

LEHRBUCH DER PHYSIK

FÜR DIE GRUNDSCHULE

ACHTES SCHULJAHR

ERSTER TEIL



VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

LEHRBUCH DER PHYSIK

FÜR DAS ACHTE SCHULJAHR

Erster Teil

Magnetismus - Elektrizitätslehre

Mit 132 Abbildungen



VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

1 9 5 3

Herausgegeben von Georg Sprockhoff
unter Mitarbeit von Wolfgang Brunstein

Zeichnungen von Kurt Dornbusch

Redaktionsschlußd. 3. 1953

Bestell-Nr. 6030 a —.75 DM · 1. bis 350. Tausend · Lizenz Nr. 203 · 1000/53 · A1c-3/53
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>I. Der Magnetismus</i>	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
 <i>II. Die Grundlagen der Elektrizitätslehre</i>	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
 <i>Elektrische Schaltzeichen</i>	86
 <i>Namen- und Sachverzeichnis</i>	87
 <i>Quellenverzeichnis der Abbildungen</i>	88

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).

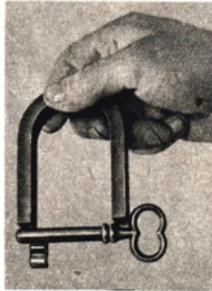


Abb. 2. Hufeisenmagnet

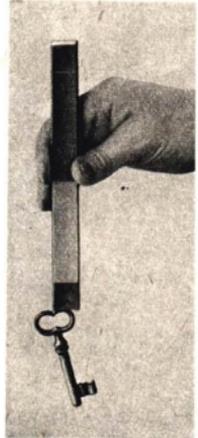


Abb. 3. Stabmagnet

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.

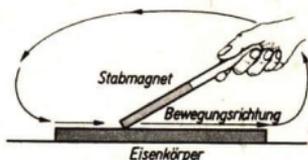


Abb. 4. Magnetisierung eines Eisenstabes. Am Stab wird immer wieder das gleiche Ende des Magneten in derselben Richtung entlanggeführt.

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.

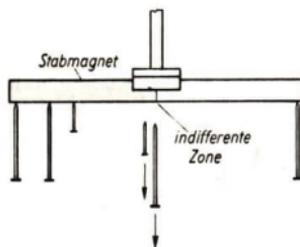
Wir führen den Versuch mit einem Hufeisenmagneten aus. Die Eisenfeilspäne bilden dichte, zusammenhängende Ketten, die sich bogenartig von dem einen Ende des Ma-

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.

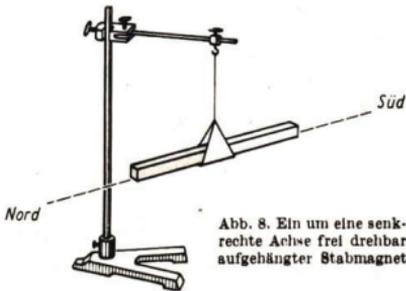


Abb. 8. Ein um eine senkrechte Achse frei drehbar aufgehängter Stabmagnet

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-

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.

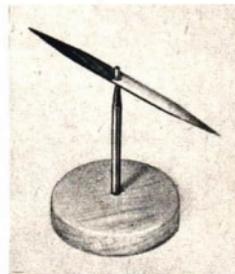


Abb. 9. Magnetnadel. Das eine Ende der Magnetnadel zeigt immer annähernd nach Norden, das andere nach Süden.

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*

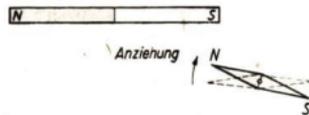


Abb. 10. Anziehung zwischen dem Nordpol einer Magnetnadel und dem Südpol eines angenäherten Stabmagneten

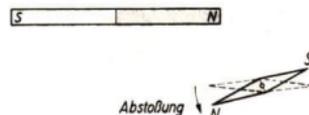


Abb. 11. Abstoßung zwischen dem Nordpol einer Magnetnadel und dem Nordpol eines angenäherten Stabmagneten

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 Nähnnadel 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.

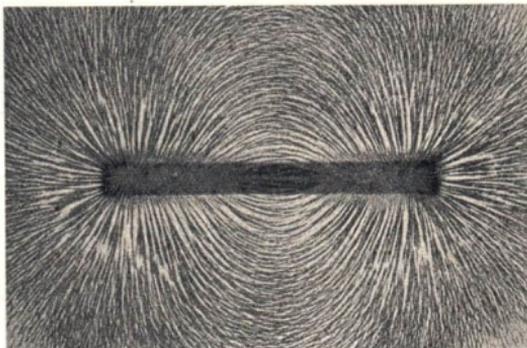


Abb. 12. Feldlinienbild eines Stabmagneten

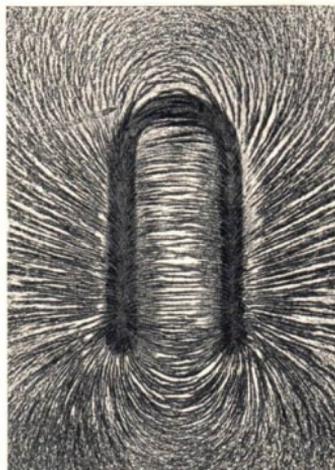


Abb. 13. Feldlinienbild eines Hufeisenmagneten

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-

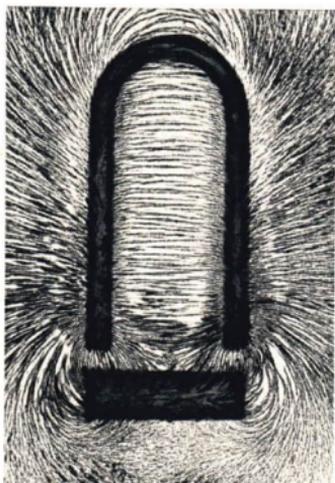


Abb. 14. Feldlinienbild eines Hufeisenmagneten bei einem vor die Magnetpole gelegten Eisenklotz. Die Feldlinien werden auf den Eisenklotz hin abgelenkt.

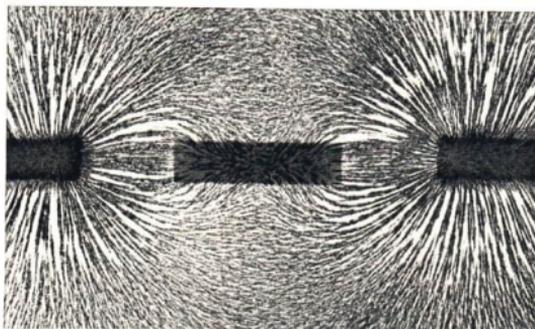


Abb. 15. Magnetfeld zwischen ungleichnamigen Polen zweier einander gegenüberliegender Stabmagnete. Die Feldlinien werden durch einen in das Feld gebrachten Eisenkörper gesammelt.

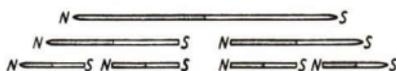


Abb. 16. Zerlegung einer Stricknadel in magnetische Teilstücke. Jedes Teilstück ist ein vollständiger Magnet mit einem Nord- und einem Südpol.



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.

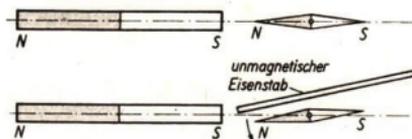


Abb. 19. Eine vor einem Magnetpol stehende Magnetnadel weicht einem seitlich angenäherten Eisenkörper aus.

§ 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.

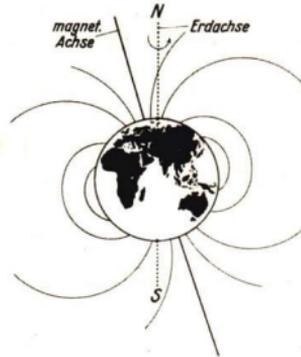


Abb. 20. Feldlinienbild der Erde

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.

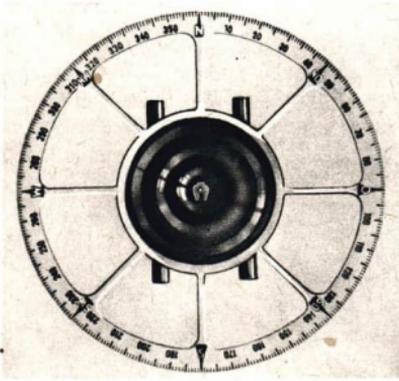


Abb. 22

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 Kompassse ist meist in 360 Winkelgrade, beim Marschkompaß manchmal auch in 64 Striche (64°) eingeteilt.

Der Marschkompaß ist für die Durchführung von geländesportlichen Übungen unentbehrlich. Die Grundaufgaben beim Geländesport, zu deren Lösung man einen Marschkompaß 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

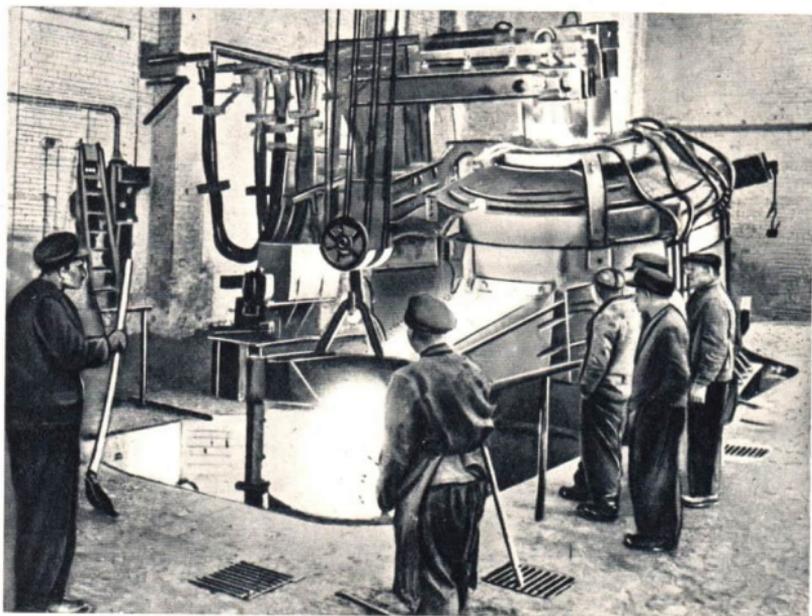


Abb. 23. Abstich eines Elektrostahlofens
Lokomotivbau-Elektrotechnische Werke „Hans Beimler“ VEB Hennigsdorf

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

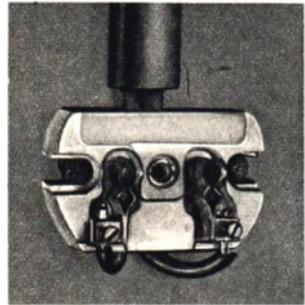
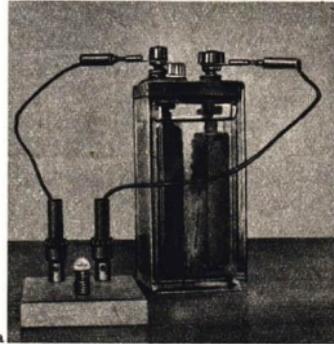


Abb. 25. Steckdose. Die Schutzkappe ist entfernt worden. Jede Buchse ist durch einen Draht mit dem elektrischen Leitungsnetz verbunden

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.

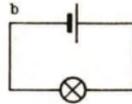
2. Der elektrische Stromkreis. Bisher entnahmen wir den Strom aus einer Steckdose. In vielen Fällen empfiehlt es sich, statt dessen eine *Taschenlampen-*

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.

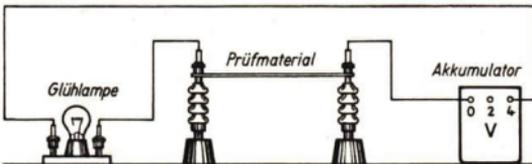


Abb. 27. Versuchsanordnung zur Untersuchung verschiedener fester Stoffe auf ihre Leitfähigkeit. Das Fließen eines Stromes erkennt man am Aufleuchten der Lampe

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.

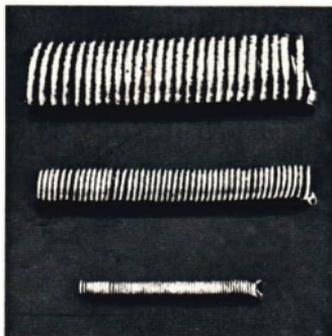


Abb. 28. Wickelproben von Kupferdrähten verschiedenen Durchmessers, die durch Umspinnen mit Glasseide und Imprägnieren mit Silikonlack isoliert sind

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.

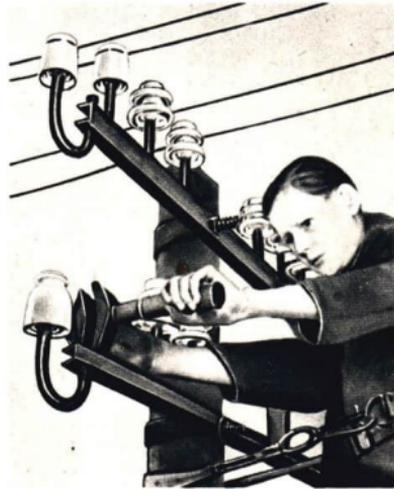


Abb. 30. Isolatoren einer Telefonleitung

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

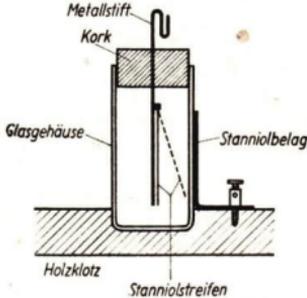


Abb. 31. Behelfsmäßiges Elektroskop. Für das Glasgehäuse wird ein Tablettenröhrchen, für den Metallstift ein starker Draht verwendet

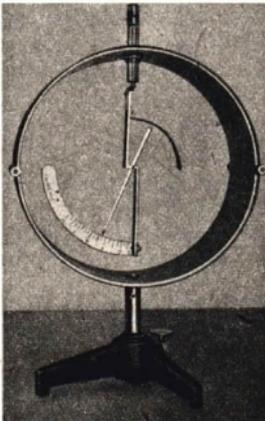


Abb. 32. Technische Ausführungsform eines Elektroskops. Im Innern des Metallgehäuses befindet sich ein Zeiger, der an einem isoliert durch das Gehäuse geführten Metallgestell aufgehängt ist.

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.

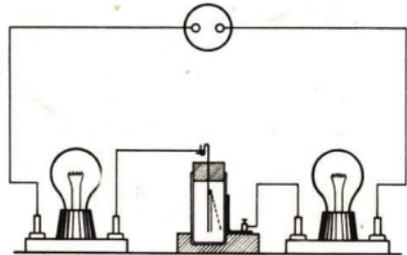


Abb. 33. Anschluß eines behelfsmäßigen Elektroskops an eine Steckdose. Zur Stromanzeige und gleichzeitig zur Sicherung ist in jede Leitung eine Glühlampe gelegt

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 Wolgakraftwerk 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

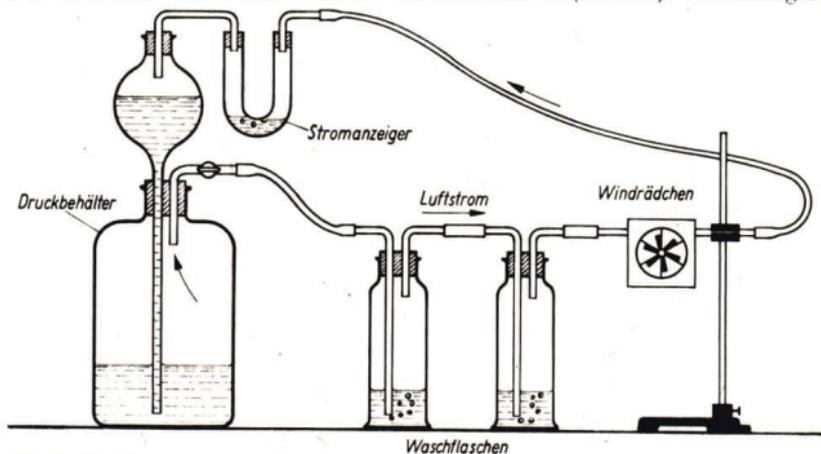


Abb. 37. Modellversuch zur Veranschaulichung eines elektrischen Stromkreises. Der Druckbehälter dient als Modell einer Spannungsquelle, die Waschflaschen und das Windrad als Modelle von Stromverbrauchern.

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.

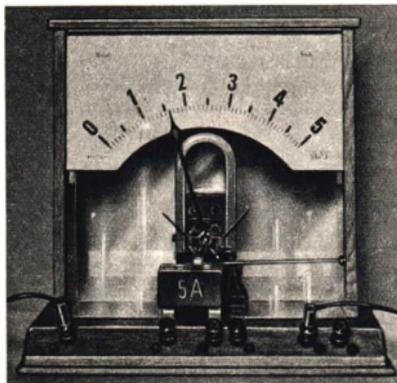


Abb. 38. Amperemeter für Unterrichtszwecke. Meßbereich bis zu 5 A. Schaltbild eines Amperemeters 

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

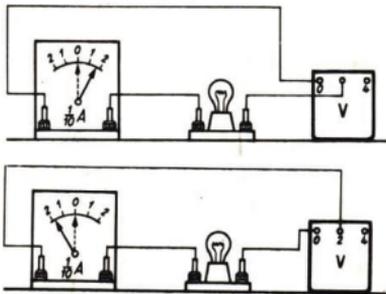


Abb. 39. Wechsel der Richtung des Zeigerausschlages an einem Amperemeter beim Vertauschen der Anschlüsse an der Spannungsquelle

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.

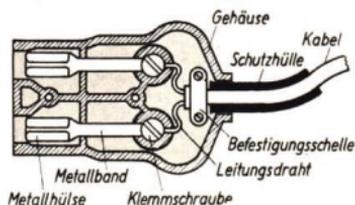


Abb. 42
Längsschnitt durch einen Gerätestecker

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.

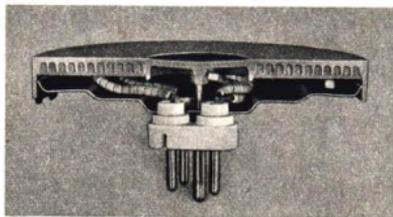
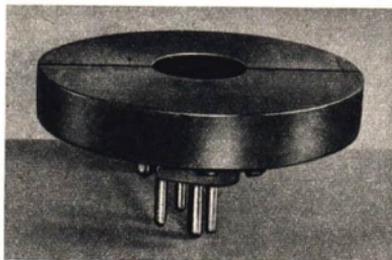


Abb. 43. Schnittmodell einer Kochplatte mit eingebetteter Heizwendel aus dem IKA-Werk Elektrowärme Sörniewitz VEB. Die Heizwendel ist ganz von der Keramikmasse eingehüllt.

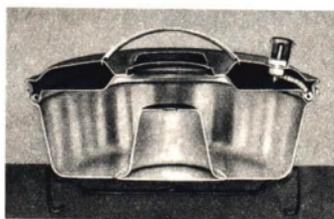


Abb. 44. Elektrische Kleinküche des IKA-Werkes Elektrowärme Sörniewitz. Die Heizkörper befinden sich im Deckel.

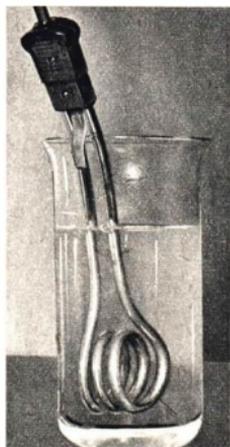


Abb. 45. Tauchsieder

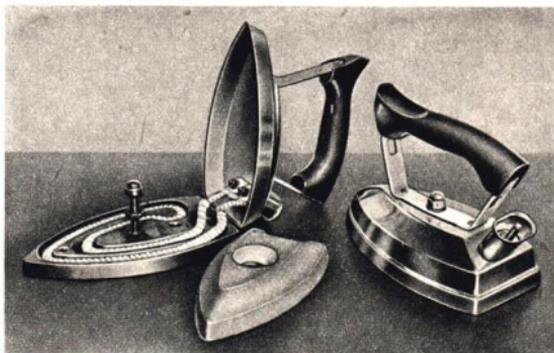


Abb. 46. Elektrisches Bügeleisen

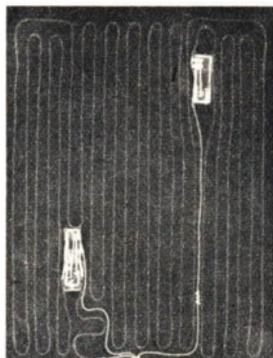


Abb. 47. Elektrisches Heizkissen (Röntgenbild). Die im Bild weiß erscheinenden rechteckigen Konstruktionsteile sind Temperaturregler, die bei hoher Temperatur den Strom selbsttätig abschalten.

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

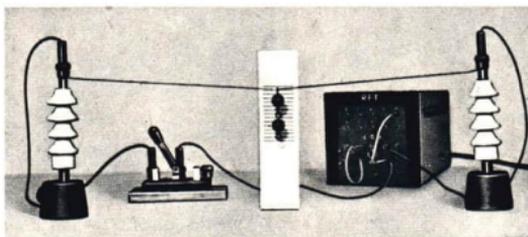
(Abb. 48a). Sobald ein elektrischer Strom durch den Draht fließt, können wir beobachten, daß sich das Gewichtsstück etwas senkt (Abb. 48b). Wird der Strom ausgeschaltet, so hebt sich das Gewichtsstück wieder. Diese Erscheinung hat ihre Ursache in einer durch den Strom hervorgerufenen Erwärmung des Drahtes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

Wir stellen fest:

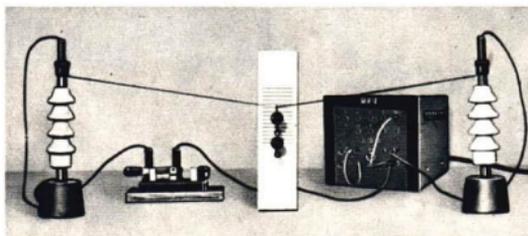
Fließt durch einen Leiter ein elektrischer Strom, so tritt dabei eine Wärmewirkung auf.

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

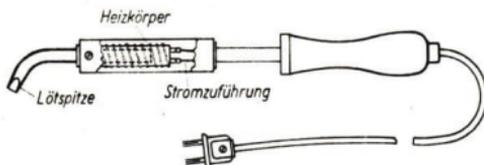


b) nach Einschalten des Stromes

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.

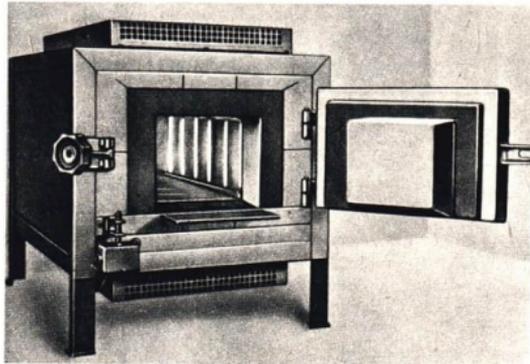


Abb. 50. Elektrischer Muffelofen für Werkstätten aus dem Werk Siemens-Plania der Elektrotechnischen AG. Die glühenden Silberröhren sind in senkrecht stehenden Nischen untergebracht.



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

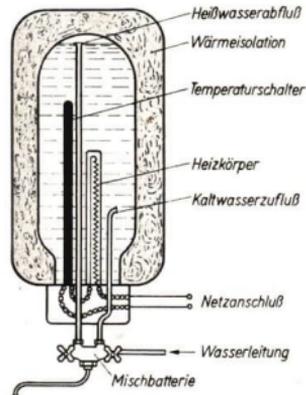


Abb. 52. Längsschnitt durch einen Warmwasserbereiter (schematisch). Das heiße Wasser läuft oben über ein Überlaufrohr ab.

4. Versuche, Fragen, Aufgaben:

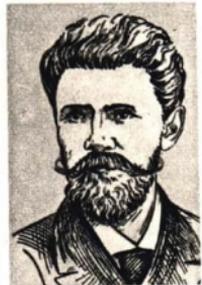
1. Fülle einen Litertopf mit Wasser und miß die Temperatur! Stelle den Topf auf eine elektrische Kochplatte und miß die Zeit, die nach dem Einschalten des Stromes bis zum Beginn des Siedens verstreicht! Ermittle aus der Anfangstemperatur und der Siedetemperatur die Wärmemenge, die das Wasser während 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)

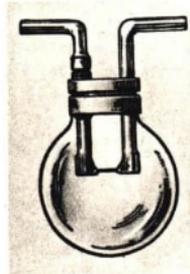


Abb. 53
Glühlampe von Lodygin

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,

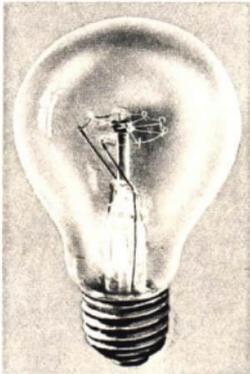
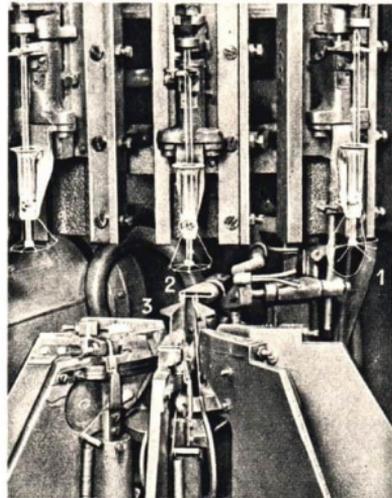


Abb. 54. Glühbirne

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.

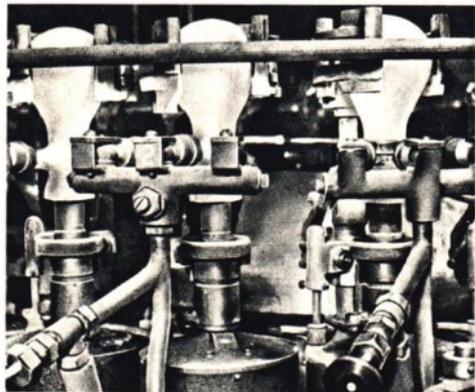


Abb. 56. Teilansicht eines Einschmelzautomaten im Berliner Glühlampenwerk VEB. Die nach unten verjüngten Teile der Glaskolben und die Ränder der Gestelle werden durch je drei Gasflammen erhitzt und zusammengeschmolzen.

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

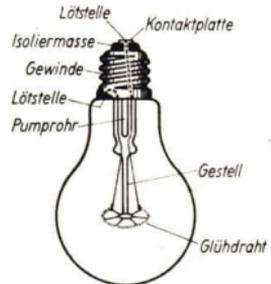


Abb. 58. Aufbau einer Glühlampe

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 hineinpäßt. Heute werden nur noch berührungssichere Lampenfassungen verwendet (Abb. 59). In der Mitte des Bodens besitzen sie ein Kontaktplättchen und seitlich davon eine

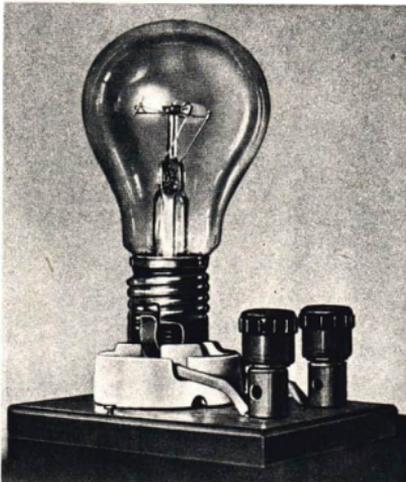


Abb. 59. Berührungssichere Lampenfassung einer Glühlampe. Die Schutzhülle aus Porzellan ist abgeschraubt.

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.

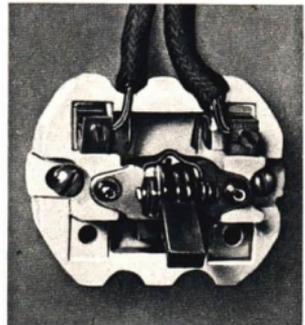


Abb. 61. Kippschalter
Das Schutzgehäuse ist abgenommen.

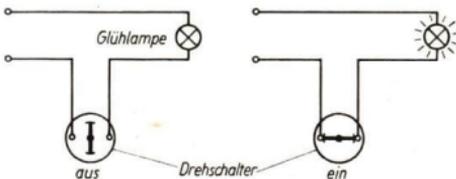


Abb. 62
Schalter im Stromkreis einer Glühlampe

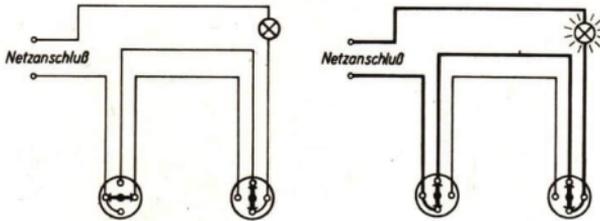


Abb. 63
Wechselschaltung einer Lampe mit zwei Schaltstellen. Die Lampe leuchtet ebenfalls, wenn beide in der Abbildung wiedergegebenen drehbaren Schaltertafel waagrecht liegen.

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).

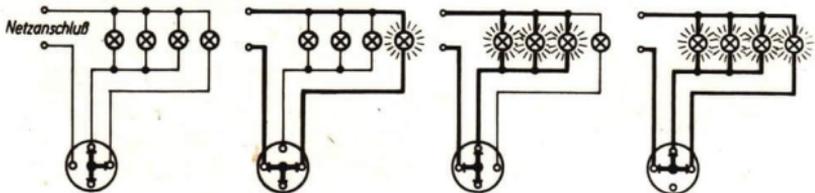
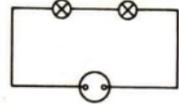


Abb. 64. Serienschaltung einer Einzellampe und einer Lampengruppe
Schematische Wiedergabe der vier möglichen Schaltstellungen

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.

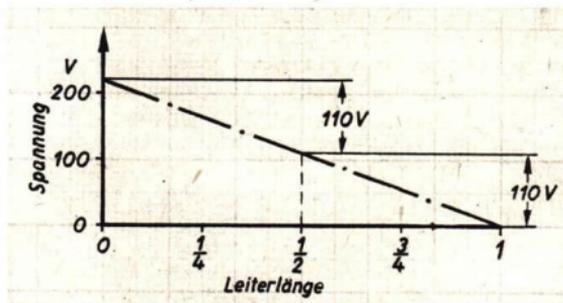


Abb. 66. Spannungsgefälle längs eines Stromweges bei gleichmäßigem Spannungsabfall

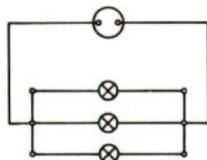


Abb. 67. Parallelschaltung dreier Lampen. Der Strom durchfließt jede Lampe unabhängig von den anderen. An jeder Lampe liegt die volle Netzspannung.

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

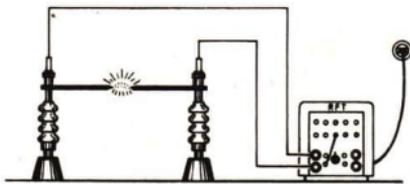


Abb. 68. Versuchsanordnung zur Erzeugung eines elektrischen Lichtbogens



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 Werkträgern 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.

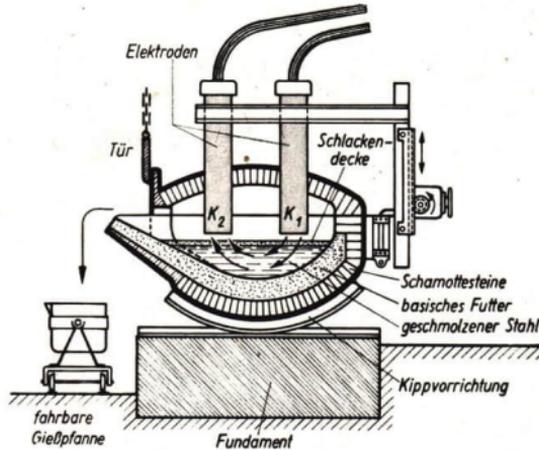


Abb. 70. Schnitt durch einen Elektroofen (schematisch). Der Strom fließt von der Kohle K_1 durch das Schmelzgut zur Kohle K_2 oder umgekehrt.

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.

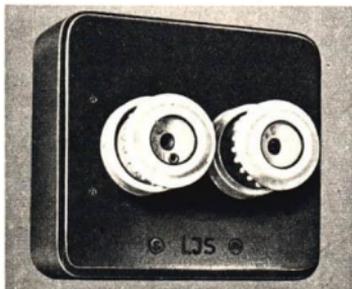


Abb. 73
Schmelzsicherungen im Gehäuse. Der linke
Schmelzeinsatz ist durchgebrannt.

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).

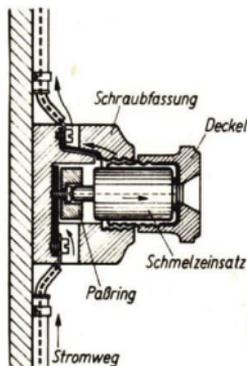


Abb. 74. Stromweg in einer Schmelzsicherung: Kontaktplatte — Fußkontakt — Schmelzstreifen — Kopfkontakt — Gewinde des Deckels — Gewinde des Gehäuses

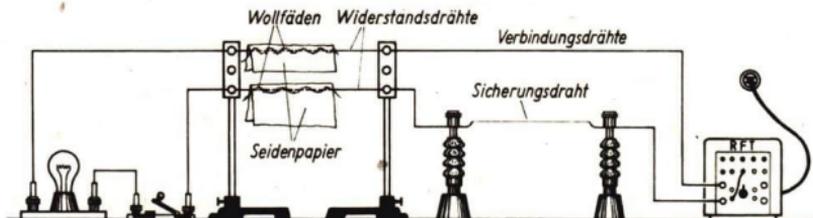


Abb. 75. Die Wirkungsweise einer Sicherung (Modellversuch)

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

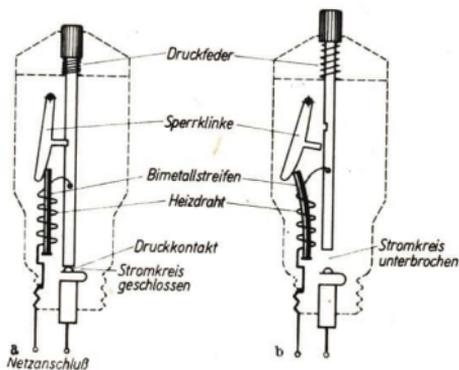


Abb. 77. Längsschnitt durch eine automatische Sicherung (weitgehend schematisiert) a) Schalter geschlossen, b) Schalter geöffnet. Die Wiedergabe des Druck- und Sperrmechanismus ist stark vereinfacht und weicht von der Wirklichkeit in wesentlichen Punkten ab. Der in Abb. 76 sichtbare kleine Auslöseknopf 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 Selbst-ausschaltungen der Stromkreis durch einfaches Hineindrücken des Druckknopfes jederzeit wieder geschlossen werden kann, sofern die Ursache für das Selbstausschalten 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

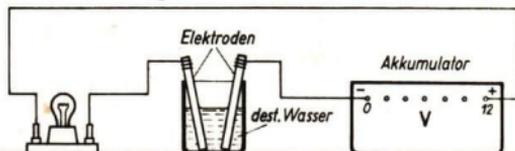


Abb. 79. Untersuchung der Leitfähigkeit des Wassers. Die Lampe leuchtet, wenn die Prü fzelle mit angesäuertem Wasser gefüllt ist.

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 Akkumulatortrommel 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

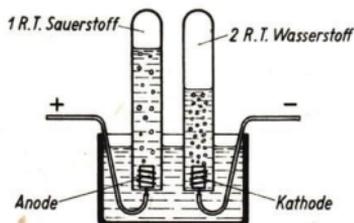


Abb. 80. Gasentwicklung aus angesäuertem Wasser in einer Zersetzungszelle. Es scheiden sich in gleichen Zeiten 2 Raunteile (R.T.) Wasserstoff und 1 Raunteil Sauerstoff ab.

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

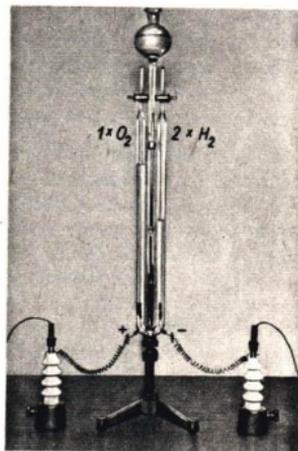


Abb. 81. Wasserzersetzungsgesäß im Gleichstromkreis. Die seitlichen Röhren tragen eine Kubikzentimeterteilung und ermöglichen die genaue Feststellung der entwickelten Gasmengen. An der Kathode entstehen zwei Raumteile Wasserstoff, an der Anode ein Raumteil Sauerstoff.

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.

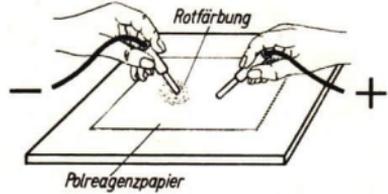


Abb. 82. Rotfärbung von angefeuchtetem Polreagenzpapier am negativen Pol einer Gleichspannungsquelle

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).

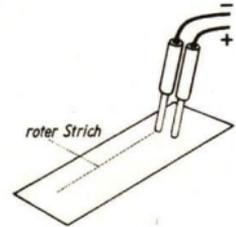


Abb. 83. Bewegt man zwei mit einer Gleichspannungsquelle verbundene Bananenstecker über angefeuchtetes Polreagenzpapier hinweg, so entsteht an dem negativ gepolten Bananenstecker eine rote Strichspur.

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).

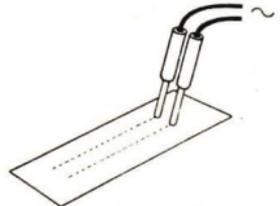


Abb. 84. Bewegt man zwei an ein Wechselstromnetz angeschlossene Bananenstecker über das angefeuchtete Polreagenzpapier hinweg, so entstehen zwei Punktreihen.

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.

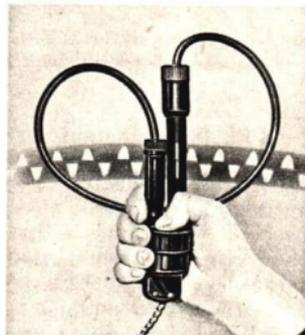


Abb. 85. Polsucher. Das Lichtband, das beim Bewegen eines an ein Wechselstromnetz angeschlossenen Polsuchers erscheint ist nachträglich hineingezeichnet.

- 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

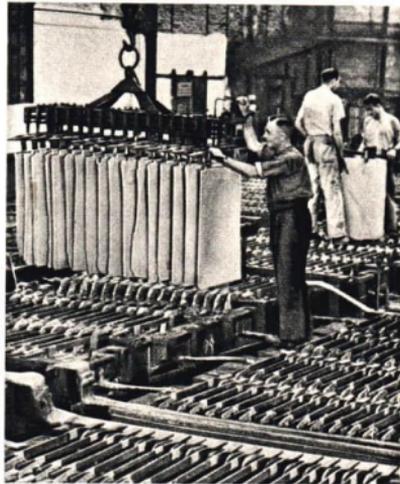


Abb. 86. Gewinnung von Reinkupfer durch Elektrolyse in der Ilsener Kupferhütte VEB. In großen, mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Trögen hängen in wechselnder Folge Platten aus Rohkupfer als Anode und Platten aus Elektrolytkupfer als Kathode. Eine Gruppe von Kathodenplatten wird gerade aus dem Bad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

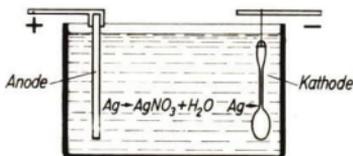


Abb. 87. Galvanisierungszelle. Die zu galvanisierenden Werkstücke sind mit der Kathode fest verbunden.

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)

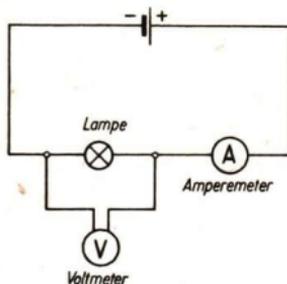


Abb. 90. Schaltbild eines Amperemeters und eines Voltmeters, die beide in einem Lampenstromkreis liegen. Das Amperemeter liegt im Hauptschluß, das Voltmeter im Nebenschluß.

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.

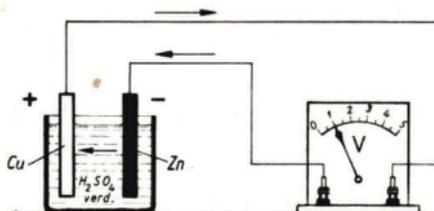


Abb. 91. Kupfer-Zink-Element

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.

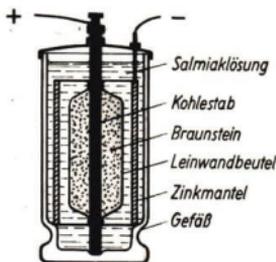


Abb. 92. Kohle-Zink-Element

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.

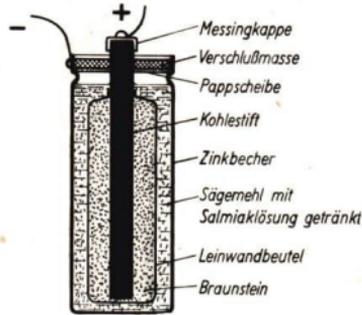


Abb. 93. Element einer Taschenlampenbatterie (schematische Schnittzeichnung)

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

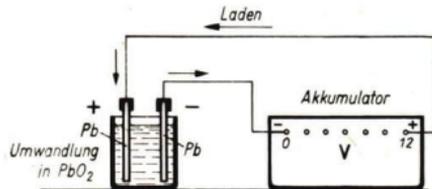


Abb. 94. Laden eines Akkumulators

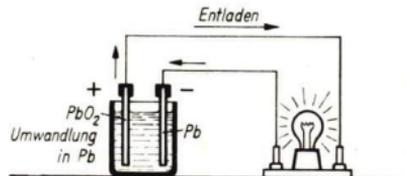


Abb. 95. Entladen eines Akkumulators. Der Entladestrom ist dem Ladestrom entgegengesetzt gerichtet.

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.

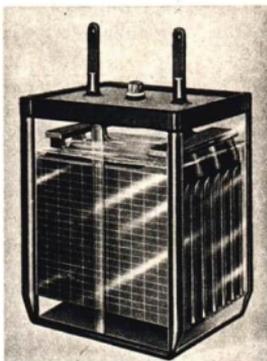


Abb. 96. Akkumulatorzelle, hergestellt im volkseigenen Akkumulatorenwerk Oberspreewitz.

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 Bleiakkulatoren 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 Akkulatoren. Alle Akkulatoren 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 Akkulators. Sie wird mit einem *Aräometer* gemessen (Abb. 98).

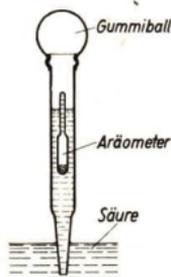


Abb. 98. Säureprüfer. Das Aräometer befindet sich in einer Röhre, in die mittels eines Gummiballes Säure gesaugt wird.

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

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

Nicht benutzte Akkulatoren 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, Akkulatorzellen und galvanischen Elemente nur niedere Gleichspannungen von 1 bis 2 V liefern. Sind zu einer technischen Verwendung höhere Spannungen erforderlich, so werden mehrere Akkulatorzellen oder Elemente zu einer *Batterie* zusammengeschlossen.

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

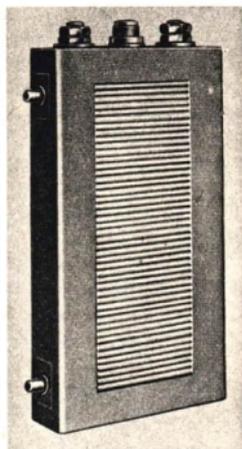


Abb. 97. Nickel-Cadmium-Akkumulator, hergestellt von den volkeigenen Grubenlampenwerken Zwickau.

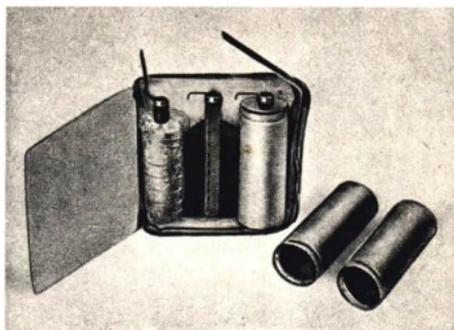


Abb. 99. Zerlegte Taschenlampenbatterie. Drei Elemente sind in Reihe geschaltet.

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.

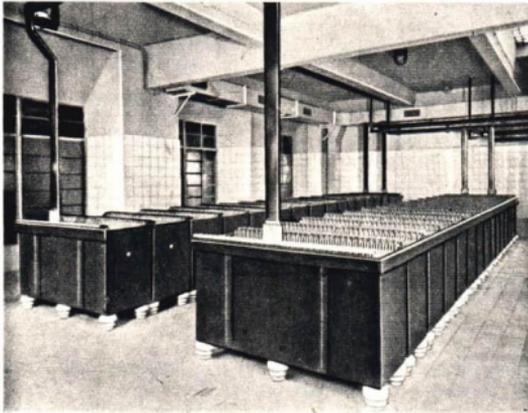


Abb. 100. Akkumulatorenstation in einem Fernsprechant

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).

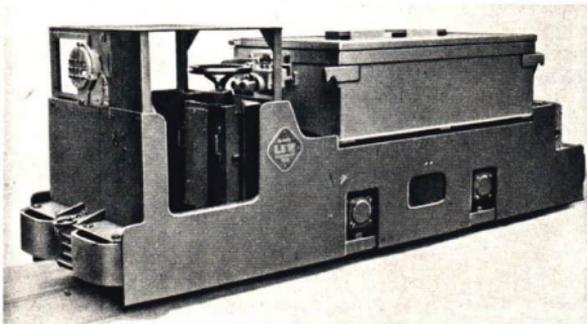


Abb. 101. Elektrische Grubenlokomotive für Akkumulatorenbetrieb. Lokomotivbau—Elektrotechnische Werke „Hans Beimler“, VEB, Hennigsdorf

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

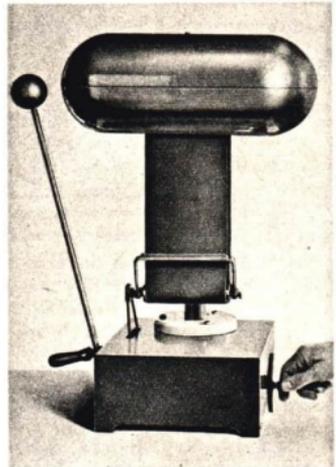


Abb. 103. Bandgenerator für Unterrichtszwecke, hergestellt im volkseigenen RFT-Funkwerk Zittau-Olbersdorf

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.

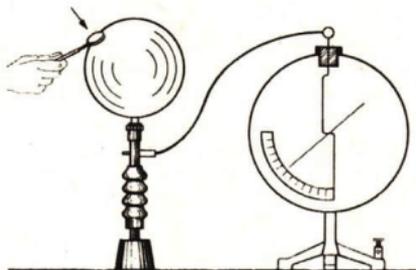


Abb. 104. Konduktor mit angeschlossenen Elektrometer. Der Konduktor wird durch wiederholtes Berühren mit einer geladenen Metallscheibe aufgeladen.

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 Glásstab 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

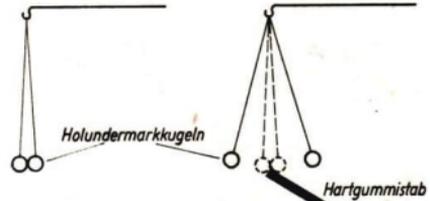


Abb. 105. Zwei isoliert aufgehängte Kugeln spreizen sich auseinander, wenn von einem geriebenen Hartgummistab gleichartige Ladungen auf die Kugeln übertragen werden.

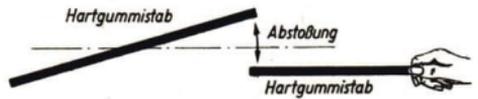


Abb. 106. Gegenseitige Abstoßung zweier geriebener Hartgummistäbe. Versuchsanordnung von oben gesehen

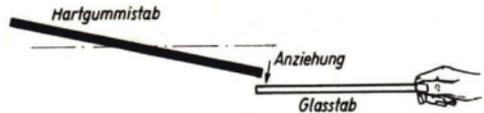


Abb. 107. Anziehung zwischen einem geriebenen Glasstab und einem geriebenen Hartgummistab. Versuchsanordnung von oben gesehen

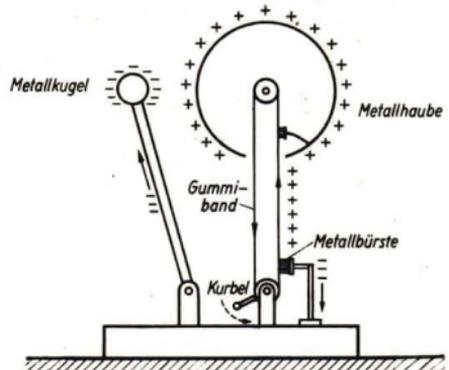


Abb. 108. Schnitt durch das Modell eines Bandgenerators (schematisch). Das durch eine Kurbel gedrehte Gummi- und Metallband transportiert positive Ladungen von der Berührungstelle mit der Metallbürste zur Haube.

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

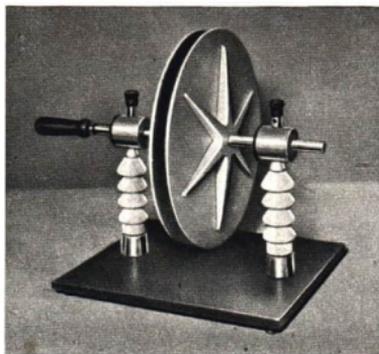


Abb. 109. Modell eines Plattenkondensators mit zwei auf isolierenden Füßen parallel zueinander gestellten Metallplatten. Der Abstand zwischen den Platten des Kondensators ist veränderlich.
Schaltzeichen eines Kondensators —||—

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*.

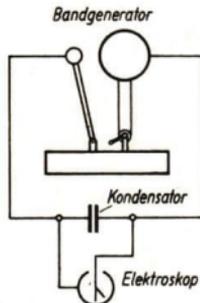


Abb. 110. Aufladen eines Plattenkondensators Nachweis der Spannung mit einem Elektroskop



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

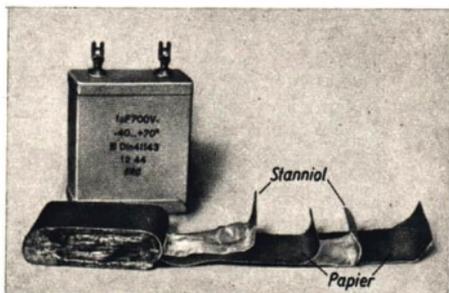


Abb. 112. Blockkondensator. Der Kondensatorblock ist aus dem Gehäuse herausgenommen. Er besteht aus zwei Stanniolstreifen und zwei Streifen aus paraffiniertem Papier, die aufeinandergelegt und zusammengewickelt sind.

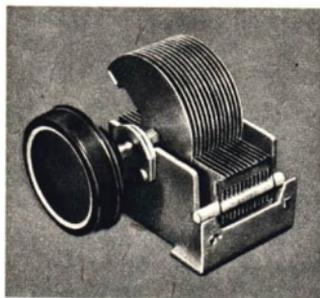


Abb. 113. Drehkondensator. Er besteht aus zwei gegeneinanderisolierten Plattensystemen aus Metall. Die Aufnahmefähigkeit des Kondensators wird dadurch geändert, daß man die beiden Plattensysteme gegeneinander verdreht.

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 Wolkenteile 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 Bastschicht, 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.

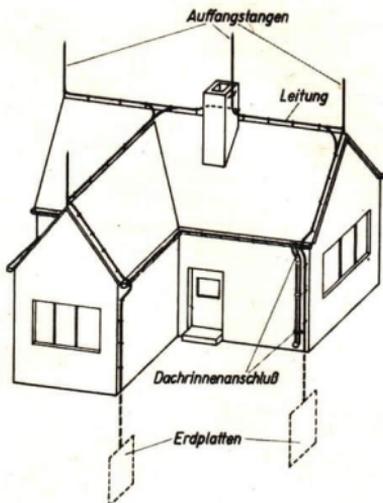


Abb. 118. Blitzschutzanlage eines Hauses. Sie überzieht das ganze Hausdach und erstreckt sich vor allem auf Schornsteine und andere emporragende Gebäudeteile. Zwischen der Blitzschutzanlage und den Dachrinnen muß eine leitende Verbindung bestehen.

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**

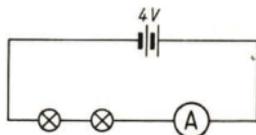


Abb. 119. Schaltbild eines Stromkreises. Eine Glühlampe und ein Amperemeter sind in Reihe geschaltet. Weitere Lampen werden hinzugeschaltet, die Spannung bleibt unverändert.



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

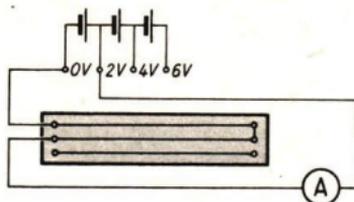
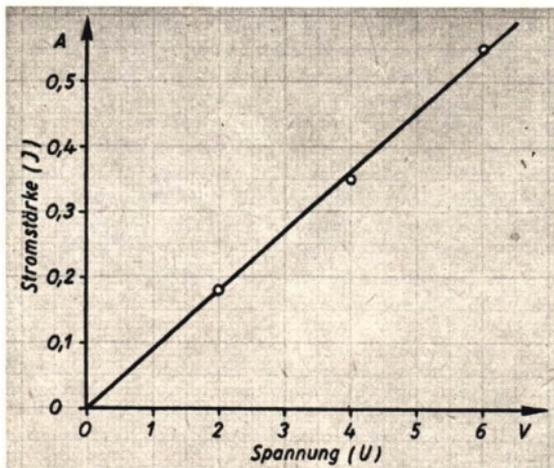


Abb. 121. Versuchsanordnung zur Feststellung der Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung (Schaltbild)

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.

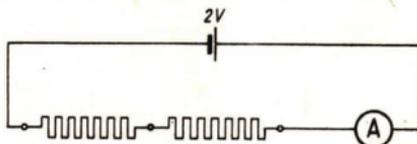


Abb. 123. Versuchsanordnung zur Feststellung der Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand

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:

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

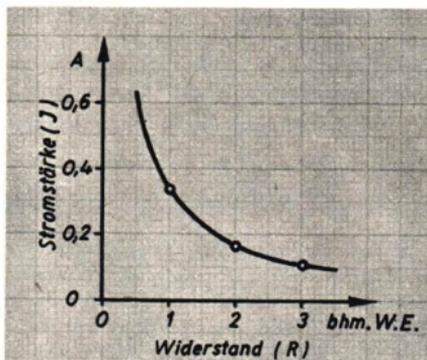


Abb. 124. Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand. Die in der Tabelle wie in der graphischen Darstellung verwendeten Buchstaben bhm, W. E. bedeuten beheimäufige Widerstandseinheiten.

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** ($M\Omega$).

$$1 \text{ k}\Omega = 1000 \Omega .$$

$$1 \text{ M}\Omega = 1000000 \Omega .$$

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. Jedesmal 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.

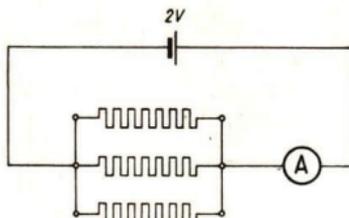


Abb. 125. Versuchsanordnung zur Feststellung der Abhängigkeit des Widerstandes vom Querschnitt der Leitung

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.

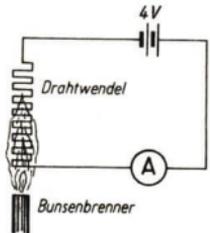


Abb. 127. Versuchsanordnung zur Feststellung der Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur. Im Stromkreis liegt eine Drahtwendel, die durch eine Bunsenflamme erhitzt wird.

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.

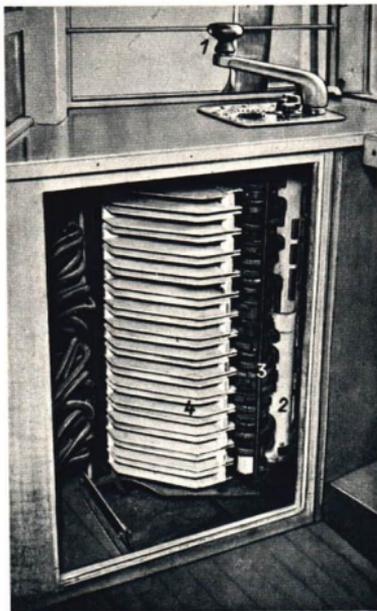


Abb. 128. Drehschalter im Führerstand eines von dem VEB Lova, Werdau, gebauten Straßenbahnwagens. Der Drehschalter dient zum Ein- und Ausschalten der elektrischen Widerstände, die dem Motor vorgeschaltet sind.

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

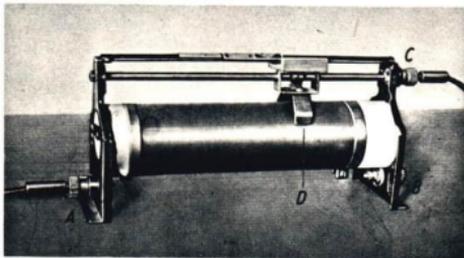


Abb. 129. Schiebewiderstand. A, B, C Klemmschrauben, D Gleitkontakt, AD stromdurchflossener, DB stromloser Teil des Widerstandes. D befindet sich in leitender Verbindung mit C.

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.

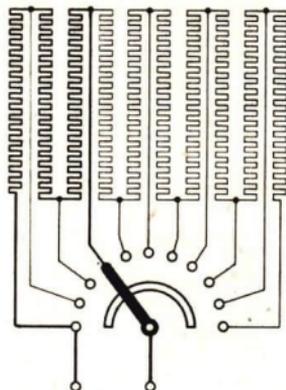


Abb. 130. Kurbelwiderstand, schematisch. Die einzelnen Widerstände sind über einem Rahmen ausgespannt. Sie stehen mit kreisförmig angeordneten Kontakten in Verbindung. Die verstärkt gezeichneten Widerstandsteile sind bei der im Bild wiedergegebenen Kurbelstellung vom Strom durchflossen.

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

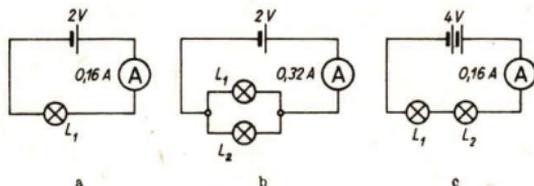
$$N = \frac{A}{t}.$$

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
	2	2 V		0,64 VA = 2 · 0,32 VA
	3	2 V		0,96 VA = 3 · 0,32 VA
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
	2	4 V = 2 · 2 V		0,64 VA = 2 · 0,32 VA
	3	6 V = 3 · 2 V		0,96 VA = 3 · 0,32 VA

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!

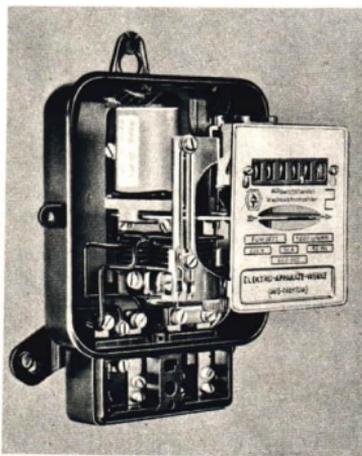
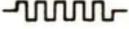


Abb. 132. Elektrizitätszähler aus dem Elektro-Apparate-Werk Treptow. Das Gehäuse ist abgenommen.

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 vergedeut 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?

Elektrische Schaltzeichen

	Gleichspannung		Amperemeter
	Wechselspannung		Voltmeter
	Kreuzung zweier Leiter mit leitender Verbindung, Lötstelle		Elektroskop
	Kreuzung zweier Leiter ohne leitende Verbindung		Glühlampe
	Abzweigung eines Leiters, Lötstelle		Meßwiderstand
	Schalter		Widerstand, allgemein
	Element		Widerstand, stetig regelbar
	Steckdose		Kondensator

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
 Anode 49 u. f., 53
 Arbeit 82 u. f., 85
 Aräometer 59

 Bandgenerator 62, 66 u. ff.
 Batterie 59 u. ff.
 Bleiakkumulator 57
 Blitz 70 u. f.
 Blitzableiter 71 u. f.
 Blockkondensator 68
 Bogenlampen 40
 Bügeleisen, elektrisches 31

 Deklination, magnetische 16
 Donner 71
 Drehkondensator 68
 Drehschalter 37

Edison, Alva 35
 Elektrizitätszähler 85
 Elektroden 47 u. ff.
 Elektrolyse 49, 52 u. f.
 Elektrolytkupfer 52
 Elektrometer 24
 Elektronen 18, 28, 63 u. ff.
 Elektronenstrom 28
 Elektroskop 22, 24, 62, 65
 Elektrostahlofen 17, 41
 Elementarmagnete 13
 Elemente (elektrische) 55 u. ff.

 Element, galvanisches 23
 —, Kohle-Zink- 56
 —, Kupfer-Zink- 24, 56

 Feld, elektrisches 69
 —, magnetisches 11
 Feldlinien, magnetische 11 u. f., 69
 Flächenblitz 71
 Frontgewitter 70
 Fünfjahrplan 41
 Funkenentladung 67

Galvani, Luigi 23
 Galvanoplastik 53
 Galvanostegie 53
 Gerätestecker 30
 Gewitter 70
 Gleichspannung 49
 Gleichstrom 49
 Glühlampe 34 u. ff.

 Hauptschluß 55
 Heizkissen 31
 Hintereinanderschaltung 39, 60
 Hufeisenmagnet 6, 8, 10 u. f.

 Ionen 64
 Isolator 20
 Isoperlon 20

Jablotschkow, Pawel Nikolajewitsch 40

 Kathode 49 u. f., 53
 Kilowattstunde (kWh) 85
 Kippschalter 37
 Kleinküche, elektrische 30 u. f.

 Kochplatte, elektrische 29 u. f.
 Kompaß 5, 15 u. f.
 Kondensator 67 u. ff.
 Konduktor 62 u. f.
 Kurbelwiderstand 82

 Ladung, elektrische 62 u. ff., 70
 Leistung, elektrische 82 u. ff.
 Leiter 20
 Lichtbogen 39 u. f.
 Linienblitz 70
Lodygin, Nikolajewitsch Alexander 34
 LötKolben, elektrischer 32

 Magnete 6 u. ff.
 Magnetismus 6
 Magnetnadel 9
 Mißweisung, magnetische 16
 Muffelofen 32 u. f.

 Nebenschluß 55
 Nichtleiter 20
 Normalelement, Quecksilber-Cadmium 56
 Normung 46

Ohm, Georg Simon 73
 Ohm (Ω) 76, 80
 Ohmsches Gesetz 76

 Parallelschaltung 39
Petrow, Wassili Wladimiro-witsch 40
 Pol, elektrischer 19

Pol. magnetischer 8	Spannung, elektrische 23	Voltampere (VA) 84
Polreagenpapier 49 u. f.	Spannungsgefälle 38 u. f.	Voltmeter 24
Polsucher 51	Stabmagnet 6, 8, 10 u. f.	
	Strom, elektrischer 18 u. ff., 64	Wärmegewitter 70
Reibungselektrizität 65	Stromkreis 19	Wasserzersetzungsgerät 49
Reihenschaltung 39, 60	Stromrichtung, technische 28, 64	Watt (W) 37, 84
	Stromstärke 26 u. f.	Wattstunde (Wh) 85
Sammler 58	Taschenlampenbatterie 56 u. f., 59	Wechselschalter 37
Schiebewiderstand 81	Tauchsieder 31	Wechselstrom 50 u. f.
Schmelzflußelektrolyse 53	Trockenelement 57	Widerstand, elektrischer 34, 73 u. ff., 78 u. ff.
Schmelzsicherung 42 u. f.	Unterbrechungsmelder 43	—, spezifischer 78 u. f.
Schweißen, elektrisches 40 u. f.	Volt (V) 24	Widerstandsgesetz 79
Selbstschalter 44	Volta, Alessandro 24	Windrose 15
Serienschalter 38		
Sicherung 42 u. ff.		
—, automatische 44 u. f.		
Silikone 20		Zone, indifferente 8

Quellenverzeichnis der Abbildungen

Werkphoto Askania VEB, Teltow: Abb. 22 · Werkphoto BBC-Bahnleitungs-Baubüro Halle: Abb. 126 · Herbert Blunck, Berlin-Mahlsdorf: Abb. 1 · Dewag-Werbung: Abb. 102, 113 · Walter Dreizner, Halle: Abb. 30 · Werkphoto Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow: Abb. 36, 89, 132 · Presse-Bild L. Gielow, Berlin-Oberschönweide: Abb. 86 · Kurt Glaß, Brocken: Abb. 115, 116 · VEB Grubenlampenwerke Zwickau: Abb. 97 · Hansjörg Hamann, Leipzig: Abb. 21 · Werkphoto VEB Keramisches Werk Hescho-Kahlia: Abb. 29 · Werkphoto IKA-Akkumulatoren-Fabrik Oberschönweide: Abb. 96, 100 · Werkphoto IKA Elektrowärme Sörnewitz: Abb. 43, 44, 51 · Lenka v. Koerber, Leipzig: Abb. 88 · Heinz Krüger, Berlin: Abb. 55, 56 · 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 · Werkphoto VEB Lokomotivbau-Elektrotechnische Werke „Hans Beimler“ Hennigsdorf: Abb. 23, 101 · Werkphoto RFT-Funkwerk Zittau-Olbersdorf: Abb. 103 · Dr. Hellmut Reuther, Dresden: Abb. 28 · Horst E. Schulze, Berlin: Abb. 69 · Werkphoto Siemens Plania Elektrotechnische AG.: Abb. 50 · W. Stehrück, Schulporta: Abb. 114 · B. G. Teubner, Leipzig: Abb. 47, 57 · A. W. Peryschkin, G. J. Fajejew, W. W. Krauklis, Physik, Teil II: Abb. 53.

Physiker-Bildnisse: Zentralbild Berlin: Alessandro Volta, André Marie Ampère, Georg Simon Ohm Paweł Nikolajewitsch Jablotschkow · A. W. Peryschkin, G. J. Fajejew, W. W. Krauklis, Physik, Teil II: Nikolajewitsch Alexander Lodygin.

