § 18, 1). Wir erkennen daraus, daß mit der Stromstärke auch die Ablenkung der Magnetnadel wächst.

Bei wiederholtem Öffnen und Schließen des Stromkreises sieht man, daß die Ablenkung der Magnetnadel jedesmal im gleichen Drehsinne erfolgt. Wenn man aber die Stromrichtung durch Vertauschen der Anschlüsse an der Stromquelle umkehrt, dann wird die Magnetnadel nach der entgegengesetzten Seite hin abgelenkt. Ebenso ändert sich die Richtung der Ablenkung, wenn man die Magnetnadel über dem stromdurchflossenen Leiter anordnet (Abb. 135).



a) Stromkreis geöffnet



b) Stromkreis geschlossen

Abb. 134

Ablenkung einer Magnetnadel durch den elektrischen Strom

¹ Hans Christian Oersted (1777–1851), bedeutender dänischer Physiker, Professor in Kopenhagen. Er entdeckte 1820 die magnetische Wirkung des elektrischen Stromes.

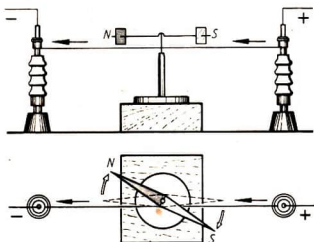


Abb. 135. Ablenkung einer Magnetnadel durch einen stromdurchflossenen Leiter. Die Magnetnadel wird über dem Leiter in entgegengesetzter Richtung abgelenkt wie unter ihm.

Eine Magnetnadel wird durch einen parallel über oder unter ihr vorbeifließenden Strom aus der Nord-Süd-Richtung gedreht. Die Ablenkung ist um so größer, je größer die Stromstärke ist.

Die Abhängigkeit der Richtung der Ablenkung von der Stromrichtung wird durch die von Ampère aufgestellte *Rechte-Hand-Regel* wiedergegeben (Abb. 136):

Hält man die rechte Hand so an einen stromdurchflossenen Leiter, daß die gestreckten Finger in die Richtung des Stromes zeigen und die Handfläche der Magnetnadel zugekehrt ist, so gibt der abgespreizte Daumen die Drehrichtung an, in der der Nordpol der Magnetnadel abgelenkt wird.

Bei sehr großer Stromstärke stellt sich die Magnetnadel senkrecht zum Leiter.

2. Die Form des Magnetfeldes um einen geradlinigen stromdurchflossenen Leiter. Wir stecken durch die Mitte einer horizontal gehaltenen Pappscheibe einen Draht. Die Pappe bestreuen wir mit Eisenfeilspänen und schließen die Enden des Drahtes für ein bis zwei Sekunden an die Klemmen eines Akkumulators an. Dabei klopfen wir leicht auf die Pappe. Die Eisenfeilspäne ordnen sich zu **konzentrischen Kreisen** um den Draht (Abb. 137). Wenn man die Pappscheibe nach oben oder nach unten längs des Drahtes verschiebt und den Versuch wiederholt, ergibt sich jedesmal das gleiche Feldlinienbild (Abb. 138).

Ein geradliniger stromdurchflossener Leiter ist von einem magnetischen Feld umgeben, dessen Feldlinien konzentrische Kreise bilden.

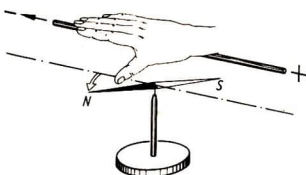


Abb. 136. Veranschaulichung der Rechte-Hand-Regel zur Bestimmung der Ablenkung einer Magnetnadel durch einen an ihr vorbeifließenden Strom

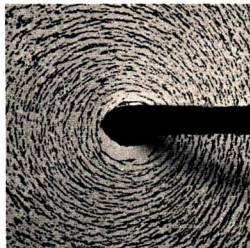


Abb. 137. Magnetische Feldlinien um einen senkrecht durch eine Pappscheibe hindurchgeführten, stromdurchflossenen Draht



Abb. 138
Magnetfeld um einen stromdurchflossenen Leiter (schematisch)

3. Die Richtung der Feldlinien im Magnetfeld eines geradlinigen stromdurchflossenen Leiters. Führt man eine auf einer Nadelspitze leicht drehbar angebrachte Magnetnadel um einen senkrecht zur Tischplatte angeordneten stromdurchflossenen Leiter herum, so stellt sich die Nadel in die Richtung einer Feldlinie ein. Ist das obere Ende des Drahtes unter Zwischenschalten einer kleinen Glühlampe als Schutzwiderstand mit dem Pluspol und das untere Ende mit dem Minuspol eines Akkumulators verbunden, so fließt der Strom von oben nach unten durch den Draht. Dabei wird der Nordpol der Magnetnadel, von oben aus betrachtet, immer im Uhrzeigersinne abgelenkt (Abb. 139). Die Magnetnadel stellt sich in die Richtung der Feldlinien ein.

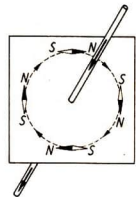


Abb. 139. Verhalten einer Magnetnadel im Magnetfeld eines Leiters. Die Nadel zeigt die Richtung der Feldlinien an.

Man legt den magnetischen Feldlinien, soweit sie außerhalb eines Magneten verlaufen, die Richtung vom Nordpol zum Südpol bei.

Abbildung 140 zeigt, in welcher Richtung die magnetischen Feldlinien den Leiter umschließen. Die Stromrichtungen sind in der Darstellung durch einen in den Drahtquerschnitt eingefügten Punkt bzw. durch ein Kreuz gekennzeichnet. Dies ist folgendermaßen zu deuten: Man pflegt Stromrichtungen in Schaltbildern in der Regel durch einen Pfeil zu veranschaulichen. Durchfließt der Strom die Zeichenebene von hinten nach vorn, so blickt man gegen die Pfeilspitze. Sie erscheint in der Zeichnung als Punkt im Leiterquerschnitt. Tritt der Strom von vorn nach hinten durch die Zeichenebene hindurch, so erblickt man das gefiederte Ende des Pfeiles. Es ist durch ein liegendes Kreuz im Leiterquerschnitt gekennzeichnet.

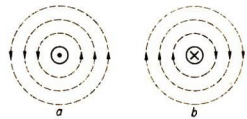


Abb. 140. Die Richtung der Feldlinien im Magnetfeld eines Leiters

- a) Der Strom durchsetzt die Zeichenebene von hinten nach vorn.
- b) Der Strom durchsetzt die Zeichenebene von vorn nach hinten.

Es bedeuten demnach:

- ⊙ Blick auf die Pfeilspitze: Stromfluß von hinten nach vorn,
- ⊗ Blick auf das Pfeilende: Stromfluß von vorn nach hinten.

Zum Bestimmen der Richtung des magnetischen Feldes eines stromdurchflossenen Leiters dient die *Rechte-Faust-Regel* (Abb. 141). Sie lautet:

Umschließt man einen stromdurchflossenen Leiter mit der rechten Faust, so daß der abgespreizte Daumen in die Stromrichtung weist, so geben die gekrümmten Finger die Richtung der magnetischen Feldlinien an, die den Leiter umgeben.



Abb. 141. Die Rechte-Faust-Regel zur Bestimmung der Richtung der magnetischen Feldlinien eines geradlinigen stromdurchflossenen Leiters

4. Versuche, Fragen, Aufgaben:

- Beschreibe den Verlauf der magnetischen Feldlinien um einen stromdurchflossenen Draht!
- Zeichne das Feldlinienbild eines geradlinigen stromdurchflossenen Leiters!
- In welcher Richtung wird der Nordpol einer Magnetnadel in der Nähe eines lotrecht ausgespannten Drahtes abgelenkt, wenn ein Strom
 - von oben nach unten,
 - von unten nach oben durch den Draht fließt?
 Was folgt hieraus über die Richtung der Feldlinien?
- Schließe einen Leitungsdraht unter Zwischenschalten einer kleinen Glühlampe an eine Taschenlampenbatterie an und halte ihn dicht über die Magnetnadel eines Wanderkompasses! Wie verhält sich die Kompaßnadel beim Schließen des Stromkreises? Welche Veränderung tritt ein, wenn man den Draht unter dem Kompaß entlangführt? Erkläre das Verhalten der Magnetnadel bei diesen Versuchen nach der Rechten-Hand-Regel!

§ 21. Das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule

1. Die Ablenkung einer Magnetnadel in einer stromdurchflossenen Leiterschleife.

Wir wiederholen den in § 20,1 beschriebenen Oersted'schen Versuch, biegen aber den zwischen den Fußklemmen ausgespannten Leitungsdraht zu einer *Leiterschleife* (Abb. 142). Die Magnetnadel stellen wir so auf, daß sie von der Schleife umgeben ist.

Nach dem Einschalten des Stromes beobachten wir wieder eine Ablenkung der Magnetnadel, doch ist sie stärker als bei Verwendung eines gestreckten Drahtes. Die Ablenkung steht in Übereinstimmung mit der Rechten-Hand-Regel. Denn führen wir die rechte Hand der Rechten-Hand-Regel entsprechend an der Leiterschleife entlang, so zeigt der Daumen immer in die gleiche Richtung. Die Magnetnadel wird sowohl durch den oberen Teil

wie durch den unteren Teil der Leiterschleife nach derselben Richtung hin abgelenkt. Dies ist die Ursache für die zu beobachtende Verstärkung der Ablenkung.

Biegen wir den Draht zu mehreren Schleifen, so beobachten wir beim Schließen des Stromkreises einen noch größeren Ausschlag der Magnetnadel. Man kann diese Anordnung als Stromanzeigergerät für schwache Ströme benutzen. Ein Gerät dieser Art nennt man ein *Nadelgalvanoskop*.

2. Das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Leiterschleife. Durch ein Stück Pappe sticht man im Abstand von etwa 3 cm zwei Löcher und führt einen Draht durch das eine Loch nach oben und durch das andere wieder nach unten

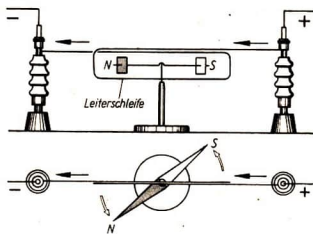


Abb. 142. Magnetnadel in einer Leiterschleife

(Abb. 143). Die horizontal gehaltene Pappe wird mit Eisenfeilspänen bestreut, die Drahtenden werden wie bei den vorangehenden Versuchen kurzzeitig an die Klemmen eines Akkumulators angeschlossen, wobei man die Pappe leicht erschüttert. Der Strom fließt in der einen Hälfte der Leiterschleife von unten nach oben und in der anderen Hälfte von oben nach unten. Wir können uns nach der Rechten-Faust-Regel davon überzeugen, daß die Feldlinien den nach unten führenden Strom im Uhrzeigersinn umschließen. Um den nach oben fließenden Strom verlaufen sie im entgegengesetzten Sinne. Das Feldlinienbild Abb. 144 zeigt, daß sich die magnetischen Feldlinien nirgends überkreuzen. Mit Hilfe einer Magnetnadel stellt man fest, daß die eine Fläche der Leiterschleife wie ein *magnetischer Nordpol*, die andere Fläche wie ein *magnetischer Südpol* wirkt.

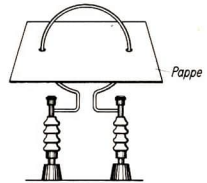


Abb. 143. Versuchsanordnung zur Untersuchung des Magnetfeldes einer Leiterschleife

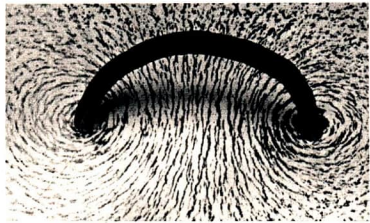


Abb. 144. Das Magnetfeld einer Leiterschleife. Die magnetischen Feldlinien überkreuzen sich an keiner Stelle des Feldes.

3. Das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule. Wir stecken den Draht mehrfach durch die Pappe, so daß eine *Spule* von etwa fünf bis zehn Windungen entsteht. Mit dieser wiederholen wir den Versuch auf die oben beschriebene Weise. Das Feldlinienbild der stromdurchflossenen Spule läßt wiederum erkennen, daß sich magnetische Feldlinien an keiner Stelle des Feldes überschneiden (Abb. 145). Sie quellen aus dem einen Spulenende hervor, führen in Bogen zum anderen Ende, münden dort in die Spule ein und laufen in der Spule parallel zueinander

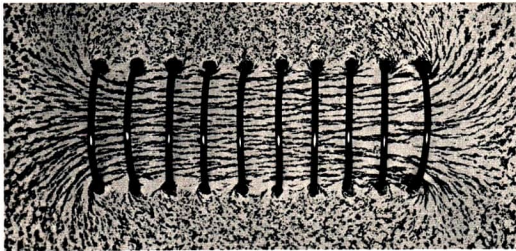


Abb. 145. Das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule. Es ähnelt dem eines Stabmagneten.

zum Quellpunkt zurück (Abb. 146).

Nähert man der Spule eine Magnetnadel, so erkennt man, daß sich das eine Ende der Spule wie ein Nordpol, das andere Ende wie ein Südpol verhält, solange die Spule vom Strom durchflossen wird. *Die Spule wirkt wie ein Stabmagnet.* Ein Vergleich des Feldlinienbildes der Spule mit dem eines Stabmagneten bestätigt dies (vgl. Abb. 146 mit Abb. 12).

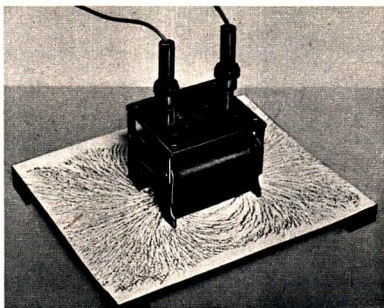


Abb. 146. Magnetfeld einer Kastenspule des RFT-Funkwerkes Zittau-Obersdorf

Das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule ähnelt dem eines Stabmagneten.

Die Lage der Magnetpole einer Spule läßt sich in sinngemäßer Abänderung der *Rechten-Hand-Regel* leicht angeben (Abb. 147).



Abb. 147. Bestimmung des Nordpols einer stromdurchflossenen Spule mit Hilfe der Rechten-Hand-Regel

Legt man die rechte Hand mit abgespreiztem Daumen so an die Spule, daß die geschlossenen vier Finger die Richtung des Stromflusses in den Windungen angeben, so zeigt der Daumen zum magnetischen Nordpol der Spule.

Eine Spule mit 500 Windungen halten wir über ein Kästchen mit Eisenfeilspänen und schließen sie an eine Gleichstromquelle an. In dem Augenblick, in dem der Stromkreis geschlossen wird, werden die Eisenfeilspäne in die Spule hineingerissen und hängen beim Hochheben als ein dichtes Büschel an der Spule. An der Form dieses Büschels erkennt man deutlich, daß die Feldlinien nach allen Seiten räumlich auseinanderlaufen (Abb. 148). Beim Ausschalten des Stromes fallen die Eisenfeilspäne von der Spule ab. Das magnetische Feld bricht im gleichen Augenblick zusammen.

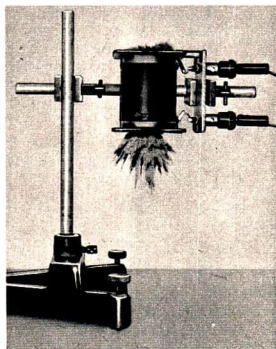


Abb. 148. Büschel von Eisenfeilspänen an einer stromdurchflossenen Spule

4. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Bilde einen Stromkreis aus einer Taschenlampenbatterie und einer kleinen Glühlampe! Führe einen der Zuleitungsdrähte in einer Windung in Richtung der Magnetnadel um einen Wanderkompaß! Miß den Ausschlag der Magnetnadel beim Schließen des Stromkreises! Führe den Leitungsdraht in zwei, drei, vier und mehr Windungen um den Kompaß und vergleiche die Magnetnadelausschläge (Abb. 149)!
2. Beschreibe das magnetische Feld einer stromdurchflossenen Spule!
3. Welchen Einfluß hat die Stromrichtung auf die Verteilung der magnetischen Pole einer Spule?
4. Wickle der Abb. 150 entsprechend einen dünnen isolierten Draht in etwa 20 Windungen um den äußeren Teil einer Streichholzschatel! Stecke ein 3 cm langes Stück einer magnetisierten Stopfnadel durch ein Korkwürfelchen und senkrecht dazu knapp darüber eine Stecknadel als Achse! Ein schmaler, auf die Stecknadel gesteckter Papierstreifen dient als Zeiger. Lege nun, wie es die Abbildung zeigt, die Magnetnadel in zwei Kerben auf die unwickelte Schachtel! Man erhält so ein behelfsmäßiges Galvanoskop.

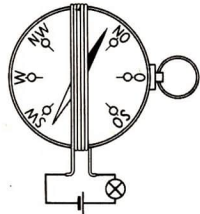


Abb. 149. Wanderkompaß als Galvanoskop

5. Schließe das nach Aufgabe 4 gebaute Galvanoskop mit einer kleinen Glühlampe und einer Taschenlampenbatterie zu einem Stromkreis und beobachte den Ausschlag des Zeigers! Wie ändert sich der Ausschlag beim Vertauschen der Anschlüsse an der Stromquelle? Klebe an die Streichholzschatel eine Skala aus dünner Pappe, um die Größe der Zeigerausschläge bei verschiedenen Versuchen vergleichen zu können!
6. Warum ist ein Magnetnadelgalvanoskop für Wechselstrommessungen ungeeignet?

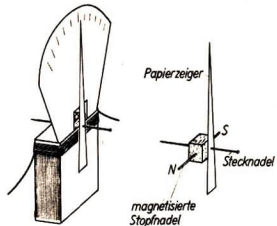


Abb. 150
Selbstbau eines behelfsmäßigen Galvanoskops

§ 22. Der Elektromagnet

1. Die magnetische Wirkung einer stromdurchflossenen Spule. Um die magnetische Wirkung genau zu untersuchen, die ein durch eine Spule fließender Strom hervorruft, hängen wir ein Eisenstück an einer Federwaage so über die Spule, daß es mit seinem unteren Ende etwa 1 cm in das Spuleninnere taucht (Abb. 151). In den Stromkreis legen wir einen Schiebewiderstand. Beim Einschalten des Stromes wird der Eisenkörper von oben her in die Spule hineingezogen. Bei mehr-

facher Wiederholung des Versuches erkennen wir, daß jeder Stellung des Schiebers am Widerstand eine bestimmte Anzeige an der Federwaage entspricht. Wir erkennen daraus, daß mit der Stromstärke auch die magnetische Wirkung der Spule größer wird.

Die magnetische Wirkung einer Spule wächst mit zunehmender Stromstärke.

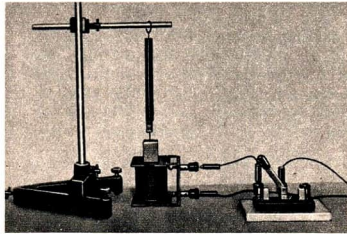
2. Verstärkung der magnetischen Wirkung durch einen Eisenkern. Wir stellen etwa 20 cm von einer Magnetnadel entfernt eine Spule in ostwestlicher Richtung so auf den Tisch, daß die Spulenachse auf die Magnetnadel hin gerichtet ist (Abb. 152a). Legen wir an die Spule eine Gleichspannung, so wird die Magnetnadel um einen bestimmten Winkel abgelenkt (Abb. 152b).

Stecken wir einen Weicheisenkern in die Spule, so beobachten wir eine bedeutend größere Ablenkung (Abb. 152c).

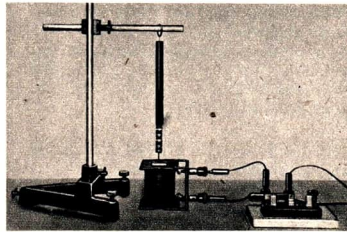
Die magnetische Wirkung einer Spule wird durch einen Eisenkern verstärkt.

3. Der Elektromagnet. Der im 2. Abschnitt beschriebene Versuch ließ an der Größe des Magnetnadausschlages erkennen, daß die magnetische Wirkung einer Spule durch einen Eisenkern verstärkt wird. Diese Zunahme der Wirkung äußert sich in einer Vergrößerung der Kraft, mit der Eisenstücke von der Spule angezogen werden. Ein einfacher Versuch bestätigt dies.

Eine Spule mit 500 Windungen vermag beim Anschluß an eine Gleichspannung von 2 V nicht einmal einen Eisenschlüssel festzuhalten, während sie, mit



a) Stromkreis geöffnet

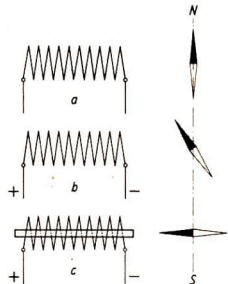


b) Stromkreis geschlossen

Abb. 151. Ein Eisenkörper hängt an einer Federwaage. Er wird beim Einschalten des Stromes in das Spulennetz gezogen.

Abb. 152. Die Ablenkung einer Magnetnadel im Magnetfeld einer Spule

- Stromlose Spule
- Stromdurchflossene Spule ohne Eisenkern
- Stromdurchflossene Spule mit Eisenkern



einem Weicheisenkern versehen, bei gleicher Spannung große Eisenstücke trägt (Abb. 153).

Solange der Strom durch die Spule fließt, hat der Eisenkern die gleichen Eigenschaften wie ein Stabmagnet. An seinen Enden bilden sich Magnetpole. Sobald aber der Stromfluß unterbrochen wird, verliert der Weicheisenkern den Magnetismus wieder.

Ein von einer Spule umgebener Eisenkern wird zu einem Magnet, sobald er vom Strom umflossen wird. Ein solcher elektrisch erregter Magnet heißt *Elektromagnet*.

Der Elektromagnet hat dem Stahlmagneten gegenüber den Vorteil, daß man durch einen Schalter den Strom in der Spule zu einem beliebigen Zeitpunkt ein- oder ausschalten und damit auf einfache Weise das Magnetfeld aufbauen und abbauen kann (Abb. 154).

Im § 3, 2 haben wir gesehen, daß die magnetischen Feldlinien durch Eisen gesammelt werden, während sie in der Luft weniger dicht gedrängt liegen. Diese Tatsache macht die Wirkung des Eisenkerns in einer Spule verständlich. Will man eine große magnetische Wirkung erzielen, so muß man dafür sorgen, daß die Feldlinien möglichst längs ihres ganzen Weges im Eisen liegen. Durch die Verwendung eines U-förmigen Eisenkerns erreicht man, daß die Feldlinien auch außerhalb der Spule zum großen Teil im Eisen verlaufen. Man erhält so einen hufeisenförmigen Elektromagneten. Überbrückt man die Enden des Hufeisenkerns durch ein Eisenstück, das man als *Anker* bezeichnet, so werden dadurch die Feldlinien auch außerhalb des Eisenkerns zusammengehalten. Die magnetische Wirkung wird somit verstärkt.

Eine noch größere Wirkung erzielt man mit einem topfförmigen Eisenkern. Die Abb. 155 zeigt den Schnitt durch einen solchen Elektromagneten. Durch eine Eisenplatte, den Anker, wird der

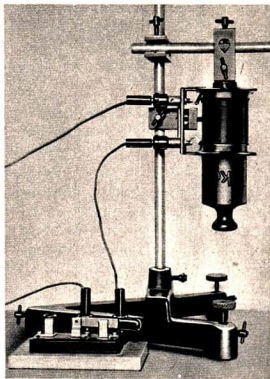


Abb. 153
Eine mit einem Weicheisenkern versehene Spule trägt ein 1-kg-Stück. Angelegte Spannung 2 V

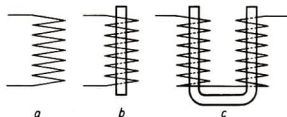


Abb. 154. Schaltzeichen eines Elektromagneten
a) Spule ohne Eisenkern
b) Spule mit geradem Eisenkern
c) Doppelspule mit U-förmigem Eisenkern

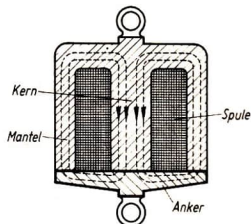


Abb. 155. Querschnitt durch einen Elektromagneten mit topfförmigem Eisenkern und Anker

Eisenkern geschlossen und jeder Luftspalt vermieden. Die Feldlinien verlaufen ihrer ganzen Länge nach im Eisen. Ein faustgroßer Elektromagnet dieser Art kann bei einer Spannung von 4 V eine Eisenmasse mit einem Gewicht bis zu 100 kp tragen (Abb. 156). In unseren großen Stahlwerken sind heute *Elektrokran*e anzutreffen, die mit elektromagnetischen Greifvorrichtungen versehen sind. Sie sind mechanisch wie alle anderen Kräne konstruiert, sind aber nicht mit einem Greifer, sondern mit einem großen, leistungsfähigen *Topfmagneten* ausgerüstet (Abb. 157). Man verwendet sie zur Beförderung und zum Aussortieren von Eisenschrott, zum Heben großer Stahlblöcke und zu ähnlichen Zwecken. Der Anker des Magneten wird dabei fortgelassen. An seine Stelle treten die zu transportierenden Eisenstücke, die bei eingeschaltetem Strom den Luftspalt überbrücken und den magnetischen Feldschluß herstellen.

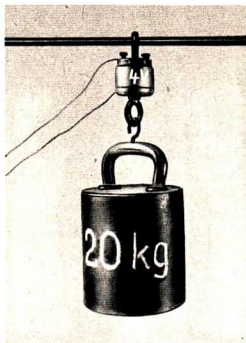


Abb. 156

Kleiner Topfmagnet mit starker Belastung

Elektromagnete werden in der Technik als Bestandteile elektrischer Geräte mannigfaltig verwendet. Die elektromagnetisch wirkenden Einrichtungen zur Nachrichtenübermittlung werden wir in den nächsten Paragraphen besonders kennenlernen. Hier sei auf einige andere Beispiele hingewiesen.

Im *elektrischen Türöffner* zieht ein in das Türschloß eingebauter Elektromagnet die Sperrvorrichtung der Klinke zurück, sobald durch einen Schalter, meist einen Druckknopf, der Stromkreis



Abb. 157

Elektrokran im volkseigenen Stahl- und Walzwerk Wilhelm Florin, Hennigsdorf.

Betriebsspannung 220 V,
Tragkraft 2500 kp

geschlossen wird (Abb. 158). Wird der Stromkreis durch Loslassen des Druckknopfes unterbrochen, so federt die Sperre in die alte Lage zurück und hält die Klinke fest.

Beim *elektrischen Weichensteller* der Straßenbahn betätigt der Fahrstrom einen Elektromagneten, der die *Weichenzunge* in die Fahrstellung zieht (Abb. 159). Einen Einblick in die Wirkungsweise des Weichenstellers vermittelt uns die schematische Abbildung 160 auf Seite 99.

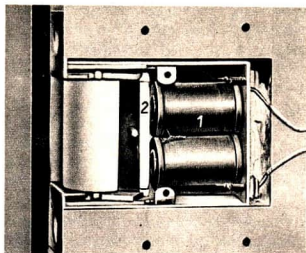


Abb. 158. Elektrischer Türöffner
1 Elektromagnet, 2 beweglicher Sperrhebel

4. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Umwickle einen Eisenschlüssel mit einem etwa 3 m langen, dünnen isolierten Draht! Nähere ein Ende des Schlüssels einem kleinen Eisenkörper (Nagel, Schreibfeder u. a. m.) und schließe die Drahtenden an eine Taschenlampenbatterie an! Öffne den Stromkreis wieder! Umwickle statt des Schlüssels einen Stahlstab und wiederhole den Versuch!
2. Warum ist Stahl zum Herstellen eines Elektromagneten ungeeignet?
3. Wie beeinflussen die Windungszahl, die Stromstärke und der Eisenkern die magnetische Wirkung eines Elektromagneten?
4. Beim Herstellen eines hufeisenförmigen Elektromagneten werden in der Regel beide Schenkel des Eisenkerns mit Spulen versehen.
 - a) Bestimme mit Hilfe der Rechten-Hand-Regel, in welcher Richtung der Strom die beiden Schenkel umfließen muß, damit am Ende des einen Schenkels ein Nordpol und am Ende des anderen ein Südpol entsteht! Zeichne eine Skizze, aus der man die Wickelrichtung erkennt!
 - b) Was für Pole bilden sich an den Enden der Schenkel, wenn beide im gleichen Sinn umwickelt sind?
5. Nenne Geräte, in denen Elektromagnete verwendet werden, und erläutere ihre Wirkungsweise!

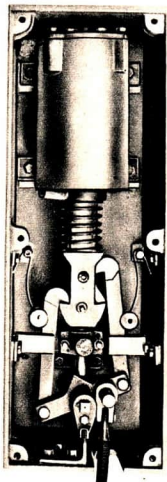


Abb. 159
Elektrischer Weichensteller
einer Straßenbahn

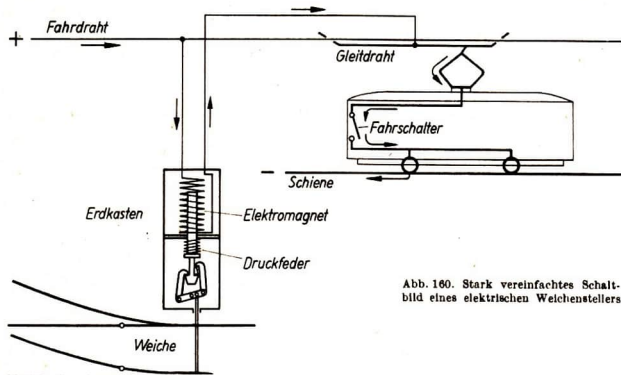


Abb. 160. Stark vereinfachtes Schaltbild eines elektrischen Weichenstellers

Kurz vor der Weiche ist parallel zum Fahrdrabt ein Drahtstück angebracht, das gegen den Fahrdrabt isoliert ist. An diesem Drahtstück gleitet der Stromabnehmer des Wagens entlang, ohne den Fahrdrabt selbst zu berühren. Der Weichensteller ist mit diesem Drahtstück und mit dem Fahrdrabt verbunden. Durch den Fahrdrabt am Führerstand des Wagens wird der Stromkreis geschlossen und dadurch der Weichensteller betätigt.

Im Erdkasten befindet sich ein Verstellhebel, an dem zwei kräftige Haken befestigt sind. Sie werden abwechselnd von der Zugstange des Elektromagneten erfaßt.

§ 23. Die elektrische Klingel

1. Der Wagnersche Hammer. *Elektrische Klingeln* sind die einfachsten Einrichtungen zur elektrischen Fernübertragung von Signalen. Um ihre Wirkungsweise gut verstehen zu können, führen wir unter Verwendung von Aufbauteilen folgenden Versuch durch:

Wir bilden einen Stromkreis aus einem Akkumulator, einem Elektromagneten und einem Klingelknopf (Abb. 161). Über dem Elektromagneten befestigen wir federnd als Anker einen Blechstreifen, der mit einem Klöppel versehen ist. Dicht unter den Klöppel stellen wir eine Glocke. Abb. 162 zeigt eine Schaltskizze der beschriebenen Vorrichtung. Wird



Abb. 161
Schnittzeichnung eines
Klingelknopfes

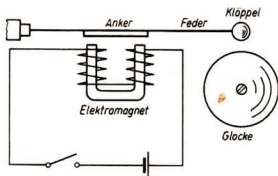


Abb. 162

Elektrischer Signalgeber für Einzelsignale
(Schaltskizze)

durch einen Druck auf den Klingelknopf der Stromkreis geschlossen, so zieht der Elektromagnet den Anker an, wobei der Klöppel einmal gegen die Glocke schlägt. Soll sich das Glockenzeichen wiederholen, so muß der Stromkreis jedesmal geöffnet und von neuem geschlossen werden.

Durch eine einfache Einrichtung, den *Wagnerschen Hammer*, läßt sich der beschriebene Signalgeber zur Abgabe von Dauersignalen umgestalten. Man erreicht dies, wenn man dem Elektromagneten den Strom nicht direkt, sondern über eine am Anker befestigte

Ankerfeder, die *Kontaktschraube* zuführt (Abb. 163). Im stromlosen Zustand berührt die Ankerfeder die Kontaktschraube. Sobald man den Stromkreis schließt, zieht der Elektro-

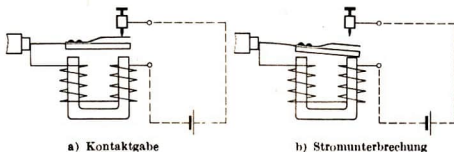


Abb. 163. Wagnerscher Hammer (Schaltbild)

magnet den Anker an. Dadurch wird der Stromkreis zwischen der Kontaktschraube und der Ankerfeder unterbrochen. Der Elektromagnet wird unwirksam. Infolge-

dessen federt der Anker in seine ursprüngliche Lage zurück und schließt den Stromkreis wieder. Kontaktgabe und Unterbrechung folgen einander in kurzen Zeitabständen. In Abbildung 163 sind diese beiden Zustände in vereinfachter Form wiedergegeben. Der Anker führt bei der Betätigung dieser Kontaktvorrichtung eine schwingende Bewegung aus.

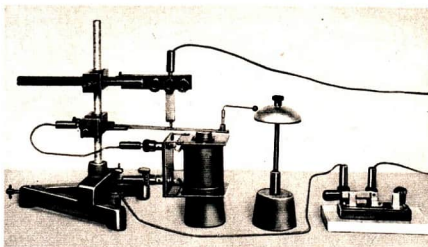


Abb. 164. Modell einer elektrischen Klingel aus RFT-Aufbautellen

2. Die Wirkungsweise der elektrischen Klingel. Wir gestalten den in Abb. 162 dargestellten Signalgeber zum Modell einer elektrischen Klingel um, indem wir ihn mit einem Wagnerschen Hammer versehen (Abb. 164). Die Schaltskizze Abb. 165 läßt die Einzelheiten der Versuchsanordnung erkennen. Solange der Stromkreis nicht geschlossen ist, befindet sich der Anker

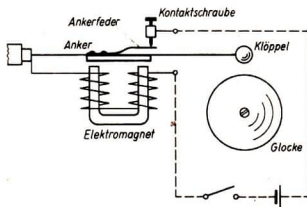


Abb. 165. Schaltskizze einer elektrischen Klingel

in Ruhestellung und berührt mit der Ankerfeder die Kontaktschraube. Sobald man aber den Strom einschaltet, wird der Wagnersche Hammer wirksam.

Jedesmal, wenn der Anker vom Elektromagneten angezogen wird, schlägt der Klöppel gegen die Glocke. Die Bewegung des Ankers findet erst dann ihr Ende, wenn man durch Öffnen des Schalters den Strom unterbricht. Abb. 166 zeigt eine geöffnete elektrische Klingel moderner Bauart.

Versagt einmal die elektrische Klingel, dann liegt es meist daran, daß die Ankerfeder die Kontaktschraube in der Ruhestellung nicht mehr berührt oder daß die Kontakte mit einer isolierenden Oxydschicht überzogen sind. Durch Nachstellen der Kontaktschraube bzw. durch Reinigen der Kontakte behebt man den Fehler. Man darf die Schraube nicht so weit anziehen, daß der Anker den Eisenkern des Elektromagneten berührt, weil dann keine Unterbrechungen mehr erfolgen können.

Wählt man als Anker eine kurze, schnell schwingende Blattfeder und läßt die Glocke fort, so erhält man ein Gerät, mit dem man Summtöne erzeugen kann. Man bezeichnet eine solche Vorrichtung als einen *Summer*.

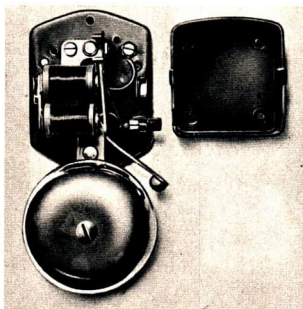


Abb. 166. Elektrische Klingel
Das Gehäuse ist abgenommen.

3. Fragen und Aufgaben:

1. Zeichne die Schaltskizze einer elektrischen Klingel!
2. Erkläre an der Schaltskizze der elektrischen Klingel die Wirkungsweise des Wagnerschen Hammers!
3. Warum darf der federnd gelagerte Anker der elektrischen Klingel nicht aus Kupfer oder Aluminium bestehen?
4. Nenne Anwendungsmöglichkeiten der elektrischen Klingel!

§ 24. Der Telegraph

1. **Allgemeines über den elektrischen Telegraphen**¹. Seit Beginn des vorigen Jahrhunderts wurde von verschiedenen Wissenschaftlern daran gearbeitet, die Elektrizität zum Übertragen von Nachrichten zu verwenden. Zum Erfolg führten ganz unabhängig voneinander die Versuche, die gleichzeitig in Rußland von *Pawel Lwowitsch Schilling von Cannstadt*² und in Deutschland von den Göttinger

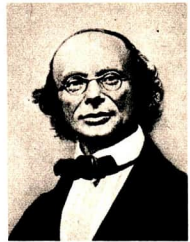
¹ *téle* (griech.) = fern, *graphein* (griech.) = schreiben; Telegraph = Fernschreiber

² *Pawel Lwowitsch Schilling von Cannstadt* (1786–1837), in Reval, dem heutigen Tallin, geboren, begann 1831 seine Arbeiten am Bau eines elektrischen Telegraphen. 1835 führte er das fertige Modell der Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Bonn vor.



Karl Friedrich Gauß
(1777–1855)

Professoren *Karl Friedrich Gauß*¹ und *Wilhelm Weber*² durchgeführt wurden. Bei diesen Versuchen wurde die magnetische Wirkung des elektrischen Stromes ausgenutzt. *Gauß* und *Weber* verbanden 1833 in Göttingen das physikalische Institut durch einen Stromkreis mit der Sternwarte und übermittelten von der einen zur anderen Stelle vorher vereinbarte Zeichen. Als Anzeigergerät verwendeten sie ein Magnetnadel-



Wilhelm Weber
(1804–1891)

galvanoskop. Auf der gleichen Grundlage beruhte der von *Schilling von Cannstadt* konstruierte Telegraph, bei dem mehrere Galvanoskope zum Zeichenempfang dienten.

Praktische Bedeutung erlangten diese *Magnetnadeltelegraphen* nicht, sondern erst der elektromagnetische *Schreibtelegraph*, den der Amerikaner *Samuel Morse*³ im Jahre 1837 konstruierte. Der Morsetelegraph war dem Nadeltelegraphen dadurch überlegen, daß er Schriftzeichen übertrug, die jederzeit wieder nachgelesen werden konnten.

2. Der Morsetelegraph. Wir stellen aus Aufbauteilen einen *Morsetelegraphen* zusammen. Zu diesem Zweck schließen wir einen Elektromagneten über einen Schalter, die *Morsetaste*, an eine Gleichstromquelle an. Eine Blattfeder versehen wir mit einer *Schreibspitze* und befestigen sie als Anker über dem Eisenkern des Elektromagneten (Abb. 167). Unter der Schreibspitze ziehen wir mit gleichbleibender Geschwindigkeit einen Papierstreifen entlang. Er wird durch die Deckplatte der Magnetspule unterstützt. Drückt man einmal kurz auf die Morsetaste, so entsteht auf dem Papierstreifen ein kurzer Strich, in der Telegraphie als *P u n k t* bezeichnet. Drückt man die Taste etwas länger nieder, dann entsteht ein längerer *Strich*. Unsere Versuchsanordnung ist das Modell eines

¹ Karl Friedrich Gauß (1777–1855), ein deutscher Mathematiker und Naturforscher von Weltgeltung, dem die Wissenschaft eine große Zahl wichtigster Erkenntnisse verdankt. Er war von 1805 bis zu seinem Tode Professor der Mathematik in Göttingen und Direktor der dort befindlichen Sternwarte.

² Wilhelm Weber (1804–1891), ein bedeutender deutscher Physiker. Er arbeitete insbesondere an erdmagnetischen Untersuchungen und an der Erforschung der Grundlagen des Elektromagnetismus. Wilhelm Weber war einer der sieben mannhaften Göttinger Professoren, die 1837 gegen den Verfassungsbruch des Königs von Hannover protestierten und daraufhin ihres Amtes enthoben wurden.

³ Samuel Morse (1791–1872), amerikanischer Maler und Bildhauer, der sich aber viel mit Fragen der Elektrotechnik beschäftigte. Der Grundgedanke zu seinem Telegraphen stammte, wie Morse selbst angab, von Carl August Steinheil (vgl. S. 103).

Morsetelegraphen. Seine Wirkungsweise ist aus der Schaltskizze Abb. 168 zu ersehen.

Der technische Morsetelegraph unterscheidet sich von unserem Modell dadurch, daß statt der Blattfeder ein Anker verwendet wird, der an einem Hebel befestigt ist. Durch eine Schraubenfeder wird der Hebel nach Öffnen des Stromes immer wieder in die Ausgangsstellung zurückgezogen. Die Schreibspitze ist durch ein kleines Schreibrad ersetzt, das in einen kleinen Behälter mit Tusche taucht und den Papierstreifen berührt. Der Papierstreifen wird durch ein Uhrwerk gleichmäßig am Schreibrad vorübergezogen. Abb. 169 gibt eine Morsestation auf einem Bahnhof wieder.

Im Jahre 1837 entdeckte Carl August Steinheil¹ in München, daß man bei der Anlage von Telegraphenleitungen an Stelle des einen Verbindungsdrahtes das Erdreich selbst ausnutzen kann. Seitdem werden die Leitungen der Morsetelegraphen überall eindrähtig verlegt. Die Sende- und

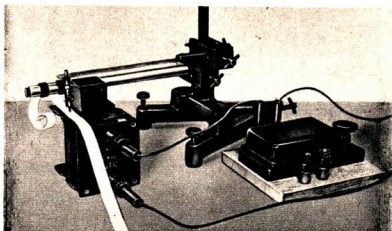


Abb. 167. Modell eines Morsetelegraphen, zusammengesetzt aus RFT-Aufbautellen

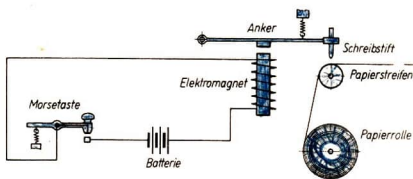


Abb. 168. Schaltskizze eines Morsetelegraphen. Die Morsetaste befindet sich auf der Sendestation, während der Telegraph auf der Empfangsstation steht.

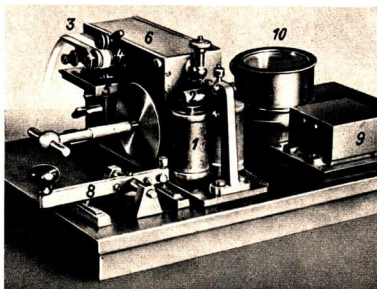


Abb. 169. Morsestation der Eisenbahn
1 Elektromagnet, 2 Anker (Traghebel nicht sichtbar), 3 Papierstreifen, 4 Transportrolle, 5 Schreibrad, 6 Gehäuse mit Uhrwerk zum Bandtransport, 7 Handgriff zum Aufziehen des Uhrwerks, 8 Morsetaste, 9 Blitzschutz, 10 Relais

¹ Carl August Steinheil (1801–1870), deutscher Astronom und Physiker. Er schuf Telegraphenanlagen in Deutschland, Österreich und in der Schweiz sowie große Fernrohre für Sternwarten.

die Empfangsstation werden durch Erdplatten an das feuchte Erdreich angeschlossen. Abb. 170 gibt eine solche Anlage schematisch wieder. Der Morsetelegraph ist in neuerer Zeit auf den

Haupttelegraphenstrecken meist durch den buchstabenschreibenden *Fernschreiber* ersetzt worden.

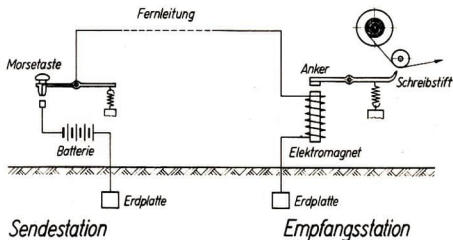


Abb. 170. Anlage einer Telegraphenverbindung mit Erdleitung (schematisch)

3. Das Morsealphabet. *Samuel Morse* erfand nicht nur den Schreibtelegraphen, sondern stellte auch das nach ihm benannte *Morsealphabet* auf. Es setzt sich aus **P u n k t e n** (kurzen Strichen) und **S t r i c h e n** (langen Strichen) zusammen und wird im Fernmeldewesen allgemein verwendet.

a . -	f	l . - . .	q - - - -	v
ä . - . -	g - - . .	m - - -	r	w . - - -
b - - . .	h	n - - .	s	x - - . -
c - - . -	i	o - - - -	t - - - -	y - - . - -
d - - . .	j . - - - -	ö - - - -	u	z - - . - -
e	k - - . -	p . - - .	ü	ch - - - - -
0 - - - - -	2 . . - - -	4 -	6 - - . . .	8 - - - - .
1 . - - - -	3 -	5	7 - - . . .	9 - - - - -

Notruf: SOS . . . - - - . . .

Das Morsealphabet wird auch vielfach zur akustischen Nachrichtenübermittlung verwendet. Mit einer Morsetaste und einem Summer werden Zeichen gegeben, die in einem Kopfhörer als kurze oder lange Summtöne gehört werden können.

In der Seeschifffahrt werden bisweilen Nachrichten unter Verwendung des Morsealphabets durch kurze und lange Lichtzeichen übermittelt.

4. Fragen und Aufgaben:

1. Zeichne die Schaltskizze eines Hebeltelegraphen!
2. Wie kann man aus einer elektrischen Klingel einen Hebeltelegraphen bauen?
3. Schreibe folgenden Telegrammtext in Buchstabenschrift:

.

§ 25. Das Telephon

Zu jeder Fernsprechanlage gehören neben anderen wichtigen Bestandteilen zwei Geräte, das *Mikrophon*¹ und das eigentliche *Telephon*². So bezeichnet man den Sprechapparat und den Hörapparat. In dem sogenannten Hörer, den man von der Gabel des Fernsprechers nimmt, sind beide Geräte untergebracht (Abb. 171).

1. **Das Mikrophon.** Das Mikrophon wird beim Gebrauch vor den Mund gehalten. Wie ein Mikrophon wirkt, erkennen wir aus folgendem Modellversuch: Ein dünnes Brettchen machen wir durch ein Grundbrett standfähig. Zwei aus einer Taschenlampenbatterie entnommene *Kohlestäbchen* befestigen wir in aufrechter Lage an dem senkrechten Brettchen. Ein drittes Kohlestäbchen hängen wir an zwei Fäden nach Art einer Schaukel so darüber, daß es den senkrechten Stäbchen lose anliegt. Diese werden mit einem Kopfhörer und einer Gleichstromquelle zu einem Stromkreis verbunden (Abb. 172).

Stellen wir einen Wecker auf das Grundbrett, so hören wir sein Ticken im Hörer. Durch das Ticken der Uhr werden das Brettchen und damit auch die Kohlestäbchen erschüttert. Das quer aufgehängte Stäbchen wird dadurch zu Schwingungen veranlaßt, die den Schallwellen entsprechen. Bei diesen Schwingungen liegt das waagerechte Kohlestäbchen bald mehr, bald minder fest an den beiden senkrechten



Abb. 171. Telephonapparat

In das abnehmbare Kunststoffgehäuse sind eine Sprechkapsel und eine Hörkapsel eingebaut. 1 Mikrophon, 2 Telephon, 3 Aufleggabel, 4 Wählerscheibe

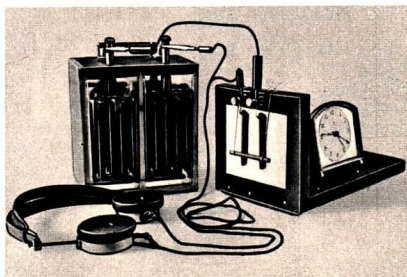


Abb. 172. Mikrophonmodell

Die Erschütterungen des Brettchens werden in Schwingungen der Stromstärke umgewandelt.

¹ mikrós (griech.)
= klein, phoneín (griech.)
= sprechen
² télós (griech.) = fern

Stäbchen. Ist die Berührung fest, so ist der Widerstand in der Leitung geringer und somit die Stromstärke größer. Bei losem Aufliegen sind die Berührungsflächen kleiner, der Widerstand größer und die Stromstärke infolgedessen geringer. Auf diese Weise werden Schallwellen in Schwankungen der Stromstärke umgewandelt. Ein Gerät, das diese Wirkung ausübt, nennt man ein **Mikrophon**.

Unser einfaches Mikrophonmodell reicht zum Übertragen von Sprache, Gesang oder Musik nicht aus. Das quer hängende Stäbchen ist zu schwer; es vermag den außerordentlich schnellen Luftschwingungen nicht zu folgen. Die technischen Fernsprengeräte sind deshalb mit **Kohlekörnermikrophonen** ausgestattet.

Im Kohlekörnermikrophon liegen **Kohlekörner** lose zwischen einem **Kohleblock** und einer sehr dünnen, schwingungsfähigen Platte aus Kohle, einer **Kohlemembran** (Abb. 173). Das Mikrophon ist so in den Stromkreis geschaltet, daß der Strom von der Membran über die Kohlekörner zum Kohleblock fließt. Die Kohlekörner bilden viele Brücken von der Membran zum Block. Erreichen Schallwellen die Membran des Mikrophons, so wird diese im gleichen Rhythmus wie die Luftteilchen zum Schwingen erregt; sie biegt sich abwechselnd nach innen und nach außen durch. Schwingt die Membran nach innen, mithin auf den Kohleblock zu, so werden die Kohlekörner zusammengedrückt. Die Berührung zwischen den einzelnen Körnern wird dadurch inniger, der Widerstand des Mikrophons nimmt ab. Nach dem Ohmschen Gesetz muß dabei die Stromstärke größer werden. Schwingt die Membran nach außen, so wird durch die eintretende Lockerung der Kohlekörner der Widerstand größer und damit die Stromstärke kleiner.

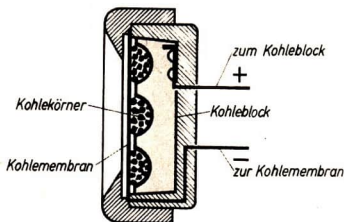


Abb. 173. Kohlekörnermikrophon

Bringt man vor das Mikrophon eine Schallquelle, zum Beispiel eine Stimmgabel, die in der Sekunde 440 Schwingungen ausführt, so schwingen auch die Luftteilchen und damit die Membran 440mal in der Sekunde hin und her. Der Widerstand des Mikrophons wird 440mal in der Sekunde kleiner und größer, im Stromkreis werden 440 Stromschwankungen wirksam.

Im Mikrophon werden die Schallwellen in Schwankungen der Stromstärke umgewandelt.

2. Das Telephon. Das Telephon enthält einen hufeisen- oder ringförmigen Magneten, auf dessen Schenkel zwei kleine Spulen aufgesetzt sind. Vor den Polen ist als Anker eine ganz dünne, schwingungsfähige **Eisenmembran** ausgespannt (Abb. 174). Durch die Spulen des

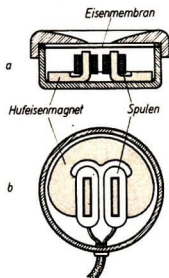


Abb. 174. Das Telephon

- a) Längsschnitt
b) Draufsicht bei geöffnetem Gehäuse

Magneten fließt der vom Mikrophon gesteuerte Strom mit schwankender Stromstärke. Wie wir in § 22, 1 festgestellt haben, ist die Kraftwirkung eines Elektromagneten von der Stromstärke abhängig. Fließt beispielsweise, wie wir bei der Erläuterung des Mikrophons annahmen, 440mal in der Sekunde ein verstärkter Strom durch die Spulen des Magneten, so wird auch die Eisenmembran 440mal in der Sekunde stärker angezogen, sie vollführt ebenfalls 440 Schwingungen je Sekunde. Die Schwingungen der Membran übertragen sich auf die Luft und gelangen als Schall an unser Ohr. Das Telephon wandelt mithin elektrische Stromschwankungen in Schallwellen um.

Die Abbildungen 175 und 176 zeigen in schematischer Darstellung die Vereinigung eines

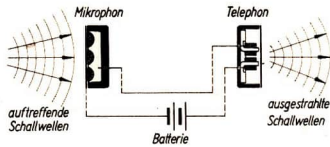


Abb. 175. Schema einer einfachen Fernsprechanlage

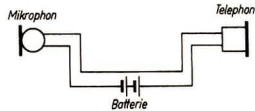


Abb. 176. Fernsprechkreis, dargestellt unter Verwendung der Schaltzeichen des Mikrophons und des Telefons

Mikrophons und eines Telefons zu einem Stromkreis.



Philipp Reis
(1834—1874)

Der Erfinder des Mikrophons und der Urform des Telefons ist *Philipp Reis*¹, der die Bedeutung seiner Erfindung richtig erkannt hatte und sie in einem Vortrag 1861 bekanntgab. Doch erlangte erst das von dem Amerikaner *Graham Bell*² 1876 konstruierte Telephon praktische Bedeutung.

Mit der Entwicklung des öffentlichen Fernsprechnetzes wurde die Einrichtung von zentralen Vermittlungsstellen notwendig, die jedem Teilnehmer die Verbindung mit jeder beliebigen Sprechstelle herstellten. In den ersten *Vermittlungsämtern* wurden die Verbindungen zwischen den Fernsprechteilnehmern unter Verwendung von auswechselbaren Leitungsdrähten mit der Hand gestöpselt. Da diese Vermittlungsämter bei dem raschen Anwachsen der Teilnehmerzahl bald nicht mehr ausreichten, wurden sie durch *Selbstanschlußämter* ersetzt. Dadurch ist es jedem Teilnehmer möglich, sich die Verbindung mit jeder gewünschten Sprechstelle selbst herzustellen.

3. Fragen und Aufgaben:

1. Erkläre den Aufbau und die Wirkungsweise eines Kohlekörnermikrophons!
2. Beschreibe den Aufbau des Telefons (Hörapparat) und erkläre seine Wirkungsweise!

¹ Philipp Reis (1834—1874), Lehrer in Friedrichsdorf bei Homburg. Er schuf 1860 das erste Telephon, mit dem sich aber zunächst nur Töne und Melodien übertragen ließen.

² Alexander Graham Bell (1847—1922), aus Edinburgh stammend, ursprünglich Taubstummenlehrer, später Ingenieur.

3. Zeichne die Schaltskizze einer einfachen Telephonanlage und erläutere die beim Telephonieren ablaufenden Vorgänge!
4. Warum eignet sich eine Wechselstromquelle nicht zum Betrieb einer Telephonanlage?

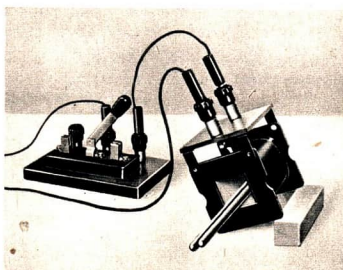
§ 26. Strommeßgeräte

Die Maßeinheit der elektrischen Stromstärke wurde in § 12. 3 durch die chemische Wirkung des elektrischen Stromes festgelegt. Es wurde aber dort bereits festgestellt, daß das Messen der Stromstärke mit Geräten, die auf der chemischen Wirkung beruhen, sehr umständlich ist und sich nur für Gleichstrom eignet. In der Praxis benutzt man deshalb hauptsächlich Strommeßgeräte, die die magnetische Wirkung des elektrischen Stromes ausnutzen. Die am häufigsten verwendeten Meßgeräte sind das *Dreheisenamperemeter* und das *Drehspulamperemeter*.

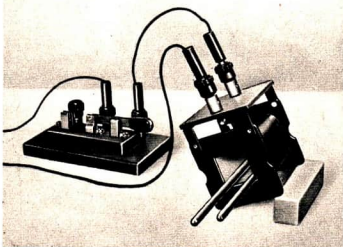
1. Das Dreheisenamperemeter.

In eine RFT-Kastenspule legen wir dicht nebeneinander zwei lange Eisenstifte. Lassen wir einen Strom durch die Spule fließen, so rollen die beiden Stifte auseinander (Abb. 177). Diese Erscheinung läßt sich sehr einfach erklären. Wir wissen, daß ein Eisenstab im Felde einer stromdurchflossenen Spule magnetisiert wird. An einem seiner Enden bildet sich ein magnetischer Nordpol und am anderen ein magnetischer Südpol. Liegen nun zwei Eisenstifte nebeneinander im Magnetfeld der Spule, so werden die benachbarten Pole beider Stifte gleichnamig magnetisch. Infolgedessen stoßen sie sich ab; die Stifte rollen auseinander.

Man kann aus dieser Versuchsanordnung das Modell eines Meßgerätes entwickeln, das in Abb. 178 schematisch wiedergegeben wird. In der Mitte einer Kastenspule steht auf einer Längskante ein Streifen aus Eisenblech, der durch einen am Ende befestigten, nach unten gerichteten Zeiger im Gleichgewicht gehalten wird. Längs einer der oberen



a) Stromkreis geöffnet



b) Stromkreis geschlossen

Abb. 177. Zwei Eisenstifte werden im Magnetfeld einer Spule gleichnamig magnetisch und stoßen sich ab.

Innenkanten ist mittels einer Schnur ein langer Eisenstift befestigt (Abb. 178).

Die Spule schließen wir über einen Schiebewiderstand an eine Gleichstromquelle an. Sobald der Strom fließt, kommt es zwischen dem Blechstreifen und dem Stift aus den vorhin angegebenen Gründen zu einer Abstoßung. Der Blechstreifen neigt sich zur Seite, und zwar um so mehr, je stärker wir den Strom durch Verringern des Widerstandes machen.

Vertauscht man die Anschlüsse der Leitungsdrähte an der Stromquelle, so ändert sich an den beiden soeben beschriebenen Versuchen nichts. Denn da mit der Stromrichtung die Feldlinien der Spule ihre Richtung ändern, wechselt auch gleichzeitig die Polarität des Blechstreifens bzw. der Eisenstifte in gleicher Weise. Die Gesamtwirkung bleibt mithin ungeändert. Die Versuche sind demnach mit Gleichstrom wie mit Wechselstrom durchführbar. Sie vermitteln uns das Verständnis für eine bestimmte Art von Strommeßgeräten, die man als *Dreheisenamperemeter* bezeichnet.

Die Abbildung 179 zeigt die technische Ausführung des Meßwerks eines Dreheisenamperemeters. Durch die Mitte einer Spule führt eine Welle, an der ein Eisenblech *B* befestigt ist. Beim Stromdurchgang durch die Spule wird das drehbare Blech von einem an der Innenseite der Spule angebrachten Eisenblechstreifen *E* abgestoßen. Dabei wird die spiralförmige Rückholfeder *F* gespannt, bis sich die abstoßende Kraft und die Spannkraft der Feder das Gleichgewicht halten. Die Größe der abstoßenden Kraft wächst mit der Stromstärke. Diese wird durch einen Zeiger auf einer hinter dem Zeiger angebrachten Skala angezeigt.

Dreheisenamperemeter sind in ihrem Aufbau sehr einfach und können sowohl zum Messen von Gleichstrom als auch von Wechselstrom verwendet werden (Abb. 180).

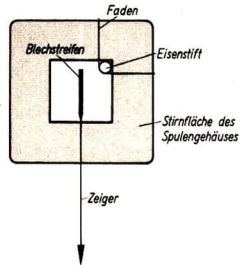
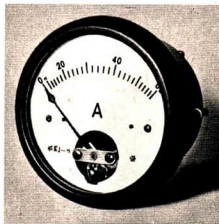


Abb. 178. Modell eines Dreheisenamperemeters. Fließt ein Strom durch die Spule, so werden der Eisenstift und der Blechstreifen gleichmäßig magnetisch und stoßen sich ab.

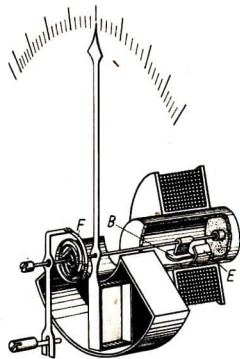


Abb. 179. Meßwerk eines Dreheisenamperemeters. Die Anzeige erfolgt durch Drehung des Blechstreifens *B* infolge Abstoßung vom Blechstreifen *E*. Der Zeiger ist an seinem unteren Ende mit einer Dämpfungsscheibe versehen. Die vordere Wand des Dämpfungskastens ist abgenommen.

Abb. 180. Dreheisenamperemeter aus dem Elektro-Apparate-Werk J. W. Stalln, Berlin-Treptow

2. Drehspulamperemeter. Im *Drehspulampere-*
meter ist eine kleine rechteckige Spule, eine *Rähmchenspule*, zwischen den Polen eines Hufeisenmagneten um eine waagerechte Achse leicht drehbar gelagert (Abb. 181). Durch einen innerhalb der Rähmchenspule angeordneten feststehenden zylindrischen Eisenkörper wird der Luftweg der magnetischen Feldlinien verkürzt und dadurch die Stärke des magnetischen Feldes vergrößert. Zwei feine Spiralfedern dienen als Rückholfedern und bilden gleichzeitig die Stromzuleitungen zur Drehspule. Ein dünner Zeiger ist an der Drehspule befestigt und gibt auf einer Skala die Drehung der Spule und damit die Stromstärke an.

Die Arbeitsweise des Drehspulgerätes ist mit Hilfe eines Modellversuches leicht zu erklären:

Wir legen zwei Stabmagnete auf Holzklötzchen und stellen sie so auf, daß einem Nordpol in einer Entfernung von etwa 15 cm ein Südpol gegenübersteht. Zwischen diese Magnetpole hängen wir an zwei Fäden eine Spule mit 500 Windungen auf, wie es Abb. 182 zeigt. Die Zuleitungen zur Spule werden so angebracht, daß sie die Bewegung der Spule nicht behindern. Schließen wir die Spule über einen Schiebewiderstand an eine Gleichstromquelle an, so wird das eine Ende der Spule auf den Nordpol, das andere Ende auf den Südpol zu gedreht. Bei einer durch Vergrößern oder Verkleinern des Widerstandes herbeigeführten Veränderung der Stromstärke stellen wir entsprechend eine Abnahme bzw. eine Zunahme des Drehwinkels der Spule fest. Jeder Stromstärke

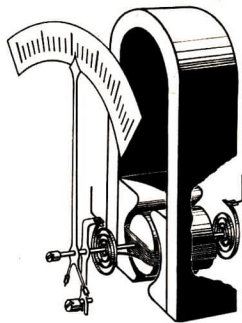
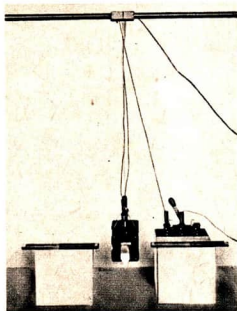
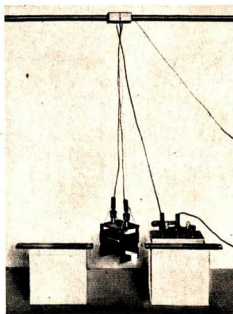


Abb. 181. Meßwerk eines Drehspulamperemeters (schematisch)



a) Stromkreis geöffnet



b) Stromkreis geschlossen

Abb. 182. Eine in einem Magnetfeld beweglich aufgehängte Spule als Modell eines Drehspulgerätes

entspricht mithin ein ganz bestimmter Drehwinkel. Vertauscht man wieder die Anschlußstellen der Verbindungsdrähte an der Stromquelle, so findet die Umkehr der Drehrichtung statt.

Ganz ähnliche Vorgänge spielen sich im Drehspulgerät selbst ab:

Fließt ein Strom durch die Spule, so bildet sich auf einer Seite der Spule ein magnetischer Nordpol, auf der anderen Seite ein Südpol. Der Nordpol der Spule wird vom Nordpol des Hufeisenmagneten abgestoßen und vom Südpol angezogen. Ebenso wirken auch abstoßende und anziehende Kräfte auf den Südpol der Spule. Die Spule wird mithin bei Stromdurchgang im Magnetfeld des Hufeisenmagneten gedreht.

Die Kraft, die diese Drehung verursacht, ist um so größer, je stärker der hindurchfließende Strom ist. Der Drehung wirken die Rückholfedern entgegen. Die Federkraft wächst mit dem Drehwinkel. Die Spule stellt sich jeweils so ein, daß sich Drehwirkung und Federkraft das Gleichgewicht halten. Die Skala eines Drehspulgerätes besteht aus gleich breiten Skalenteilen. Man bezeichnet sie deshalb als linear. Im Gegensatz dazu sind die Skalen der Dreheisengeräte nicht linear.

Da die Änderung der Stromrichtung auch eine Änderung der Drehrichtung zur Folge hat, sind Drehspulgeräte nur zum Messen von Gleichstrom geeignet (vgl. Abb. 38).

3. Die Schaltung von Meßgeräten. Mit *Amperemetern* mißt man die Stärke eines Stromes. Sie sind deshalb im *Hauptschluß* in den Stromkreis zu legen (vgl. § 12. 4). Damit Amperemeter die Stromstärke möglichst wenig beeinflussen, wählt man ihren inneren Widerstand möglichst klein. Nach dem Ohmschen Gesetz ist in einem Stromkreis mit unveränderlichem Widerstand die Stromstärke der Spannung verhältnismäßig. Aus diesem Grunde kann man Strommeßgeräte auch mit einer in Volt geteilten Skala versehen und sie in Verbindung mit einem großen Vorwiderstand als *Voltmeter* verwenden (vgl. Abb. 36). Hierfür sind sowohl Dreheisen- als auch Drehspulgeräte geeignet.

Voltmeter werden zur Stromquelle bzw. zum Verbraucher *parallel geschaltet*. Damit der Strom, der durch das Voltmeter fließt, die Stromstärke im Verbraucher selbst so wenig wie möglich beeinflusst, versieht man das Voltmeter mit einem sehr großen Vorwiderstand, durch den der Strom im Voltmeter stark geschwächt wird.

Amperemeter liegen im Hauptschluß und haben einen kleinen Innenwiderstand. Voltmeter liegen im Nebenschluß; sie sind mit einem großen Vorwiderstand ausgestattet.

Vergleiche dazu Abb. 90!


Auf den Skalenscheiben der Meßgeräte sind verschiedene Kennzeichen angebracht. Man kann aus ihnen ersehen, von welcher Bauart das Gerät ist und für welchen Verwendungszweck es bestimmt ist. In Abb. 183 sind diese Zeichen als Tabelle zusammengestellt.

	Voltmeter
	Amperemeter
	Dreheisengerät
	Drehspulgerät
	Gleichstrom
	Wechselstrom
	Gleich- und Wechselstrom
	waagerechte Gebrauchslage
	senkrechte Gebrauchslage
	Prüfspannung 2000 V (2kV)

Abb. 183. Kennzeichen elektrischer Meßgeräte

4. Fragen und Aufgaben:

1. Beschreibe den Aufbau und die Wirkungsweise des Dreheisenamperemeters!
2. Warum ist es möglich, Dreheiseninstrumente zu Stromstärkemessungen sowohl in Gleichstromkreisen als auch in Wechselstromkreisen zu verwenden?
3. Beschreibe den Aufbau eines Drehspulgerätes und erkläre seine Wirkungsweise!
4. Warum sind Drehspulgeräte für Wechselstrom ungeeignet?
5. Zeichne die Schaltskizze eines Stromkreises, in den außer der Stromquelle und einem Verbraucher, etwa einer Glühlampe, ein Amperemeter und zum Messen der Batteriespannung ein Voltmeter geschaltet sind!
6. Auf der Skalenscheibe eines Meßgerätes sind folgende Zeichen zu sehen:

A  Erläutere ihre Bedeutung!

§ 27. Der Gleichstrommotor

1. Die Bewegung eines stromdurchflossenen Leiters im Magnetfeld. Bei der Durchführung des in § 26, 2 angegebenen Modellversuchs sahen wir, daß eine Spule im Magnetfeld gedreht wird, wenn sie vom elektrischen Strom durchflossen wird. Aber auch auf einen geradlinigen stromdurchflossenen Leiter wirkt im Magnetfeld eine Kraft, die ihn in das Feld hineinzieht bzw. aus dem Feld herausschiebt. Dies zeigt uns folgender Versuch:

An zwei gegeneinander isolierten Klemmen einer Klemmleiste befestigen wir je ein dünnes Band aus Metallzitze. Die unteren Enden der Metallbänder verbinden wir durch einen Aluminiumstab. Daneben stellen wir einen Hufeisenmagneten so auf, daß der Aluminiumstab nach Art einer Schaukel zwischen den Polen des Magneten schwingen kann (Abbildung 184). Verbinden wir die beiden Metallbänder mit einer Gleichstromquelle, so bewegt sich der Stab je nach der Stromrichtung weiter in das Magnetfeld hinein oder aus ihm heraus. Der elektrische Strom hat eine Bewegung des Leiters verursacht; er hat eine mechanische Arbeit vollbracht. Die Verrichtung von Arbeit durch den elektrischen Strom ist heute für unsere Wirtschaft von größter Bedeutung; sie wird mit Hilfe von *Elektromotoren* durchgeführt.

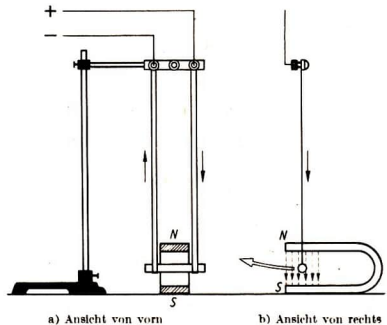


Abb. 184. Schaukelversuch zum Nachweis der Bewegung eines stromdurchflossenen Leiters im Magnetfeld

2. Der Gleichstrommotor. Der Aufbau eines Elektromotors ähnelt bis zu einem gewissen Grade dem eines Drehspulgerätes. Auch der Motor enthält eine drehbar gelagerte Spule und einen feststehenden Magneten. Der drehbare Teil des Elektromotors heißt **Anker**. Der feststehende Stahlmagnet wird als **Feldmagnet** bezeichnet. Zur Verstärkung der magnetischen Wirkung ist der Anker mit einem Eisenkern versehen. Der einfachste Anker ist der *Doppel-T-Anker*, der heute nur noch selten verwendet wird (Abb. 185). Er hat seinen Namen von der Querschnittsform des Eisenkerns, die an zwei gegeneinander-gestellte T erinnert (Abb. 186).

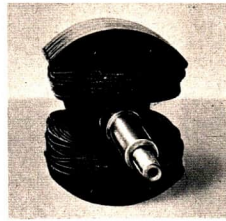


Abb. 185. Doppel-T-Anker des RFT-Aufbaugerätes

Wie das Drehspulgerät nur auf Gleichstrom anspricht, so ist auch der im folgenden beschriebene Motor nur für Gleichstrom verwendbar. Wir werden uns in diesem Buche auf *Gleichstrommotoren* beschränken. Zur Erläuterung der Wirkungsweise betrachten wir die Abb. 187, die schematisch ein aus einem Stahlmagneten und einem Doppel-T-Anker zusammengesetztes Motormodell zeigt.

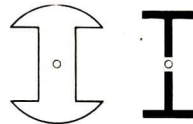


Abb. 186. Schema zur Namensklärung des Doppel-T-Ankers

Fließt ein Gleichstrom durch die Ankerwicklung, so wirkt der Anker als Elektromagnet. Gleichnamige Pole des Ankers und des Feldmagneten stoßen sich ab, ungleichnamige Pole ziehen sich an. Der Anker beginnt, sich zu drehen. Ist der Nordpol des Ankers bis zum Südpol des Feldmagneten und der Südpol des Ankers bis zum Nordpol des Feldmagneten gelangt, dann stehen sich ungleichnamige Pole gegenüber; die Drehung des Ankers findet damit ein Ende.

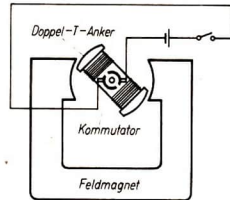


Abb. 187. Schematische Darstellung eines Gleichstrommotors

Soll sich der Anker im gleichen Sinne weiterdrehen, so müssen seine Pole durch Umkehren der Stromrichtung gewechselt werden. Zu diesem Zweck müssen nach je einer halben Umdrehung die Anschlüsse des Stromes an die Ankerwicklung vertauscht werden. Das Vertauschen der Anschlüsse geschieht durch den **Kommutator** (Abb. 188). Er ist auf der Achse des Ankers befestigt und besteht aus zwei halbzyklindrischen

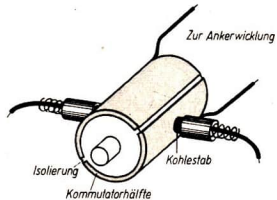


Abb. 188

Kommutator (schematisch). Die beiden als Schleifkontakte dienenden Kohlestifte stellen die Verbindung mit der Stromquelle her.

Metallblechen, die gegeneinander isoliert und mit den Drahtenden der Ankerwicklung verbunden sind.

Gegen die Kommutatorhälften drücken als *Schleifkontakte* zwei federnd gelagerte Kohlestäbchen, die man als *Kohlebürsten* bezeichnet. Der Strom wird dem Anker über die Kohlebürsten und den Kommutator zugeführt. Der Kommutator dreht sich mit dem Anker. Nach jeder halben Umdrehung stehen sich ungleichnamige Pole gegenüber. Infolge der Trägheitswirkung dreht sich aber der Anker noch ein Stückchen weiter. Dadurch gleitet die *Isolierschicht* zwischen den Kommutatorhälften an den Kohlebürsten vorüber. Im gleichen Augenblick tritt ein Wechsel der Verbindungen zwischen den Kohlebürsten und den Kommutatorhälften ein (Abb. 189). Der Strom fließt dann in entgegengesetzter Richtung durch den Anker. Dieser wechselt dadurch seine Magnetpole und setzt seine Drehung im gleichen Sinne fort.

In technischen Elektromotoren wird heute statt des Doppel-T-Ankers ausschließlich der *Trommelanker* (Abb. 190) verwendet. Er wurde ebenso wie der Doppel-T-Anker von *Werner v. Siemens* erfunden; seine moderne Form wurde von dem deutschen Ingenieur *Friedrich v. Hefner-Alteneck* entwickelt. Der Trommelanker besteht aus einem zylindrischen Eisenkörper, in dessen Mantelfläche Längsnuten eingefräst sind. In je zwei gegenüberliegende Nuten ist eine flache Spule eingebettet. An die Stelle des zweiteiligen Kommutators tritt beim Trommelanker ein vierteiliger *Kollektor*, mit dessen Segmenten die Enden der Spulen verbunden sind.

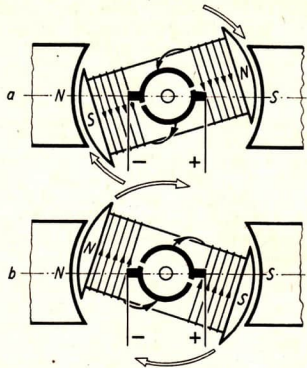


Abb. 189. Anschlußwechsel am Kommutator (schematisch dargestellt)

- a) Ankerstellung kurz vor dem Wechsel
b) Ankerstellung kurz nach dem Wechsel



Abb. 190. Trommelanker mit Kollektor. In der Mitte der Ankerkörper, rechts der Kommutator, links der Lüfter

Die Gebrauchsmotoren gleichen zwar in ihrem grundsätzlichen Aufbau den von uns zusammengestellten Modellen; doch weicht ihre äußere Form oft sehr stark von der unserer Modelle ab. Die Abbildung 191 zeigt einen technischen Gleichstrommotor. Man erkennt an der Innenwand des ringförmigen Gehäuses die Pole

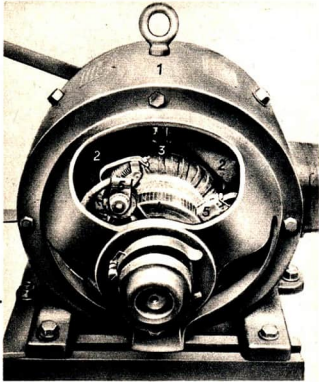


Abb. 191. Gleichstrommotor in einer Werkstatt
1 Gehäuse, 2 Pole des Feldmagneten, 3 Trommelanker,
4 Kollektor, 5 Schleifbürsten

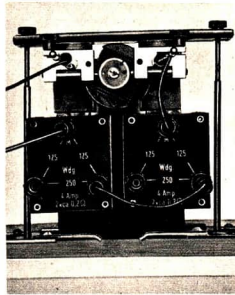


Abb. 192. Modell eines aus Aufbauteilen
zusammengefügt Hauptschlußmotors

des Feldmagneten. Zwischen ihnen dreht sich der große Trommelanker mit dem Kollektor.

3. Hauptschlußmotor und Nebenschlußmotor. Aus den RFT-Aufbauteilen können wir das in der Abb. 187 wiedergegebene Modell eines Elektromotors zusammenstellen. Wir können seine Leistungsfähigkeit erheblich steigern, wenn wir statt des Stahlmagneten einen U-förmigen Elektromagneten verwenden. Auf die beiden Schenkel setzen wir als Abschluß zwei *Pol-schuhe*, die den Anker umfassen und so die Feldlinien besser zusammenhalten (Abb. 192). Wir lassen den Strom der Reihe nach durch die Spulen des Feldmagneten, die Feldwicklung und den Anker fließen. Weil die Feldwicklung und der Anker in Reihe geschaltet sind, nennt man Motoren dieser Schaltungsart *Reihenschlußmotoren* oder *Haupt-schlußmotoren* (Abb. 193).

Beim *Nebenschlußmotor* (Abb. 194) ist die Feldwicklung parallel zum Anker in den Stromkreis eingeschaltet. Der Strom verzweigt sich im Motor. Während ein Teil des Stromes durch den Anker fließt, nimmt der andere Teil den Weg durch die Feldwicklung.

4. Der Elektromotor in der Industrie und in der Landwirtschaft. Elektromotoren, und zwar Gleichstrommotoren wie Wechselstrommotoren, sind heute in der gesamten Technik als Antriebsmaschinen von großer Bedeutung. Überall

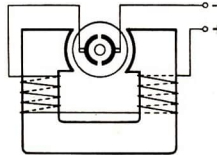


Abb. 193. Schaltskizze eines Haupt-schlußmotors. Anker und Feldmagnet liegen in Reihe.

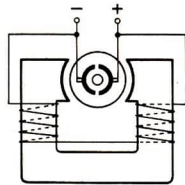


Abb. 194. Schaltskizze eines Nebenschlußmotors. Anker und Feldmagnet liegen parallel.

und in allen Größen sind sie anzutreffen. Sie werden zum Antrieb von Werkzeugmaschinen aller Art, von Hebeeinrichtungen, Kränen, Baggern, Personen- und Lastenaufzügen verwendet. Man betreibt mit Elektromotoren die Straßenbahnen, die Elektrolokomotiven der Bergwerke (Abb. 195) und der Eisenbahn, die Elektrokarren der Eisenbahn und der Post und vieles andere mehr. Ein in neuester Zeit in den Großstädten immer stärker verbreitetes Verkehrsmittel ist der elektrische *Oberleitungs-omnibus*, kurz *Obus* genannt (Abb. 196).

In der Landwirtschaft verwendet man Elektromotoren zum Antrieb von Dreschmaschinen, Häckselmaschinen, Strohpressen, Wasserpumpen und anderen Einrichtungen. An der Drehbank ist der Elektromotor heute als Antriebsmaschine unentbehrlich geworden (Abb. 197). Denn das von dem sowjetischen Dreher *Pawel Bykow* eingeführte Schneldrehverfahren, das für unsere Produktionssteigerung eine so hohe Bedeutung erlangt hat, ist nur an den schnell umlaufenden, elektrisch getriebenen Drehbänken möglich. Heute werden alle spanabhebenden *Werkzeugmaschinen*, beispielsweise Hobelmaschinen, Fräsmaschinen, Bohrmaschinen, Karusselldrehbänke, Schleifmaschinen durch Elektromotoren angetrieben.

Einen großen Fortschritt stellen die in der Sowjetunion neu entwickelten *Elektrotraktoren* dar (Abb. 198). Durch diese Maschinen ist es gelungen, den elektrischen Strom in den Kolchosen auch für die Arbeit auf den weitausgedehnten

Feldern auszunutzen. Die Elektrotraktoren sind mit kräftigen Elektromotoren als Antriebsmaschinen ausgerüstet. Durch ein langes Kabel sind sie mit einer der Netzanschlußstellen verbunden, die weit über

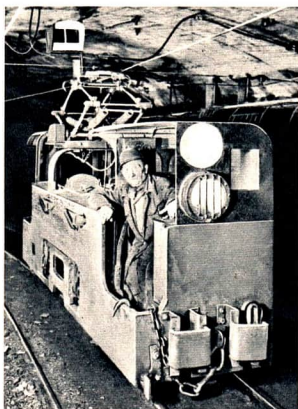


Abb. 195. Elektrolokomotive in einem Erzbergwerk



Abb. 196. Obus auf einer in Berlin neu eingerichteten Obuslinien, hergestellt im Kraftfahrzeugwerk Werdau „Ernst Grube“ VEB

das Feld verteilt sind. Damit das Kabel immer verwendungsfähig bleibt und bei der Arbeit nicht beschädigt wird, wird es während der Fahrt von einem Motor selbsttätig auf eine große Kabeltrommel, die sich auf dem Traktor befindet, auf- bzw. von ihr abgewickelt. Elektrotraktoren sind leichter bedienbar als *Dieseltaktoren*, sie haben eine größere Zugkraft als diese und vertragen eine zeitweilige Überlastung besser als Dieselmotoren. Vor allem aber werden durch die Verwendung der Elektrotraktoren erhebliche Mengen an Treibstoff eingespart.

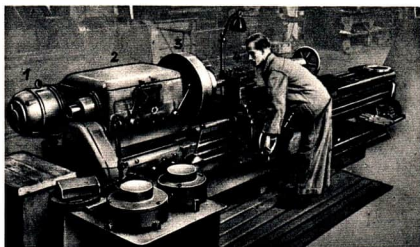


Abb. 197. Elektrisch betriebene Drehbank
1 Antriebsmotor, 2 Getriebekasten, 3 Planscheibe mit Spannutter,
4 Spannvorrichtung für Drehstäbe



Abb. 198. Elektrotraktor auf den Feldern eines Kolchos in der Sowjetunion

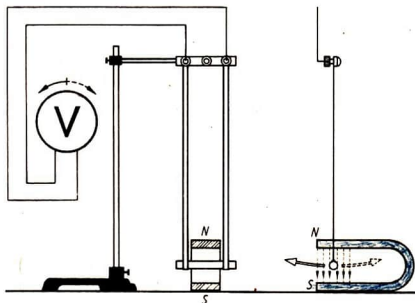
5. Fragen und Aufgaben:

1. Zeichne die Schaltskizze eines Gleichstrommotors mit Doppel-T-Anker und einem hufeisenförmigen Feldmagneten!
2. Welche Aufgabe hat der Kommutator zu erfüllen?
3. Zähle Verwendungsmöglichkeiten des Elektromotors auf!
4. Erläutere die Wirkung der zwischen den Polen des Feldmagneten und den Polen des Ankers auftretenden Kräfte!
5. Zeichne das Schaltbild eines Hauptschlußmotors!
6. Zeichne das Schaltbild eines Nebenschlußmotors!
7. Beschreibe den Stromverlauf im Hauptschlußmotor und im Nebenschlußmotor!

§ 28. Die elektromagnetische Induktion

Wir haben schon in § 5 erfahren, daß in den Kraftwerken *Generatoren* als Stromerzeuger stehen. Sie versorgen die angeschlossenen Verbraucher über ein weitverzweigtes Leitungsnetz mit elektrischer Energie. Die Generatoren sind Maschinen, in denen durch eine Drehbewegung elektrische Spannung erzeugt wird. Große Generatoren werden von Wasser- und Dampfturbinen, kleinere auch von Verbrennungsmotoren angetrieben. Daß es möglich ist, durch Bewegung eines Leiters in diesem eine elektrische Spannung zu erzeugen, erkennen wir aus dem im folgenden Abschnitt angegebenen Versuch.

1. Umkehrung des Schaukelversuchs. In § 27, 1 sahen wir an dem in Abb. 184 dargestellten *Schaukelversuch*, daß ein in einem Magnetfeld befindlicher Leiter in Bewegung gerät, wenn er von einem Strom durchflossen wird. Wir benutzen wieder denselben schaukelförmigen Leiter, aber in einer etwas geänderten Versuchsanordnung. An die beiden Metallbänder wird jetzt keine Stromquelle, sondern ein sehr empfindliches Millivoltmeter mit Nullpunktsmittellage angeschlossen (Abb. 199). Wir bewegen den waagerechten Aluminiumstab schnell hin und her, so daß er die Feldlinien des Magnetfeldes senkrecht *s c h n e i d e t*. Solange der Stab in Bewegung ist, beobachten wir am Voltmeter geringe Ausschläge, deren Richtung nach beiden Seiten hin wechselt. Bewegt man den Stab in Richtung der Feldlinien auf- und abwärts, so zeigt das Meßgerät keinen Ausschlag.



a) Ansicht von vorn b) Ansicht von rechts
Abb. 199. Umkehrung des Schaukelversuchs zum Nachweis der elektromagnetischen Induktion

Aus diesem Versuch ist folgendes zu erkennen:

Wird ein Leiter in einem Magnetfeld so bewegt, daß er dabei die Feldlinien senkrecht schneidet, so entsteht zwischen seinen beiden Enden während der Dauer der Bewegung eine elektrische Spannung.

Diese Erscheinung bezeichnet man als **elektromagnetische Induktion**. Sie wurde von dem großen englischen Physiker *Michael Faraday*¹ entdeckt. Die induzierte

¹ Michael Faraday (1791–1867), einer der bedeutendsten englischen Naturforscher. Er bereicherte die Wissenschaft um eine ganze Reihe wichtigster Erkenntnisse. So begründete er unter anderem die Lehre von den magnetischen und elektrischen Feldern.

Spannung nennt man die *Induktionsspannung* und den Strom, der in einem an den bewegten Leiter angeschlossenen Stromkreis fließt, den *Induktionsstrom*.

Bei dem in § 27, 1 durchgeführten Schaukelversuch entstand als Wirkung des elektrischen Stromes eine Bewegung; hier wird mit Hilfe einer Bewegung ein elektrischer Strom erzeugt.

2. Auftreten einer Induktionsspannung beim Bewegen einer Spule in einem Magnetfeld. Die im ersten Induktionsversuch am schaukelförmigen Leiter erzeugte Spannung ist nur sehr gering. Um die induzierte Spannung zu erhöhen, benutzen wir als beweglichen Leiter eine *Hohlspule*. Wir verwenden als Feldträger einen Stabmagneten, den wir waagrecht an ein Stativ klemmen. Die Spule schließen wir an ein empfindliches Voltmeter mit Nullpunktsmittellage an (Abb. 200). Wir bewegen die Spule auf den Stabmagneten zu und schieben sie schließlich auf ihn hin- auf. Während dieser Bewegung der Spule zeigt das Voltmeter eine Induktionsspannung durch

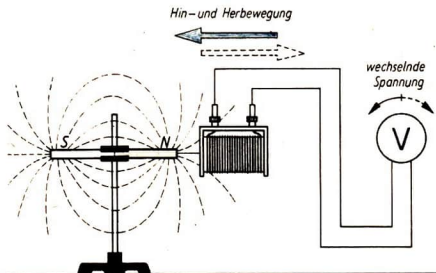


Abb. 200. Auftreten einer Induktionsspannung in einer im Feld eines Stabmagneten bewegten Spule

einen Zeigerausschlag nach der einen Seite hin. Zieht man die Spule wieder schnell von dem Stabmagneten herunter, so zeigt das Voltmeter eine Induktionsspannung in der entgegengesetzten Richtung an.

Diese Erscheinungen haben folgende Ursache: Wird die Spule im Feld eines Stabmagneten bewegt, so schneiden die Windungen die Feldlinien des Magnetfeldes. In jeder einzelnen Windung wird eine Spannung induziert. An den Enden der Spule tritt als Gesamtspannung die Summe der Induktionsspannungen der einzelnen Windungen auf. Je mehr Windungen die Spule enthält, desto größer ist demnach die Summe der Einzelspannungen.

Die in der Spule induzierte Spannung ist um so höher, je mehr Windungen die Spule hat.

In einer weiteren Versuchsreihe untersuchen wir die Abhängigkeit der Induktionsspannung von der Geschwindigkeit der Bewegung. Eine Spule mit 1500 Windungen bewegen wir einmal schnell und ein andermal langsam in der eben geschilderten Weise im Feld des Stabmagneten. Dabei stellen wir am Voltmeter fest:

Je schneller die Bewegung der Spule erfolgt, um so höher ist die induzierte Spannung.

Die Erscheinungen ändern sich nicht, wenn wir die Spule festlegen und den Stabmagneten in diese ein- und wieder ausführen. Wir erkennen, daß es für die

Erzeugung einer Induktionsspannung ohne Bedeutung ist, ob die Induktionsspule oder ob das induzierende Magnetfeld bewegt wird. Es kommt nur darauf an, daß die Windungen der Spule und die Feldlinien des Magnetfeldes einander schneiden.

3. Auftreten einer Induktionwirkung beim Verändern der Stärke des Magnetfeldes. Der oben angegebene Versuch führt zu den gleichen Ergebnissen, wenn man statt des einfachen Stabmagneten einen Elektromagneten verwendet. Man kann durch eine geringfügige Abänderung des Versuchs erreichen, daß eine Spannung induziert wird, ohne daß die einzelnen Teile der Versuchsanordnung bewegt werden. Man legt zu diesem Zweck einen Schiebewiderstand in den Stromkreis des Elektromagneten (Abb. 201).

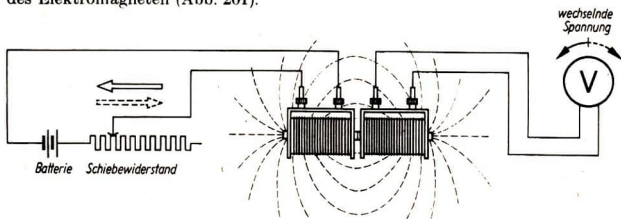


Abb. 201. Erzeugen einer Induktionsspannung in einer im Feld eines Elektromagneten ruhenden Spule. Das Feld wird durch Verstellen eines Schiebewiderstandes in seiner Stärke geändert.

Wir versehen den Elektromagneten mit einem Eisenkern, der etwa doppelt so lang ist wie die Magnetspule. Die Induktionsspule stecken wir auf denselben Eisenkern und belassen sie dort. Nunmehr verstärken wir bei ruhenden Spulen das Magnetfeld, indem wir durch Verstellen des Schiebewiderstandes die Stärke des durch die Magnetspule fließenden Stromes vergrößern. Das Voltmeter zeigt dabei eine Induktionsspannung an, und zwar in der gleichen Richtung wie vorher beim Bewegen der Spule in Richtung auf den Magneten zu.

Dies deckt sich ganz mit unseren bisher gewonnenen Erkenntnissen. Denn beim Annähern einer Spule an einen Magneten, wie es im 2. Abschnitt beschrieben wurde, gelangt die Induktionsspule aus einem Bereich geringer in einen Bereich größerer Feldstärke. Das Auftreten einer Induktionsspannung beruht demnach bei diesen Versuchen auf der gleichen Ursache, nämlich auf einer Verstärkung des induzierenden Feldes.

Umgekehrt entsteht bei einer Verringerung der Feldstärke des Elektromagneten eine Induktionsspannung in derselben Richtung wie beim Entfernen der Spule vom Magneten.

4. Das Induktionsgesetz. Man kann die in den vorangehenden Abschnitten gewonnenen Einzelerkenntnisse zusammenfassen und gewinnt so das *Induktionsgesetz*:

Wird eine Spule von einem Magnetfeld durchsetzt, so wird in ihr eine Spannung induziert, wenn sich die Stärke des von der Spule umfaßten Magnetfeldes ändert.

Man kann dies dadurch erreichen, daß man

1. die Spule im Magnetfeld bewegt, so daß dabei die Drahtwindungen die Feldlinien schneiden, oder daß man
2. bei feststehender Spule die Stärke des Magnetfeldes ändert.

Die induzierte Spannung ist um so höher, je stärker sich das Magnetfeld ändert, je schneller die Änderung erfolgt und je größer die Windungszahl der Spule ist.

5. Versuche und Fragen:

1. Führe den im 2. Abschnitt angegebenen Versuch in der Weise durch, daß du die Spule stehen läßt und den Stabmagneten in die Spule einführt und ihn aus ihr herauszieht! Was ist zu beobachten?
Vergleiche die Ergebnisse der Versuche!
2. Bewege den einen Pol eines Stabmagneten vor der Öffnung einer Spule senkrecht zu ihrer Längsrichtung hin und her!
Gib die Beobachtungen an und erläutere sie!
3. Schließe an eine Spule ein empfindliches Voltmeter an und bringe sie mit waagerechter Spulennachse in das Feld eines waagrecht liegenden Stabmagneten! Drehe die Spule vor einem Magnetpol um eine vertikale Drehachse!
Erläutere, warum eine Induktionsspannung entsteht!
4. Wodurch wird die Höhe einer Induktionsspannung in einer Spule bestimmt?

§ 29. Wechselstromgeneratoren

Auf der Grundlage des Induktionsgesetzes sind maschinell betriebene Spannungserzeuger entwickelt worden. Man nennt sie *Generatoren*. Alle Generatoren sind so konstruiert, daß ihre beweglichen Teile eine Drehbewegung ausführen. In unseren Versuchen haben wir bisher die Induktionsspannung durch Hin- und Herbewegungen erzeugt. Diese Bewegungsart ist aber technisch ungünstig, weil die hin- und hergehende Masse an den Enden der Bewegungsbahn immer wieder abgebremst werden muß. Die Drehbewegung ist demgegenüber wegen ihrer gleichbleibenden Drehrichtung viel vorteilhafter. Außerdem ist sie durch Turbinen technisch einfach zu erzeugen.

1. Erzeugung eines Wechselstromes.
Wir betrachten zur Erläuterung der Wirkungsweise eines **Wechselstromgenerators** die Abb. 202. Sie zeigt eine rechteckige Drahtschleife, die an einer

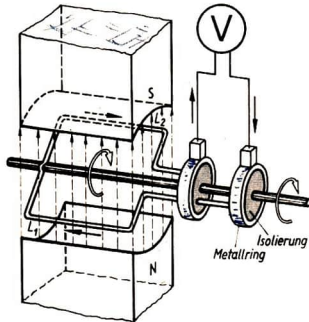


Abb. 202. Modell eines Wechselstromgenerators (schematisch). Eine Drahtschleife wird in einem Magnetfeld gedreht. Ihre Enden sind mit zwei Schleifringen verbunden.

waagerechten Welle befestigt und in einem Magnetfeld drehbar gelagert ist. Die Enden der Schleife sind an zwei auf der Welle sitzende *Schleifringe* aus Metall angeschlossen, die gegeneinander und gegen die Welle isoliert sind. Auf den Metallringen schleifen als *Stromabnehmer* zwei Metallfedern oder Kohlebürsten, wie wir sie schon von den Elektromotoren her kennen. An die beiden Stromabnehmer ist ein empfindliches Dreheisenvoltmeter angeschlossen. Wird die Drahtschleife in schnelle Umdrehungen versetzt, so zeigt das Meßgerät einen Ausschlag. In der Drahtschleife entsteht demnach eine Induktionsspannung.

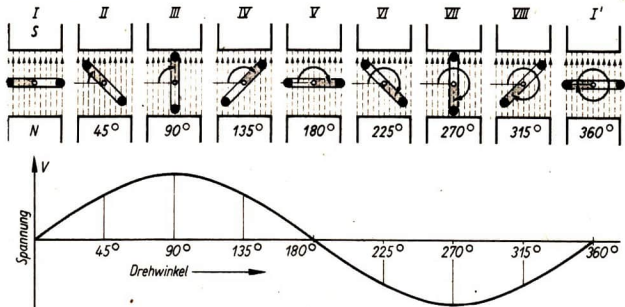


Abb. 203. Entstehen einer Wechselspannung in einer in einem Magnetfeld gedrehten Drahtschleife

Um zu ergründen, wie diese Spannung zustande kommt, betrachten wir die Drahtschleife in verschiedenen Stellungen im Magnetfeld, die in Abb. 203 dargestellt sind. Dreht sich die Drahtschleife von der waagerechten Stellung *I* über die senkrechte Stellung *III* in die waagerechte Stellung *V*, so schneiden die parallel zur Welle liegenden Seiten der Drahtschleife L_1 und L_2 die Feldlinien. Es entsteht zwischen den Schleifringen eine Induktionsspannung und infolgedessen bei geschlossenem Stromkreis ein Strom, der die Leiterschleife während der ersten halben Umdrehung in der in Abb. 202 eingezeichneten Richtung durchfließt.

Um die Zusammenhänge im einzelnen zu erkennen, denken wir uns die Feldlinien gleichmäßig über den ganzen Querschnitt des zwischen den Magnetpolen bestehenden Feldes verteilt. Wir betrachten zwei gleich große *Drehwinkel* α_1 und α_2 in der Nähe der waagerechten und in der Nähe der senkrechten Stellung der Leiterschleife (Abb. 204). Die Abbildung zeigt uns deutlich, daß die Leiterschleife in gleichen Zeiten bei gleichmäßiger Drehung in der senkrechten Stellung mehr Feldlinien schneidet als

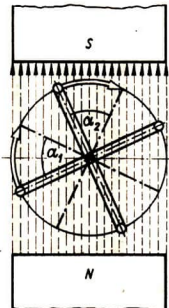


Abb. 204
Eine gedrehte Drahtschleife schneidet Feldlinien.

in der waagerechten Lage. In der Nähe der senkrechten Stellung ändert sich demnach beim Drehen der Leiterschleife der von ihr umfaßte Teil des Magnetfeldes stärker als in der Nähe der waagerechten Stellung der Schleife. Infolgedessen erreicht die induzierte Spannung bei *III* ihren Höchstwert. Beim Weiterdrehen bis *V* fällt sie wieder auf den Wert Null ab.

Wird die Leiterschleife aus der Stellung *V* heraus über *VII* bis in die Ausgangsstellung *I'* weitergedreht, so schneiden die beiden Teile der Leiterschleife die Feldlinien in umgekehrter Richtung. Es wird infolgedessen eine Spannung in entgegengesetzter Richtung induziert wie vorher. Die Spannung erreicht wieder in der senkrechten Stellung *VII* ihren Höchstwert.

In Abb. 203 finden wir unter den Stellungen der Leiterschleife jeweils die dazugehörige Induktionsspannung eingezeichnet, so daß wir ein *Schaubild über den Verlauf der induzierten Spannung* erhalten. Wir erkennen, daß die induzierte Spannung eine *Wechselspannung* ist. Sie ändert beim Weiterdrehen der Spule jeweils nach einer halben Umdrehung ihre Richtung. Die graphische Darstellung der Stärke des Stromes, der in einem an die Schleife angeschlossenen Stromkreis fließt, ergibt ebenfalls eine Wellenlinie (Abb. 205).

Dreht man eine Drahtschleife in einem Magnetfeld, so wird in ihr eine Wechselspannung induziert. Die Spannung wechselt nach jeder halben Umdrehung ihre Richtung, wobei sie vorübergehend den Wert Null annimmt.

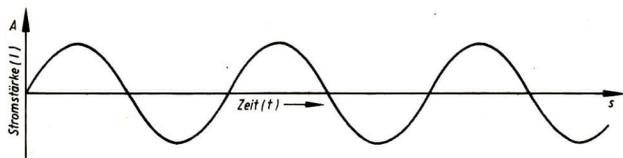


Abb. 205. Schaubild eines Wechselstromes. Die Größe der Stromstärke ist beliebig gewählt worden.

2. Technische Wechselstromgeneratoren. Die Wirkung unseres Generatormodells können wir dadurch steigern, daß wir die Einzelwindung durch eine Spule mit vielen Windungen ersetzen. Wir erfuhren schon in § 28, 2, daß die in einer Spule induzierte Spannung um so höher ist, je mehr Windungen die Spule hat. Noch wirksamer ist es, eine Spule zu benutzen, die auf einen Eisenkern gewickelt ist. Man bezeichnet sie wie beim Motor als den *Anker*. Als einfachste Form des Ankers kennen wir vom Motor her schon den *Doppel-T-Anker*. Er wird beispielsweise im *Kurbelinduktor* verwendet, mit dem man in manchen Fernsprechern die Rufklingel beim Gesprächspartner betätigt (Abb. 206).

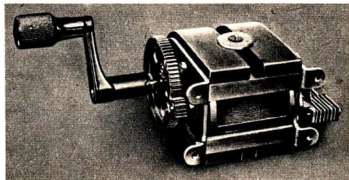


Abb. 206. Kurbelinduktor aus einem Telefonapparat

Die zur technischen Stromerzeugung bestimmten Generatoren liefern einen Wechselstrom, der in einer Sekunde 50mal hin- und herfließt. Eine vollständige Spannungs- bzw. Stromschwingung heißt eine *Periode*. Der von unseren Elektrizitätswerken erzeugte technische Wechselstrom hat 50 Perioden je Sekunde.

Die technischen Generatoren sind nicht mit einem Dauermagneten, sondern mit mehreren Elektromagneten ausgestattet. Bei den modernen Großgeneratoren wird der Anker meist als *Polrad* konstruiert, das die Magnetpole trägt. Die Induktionspulen liegen an der Innenwand des Gehäuses. Maschinen dieser Art heißen *Innenpolmaschinen*. Bei ihnen

wird dem umlaufenden Maschinenteil, dem **Rotor** oder **Läufer**, zur Erregung der Magnetspulen über zwei Schleifkontakte Gleichstrom von einer besonderen Erregermaschine her zugeführt. Der Wechselstrom wird aus dem feststehenden Maschinenteil, dem **Stator** oder **Ständer**, entnommen (Abb. 207). Solche Generatoren werden vorzugsweise zur Erzeugung hoher Spannungen verwendet. Sie sind sehr betriebssicher, da sie auf der Wechselstromseite keinen beweglichen Kontakt besitzen.

8. Der Dreiphasenwechselstrom. In den großen Generatoren der Kraftwerke werden gleichzeitig immer drei Wechselströme erzeugt. Abb. 208 zeigt den Großgenerator eines Kraftwerkes. Die Arbeitsweise einer solchen Maschine ersehen wir aus einem Modell, das durch Abb. 209 als Schnittbild schein-

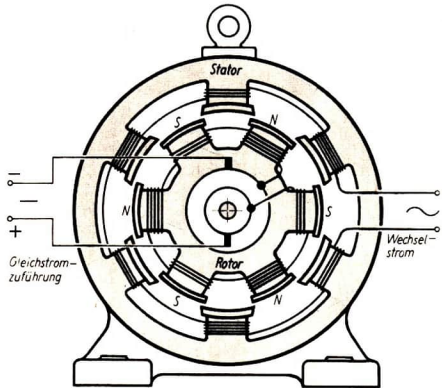


Abb. 207. Schnitt durch einen als Innenpolmaschine gebauten Wechselstromgenerator (schematisch). Das Polrad ist mit drei Polpaaren ausgestattet.

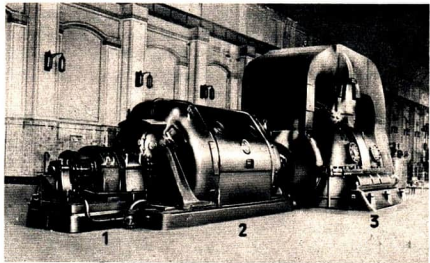


Abb. 208. Großgenerator in einem Dampfkraftwerk
1 Erregermaschine, 2 Generator, 3 Turbine

matisch wiedergegeben wird. In einem ringförmigen Gehäuse sind drei Induktionsspulen angebracht. Als Rotor wird ein mit Gleichstromerregter Elektromagnet von der Bauart eines Doppel-T-Ankers verwendet. Wird der Rotor in Umdrehung versetzt, so wird in jeder Induktionsspule eine Wechselspannung induziert. Die induzierten Spannungen erreichen ihre Höchstwerte, wenn die Magnetpole an den einzelnen Spulen vorbeilaufen. Die Spannungshöchstwerte der drei Spulen sind mithin zeitlich je um die Dauer einer dritten Umdrehung gegeneinander verschoben, ebenso auch die Höchstwerte der Stromstärken. Man nennt ein solches Stromsystem einen

Dreiphasenwechselstrom. Abb. 210 zeigt uns ein Diagramm des Dreiphasenwechselstromes.

Die technischen *Dreiphasenwechselstrom-Generatoren* sind nicht nur mit drei Spulen, sondern mit drei getrennten *Spulensystemen* ausgerüstet. Sie sind als Innenpolmaschinen gebaut.

Die drei Wechselströme oder, wie man hier sagt, die drei **Phasen** werden in den Fernleitungen durch drei getrennte Leitungen, die *Phasenleitungen*, den Verbrauchsstellen zugeleitet. An der Verbrauchsstelle, etwa einem Dreiphasenwechselstrom-Motor, sind die Phasenleitungen untereinander verbunden, wie dies aus der auf S. 126 stehenden Abbildung 211 zu ersehen ist. Hierdurch wird erreicht, daß an der Rückleitung des Stromes, der in einer Leitung fließt, immer auch die beiden anderen Leitungen beteiligt sind. Im Generator wird von jedem der drei Induktionsspulensysteme je ein Ende an die Fernleitung angeschlossen. Die anderen Enden werden ebenfalls miteinander verbunden (Abb. 211). Die Vereinigungspunkte der Phasenleitungen im Generator wie im Motor heißen *Sternpunkte*. Sie stehen durch einen Leiter in Verbindung, der als *Nulleiter* im Versorgungsnetz mitgeführt wird. Er trägt diesen Namen, da er im allgemeinen gegenüber der Erde keine Spannung aufweist. Warum dies der Fall ist, kann hier noch nicht erklärt werden.

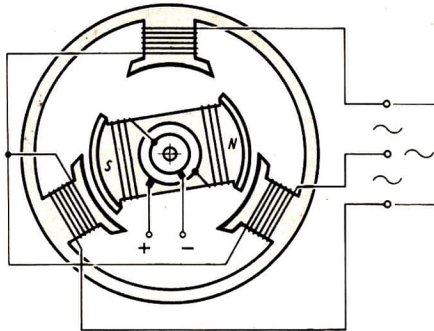


Abb. 209. Schnittbild des Modells eines Dreiphasenwechselstrom-Generators (stark schematisiert)

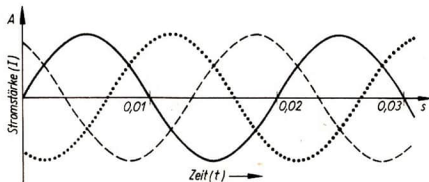


Abb. 210. Diagramm des Dreiphasenwechselstromes
Jede Phase hat 50 Perioden je Sekunde.

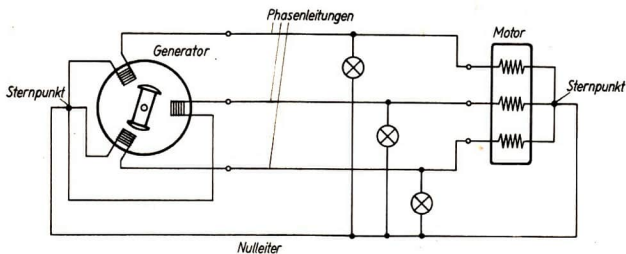


Abb. 211. Sternschaltung einer Dreiphasenwechselstrom-Litung (schematisch)

Die Darstellungen des Dreiphasenwechselstrom-Generators und des Motors sind nur als Symbole anzusehen.

Für Beleuchtungszwecke und zum Betrieb von Heizgeräten und kleinen Motoren genügt ein einfacher Wechselstrom. Dieser wird dem Dreiphasenwechselstromnetz entnommen, indem man die zu speisenden Geräte nur zwischen eine Phasenleitung des Dreiphasenwechselstromnetzes und den Nulleiter legt (vgl. Abb. 211). So gibt Abb. 212 den Anschluß des Versorgungsnetzes an ein Wohnhaus wieder, in das nur eine Phasenleitung und der Nulleiter hineingeführt sind. Fabriken, Werkstätten und andere Anlagen, in denen größere Motoren arbeiten, werden an alle drei Phasen des Dreiphasenwechselstromnetzes angeschlossen (Abb. 213).

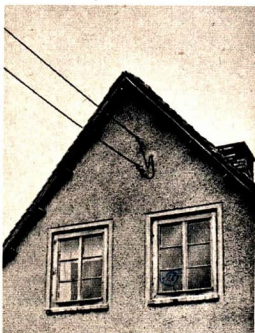


Abb. 212. Anschluß eines Wohnhauses an das Versorgungsnetz. Es werden nur eine Phasenleitung und der Nulleiter eingeführt. Zwischen jedem Phasenleiter und dem Nulleiter besteht eine Spannung von 220 V.

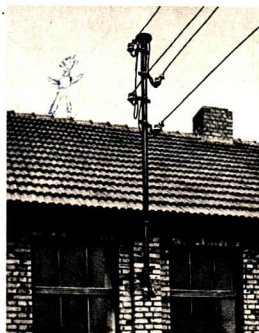


Abb. 213. Anschluß der Maschinenhalle einer MTS an das Versorgungsnetz. Es werden sämtliche drei Phasenleiter und der Nulleiter eingeführt.

4. Der Dreiphasenwechselstrom-Motor. Die Dreiphasenwechselstrom-Motoren ähneln in ihrer Anlage den Dreiphasenwechselstrom-Generatoren. Sie sind wie diese mit drei Spulensystemen ausgestattet. Wir beschränken uns hier auf die Betrachtung eines Modells, das in Abb. 214 schematisch wiedergegeben wird.

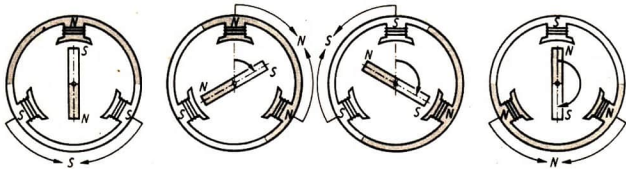


Abb. 214. Die Wirkungsweise eines Dreiphasenwechselstrom-Motors. Die Bildreihe stellt in stark schematisierter Form den Schnitt durch ein Motormodell dar. Die Magnetpole des Stators ändern sich periodisch und verschieben sich dabei so, daß abwechselnd zwei Südpole oder zwei Nordpole nebeneinander liegen. Diese gleichnamigen Pole verschmelzen zu einem gemeinsamen Pol.

Das Modell enthält drei am Gehäuse liegende Feldspulen und als Rotor einen einfachen Magnetstab. Jede der Feldspulen ist an eine Phasenleitung angeschlossen. Da die Höchstwerte der Spannungen und demnach auch die Ströme der einzelnen Phasen zeitlich in einem bestimmten Rhythmus gegeneinander verschoben sind, erreichen auch die Feldstärken der Feldspulen nicht gleichzeitig, sondern nacheinander ihre Höchstwerte. Infolgedessen liegt das Gesamtfeld nicht fest; es läuft periodisch um. Der als Rotor dienende Magnet stellt sich immer wieder von neuem in die Feldrichtung ein und dreht sich infolgedessen.

Ein in ständiger Umdrehung befindliches Magnetfeld, wie es in einem Dreiphasenwechselstrom-Motor entsteht, nennt man ein **Drehfeld**. Man bezeichnet deshalb auch den Dreiphasenwechselstrom, der ein solches Feld erzeugt, als **Drehstrom**. Ebenso spricht man von *Drehstromgeneratoren* und von *Drehstrommotoren* (Abb. 214). Auf Einzelheiten des Baues technischer Drehstrommotoren kann hier nicht eingegangen werden.

Die Wicklungen der Elektromotoren bestehen im allgemeinen aus Kupferdraht. Kupfer zählt zu den Buntmetallen, die in unserer Industrie besonders dringend gebraucht werden. In vielen Fällen, in denen man vor wenigen Jahren noch ausschließlich mit Kupfer arbeitete, gelang es unseren Neuerern mit großem Erfolg, Aluminium zu verwenden. Dadurch werden die eingesparten großen Kupfermengen für andere wichtige Aufgaben unserer Industrie frei.

Aluminium besitzt einen etwas größeren spezifischen Widerstand als Kupfer (vgl. § 18, 3). Beim Einbau von Aluminiumleitungen an Stelle von Kupferleitungen müssen infolgedessen die Aluminiumdrähte bei gleicher Stromstärke einen größeren Querschnitt haben als Kupferdrähte. Mithin müßte das Gehäuse etwas größer gebaut werden als bei einem Motor mit Kupferwicklungen. Durch die Verwendung von *Isoperlon* als Isoliermittel wurde diese Schwierigkeit überwunden (vgl. § 5, 3); denn Isoperlon ist bei gleicher Isolierwirkung wesentlich dünner als die bisher üblichen Isolierstoffe. Durch die bei der Verwendung von Isoperlon erzielte Raumersparnis wurde die oben erwähnte Vergrößerung der Motoren zum Teil wieder ausgeglichen.

Im VEB Elektromotorenwerk Wernigerode haben die zum *Isoperlonkollektiv* gehörenden Nationalpreisträger Direktor *Gotthart Köhler* und Ingenieur *Otto Fritsche*

solche Motoren entwickelt. Sie stehen in der Leistung den Motoren mit Kupferleitungen in keiner Weise nach und sind infolge der geringen Wichte des Aluminiums bei gleicher Größe leichter als diese (Abbildung 215). Im Hinblick auf viele Verwendungszwecke der Elektromotoren bedeutet diese Gewichtsverminderung einen großen Fortschritt.

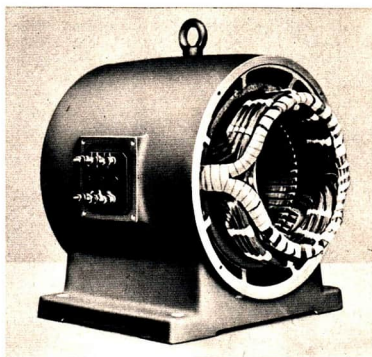


Abb. 215. Drehstromelektromotor mit Aluminiumwicklung aus dem Elektromotorenwerk Wernigerode VEB. Der Rotor ist aus dem Gehäuse herausgenommen.

5. Fragen und Aufgaben:

1. Erläutere das Entstehen einer Wechselspannung in einem Doppel-T-Anker, der in einem Magnetfeld gedreht wird!
2. Skizziere eine vierpolige, eine sechspolige Innenpolmaschine!
3. Erläutere, worin die Vorzüge einer Innenpolmaschine beim Erzeugen hoher Spannungen bestehen!
4. Warum ist für den Betrieb eines Wechselstrom- oder eines Drehstromgenerators eine besondere Erregermaschine erforderlich?
5. Setze die Abbildungsreihe 214 fort, so daß im ganzen eine volle Umdrehung des Läufers wiedergegeben wird!

§ 30. Gleichstromgeneratoren – Allgemeines über Generatoren und Motoren

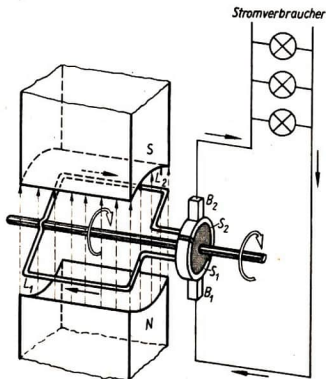
1. **Gleichstromgeneratoren.** *Gleichstromgeneratoren* haben die gleiche physikalische Grundlage wie Wechselstromgeneratoren. Wir vergegenwärtigen uns deshalb noch einmal die in Abb. 202 schematisch wiedergegebene Anordnung. Bei ihr rotierte eine Leiterschleife in einem Magnetfeld. Dadurch wurden eine Spannung und bei geschlossenem Stromkreis ein Strom induziert, die während einer vollen Umdrehung zweimal ihre Richtung wechselten. Soll der Strom in der Außenleitung immer in derselben Richtung fließen, so muß man die beiden Schleifringe durch einen Kommutator ersetzen, den wir schon beim Gleichstrommotor kennengelernt haben (vgl. Abb. 188). Die beiden Enden der Leiterschleife werden mit je einer Hälfte des Kommutators verbunden. Die Trennebene der beiden Kommutatorhälften steht senkrecht zu der durch die Leiterschleife bestimmten Ebene, wenn die Schleifbürsten in der Polebene liegen (Abb. 216).

Abb. 216. Schema der Stromerzeugung im Gleichstromgenerator

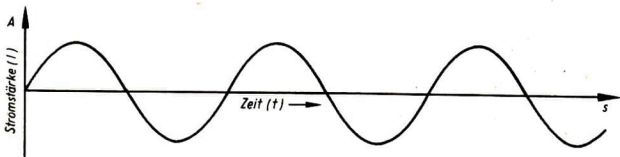
L_1, L_2 wirksame Teile der Leiterspule; S_1, S_2 Kommutatorsegmente; B_1, B_2 Schleifbürsten

Stromrichtung während der ersten Halbdrehung
 in der Leiterschleife: $S_1 \rightarrow S_2$
 im Außenstromkreis: $S_2/B_2 \rightarrow B_1/S_1$

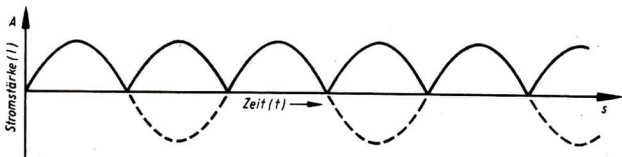
Stromrichtung während der zweiten Halbdrehung
 in der Leiterschleife: $S_1 \leftarrow S_2$
 im Außenstromkreis: $S_1/B_1 \rightarrow B_2/S_2$



Wie wir schon in § 29,1 aus Abb. 203 ersahen, findet in der Leiterschleife jedesmal ein Richtungswechsel des Stromes statt, wenn die Schleife die waagerechte Stellung durchläuft. Im gleichen Zeitpunkt wechseln aber auch die Kommutatorhälften die sie berührenden Schleifbürsten, so daß die Stromrichtung im äußeren Stromkreis ungeändert bleibt. Wie beim Motor wird die Wirkung wesentlich verstärkt, wenn man statt der einfachen Leiterschleife einen Doppel-T-Anker verwendet. Der in einem solchen Generator erzeugte Strom fließt zwar im äußeren Stromkreis dauernd in der gleichen Richtung, schwankt aber noch in seiner Stärke wie der im Anker induzierte Wechselstrom.



a) Strom im Doppel-T-Anker — Wechselstrom



b) Strom im Außenkreis — pulsierender Gleichstrom

Abb. 217. Diagramme zur Stromerzeugung in einem mit Doppel-T-Anker und mit Kommutator ausgerüsteten Gleichstromgenerator

Der Kommutator übt eine Gleichrichterwirkung auf den Wechselstrom aus. Die Stromstärke ist beliebig gewählt.

Man bezeichnet ihn deshalb als einen *pulsierenden Gleichstrom*. Abb. 217 zeigt die Diagramme des im Anker fließenden Wechselstromes und des im Außenstromkreis fließenden pulsierenden Gleichstromes.

Die *technischen Gleichstromgeneratoren* sind durchweg mit *Trommelankern* ausgerüstet. Ein Trommelanker ist immer mit einem vielteiligen *Kollektor* verbunden, den wir bereits in § 27, 2 am Gleichstrommotor kennengelernt haben. Die Spannungen, die in den einzelnen Windungen des Trommelankers induziert werden, summieren sich zu einer nur wenig schwankenden Gleichspannung. Die pulserende Spannung wird, wie man sagt, durch den Trommelanker *geglättet* (Abb. 218).

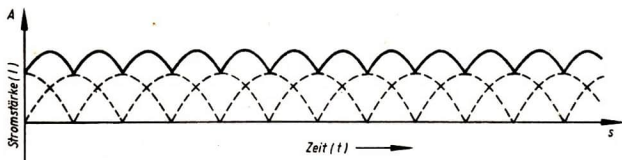


Abb. 218. Diagramm zur gleichrichtenden und glättenden Wirkung des Trommelankers. Der Abbildung ist ein Trommelanker mit viertelligem Kollektor zugrundegelegt. Die Spannungen addieren sich. Je stärker die Ankerwicklung und der Kollektor unterteilt sind, um so ausgeglichener ist die entnommene Spannung.

Besonders wichtig ist es, daß man bei den Gleichstromgeneratoren den Strom für die Erregung des Magnetfeldes der Maschine selbst entnehmen kann. Beim Anlaufen eines Gleichstromgenerators wird zunächst eine geringe Spannung durch den in den Eisenteilen enthaltenen Restmagnetismus induziert. Der Induktionsstrom fließt durch die Feldspulen und verstärkt dadurch das Magnetfeld. Infolgedessen wird wieder die Induktionsspannung erhöht. Mit ihr wächst der Induktionsstrom und verstärkt weiterhin das Magnetfeld. So erreicht die Maschine in kurzer Zeit ihre Betriebsspannung. Man bezeichnet alle *selbsterregenden Generatoren* als *Dynamomaschinen*¹.

2. Vergleich zwischen Generatoren und Motoren. Aus den vorangehenden Betrachtungen erkennen wir, daß sich Gleichstromgeneratoren und Gleichstrommotoren in dem Grundsätzlichen ihres Aufbaus weitgehend gleichen. Seiner Anlage nach könnte jeder Gleichstrommotor als Generator und jeder Generator als Motor verwendet werden; doch sind Generatoren und Elektromotoren in ihren konstruktiven Einzelheiten unterschiedlich gebaut. Ganz allgemein ist festzustellen:

Ein Elektromotor wandelt elektrische Arbeit in mechanische Arbeit um; beim Generator wird aus mechanischer Arbeit elektrische Arbeit gewonnen.

In den ersten Jahrzehnten der Entwicklung der Elektrotechnik wurde Gleichstrom bevorzugt. Heute gibt es nur noch wenige Ortschaften, die eine Gleichstromversorgung besitzen. Gleichstrom wird in der Technik überwiegend nur noch dort verwendet, wo es auf seine besonderen Wirkungen ankommt, in erster Linie

¹ dýnamis (griech.) = Kraft

in der chemischen Industrie. Auch die Straßenbahnen und die elektrischen Förderbahnen der Gruben und Tagebaue werden vorzugsweise mit Gleichstrom betrieben, da die Drehzahlen bei Gleichstrommotoren in viel weiteren Grenzen regelbar sind als bei Wechselstrom- und Drehstrommotoren.

Kleine Gleichstromgeneratoren finden wir als *Lichtmaschinen* in Kraftfahrzeugen (Abb. 219). Sie sind mit einem *Keilriemen* an den Motor gekuppelt. Diese Generatoren liefern den Strom für die Beleuchtung und laden dabei gleichzeitig einen Akkumulator. Der Akkumulator speist beim Stillstand des Generators die Beleuchtungsanlage des Fahrzeuges.

In der Versorgung weiter Landgebiete mit elektrischem Strom ist man schon seit langem zum Wechselstrom bzw. zum Dreiphasenwechselstrom übergegangen. Die Gründe dafür werden wir im nächsten Paragraphen erfahren.

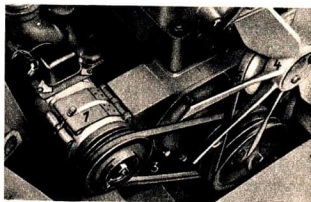


Abb. 219. Lichtmaschine eines Kraftwagens
Blick in die geöffnete Motorenhaube
1 Lichtmaschine, 2 Motorwelle, 3 Keilriementrieb der Lichtmaschine, 4 Lüfter, 5 Keilriementrieb des Lüfters

3. Fragen und Aufgaben:

1. Erläutere die Wirkungsweise eines mit einem Doppel-T-Anker ausgerüsteten Gleichstromgenerators!
2. Öffne eine Dynamoschenlampe und erlautere ihre Arbeitsweise!
3. Warum ist für einen Gleichstromgenerator keine besondere Erregermaschine erforderlich?
4. Warum wird in einem Kraftwagen ein Gleichstromgenerator als Lichtmaschine verwendet?

§ 31. Der Transformator

1. Das Stromversorgungsgerät. Wir haben schon oft das vom RFT-Funkwerk Zittau-Obersdorf hergestellte Stromversorgungsgerät verwendet. Wir können es als Gleichstromquelle benutzen, obwohl es an das Wechselstromnetz angeschlossen wird. Das Gerät ist zu diesem Zweck mit einem *Gleichrichter* ausgestattet.

Gleichrichter sind Vorrichtungen, die einen Wechselstrom nur in einer bestimmten Richtung hindurchfließen lassen, den Stromfluß in der entgegengesetzten Richtung dagegen sperren. Auf die Wirkungsweise dieser Geräte kann hier nicht eingegangen werden.

Das Stromversorgungsgerät ist aber auch mit Buchsen versehen, aus denen eine Wechselspannung entnommen werden kann.

Dabei fällt es auf, daß die abgegebene Wechselspannung weit niedriger ist als die Netzspannung. Die höchste Wechselspannung, die das Gerät liefert, ist etwa 20 V, während die Netzspannung 220 V beträgt. Es ist im Gerät eine Vorrichtung

vorhanden, die die Spannung herabsetzt oder, wie man sagt, den Strom *umspannt*. Um nähere Einzelheiten darüber zu erfahren, führen wir eine Reihe von Versuchen durch.

2. Das Umspannen des Wechselstroms. Wie bei dem in § 28,3 beschriebenen Versuch lassen wir eine Spule auf eine zweite induzierend einwirken. Wir benutzen aber nicht wie vorher einen geraden, sondern einen U-förmigen Eisenkern. Auf jeden der Schenkel stecken wir eine Spule und überbrücken die beiden Schenkel durch ein *Eisenjoch* (Abb. 220). Wird an die eine Spule eine Wechselspannung gelegt, so erzeugt der durch die Spule fließende Strom ein sich periodisch änderndes und unpolendes Magnetfeld, ein *Wechselfeld*. Das Magnetfeld verläuft ganz im Eisenkern (vgl. § 32). Es durchsetzt infolgedessen auch die andere Spule der ganzen Länge nach. Jede Richtungsänderung des durch die erste Spule, die *Eingangsspule*, fließenden Wechselstromes verursacht zwangsläufig am Eisenkern einen Polwechsel und ruft eine Änderung der Stärke des Magnetfeldes hervor. Durch jede Änderung der Feldstärke aber wird wieder in der zweiten Spule eine Spannung induziert, die ebenfalls periodisch ihre Richtung ändert. Ist die Induktionsspule, die *Ausgangsspule*, durch einen Stromkreis geschlossen, so entsteht in diesem wieder ein Wechselstrom. Seine Periode ist die gleiche wie die des zugeführten Stromes.

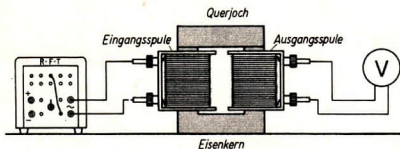
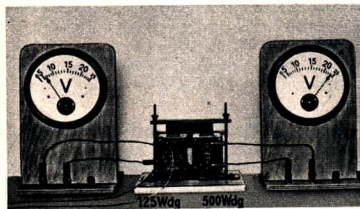


Abb. 220

Induktive Koppelung zweier Spulen — Eisenkoppelung

Als Eingangsspule wählen wir bei den nächsten Versuchen eine Spule mit 125 Windungen, als Ausgangsspulen werden nacheinander Spulen mit 125, mit 250, mit 500 Windungen verwendet. Der U-förmige Eisenkern bleibt immer geschlossen. An die Eingangsspule legen wir eine dem Stromversorgungsgerät entnommene Wechselspannung von 6 V, die während des Versuches nicht geändert wird (Abb. 221). Wir messen mit Hilfe eines Dreheisen-voltmeters die an der Ausgangsspule auftretende induzierte Spannung und tragen sämtliche Meßwerte in eine Tabelle ein.



Ergänzend fügen wir noch eine Messung hinzu, bei der wir eine Eingangsspule mit 500 Windungen und eine Ausgangsspule mit 1500 Windungen verwenden.

Abb. 221. Versuchsmodell eines Transformators, zusammengesetzt aus RFT-Aufbautellen

Links: Primärspule, 125 Windungen
Rechts: Sekundärspule, 500 Windungen

Spannungswandel — Übergang zu einer höheren Spannung

Eingangsspule		Ausgangsspule		Verhältnis der Windungszahlen $\frac{w_2}{w_1}$	Verhältnis der Spannungen $\frac{U_2}{U_1}$
Windungs- zahl (w_1)	Spannung (U_1) V	Windungs- zahl (w_2)	Spannung (U_2) V		
125	6	125	5,9	$\frac{125}{125} = 1$	$\frac{5,9}{6} \approx 0,98 \approx 1$
125	6	250	11,9	$\frac{250}{125} = 2$	$\frac{11,9}{6} \approx 1,98 \approx 2$
125	6	500	22,8	$\frac{500}{125} = 4$	$\frac{22,8}{6} = 3,80 \approx 4$
500	6	1500	17,4	$\frac{1500}{500} = 3$	$\frac{17,4}{6} = 2,90 \approx 3$

Wir sehen, daß die induzierte Spannung durchweg höher ist als die Eingangsspannung, wenn die Ausgangsspule mehr Windungen hat als die Eingangsspule. Einen solchen Spannungswandel bezeichnet man als eine *Umspannung*. Eine Vorrichtung der Art, wie wir sie soeben verwendet haben, heißt **Transformator** (abgekürzt *Trafo*) oder **Umspanner**. Die Eingangsspule eines Transformators nennt man die **Primärspule**, seine Ausgangsspule die **Sekundärspule**. Abb. 222 zeigt das Schaltbild unserer Versuchsanordnung unter Verwendung des für einen Transformator gebräuchlichen Schaltzeichens.

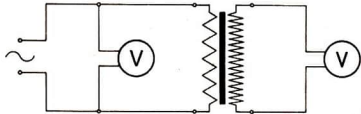


Abb. 222

Schaltbild der in Abb. 221 dargestellten Versuchsanordnung

Bilden wir in der Tabelle für jedes Spulenpaar die Verhältnisse der Windungszahlen und der Spannungen, so erkennen wir, daß sich beim Umspannen eines Wechselstromes die *Klemmenspannung*, das ist die an den Klemmen der Spule liegende Spannung, annähernd im Verhältnis der Windungszahlen der Spulen ändert. Das dabei auftretende geringfügige Abweichen der Spannungsverhältnisse von den Verhältnissen der Windungszahlen ist dadurch bedingt, daß das Feld trotz des geschlossenen Eisenkerns etwas streut und daß somit nicht alle Feldlinien die Sekundärspule durchsetzen. Es treten infolgedessen geringe Verluste auf. In derselben Weise wirkt sich die Tatsache aus, daß der durch die Spulen fließende Strom Wärme erzeugt, so daß ein Teil der Stromarbeit für die Induktionswirkung verlorengeht.

Beim Umspannen eines Wechselstromes durch einen Transformator verhält sich die sekundäre Klemmenspannung zur primären Klemmenspannung ebenso wie die Windungszahl der Sekundärspule zur Windungszahl der Primärspule:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{w_2}{w_1}.$$

Diese Tatsache wird auch bestätigt, wenn man den Wechselstrom herunterspannt, indem man die Windungszahl der Sekundärspule kleiner wählt als die der Primärspule. Die Meßergebnisse einer entsprechend durchgeführten Versuchsreihe gibt die nachstehend abgedruckte Tabelle wieder.

Spannungswandel – Übergang zu einer niedrigeren Spannung

Primärspule		Sekundärspule		Verhältnis der Windungszahlen $\frac{w_2}{w_1}$	Verhältnis der Spannungen $\frac{U_2}{U_1}$
Windungszahl (w_1)	Spannung (U_1) V	Windungszahl (w_2)	Spannung (U_2) V		
500	20	500	18,6	$\frac{500}{500} = 1$	$\frac{18,6}{20} = 0,93 \approx 1$
500	20	250	9,2	$\frac{250}{500} = \frac{1}{2}$	$\frac{9,2}{20} = 0,46 \approx \frac{1}{2}$
500	20	125	4,6	$\frac{125}{500} = \frac{1}{4}$	$\frac{4,6}{20} = 0,23 \approx \frac{1}{4}$

3. Stromarbeit und Leistung am Transformator. Wir stellen ein Transformatormodell aus einer Primärspule von 125 Windungen und einer Sekundärspule von 1500 Windungen zusammen. An die Primärspule legen wir eine Wechselspannung von 20 V, die wir aus dem Stromversorgungsgerät entnehmen. An die Sekundärspule schließen wir eine 220-V-Glühlampe für 40 Watt an. Die Glühlampe leuchtet hell auf. Wir messen mit Hilfe von Dreheisenmeßgeräten die Klemmenspannung der Primär- und der Sekundärspule sowie die Stromstärke im primären und im sekundären Stromkreis und berechnen die vom Transformator aufgenommene und die von ihm abgegebene Leistung als Produkt von Spannung und Stromstärke (vgl. § 19, 4). Die beigefügte Tabelle zeigt die Meßwerte in übersichtlicher Zusammenstellung.

Beispiel für die Leistungsaufnahme und -abgabe eines Transformators

	Primärspule	Sekundärspule
Windungszahl	$w_1 = 125$	$w_2 = 1500$
Spannung	$U_1 = 19,1 \text{ V}$	$U_2 = 216 \text{ V}$
Stromstärke	$I_1 = 2,1 \text{ A}$	$I_2 = 0,18 \text{ A}$
Leistung	$N_1 = U_1 \cdot I_1 \approx 40 \text{ W}$	$N_2 = U_2 \cdot I_2 \approx 39 \text{ W}$

Wir erkennen, daß die abgegebene Leistung N_2 annähernd gleich der aufgenommenen Leistung N_1 ist. Infolge der auftretenden geringen Streuung des Magnetfeldes und infolge der Wärmewirkung des elektrischen Stromes ist die abgegebene Leistung etwas geringer als die aufgenommene.

Bei einem verlustlos arbeitenden Transformator ist die abgegebene Leistung gleich der aufgenommenen:

$$N = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 .$$

In § 19, 5 erfahren wir, daß die Stromarbeit gleich dem Produkt aus Spannung, Stromstärke und Zeit ist. Dementsprechend ist auch die in einer bestimmten Zeit

vom Transformator aufgenommene elektrische Arbeit gleich der in derselben Zeit abgegebenen Arbeit. Im 7. Schuljahr lernten wir die „Goldene Regel der Mechanik“ kennen, nach der eine Arbeit bei Anwendung mechanischer Hilfsmittel ihrem Werte nach immer erhalten bleibt. Für den elektrischen Strom gilt ein ähnliches Gesetz:

Eine elektrische Arbeit bleibt bei der Transformation ihrem Werte nach erhalten. Dabei sind die infolge der magnetischen Streuung und infolge der Wärmewirkung auftretenden Verluste mitzurechnen.

4. Technische Transformatoren. In allen Zweigen der Elektrotechnik, die mit Wechselstrom arbeiten, haben Transformatoren größte Bedeutung erlangt. Denn sehr häufig ist es erforderlich, die Spannung je nach dem besonderen Verwendungszweck zu erhöhen oder sie in anderen Fällen herabzusetzen. Transformatoren werden infolgedessen in der Elektrotechnik in vielen Größen und für verschiedene Leistungen hergestellt. Einen Einblick in die Bauart eines technischen Transformators vermittelt Abb. 223. Besonders leistungsfähig sind die Transformatoren, durch die die Überlandnetze an die Elektrizitätswerke angeschlossen sind. Wir werden im nächsten Paragraphen die Gründe für den Einbau solcher Transformatoren erfahren.

Da unsere gesamte Stromversorgung mit Dreiphasenwechselstrom arbeitet, sind die Großtransformatoren für die gleichzeitige Transformation der drei Phasen konstruiert (Abbildung 224). In einem Gehäuse sind drei Transformatorsysteme vereinigt. Auf je einem Joch des dreiteiligen Eisenkerns sind eine Primär- und eine Sekundärspule übereinandergewickelt.

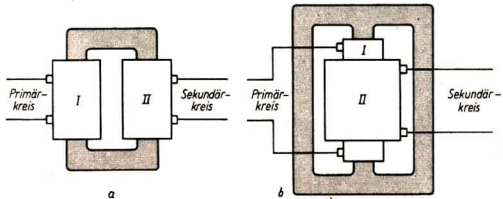
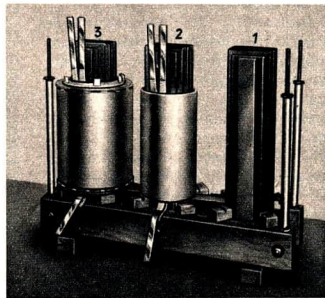


Abb. 223. Baupläne von Wechselstromtransformatoren (schematisch)

- a) Kerntransformator — Der rechteckige Eisenkern durchsetzt beide Spulen. Primärspule (I) und Sekundärspule (II) liegen getrennt.
 b) Manteltransformator — Beide Spulen liegen auf dem Mitteljoch des mantelförmigen Eisenkerns. Die Sekundärspule (II) umfaßt die Primärspule (I).

Abb. 224. Inneres eines teilweise zerlegten Drehstromtransformators

- Teil 1 Eisenkern ohne Spulen
 Teil 2 mit aufgesetzter Primärspule
 Teil 3 mit Sekundärspule und Primärspule



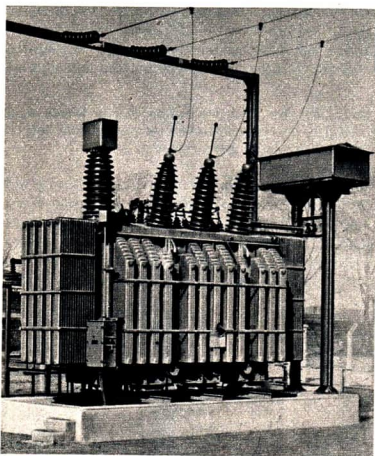


Abb. 225. Großtransformator für Dreiphasenwechselstrom

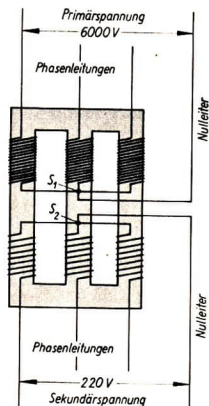


Abb. 226. Schaltbild eines Dreiphasenwechselstrom-Transformators. Das primäre wie das sekundäre Spulensystem liegen in Sternschaltung.

Zur besseren Isolierung sind die Gehäuse der *Hochspannungstransformatoren* mit Isolieröl gefüllt. Abb. 225 gibt einen großen Dreiphasenwechselstrom-Transformator wieder.

Abb. 226 zeigt das Schaltbild eines solchen Transformators.

Mit einem Transformator ist auch das schon oft erwähnte Stromversorgungsgerät ausgestattet. Durch ihn wird die Netzspannung des Wechselstromes von 220 V auf niedrige Gebrauchsspannungen herabgesetzt. Die Sekundärspule enthält verschiedene Zapfstellen, aus denen sich, in Stufen von je 2 V unterteilt, Spannungen von 0 bis 20 V entnehmen lassen (Abb. 227). Beispiele für Kleintransformatoren sind die *Klingeltransformatoren*, die man als Stromquelle für elektrische Klingelanlagen verwendet. Sie werden mit der Primärspule an das 220-V-Wechselstromnetz angeschlossen und geben aus der Sekundärspule Spannungen von 4 bis 10 V ab.

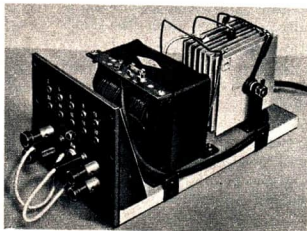


Abb. 227. Innenansicht des Stromversorgungsgerätes des RFT-Funkwerkes Zittau-Obersdorf. Links der Transformator, rechts der Gleichrichter. Die Schutzhaube ist abgenommen.

5. Fragen und Aufgaben:

1. Erläutere die Induktionswirkung eines durch Wechselstrom erzeugten Magnetfeldes auf eine Spule!
2. Warum entsteht in der Sekundärspule eines Transformators eine Induktionsspannung, die höher ist als die Primärspannung, wenn die Windungszahl der Sekundärspule größer ist als die Windungszahl der Primärspule? Es ist zu beachten, daß jede einzelne Windung der Sekundärspule vom magnetischen Feld der Primärspule durchsetzt wird.
3. Wie hoch ist bei einer Primärspannung von 220 V die Sekundärspannung eines Transformators, wenn die Primärspule 800 Windungen und die Sekundärspule 50 Windungen hat?
4. Berechne mit Hilfe der im 3. Abschnitt für den Leistungsumsatz am Transformator angegebenen Gleichung, wie groß die Stromstärke in der Sekundärspule eines Transformators ist, wenn die Primärspannung 220 V, die Sekundärspannung 3300 V und die Stärke des primären Stromes 4 A betragen!
5. Zeichne das Schaltbild eines Transformators, der die Primärspannung auf die Hälfte herabsetzt und dessen Sekundärspule in drei gleiche Spannungsstufen unterteilt ist!

§ 32. Die elektrische Energieversorgung

1. Die elektrische Energie. Jeder elektrische Strom besitzt ein *Arbeitsvermögen*. Dieses Arbeitsvermögen eines elektrischen Stromes bezeichnet man als **elektrische Energie**. Ihre Größe wird ausgedrückt durch die Größe der Stromarbeit. Diese ist gleich dem Produkt aus Stromstärke, Spannung und Zeit (vgl. § 19,5):

$$A = U \cdot I \cdot t.$$

Wir werden den Weg des elektrischen Stromes und der von ihm übertragenen elektrischen Energie von der Erzeugerstelle bis zum Verbraucher verfolgen, damit wir die technische und die volkswirtschaftliche Bedeutung der elektrischen Energie in ihrem ganzen Umfange erkennen.

2. Die Zentralisierung der Erzeugung elektrischer Energie. In großen Kraftwerken wird die elektrische Energie durch Generatoren mit einer Leistung von vielen Tausend Kilowatt gewonnen. Diese Kraftwerke werden nach Möglichkeit dort errichtet, wo die Natur günstige Bedingungen für das Gewinnen der Antriebsenergie bietet. Wo Wasserkräfte in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen, verwendet man Wasserturbinen zum Antrieb der Generatoren. Dampfkraftwerke werden im allgemeinen in der Nähe von großen Kohle- und Erdölagern angelegt oder an Schifffahrtswegen errichtet, die einen Großtransport der Brennstoffe ermöglichen. Durch die Verbrennung der Kohle oder des Öls wird Wärmeenergie frei. Mit ihrer Hilfe wird in den Dampfkesseln aus Wasser hochgespannter Dampf erzeugt. Dieser treibt die im Maschinensaal des Dampfkraftwerkes stehenden Dampfturbinen und damit die mit ihnen verbundenen Generatoren. Eins unserer größten Dampfkraftwerke ist das an der Spree gelegene *Kraftwerk Klingenberg* in Berlin (Abb. 228).

Die Generatoren der Kraftwerke liefern den Strom fast ausschließlich in Form von Dreiphasenwechselstrom bei einer Spannung von 6000 V. Große Trans-

formatoren spannen den Strom in den Kraftwerken auf Spannungen von 110000 V, 220000 V oder noch höhere Spannungen um. Vergleiche dazu den nächsten Abschnitt!

Gewaltige Kraftwerke wurden in der Sowjetunion als *Großbauten des Kommunismus* errichtet (vgl. auch den 5. Abschnitt). Ihre Zahl ist noch im ständigen Wachstum begriffen. Sie versorgen ein sich über das ganze Land erstreckendes Stromnetz mit elektrischer Energie. Dabei ist man zu Spannungen von 400000 V übergegangen.

In jedem Kraftwerk befindet sich ein Schaltraum, von dem aus der Betrieb mit vielen Meßinstrumenten überwacht und gelenkt wird (Abb. 229). Darunter sind Geräte vorhanden, die die vom Kraftwerk abgegebene Leistung automatisch aufzeichnen. Es entsteht so ein Diagramm, wie es uns Abb. 235 auf Seite 142 zeigt.

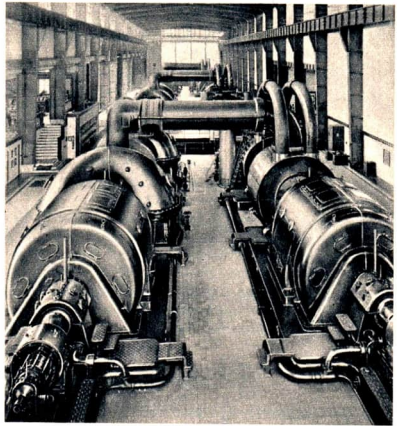


Abb. 228. Maschinenhalle des Kraftwerks Klingenberg in Berlin

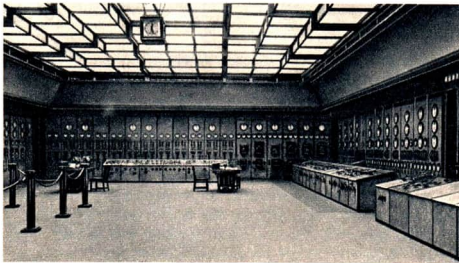


Abb. 229. Schaltraum eines Großkraftwerkes

3. Die Übertragung elektrischer Energie. Als man in den letzten 10 Jahren des vorigen Jahrhunderts dazu überging, elektrische Energie auf große Entfernungen zu übertragen, erkannte man sehr bald, daß es im höchsten Grade unwirtschaftlich ist, den Strom mit der

im Generator erzeugten Spannung weiterzuleiten. Denn wenn beispielsweise ein Kraftwerk eine Leistung von 21000 kW abgibt, so würde bei einer Generatorspannung von 6000 V in der vom Werk ausgehenden Leitung ein Strom von

3500 A fließen. Zur Weiterleitung so starker Ströme müßte man Leitungen von einem ganz gewaltigen Querschnitt verwenden, wenn man die durch Wärme-erzeugung bedingten Verluste an nutzbarer Energie in erträglichen Grenzen halten wollte. Die Verlegung solcher Leitungen würde auf große technische Schwierigkeiten stoßen. Setzt man aber durch einen Transformator die Spannung von 6000 V auf beispielsweise 210000 V hinauf, so sinkt die Stromstärke bei gleicher Leistungsabgabe von 3500 A auf 100 A ab. Denn die elektrische Leistung wird als Produkt der Spannung und der Stromstärke errechnet. Sowohl das Produkt $6000 \text{ V} \cdot 3500 \text{ A}$ wie das Produkt $210000 \text{ V} \cdot 100 \text{ A}$ ist gleich $21000000 \text{ W} = 21000 \text{ kW}$.

Das Fortleiten von Strömen dieser Größenordnung bereitet technisch keine Schwierigkeiten. Aus diesem Grunde schließt man in den Kraftwerken an die Generatoren unmittelbar Großtransformatoren an, die den Strom auf 200000 V und noch höher hinaufspannen. Über die *Hochspannungsleitungen* gehen auf diese Weise Ströme von 50 bis 100 A mit Leistungen von 50000 bis 200000 kW in das Land hinaus, ohne daß nennenswerte Verluste an nutzbarer Energie auftreten (Abb. 230). Die Freileitungen der Überlandnetze werden aus *Aluminium-Stahl-Seilen* hergestellt.

Die Hochspannung kann nicht unmittelbar bis zur Verbrauchsstelle geleitet werden; man muß sie vorher heruntersetzen. Die Hochspannungsleitungen führen zu den

Hauptspannwerken, die gebietsweise über das ganze Land verteilt sind.

In Abb. 231 sehen wir einen Ausschnitt aus

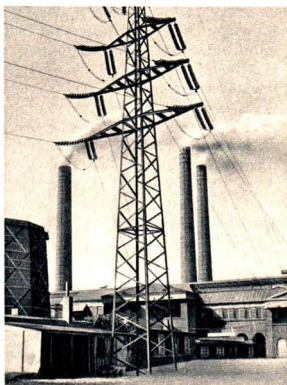


Abb. 230. Der erste Mast einer Hochspannungsleitung für Drehphasenwechselstrom

Die Hochspannungsleitungen sind fast immer mit Doppelleitungen für jede Phase, insgesamt demnach mit 6 Stromseilen ausgestattet. Die Stromseile sind durch große Isolierketten an den Gittermasten aufgehängt (vgl. Abb. 29).

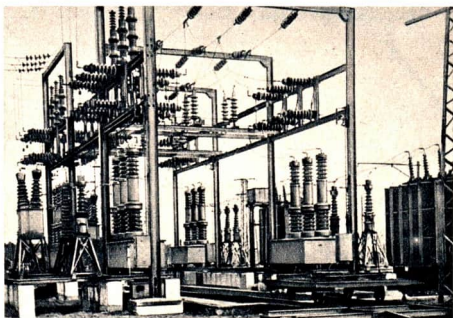


Abb. 231. Teillansicht eines Hauptspannwerkes, Freiluftanlage

einem Hauptumspannwerk, das als *Frei-
luftanlage* gebaut ist. In ihm wird in
Transformatoren die Spannung auf 15000
bis 30000 V herabgesetzt. Von den Haupt-
umspannwerken wird die elektrische Energie
auf eine Anzahl kleinerer *Gruppenum-
spannwerke* verteilt. Hier wird die Spannung
zur weiteren Verteilung an einzelne Stadt-
teile oder ländliche Bezirke auf 3000 bis
6000 V heruntergesetzt. Mit diesen Span-
nungen wird die elektrische Energie in
Mittelspannungsleitungen zu den *Transfor-
matorhäuschen* weitergeleitet, die in den
einzelnen Dörfern stehen (Abb. 232). In die-
sen Transformatorhäuschen erfolgt schließ-
lich die Umspannung auf die uns bekannte
Netzspannung von 220 V. In den Städten
sind diese Umspannstationen meist in klei-
nen Gebäuden oder in unterirdischen An-
lagen eingerichtet. In jedes Haus führt eine
Leitung des weitverzweigten Energiever-
teilungsnetzes. Abb. 233 stellt als Plan das
Netz der Energieverteilung schematisch dar.



Abb. 232. Transformatorhäuschen

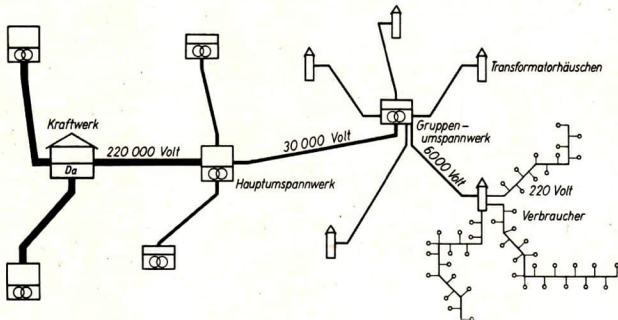


Abb. 233. Schematische Planzeichnung der Verteilung elektrischer Energie

4. Die technische Bedeutung der elektrischen Energie. Die vorangehenden Ab-
schnitte lassen erkennen, daß die elektrische Energie gegenüber den anderen
Energieformen in technischer Hinsicht einen Vorzug besitzt, den man nicht hoch
genug bewerten kann. Eine Übertragung von Wärmeenergie oder mechanischer
Bewegungsenergie ist auf große Entfernungen technisch nicht durchführbar. Da-

gegen kann man die elektrische Energie dort gewinnen, wo die Natur günstige Voraussetzungen dazu bietet, und kann sie verhältnismäßig einfach und ohne allzu große Verluste auf große Entfernungen übertragen und über weite Gebiete verteilen. Dies gilt insbesondere für Wechselstrom, da er sich ohne Schwierigkeiten umspannen läßt. Aus diesem Grunde wird heute in der Großversorgung mit elektrischer Energie der Wechselstrom allgemein bevorzugt.

5. Die elektrische Energie in der Volkswirtschaft. In der Sowjetunion hat die Versorgung mit elektrischer Energie eine besonders hohe Bedeutung gewonnen.

Wladimir Iljitsch Lenin erkannte klar, daß die Elektrifizierung des ganzen Landes eine der wichtigsten Voraussetzungen für den Aufbau des ersten sozialistischen Staates der Welt, der Sowjetunion, war. Er verkündete 1920 den auf seine Initiative geschaffenen *GOELRO-Plan*, den Staatsplan für die Elektrifizierung Rußlands. In erster Linie galt es, die Wasserkräfte des Landes auszunutzen. Auf Grund des *GOELRO-Planes* wurden das *Lenin-Wasserkraftwerk* am *Dnepr* und drei große Wasserkraftwerke an der *Wolga* bei *Iwankowo*, *Uglitsch* und *Stscherbakow* errichtet. Mit dem Bau der Wasserkraftwerke bei *Gorki* an der *Wolga* und an der *Kama* wurde begonnen.

Einen weiteren gewaltigen Aufschwung nimmt die Elektrifizierung der Sowjetunion durch die *Stalinschen Großbauten des Kommunismus*. Am 1. Juli 1953 wurde das große Wasserkraftwerk bei *Ust-Kamenogorsk* am *Irtysch* in *Sibirien* in Betrieb genommen (Abb. 234). Das Kraftwerk wurde auf Grund des fünften Fünfjahrplanes der Sowjetunion erbaut. Es entnimmt seine Energie dem in den Ob einmündenden *Irtysch*, dessen Spiegel durch eine gewaltige Talsperre um 40 m gehoben wird.

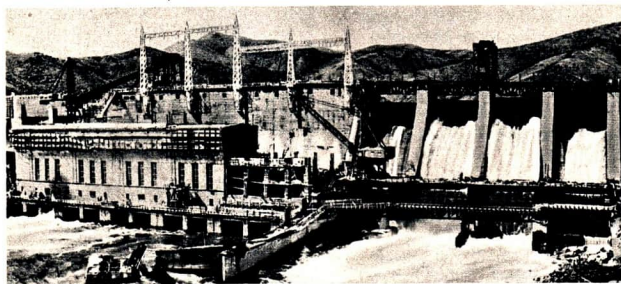


Abb. 234. Das neue Wasserkraftwerk bei *Ust-Kamenogorsk* am *Irtysch* (UdSSR), in Betrieb seit 1. 7. 1953
Die Aufnahme erfolgte während des Baus.

Die neuentstandenen Kraftwerke werden zusammen mit den schon früher erbauten ein das ganze weite Land umspannendes Stromnetz speisen. Fernleitungen werden die elektrische Energie den Industriegebieten um *Moskau*, um *Saratow*

und anderen Industriegebieten zuleiten. Sie speisen aber auch die Pumpen der Schleusen des *Leninkanals*, der die *Wolga* mit dem *Don* verbindet, und die Pumpen der Bewässerungskanäle. Über 28 Mill. ha Wüste und Ödland werden auf diese Weise durch Bewässerung in fruchtbares Ackerland verwandelt. Allein an die neu entstehenden Kolchosen und an die landwirtschaftlichen Betriebe des *Wolga-Don-Gebietes* werden jährlich 3,5 Md. Kilowattstunden abgegeben.

Die Leistungen einiger wichtiger Kraftwerke in der Sowjetunion sind in der beigefügten Tabelle angegeben:

Name des Kraftwerkes	Stromlauf	Leistung des Werkes
Kuibyschew	Wolga	2 000 000 kW
Stalingrad	Wolga	1 700 000 kW
Kochowka	Dnepr	250 000 kW
Zimljanskaja	Don	160 000 kW
Turkmenischer Hauptkanal	Amu-Darja	100 000 kW

Auch in unserer Republik bildet der weitere Ausbau der Energieversorgung eine der wichtigsten Grundlagen für die Steigerung der Produktion auf allen Gebieten.

Durch die Leistungen der Werktätigen und der technischen Intelligenz ist eine gewaltige Aufwärtsentwicklung der Industrie eingetreten. Damit ist der Bedarf an elektrischer Energie erheblich gestiegen. Aus diesem Grunde wurden die in der Deutschen Demokratischen Republik bestehenden Kraftwerke von Grund auf überholt; mit dem Bau neuer Kraftwerke wurde begonnen. Gegenüber 1946 stieg die Energieerzeugung bis 1952 auf 201 %.

Abb. 235 zeigt uns in dem *Energie-diagramm* eines Kraftwerkes deutlich die *Spitzenbelastungszeiten* am Morgen und am Abend. Zu diesen Zeiten müssen wir im Stromverbrauch besonders sparsam sein, damit unsere Industrie ungestört weiterarbeiten und für uns Werte erzeugen kann. Die elektrische Energie ist eins der wertvollsten und wichtigsten Güter unserer Volkswirtschaft.

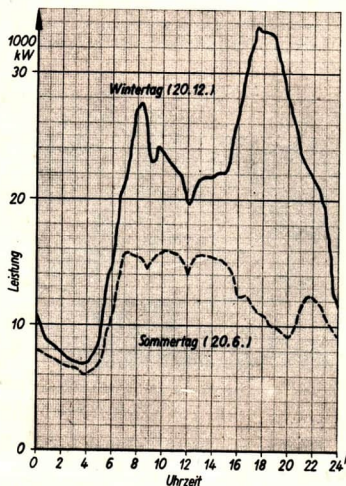


Abb. 235. Belastungskurve eines Kraftwerkes für einen Tag

6. Fragen und Aufgaben:

1. Woher erhält das Wasser die Energie, mit der es die Kraftwerke treibt?
2. Worin liegt die große technische und volkswirtschaftliche Bedeutung der elektrischen Energie?
3. Erkläre das in Abb. 235 gezeigte Schaubild der Belastung eines Kraftwerkes!
4. Warum ist es vorteilhafter, die Erzeugung elektrischer Energie möglichst zu zentralisieren, statt viele kleine Kraftwerke zu errichten?
5. Was versteht man unter elektrischer Energie, und wie errechnet man die durch einen elektrischen Strom übertragene Energie?

Elektrische Schaltzeichen

	Gleichspannung		Glühlampe
	Wechselspannung		Meßwiderstand
	Kreuzung zweier Leiter ohne leitende Verbindung		Schiebewiderstand
	Kreuzung zweier Leiter mit leitender Verbindung, Lötstelle		Widerstand, allgemein
	Leitungsabzweigung, Lötstelle		Widerstand, stetig regelbar
	Leitungsabzweigung, lösbare Verbindung		Erdanschluß
	Schalter		Kondensator
	Steckdose		Kondensator, regelbar
	Galvanisches Element		Spule ohne Eisenkern
	Batterie (Beispiel 10 V)		Transformator mit Eisenkern
	Amperemeter		Transformator ohne Eisenkern, stetig regelbar
	Voltmeter		Mikrophon
	Elektroskop		Fernhörer

IV. Die Verrichtung von Arbeit durch Maschinen

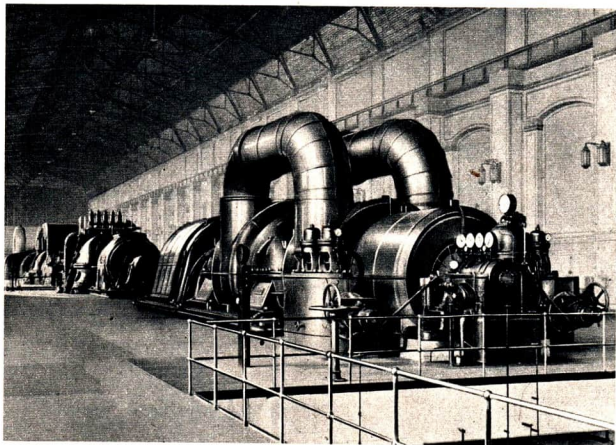


Abb. 236. Blick in die Turbinenhalle des Großkraftwerkes Hirschfelde bei Zittau

Im vorhergehenden Kapitel haben wir erfahren, welche überragende Bedeutung heute der Erzeugung elektrischer Energie für uns zukommt. Gewaltige Maschinen sind es, die in den Maschinsälen der Großkraftwerke die Generatoren treiben. Abb. 236 vermittelt uns einen Einblick in die Turbinenhalle eines großen Dampfkraftwerkes und läßt uns die riesigen Ausmaße der dort aufgestellten Turbinen erkennen. Ununterbrochen arbeiten in den Kraftwerken die Turbinen für uns. Jeder, der durch seine Arbeit der menschlichen Gesellschaft dienen will, muß sich mit den technisch-physikalischen Grundlagen dieser Maschinen vertraut machen. Die folgenden Paragraphen werden uns das Wichtigste über die Kraftmaschinen vermitteln.

§ 33. Kurze Übersicht über die Entwicklung der Maschinen

1. Kraftumformende Maschinen. Von alters her war das Bestreben der Menschheit darauf gerichtet, Hilfsmittel zum Heben von Lasten zu schaffen, da menschliche Kräfte hierzu oft nicht ausreichten. Der Hebel, die schiefe Ebene, der Keil sind uralte Vorrichtungen, die zu diesem Zweck verwendet wurden und schon seit den ersten Anfängen der menschlichen Gesellschaft bekannt sind.

Später traten die Rolle, der Flaschenzug, das Wellrad, die Schraube hinzu. Mit ihrer Hilfe kann man Kräfte auf vielfache Weise umformen, so daß dadurch für den Menschen eine wesentliche Erleichterung beim Verrichten einer Arbeit erwächst. Man nennt diese Vorrichtungen deshalb auch *kraftumformende Maschinen*.

Wie wir auch schon im 7. Schuljahr erkannten, wird die Größe der Arbeit selbst durch solche Vorrichtungen nicht verringert. Wir erinnern uns der *Goldenen Regel der Mechanik*:

Eine Arbeit bleibt bei Anwendung mechanischer Hilfsmittel ihrem Werte nach immer erhalten.

2. Der Energiebegriff. Da die menschlichen, aber auch die tierischen Kräfte begrenzt sind, ist es verständlich, daß die Menschen schon sehr zeitig daran gearbeitet haben, über die im 1. Abschnitt genannten Vorrichtungen hinaus Maschinen zu schaffen, die den Menschen die Arbeit abnehmen. Wenn aber eine mechanische Vorrichtung eine Arbeit verrichten soll, muß ihr Arbeit zugeführt werden. Arbeit kann in einem Körper aufgespeichert werden. Wir betrachten als Beispiel eine auf dem Tisch liegende Kugel. Sie vermag erst dann eine Arbeit zu vollbringen, wenn man sie hochhebt, so daß sie danach wieder fallen kann. Durch das Hochheben wird die Kugel in den Stand gesetzt, der Einwirkung der Schwerkraft zu folgen. Sie kann infolgedessen eine Arbeit verrichten.

Wir brauchen nur an den Antrieb von Uhren und von anderen Vorrichtungen zu denken, bei denen absinkende Gewichtsstücke die Getriebe in Gang halten. Bei den genannten Beispielen ist es die Schwerkraft, die den Körpern ihre Arbeitsfähigkeit verleiht.

Wenn ein Körper Arbeit verrichten soll, muß ein bestimmter Arbeitsvorrat in ihm aufgespeichert sein. Wir sprechen in diesem Zusammenhange von der *Energie* eines Körpers. Zum ersten Male lernten wir dieses Wort auf Seite 137 kennen. Man versteht unter der Energie eines Körpers den in ihm enthaltenen *Arbeitsvorrat*, sein *Arbeitsvermögen*.

Energie ist das Arbeitsvermögen eines Körpers, der in ihm aufgespeicherte Arbeitsvorrat. Energie kann von einem Körper aufgenommen oder abgegeben werden.

3. Kraftmaschinen. Die Menschen lernten es immer besser verstehen, natürliche Energiequellen auszunutzen und zur Arbeitsverrichtung heranzuziehen. Es wurden Maschinen erfunden, die die zum Antrieb vieler Arbeitsvorrichtungen erforderlichen Kräfte den natürlichen Energiequellen entnehmen. Solche Maschinen nennt man *kraft erzeugende Maschinen* oder kurz **Kraftmaschinen**. Da durch diese Maschinen die in den verwendeten Betriebsstoffen vorhandene Energie in nutzbare mechanische Energie umgewandelt wird, handelt es sich um *energieumformende Maschinen*.

Die ältesten bekannten Kraftmaschinen sind *Wasserräder*. Aus ihnen gingen später die *Turbinen* hervor. *Windmühlen* wurden in Europa zuerst im Mittelmeergebiet gebaut. In Nordeuropa sind sie etwa seit dem 9. Jahrhundert in Gebrauch. Wasserräder und Windtriebwerke wurden vorzugsweise zum Antrieb von Mühlen und Sägewerken verwendet. Sie bildeten gleichzeitig die Energiegrundlage für die Anfänge der Industrie.

4. Fragen und Aufgaben:

1. Welche einfache Maschinen oder Maschinenelemente haben wir bisher kennengelernt?
2. Nenne Vorrichtungen, die aus einfachen Maschinen zusammengesetzt sind!
3. Wovon ist die Größe einer Arbeit abhängig? Nenne die „Goldene Regel der Mechanik“!
4. Durch welche Einfüsse wird das Wasser vom Meeresniveau gehoben und im Gebirge abgelagert?

§ 34. Wasser- und Windkraftmaschinen

1. Wasserräder. Die Urform einer Wasserkraftmaschine ist ein mit Schaufeln besetztes Rad, das durch absinkendes oder strömendes Wasser in Umdrehung versetzt wird. Man spricht in der Technik davon, daß das Rad vom Wasser beaufschlagt wird. Je nachdem, ob dies von oben, von der Seite oder von unten her geschieht, unterscheidet man *oberschlächtige*, *mittelschlächtige* und *unterschlächtige Wasserräder*. Die oberschlächtigen Wasserräder (Abb. 237) werden heute noch von kleinen Müllereibetrieben und kleinen Sägewerken verwendet, wenn nur verhältnismäßig wenig Wasser mit geringem Gefälle zur Verfügung steht. Das Wasser wird in einem Mühlteich angestaut und dem Wasserrad über eine Rinne zugeleitet. Das Rad ist an seinem Rand mit Zellen oder Bechern besetzt, die sich mit Wasser füllen. Durch das Gewicht des Wassers wird die eine Seite des Rades niedergedrückt und so das Rad in Umdrehung versetzt.

Bei größeren, schnellfließenden Wassermengen werden häufig die leistungsfähigeren mittel- und unterschlächtigen Wasserräder verwendet (Abb. 238 und 239).

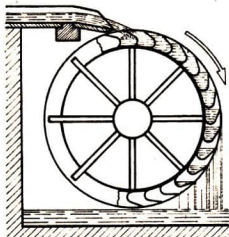


Abb. 237
Oberschlächtiges Wasserrad

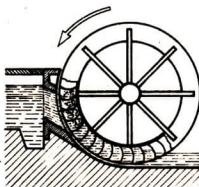


Abb. 238
Mittelschlächtiges Wasserrad

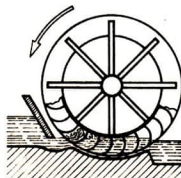


Abb. 239
Unterschlächtiges Wasserrad

Sie sind mit Schaufeln ausgerüstet, die vom strömenden Wasser erfaßt werden. Dabei wird weniger das Gewicht als die Geschwindigkeit des vorbeifließenden Wassers, mithin seine Bewegungsenergie zum Antrieb ausgenutzt. Bei den unterschlächtigen Wasserrädern ist dies ausschließlich der Fall.

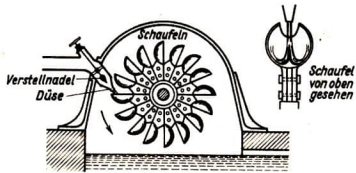


Abb. 240. Querschnitt durch ein Peltonrad (schematisch)

2. Wasserturbinen. Aus den Wasserrädern sind in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts die *Wasserturbinen* hervorgegangen. Sie übertreffen an Leistungsfähigkeit die Wasserräder erheblich und haben die Ausnutzung der Wasserkräfte zur Energieerzeugung in großem Maßstab erst ermöglicht. Nach der Konstruktion unterscheidet man *Freistrahlturbinen* und *Überdruckturbinen*. Die Freistrahlturbinen sind mit einem *Schaufelrad* ausgerüstet, das nach seinem Erfinder als *Peltonrad* bezeichnet wird (Abb. 240). Ein aus einer Düse austretender, kräftiger Wasserstrahl trifft gegen die muldenförmigen *Doppelschaufeln* des Rades und setzt dieses in Umdrehung. Turbinen dieser Art eignen sich insbesondere für geringe Wassermengen bei großen Gefällhöhen. Sie werden bei Wasserkraftanlagen in Hochgebirgen oft verwendet.

Sollen dagegen große Wassermengen geringen Druckunterschiedes ausgenutzt werden, so bevorzugt man die *Überdruckturbinen*, die man nach ihrem Erfinder und nach ihrer Bauart auch als *Francis-Turbine* oder als *Spiralturbine* bezeichnet (Abb. 241 und 242). Bei ihr wird das Wasser durch verstellbare *Leitschaufeln* dem Schaufelrad zugeführt und durchströmt dieses spiralförmig von außen nach innen, wobei das Rad in Umdrehung versetzt wird. Bei der Pelton- wie bei der Francis-Turbine liegen die

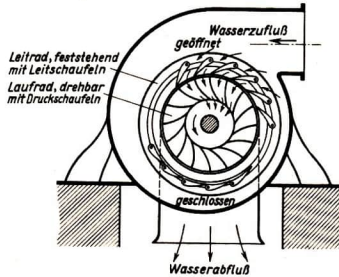


Abb. 241. Querschnitt durch eine Spiralturbine (schematisch). Das Wasser wird durch Leitschaufeln gegen ein spiralförmig gebogenes Laufrad gelenkt.



Abb. 242. Laufrad einer Spiralturbine

Abb. 243. Turbinenhalle des Saale-Wasserkraftwerkes an der Blielochtalssperre. Man sieht an der Turbine die Verstellstangen und -hebel für die Leitschaufeln.

1 Turbine, 2 Generator

Turbinenachsen meist waagrecht (Abb. 243).

Daneben werden aber auch Turbinen mit vertikaler Drehachse gebaut. Sie werden bei den neuen sowjetischen Kraftwerken der *Großbauten des Kommunismus* vorzugsweise verwendet (Abb. 244).

In dem neuerbauten Wasserkraftwerk von *Zimljanskaja* arbeiten vier Turbinen, deren Laufräder einen Durchmesser von 4,5 m haben. Noch weit größer sind die 40 Turbinen, die in den beiden Wolga-Kraftwerken bei *Kuibyschew* und *Stalingrad* aufgestellt werden und deren Laufräder einen Durchmesser von mehr als 9 m haben werden. Diese gewaltigen Turbinen werden in der Lenin-grader *J.-W.-Stalin-Metallfabrik* angefertigt. In diesem Werk wurde auch die größte Dampfturbine der Welt erbaut. Sie ist für ein Dampfkraftwerk in der Sowjetunion bestimmt und hat eine Leistung von 150 000 kW.

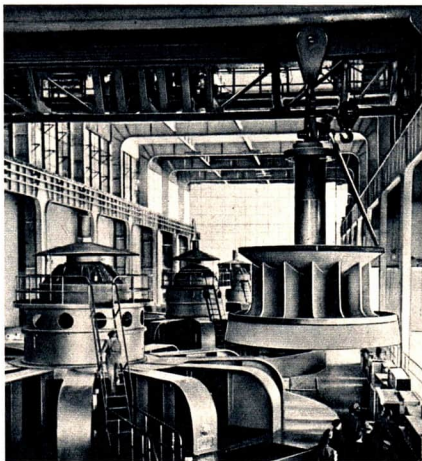
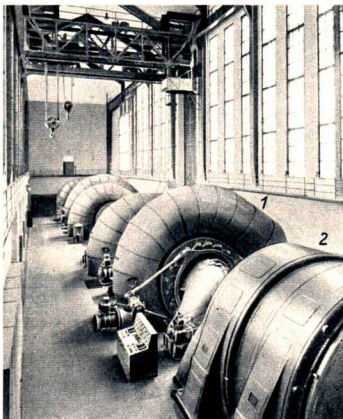


Abb. 244. Turbinenhalle im Dneprkraftwerk W. I. Lenin. Der am Kran hängende Turbinenläufer hat ein Gewicht von 145 000 kp. Er gehört zu einer im Umbau befindlichen Turbine. Jede Turbine leistet 100 000 kW.

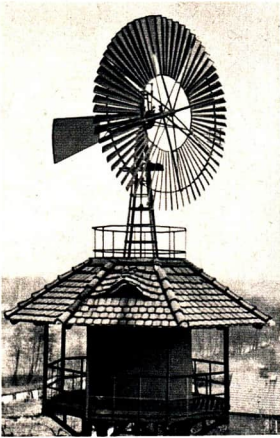


Abb. 245. Windrad in einer Gärtnerei als Antriebsmaschine einer Pumpe. Der Hochbehälter befindet sich unter dem Rade.

3. Windkraftmaschinen. Wie die Wasserräder sind auch die Windmühlen seit dem Altertum bekannt. In ländlichen Müllereibetrieben werden sie vereinzelt noch heute als Antriebsmaschinen verwendet. Mit zunehmender Elektrifizierung des Landes haben die Windmühlen an Bedeutung verloren. Leistungsfähiger als Windmühlen sind *Windräder* (Abb. 245).

In den letzten Jahren wurden wiederholt Versuche unternommen, *Windkraftmaschinen* zur Erzeugung elektrischer Energie auszunutzen. Von besonders großem Ausmaße sind zwei sowjetische *Windkraftwerke*, die in den Jahren 1931 und 1936 auf der *Krim* errichtet wurden (Abb. 246).



Abb. 246

Sowjetisches Windkraftwerk bei Balaklava auf der Krim. Gesamtleistung 100 kW. In die vom Turm getragene, schwenkbare *Gondel* ist ein Generator eingebaut, der von einem dreiflügligen Windrad angetrieben wird.

4. Fragen und Aufgaben:

1. Warum ist zum Betreiben eines Wasserkraftwerkes immer die Errichtung einer Stauanlage erforderlich?
2. Wodurch wird
 - a) ein oberflächliches,
 - b) ein unterflächliches Wasserrad in Umdrehung gehalten?

3. Das überschlächtige Wasserrad einer Getreidemühle hat einen Durchmesser von 4,5 m und wird in jeder Sekunde mit 50 Litern beaufschlagt. Wieviel Liter fließen in einer Stunde über das Rad? Wie groß ist die stündlich vollbrachte Arbeit, wenn man annimmt, daß die dem Wasser innewohnende Energie beim Absinken längs der ganzen Wegstrecke gleichmäßig ausgenutzt wird? Wie groß ist die Leistung?
4. Aus einer Talsperre mit einer Stauhöhe von 35 m fließen stündlich 25 000 m³ Wasser ab. Wie groß ist die Arbeit, die an die Talsperre angeschlossenen Turbinen im Höchstfalle in einer Stunde verrichten können? Wie groß ist die Leistung der Maschinen?

§ 35. Dampfkraftmaschinen

1. Die Umwandlung von Wärme in Arbeit. Eine durchgreifende Technisierung der Industrie trat erst ein, als Maschinen konstruiert wurden, deren Energiequelle die Wärme ist, die bei der Verbrennung von Brennstoffen frei wird. Bereits im 6. Schuljahr haben wir erfahren, daß beim Erwärmen eines Körpers und bei den dadurch an ihm hervorgerufenen Änderungen eine Arbeit verrichtet wird. Ein ähnlicher Vorgang spielt sich in den Wärmekraftmaschinen ab. In ihnen wird Wärmeenergie in nutzbare mechanische Energie umgewandelt.

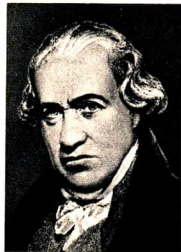


Iwan Iwanowitsch Polsunow
(1728—1766)

vollendete *James Watt* in England die erste doppelt wirkende, mit selbsttätiger Steuerung ausgerüstete Dampfmaschine, die er in jahrelanger Arbeit entwickelt hatte. Sie bildet eine wichtige konstruktive Grundlage für alle Kolbendampfmaschinen. Noch heute werden Kolbendampfmaschinen bei Lokomotiven verwendet.

2. Die Lokomotive. Mit der Entwicklung einer für Dauerleistungen geeigneten Dampfmaschine begann ein grundlegender Umschwung in der Gestaltung des Verkehrswesens. Die erste brauchbare Lokomotive

Der von 1647 bis 1712 lebende französische Physiker *Denis Papin* konstruierte 1690 den ersten Dampfzylinder. Er wurde somit der Erfinder der Urform der **Dampfmaschine**. Um 1700 schuf, auf dem Gedanken Denis Papins aufbauend, *Thomas Newcomen* in England zum Betrieb einer Bergwerkspumpe eine als *atmosphärische Dampfmaschine* bezeichnete Maschine. Sie nutzte den Dampfdruck nur unvollkommen aus und arbeitete unter Mitwirkung des äußeren Luftdruckes. Unabhängig davon konstruierte der russische Techniker *Iwan Iwanowitsch Polsunow* in *Barnaul* (Sibirien) die erste zweizylindrige atmosphärische Dampfmaschine und stellte sie 1765 fertig. Auch bei dieser Maschine wirkte noch der Luftdruck mit. Polsunow starb 1766, wenige Tage bevor die Maschine in Betrieb genommen wurde. Im Jahre 1783



James Watt (1736—1810)

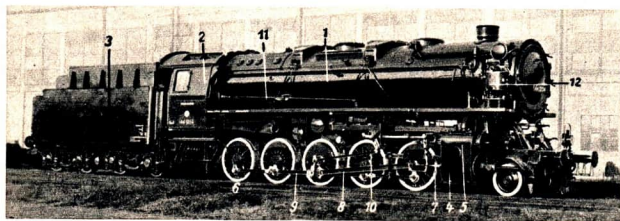


Abb. 247. Güterzuglokomotive BR 44 der Deutschen Reichsbahn

1 Kessel, 2 Führerstand, 3 Kohlen- und Wassertender, 4 Dampfzylinder, 5 Zylinder für Kolbenschiebersteuerung, 6 Treibräder, 7 Kolbenstange, 8 Treibstange, 9 Kuppelstange, 10 Gestänge für Steuerung, 11 Umschaltstange für Steuerung (vorwärts und rückwärts), 12 Luftpumpe für Luftbremse

Durchmesser der einzelnen Dampfzylinder	550 mm	Leergewicht der Lok	etwa 100000 kp
Kolbenhub	660 mm	Leergewicht des Tenders	etwa 30000 kp
Treibraddurchmesser	1400 mm	Höchstgeschwindigkeit	80 km/h
Dampfüberdruck	16 atü	Höchstleistung der Maschine	2200 PS
		Gesamtlänge von Lok und Tender	22,5 m

wurde 1814 von dem englischen Maschinenbauer *George Stephenson* erbaut. Doch wurde die erste Dampfeisenbahn für den Personenverkehr in England erst 1830 auf der Strecke *Liverpool-Manchester* in Betrieb genommen. In Deutschland fuhr die erste Eisenbahn 1835 auf der Strecke *Nürnberg-Fürth*.

Abb. 247 zeigt uns eine moderne Güterzuglokomotive.

Der auffallendste Teil der Lokomotive ist der mächtige, über 12 m lange Kessel. Er wird von einem waagerechten Rahmen getragen, der auf dem Fahrgestell ruht. Der Kessel ist ein *Heizröhrkessel*, ein Name, dessen Bedeutung wir sofort verstehen werden (Abb. 248). An den zylindrischen Teil des Kessels schließt sich nach hinten der kastenförmige Stehkessel an. Er umschließt die ebenfalls kastenförmige *Feuerbuchse*. Vorn ist dem Kessel die mit dem Schornstein versehene *Rauchkammer* vorgelagert. Sie ist mit der Feuerbuchse durch eine große Zahl von *Heizröhren* verbunden. Durch diese streichen die etwa 1000° C heißen Feuergase und erwärmen das Wasser, von dem die Heizröhre und die Feuerbuchse umgeben sind. Der sich entwickelnde Dampf sammelt sich im *Dampfdom*, von wo er dem Zylinder zuströmt.

Zu beiden Seiten des Fahrgestells laufen mehrere *Treibräder* und *Laufräder* (bei der in Abb. 247 wiedergegebenen Lokomotive je 5 Treibräder und 1 Laufrad).

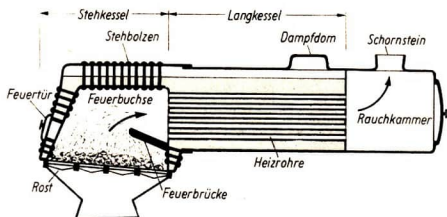


Abb. 248. Lokomotivkessel

Er besteht aus dem Stehkessel, der die Feuerbuchse umschließt, und dem von den Heizröhren durchzogenen Langkessel.

E der Frischdampf vom Kessel her zu. Durch die seitlichen Dampfaustrittsöffnungen A_1 und A_2 wird der Abdampf dem Schornstein zugeleitet. Mit dem Dampfzylinder steht der Steuerzylinder durch zwei Kanäle K_1 und K_2 in Verbindung.

Im Steuerzylinder gleiten zwei durch die *Schieberstange* bewegte *Steuerkolben* hin und her. Dadurch wird abwechselnd der eine Raum des Dampfzylinders mit der Dampfeintrittsöffnung, der andere mit einer Dampfaustrittsöffnung verbunden. Bei der in Abb. 249 festgehaltenen Kolbenstellung strömt der Frischdampf von E her durch K_1 in den linken Zylinderteil, während der rechte Zylinderteil über K_2 an die Austrittsöffnung A_2 angeschlossen ist. Der Kolben wird nach rechts gedrückt. Hat er seine äußerste Stellung erreicht, so schieben sich die Steuerkolben nach rechts; E wird mit K_2 , A_1 mit K_1 verbunden. Der Kolben wird dann nach links gedrückt. Dieser Vorgang wiederholt sich in regelmäßigem Wechsel. Die Bewegung der Steuerkolben wird durch eine besondere Kurbel, die *Steuerkurbel*, veranlaßt. Diese wirkt mittels eines Übertragungshebels, der *Schwinge*, und zweier Pleuelstangen Pl_1 und Pl_2 auf die Schieberstange ein.

Stehen die Treibkurbel, die Pleuelstange und die Kolbenstange in derselben Richtung, so steht die Maschine auf dem *Totpunkt*, über den die Bewegung der Lokomotive hinweghilft. Die Totpunktstellung tritt bei einer vollen Umdrehung des Treibrades zweimal ein. Damit die Lokomotive in jeder Stellung anfahren kann, sind die Kurbeln auf beiden Lokseiten um 90° gegeneinander versetzt.

4. Ortsfeste Dampfmaschinen. Wenn auch die Elektrotechnik in den letzten Jahrzehnten eine stürmische Aufwärtsentwicklung genommen hat, so ist trotzdem die *ortsfeste* oder, wie man auch sagt, die *stationäre Dampfmaschine* auch heute noch von großer Bedeutung. Sie wird nach wie vor dort verwendet, wo aus betrieblichen Gründen die Leistungsabgabe der Maschine starken Schwankungen unterworfen ist. Freilich werden auch in diesen Fällen heute vielfach Elektromotoren als Antriebsmaschinen verwendet.

In ihrem Bau gleicht die stationäre Kolbendampfmaschine in jeder Hinsicht der Antriebsmaschine einer Lokomotive. Sie ist aber im Gegensatz zu dieser auf einem festen Sockel montiert (Abb. 250).

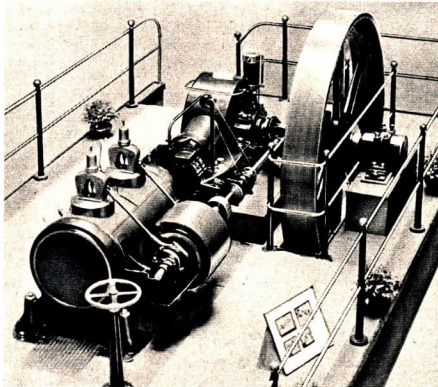


Abb. 250. Dampfmaschine aus dem volkseigenen Werk Kema, Görlitz, auf einem Ausstellungsstand

Die hin- und hergleitende Bewegung des Kolbens wird wie bei der Lokomotive durch die Kolbenstange, den Kreuzkopf, die Pleuelstange und die Treibkurbel in eine rotierende Bewegung umgewandelt. Ein mit der Maschinenwelle verbundenes großes *Schwungrad* ermöglicht durch seine Trägheit den ruhigen und gleichmäßigen Gang der Maschine und hilft über die Totpunkte hinweg.

Während die Lokomotive mit Kolbenschiebersteuerungen ausgestattet ist, wird die Dampffuhr bei allen modernen ortsfesten Maschinen durch *Ventile* gesteuert.

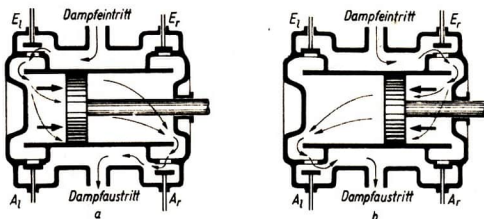


Abb. 251. Einfache Ventilsteuerung einer Kolbendampfmaschine

a) Rechtsgang des Kolbens, b) Linksgang des Kolbens

E Einlaßventile, A Auslaßventile

Von den vier Ventilen, die sich an jedem Dampfzylinder befinden, sind immer je ein Einlaßventil und das am anderen Zylinderende liegende Auslaßventil geöffnet. Die anderen beiden Ventile sind geschlossen.

Abb. 251 zeigt schematisch das Zusammenarbeiten dieser Ventile. Sie werden durch *Stößstangen* geöffnet, die durch eine neben dem Dampfzylinder liegende *Nockenwelle* in Bewegung gesetzt werden. Die Nockenwelle steht durch eine *Zahnradübertragung* mit der Hauptwelle der Maschine in Verbindung. An Stelle der Nockenwelle wird vielfach auch eine *Exzenterwelle* verwendet, die eine den Ventilen entsprechende Anzahl *exzentrischer Scheiben* trägt. Eine exzentrische Scheibe ist außerhalb ihres Mittelpunktes fest mit der Welle verbunden und schwingt bei der Drehung der Welle um diese herum. Sie überträgt ihre Bewegung auf einen an der Stößstange befestigten Ring und ersetzt auf diese Weise eine Kurbel (Abb. 252).

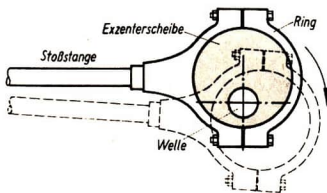


Abb. 252. Exzentrische Scheibe

Die meisten modernen Kolbendampfmaschinen sind mit mehreren Zylindern ausgestattet. Diese werden vom Dampf der Reihe nach durchströmt, wobei er sich *stufenweise* entspannt (Abb. 253).

Die Regelung der Dampffuhr erfolgt durch eine automatisch wirkende Vorrichtung. Die Grundform aller *Dampfregler* ist der *Schwungradregler*. Bei ihm werden zwei Kugeln in schnelle Umdrehung um eine senkrechte Achse versetzt, an der sie gelenkig aufgehängt sind (Abb. 254). Die Kugeln entfernen sich infolge ihrer Träg-

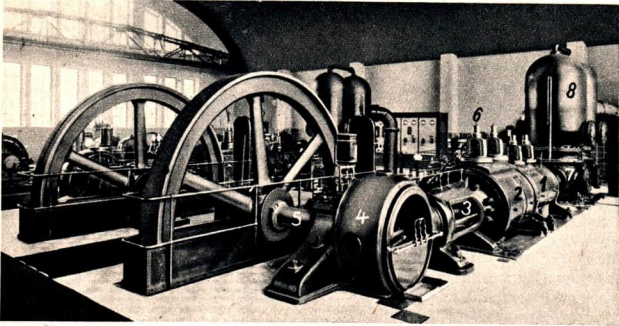


Abb. 253. Zweizylinder-Dampfmaschine im Berliner Wasserwerk. Der Dampf durchströmt zwei hintereinander liegende Zylinder und entspannt sich dabei.

1 Hochdruckzylinder, 2 Niederdruckzylinder, 3 Kreuzkopfgehäuse, 4 Kurbelgehäuse, 5 Welle mit Schwungrad, 6 4 Ventile (4 weitere Ventile liegen unterhalb der Zylinder), 7 Pumpe, 8 Windkessel

heit von der Achse und heben sich dabei. Überschreitet die Umdrehungsgeschwindigkeit ein bestimmtes Maß, so betätigen sie durch Hebelübertragung eine Drosselklappe, die sich im Dampfzuleitungsrohr befindet. Hierdurch wird die Dampfzufuhr etwas gedrosselt und damit die Umdrehungszahl vermindert. Infolgedessen senken sich die Kugeln ein wenig, wobei sich die Drosselklappe wieder öffnet. Das Spiel beginnt von neuem. Schließlich stellt sich ein Gleichgewichtszustand zwischen der Trägheitswirkung der am Regler umlaufenden Kugeln und der Schwerkraft her. Ist das erreicht, so bleibt die Umdrehungszahl der Maschine konstant.

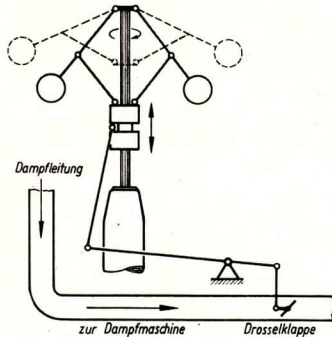


Abb. 254. Schwingkugel-Dampfregler

5. Der Dampfkessel — Der

Kondensator. Die betriebliche Grundlage aller Dampfkraftmaschinen ist eine ausreichende Kesselanlage, die den zum Antrieb der Maschine erforderlichen Dampf erzeugt. Ortsfeste Dampfkraftmaschinen werden in der Regel von *Wasserrohrkesseln* aus gespeist, bei denen das in den *Siederöhren* befindliche Wasser von den Feuergasen umgeben ist.

Abb. 255 zeigt als Beispiel einen stark vereinfachten Schnitt durch einen neuzeitlichen *Siederohrkessel*. Das Wasser zirkuliert zwischen den zylindrischen Kesseln *A*, *B*, *C*, *D* durch die Siederohrgruppen *I* bis *V*. Der sich bildende Dampf wird durch die Rohrgruppe *VI* dem *Dampf-sammler* zugeführt. Von dort durchströmt er den *Dampf-überhitzer* und gelangt zur Maschine. Abb. 256 ermöglicht einen Blick in das Innere eines modernen, mit *Kohlenstaubfeuerung* ausgestatteten *Steilrohrkessels*.

Die Erfahrung hat gelehrt, daß der Wirkungsgrad einer Dampfmaschine mit der Temperatur des Frischdampfes steigt. Aus diesem Grunde werden heute alle Dampfkessel mit einem *Überhitzer* ausgestattet, in dem der Dampf weit über die im Kessel selbst herrschende Siedetemperatur erhitzt wird.

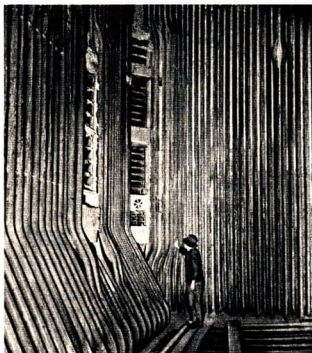


Abb. 256. Feuerraum eines Steilrohrkessels, umkleidet mit Bündeln von Siederohren. An der zwischen beiden Seitenwänden vorhandenen Hohlkante ist die Austrittsöffnung der Kohlenstaubfeuerung sichtbar.

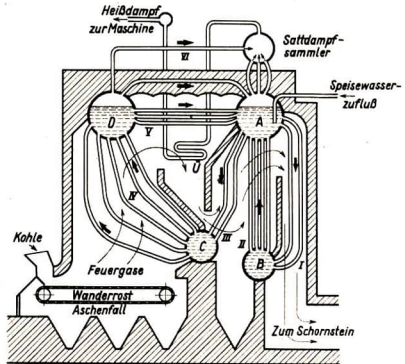


Abb. 255. Siederohrkessel (schematisch)

A, *B*, *C*, *D* zylindrische Kessel, *I*, *II*, *III*, *IV*, *V* Siederohrgruppen, *VI* Dampfrohre, *U* Überhitzer

Ebenso gehört zu jeder modernen ortsfesten Dampfmaschine ein *Kondensator*. Das ist ein von Röhren durchzogener, kesselartiger Behälter, in den der Dampf eintritt, nachdem er im Zylinder Arbeit verrichtet hat (Abb. 257). Die Röhren werden dauernd von Kühlwasser durchströmt. An den kalten

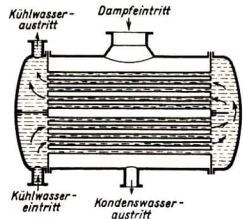


Abb. 257. Kondensator

Röhrenwänden kondensiert der Dampf. Auf diese Weise wird das Kesselwasser wieder gewonnen und kann dem Dampfkessel von neuem zugeführt werden. Vor allem aber wird dadurch der Gegendruck des Abdampfes herabgesetzt und so die Dampfspannung besser ausgenutzt.

6. Die Dampfturbine. Etwa seit Beginn dieses Jahrhunderts wurden die Kolbendampfmaschinen in immer stärkerem Maße durch *Dampfturbinen* ersetzt. Sie werden insbesondere für den Dauerbetrieb solcher Maschinen verwendet, bei denen eine konstante Umdrehung stattfindet, beispielsweise zum Antrieb von Generatoren. In den Dampfturbinen strömt der Dampf aus einer Reihe ringförmig angeordneter *Düsen*, die man nach ihrem Erfinder als *Lavaldüsen* bezeichnet. Der Dampfstrom trifft auf ein mit Schaufeln besetztes *Laufrad*, das er in Umdrehung versetzt (Abb. 258). Ähnlich wie bei den Wasserturbinen wird auch bei den Dampfturbinen die Bewegungsenergie des Dampfes ausgenutzt. Der Dampf gibt seine Energie nicht an ein Rad auf einmal ab, sondern wird hintereinander durch mehrere Laufräder geleitet. Zwischen den einzelnen Laufrädern stehen feste *Leiträder*, die ebenfalls mit Schaufeln besetzt sind. Die Schaufeln dieser Leiträder sind entgegengesetzt gekrümmt wie die Schaufeln der Laufräder; sie lenken dadurch den Dampf wieder in die ursprüngliche Richtung (Abb. 259). Die Entspannung des Dampfes erfolgt wie bei den Kolbendampfmaschinen in verschiedenen *Druck-*

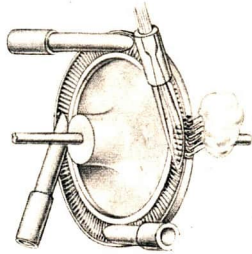


Abb. 258
Laufrad einer Dampfturbine mit
davorgestellten Lavaldüsen

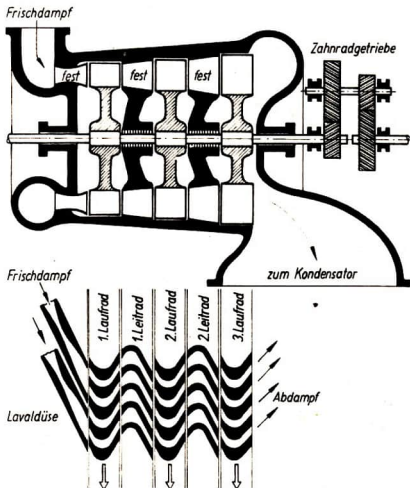
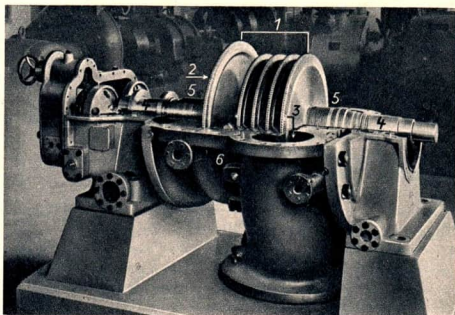


Abb. 259
Schnitt durch eine Dampfturbine
(schematisch)

stufen. Abb. 260 zeigt eine geöffnete Dampfturbine und läßt deutlich die verschiedenen Gruppen von Laufrädern erkennen.

Abb. 260
Dampfturbine des Turbinenwerkes Dresden VEB auf einem Messestand (Gehäuse geöffnet)

1 Laufräder, 2 Dampfzufuhr, 3 Dampfableitung, 4 Lager der Turbinenwelle, 5 Dichtungen, 6 Turbinengehäuse



7. Fragen und Aufgaben:

1. Fertige zwei einfache Zeichnungen der Kolbenschiebersteuerung an, aus denen die Stellung des Schiebers beim Füllen a) des rechten, b) des linken Zylinderraumes zu sehen ist!
2. Zeichne bei der in Abb. 249 wiedergegebenen Dampfmaschine die Treibkurbel, die Pleuelstange, die Kolbenstange in den Totpunktstellungen!
3. Fertige eine einfache Strichzeichnung einer ortsfesten Dampfmaschine an!
4. Durch welche Maschinenteile wird die Umwandlung der hin- und hergleitenden Bewegung des Kolbens in eine Drehbewegung vollzogen?
5. Warum sind an einer Zweizylinderlokomotive die Treibkurbeln der beiden Triebwerke um 90° gegeneinander versetzt?
6. Welchen Zweck hat das Schwungrad bei einer ortsfesten Dampfmaschine zu erfüllen?
7. Eine Dampfmaschine arbeitet mit einem Druck von 6 atü, sie hat eine Kolbenfläche von 450 cm^2 und einen Kolbenhub von 50 cm. Ihre Welle macht in der Minute 150 Umdrehungen. Wie oft füllt sich dabei der Zylinder? Wie groß ist die a) bei einem Kolbenhub, b) in einer Minute verrichtete Arbeit? Wie groß ist die Leistung der Maschine? Von der errechneten Leistung können infolge der Reibung nur 65 % ausgenutzt werden. Wie groß ist die Nutzleistung der Maschine?
8. Stelle die Vorzüge und Nachteile einer Turbine und einer Kolbendampfmaschine einander gegenüber!
9. Gib technische Arbeitsvorgänge an, bei denen die Verwendung
 - a) einer Kolbendampfmaschine,
 - b) einer Turbine
 zweckmäßig ist!

§ 36. Verbrennungskraftmaschinen

1. Allgemeines über Verbrennungskraftmaschinen. Im Jahre 1876 erfand *Nikolaus Otto*¹ den *Viertakt-Benzinmotor* und schuf damit einen vielseitig verwendbaren **Verbrennungsmotor**. Verbrennungsmotoren sind heute die am häufigsten verwendeten Antriebsmaschinen für Kraftfahrzeuge.

Da Verbrennungsmotoren trotz ihrer leichten Bauart sehr leistungsfähig sind, werden sie auch zum Antrieb von Flugzeugen ausschließlich verwendet.

Ein Verbrennungsmotor besitzt wie eine Kolbendampfmaschine einen Zylinder mit einem darin verschiebbaren Kolben. In den Zylinder werden leicht entzündliche Gase gesaugt und in ihm verbrannt. Die entstehenden Verbrennungsgase treiben den Kolben vorwärts. Als Treibstoff verwendet man meist flüssige Stoffe wie *Benzin*, *Benzol* (als Beimengung auch *Spiritus*) und *Rohöl*. Gasförmige Treibstoffe sind *Generatorgas*, *Stadtgas*, *Propan* und *Methan*. Die Treibstoffe werden auf den Kraftwagen in Kraftstoffbehältern, in Tanks oder in stählernen Preßgasflaschen mitgeführt. Dem Zylinder werden die Treibstoffe in Gasform zugeleitet. Flüssige Treibstoffe müssen deswegen vor dem Eintritt in den Zylinder vergast oder fein zerstäubt werden. Dies trifft aber nur für die *Leichtölmotoren* zu, die man auch nach ihrem Erfinder als *Ottomotoren* bezeichnet. Bei den *Schwerölmotoren*, die nach ihrem Erfinder den Namen *Dieselmotoren* tragen, ist ein Vergasen nicht erforderlich, da die Schweröle (Rohöle) in flüssiger Form in den Zylinder eingespritzt werden.

Beim Ottomotor fließt der Kraftstoff (Benzin) dem Schwimmergehäuse des *Vergasers* zu (Abb. 261), an den seitlich eine *Zerstäuberdüse* angeschlossen ist. Aus der Düse wird der flüssige Kraftstoff durch einen vorbeiströmenden Luftstrom herausgerissen und zerstäubt. Ein Teil verdunstet dabei. Durch das Ansaugerohr gelangt das entstehende Gas-Luft-Gemisch in den Zylinder. Dort wird es in einem bestimmten Augenblick durch einen elektrischen Funken entzündet. Jeder Zylinder ist auf der einen Seite durch den *Zylinderkopf* abgeschlossen. Dieser trägt das *Einlaß-* und das *Auslaßventil*



Nikolaus Otto (1832–1891)

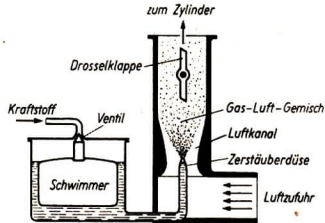


Abb. 261. Vergaser

Die an der Düse vorbeiströmende Luft versprüht den flüssigen Kraftstoff zu einem Nebel. Der Schwimmer sperrt die Kraftstoffzufuhr, wenn zuviel Kraftstoff zufließt.

¹ Nikolaus August Otto (1832–1891), deutscher Ingenieur, konstruierte 1876 einen Viertaktmotor, nachdem er zusammen mit Eugen Langen 1867 eine atmosphärische Gaskraftmaschine erfunden hatte.

Infolge ihres Ausdehnungsvermögens drücken sie den Kolben mit großer Kraft (25 bis 28 atü) nach unten.

4. Takt, Ausschleichen: Das Einlaßventil *E* ist geschlossen, das Auslaßventil *A* öffnet sich. Der Kolben gleitet aufwärts und stößt die Verbrennungsgase durch das Auslaßventil aus.

Bei den vier sich regelmäßig wiederholenden Bewegungen des Kolbens wird nur während des dritten Taktes Arbeit verrichtet. Alle anderen Takte fallen für die Arbeitsverrichtung aus. Finden in 1 s beispielsweise 50 Kurbelumdrehungen statt, so erfolgen 25 Zündungen bei insgesamt 100 Takten. Die im Viertakt arbeitenden Kraftwagenmotoren sind meist mit mehreren Zylindern ausgestattet. Vier, bei großen Wagen sechs oder mehr Zylinder sind zu einem Motor vereinigt. Sämtliche Kolben greifen an einer gemeinsamen *Kurbelwelle* an, die sich durch das ganze Kurbelgehäuse erstreckt. Sie ist der Zahl der Zylinder entsprechend mehrfach *gekröpft* (Abb. 263). Die einzelnen Kurbeln und Kolben sind so gegeneinander versetzt, daß die Arbeitstakte gleichmäßig auf zwei volle Umdrehungen verteilt sind. Dadurch wird erreicht, daß der Motor in sich ausgeglichen arbeitet und der Lauf des Wagens ruhiger wird.

Der Viertakt-Ottomotor ist die am häufigsten gebrauchte Antriebsmaschine für moderne Personenkraftwagen und leichte Lastkraftwagen. Auch manche Motorräder sind mit Viertaktmotoren ausgerüstet (Abb. 264).

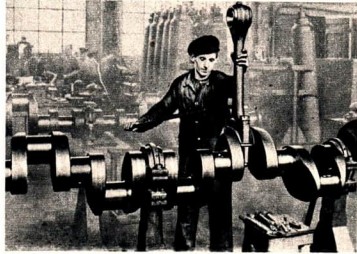


Abb. 263. Gekröpft Kurbelwelle eines großen Motors im Schwermaschinenbau Karl Liebknecht, Magdeburg

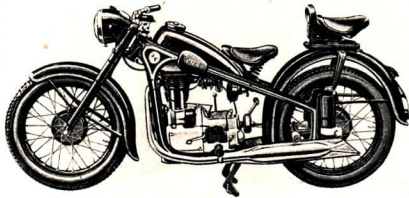


Abb. 264. Das IFA-Motorrad Typ R 350 aus dem EMW Eisenach VEB, Hubraum 340 cm³. Mit dieser Maschine wurden bei Zuverlässigkeitsprüfungen und Geländefahrten große Erfolge erzielt.

3. Der Zweitaktmotor. Neben dem Viertaktmotor wird auch der vom englischen Konstrukteur *Clerk* erfundene *Zweitaktmotor* vielfach verwendet. Bei ihm wird der gesamte Arbeitsvorgang in zwei Takten, einem Hin- und einem Hergang, zusammengefaßt. Dieser Motor hat den Vorzug, ohne Ventile zu arbeiten. Dies wird dadurch erreicht, daß der Kolben selbst die Gaszufuhr und das Ausströmen steuert. Das Kurbelgehäuse ist dabei in den Ablauf des Steuervorganges mit einbezogen. Es ist nach

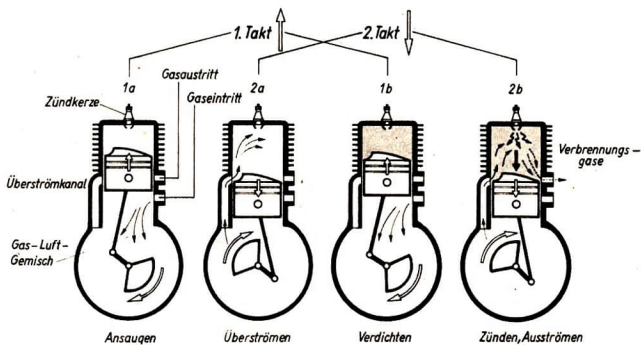


Abb. 265. Arbeitsgänge des Zweitaktmotors (schematische Wiedergabe)

außen hin gasdicht abgeschlossen und mit dem Zylinder durch einen *Überströmkanal* verbunden. Dem *Überströmkanal* gegenüber liegen die *Gaseintrittsöffnung* und die *Gasaustrittsöffnung*.

Abb. 265 gibt den Bau des Zweitaktmotors schematisch wieder und veranschaulicht seine Arbeitsweise.

Wir verfolgen den Weg, den das Treibgas im Motor durchläuft, und die Veränderungen, die es dabei erleidet. Es werden zunächst vier getrennte Arbeitsgänge unterschieden, die sich der Reihe nach abspielen, wenn der Motor angeworfen wird:

- 1 a) *Ansaugen*: Wenn sich der Kolben in die Höhe schiebt, entsteht im Kurbelgehäuse ein leichter Unterdruck. Sobald durch den emporgleitenden Kolben die Gaseinlaßöffnung freigegeben wird, saugt das *Kurbelgehäuse* das brennbare Gas-Luft-Gemisch an.
- 2 a) *Überströmen*: Senkt sich der Kolben beim Weiterdrehen der Kurbel, so verschließt er die Einlaßöffnung wieder und preßt das im Kurbelgehäuse befindliche Gas-Luft-Gemisch etwas zusammen. Bevor der Kolben seinen tiefsten Stand erreicht, wird die obere Öffnung des *Überströmkanals* freigegeben. Das Gas-Luft-Gemisch strömt in den Zylinderraum über. Es wird dabei durch eine *Kolbennase* nach oben gelenkt.
- 1 b) *Verdichten*: Durch den sich wieder hebenden Kolben tritt im Zylinder eine Verdichtung des Gas-Luft-Gemisches ein.
- 2 b) *Zünden und Ausströmen*: Hat der Kolben seinen höchsten Punkt erreicht, so entzündet sich das Gas-Luft-Gemisch an dem an der *Zündkerze* überspringenden Funken. Die Verbrennungsgase treiben den Kolben nach unten und entweichen zur Auspufföffnung. Neues Frischgas strömt vom Kurbelgehäuse her in den Zylinderraum ein und spült die Reste der im Zylinder noch vorhandenen Verbrennungsgase aus dem Zylinder.

Die hier beschriebenen Arbeitsgänge vollziehen sich bei jeder Auf- und Abwärtsbewegung des Kolbens. Beim Aufwärtsgleiten des Kolbens erfolgen gleichzeitig das Ansaugen und Verdichten des Gas-Luft-Gemisches, beim Abwärtsgleiten dicht hintereinander das Zünden, das Ausströmen der Verbrennungsgase und das Überströmen

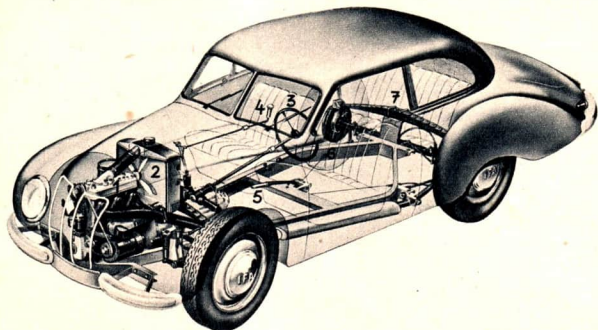


Abb. 266a. Aufbau des Personenkraftwagens mit Vorderachs Antrieb Typ IFA-F-9, hergestellt im IFA-Kraftfahrzeugwerk Audi VEB, Zwickau. Der Wagen ist mit einem 28-PS-Dreizylinder-Zweitaktmotor ausgerüstet. Radstand 2350 mm

1 Motor mit Hilfsvorrichtungen, 2 Kühler, 3 Lenkrad, 4 Gangschalter, 5 Handbremse für Hinterräder, 6 Rahmen, 7 Hinterachsfeederung

des angesaugten Gas-Luft-Gemisches. Man unterscheidet im ganzen nur zwei Takte:

1. Takt: Ansaugen und Verdichten,
2. Takt: Zünden, Ausströmen und Überströmen.

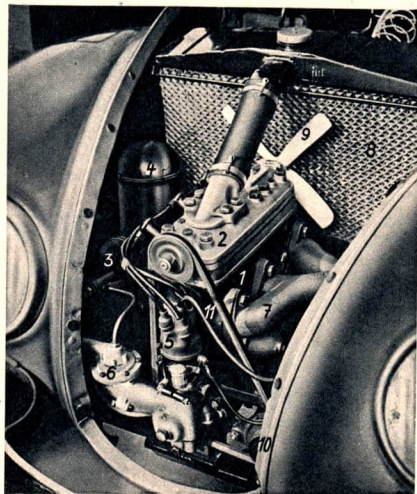
Der Zweitaktmotor wird zum Antrieb von Motorrädern und leichten Kraftwagen vielfach verwendet (Abb. 266 a und b).

Abb. 266b

Geöffnete Motorhaube desselben Personenkraftwagens

28-PS-Dreizylinder-Zweitaktmotor, Bohrung und Hub 70 mm × 78 mm, Hubraum 900 cm³, maximale Drehzahl 3500 U/min

1 Zylinderblock, 2 Zylinderkopf, 3 Vergaser, 4 Ansaug-Geräuschdämpfer, 5 Verteiler für die Zündspannung, 6 Kraftstoffpumpe, 7 Auspuffkrümmer, 8 Kühler, 9 Lüfter (Ventilator), 10 Lichtmaschine, 11 Keilriementrieb für Lüfter und Lichtmaschine



4. Der Dieselmotor. Schwere Lastkraftwagen und Traktoren (Abb. 267) sind meist mit dem von *Rudolf Diesel*¹ erfundenen *Dieselmotor* ausgerüstet. Im Gegensatz zum Ottomotor wird bei den Dieselmotoren kein Benzin, sondern Rohöl verwendet. In den Zylinder wird zunächst nur Luft eingesaugt. Sie wird beim Verdichten so stark zusammengepreßt, daß sie sich auf etwa 600° C erhitzt. Der Brennstoff, in diesem Falle Rohöl, wird nicht vergast, sondern wird flüssig in den Zylinderraum eingespritzt. Er entzündet sich in der heißen Luft. Dieselmotoren haben infolgedessen keine Vergaser und keine elektrische Zündung, sondern sind mit einer *Einspritzpumpe* und mit *Einspritzdüsen* ausgestattet. Im übrigen werden sie wie die Ottomotoren als Viertakter, aber auch als Zweitakter gebaut.



Rudolf Diesel (1858-1913)

Dieselmotoren sind heute die für Großkraftwagen und andere schwere Fahrzeuge am meisten verwendeten Antriebsmaschinen. So zeigt Abb. 268 einen

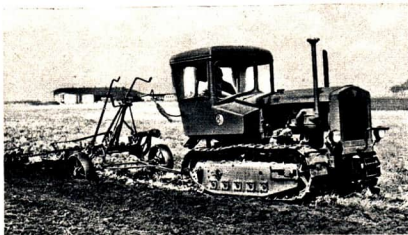


Abb. 267. Schlepper Typ KS 07, Motorleistung 60 PS, aus dem IFA-Schlepperwerk Brandenburg VEB

neuen, mit einem Dieselmotor ausgestatteten Sattelschlepp-Omnibus. Auch als ortsfeste Maschinen werden häufig Dieselmotoren verwendet (Abb. 269). Abb. 270 gibt ein mit einem Dieselmotor ausgestattetes sowjetisches Kraftfahrzeug wieder, das in großer Zahl bei den *Großbauten des Kommunismus* zum Erdtransport verwendet wird.



Abb. 268. Sattelschlepp-Omnibus in Berlin, hergestellt im IFA-Kraftfahrzeugwerk Werdau „Ernst Grube“ VEB, Vierzylinder-Dieselmotor, Leistung 120 PS

Auch in Fluß- und Seeschiffe werden heute als Antriebsmaschinen vielfach Dieselmotoren eingebaut. Fischlogger, Frachtschiffe und große Fahrgastschiffe sind mit ihnen ausgerüstet.

¹ Rudolf Diesel (1858 bis 1913), deutscher Ingenieur, arbeitete an der Verbesserung der Verbrennungsmotoren, konstruierte den nach ihm benannten Rohölmotor.

5. Fragen und Aufgaben:

1. Beschreibe die Vorgänge, die sich beim Arbeiten eines Viertaktmotors abspielen! Unterscheide die vier Takte!
2. Löse die entsprechende Aufgabe für einen Zweitaktmotor!
3. Aus welchem Grunde muß jeder Kraftwagen mit einem Kühler ausgestattet sein? Erkläre seine Arbeitsweise!
4. Wie erfolgt die Kühlung bei einem Motorrad?
5. Warum hat sich bisher die Dampfmaschine zum Antrieb von Flugzeugen als nicht geeignet erwiesen?
6. Gib eine Übersicht über die Hauptvorteile eines Verbrennungsmotors gegenüber einer Dampfmaschine!
7. Warum werden Verbrennungskraftmaschinen meistens mit mehreren Zylindern ausgestattet? Wie sind die Kurbeln eines mehrzylindrigen Motors an der Welle angeordnet?

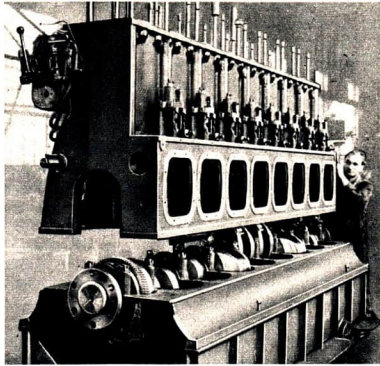


Abb. 269. Großer Dieselmotor in der Montage



Abb. 270. Schwerer sowjetischer Großlastwagen — Hinterkipper
Ladefähigkeit 20000 kp

§ 37. Die Energie

1. Die Energie als Grundlage des Naturgeschehens. In § 34, 2 haben wir den Energiebegriff näher kennengelernt. Wir haben erfahren, daß *Energie* soviel wie Arbeitsvermögen bedeutet. Die Energie ist nicht nur bestimmend für die Wirkungsweise der Maschinen, sondern für den Ablauf jedes Naturvorganges überhaupt. Es hat sich erwiesen, daß alle Prozesse, wie sie auch immer geartet sind,

mit Energieumwandlungen verbunden sind. Dabei darf man keineswegs die irrümliche Vorstellung haben, als ob der in der Welt vorhandene Energievorrat durch die sich abspielenden Vorgänge allmählich verbraucht wird, so daß die gesamte Energie allmählich abnimmt.

Energie hört niemals auf zu existieren, sie ändert nur in vielfachem Wechsel ihre Form.

Es hat sich herausgestellt, daß der Energiebegriff keineswegs auf rein mechanische Bewegungsvorgänge beschränkt bleibt, vielmehr gibt es sehr verschiedene Arten von Energie. Schon die Bezeichnung *mechanische Energie* ist nicht eindeutig. Denn mechanische Energie kann ein Körper besitzen, weil er sich bewegt, aber auch weil er sich gegenüber seiner Ausgangslage in einer gehobenen Lage oder in einem Spannungszustand befindet. Man unterscheidet dementsprechend zwei Formen mechanischer Energie, die man *Bewegungsenergie* und *Energie der Lage* bzw. *Spannungsenergie* nennt. Bewegungsenergie besitzt beispielsweise ein auf geradliniger, waagerechter Bahn dahinrollender Eisenbahnzug oder ein Radfahrer. Man bezeichnet die Bewegungsenergie auch als *kinetische Energie*, die Energie der Lage bzw. die Spannungsenergie als *potentielle Energie*. Mit ihr ist zum Beispiel ein hochgehobener, an einem Seil hängender Körper oder eine gespannte Feder behaftet. Beide Energiearten werden technisch verwertet.

Neben der mechanischen Energie bestehen noch andere Energieformen. Daß *Wärme* eine Energieform ist, erkannten wir bereits. Ebenso ist die *Elektrizität* eine Energieform. Wir benutzen daher diesen Ausdruck schon mehrfach in der Elektrizitätslehre (vgl. §32). Daneben gibt es *Strahlungsenergie* in Form von Wärme-, Licht- und Röntgenstrahlen. In jeder chemischen Verbindung ist *chemische Energie* gebunden. Sie wird bei einem chemischen Vorgang meist als Wärme, in den elektrischen Elementen als elektrische Energie frei. Nicht weniger häufig aber setzt sich umgekehrt Wärme in chemische Energie um. Eine erst in den letzten Jahrzehnten bekannt gewordene Energieform ist die *Atomenergie*.

2. Der Satz von der Erhaltung der Energie. Die oben genannten Energieformen bestehen nicht beziehungslos nebeneinander; sie lassen sich ineinander umwandeln. Die Erkenntnis von der *Umwandelbarkeit der Energie* ist für die gesamte naturwissenschaftliche Forschung von entscheidender Bedeutung; denn die ganze Welt ist in einer unaufhörlichen Veränderung, in einer ständigen Bewegung begriffen. Diese vollzieht sich unter fortwährender Umwandlung einer Energieform in die andere.

Viele große Physiker sind gerade durch diese Erkenntnis zu wertvollsten Forschungen angeregt worden. In erster Linie sind zu nennen: der deutsche Arzt und Naturforscher *Julius Robert Mayer*¹ und der englische



Julius Robert Mayer
(1814—1878)

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

Physiker *James Prescott Joule*¹. Die von ihnen gewonnenen Erkenntnisse gipfeln in dem von *Hermann von Helmholtz*² in seiner Allgemeingültigkeit erkannten *Satz von der Erhaltung der Energie*, der heute zu einem fundamentalen Grundgesetz der gesamten Naturwissenschaft geworden ist:

Energie bleibt ihrer Größe nach stets erhalten; sie ist von einer Form in die andere umwandelbar. Energie kann weder verlorengehen, noch kann sie aus dem Nichts entstehen.

Diese Zusammenhänge lassen auch die Kraftmaschinen in einem neuen Licht erscheinen; auch sie sind dem gleichen Naturgesetz unterworfen. Denn man kann Energie nicht im eigentlichen Sinne erzeugen, obwohl dieser Ausdruck in der Umgangssprache oft verwendet wird. Man kann mit Hilfe der Kraftmaschinen nur verborgene Energie frei machen, sie in eine nutzbare Form überführen. So verwandelt sich bei den Dampfkraftmaschinen durch das Verbrennen der Kohle chemische Energie in Wärme, die sich über die Spannungsenergie des Dampfes in Bewegungsenergie und somit in nutzbare Arbeit umsetzt. Ist an die Wärmekraftmaschine ein elektrischer Generator angeschlossen, so vollzieht sich eine weitere Umwandlung in elektrische Energie. Wird der Generator mit Hilfe einer Wasserturbine betrieben, so wird die im Wasser aufgespeicherte mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt. Treibt der erzeugte elektrische Strom seinerseits einen Elektromotor, so wird dadurch wieder mechanische Energie zurückgewonnen.

Wir sehen also, daß Kraftmaschinen keine Energieerzeuger sind; sie sind *Energie-wandler*. Wir nannten sie deshalb in § 33, 3 auch *energieumformende Maschinen*.

3. Der Wirkungsgrad. Wir erkannten, daß zum Betrieb einer Maschine stets ein bestimmter Energieaufwand erforderlich ist. Auf die Technik angewendet, nimmt der Satz von der Erhaltung der Energie folgende Form an:

Keine Maschine kann mehr Arbeit abgeben, als sie zuvor aufgenommen hat.

Man bezeichnet das Verhältnis der abgegebenen zur insgesamt von der Maschine aufgenommenen Arbeit als den *Wirkungsgrad* der Maschine und gibt ihn in Prozenten der aufgenommenen Arbeit an. Der Wirkungsgrad beträgt bei einer Kolbendampfmaschine 15 bis 20%, bei einer Dampfturbine 17 bis 21%, bei einem Ottomotor 28 bis 32%, bei einem Dieselmotor 33 bis 38%. Es ist das Bestreben jedes Maschinenbauers, den Wirkungsgrad einer Kraftmaschine so hoch wie möglich zu steigern.



Hermann von Helmholtz
(1821—1894)

¹ James Prescott Joule (1818—1889), ein bedeutsamer englischer Physiker, der auf vielen Gebieten der Physik erfolgreich arbeitete. Er untersuchte als erster die Energieumwandlungen experimentell.

² Hermann von Helmholtz (1821—1894), einer der hervorragendsten deutschen Naturforscher des vorigen Jahrhunderts, von 1871 bis zu seinem Tode Professor in Berlin. Die Wissenschaft verdankt ihm eine große Zahl wichtigster Erkenntnisse.

Rechenbeispiel: Eine Dampfmaschine mittlerer Leistung verbraucht stündlich etwa 500 kg Kohle. Aus dieser wird beim Verbrennen eine Wärmemenge von angenähert 3,6 Mill. kcal frei. Davon setzen sich etwa 650 000 kcal in nutzbare Arbeit um. Der Wirkungsgrad beträgt demnach $\frac{650\,000}{3\,600\,000} \approx 0,18$, das sind 18 %.

4. Fragen und Aufgaben:

1. Nenne die verschiedenen Arten von Energie!
2. Gib Beispiele für die Umwandlung
 - a) von Bewegungsenergie in Wärme,
 - b) von Wärme in Bewegungsenergie,
 - c) von Bewegungsenergie in elektrische Energie.
 - d) von elektrischer Energie in Bewegungsenergie,
 - e) von Wärme in chemische Energie,
 - f) von chemischer Energie in Wärme an!
3. Inwiefern ist die Sonne die Energiequelle für viele Naturvorgänge auf der Erde?
4. In der Kesselanlage eines Industrierwerkes werden stündlich 1,2 t Braunkohle verbrannt. Der Heizwert der verwendeten Kohle beträgt 4800 kcal/kg. Der Wirkungsgrad der Maschinenanlage beträgt 21 %. Wieviel Kalorien werden in Form von mechanischer Energie ausgenutzt?

ANHANG

Technische Zeichnungen und ihre Verwendung in der Physik

Zur Erläuterung vieler physikalischer Zusammenhänge, zur Veranschaulichung des Aufbaus physikalischer Geräte und zur Darstellung der Wirkungsweise von Maschinen und technischen Einrichtungen haben wir in den physikalischen Lehrbüchern vielfach Abbildungen nach Art **technischer Zeichnungen** verwendet.

Jede technische Zeichnung ist eine vereinfachte Darstellung der Wirklichkeit. Sie muß eindeutig und sicher lesbar sein. Jeder in der Produktion tätige Mensch muß aus ihr die gleiche Form und das gleiche Maß entnehmen können.

A. Die technische Zeichnung als senkrechte Parallelprojektion

1. Grundgedanken. Technische Zeichnungen werden als *senkrechte Parallelprojektionen* ausgeführt. Wie wir aus dem Mathematikunterricht wissen, entsteht dabei das Bild auf der Zeichenebene durch *Projektionsstrahlen*, die senkrecht zur Zeichenebene stehen. Dabei werden gerade Linien auf der Bildebene wieder als gerade Linien abgebildet. Linien bzw. Körperkanten, die zur Bildebene parallel liegen, erscheinen auf der Bildebene als gerade Linien von gleicher Länge.

Körperkanten, die zur Bildebene senkrecht stehen, schrumpfen in der Zeichnung zu Punkten zusammen.

2. Die besondere Lage des Gegenstandes. Die technische Zeichnung ist eine senkrechte Parallelprojektion, bei der der Gegenstand in einer besonderen Lage zur Zeichenebene abgebildet wird. Die zu zeichnenden Körper werden mit ihren Hauptansichtsflächen *zur Zeichenebene parallel* gestellt und in dieser Lage auf die Zeichenebene projiziert. Infolgedessen erscheinen die zur Zeichenebene parallelen Körperflächen auf der Bildebene in gleicher Form und in gleicher Größe wie am Körper selbst. Zur Zeichenebene senkrecht stehende ebene Flächen werden als gerade Linien abgebildet.

3. Lesen einer technischen Zeichnung. Abb. 271 zeigt die technische Zeichnung einer rechteckigen Platte. Die Vorderfläche der Platte ist in natürlicher Größe wiedergegeben. Man kann aus der Zeichnung Breite und Höhe erkennen. In Wirklichkeit steht die gezeichnete Fläche als Vorderfläche der Platte vor der Bildebene. Die Grund-, Deck- und Seitenflächen, die wir in der Projektion nur als gerade Linien sehen und die sich

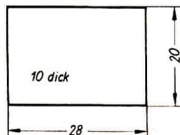


Abb. 271. Technische Zeichnung einer Platte

mit den Umrißlinien der Vorderfläche decken, muß man sich räumlich vorstellen. Dabei kann man sich die Platte unmittelbar vor der Zeichenebene stehend denken oder in einem beliebigen Abstand davor (Abb. 272).

Das Lesen einer technischen Zeichnung erfordert in jedem Fall das Erkennen der Tiefe und das Ergänzen des in zwei Ausdehnungen gezeichneten Bildes zu einem sich über drei Ausdehnungen erstreckenden Körper.

Da man die Tiefe aus der Zeichnung nicht als Strecke ablesen kann, ist das *Tiefenmaß* in der Abbildung angegeben. Man kann die Tiefenmaße — wie es in technischen Zeichnungen meist üblich ist — auch einer zweiten Ansicht entnehmen.

Wir sehen, daß beim Lesen einer technischen Zeichnung der Gedankengang der Projektion umgekehrt wird. Die Richtung der Projektionsstrahlen führt jetzt nicht in die Bildebene hinein, sondern aus ihr heraus. Eine Gerade im Bild wird zu einer Kante des Körpers, die parallel zur Bildgeraden liegt, bzw. zu einer Körperfläche, die senkrecht zur Zeichenebene steht. Man kann das räumliche Vorstellen auch als einen Vorgang auffassen. Die Vorderansicht bewegt sich um das Maß der Tiefe aus der Zeichnung heraus.

4. Darstellung eines Gegenstandes in mehreren Ansichten. Wir kennen bereits vom Mathematikunterricht her drei Darstellungen: *Aufriß*, *Grundriß*, *Seitenriß* oder, wie man auch sagt, *Vorderansicht*, *Draufsicht*, *Seitenansicht*. In technischen Zeichnungen wird nach den Zeichnungsnormen das Wort *Vorderansicht* durch *Hauptansicht* ersetzt. Grundsätzlich kann man einen Gegenstand von sechs Seiten her betrachten: von vorn und von hinten, von oben und von unten, von links und von rechts (Abb. 273 a).

Für eine technische Zeichnung gilt das in Abb. 273 b wiedergegebene Anordnungsschema. Es werden stets nur so viele Ansichten gezeichnet, wie zur eindeutigen Wiedergabe des Gegenstandes notwendig sind. Im allgemeinen wird in der Technik mit drei Ansichten gearbeitet, oft genügen aber auch zwei Ansichten. Eine davon ist immer die Hauptansicht.

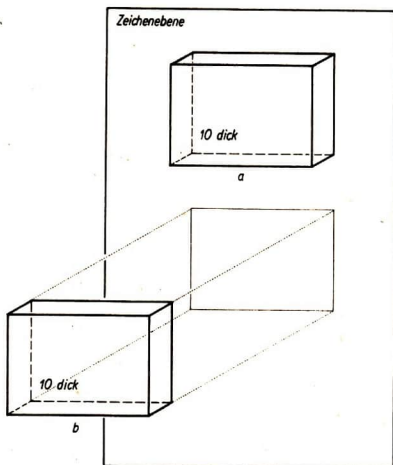


Abb. 272. Schrägbild einer Platte

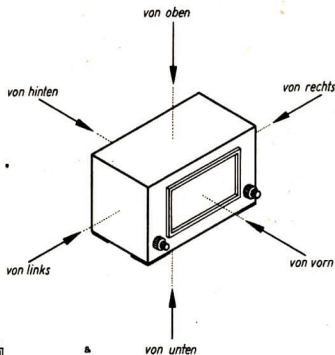
- a) Die Platte liegt mit ihrer Rückfläche der Zeichenebene an.
b) Die Platte steht in einem Abstand vor der Zeichenebene.

Abb. 273

Die technische Zeichnung eines Rundfunkgerätes

- a) Die sechs Blickrichtungen
- b) Anordnung der sechs Ansichten nach den Zeichnungsnormen

In der Regel beschränkt man sich in technischen Zeichnungen auf die Hauptansicht, die Draufsicht und eine Seitenansicht. In der Abbildung 273 b sind diese Ansichten besonders hervorgehoben.



Unteransicht



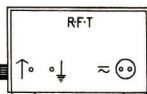
Seitenansicht von rechts



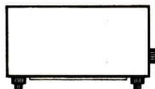
Hauptansicht (Vorderansicht)



Seitenansicht von links



Rückansicht



Draufsicht

In vielen Fällen ist der Gegenstand schon mit einer Ansicht ausreichend dargestellt. In der technischen Praxis genügt bei Werkstücken mit durchgehend gleicher Stärke eine Ansicht (vgl. Abb. 271). Bei Drehteilen, beispielsweise zylindrischen Formen, wird hinter die Maßzahl des Durchmessers das Durchmesserzeichen \varnothing gesetzt. Dadurch erübrigt sich eine zweite Abbildung (Abb. 274).

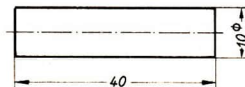


Abb. 274
Technische Zeichnung eines Drehteiles (Bolzen) in einer Ansicht

Durch die *Beschriftung* der Zeichnung oder durch die Bildunterschrift wird eine zweite Ansicht oft überflüssig. Wir sehen zum Beispiel in Abb. 275 ein Rechteck, in das oben zwei zur Grundlinie parallele Linien eingezeichnet sind. Ohne nähere Angaben wäre die Zeichnung nicht verständlich. Dadurch aber, daß das Wort „Kolben“ daneben-geschrieben ist, entsteht sofort die Vorstellung eines nach oben geöffneten Zylinders, in dem ein Kolben verschiebbar ist. Diese Vorstellung wird noch durch die schwächer gezeichnete *Randlinie* unterstützt. Das gleiche gilt für Abb. 276. Beim Lesen der Beschriftung wird die Zeichnung sofort verständlich.

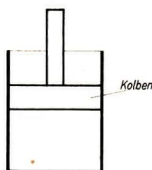


Abb. 275. Schematische Zeichnung eines Zylinders, in dem ein Kolben verschiebbar angeordnet ist.

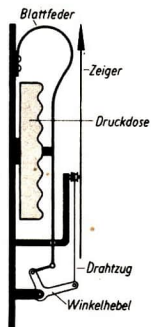


Abb. 276. Dosenbarometer (schematisch). Die Zeichnung wird durch die Beschriftung der einzelnen Konstruktionsteile verständlich.

5. Schematisierte Zeichnungen. Die in unseren Lehrbüchern gebrachten technischen Zeichnungen sind häufig stark schematisiert. Sie sollen beispielsweise die Funktion einer Maschine oder den Ablauf eines Vorganges wiedergeben. Es wurde dabei die Ansicht gewählt, die die Wirkung, die Form und den Gebrauch des Gerätes oder der Maschine am besten erkennen läßt. Dabei ist es nicht nötig, alle Konstruktionsteile bis in die letzten Einzelheiten maßstäblich zu zeichnen. So

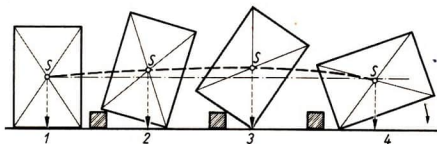


Abb. 277. Ein Körper fällt beim Kippen um, wenn der Fußpunkt des vom Schwerpunkt gefällten Lotes außerhalb der Unterstützungsfäche liegt. Für das Erkennen des Versuchsablaufs sind Maßangaben unwichtig.

ist es für die Durchführung des in Abbildung 277 wiedergegebenen Versuchs belanglos, welche Länge der durch das kleine Quadrat wiedergegebene Unterstützungsklotz und der kippende Gegenstand selbst haben.

B. Einzelheiten der Darstellung in technischen Zeichnungen

1. Bedeutung der Linienarten. Nach den Zeichnungsnormen sind die in den technischen Zeichnungen verwendeten *Linienarten* in ihrer Bedeutung einheitlich festgelegt. Sie sind in Abb. 278 zusammengestellt. Die Kenntnis der Zeichnungsnormen erleichtert es uns, die technischen Zeichnungen zu lesen und sie uns körperlich vorzustellen. Alle sichtbaren Kanten und Umrißlinien werden als *Volllinien* gezeichnet. Sie verdeutlichen die Form des Körpers in der im Bilde wiedergegebenen Ansicht. Ihre Strichstärke richtet sich nach der Größe der Zeichnung. *Dünne Volllinien* werden für Maßlinien, Maßhilfslinien und Schraf-

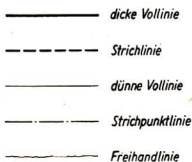


Abb. 278. Linienarten in technischen Zeichnungen

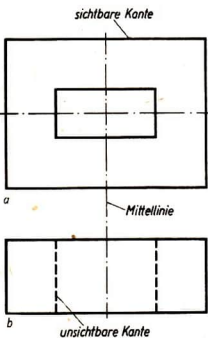


Abb. 279. Technische Zeichnung eines quaderförmigen Hohlkörpers
a) Hauptansicht
b) Draufsicht



Abb. 280. Bruchlinien
a) für Holz
b) für andere Werkstoffe



Abb. 281. Verkürzte Darstellung einer Welle unter Verwendung von Schleifenlinien

furen verwendet. Verdeckte Kanten und verdeckte Umrißlinien werden als *Strichlinien* dargestellt.

Symmetrieachsen, die man in technischen Zeichnungen auch *Mittellinien* nennt, gibt man durch *Strichpunktlinien* wieder (Abb. 279). Außerdem werden Strichlinien und Strichpunktlinien als Hilfslinien verwendet.

Sollen Maschinen- oder Geräteteile verkürzt dargestellt werden, so zeichnet man *Bruchlinien* als *Freihandlinien* (Abb. 280a und b). Will man Metalldrehteile, beispielsweise Wellen, zum Zwecke der Platzersparnis unterbrochen zeichnen, so begrenzt man die Unterbrechungsstelle durch *Schleifenlinien* (Abb. 281). Die Schleifenfläche wird schraffiert.

In den Zeichnungen der Lehrbücher haben die

Linienarten auch andere Bedeutungen. Wir verwenden zum Beispiel dünne Volllinien, um Randlinien zu kennzeichnen. Sie treten an Gefäßen und Hohlkörpern auf und sollen angeben, daß das Gefäß an dieser Stelle offen ist (Abb. 282). Will man in einer Zeichnung den zeitlichen Ablauf eines Versuches darstellen, so kann man Anfangs- und Endzustände eines bewegten Gegenstandes durch Voll- und Strichlinien unterscheiden (Abb. 283, vgl. auch Abb. 31).

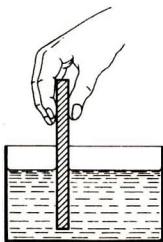


Abb. 282

Glastrog mit hölzerner Zwischenwand als Modell zweier verbundener Gefäße. Der Glastrog ist im Schnitt dargestellt. Die im Bild sichtbare dünne Volllinie ist eine *Randlinie*.

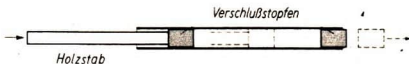


Abb. 283. Röhre mit Luftfüllung. Die in der Röhre befindliche Luft wird zusammengedrückt und treibt den Verschlußkorken heraus. Die Stellung der Korken am Ende des Versuchs ist gestrichelt dargestellt.

In der Optik werden zur Unterscheidung besonders wichtiger *Lichtstrahlen* ebenfalls verschiedene Linienarten verwendet (Abb. 284).

2. Maßeintragung.

In technischen Zeichnungen ist die Maßeintragung besonders zu beachten. Erst durch das eingetragene Maß werden technische Zeichnungen in vielen Fällen eindeutig und sicher lesbar. Als Grundlage der industriellen Fertigung ist die *Maßeintragung* von entscheidender Bedeutung. In technischen Zeichnungen werden die wiedergegebenen Gegenstände nach Möglichkeit in natürlicher Größe oder maßstäblich verkleinert (große Maschinenteile) bzw. maßstäblich vergrößert (beispielsweise Teile von Armaturen) dargestellt.

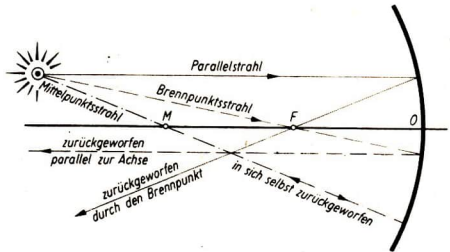


Abb. 284. Hauptstrahlen am Hohlspiegel. Die Strahlen werden durch verschieden gezeichnete Linien unterschieden.

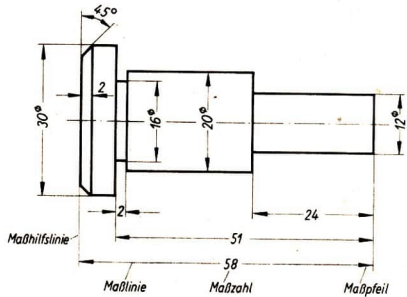


Abb. 285. Maßeintragung an einem Bolzen

Die eindeutige Zuordnung der Maßzahl zum Gegenstand wird durch Maßlinien, Maßhilfslinien und Maßpfeile bewirkt (Abb. 285). Die *Maßlinien* laufen zu den gemessenen Körperkanten parallel und haben die gleichen Längen wie diese. Sie werden in ihrer Mitte durch die zugehörige Maßzahl unterbrochen. Man bringt nach Möglichkeit die Maßlinien außerhalb des Umrisses des dargestellten Gegenstandes an und bezieht sie auf diesen durch *Maßhilfslinien*. Zur eindeutigen Begrenzung der Länge der Maßlinien benutzt man *Maßpfeile*. In technischen Zeichnungen werden grundsätzlich alle Längen in Millimetern angegeben und die Maßzahlen ohne die Maßeinheit eingesetzt. Es ist stets das Einheitszeichen mm zu ergänzen. Gilt für die Maßzahl eine andere Maßeinheit als mm, so ist hinter die betreffende Maßzahl die Maßeinheit zu setzen (Abb. 286).

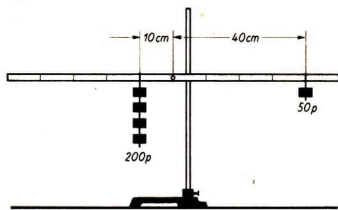


Abb. 286. Zweiseitiger Hebel. Maßbezeichnung der Hebelarme

3. Schnittzeichnungen. Viele physikalische und technische Vorgänge können erst dann richtig verfolgt werden, wenn man das Innere eines Gerätes oder einer Maschine zu erkennen vermag. Deshalb stellen wir Maschinen, Maschinenteile und andere Geräte häufig im Schnitt dar. Zum Beispiel können wir bei einem Verbrennungsmotor das Zusammenwirken der Ventile und den Einfluß der Ventilstellungen auf den Kolbengang durch eine *Schnittzeichnung* klar veranschaulichen (vgl. Abb. 262). Bei den meisten technischen Schnittzeichnungen handelt es sich um *Längsschnitte*, die durch die Körperachse des Gegenstandes oder des Maschinenteils führen (Abb. 287).

a) **Körperachsen.** Jeder symmetrische Körper besitzt eine oder mehrere *Symmetrieachsen*. Diese werden als Strichpunktlinien in technische Zeichnungen mit aufgenommen. Ihre Wiedergabe ist besonders wichtig bei der Darstellung von Körpern, die eine drehsymmetrische Form haben. So betont die Abbildung 287 eines Eisenbahnpuffers durch die waagrecht liegende strichpunktierte Linie die Zylinderform des Gehäuses und des beweglichen Pufferteiles und veranschaulicht damit die Verschiebbarkeit der Teile gegeneinander.

Bei Körpern, die selbst drehbar sind, wird die *Drehachse* ebenfalls durch eine Strichpunktlinie wiedergegeben, wie Abb. 288 deutlich erkennen läßt.

Sollte die Drehachse senkrecht zur Zeichenebene stehen und damit im Bild zu einem Punkt zusammenschrumpfen, so wird ihre Lage ebenfalls durch zwei aufeinander senkrecht stehende Strichpunktlinien festgelegt (Abb. 289). Handelt es sich dabei um

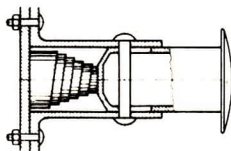
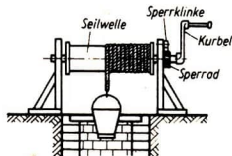
Abb. 287. Eisenbahnpuffer
Schnittdarstellung

Abb. 288. Einfache Seilwinde. In der Zeichnung gibt die Strichpunktlinie die Lage der Drehachse an.

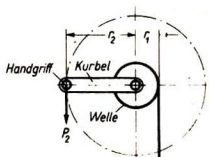


Abb. 289. Das Wellrad und die Kurbel als ungleicharmige Hebel. Der Schnittpunkt der Strichpunktlinien markiert die Körperachse.

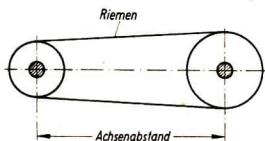


Abb. 290. Technische Zeichnung eines Riementriebes. Die Strichpunktlinien legen den Abstand der beiden Wellen voneinander fest.

zwei oder mehrere parallele Drehachsen, so wird durch die Strichpunktlinien gleichzeitig der gegenseitige Abstand festgehalten (Abb. 290).

b) **Längsschnitt und Querschnitt.** Man kann einen Körper in der Längs- und in der Querrichtung schneiden. Wir vergegenwärtigen uns das am Beispiel eines Hohlzylinders (Abb. 291). Der *Längsschnitt* hat die gleiche geometrische Form und die gleiche Größe wie die Vorderansicht. Die Körperachse liegt beim Längsschnitt in der Schnittebene. Die verdeckten Umrifflinien des Innenraumes sind jetzt sichtbar (Abb. 292 a). Wir sehen, daß der Längsschnitt den Hohlzylinder halbiert. Man muß sich die vordere Hälfte weggenommen denken. Der Längsschnitt eines Gegenstandes durch die Symmetrieachse wird in technischen Zeichnungen als *Halbschnitt* bezeichnet.

Als *Querschnitt* eines Hohlzylinders erhalten wir einen Kreisring, der mit dem Grundriß deckungsgleich ist (Abb. 292 b). Verläuft ein Schnitt nicht durch die Körperachse und nicht durch eine Symmetrieachse, stellt mithin die Schnittansicht nicht die Gegenstandshälfte dar, so muß die Schnittführung besonders angegeben werden (Abb. 293). Eine dicke Strichpunktlinie kennzeichnet die Stelle des Querschnitts; die Pfeile an den Enden der dicken Strichpunktlinie geben die Blickrichtung an.

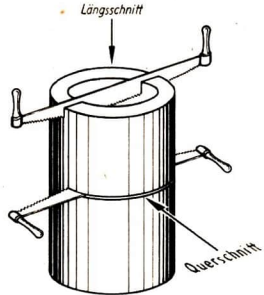
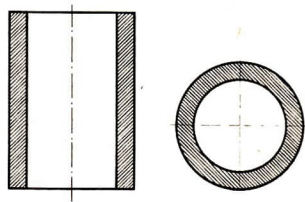


Abb. 291. Veranschaulichung der Schnittführung an einem Hohlzylinder beim Längsschnitt und beim Querschnitt



a) Längsschnitt (Halbschnitt) b) Querschnitt

Abb. 292. Schnittbild eines Hohlzylinders

Die dicke Strichpunktlinie kennzeichnet die Stelle des Querschnitts; die Pfeile an den Enden der dicken Strichpunktlinie geben die Blickrichtung an.

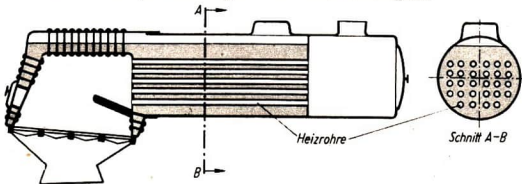


Abb. 293. Lokomotivkessel. Der Lokomotivkessel ist im Halbschnitt dargestellt. Die Stelle AB ist rechts daneben im Querschnitt gezeichnet. Die starke Strichpunktlinie gibt die Schnittführung an. Der Dampfdom ist zu sehen. Er liegt hinter dem Querschnitt.

c) **Vereinigung von Schnitt und Ansicht.** Bei symmetrischen Hohlkörpern zeichnet man oft eine halbe Ansicht und einen halben Schnitt. Man kann sich die Schnitfführung in einfacher Weise an einem ringförmigen Hohlkörper klarmachen, aus dem man sich ein Viertel herausgeschnitten denkt. In Abb. 294 ist unter dem Schrägbild des Ringes die daraus abgeleitete *Schnitt-Ansicht-Zeichnung* zu sehen. Die linke Bildhälfte gibt die Ansicht, die rechte den Schnitt wieder. Beide Hälften werden durch eine strichpunktierte Mittellinie getrennt. Vergleiche außerdem Abb. 295!

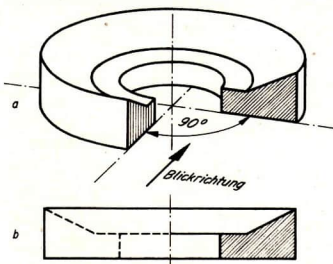


Abb. 294. Entwicklung der Schnitt-Ansicht-Zeichnung eines Ringes aus seinem Schrägbild
a) Schrägbild, b) Schnitt-Ansicht-Zeichnung

4. Zeichnungsregeln bei der Schnittdarstellung

a) **Schraffur.** Die sich bei einem Schnitt ergebenden Schnittflächen werden durch eine *Schraffur* gekennzeichnet und hervorgehoben. Die Schraffurlinien sind dünne Volllinien, die unter einem Winkel von 45° gegen die Waagerechte gezeichnet sind. Nach den Zeichnungsnormen kann die 45° -Schraffur ohne Rücksicht auf den Werkstoff für alle Schnittdarstellungen verwendet werden. Abb. 296 zeigt als Beispiel den Halbschnitt des Kolbens eines Viertaktmotors.

Schmale Schnittflächen werden häufig als dicke schwarze Linien gezeichnet (vgl. Abb. 262 und 265).

Für Sonderzwecke sind in den Zeichnungsnormen für jeden Werkstoff besondere Schraffuren festgelegt, die aber nur verwendet werden, wenn eine zwingende Notwendigkeit dafür vorliegt.

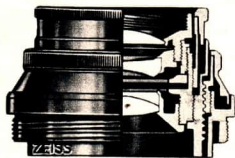


Abb. 295. Schnittmodell eines Objektivs (Zeiss-Tessar)

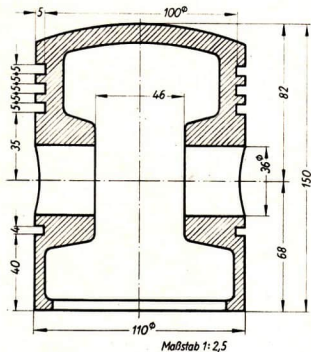


Abb. 296. Schnittzeichnung des Kolbens eines Viertaktmotors

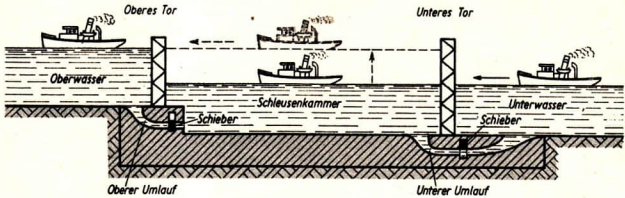


Abb. 207. Kammerschleuse. Beispiel zur Darstellung des Wassers und des Erdreichs

Wir haben in den physikalischen Lehrbüchern *Sonderschraffuren* nur für Flüssigkeiten und für Erdreich verwendet (Abb. 297).

Oft handelt es sich bei physikalischen Darstellungen um Geräte und Maschinen, die aus mehreren Teilen zusammengesetzt sind. Zusammenstoßende Flächen der verschiedenen Teile werden im Schnittbild dadurch unterschieden, daß die Schraffuren steigend und fallend unter 45° gezeichnet werden (Abb. 298; vgl. auch Abb. 287).

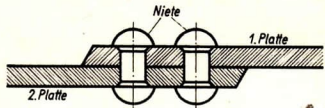


Abb. 298. Nietverbindung zweier Platten

b) Maschinenteile, die im Schnittbild nicht geschnitten dargestellt werden. Bestimmte Maschinenteile werden auch in einer Schnittzeichnung nicht geschnitten dargestellt und deshalb nicht schraffiert. Es gilt dies für *Kolben*, *Wellen*, *Bolzen*, *Schrauben*, *Muttern*, *Niete*, *Kugeln*, *Rippen*, *Radspeichen* (Abb. 299, vgl. außerdem Abb. 287 und 298). Das Gesamtbild wird dadurch wesentlich anschaulicher. Abb. 300 ist die Photographie eines teilweise aufgeschnittenen Rollenlagers. Abb. 301a zeigt den Halbschnitt dieses Lagers, Abb. 301b die Seitenansicht. Die Rollen sind als nicht geschnitten zu erkennen.

Man kann die Anschaulichkeit einer Schnittdarstellung noch dadurch erhöhen, daß man nicht geschnittene Teile, beispielsweise Federn, Kolben und Kugeln besonders schattiert und

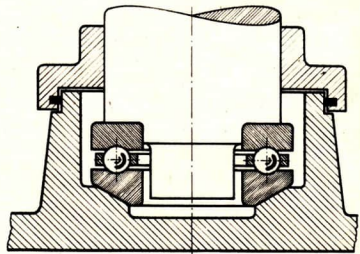


Abb. 299. Lagerung einer stehenden Welle an einem Kran. Die von oben wirkende Druckkraft wird von einem Kugellager aufgenommen. Die Welle und die Kugeln sind nicht geschnitten dargestellt. Steigende, fallende und verschieden weite Schraffuren verdeutlichen die einzelnen Teile des Lagers.

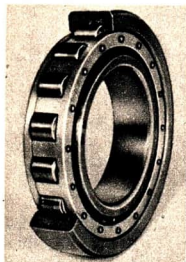
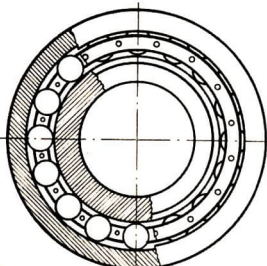


Abb. 300
Rollenlager der Leipziger
Kugellagerfabrik



a) Hauptansicht
im Halbschnitt



b) Seitensicht,
teilweise aufgeschnitten

Abb. 301. Technische Zeichnung eines Rollenlagers

damit die körperliche Form andeutet (vgl. Abb. 249, 287, 299). Die Abbildungen 287 und 301 b zeigen uns, daß es genügt, wenn nur ein Teil der Maschine oder des Maschinenteils geschnitten wird. Das Ende des Schnittes wird dann durch eine feine Bruchlinie angegeben. Auf der anderen Seite der Bruchlinie ist wieder die Ansicht zu sehen.

5. Das Erkennen der Grundformen aus der Schnittdarstellung. Die technische Zeichnung eines Gegenstandes ist in der Regel aus verschiedenen geometrischen Figuren zusammengesetzt. Die körperliche Vorstellung der einzelnen Teile und schließlich des Ganzen wird dadurch erleichtert, daß man sich die technische Zeichnung in ihre einzelnen geometrischen Figuren zerlegt denkt. Wir betrachten in Abb. 302a auf S. 180 das Schnittbild eines Regenmessers. Wir sehen als geometrische Teilfiguren Rechtecke und Trapeze (Abb. 302b) und erkennen darin projektiv dargestellte zylindrische und kegelige Formen wieder (Abb. 302c). Aus dem Erkennen der Teilformen wird schließlich das Ganze räumlich verständlich (Abb. 302d). Diese Zerlegung führt gleichzeitig zur Klarheit über das notwendige Nacheinander der einzelnen Arbeitsgänge bei der Herstellung.

6. Sinnbilder. Bestimmte Einzelteile, wie Schrauben, Zahnräder und Federn, treten in technischen Zeichnungen sehr häufig auf. Ihre genaue zeichnerische Wiedergabe würde sehr viel Zeit erfordern. Aus diesem Grunde sind *genormte Sinnbilder* entwickelt worden, die man statt der ausführlichen Zeichnung verwendet. Man kann die technischen Sinnbilder als eine Art zeichnerischer Kurzschrift betrachten.

a) **Zahnräder.** Bei Zahnrädern ist es häufig nicht möglich, alle Zähne maßstäblich zu zeichnen, insbesondere wenn es sich um einen sehr kleinen Zeichnungsmaßstab handelt. Außerdem würde das maßstäbliche Zeichnen aller Zähne einen erheblichen Zeitaufwand bedeuten. Man beschränkt sich deshalb auf drei wichtige

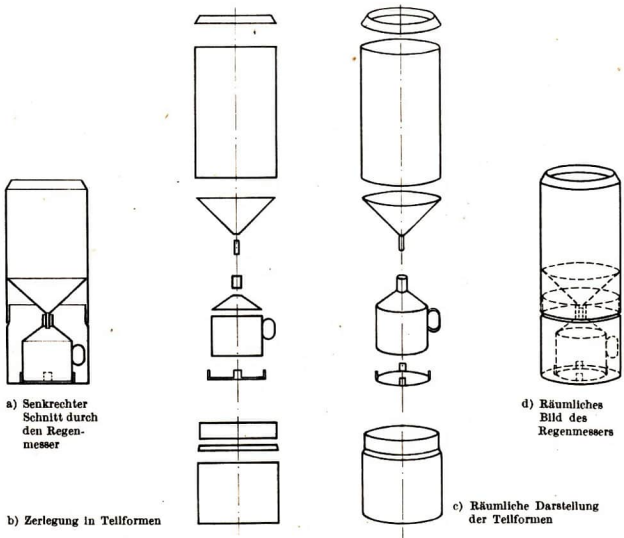


Abb. 302. Zerlegung eines Regenmessers in Teilformen (schematisch)

Kreise: den *Kopfkreis*, den *Fußkreis* und den *Teilkreis*, deren Bedeutung aus Abb. 303 zu ersehen ist. Der Kopfkreis wird als Volllinie, der Fußkreis als Strichlinie und der Teilkreis als Strichpunktlinie angegeben.

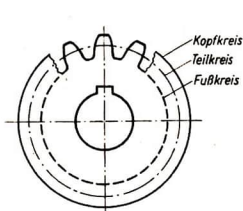


Abb. 303. Sinnbild des Zahnrades mit Kopfkreis, Fußkreis, Teilkreis

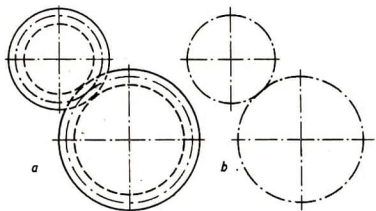


Abb. 304. Sinnbild einer Zahnradübersetzung a) mit Kopfkreis, Teilkreis, Fußkreis, b) nur mit Teilkreis

Für die industrielle Fertigung ist der Teilkreis besonders wichtig; er bildet eine wesentliche Grundlage für die Berechnung und die Konstruktion von Zahnrädern. Die Abbildungen 304 a und b zeigen uns Sinnbilder für Zahnradübersetzungen. Wir sehen daraus, daß man die Darstellungen sehr stark vereinfacht hat und schließlich nur noch die Zahnradmitten und die Teilkreise angibt. Die dem Physikbuch für das 7. Schuljahr entnommene sinnbildliche Zahnradarstellung (Abb. 305) enthält der Einfachheit halber nur die Kopf- und Fußkreise.

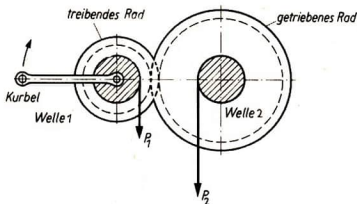


Abb. 305. Schema einer Zahnradübertragung
Es sind nur der Kopfkreis und der Fußkreis gezeichnet.

b) **Schrauben.** Im genormten Sinnbild der Schrauben wird das Gewinde durch zwei parallele Strichlinien angedeutet (Abb. 306). Ihr Abstand voneinander entspricht dem Kerndurchmesser des Gewindes. Der Abstand der äußeren Vollinie zur benachbarten Strichlinie ist die Gewindetiefe.

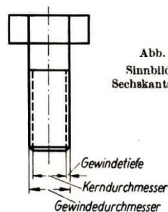


Abb. 306
Sinnbild einer
Sechskantschraube

e) **Federn.** Das Sinnbild einer Feder ist eine *Zickzackvollinie*. In Abb. 307 werden Sinnbilder für Zugfedern verwendet. Wir erkennen die Zugfeder daran, daß dem Federdraht an den beiden Enden ein Bügel angebogen ist. Diese Bügel fehlen beim Sinnbild der Druckfeder (Abb. 308).

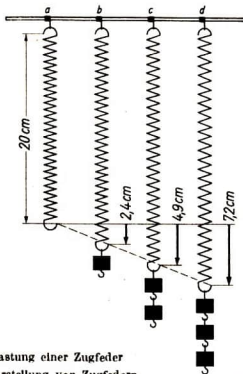


Abb. 307. Belastung einer Zugfeder
Sinnbildliche Darstellung von Zugfedern



Abb. 308
Sinnbild
der Druck-
feder

d) **Sinnbilder aus der Wärme-technik.** Auch in anderen technischen Arbeitsgebieten werden Sinnbilder in technischen Zeichnungen verwendet, beispielsweise für Niete, Lager, Transmissionen, Schweißstellen, Rohrleitungen usw. Wegen

ihrer physikalischen Bedeutung werden hier drei Sinnbilder aus dem Gebiete der Wärmetechnik angegeben. Es handelt sich um die Sinnbilder für *Thermometer*, *Manometer* und *Ventile* (Abb. 309). Diese Sinnbilder werden in Rohrleitungsplänen für Dampf- und Wasserleitungen weitgehend verwendet.

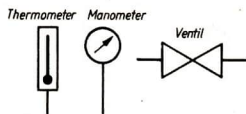


Abb. 309. Sinnbilder eines Thermometers, eines Manometers und eines Ventils

e) **Schaltzeichen.** *Elektrische Schaltzeichen* sind ebenfalls stark vereinfachte Sinnbilder. Sie werden in der Technik beim Anfertigen von Leitungsplänen, Installationsplänen und Schaltplänen elektrotechnischer Anlagen und Maschinen verwendet. Auch in der Physik gebraucht man zum Herstellen von Schaltskizzen der Versuchsanordnungen, der elektrischen Modelle und Geräte ausschließlich die genormten Schaltzeichen. Im Lehrbuch ist aus diesem Grunde an vielen Stellen unter das Bild des elektrischen Gerätes das zugehörige Schaltzeichen als Symbol des Gerätes gesetzt worden. Die auf Seite 143 abgedruckte Tabelle gibt die wichtigsten Schaltzeichen wieder. Sie sind den Normblättern DIN 710, 711, 713, 714, 40700 entnommen.

Als Beispiel zeigen Abb. 310 den *Schaltplan* der Klingelanlage eines zweistöckigen Hauses und Abb. 311 den *Leitungsplan* des Lichtnetzes einer Zweizimmerwohnung.

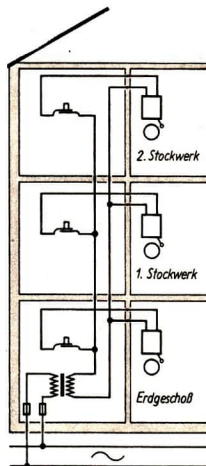


Abb. 310. Schaltplan der Klingelanlage eines Hauses

C. Zeichnungsnormen

Wir haben wiederholt das Wort *Norm* gebraucht. Unter Normung versteht man Regelung, Vereinheitlichung. Die Normung stellt eine technische Ordnung dar. (Vergleiche auch den Abschnitt über die Bedeutung der Normung auf Seite 46 des Lehrbuches. Alle Normen werden in Deutschland vom *Deutschen Normenausschuß (DNA)* festgelegt!) Er veröffentlicht laufend die Ergebnisse seiner Arbeit in nummerierten *Normblättern*. Es gibt zahlreiche Normblätter für *technische Zeichnungsnormen*, die einen Hauptteil der technischen Grundnormen bilden. In den Zeichnungsnormen ist in umfassender Weise alles festgelegt und vereinbart, was dazu dient, eine technische Zeichnung eindeutig und klar lesbar zu machen. Zu den Zeichnungsnormen gehören alle im vorstehenden Teil erwähnten Richtlinien für das technische Zeichnen. Auch die in technischen Zeichnungen verwendete Schrift ist genormt. Nach DIN 16 ist eine *schräge Blockschrift* vorgeschrieben. Sie ist unter

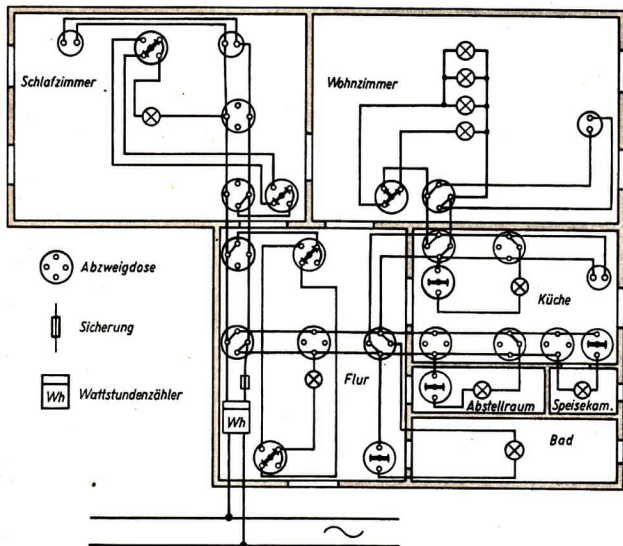


Abb. 311. Leitungsplan einer Zweizimmerwohnung

dem Winkel von 75° gegen die Waagerechte geneigt (Abb. 312). Die Beschriftung sämtlicher Zeichnungen der physikalischen Lehrbücher wurde in schräger Normschrift ausgeführt.

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z
 a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z β
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 VIII schräge Normschrift

Abb. 312. Normschrift-Alphabet

D. Graphische Darstellungen

Als eine besondere Art technischer Zeichnungen sind auch die *graphischen Darstellungen* anzusehen; denn die gegenseitige Abhängigkeit zweier physikalischer Größen wird am anschaulichsten und übersichtlichsten durch eine Kurve

dargestellt (Abb. 313). An ihr läßt sich der Verlauf einer physikalischen Gesetzmäßigkeit klar verfolgen. Die Kurve ordnet jedem Abszissenwert einen bestimmten Ordinatenwert zu. Mit ihrer Hilfe lassen sich alle Zwischenwerte ohne mathematische Berechnung ablesen.

Graphische Darstellungen werden aus diesem Grunde in der Technik ausgiebig verwendet und ersetzen oft umfangreiche und schwer zu übersehende Tabellen (Abb. 314).

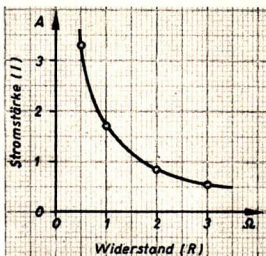


Abb. 313. Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand

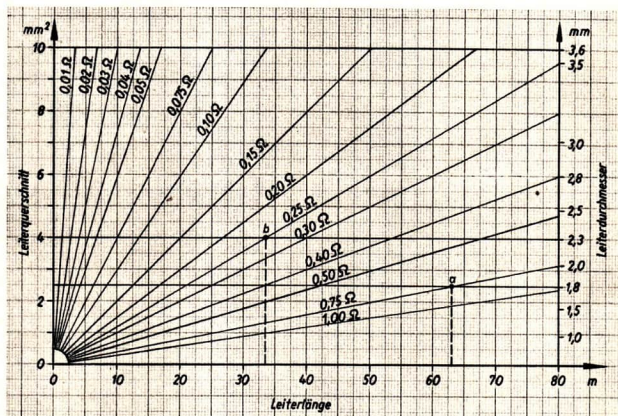


Abb. 314. Widerstand von Aluminiumdrähten verschiedener Längen und Querschnitte

Beispiele:

- Ermittlung des Widerstandes: Der Widerstand eines 63 m langen Aluminiumdrahtes beträgt bei einem Leiterquerschnitt von 2,5 mm² 0,75 Ω.
- Ermittlung der Leiterlänge: Ein Aluminiumdraht mit einem Querschnitt von 4 mm hat einen Widerstand von 0,25 Ω bei einer Länge von 33,5 m.

Namen- und Sachverzeichnis

- Akkumulator 19, 57 u. ff.
 Akkumulatorenbatterie 23, 60
 Akkumulator, Nickel-Cadmium 59
Ampère, André Marie 27
 Ampere (A) 27, 54
 Amperemeter 27, 55, 108 u. ff.
 Anker eines Magneten 96 u. f., 99 u. ff.
 — eines Motors 113 u. ff., 123
 Anode 49, 51, 53
 Arbeit, elektrische 82 u. f., 85, 130, 135
 —, mechanische 130, 145, 150, 167
 Aräometer 59
 Bandgenerator 62, 66 u. ff.
 Batterie 59 u. ff.
Bell, Alexander Graham 107
 Bleiakкумулятор 57
 Blitz 70 u. f.
 Blitzableiter 71 u. f.
 Blockkondensator 68
 Blockschrift 182
 Bogenlampe 40
 Bruchlinien 173
 Bügeleisen, elektrisches 31
Bykow, Pawel 116
 Clerk 161
 Dampfmaschine, siehe Kolbendampfmaschine
 Dampfsammler 156
 Dampfturbine 118, 137, 157 u. f., 167
 Dampfüberhitzer 156
 Deklination, magnetische 16
 Dieselmotor 159, 164, 167
Diesel, Rudolf 164
 Donner 71
 Doppel-T-Anker 113 u. f., 123, 125, 129
 Drehachse 175
 Drehfeld 127
 Dreheisenamperemeter 108 u. f.
 Drehkondensator 68
 Drehschalter 37
 Drehsulamperemeter 108, 110
 Drehstrom 127
 Dreiphasenwechselstrom 125, 135, 137
 Dreiphasenwechselstrom-Generator 125, 127
 Dreiphasenwechselstrom-Motor 127
 Dreiphasenwechselstrom-Transformator 135 u. f.
 Druckfeder (Sinnbild) 181
 Dynamomaschine 130
Edison, Alva 35
 Elektrizitätszähler 85
 Elektroden 47 u. ff.
 Elektrokran 97
 Elektrolokomotive 116
 Elektrolyse 49, 52 u. f.
 Elektrolytkupfer 53
 Elektromagnet 95 u. ff., 100 u. ff., 115
 Elektrometer 24
 Elektromotor 112 u. ff.
 Elektronen 18, 28, 63 u. ff.
 Elektronenstrom 28
 Elektroskop 22, 24, 62, 65
 Elektrostahtofen 17, 41
 Elektrotraktor 116 u. f.
 Elementarmagnete 13
 Elemente (elektrische) 55 u. ff.
 Element, galvanisches 23
 —, Kohle-Zink- 56
 —, Kupfer-Zink- 24, 56
 Energie 145, 165 u. ff.
 —, elektrische 118, 137 u. ff., 144
 —, kinetische 166
 —, mechanische 145, 150, 166 u. f.
 —, potentielle 166
Faraday, Michael 118
 Feld, elektrisches 69
 —, magnetisches 11, 89 u. f., 92 u. f.
 Feldlinien, magnetische 11 u. f., 69, 89 u. ff., 96 u. f., 118 u. ff., 122
 Feldmagnet 113
 Fernsprecher 105
 Flächenblitz 71
 Francis-Turbine 147
 Freistrahlturbine 147
 Frontgewitter 70
 Funkenentladung 67
 Fußkreis eines Zahnrades 180 u. f.
Galvani, Luigi 23
 Galvanoskop 94
 Galvanoplastik 53
 Galvanostegie 53
Gauß, Karl Friedrich 102
 Gerätestecker 30

- Gewitter 70
 Gleichrichter 131
 Gleichspannung 49
 Gleichstrom 49
 —, pulsierender 130
 Gleichstromgenerator
 128 u. ff.
 Gleichstrommotor 113 u. ff.,
 128
 Glühlampe 34 u. ff.
 Goldene Regel der Me-
 chanik 135, 145
 Großbauten des Kommun-
 ismus 138, 141, 148,
 164
 Gruppenumspannwerk 140

 Halbschnitt 176
 Hauptschluß 55, 111
 Hauptschlußmotor 115
 Hauptumspannwerk 139
Hefner-Alteneck, Friedrich
 von 114
 Heizkissen 31
 Heizrohrkessel 151
Helmholtz, Hermann von
 167
 Hintereinanderschaltung
 39, 60
 Hochspannungsleitung 139
 Hochspannungstransfor-
 mator 136
 Hufeisenmagnet 6, 8, 10 u. ff.

 Induktion, elektromagne-
 tische 118
 Induktionsgesetz 120
 Innenpolmaschine 124 u. ff.
 Ionen 64
 Isolator 20
 Isoperlon 20, 127

*Jablotschkow, Pawel Niko-
 lajewitsch* 40
Joule, James Prescott 167

 Kathode 49 u. ff., 53
 Kilowattstunde (kWh) 85
 Kippschalter 37
 Kleinküche, elektrische
 30 u. f.
 Klingel, elektrische 99 u. ff.
 Klingelknopf 99

 Klingeltransformator 136
 Kochplatte, elektrische
 29 u. f.
 Kohlekörnermikrophon 106
 Kolbendampfmaschine
 150 u. ff., 159, 167
 Kolbenschiebersteuerung
 152, 154
 Kollektor 114, 130
 Kommutator 113 u. f.,
 128 u. f.
 Kompaß 5, 15 u. f.
 Kondensator, elektrischer
 67 u. ff.
 Kondensator eines Dampf-
 kessels 156
 Konduktor 62 u. f.
 Kopfkreis eines Zahnrades
 180 u. f.
 Kraftmaschinen 145 u. f.,
 167
 Kraftwerk 137 u. f.
 Kurbelinduktor 123
 Kurbelwiderstand 82

 Ladung, elektrische 62 u. ff.,
 70
 Längsschnitt 175 u. f.
 Läufer eines Motors 124
 Lavaldüse 157
 Leichtölmotor 159
 Leistung, elektrische
 82 u. ff., 134, 138 u. f.
 Leiter 20
 Leitungsplan einer Woh-
 nung 182 u. f.
Lenin, Wladimir Iljitsch 141
 Lichtbogen 39 u. ff.
 Lichtmaschine eines Kraft-
 wagens 131
 Linienarten 172 u. f.
 Linienblitz 70
Lodygin, Nikolajewitsch
 Alexander 34
 Lokomotive 150 u. ff.
 LötKolben, elektrischer 32

 Magnete 6 u. ff.
 Magnetfeld 89 u. ff., 119 u. ff.
 Magnetismus 6
 Magnethadel 9
 Magnethadeltelegraph 102
 Manometer (Sinnbild) 182

 Maschine, energieumfor-
 mende, krafterzeugende
 145, 167
 —, kraftumformende 145
 Maßenträgung 174
 Maßhilfslinie 174
 Maßlinie 174
 Maßpfeil 174
 Maßzahl 174
Mayer, Julius Robert 166
 Mikrophon 105 u. ff.
 Mißweisung, magnetische
 16
Morse, Samuel 102, 104
 Morsealphabet 104
 Morsetelegraph 102 u. ff.
 Muffelofen 32 u. f.

 Nadelgalvanoskop 91, 102
 Nebenschluß 55, 111
 Nebenschlußmotor 115
Newcomen, Thomas 150
 Nichtleiter 20
 Normalelement, Queck-
 silber-Cadmium 56
 Normung 46
 Nulleiter 125 u. f.

 Oberleitungsomnibus
 (Obus) 116
Oersted, Hans Christian 88
 Oerstedscher Versuch 88
Ohm, Georg Simon 73
 Ohm (Ω) 76, 80
 Ohmsches Gesetz 76
 Ottomotor 159, 167
Otto, Nikolaus 159

 Parallelschaltung 39
Papin, Denis 150
Pelton 147
 Peltonrad 147
*Petrow, Wassili Wladimiro-
 witsch* 40
 Pol, elektrischer 19
 —, magnetischer 8
 Polrad 124
 Polreagenpapier 49 u. f.
 Polsucher 51
*Polsunow, Iwan Iwano-
 witsch* 150
 Primärspule 133 u. ff.

- Querschnitt** 176
Rechte-Faust-Regel 90, 92
Rechte-Hand-Regel 89, 91, 93
Reibungselektrizität 65
Reihenschaltung 39, 60
Reihenschlußmotor 115
Reis, Philipp 107
Rotor 124

Sammler 58
Schaltplan 182
Schaltzeichen, elektrische 143, 182
Schaukelversuch 112, 118
Scheibe, exzentrische 154
Schiebewiderstand 81
Schilling von Cannstadt, Pawel Lwowitsch 101
Schleifenlinie 173
Schmelzflußelektrolyse 53
Schmelzsicherung 42 u. f.
Schnitt-Ansicht-Zeichnung 177
Schnittzeichnung 175
Schraffur 172 u. f., 177
Schrauben (Sinnbilder) 181
Schweißen, elektrisches 40 u. f.
Schwerölmotor 159
Schwungkugelregler 154 u. f.
Sekundärspule 133 u. ff.
Selbstschalter 44
Serienschalter 38
Sicherung 42 u. ff.
 —, automatische 44 u. f.
Siederrohrkessel 156
Siemens, Werner von 114
Silikone 20
Sinnbilder 179 u. ff.
Spannung, elektrische 23 u. ff.
Spannungsgefälle 38 u. f.

Spiralturbine 147
Spule 92 u. f.
Stabmagnet 6, 8, 10 u. f., 93, 96
Ständer eines Motors 124
Stator 124
Steilrohrkessel 156
Steinheil, Carl August 103
Stephenson, George 151
Sternpunkt 125
Strom, elektrischer 18 u. ff., 64
Stromarbeit 134, 137
Stromkreis 19
Stromrichtung, technische 28, 64
Stromstärke 26 u. f.
Stromversorgungsgerät 136
Summer 101, 104
Symmetrieachse 175

Taschenlampenbatterie 56 u. f., 59
Tauchsieder 31
Teilkreis eines Zahnrades 180 u. f.
Telegraph 102
Telephon 105 u. ff.
Thermometer (Sinnbild) 182
Topfmagnet 97
Totpunkt 153 u. f.
Transformator (Trafo) 133 u. ff.
Transformatorhäuschen 140
Trockenelement 57
Trommelanker 114 u. f., 130
Türöffner, elektrischer 97 u. f.

Überdruckturbine 147
Umspanner 133
Umspannung 133
Unterbrechungsmelder 43

Ventil (Sinnbild) 182
Ventilsteuerung 154
Verbrennungsmotor 159
Vergaser 159
Viertaktmotor 160 u. f.
Volt (V) 24
Volta, Alessandro 24
Voltampere (VA) 84
Voltmeter 24

Wagnerscher Hammer 100 u. f.
Wärmeenergie 137, 150
Wärmegewitter 70
Wärme kraftmaschinen 150, 167
Wasserräder 146 u. f.
Wasserturbine 147 u. f.
Wassersetzungsgerät 49
Watt, James 150
Watt (W) 37, 84
Wattstunde (Wh) 85
Weber, Wilhelm 102
Wechselspannung 51
Wechselstrom 50 u. f.
Wechselstromgenerator 121, 128
Weichensteller, elektrischer 98
Widerstand, elektrischer 34, 73 u. ff., 78 u. ff.
 —, spezifischer 78 u. f.
Widerstandsgesetz 79
Windkraftwerke 149
Windmühlen 146, 149
Windräder 149
Windrose 15
Wirkungsgrad 167

Zahnrad (Sinnbild) 179 u. ff.
Zone, indifferente 8
Zugfeder (Sinnbild) 181
Zweitaktmotor 161 u. ff.

Quellenverzeichnis der Abbildungen

Werkphoto Askania VEB, Teltow: Abb. 22 · Werkphoto BBC-Bahnleitungsbaubüro, Halle: Abb. 126 · Herbert Blunck, Berlin-Mahlsdorf: Abb. 1 · Dewag, Berlin: Abb. 102, 113, 191, 196 · Walter Dretzner, Halle: Abb. 30 · Ebert, Berlin: Abb. 245 · Os. Eichler, Leipzig: Abb. 260 · Werkphoto Elektro-Apparate-Werke J. W. Stalin, Berlin-Treptow: Abb. 36, 89, 132, 180 · Werkphoto Elektromotorenwerk Wernigerode VEB: Abb. 215 · Werkphoto IFA Automobilfabrik EMW Eisenach VEB: Abb. 264 · Fischer, Drewitz: Abb. 156, 172 · Flügge, Berlin: Abb. 232 · Gerbeth, Halle: Abb. 267 · Presse-Bild L. Gielow, Berlin-Oberschöneweide: Abb. 86 · Kurt Glaß, Brocken: Abb. 115, 116 · VEB Grubenlampenwerke, Zwickau: Abb. 97 · Hansjörg Hamann, Leipzig: Abb. 21 · Werkphoto IFA Forschungs- und Entwicklungswerk Karl-Marx-Stadt VEB: Abb. 266 · Werkphoto Kema, Keramikmaschinen Görlitz: Abb. 250 · Werkphoto VEB Keramisches Werk Heschlo, Kahla: Abb. 29 · Werkphoto IKA-Akkumulatorenfabrik Oberschöneweide: Abb. 96, 100 · Werkphoto IKA Elektrowärme Sörnewitz: Abb. 43, 44, 51 · Lenka von Koerber, Leipzig: Abb. 88 · Heinz Krüger, Berlin: Abb. 55, 56, 171 · Photokino Krütgen, Halle: Abb. 2, 3, 5, 6, 9, 12, 13, 14, 15, 24, 25, 26, 32, 35, 38, 40, 41, 45, 46, 48, 49, 54, 59, 60, 61, 71, 72, 73, 76, 78, 81, 85, 99, 109, 112, 117, 120, 128, 129, 134, 137, 144, 145, 146, 148, 151, 153, 158, 159, 164, 166, 167, 177, 182, 185, 192, 197, 206, 212, 213, 219, 221, 227, 300 · Kühne-Pressbild, Berlin: Abb. 268 · Werkphoto LEW „Hans Beimler“ Hennigsdorf VEB: Abb. 23, 101, 133, 247 · Reichsbahndirektion Halle, Bildstelle: Abb. 169 · Werkphoto RFT-Funkwerk Zittau-Obersdorf: Abb. 103 · Dr. Hellmut Reuther, Dresden: Abb. 28 · Werkphoto Sachsenwerk, Niedersiedlitz: Abb. 225 · Horst E. Schulze, Berlin: Abb. 69 · Werkphoto Schwermaschinenbau Karl Liebknecht, Magdeburg: Abb. 263, 269 · Werkphoto Siemens-Planitz, Berlin: Abb. 50 · Staatliche Photothek Dresden: Abb. 195, 208, 230, 236, 243, 256 · Werkphoto VEB Stahl- und Walzwerk Wilhelm Florin, Hennigsdorf: Abb. 157 · W. Steinrück, Schulpforta: Abb. 114 · B. G. Teubner, Leipzig: Abb. 47, 57, 190, 253 · Werkphoto Transformatorenwerk Karl Liebknecht VEB, Berlin-Oberschöneweide: Abb. 224 · Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin, Bildarchiv: Abb. 198, 228, 229 · Werkphoto Optik Carl Zeiss Jena VEB: Abb. 295 · Zentraltbild Berlin: Abb. 231, 234, 244, 270 · Aus: Fatejew, Windmotoren und ihre Verwendung in der Landwirtschaft; Moskau 1952: Abb. 246 · A. W. Peryschkin, G. J. Fatejew, W. W. Krauklis, Physik, Teil II: Abb. 53.

Physiker-Bildnisse: Dewag, Berlin: Hermann von Helmholtz · Deutsches Museum, München: James Watt · B. G. Teubner, Leipzig: Philipp Reis · Zentraltbild, Berlin: Alessandro Volta, André Marie Ampère, Georg Simon Ohm, Pawel Nikolajewitsch Jablotschkow, Nikolaus Otto, Rudolf Diesel, Julius Robert Mayer, Karl Friedrich Gauß, Wilhelm Weber · Aus I. I. Sokolow, Kurs der Physik, Teil II: Iwan Iwanowitsch Polzunow · A. W. Peryschkin, G. J. Fatejew, W. W. Krauklis, Physik, Teil II: Nikolajewitsch Alexander Lodygin.

