

Anhang.

1. Thermometer.

Thermometer (von θερμη Wärme und μετρεῖν messen) sind Instrumente, welche dazu dienen, Temperaturen zu messen, also zu deutsch Wärmemesser. Die der Wärmemessung dienenden Apparate gründen sich auf die Erfahrung, daß alle Körper durch Zufuhr von Wärme ausgedehnt werden, durch Entziehung von Wärme (Abkühlung) aber eine Zusammenziehung erleiden. — Zum Messen mittlerer Temperaturen benützt man vorzugsweise Flüssigkeiten. Diese zeigen jedoch eine gewisse Regelmäßigkeit der Ausdehnung durch Wärme und der Zusammenziehung durch Abkühlung nur bei Temperaturen, welche genügend weit von ihrem Siede- und Erstarrungspunkte entfernt sind; in der Nähe dieser Punkte hört die Regelmäßigkeit auf. Wasser z. B. wird durch Abkühlung kontrahiert; die Zusammenziehung erfolgt aber nur bis zu einer Temperatur von $+4^{\circ}$ C. In diesem Zustande hat es die größte Dichtigkeit. Kühlt man es weiter ab, so dehnt es sich wieder aus, bis es bei 0° fest wird (vergl. S. 51). Es ist daher einleuchtend, daß mit Wasser gefüllte Thermometer um $+4^{\circ}$ C. herum ungenaue Resultate geben würden. — Als ein vorzügliches Material für Wärmemesser hat man seit langer Zeit das Quecksilber erkannt. Dasselbe erstarrt erst bei -40° C., es siedet bei 360° C. und zeigt bei Temperaturen, die diesen beiden Punkten nicht zu nahe liegen, außerordentlich regelmäßige Ausdehnung bezw. Zusammenziehung.

Quecksilberthermometer. Man schmilzt eine sehr enge, in allen Teilen gleich weite Glasröhre¹⁾ an einem Ende zu und bläst den geschlossenen unteren Teil zu einer kleinen Kugel aus, das obere offene Ende wird zu einer feinen Spitze ausgezogen. Hierauf erwärmt man den kugelförmigen Teil der Röhre in einer kleinen Flamme und taucht alsdann die feine offene Spitze rasch in reines Quecksilber. Durch das Erwärmen war die Luft in der Röhre ausgedehnt und zum größten Teile ausgetrieben worden. Beim Erkalten zieht sich die in derselben noch vorhandene Luft wieder zusammen; so entsteht ein luftverdünnter Raum, in welchen durch den Druck der äußeren Luft Quecksilber hineingetrieben wird. Hatte man geschickt operiert,

¹⁾ Um zu entscheiden, ob die Glasröhre in allen Teilen gleich weit ist, bringt man in dieselbe Quecksilbertröpfchen und beobachtet, ob der sich bildende Quecksilberfaden in allen Teilen der Röhre gleiche Länge hat.

so ist das Quecksilber bis in die Kugel eingedrungen und in derselben nur noch wenig Luft vorhanden. — Man richtet nun die Röhre wieder auf und erwärmt ihren kugelförmigen Teil so lange, bis alle Luft verdrängt ist, das Quecksilber die ganze Röhre als kontinuierliche Säule erfüllt und an der oberen Oeffnung austritt. Man taucht nun die Röhre wieder rasch in Quecksilber, läßt von neuem Quecksilber eintreten und kocht wieder aus. Hat man hinreichende Mengen Quecksilber in der Kugelhöhle, so kocht man von neuem aus, bis das Quecksilber an der oberen Oeffnung austritt. Hierauf wird das dünnere Ende sofort ab- und zugeschmolzen. Die so vorbereitete „Thermometerröhre“ muß nun eine Gradeinteilung oder Skala erhalten, welche dem Beobachter aus dem Stande des Quecksilbers sofort die Temperatur anzeigt. Als wichtig sollen hier die Skalen von *Celsius*, *Réaumur* und *Fahrenheit* besprochen werden.

1. Thermometer nach *Celsius*. Die Thermometerröhre wird in schmelzendes Eis oder schmelzenden Schnee¹⁾ gebracht. Nach einiger Zeit stellt sich der Quecksilberfaden an einer bestimmten Stelle ein, welche durch eine Marke gekennzeichnet wird. Hierauf setzt man die Röhre den Dämpfen siedenden Wassers bei 760 mm Barometerdruck aus. Derjenige Punkt, bei welchem sich die Quecksilbersäule konstant einstellt, wird als Siedepunkt des Wassers gleichfalls markiert. Diese beiden, eben festgestellten Punkte heißen die Fundamentalpunkte, der zwischen ihnen liegende Raum der Fundamentalabstand. Bei den Celsiusschen Thermometern wird der Punkt, bei dem sich die Quecksilbersäule in schmelzendem Schnee einstellt, mit 0 bezeichnet und der Fundamentalabstand in 100 gleiche Teile oder Grade eingeteilt, so daß der Siedepunkt des Wassers bei 100° C. liegt. Für Temperaturen unterhalb 0° gelten die nämlichen Grade als Einheit, und man pflegt die oberhalb 0° liegenden Grade als Wärme- oder +Grade, die unterhalb 0° liegenden aber als Kälte- oder —Grade zu bezeichnen. Die Celsiussche Einteilung ist namentlich in Frankreich gebräuchlich, ist aber auch gegenwärtig in Deutschland allen amtlichen und öffentlichen Angaben zu Grunde zu legen.

Wissenschaftlichen Angaben liegt, wenn etwas anderes nicht ausdrücklich bemerkt ist, stets die Celsiussche Einteilung zu Grunde. — Ganz bestimmt ist dies der Fall, wenn den Zahlen der Buchstabe C. beigefügt ist.

2. Thermometer nach *Réaumur*. Die Fundamentalpunkte sind die gleichen wie bei dem vorigen. Der Fundamentalabstand jedoch ist in 80 gleiche Teile eingeteilt, so daß der Siedepunkt des Wassers bei 80° R. liegt. Für Temperaturen unter 0° gelten die nämlichen Grade als Einheit. Zur Kennzeichnung der Angaben nach dieser Skala wird den Zahlen der Buchstabe R. zugefügt. — Diese Thermometer sind namentlich in Deutschland bei Privaten leider noch ziemlich verbreitet.

¹⁾ Die Temperatur, bei welcher Schnee oder Eis schmelzen, ist konstant. Das Erstarren bzw. Gefrieren des Wassers kann unter Umständen bei verschiedenen Temperaturen erfolgen (s. Aggregatzustände). Es ist daher wichtig, für diese Bestimmung schmelzendes Eis oder schmelzenden Schnee zu verwenden.

3. Thermometer nach *Fahrenheit*. Bei diesen wird der Nullpunkt nicht durch die Temperatur schmelzenden Eises, sondern durch eine, eine bestimmte Kälte erzeugende Mischung von Schnee und Ammoniumchlorid festgestellt. Den Punkt, bei welchem sich das Quecksilber in einer solchen Mischung einstellt, markierte *Fahrenheit* als Nullpunkt. Als zweiten Fundamentalpunkt wählte auch er den Siedepunkt des Wassers und teilte den Fundamentalabstand in 212 gleiche Teile oder Grade. Daß Temperaturangaben die *Fahrenheitsche* Skala zu Grunde liegt, wird durch Beisetzung des Buchstabens *F.* ausgedrückt. Diese Thermometer sind besonders in England im Gebrauch. Sie haben den Vorzug, daß bei ihnen innerhalb mittlerer Temperaturen die Unterscheidung von Wärme- und

Kältegraden fortfällt; dagegen muß ihnen der Vorwurf gemacht werden, daß die Einteilung ihrer Skala eine durchaus willkürliche ist.



Thermometerreduktionen. Ein Blick auf die nebenstehenden Skalen zeigt uns, daß die Thermometer von *Celsius* und *Réaumur* zueinander in einem ziemlich einfachen Verhältnisse stehen. Die Fundamentalpunkte sind die gleichen, die Einteilung des Fundamentalabstandes dagegen erfolgt bei *C.* in 100 Tl., bei *R.* in 80 Tl. Es sind also $100^{\circ} \text{C.} = 80^{\circ} \text{R.}$ oder $10^{\circ} \text{C.} = 8^{\circ} \text{R.}$ Es verhalten sich also kurz gesagt *Celsius*sche Grade zu *Réaumur*schen wie 5:4. — Wollen wir also Grade nach *Celsius* in Grade nach *Réaumur* umwandeln, so müssen wir von den Graden nach *C.* den fünften Teil abziehen. So sind z. B. $20^{\circ} \text{C.} = 16^{\circ} \text{R.}$ oder $30^{\circ} \text{C.} = 24^{\circ} \text{R.}$ Umgekehrt müssen wir, um *Réaumur*sche Grade in *Celsius*sche umzurechnen, den ersteren den vierten Teil zuzählen. So sind z. B. $12^{\circ} \text{R.} = 15^{\circ} \text{C.}$ oder $40^{\circ} \text{R.} = 50^{\circ} \text{C.}$

Erheblich komplizierter ist die Reduktion der *Fahrenheitschen* Grade in solche nach *Celsius* oder *Réaumur* und umgekehrt. Das obige Schema zeigt uns, daß der Schmelzpunkt des Eises — also der Nullpunkt der *Celsius*schen und *Réaumur*schen Thermometer — bei 32°F. liegt. Da nun die ganze Skala in 212 Grade eingeteilt ist, so liegen zwischen dem Schmelzpunkt des Eises und dem Siedepunkt des Wassers $212 - 32$, also 180°F. Es verhalten sich demnach Grade nach *Fahrenheit* zu Graden nach *Celsius* oder *Réaumur* nach ihrer räumlichen Ausdehnung wie 18:10 bzw. 18:8.

Gesetzt wir hätten $+24^{\circ} \text{C.}$ in *Fahrenheit* umzurechnen, so verfahren wir folgendermaßen:

$$10 : 18 = 24 : x \quad x = 43,2.$$

Dieser gefundenen Zahl aber müssen wir noch die unterhalb des Schmelzpunktes des Eises liegenden 32°F. hinzuzählen: $43,2 + 32 = 75,2 \text{ F.}$ Es sind also $24^{\circ} \text{C.} = 75,2^{\circ} \text{F.}$

Wollen wir umgekehrt Grade nach *F.* in Grade nach *C.* oder *R.* umrechnen, so müssen wir bei allen über 32 liegenden Graden *F.* erst 32 abziehen und dann die Reduktion ausführen. Wie viel Grade nach *R.* sind 122°F. ?

$$122 - 32 = 90 \quad 18 : 8 = 90 : x \quad x = 40^{\circ} \text{R.}$$

Bei Reduktion von Graden nach *Celsius* oder *Réaumur*, die unterhalb 0° liegen, in Grade nach *Fahrenheit* findet natürlich eine Addition von 32 nicht statt, ebenso kann auch bei Graden nach *Fahrenheit*, die weniger als 32 betragen, die Zahl 32 nicht abgezogen werden. In diesen Fällen tritt eben die Reduktion lediglich nach den einfachen räumlichen Verhältnissen 18:10 bzw. 18:8 ein.

Da das Quecksilber bei -40°C . erstarrt und bei $+360^{\circ}\text{C}$. siedet, so lassen sich Temperaturen unterhalb -30°C . und oberhalb $+300^{\circ}\text{C}$. mit Quecksilberthermometern nicht mehr genau messen. In unseren Gegenden kommen so starke Kältegrade wohl kaum vor, es werden sich daher diese Thermometer für den täglichen Gebrauch als ausreichend erweisen. Für wissenschaftliche Arbeiten jedoch ist bisweilen die Messung niedrigerer Temperaturen erforderlich. Man benutzt dazu Thermometer, welche an Stelle des Quecksilbers gefärbten, wasserfreien Alkohol enthalten. Die durch die Kälte bewirkte Zusammenziehung und durch Wärmezufuhr wieder erfolgende Ausdehnung des Alkohols gibt einen genügenden Maßstab für die Temperaturmessung. Da der Alkohol erst unterhalb -100°C . erstarrt, so eignen sich diese Thermometer besonders zur Messung sehr niedriger Temperaturen.

Um höhere Temperaturen zu messen, bedient man sich für wissenschaftliche Zwecke der sog. Luftthermometer. Diese sind darauf basiert, daß sich die Luft bei den gegenwärtig beobachteten Temperaturen sehr regelmäßig ausdehnt bzw. zusammenzieht. Die Ausdehnung der Luft wird durch den Druck gemessen, den sie auf eine Quecksilbersäule ausübt. Für gröbere, namentlich praktische Zwecke hat man sog. Pyrometer. Es sind das Zylinder aus Ton oder Platin, aus deren Volumenveränderung man auf die betreffenden Hitzegrade einen durch praktische Erfahrungen berechtigten Schluß ziehen kann; für viele Zwecke benutzt man auch Metallegierungen oder Porzellankegel von bekanntem Schmelzpunkt. — Einen Anhalt für ungefähre Schätzungen gibt außerdem die Farbe, die ein Körper bei höheren Temperaturen annimmt. Durch allmähliche Wärmezufuhr wird ein Körper rotglühend bis weißglühend und durchläuft mehrere Stadien, deren Temperaturen annähernd festgestellt sind. Dunkelrotglühend ist ein Körper zwischen 700 und 900°C ., hellrotglühend zwischen 900 und 1200°C ., weißglühend bei etwa 1500°C .

Maximal- und Minimalthermometer. Namentlich für meteorologische Beobachtungen ist es erwünscht, die höchste und niedrigste Temperatur, welche innerhalb eines beliebigen Zeitabschnittes stattfand, kennen zu lernen. Solche Thermometer, welche selbsttätig diese Auskunft geben, nennt man Maximal- und Minimalthermometer. — Zwei Thermometer sind horizontal auf einem Brette befestigt, doch so, daß die Kugeln nach entgegengesetzten Richtungen liegen. Das eine Thermometer ist mit Quecksilber, das andere mit Weingeist gefüllt. Das erstere zeigt die höchste Temperatur (das Maximum) an, indem bei steigender Temperatur von dem Quecksilber ein feiner Stahlstift vorwärts geschoben wird, der, wenn das Quecksilber bei abnehmender Temperatur sich zusammenzieht, liegen bleibt. In dem Weingeistthermometer liegt ein Glaskörperchen, welches beim Zusammenziehen der Flüssigkeit, also bei Abnahme der Temperatur, mitgenommen wird, aber liegen bleibt, wenn die Flüssigkeit sich wieder ausdehnt. — Hat man die Ablesung gemacht, so werden durch sanftes Neigen des Brettes die beiden Körperchen wieder in ihre normale Lage zurückgebracht, und das Instrument ist zu weiterem Gebrauche fertig.

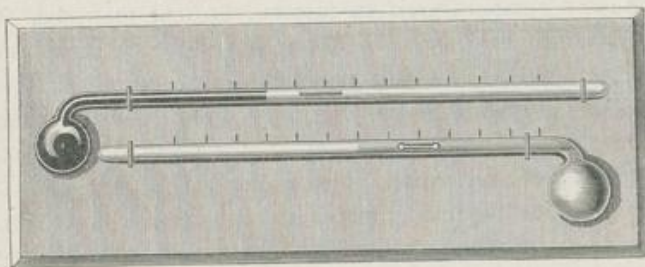
Benutzung der Thermometer. Wohl kein anderes, wissenschaftlichen Zwecken dienendes Instrument ist in gleicher Weise auch in nicht wissenschaftlichen

Kreisen verbreitet, als gerade das Thermometer. Kein anderes dient wie dieses so mannigfachen praktischen Zwecken. Und doch ist über die Methodik seiner Benutzung in manchen Kreisen so wenig bekannt.

Je nach dem Zwecke, welchem ein Thermometer dienen soll, richtet sich die äußere Ausstattung desselben. Zu chemischen Zwecken dienende besitzen meist eine schlanke zylindrische Form, die eine Einführung in Kolben etc. leicht möglich macht. Solche, welche zur Messung heißer Flüssigkeiten — Badethermometer, Maischthermometer — dienen, sind in der Regel mit einer Holzfassung umkleidet. Zimmerthermometer sind meist in der Weise eingerichtet, daß die Thermometerröhre auf einem Brettchen befestigt ist, welches die Skala enthält.

Im praktischen Leben wird das Thermometer wohl am häufigsten zur Messung der Lufttemperatur angewendet; aber gerade in dieser Beziehung ist sein Gebrauch ein vielfach unrichtiger. Meist begnügt sich der Beobachter damit, dem Instrument einen schattigen Platz anzuweisen, und glaubt dann, sein „Thermometer im Schatten“ zeige ihm nun die wirkliche richtige Lufttemperatur an. Das ist ein Irrtum. Die direkten

Fig. 58.



Sonnenstrahlen sind gar nicht im stande, die Luft direkt zu erwärmen, sie gehen durch diese hindurch, ohne ihre Temperatur zu erhöhen. Gelangen sie jedoch auf den Erdboden, so werden sie von diesem aufgenommen, in dunkle Wärmestrahlen umgewandelt und sind nun allerdings im stande, die in der Nähe des Erdbodens befindlichen Luftschichten zu erwärmen. Und wie der Erdboden verhalten sich die meisten anderen festen Körper, z. B. Mauern, Pfähle etc. Es findet also die Erwärmung der Luft nicht durch die direkten Sonnenstrahlen, sondern durch die vom Erdboden oder anderen Körpern ausgestrahlte Wärme statt. Daraus ergibt sich, daß die Lufttemperatur unter günstig gewählten Versuchsbedingungen in der Sonne die gleiche sein muß als im Schatten. Will man also die wirkliche Lufttemperatur erfahren, so hänge man sein Thermometer so auf, daß es von der Wärmestrahlung des Erdbodens und der Umgebung möglichst wenig beeinflusst wird. Man bringe es also nicht etwa in unmittelbarer Nähe eines Gebäudes an, z. B. am Fenster, sondern stelle es möglichst im Freien in einem hölzernen Gehäuse auf, welches der Luft nach allen Richtungen möglichst Zutritt gewährt (Wettersäulen).

Behandlung der Thermometer. Sie sind vor plötzlichen Erschütterungen, namentlich vor zu plötzlichem Temperaturwechsel, sorgfältig zu schützen. Im Verlaufe der Zeit verändern sich auch die besten Thermometer infolge einer Kontraktion des Glases, „sie gehen herauf“. Es müssen diese Instrumente daher ab und zu revidiert werden. Thermometer aus „Jenaer Normalglas“ (erkenntlich an einem eingeschmolzenen roten Faden) zeigen diese Uebelstände nur in sehr geringem Maße. Thermometer aus Jenaer Normalglas werden zur Eichung durch die Normal-Eichungskommission zugelassen.

2. Barometer.

Toricellis Versuch. Füllt man eine etwa 1 m lange, an einem Ende geschlossene Glasröhre ganz mit Quecksilber an und taucht dann das offene Ende, indem man die Oeffnung mit dem Finger verschließt, in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß, so zeigt es sich, daß beim Entfernen des Fingers das Quecksilber aus der Röhre nicht vollkommen ausfließt, sondern an einem Punkte der Röhre stehen bleibt, der von der Oberfläche des Quecksilbers in dem Gefäße ungefähr 760 mm entfernt ist. Dieser Versuch war 1643 von *Toricelli*, einem Schüler *Galileis*, angestellt worden und hat nach ihm den als Ueberschrift genannten Namen erhalten. Der über dem Quecksilber befindliche leere Raum heißt die *Toricellische Leere* (*Vacuum Toricellianum*).

Schon *Toricelli* erläuterte den von ihm angestellten Versuch dahin, daß das Quecksilber durch den Druck der Luft im Gleichgewicht erhalten würde. Es gelang ihm jedoch nicht, seine Zeitgenossen von der Richtigkeit dieser Annahme zu überzeugen, da *Galilei* für eine analoge Erscheinung, nämlich das Aufsteigen von Wasser in Saugpumpen, als Ursache den *Horror vacui*, d. h. das Bestreben der Natur, leere Räume auszufüllen, angegeben hatte. Durch einen von *Pascal* 1648 angeregten Versuch wurde diese Frage dahin entschieden, daß in der Tat der Luftdruck das Aufsteigen des Quecksilbers verursache. *Pascal* veranlaßte einen Verwandten, mit einem gefüllten *Toricellischen* Apparat den *Puy-de-Dôme* — einen 970 m hohen Berg in Frankreich — zu besteigen. Dabei ergab es sich, daß am Fuße des Berges das Quecksilber in der Röhre wohl den gewöhnlichen Stand zeigte, daß es aber immer mehr sank, je höher man sich vom Erdboden entfernte; beim Abstieg zu Tale fing es wieder an zu steigen und nahm in der Ebene wieder seinen ursprünglichen Stand ein. Durch diesen Versuch war bewiesen, daß das Quecksilber in der *Toricellischen* Röhre wirklich durch den Druck der umgebenden Luft im Gleichgewicht erhalten werde, und zugleich der Gedanke nahegelegt, den Stand des Quecksilbers im *Toricellischen* Apparat zur Messung des Luftdruckes zu benutzen. Solche Apparate, welche zur Messung des Luftdruckes dienen, heißen *Barometer*, von βαρῶς (schwer), μετρέω (messen), und, wenn sie Quecksilber enthalten, *Quecksilberbarometer*.

Fig. 59.

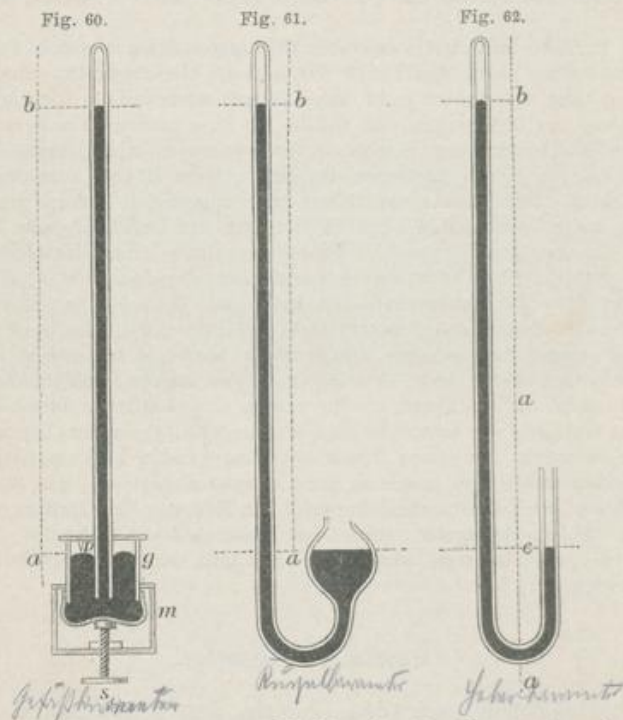


Quecksilberbarometer.

Sie sind sämtlich nach dem Prinzip der *Toricellischen* Röhre konstruiert; nach ihren verschiedenen Formen unterscheidet man *Gefäßbarometer*, *Phiolenbarometer* und *Heberbarometer*.

1. Gefäßbarometer entsprechen vollkommen dem ursprünglichen *Toricellischen* Instrumente: eine etwa 800 mm lange, einseitig geschlossene Glasröhre wird mit Quecksilber gefüllt und mit dem offenen Ende in Quecksilber getaucht. Eine am Rohre angebrachte, in Millimeter geteilte Skala ermöglicht, den Stand des Quecksilbers abzulesen. Als Nullpunkt der Skala wird das mittlere Niveau des Quecksilbers in dem unteren Gefäß angenommen. — Dieses Instrument hat die Nachteile, daß es zu seiner Füllung sehr viel Quecksilber beansprucht, sowie daß, während der Nullpunkt der Skala ein- für allemal festgelegt ist, das Niveau des unteren Gefäßes sich verändert, je nachdem das Quecksilber in dem Rohre

fällt oder steigt, so daß die Ablesungen ungenau werden. Dem letzteren Uebelstande hat man dadurch abgeholfen, daß man das Niveau des unteren Gefäßes beweglich machte. In Fig. 60 steht die Barometerröhre in einem gläsernen Zylinder *g*, der unten durch eine Lederüberbindung geschlossen ist und in den weiteren Messingzylinder *m* eingesetzt ist. Am Deckel des Glases ist eine Elfenbeinspitze *p* eingesetzt, welche den Nullpunkt markiert. Man hebt oder senkt mittels der Schraube *S* das in dem Ledersacke befindliche Quecksilber so lange, bis das Elfenbeinstäbchen *p* genau das Niveau des Quecksilbers berührt. Das Niveau des Quecksilbers in



dem Gefäße steht dann genau am Nullpunkt der Barometerröhre und die Ablesung fällt korrekt aus.

2. **Phiolenbarometer.** Bei diesem ist das Gefäß durch eine seitlich angebrachte, birnenförmig erweiterte Kugel ersetzt. Diese Instrumente bedürfen zwar weniger Quecksilber wie die vorigen, sie haben mit diesen aber den Uebelstand gemein, daß die Ablesungen des veränderlichen Nullpunktes wegen nicht ganz genau ausfallen (Fig. 61).

3. **Heberbarometer.** Es besteht aus einer genau kalibrierten Röhre, welche so gebogen ist, daß der eine Schenkel etwa 1 m lang, der andere aber stark verkürzt ist. Der längere Schenkel wird zugeschmolzen. Derselbe entspricht nach dem Füllen des Apparates mit Quecksilber der Toricellischen Röhre, der kürzere, nur zum Teil mit

Quecksilber gefüllte Schenkel vertritt die Stelle des Gefäßes (Fig. 62). — Dieses Instrument gestattet genaue Ablesungen; denn da die Röhre in beiden Schenkeln gleich weit ist, so steigt das Quecksilber in dem einen Schenkel stets um ebensoviel, als es in dem anderen Schenkel fällt. Das Ablesen wird vereinfacht, indem man die Skala entweder beweglich macht und dann jedesmal den Nullpunkt derselben auf das Niveau des Quecksilbers in dem kürzeren Schenkel einstellt, oder indem man beide Schenkel mit einer eingezähten Teilung versieht. Des längeren Schenkels Teilung beginnt mit Null in der Höhe des Endes des kürzeren und läuft nach oben hin. Bei dem kürzeren Schenkel beginnt die Teilung von seiner oberen Oeffnung nach unten hin. Addiert man diejenigen Zahlen, bei denen sich das Quecksilber in beiden Schenkeln einstellt, so hat man den Barometerstand.

Die Brauchbarkeit eines Quecksilberbarometers hängt von verschiedenen Bedingungen ab:

1. Das geschlossene Rohr muß die nötige Länge, fast 1 m, besitzen. Die Röhre darf nicht zu eng sein, damit das Quecksilber nicht kapillarisch von den Glaswandungen in die Höhe gezogen wird.

2. Der Raum über dem Quecksilber (die Toricellische Leere) muß wirklich luftleer sein, damit das Steigen des Quecksilbers nicht durch eingeschlossene Luft beeinträchtigt wird. — Diese Bedingung ist schwer zu erfüllen, da die Luft der Glaswandung hartnäckig anhaftet und außerdem das Quecksilber gleichfalls Luft absorbiert enthält. Man erreicht den gewünschten Zweck dadurch, daß man das Quecksilber in dem Rohr auskocht, bis alle Luft ausgetrieben ist.

3. Das zum Füllen benützte Quecksilber muß chemisch rein sein. — Die Höhe der Barometersäule hängt von dem spez. Gewicht der eingefüllten Flüssigkeit ab. — Enthält nun das verwendete Quecksilber erhebliche Mengen anderer Metalle, so ändert sich das spez. Gewicht desselben und damit die Höhe der Barometersäule.

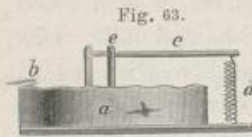
4. Bei allen Ablesungen ist das Instrument in lotrechte Lage zu bringen; als Marke dient stets der höchste Punkt der konvexen Quecksilberoberfläche.

Aneroidbarometer.

Die Quecksilberbarometer sind, wo es sich um stationäre Verwendung handelt, vorzüglich brauchbare Instrumente. Will man sie aber für wissenschaftliche Untersuchungen bei sich führen, so ist ihr Transport der leichten Zerbrechlichkeit wegen mit vielen Unannehmlichkeiten verknüpft. Es wurde daher die Erfindung metallener, wenig zerbrechlicher Barometer, der sog. Aneroidbarometer (von *à* privat. und *ἄερρον* gehe zu Grunde), mit Freuden begrüßt. Sie sind gegenwärtig namentlich in zwei Konstruktionen verbreitet.

Eine metallene Kapsel *a* ist mit einem elastischen, wellenförmig gestalteten Deckel *b* verschlossen und luftleer gemacht. Durch den Druck der äußeren Luft würde der Deckel in die Kapsel gedrückt werden; dies wird indes verhindert durch die Spirale *d*, welche mittels des Hebels *c*, welcher in *e* drehbar ist, den Kapseldeckel so weit hebt, daß er der äußeren Luft das Gleichgewicht hält. — Nimmt der äußere Luftdruck zu,

so wird der elastische Deckel entsprechend in den luftleeren Raum hineingedrückt; nimmt der Luftdruck dagegen ab, so wird der Deckel durch die Spirale in die Höhe gehoben. Diese Bewegungen werden auf einen Zeiger übertragen und können an der beigefügten Skala abgelesen werden.



Die Aneroidbarometer oder *Holosteriques* sind sehr leicht transportabel und wenig zerbrechlich. Für den Zimmergebrauch werden sie in etwas größerem Format, für den Reisegebrauch etwa in der Größe von Taschenuhren angefertigt. Sie funktionieren anfänglich recht gut, mit der Zeit aber vermindert sich die Elastizität der Metallgehäuse und der Spiralen, und die Angaben werden ungenau. Man muß daher solche Barometer von Zeit zu Zeit mit einem richtigen Quecksilberbarometer vergleichen.

Die Anwendung der Barometer geschieht durchweg auf Grund der Tatsache, daß sie den Druck der Luft anzeigen. Der letztere entspricht am Meeresspiegel einer Quecksilbersäule von durchschnittlich 760 mm Höhe und wird als normaler Barometerstand angenommen. Bei wissenschaftlichen Untersuchungen werden die Resultate, falls das Gegenteil nicht ausdrücklich angegeben ist, stets auf diesen Barometerstand (760 mm) berechnet, außerdem wird derselbe in der Regel für die Temperatur von 0° reduziert, denn durch höhere Temperaturen erfährt das Quecksilber eine Ausdehnung, welche für wissenschaftliche Beobachtungen von der Barometerhöhe abzuziehen ist.

Von den vielen Anwendungen, welche das Barometer erfährt, wollen wir nur anführen die Höhenmessung (*Hypsometrie*) und die Wetterprognose.

1. Höhenmessung. Die Dichte der Luftschicht nimmt mit der Erhebung von der Erdoberfläche in fast proportionalem Verhältnis ab. Es beruht dies darauf, daß die Luft ein Körper ist, daß also die unteren Schichten unter dem Druck des gesamten Luftmantels, höher gelegene Schichten aber nur unter dem Druck eines Teiles des Luftmantels stehen. Ist man also im stande, den Luftdruck zu bestimmen, so kann man aus diesem einen ziemlich genauen Schluß auf die Höhe eines Punktes ziehen. Nur ist es notwendig, daß man, beispielsweise bei der Messung eines Berges, zu der nämlichen Zeit Barometerbeobachtungen im Tale anstellt, da ja der Luftdruck, wie wir gleich sehen werden, kein konstanter ist, sondern stetig wechselt. Aus der Differenz der Barometerstände läßt sich die Höhe eines Punktes berechnen. Für diese Zwecke sind in recht praktischer Weise kleine Aneroidbarometer konstruiert, deren Skala aus dem Barometerstande sofort die Ablesung der Höhe in Metern gestattet.

2. Wetterprognose. Neben dem Thermometer ist wohl das Barometer in seiner Eigenschaft als Wetterprophet das populärste wissenschaftliche Instrument.

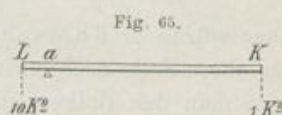
Die Anwendung des Barometers zu diesem Zwecke beruht darauf, daß trockene Luft spezifisch schwerer ist als Wasserdampf. Es wird daher der Druck der Luft auf die Quecksilbersäule umso größer sein, je geringer der Feuchtigkeitsgehalt der Luft ist; umgekehrt wird der Luftdruck abnehmen, je mehr die Atmosphäre mit Wasserdämpfen gesättigt ist. Da nun Niederschläge in Form von Regen etc. um so sicherer zu erwarten sind, je mehr die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt ist, so gibt das Fallen oder Steigen des Barometers einen immerhin brauchbaren Anhalt für Beurteilung des kommenden Wetters. Hierzu kommt noch der Umstand, daß durch den steigenden oder abnehmenden Luftdruck uns unter Umständen Feuchtigkeitsdifferenzen von hochgelegenen Luftschichten angezeigt werden können, von denen wir nach der Beurteilung der unteren Luftschichten nichts wissen würden.

3. Wagen.

Alle irdischen Körper ziehen sich gegenseitig an; die Stärke der Anziehungskraft ist proportional der Masse der Körper, d. h. sie ist umso größer, je größer die Masse eines Körpers ist. In dieser Weise äußern alle Körper, welche auf der Erde sich befinden, Anziehungskräfte aufeinander. Dieselben aber sind verschwindend gering im Vergleich zu der Kraft, mit welcher die Erde infolge ihrer großen Masse alle irdischen Körper anzieht. Diese Kraft nennen wir die Anziehungskraft der Erde, Schwerkraft oder Gravitation. Wir denken sie uns im Mittelpunkte der Erde konzentriert und schließen auf ihr Vorhandensein aus der Tatsache, daß alle Körper nach der Richtung des Erdzentrums hin angezogen werden. — Entfernen wir einen Körper von der Erdoberfläche, so zeigt er das Bestreben, wieder zu dieser zurückzukehren, „er fällt zu Boden“. Verhindern wir das Herabfallen dadurch, daß wir ihn aufhängen oder ihm eine genügend starke Unterlage geben, so wird dadurch die Anziehungskraft der Erde nicht aufgehoben; sie bleibt vielmehr bestehen und äußert sich durch den Zug bzw. Druck, den der am Fallen gehinderte Körper auf seine Unterlage bzw. sein Befestigungsmittel ausübt. — Diesen Druck (oder Zug) nennen wir das (absolute) Gewicht eines Körpers. Dasselbe ist proportional der Masse der Körper, weil ja die Kraft, mit welcher Körper sich gegenseitig anziehen, proportional ihrer Masse ist.

Unter Wagen verstehen wir Instrumente, welche dazu dienen, das Gewicht oder die Schwere der Körper festzustellen, bzw. mit demjenigen bekannter Körper (der Gewichte) zu vergleichen. Da die für uns in Frage kommenden Wagen sämtlich auf den Hebelgesetzen basieren, so sollen zunächst die wichtigsten der letzteren besprochen werden.

Unter einem physischen Hebel verstehen wir einen um einen Punkt drehbaren (gewöhnlich langgestreckten) Körper. Liegt der Dreh-



punkt an dem einen Ende des Hebels, so ist der Hebel ein einarmiger; liegt er dagegen zwischen den beiden Enden, so ist der Hebel zweiarbig. Sind im letzten Falle beide Hebelarme gleich lang (Fig. 64), so ist der Hebel ein gleicharmiger, trifft dies nicht zu, so ist er ungleicharmig (Fig. 65).

Ein gleicharmiger Hebel ist im Gleichgewicht, wenn an beiden Enden gleiche Kräfte wirken, wenn also die Kraft $K =$ der Last L ist. — Ein ungleicharmiger Hebel dagegen ist im Gleichgewicht, wenn Kraft und Last sich umgekehrt verhalten wie die Länge der Hebelarme. In Fig. 65 ist die Last $L = 10$ kg; die Kraft K am längeren Hebelarme beträgt 1 kg. Der Hebel KL wird im Gleichgewicht sein, wenn aK 10mal länger ist als aL .

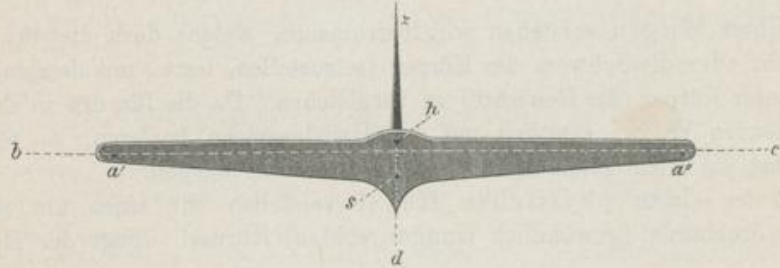
Die gebräuchlichsten Wagen sind Anwendungen des gleicharmigen Hebels. Der wichtigste Bestandteil derselben ist der Wagebalken (Fig. 66), ein in besonderer Weise konstruierter gleicharmiger Hebel. —

An demselben sind nachstehende Punkte und Teile zu unterscheiden: der Unterstützungspunkt h (das *Hypomochlium*), der Schwerpunkt s , die Aufhängepunkte a' und a'' und die Zunge z .

Ein richtig konstruierter Balken muß nachstehende Anforderungen erfüllen:

1. Der Unterstützungspunkt muß senkrecht etwas oberhalb des Schwerpunktes liegen. Fielen Schwerpunkt und Unterstützungspunkt zusammen (man denke an eine im Mittelpunkte drehbare kreisrunde Scheibe), so würde der Balken bei gleicher Belastung in jeder Lage im Gleichgewichte sein, er würde also nicht schwingen; bei der geringsten Belastungsdifferenz auf einer Seite würde er, ohne zu schwingen, sich stark neigen oder ganz hinab sinken. — Läge jedoch der Unterstützungspunkt unterhalb des Schwerpunktes, so würde der Balken bei gleicher Belastung zwar im Gleichgewicht sein, bei der geringsten Belastungs-

Fig. 66.



differenz aber würde er überschnappen, d. h. er würde das Bestreben haben, seine obere Seite nach unten zu kehren. — Man findet den Schwerpunkt, indem man den Balken mit seiner flachen Seite auf einem spitzen Gegenstande balancieren läßt.

2. Die Entfernung vom Unterstützungspunkt zu den beiden Aufhängepunkten muß die gleiche sein, d. h. der Balken muß gleichschenkelig sein. Wäre dies nicht der Fall, so würde ein an dem kürzeren Arme wirkendes Gewicht einem gleichen, am längeren Arme wirkenden nicht das Gleichgewicht halten können.

3. Die Aufhängepunkte müssen mit dem Unterstützungspunkte in einer Ebene liegen, d. h. man muß sie durch eine gerade Linie bc verbinden können. Läge der Unterstützungspunkt unterhalb dieser Linie, so würden bei zunehmender Belastung Schwerpunkt und Unterstützungspunkt allmählich zusammenfallen. Der Balken würde dann bei gleicher Belastung nicht mehr schwingen und durch ein geringes Uebergewicht einen bedeutenden Ausschlag, ohne zu schwingen, zeigen. Läge umgekehrt der Unterstützungspunkt über dieser Linie, so würde bei zunehmender Belastung der Schwerpunkt immer tiefer sinken und die Wage dadurch unempfindlicher werden.

Schwerpunkt und Unterstützungspunkt dürfen also niemals zusammenfallen; der erstere muß senkrecht unter dem letzteren liegen. Je weiter nun diese beiden Punkte auseinander liegen, umso weniger empfindlich ist eine Wage; die Empfindlichkeit steigt, je mehr sich beide Punkte nähern. An besseren Wagen ist senkrecht ober- oder unterhalb des Schwerpunktes, z. B. in *d*, eine verstellbare Schraube angebracht. Durch Verstellen derselben kann der Schwerpunkt dem Unterstützungspunkt genähert oder von ihm entfernt und dadurch die Empfindlichkeit der Wage reguliert werden.

Auch das Material und die Bearbeitung des Balkens sind für sein Funktionieren von Wichtigkeit. Der Balken darf nicht zu schwer sein, doch muß er genügende Festigkeit, dabei möglichst wenig Elastizität besitzen, damit die Aufhängepunkte mit dem Unterstützungspunkte in einer Ebene bleiben. Stahl oder Eisen benutzt man nur für ganz grobe Wagebalken; für bessere Wagen ist sorgfältig gehämmertes Messing ein vorzügliches Material; für die feinsten Wagebalken wird gegenwärtig das leichte, aber feste Aluminium verwendet. — Damit an dem Unterstützungspunkte und den Aufhängepunkten möglichst wenig Reibung vorhanden ist, und die Gewichte auch wirklich an diesen Punkten wirken, gibt man diesen die Form dreikantiger Achsen aus gehärtetem Stahl und läßt ihre Schneiden auf Pfannen von Stahl oder Achat spielen. — Bei den Säulenwagen ruht der Balken auf einer feststehenden Stahl- oder Achatpfanne, bei den Handwagen in der sog. Schere.

Da die Empfindlichkeit einer Wage bei zunehmender Belastung, weil der Schwerpunkt sinkt, abnimmt und hierbei die Eigenschwere des Instrumentes gleichfalls in Frage kommt, so pflegt man für verschiedene Gewichtsmaxima verschiedene Wagen zu besitzen. Eine Notiz auf dem Balken gibt an, welche größte Tragfähigkeit einer solchen Wage zugemutet werden darf. Eine gut konstruierte Wage muß bei voller Belastung noch etwa $\frac{1}{10\ 000}$ Tl. der Maximalbelastung durch einen deutlichen Ausschlag anzeigen, d. h. eine 10 g-Wage muß bei Belastung mit 10 g auf beiden Seiten noch durch 0,001 g einen deutlichen Ausschlag zeigen. — Eine Wage mit 0,5 kg muß noch deutlich bei voller Belastung 0,05 g anzeigen u. s. w.

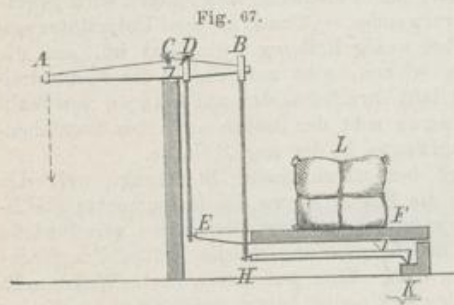
Die Prüfung und Behandlung einer Wage ergibt sich nach dem Gesagten von selbst. Es handelt sich zunächst darum, festzustellen, ob die genannten Bedingungen erfüllt sind; die Behandlung muß bezwecken, den Status praesens zu erhalten. Zur Prüfung bringe man die Wage durch Auflegen von Papierstückchen etc. ins Gleichgewicht und tariere dann irgend einen Gegenstand, indem man kleine Schrote in ein Behältnis wirft, recht genau. Ist vollkommenes Gleichgewicht erzielt, so muß, wenn man jetzt Gegenstand und Gewicht auswechselt, das Gleichgewicht erhalten bleiben, anderenfalls wäre die Wage nicht gleicharmig. Um die Empfindlichkeit zu prüfen, beschwert man die Wage beiderseits mit der höchsten zulässigen Belastung und sieht dann, welches geringste Gewicht im stande ist, einen deutlichen Ausschlag hervorzu bringen. Erfüllt die Wage diese Bedingungen und schwingt sie dabei ruhig und gleichmäßig, so ist sie richtig konstruiert. — Um Wagen im guten Zustande zu erhalten, muß man sie vor schädlichen (Säuredämpfen) und gewaltsamen (Stöße, zu große Belastung) Einflüssen möglichst schützen. Die Reinigung des Balkens beschränke sich auf ein Entfernen des Staubes mit einem Pinsel; die Schneiden und Pfannen werden mit Leder abgerieben. Um dieselben vor Rost zu schützen, darf man sie mit einer minimalen Menge Vaseline abreiben, doch sei man damit vorsichtig, denn ein wenig zu viel erzeugt Adhäsion zwischen Schneide und Pfanne, und Adhäsion schädigt die Empfindlichkeit der Wage. Um Säulenwagen vor unnützem Schwingen zu schützen, beschwert man sie einseitig, etwa mit den Tarierebechern, feinere Instrumente besitzen „Arretierungen“, d. h. Vorrichtungen, durch welche Balken und Schalen so in der Schwebe gehalten werden, daß Pfannen und Schneiden sich nicht berühren. — Handwagen werden am besten in der üblichen Weise aufgehängt.

Bevor man eine Wägung, namentlich mit Handwagen, ausführt, überzeuge man

sich von dem brauchbaren Zustande der Wage, denn gar häufig kommt es vor, daß die Haken der Handwagen sich verschlingen; in diesem Falle wirkt das Gewicht nicht am Aufhängepunkt, die Wägung wird also falsch.

Dezimalwagen. Dieser Instrumente bedient man sich vorteilhaft zum Abwägen größerer Lasten. Sie sind eine Kombination von Hebeln und basieren auf dem Gesetz, daß ein ungleicharmiger Hebel dann im Gleichgewicht ist, wenn Kraft und Last sich umgekehrt verhalten wie die Länge der Hebelarme, d. h. ein 3mal längerer Hebelarm wird durch $\frac{1}{3}$ des am kürzeren Arme wirkenden Gewichtes im Gleichgewicht erhalten werden.

Die Dezimalwage besteht aus dem ungleicharmigen Hebel AB und der durch zwei einarmige Hebel EF und HK gebildeten Brücke. Der Hebelarm AC ist 10mal so lang wie das Stück CD . Eine in D wirkende Last würde also durch den zehnten Teil ihres Gewichtes, welcher bei A angehängt ist, im Gleichgewicht erhalten werden.



Die Wägungen würden jedoch unbequem werden, wenn die Brücke nicht vorhanden wäre. Dieselbe ist so konstruiert, daß das Verhältnis der Entfernung von $CD : CB$ dasselbe ist wie $FK : HK$. Dadurch ergibt sich, daß eine auf der Brücke ruhende Last so wirkt, als wäre sie an D befestigt. — Nehmen wir an, die Entfernung CD wäre $\frac{1}{10}$ von CB , diejenige FK $\frac{1}{6}$ von HK und die Last L betrüge 60 kg, dann würden folgende Verhältnisse eintreten: die Last L (60 kg) wirkt auf den Hebel EF ; ihre Wirkung verteilt sich dabei auf die Punkte E und F . Nehmen wir an, sie wirke auf E mit 30 kg und auf F gleichfalls mit 30 kg. Durch die Stange DE erfolgt dann ein Zug an dem Punkte D von 30 kg. Die bei F wirkende Kraft von 30 kg verteilt sich ihrerseits auf den Hebel HK und wird, da HK 6mal länger ist als FK , im Punkte H nur mit dem sechsten Teil von 30 kg, also mit 5 kg, wirken. Dieses Gewicht wirkt durch die Stange BH auf den Punkt B . Da aber CB 6mal länger ist als CD , so werden die bei B in Aktion tretenden 5 kg ebenso viel leisten, als ob bei D 30 kg vorhanden wären. Addiert man die bei D wirkenden Gewichte, so erhält man 60 kg, also die ursprüngliche Last. Dieser letzteren wird, weil der Hebelarm AC 10mal länger ist als CD , der zehnte Teil ihrer Eigenschwere, also 6 kg, bei A das Gleichgewicht halten.

Würde man den Hebelarm AC noch 10mal größer konstruieren, also 100mal größer als CD machen, so hätte man eine Zentesimalwage.

Die Brückenwagen haben den Vorzug, daß es bei ihrer Benützung gleichgültig ist, ob die Last auf der Mitte der Brücke ruht oder nicht, da, auch eine andere Verteilung der Last vorausgesetzt, als wir oben angenommen hatten, das Resultat das gleiche bleibt. Sie gestatten ferner ein sehr sicheres Abwägen, da die Brücke bei jeder Belastung parallel bleibt.

Wagen und Gewichte, welche für den öffentlichen Verkehr bestimmt sind, müssen von der zuständigen Behörde (Eichamt) geeicht sein.

Für den pharmazeutischen Gebrauch sind nur solche Wagen zulässig, welche außerdem noch mit dem Präzisionsstempel versehen sind.

4. Spezifisches Gewicht.

Der Druck, welchen ein Körper auf seine Unterlage ausübt — und welcher, wie aus dem vorigen Thema hervorgeht, bedingt wird durch die Anziehungskraft der Erde — heißt sein Gewicht. Das absolute Gewicht gibt an, in welchem Verhältnisse der von einem Körper ausgeübte Druck steht zu demjenigen, welchen gegebene und von uns Gewichte genannte Körper verursachen. — Im Gegensatz hierzu stellt das spezifische Gewicht fest, wie schwer ein Körper als Gattung (Spezies) und nicht als Individuum ist. Das spezifische Gewicht ist das Gewicht der Volumeneinheit und gibt an, in welchem Verhältnisse die absoluten Gewichte gleicher Volumina von verschiedenen Körpern stehen. Mit anderen Worten, es gibt uns darüber Auskunft, wie oftmal schwerer oder leichter ein Volumen irgend eines Körpers ist als ein gleiches Volumen eines anderen. — Der leichteren Orientierung wegen ist man übereingekommen, als Einheit für alle flüssigen und festen Körper das Gewicht des Wassers anzunehmen, während für gasförmige Körper teils das Gewicht der Luft, teils dasjenige des Wasserstoffes als Einheit gilt. — Außerdem ist hervorzuheben, daß bei wissenschaftlichen Angaben, falls nichts anderes bemerkt ist, stets das Gewicht eines Volumen Wassers von $+4^{\circ}$ C. als Einheit vorausgesetzt wird; die für die Praxis und namentlich für die Pharmazie geltenden Angaben dagegen sind fast durchweg auf Wasser von 15° C. Temperatur als Einheit bezogen.

Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten ist die für uns wichtigste und kann in verschiedener Weise ausgeführt werden. Am besten ist es natürlich, wenn der in Frage kommende Körper die Vergleichstemperatur von 15° C. besitzt; für Fälle, in denen diese Voraussetzung nicht zutrifft, existieren für die gebräuchlichsten Substanzen Tabellen, welche über die spezifischen Gewichte bei verschiedenen Temperaturen Aufschluß geben.

1. Durch direkte Wägung. Man benützt hierzu Pyknometer genannte Gläschen, deren Volumeninhalt genau bekannt ist. Angenommen, man habe ein 100 g-Pyknometer, also ein Fläschchen, welches, bis unter den Stopfen, Fig. 68 oder bis zur Marke Fig. 69 angefüllt, genau 100 g Wasser von 15° C. faßt. Wollen wir mit diesem das spez. Gewicht von *Spiritus dilutus* oder *Chloroform* bestimmen, so verfahren wir folgendermaßen: Das vollkommen trockene und Lufttemperatur besitzende Gläschen wird tariert, darauf mit der zu untersuchenden Flüssigkeit erst ausgespült und dann bis unter den Stopfen — und zwar so, daß keine Luftblase sich bildet — oder

Fig. 68.



Fig. 69.



genau bis zur Marke angefüllt. Man wischt nun sorgfältig etwa übergeflossene Anteile ab und bestimmt nun das absolute Gewicht des Inhaltes. Dasselbe muß bei *Spiritus dilutus* 89,2—89,6, bei Chloroform 148,5—148,9 g betragen. Aus diesen Zahlen, welche das absolute Gewicht der zu untersuchenden Substanzen repräsentieren, erhalten wir durch Division¹⁾ mit dem absoluten Gewichte des gleichen Volumens Wasser (100 g) die betreffenden spezifischen Gewichte.

$$\frac{89,2}{100} = 0,892 \quad \frac{89,6}{100} = 0,896 \text{ für Spiritus dilutus.}$$

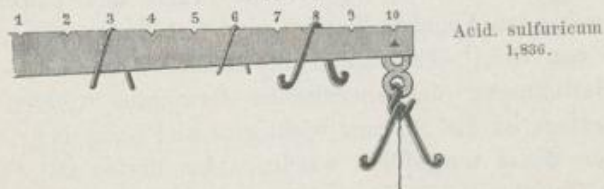
$$\frac{148,5}{100} = 1,485 \quad \frac{148,9}{100} = 1,489 \text{ für Chloroform.}$$

Es ist selbstverständlich gleichgültig, welchen Inhalt das Fläschchen hat, in der Praxis aber empfehlen sich Gläser, deren Inhalt möglichst einfachen Zahlen entspricht, also 100, 50 etc. g-Gläser. Vorteilhaft ist es ferner, ein für allemal das Gewicht des Gläschens auf diesem mit einem Diamanten ganz fein zu notieren.

2. Durch Instrumente, welche auf dem *Archimedesschen* Prinzip beruhen. Die Beobachtungen, welche dieser Naturforscher und Philosoph über das spezifische Gewicht gemacht hatte, werden in dem Satze zusammengefaßt, daß ein Körper in einer Flüssigkeit soviel an Gewicht verliert, als das Gewicht des von ihm verdrängten Volumens der betreffenden Flüssigkeit beträgt. Angenommen, wir hätten einen genau 100 g wiegenden und 100 ccm Wasser verdrängenden Zylinder, so würde dieser, in Wasser gebracht, gar nichts wiegen; in Spiritus gebracht, würde er, da 100 ccm desselben 83 g wiegen, diese 83 g seines Gewichtes verlieren und nur 17 g wiegen u. s. w.

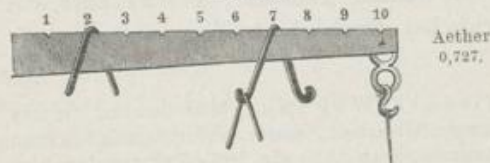
a) Die hydrostatische Wage. Obgleich sich jede gut ziehende Balkenwage für Bestimmung des spez. Gewichtes einrichten läßt, so ist doch das von *Mohr* an-

Fig. 70 a.



gegebene Instrument, die *Mohrsche* Wage (eine Abart derselben ist die sog. *Westphalsche* Wage), hierfür ganz besonders im Gebrauch. — Die *Mohrsche* Wage hat einen

Fig. 70 b.

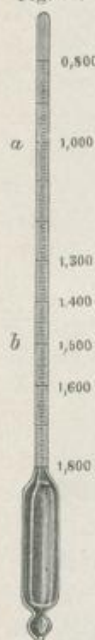


gleicharmigen Balken, dessen einer Arm von dem Drehpunkt bis zum Aufhängepunkt in 10 gleiche Teile geteilt ist. Der Aufhängepunkt dieses Armes trägt an einem Platindraht ein Thermometerkörperchen, welchem ein am ungeteilten Arme angebrachtes

¹⁾ Jede Division ist ein Vergleich zweier Grössen.

Gegengewicht genau das Gleichgewicht hält. Als Gewichte sind dem Instrument Draht-
haken beigegeben, von denen die einen genau so viel wiegen, als das Gewicht des von
dem Thermometerkörperchen verdrängten Wassers (bei 15° C.) beträgt. Die zweite
Sorte Gewichte ist $\frac{1}{10}$, die dritte Sorte $\frac{1}{100}$ der ersten Gewichte. Beim Gebrauche
taucht man das Thermometerkörperchen ganz unter die Flüssigkeit und belastet nun
den Balken mit den Gewichten so lange, bis Gleichgewicht eintritt. Hatte man Wasser,
so würde eins der größten Gewichte bei 10 gerade das Gleichgewicht herstellen, es
zeigt also hier das spez. Gewicht 1,00 an. Schiebt man dasselbe Gewicht auf Ein-
schnitt 9, so wiegt es hier nur $\frac{9}{10}$ so schwer, bei 8 nur $\frac{8}{10}$ so schwer; die ersten

Fig. 71.



Dezimalen werden also durch die großen Gewichte angezeigt, sofern diese innerhalb der Einschnitte 1 und 10 ruhen. Die zweite Gewichtsgröße zeigt die zweiten Dezimalen, die dritte Gewichtsgröße die dritten an.

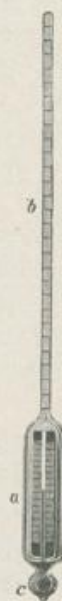
Es würde also bei Bestimmung des spez. Gewichtes der Schwefelsäure und des Aethers die Verteilung der Gewichte durch die beigegebenen Zeichnungen erläutert sein. Fallen zufällig zwei Gewichte auf denselben Einschnitt, so hängt man das kleinere, wie in Fig. 70 b angegeben, an den Haken der größeren.

b) Durch Aräometer. Bringt man einen Gegenstand in Wasser, so wird er, falls er leichter ist als die von ihm verdrängte Wassermenge, schwimmen, d. h. er wird nur bis zu einem gewissen Punkte in das Wasser eintauchen, so weit nämlich, bis die verdrängte Wassermenge gleich seinem absoluten Gewicht ist. Bringt man denselben Körper in eine leichtere Flüssigkeit als Wasser, z. B. Spiritus, so wird natürlich erst ein größeres Volumen derselben als vorher vom Wasser dem absoluten Gewichte des Körpers gleich sein, der Körper wird also in Spiritus tiefer einsinken als in Wasser. Umgekehrt wird der nämliche Gegenstand in einer schwereren Flüssigkeit als Wasser, z. B. in Chloroform weniger tief einsinken, weil vom Chloroform schon ein geringeres Volumen als vom Wasser dem absoluten Gewicht des Körpers gleichkommt. Auf diese Tatsachen sind die „Aräometer“ genannten Instrumente konstruiert. Dieselben sind zylindrische Glaskörper, welche an ihrem Ende, um ihnen unter allen Umständen senkrechte Lage zu sichern, durch Quecksilber oder Bleischrote stark beschwert sind; nach oben hin verjüngen sie sich zu einer an allen Teilen gleichweiten Spindel,

welche die Skala enthält. — Nehmen wir an, ein ganz einfaches Aräometer sänke in Wasser von 15° C. bis zur Marke *a* ein, in einer von uns hergestellten Probe-
flüssigkeit von 1,5 spez. Gewicht bis zum Punkte *b*, so würden wir den Raum zwischen *a* und *b* in fünf gleiche Teile teilen und auf diese Weise die ersten Dezimalen bestimmen können. Die gleiche Teilung könnten wir nach oben hin vornehmen und unter Umständen noch die zweiten Dezimalen feststellen, indem wir die einzelnen Zwischenräume nochmals in $\frac{1}{10}$ Teile teilten. — Dies würde aber nur dann genau auszuführen sein, wenn die Zwischenräume groß genug sind, und dies hängt wieder damit zusammen, daß die Spindel dünn genug ist. Auf diese Weise würden wir genötigt sein, mit sehr zerbrechlichen und langen Apparaten zu arbeiten. Man benutzt daher in der Praxis mehrere kleinere Instrumente, welche das spez. Gewicht nur innerhalb gewisser Grenzen anzeigen, und spricht also von Aräometern für leichtere und schwerere Flüssigkeiten als Wasser (Fig. 71).

Eine besondere Art von Aräometern sind die Alkoholometer. Dieselben tragen an Stelle der gewöhnlichen, auf Wasser bezogenen Skala eine solche, welche bei *b* sofort den Prozentgehalt des Alkohols abzu-
lesen gestattet. Diese Alkoholometer enthalten in ihrem weiteren Teil *a* in der Regel auch noch ein Thermometer. Generell heißen alle Aräo-

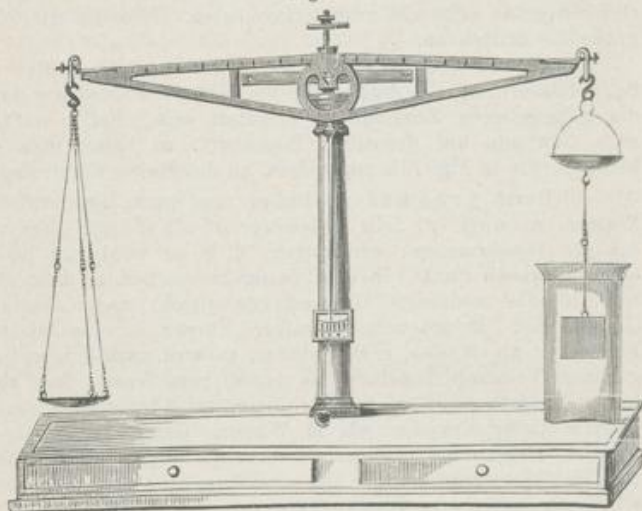
Fig. 72.



meter, welche in ihrem Bauche Thermometer eingeschmolzen enthalten, „Thermoaräometer“ (Fig. 72).

Bei dem Gebrauche der Aräometer ist von Wichtigkeit, daß man sie nicht in zu enge Zylinder einsenkt, damit sie im Schwimmen nicht von der Adhäsion der Glaswandungen beeinflusst werden; daß sie niemals eine Gefäßwandung berühren dürfen, versteht sich hieraus von selbst. Beim Ablesen verfährt man am besten so, daß man den Zylinder vollkommen

Fig. 73.



vollgießt und die Ablesung alsdann mit Hilfe eines hinter die Spindel gehaltenen Stückes Spiegelglas vornimmt.

Die Ablesung ist nicht da vorzunehmen, wo die Flüssigkeit sich als „Wulst“ an der Spindel heraufgezogen hat, sondern man liest da ab, wo der Flüssigkeitsspiegel — wenn man sich den Wulst wegdenkt — die Skala schneiden würde.

Die Bestimmung des spez. Gewichtes fester Körper geschieht durch die hydrostatische Wage (Fig. 73).

Derselben ist zu diesem Zwecke eine kleinere mit einem Haken versehene Wagschale beigegeben, in welchen ein Metall(Platin)draht eingehängt werden kann. Angenommen, man wolle das spez. Gewicht des Bleies bestimmen, so verfähre man dazu folgendermaßen: Man bestimmt zunächst auf einer möglichst empfindlichen Wage das absolute Gewicht eines Stückes Blei; dasselbe soll in unserem Falle = 50 g sein. Hierauf biegt man einen dünnen Platindraht so, daß er unten eine Schlinge bildet, in die man das zu untersuchende Bleistück einklemmen kann, oben aber eine kleine Oese besitzt. Diesen Draht hängt man mit der Oese an den Haken der kleinen Wagschale an, bringt sein unteres Ende bis zu einem bestimmten Punkte in ein Becherglas mit destilliertem Wasser von 15° C. und setzt die Wage ins Gleichgewicht. Hierauf klemmt man das Bleistück in die Drahtschlinge und sucht nun das Gleichgewicht herzustellen. Es würden hierzu 45,62 g nötig sein. Diese Differenz rührt daher, daß das Bleistück im Wasser so viel von seinem Gewichte verliert, als das von ihm verdrängte Volumen Wasser wiegt. Das Gewicht dieses Volumens findet man durch Subtraktion der beiden

erhaltenen Zahlen $50 - 45,62 = 4,38$. Es beträgt 4,38 g. Diese Zahl also repräsentiert das Gewicht des dem Bleistück entsprechenden Volumens Wasser. Dividiert (vergleicht) man das Gewicht des Bleies mit dem des gleichen Volumens Wasser, so erhält man das spez. Gewicht des Bleies mit 11,4:

$$50,0 : 4,38 = 11,4.$$

Diese Bestimmungen können auch mit jeder Hand- oder Tariervage ausgeführt werden; man hängt dann den Draht an den Bügel oder an eine Schnur der Wagschale an.

Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten gehört zu den im pharmazeutischen Laboratorium sich regelmäßig wiederholenden Operationen. In der Regel ist man in der Lage, namentlich bei Salzlösungen, Säuren, Alkohol, Aether u. s. w., aus dem spezifischen Gewicht einen Schluß auf deren Gehalt oder Reinheit zu ziehen. Eine Ausnahme macht u. a. die Essigsäure, aus deren spezifischem Gewicht man nicht ohne weiteres auf ihren Gehalt schließen kann (siehe Essigsäure).

Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes fester Körper ist namentlich für die Mineralogie, Geologie und Metallindustrie von Bedeutung. So kann durch dieselbe z. B. festgestellt werden, ob Münzen, Schmucksachen u. s. w. echt oder Falsifikate sind, da die Edelmetalle, namentlich Gold und Platin, durch ihre hohen spezifischen Gewichte von den unedlen charakteristisch sich unterscheiden.

Spezifisches Gewicht gasförmiger Körper. Bestimmungen des spezifischen Gewichtes gasförmiger Körper sind Operationen, welche im pharmazeutischen Laboratorium kaum ausgeführt werden.

Rechnerisch ist das spez. Gewicht von Gasen leicht zu bestimmen. Nimmt man den Wasserstoff als Einheit an, so ist das spez. Gewicht aller elementaren Gase (d. h. aller gasförmigen Elemente) = dem Atomgewichte. Z. B. ist das spez. Gewicht des Sauerstoffs = 16, des Stickstoffs = 14, des Chlors = 35,5. Das spez. Gewicht der gasförmigen Verbindungen dagegen ist = dem halben Molekulargewicht. So ist z. B. das spez. Gewicht der Kohlensäure = 22, dasjenige der Salzsäure = 18,25, dasjenige des Ammoniaks = 8,5, des Methans = 8 u. s. w.

Wählt man nicht den Wasserstoff als Einheit, sondern die Luft, so hat man die vorher gefundenen spez. Gewichte durch 14,44 (s. S. 35) zu dividieren. Alsdann findet man die spez. Gewichte (Luft = 1) für Wasserstoff = 0,06925, für Sauerstoff = 1,108, für Chlor = 2,459, für Kohlensäure = 1,523 u. s. w.

5. Freier Fall der Körper.

Wenn wir einem Körper seine Unterlage entziehen, so fällt er zu Boden. Das ist eine Beobachtung, welche wir täglich machen und die uns daher ohne weiteres einleuchtet. Fragen wir uns nun, aus welchen Ursachen das Herabfallen geschieht, so müssen wir uns in Erinnerung bringen, was in einem der letzten Aufsätze gesagt wurde (S. 575), nämlich daß alle Körper aufeinander Anziehungskräfte ausüben, daß aber bei allen irdischen Dingen die Anziehungskraft, welche sie aufeinander äußern, verschwindend gering ist im Vergleich zu der Kraft, mit welcher

sie sämtlich von der Erde angezogen werden. Diese Anziehungskraft der Erde, auch Schwerkraft, Gravitation, genannt, ist die Ursache des Falles. Wir denken uns die Schwerkraft im Zentrum der Erde konzentriert, also von dort aus mit der größten Energie wirkend, und können nunmehr den Fall als eine Anziehung aller irdischen Körper nach dem „Erdzentrum“ hin definieren. Da in Hinsicht auf die große Masse der Erde alle irdischen Dinge gleich unendlich klein sind, da ferner die Anziehungskraft der Erde sich auf jedes einzelne Körperteilchen in gleicher Weise äußert wie auf die aus solchen zusammengesetzten Körper, so erscheint es von vornherein wahrscheinlich, daß alle irdischen Körper mit der gleichen Stärke nach dem Erdzentrum angezogen werden, daß sie, mit anderen Worten, gleich schnell zu Boden fallen werden. Mit dieser Voraussetzung aber stehen unsere praktischen Wahrnehmungen in direktem Widerspruche. Lassen wir z. B. ein Geldstück und ein Stück Papier aus gleicher Höhe und zu gleicher Zeit zu Boden fallen, so können wir beobachten, daß die Geldmünze sehr viel früher als das Papierstück den Erdboden erreicht. Die Ursache für diesen scheinbaren Widerspruch ist darin zu suchen, daß dem Fallen der Körper durch die Luft ein Widerstand entgegengesetzt wird. Diesen werden dichtere, d. h. spezifisch schwerere Körper leichter überwinden als weniger dichte, d. h. spezifisch leichtere. Daß dem in der Tat so ist, davon können wir uns sehr leicht überzeugen, wenn wir den Widerstand der Luft beseitigen, d. h. wenn wir das Fallen im luftleeren Raum vor sich gehen lassen. Wir machen dann die interessante Beobachtung, daß alle Körper, also z. B. auch ein Geldstück und eine Vogelfeder, gleich schnell zu Boden fallen.

Wie schon eingangs dieses Aufsatzes erwähnt wurde, denken wir uns die Schwerkraft im Mittelpunkt der Erde konzentriert. Sie wirkt also dort am energischsten; je weiter ein Körper vom Mittelpunkt der Erde entfernt ist, desto weniger stark wirkt die Anziehungskraft der Erde auf ihn ein. Die Anziehungskraft der Erde nimmt ab im Quadrat der Entfernung. Ist z. B. die Anziehungskraft im Bereich einer Meile = 1, so wird sie in der Entfernung von 3 Meilen nur noch $\frac{1}{9}$ so stark wirken. — Daß sich das in der Tat so verhält, ersieht man daraus, daß wir schon auf hohen Bergen eine Verminderung der Schwerkraft beobachten können, daß ferner die Schwerkraft an den beiden Polen der Erde stärker wirkt als am Aequator. Der letztere Umstand erklärt sich aus der Form der Erde. Diese ist bekanntlich eine an den Polen abgeplattete Kugel. Die Abplattung beträgt nach Bessel $\frac{1}{299}$, d. h. der kleinste Durchmesser (zwischen den beiden Polen) ist um $\frac{1}{299}$ kleiner als der größte, die Aequatoriallinie verbindende. Es ergibt sich hieraus, daß die Erdoberfläche am Aequator weiter entfernt ist vom Erdzentrum als an den beiden Polen. Hieraus wird sich nach dem vorher Gesagten

ohne weiteres der Schluß ziehen lassen, daß die Schwerkraft auf die am Aequator befindlichen Körper der größeren Entfernung vom Mittelpunkt der Erde wegen in schwächerem Maße einwirken wird als auf die an den beiden Polen befindlichen. Die Richtigkeit dieses Schlusses ist experimentell bewiesen worden; es wurde festgestellt, daß am Aequator das absolute Gewicht der nämlichen Körper ein geringeres ist als an den Polen; ein und dasselbe Pendel macht am Aequator weniger Schwingungen als an den Polen, die Fallgeschwindigkeit der Körper am Aequator ist geringer wie diejenige an den Polen. — Die Fallbewegung und -geschwindigkeit ist seit langer Zeit Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen, durch welche festgestellt wurde, daß die Fallbewegung eine gleichförmig beschleunigte sei, d. h. daß die Geschwindigkeit mit der Dauer der Fallzeit wachse.

Um dieses Gesetz dem Verständnis näher zu bringen, müssen wir ein triviales Gleichnis wählen. — Wenn wir einer Schaukel einen Stoß versetzen, so wird sie aus ihrer Gleichgewichtslage herausgebracht, sie entfernt sich von uns, kehrt infolge der Schwerkraft wieder in ihre senkrechte Lage zurück, schwingt aber, dem Gesetze der Trägheit folgend, in der Richtung auf uns zu weiter. Sie schwingt also nach dem ersten Stoße, wie jedermann bekannt ist, mit einer gewissen Kraft hin und her. Erteilen wir der Schaukel einen zweiten, dritten u. s. w. Stoß, so gelingt es, die Schaukel zu einer Höhe zu schwingen, wie wir sie durch einen einzigen Stoß niemals erreichen würden. Woher kommt das? — Durch den ersten Stoß schwingt die Schaukel mit einer gewissen Kraft hin und her. — Sie würde diese Kraft behalten, wenn dieselbe nicht durch die entstehende Reibung allmählich verloren ginge. — Versetzen wir ihr nun einen zweiten Stoß, so addiert sich die Kraft, mit welcher derselbe ausgeführt wurde, zu derjenigen, welche die Schaukel schon hatte, die Bewegung wird also beschleunigt werden. Und jeder neue Stoß wird zu der vorhandenen Kraft wieder neue hinzufügen, die Bewegung wird durch jeden weiteren Stoß neue Beschleunigung erfahren. Aehnliche Verhältnisse gelten für den freien Fall der Körper.

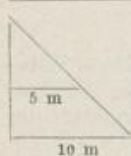
Das Fallen der Körper wird durch die Anziehungskraft der Erde verursacht. Diese Kraft aber wirkt auch noch auf den bereits im Fallen begriffenen Körper ein; es addiert sich daher zu derjenigen Kraft, mit der der fallende Körper sich ursprünglich nach dem Erdzentrum hin bewegte, fortwährend neue Kraft hinzu, die Bewegung wird dadurch eine beschleunigte.

Durch zahlreiche Versuche ist festgestellt worden, daß ein fallender Körper unter den für uns zugänglichen Höhenverhältnissen in der ersten Sekunde einen Weg von etwa 5 m (genau 4,90 m) zurücklegt. Wir können daher sagen, die Schwerkraft der Erde wirkt so auf ihn ein, daß er in der Sekunde 5 m zurücklegt. — Da nun die Fallgeschwindigkeit des Körpers zu Anfang des Fallens = 0 war, so muß der fallende Körper, wenn er in gleichförmig beschleunigter Weise in der Sekunde 5 m durch-

laufen hat, am Ende der ersten Sekunde eine Fallgeschwindigkeit von 10 m pro Sekunde besitzen¹⁾. Daran wolle man also festhalten: Ein fallender Körper hat am Ende der ersten Sekunde eine Geschwindigkeit von 10 m, hat aber in der Tat nur einen Raum von 5 m durchlaufen²⁾. Könnte man nun am Ende der ersten Sekunde die weitere Einwirkung der Schwerkraft auf ihn plötzlich aufheben, so würde der betreffende Körper, dem Gesetze der Trägheit folgend, mit einer Geschwindigkeit von 10 m pro Sekunde zu Boden fallen. Das können wir aber nicht, vielmehr wirkt die Schwerkraft auch in der zweiten Sekunde auf den fallenden Körper in gleicher Weise wie in der ersten Sekunde ein, d. h. sie erteilt ihm eine weitere Endgeschwindigkeit von 10 m und nötigt ihn, nochmals einen Weg von 5 m zu durchlaufen. Da der fallende Körper aber am Ende der ersten Sekunde schon eine Endgeschwindigkeit von 10 m hatte, so wird er zu Ende der zweiten eine solche von 20 m haben müssen. Mit dieser Geschwindigkeit würde er zu Boden fallen, wenn die Schwerkraft zu wirken aufhörte; aber diese wirkt weiter auf ihn ein und vermehrt seine Geschwindigkeit am Ende der dritten Sekunde um weitere 10 m, seine Geschwindigkeit am Ende der dritten Sekunde ist daher = 30 m. In derselben Weise wirkt die Schwerkraft in allen weiter folgenden Sekunden beschleunigend auf die Bewegung des fallenden Körpers ein, so daß die schon vorhandene Geschwindigkeit am Ende jeder folgenden Sekunde sich um 10 m erhöht. Daraus ergibt sich das Gesetz: Die erlangte Endgeschwindigkeit eines Körpers ist proportional der Fallzeit. — Sie beträgt zu Ende der ersten Sekunde 1×10 m, der zweiten 2×10 m, der dritten 3×10 m u. s. w.

Wollen wir die Fallräume bestimmen, welche ein Körper im Verlauf der einzelnen Sekunden durchläuft, so müssen wir folgende Betrachtungen anstellen: Am Ende der ersten Sekunde hat der fallende Körper 5 m durchlaufen, er besitzt aber eine Endgeschwindigkeit von 10 m; er würde also, wenn die Schwerkraft plötzlich zu wirken aufhörte, in der zweiten Sekunde 10 m zurücklegen. Die Schwerkraft aber nötigt ihn, auch in der zweiten Sekunde nochmals 5 m, zusammen also 15 m zurückzulegen. Addiert man den in der zweiten Sekunde zurückgelegten Raum (15 m) zu dem in der ersten Sekunde zurückgelegten (5 m), so ergibt sich daraus, daß der fallende Körper zu Ende der zweiten Sekunde einen Fallraum von 20 m zurückgelegt hat. — Am Ende der zweiten Sekunde aber besitzt der fallende Körper eine Endgeschwindigkeit von 20 m pro Sekunde. Diesen Raum würde er im Verlaufe der dritten Sekunde zurücklegen, wenn ihn die Schwerkraft nicht wiederum veranlaßte, 5 m mehr zu durchlaufen. Er durchläuft daher in der dritten Sekunde 25 m. Zählen wir hierzu den am Ende der zweiten Sekunde zurückgelegten Weg von 20 m, so sehen wir, daß der Fallraum eines Körpers am Ende der dritten Sekunde 45 m beträgt. — Stellen wir nun für jede folgende Sekunde die gleiche Rechnung an, so kommen wir zu dem Resultat, daß wir den Fallraum jeder folgenden Anzahl von Sekunden finden, wenn wir in Betracht ziehen bzw. addieren 1. den Fallraum, den ein Körper unter dem Einfluß der Schwerkraft überhaupt in einer Sekunde zurücklegt (5 m), 2. die Endgeschwindigkeit der vorhergehenden Sekunde, 3. den bereits zurückgelegten Weg. Es werden sich z. B. für die ersten sechs Sekunden nachfolgende Resultate ergeben:

Fallzeiten	1	2	3	4	5	6 Sekunden.
1. Fallraum für je eine Sekunde	5	5	5	5	5	5 m
2. Erlangte Endgeschwindigkeiten	0	10	20	30	40	50 "
3. Bereits zurückgelegter Weg	0	5	20	45	80	125 "
Fallräume	5	20	45	80	125	180 m.



¹⁾ Um dies zu verstehen, konstruiere man sich ein Rechteck mit 10 cm Grundfläche. Die unterere Seite desselben stellt die Fallgeschwindigkeit am Ende der ersten Sekunde dar. Zu Anfang des Fallens war die Geschwindigkeit = 0, zu Ende der ersten Sekunde betrug die Fallgeschwindigkeit = 10 m, mithin ist der in der ersten Sekunde zurückgelegte Fallraum oder die mittlere Geschwindigkeit = 5 m.

²⁾ Von dem Verständnis dieser Tatsache hängt das ganze Verständnis der Fallgesetze überhaupt ab.

Betrachten wir die so erhaltenen Zahlen, so ergibt sich, daß sie sich untereinander verhalten wie $1 : 4 : 9 : 16 : 25 : 36$ oder wie $1^2 : 2^2 : 3^2 : 4^2 : 5^2 : 6^2$.

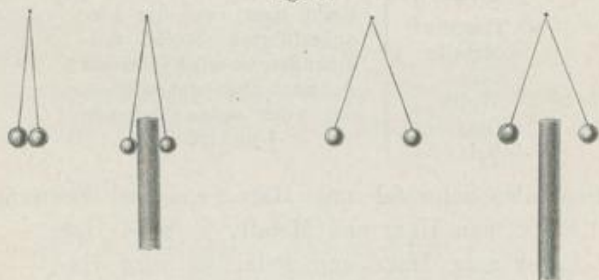
Daraus ergibt sich das Gesetz: Die Fallräume verhalten sich wie die Quadrate der Fallzeiten.

Die Fallgesetze haben ihre experimentelle Bestätigung durch die *Atwoodsche* Fallmaschine gefunden.

6. Elektrizität.

Schon im Altertume war es bekannt, daß gewisse Körper durch Reibung die Eigenschaft erlangen, andere, leicht bewegliche Körper, z. B. Federn, Papierstückchen u. s. w., anzuziehen. Die ersten Beobachtungen dieser Art wurden am Bernstein gemacht; lange Zeit jedoch brachte man diese Erscheinung mit dem Magnetismus in Zusammenhang, bis ums Jahr 1600 *Gilbert* in seiner Schrift *de Magnete* bewies, daß Magnetismus und Elektrizität voneinander verschieden seien; er war es auch, welcher der von ihm als eigentümlich erkannten Kraft den Namen Elektrizität (von *ἤλεκτρον* Bernstein) gab. Er zeigte ferner, daß dieselbe Eigenschaft, d. h. durch Reiben elektrisch zu werden, auch anderen Stoffen,

Fig. 74.



z. B. Glas, Harz, Schwefel, zukomme. Später wurde von *O. v. Guericke* festgestellt, daß leicht bewegliche Körperchen von Elektrizität nicht bloß angezogen, sondern auch abgestoßen werden können. Durch diese Beobachtung wurde die Elektrizität sehr scharf von der Schwerkraft unterschieden, welcher wohl anziehende, nicht aber abstoßende Eigenschaften zukommen. — Im weiteren Verlaufe wurde festgestellt, daß die durch Reiben von Glas erzeugte Elektrizität verschieden sei von der durch Reiben von Harz erzeugten. *Benjamin Franklin* gab später der Glaselektrizität das Zeichen $+$, der Harzelektrizität das Zeichen $-$, weil beide Elektrizitäten bei der Vereinigung 0 geben. — Von bedeutender Wichtigkeit war ferner die von *Steffen Gray* 1727 gemachte Entdeckung der Fortleitungsfähigkeit der Elektrizität.

Harz- und Glaselektrizität. Ein einfacher Versuch überzeugt uns sehr bald, daß es in der Tat zwei verschiedene Arten von Elektrizität gibt. — Hängen wir an dünnen Seidenfädchen zwei Holundermarkkugeln auf und nähern ihnen eine geriebene Glasstange, so werden sie von dieser zunächst angezogen, — sobald sie jedoch mit der Elektrizität des Glases gesättigt sind, weichen sie nicht bloß vor der Glasstange aus, sondern sie stoßen sich nun auch gegenseitig ab (Fig. 74). Nähert man ihnen jetzt rasch eine geriebene Harzstange (Siegellack), so werden sie von dieser lebhaft angezogen. Teilt man ihnen durch Berührung mit der Harzstange von der Elektrizität derselben mit, so fliehen sie wiederum vor der Harzstange und voneinander, werden aber nunmehr von einer geriebenen Glasstange wieder angezogen. — Daraus ziehen wir die Schlüsse, daß es 1. zwei verschiedene Arten von Elektrizität gibt, nämlich Glaselektrizität (positive oder +E.) und Harzelektrizität (negative oder -E.), 2. daß gleichartige Elektrizitäten sich abstoßen, ungleichartige dagegen sich anziehen.

Im natürlichen Zustande besitzen alle Körper gleiche Mengen von jeder der beiden Elektrizitäten. Es gehen ihnen daher elektrische Eigenschaften ab, weil die beiden vorhandenen Elektrizitäten sich gegenseitig aufheben oder neutralisieren. Es haben nun aber verschiedene Körper eine verschiedene Vorliebe für eine der beiden Elektrizitäten, so daß wir beim Zusammenreiben verschiedener Stoffe unter Umständen in dem einen +E., in dem anderen -E. anhäufen. Ist dies der Fall, so tritt die Elektrizität zur Anschauung, wir sagen, die betreffenden Körper sind elektrisch. In nachstehender Tabelle sind die gebräuchlichsten Stoffe nach ihrer Vorliebe für die eine oder andere Elektrizität angeordnet.

- Schwefel	} Reibt man zwei der hier aufgeführten Stoffe miteinander, so wird jedesmal der nach oben stehende -, der nach unten stehende + elektrisch.
Harze	
Metalle	
Seide	
Wolle	
Glas	
+ Pelz	

Reibt man also Schwefel mit Harz, so wird Schwefel -, Harz + elektrisch. Reibt man Harz und Metall, so wird Harz -, das Metall + elektrisch. Reibt man Harz und Pelz, so wird Harz -, Pelz aber + elektrisch. Am besten ist es für die Erregung von Elektrizität, wenn die beiden miteinander zu reibenden Stoffe möglichst weit in dieser Aufstellung auseinanderstehen. — Man reibt daher am besten Glas mit Metallen (Amalgamen) oder Harz mit Pelz.

Leitung der Elektrizität. In Bezug auf die Fortleitung der Elektrizität verhalten sich die verschiedenen Stoffe sehr verschieden. Je nachdem sie die Elektrizität gut, mittelgut oder sehr wenig fortzuleiten vermögen, teilt man sie ein in Leiter, Halbleiter und Nichtleiter.

Leiter.	Halbleiter.	Nichtleiter.
Alle Metalle,	Wasser,	Harze, Schwefel,
Lösungen von Säuren,	trockenes Holz,	Seide, Haare,
„ „ Basen und Salzen.	Alkohol,	Glas, fette Oele,
	Aether,	trockene Luft,
	der tierische Körper.	trockene Gase.

Wegen ihrer vorzüglichen Leitungsfähigkeit werden die Metalle zu elektrischen Leitungen benützt. Am besten leitet das Silber, fast ebenso gut das Kupfer. Auf der guten Leitungsfähigkeit der Metalle beruht auch die Tatsache, daß dieselben durch Reibung anscheinend nicht elektrisch werden; es wird eben die erzeugte Elektrizität von den Metallen im Entstehen sofort wieder abgeleitet. Gut isolierte Metalle dagegen werden durch Reiben nachweisbar elektrisch. — Die Nichtleiter charakterisieren sich durch ihr geringes Leitungsvermögen; man benützt sie daher, um leitenden Körpern die Elektrizität zu bewahren, d. h. um dieselben zu isolieren. Gase und Dämpfe sind im trockenen Zustande Nichtleiter, in feuchtem Zustande dagegen werden sie ihres Wassergehaltes wegen zu Halbleitern.

Die Elektrizität verbreitet sich nur auf der Oberfläche der Körper, und zwar in einer unmeßbar dünnen Schicht. — Hat man zwei an Größe ganz gleiche Metallkugeln, von denen die eine massiv, die andere aber hohl ist, und läßt auf die eine derselben Elektrizität überströmen, so wird, wenn man beide Kugeln miteinander berührt, genau die Hälfte der Elektrizität an die vorher unelektrische Kugel abgegeben. — Auf einer Kugel verbreitet sich die Elektrizität gleichmäßig über die ganze Oberfläche. An anders geformten Flächen sammelt sich die Elektrizität dort im höchsten Grade an, wo die stärkste Krümmung ist. Geht die letztere über ein gewisses Maß hinaus, so wird so viel Elektrizität angehäuft, daß sie nicht mehr gehalten werden kann, sondern abfließt. Darauf ist zurückzuführen der Umstand, daß zum Aufspeichern von Elektrizität stets möglichst kugelförmige Körper (Konduktoren) benutzt werden, ferner die Tatsache, daß spitze Körper die Elektrizität in kurzer Zeit verlieren.

Influenzerscheinungen. Wie schon bemerkt wurde, enthalten alle Körper im nicht elektrischen Zustande große Mengen beider (+ und -) Elektrizitäten, die sich aber gegenseitig das Gleichgewicht halten. Bringen wir nun in die Nähe eines solchen unelektrischen, aber isolierten Körpers einen elektrischen, z. B. +elektrischen, so zieht dieser die -Elektrizität des unelektrischen Körpers an und stößt die +Elektrizität desselben ab. — Der vorher unelektrische Körper wird dabei selbst (-)elektrisch. Entfernen wir den +elektrischen Körper, so vereinigen sich die vorher getrennten Elektrizitäten — man bedenke, daß der Körper isoliert war — wieder und derselbe kehrt dadurch in seinen unelektrischen Zustand wieder zurück. — Setzt man dagegen den unelektrischen Körper mit der Erde in leitende Verbindung und bringt nun den +elektrischen Körper in die Nähe, so wird dieser die -Elektrizität anziehen, die +Elektrizität des ursprünglichen unelektrischen Körpers wird nach der Erde abfließen und an ihrer Stelle wird ein neues Quantum -Elektrizität hinzufließen, so daß der Körper -elektrisch bleibt, selbst wenn wir den +elektrischen Körper jetzt aus seiner Nähe entfernen.

Die Wirkung der Influenz ist sehr mannigfaltig. Es erklärt sich dadurch, daß ein unelektrischer Körper von einem elektrischen angezogen wird; hierbei wird eben die entgegengesetzte Elektrizität des betreffenden Körpers angezogen, die gleichartige aber abgestoßen. — Ist ein +elektrischer Körper einer -elektrischen Spitze gegenüber, so ziehen beide Elektrizitäten sich gegenseitig an und vereinigen sich schließlich. Auf diese Weise erklärt sich das Verschwinden der Elektrizität aus Spitzen.

Auf Erregung von Elektrizität durch Influenz beruhen der Elektrophor und die Leidener Flasche.

Elektrophor. Derselbe besteht aus einem Harzkuchen *H*, der in eine metallene Form *F* gegossen ist und durch diese in leitender Berührung mit der Erde steht.

Fig. 75.



Auf diesen möglichst ebenen Kuchen paßt ein etwas kleinerer Metalldeckel (am besten hohl und aus Zinkblech) *D*, welcher entweder durch Seidenschnüre oder durch einen aufgekitteten Glasstab isoliert ist. — Zum Gebrauche hebt man den Deckel ab und peitscht den Harzkuchen mit einem Fuchsschwanz. — Nach der S. 588 gegebenen Tabelle wird nun der Harzkuchen —elektrisch werden (der Fuchsschwanz +elektrisch). Legt man auf den so vorbereiteten Harzkuchen den Zinkdeckel *D*, so wird die positive Elektrizität desselben nach der dem Harzkuchen zugewendeten Seite hingezogen, die negative Elektrizität nach der entgegengesetzten Seite des Zinkdeckels abgestoßen. Entfernt man jetzt den Zinkdeckel von dem Harzkuchen, so zeigt er keine elektrischen Erscheinungen, weil die beiden Elektrizitäten, nachdem der Ein-

fluß des —elektrischen Harzkuchens unterbrochen ist, sich wieder vereinigt oder neutralisiert haben.

Berührt man jedoch den Deckel, während er auf dem Harzkuchen liegt, mit dem Finger, so wird die nach der dem Harzkuchen abgewendeten Seite abgestoßene —Elektrizität in Gestalt eines Funkens abgeleitet und dafür ein neues Quantum positive Elektrizität zugeführt. Der Deckel enthält jetzt nur +Elektrizität, die er beim Berühren in Gestalt eines Funkens von sich gibt. — Man kann also mittels des Elektrophors beide Arten von Elektrizität erzeugen. In trockener Luft bleibt der einmal erregte Elektrophor wochenlang wirksam, weshalb man ihm den Namen des Elektrizitätsträgers gegeben hat.

Leidener oder Kleistsche Flasche. Ein zylindrisches Gefäß *G* ist inwendig und auswendig so mit Stanniol überzogen, daß das Stanniol zwar bis an den

Fig. 76.

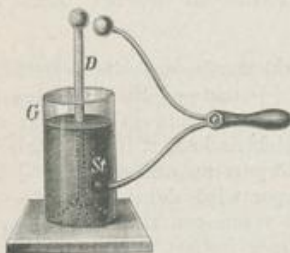


Fig. 77.



Fuß des Gefäßes reicht, der obere Rand des Gefäßes aber einige Zoll frei bleibt. Ein nicht leitender Deckel enthält einen starken Metalldraht *D*, welcher mit der inneren Belegung in leitender Verbindung steht und nach oben hin in einen Metallknopf endigt.

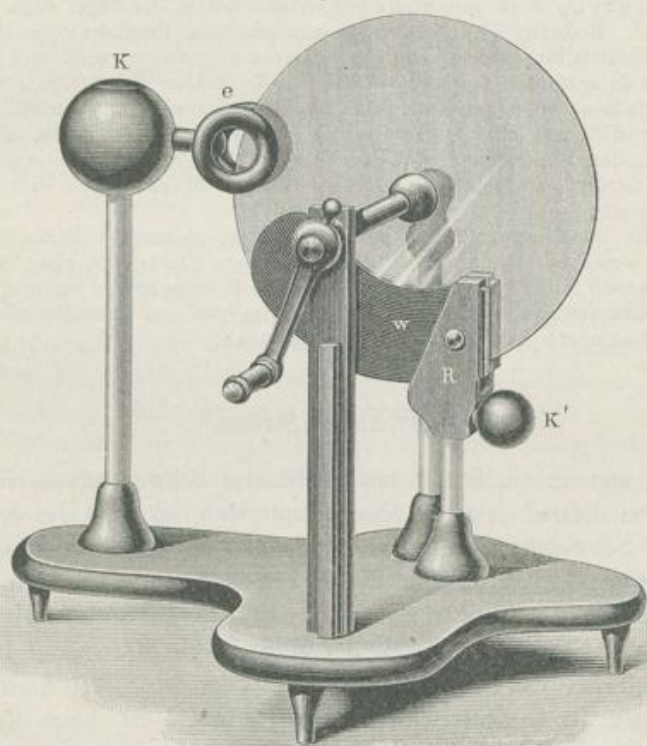
Teilt man, während die äußere Belegung in leitender Verbindung mit der Erde, also z. B. auf einem Tische steht, dem Knopfe z. B. durch den Deckel des Elektrophors positive Elektrizität mit, so verteilt sich diese auf die ganze innere Belegung und häuft durch das Glas hindurch eine gleiche Menge negativer Elektrizität auf der äußeren Belegung an, während die vorher auf der äußeren Belegung vorhandene +Elektrizität nach der Erde abfließt. — Eine so geladene Leidener Flasche enthält also auf der inneren Belegung +Elektrizität, auf der äußeren Belegung —Elektrizität. — Bringt man beide Belegungen miteinander in leitende Verbindung, indem

man mit der einen Hand die äußere Belegung, mit der anderen Hand den Metallknopf berührt, so vereinigen sich beide Elektrizitäten, und da diese Vereinigung in unserem Körper als Leiter vor sich geht, so erhalten wir eine Erschütterung des Nervensystems, die man elektrischen Schlag nennt. Will man einen solchen elektrischen Schlag vermeiden, so bedient man sich des *Henleyschen* Entladers, welcher an einer isolierenden Handhabe zwei leicht verstellbare Metallbügel enthält (Fig. 76).

Vereinigt man mehrere Leidener Flaschen so, daß man einerseits ihre äußeren, andererseits die inneren Belegungen miteinander leitend verbindet, so erhält man eine elektrische Batterie (Fig. 77), in der man erhebliche Mengen von Elektrizität anhäufen kann. Die Batterien aus Leidener Flaschen waren zu Anfang des 19. Jahrhunderts das erste Mittel, größere Mengen von Elektrizität aufzuspeichern.

Elektrisiermaschine. Diese besteht aus einer Scheibe (oder auch aus einem Hohlzylinder) aus Glas, die um eine horizontale Achse drehbar ist und an mehreren

Fig. 78.



durch Federn dagegen gedrückten Lederkissen, dem Reibzeug *R* gerieben wird, und aus dem Konduktor *K*. Die Scheibe ist geschliffenes Spiegelglas; durch ihre Mitte geht eine gläserne Achse, welche in einem Holzgestell ruht, so daß sie nebst der Scheibe mittels einer Kurbel gedreht werden kann. Je größer die Scheibe, desto stärker die Wirkung. Das Reibzeug besteht aus zwei Paaren flacher, länglicher Kissen, welche durch Federn nahe beim Umfang der Scheibe an beide Seiten des Glases angedrückt werden. Die Kissen sind mit Haaren ausgestopft und mit Leder oder Seide überzogen, deren Flächen mit Fett und Amalgam (aus 1 Th. Zinn, 1 Th. Zink und 2 Th. Quecksilber) bestrichen werden, um eine möglichst gleichmäßige Reibung zu bewirken. Auf der Seite, nach der die Scheibe sich dreht, wird bei jedem Kissenpaar ein Streifen Wachstaffet (die in der Figur dunkel gezeichneten

Streifen) angebracht, das sich beim Umdrehen an die Scheibe legt und verhindert, daß nicht schon vor Ankunft des elektrischen Teils der Scheibe bei dem Konduktor durch Berührung mit der Luft ein Verlust an Elektrizität eintreten kann. Die Träger der Kissen müssen Glassäulen sein, welche mit gutem Schellackfirnis überzogen sind.

Der Konduktor K ist eine hohle Kugel oder ein hohler Zylinder aus Messingblech, welche zum Zwecke der Isolierung auf einer Säule aus Glas, die mit Schellackfirnis überzogen ist, ruht. Er dient dazu, die auf der Scheibe erzeugte Elektrizität aufzunehmen. Um diese Wirkung zu befördern, wird an dem Teile des Konduktors, welcher der Scheibe zunächst liegt, der Einsauger e angebracht. Dieser besteht aus zwei Metallringen oder Metallarmen, welche beiden Flächen der Scheibe nahe gegenüberstehen und an der inneren d. h. der Scheibe zugewendeten Seite mit feinen Metallspitzen versehen sind. Die letzteren saugen die Elektrizität der Scheibe auf und leiten sie bis zum Konduktor über. Beim Drehen der Scheibe wird diese und infolgedessen auch der Konduktor (+) positiv elektrisch.

Das Reibzeug R ist gleichfalls isoliert und hat in der Regel einen besonderen Konduktor K^1 . Reibzeug und Konduktor erhalten beim Umdrehen der Scheibe (—) negative Elektrizität, welche von der positiven abgestoßen wird und von dieser sich tunlichst zu entfernen trachtet. — Um im Konduktor K kräftige positive Elektrizität zu erhalten, wird der Konduktor des Reibzeuges K^1 gewöhnlich durch eine (in der Figur nicht gezeichnete) Kette mit der Erde leitend verbunden. Dies hat zur Folge, daß zu dem Konduktor K auf dem Umwege über die Glasscheibe stets positive Elektrizität zuströmt, während die negative Elektrizität nach dem Erdboden abgeleitet wird.

Mit Hilfe der Elektrisiermaschinen gelingt es, elektrische Ströme von hoher Spannung zu erzeugen. Indessen ist die so erzeugte Elektrizität nicht lange aufzubewahren, sie muß sofort verbraucht werden. — Die Erzeugung von Strömen geringerer Spannung, aber von großer Konstanz, gelingt dagegen auf chemischem Wege. So erzeugte Ströme nennt man galvanische Ströme.

Galvanische Ströme.

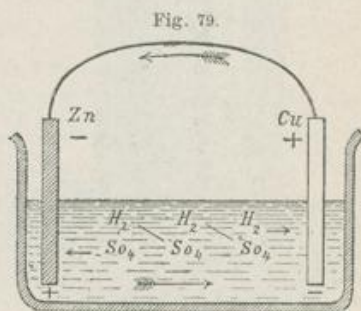
Bringt man in ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure einen Zinkstab und von diesem getrennt einen Kupferstab, so wird der erstere, indem er die Schwefelsäure zersetzt, aufgelöst. — Dabei spielt sich nachfolgender Vorgang ab: Beim Eintauchen des Zinks in Schwefelsäure trennen sich die im Zink vorher in neutralem Zustande vorhanden gewesenen Elektrizitäten. — Soweit das Zink in die Flüssigkeit hineinragt, ist es +elektrisch, das entgegengesetzte, aus der Flüssigkeit herausragende Ende dagegen ist —elektrisch. Das Umgekehrte ist beim Kupfer der Fall. Die in die Schwefelsäure eintauchenden Anteile sind —elektrisch, die aus derselben herausragenden dagegen +elektrisch. Es finden somit zwischen Zink und Kupfer innerhalb und außerhalb der Flüssigkeit elektrische Spannungsdifferenzen statt. Bringt man nun beide Metalle in leitende Verbindung miteinander, so suchen sich die entgegengesetzten Elektrizitäten auszugleichen, es entsteht ein elektrischer Strom. Innerhalb der Flüssigkeit strömt +Elektrizität vom Zink zum Kupfer, außerhalb der Flüssigkeit +Elektrizität vom Kupfer zum Zink in der Richtung der in Fig. 79 gezeichneten Pfeile. — Dieser Strom wird der positive genannt; außer ihm findet noch Ueberströmen negativer Elek-

trizität in umgekehrter Richtung statt, doch pflegt man der Einfachheit wegen diesen negativen und schwächeren Strom in der Regel zu vernachlässigen.

Der chemische Vorgang in einem solchen Apparat ist ein ziemlich einfacher. Das +elektrische Zink zerlegt die Schwefelsäure in den -elektrischen Rest¹⁾ SO_4 und den +elektrischen Rest H_2 . Ersterer ($-\text{SO}_4$) geht an das +elektrische Zink und bildet mit diesem Zinksulfat ZnSO_4 , der freigewordene Wasserstoff entzieht einem nächstgelegenen Molekül H_2SO_4 den Rest SO_4 , der nunmehr frei werdende Rest H_2 zerlegt in der gleichen Weise das ihm zunächst liegende Mol. H_2SO_4 , bis am -Cu-Pol freier Wasserstoff auftritt. — Die Elektrizität wird hier unzweifelhaft durch chemische Zersetzung erzeugt²⁾.

Ein solcher Apparat, in welchem durch chemische Zersetzung Elektrizität erzeugt wird, heißt ein galvanisches Element, eine Verbindung mehrerer solcher Elemente eine galvanische Batterie. — Der galvanische Strom bleibt längere Zeit konstant, weil durch die fortschreitende chemische Zersetzung die elektrische Spannungsdifferenz zwischen Zink und Kupfer immer wieder hergestellt wird. Das eben skizzierte Element ist das denkbar einfachste. Es bleibt indessen nur kurze Zeit konstant, weil der frei werdende Wasserstoff sich an das Kupfer anlegt und dieses schlecht leitend macht; außerdem werden auch durch die dem Kupfer adhärierende Schicht +elektrischen Wasserstoffes die bei fortschreitender Zersetzung weiterhin entstehenden +elektrischen Wasserstoffmoleküle abgestoßen; hierdurch entstehen in dem Elemente Gegenströme (Polarisation des Stromes), der Strom wird bedeutend geschwächt.

Die sog. konstanten Elemente zeigen diese Uebelstände nicht. Um ihre Einrichtung verstehen zu können, muß man nachstehende Punkte ins Auge fassen. — Der elektrische Strom entsteht durch die chemische Zersetzung; im vorliegenden Falle durch die Zersetzung der Schwefel-



¹⁾ Diese Reste, in welche die Elektrolyte gespalten werden, heißen „Ionen“.

²⁾ Im Sinne der modernen Ionentheorie wird die Entstehung eines elektrischen Stromes wie folgt erklärt: Jedem Metall ist ein bestimmtes Bestreben eigentümlich, Ionen in Lösung zu schicken. Sind die Tendenzen zweier Metalle in dieser Beziehung ganz gleich, so entsteht überhaupt kein Strom. Sind die Tendenzen verschieden, so überwiegt dasjenige Metall mit der größten Lösungstendenz, und es entsteht nunmehr ein elektrischer Strom. Im vorliegenden Falle hat das Zink das größere Bestreben, Ionen in Lösung zu schicken. Die positiv geladenen Zinkionen treffen die negativ geladenen SO_4 -Ionen, neutralisieren deren Elektrizität, so daß positiv geladene H_2 -Ionen in Erscheinung treten, die an der Kupferelektrode zur Abscheidung gelangen.

säure durch das Zink. — Das Kupfer hat lediglich die Aufgabe, die entstehende Elektrizität fortzuleiten, wird aber durch den ausgeschiedenen Wasserstoff daran sehr bald gehindert. — Die konstanten Elemente besitzen nun die Neuerung, daß das zersetzende und das die Elektrizität leitende Metall voneinander getrennt sind und in verschiedenen Flüssigkeiten stehen.



Die Trennung ist derart, daß das eine Metall in einer Tonzelle *T* untergebracht ist, welche wohl die Diffusion von Gasen, nicht aber diejenige von Flüssigkeiten gestattet. (Fig. 80.)

Das Zink läßt sich überhaupt nicht leicht durch ein anderes Metall ersetzen, da es für die Konstanz des Stromes absolut notwendig ist, daß das zersetzende Metall während des ganzen Prozesses eine metallische Oberfläche behält. Zink und Schwefelsäure

also finden wir bei fast allen Elementen wieder. — Um zu verhindern, daß Wasserstoff sich am Kupfer absetzt, bringt man dieses entweder in eine Metallsalzlösung (Kupfervitriol). Es wird nun nicht der schlecht leitende Wasserstoff, sondern eine vorzüglich leitende Schicht von metallischem Kupfer an der Kupferplatte abgeschieden, so daß diese also dauernd unverändert bleibt. Oder man stellt das leitende Metall in ein kräftiges Oxydationsmittel (Salpetersäure, Chromsäure etc.), welches den entstehenden Wasserstoff sofort zu Wasser oxydiert und damit unschädlich macht.

1. *Daniells Element*. Außen Zink + Schwefelsäure; in einer Tonzelle Kupfer + Kupfervitriollösung. — Am negativen (Kupfer-)Pol scheidet sich nun nicht Wasserstoff, sondern vorzüglich leitendes Kupfer ab. — Sehr konstant, aber mäßig starke Ströme.

2. *Groves Element*. Außen Zink + Schwefelsäure; in einer Tonzelle konz. Salpetersäure + Platin. — Der entstehende Wasserstoff wird von der Salpetersäure sofort zu Wasser oxydiert.

3. *Bunsensches Element*. Außen Zink + Schwefelsäure; in einer Tonzelle ein Kohlezylinder in konz. Salpetersäure. Der entstehende Wasserstoff wird ebenfalls sofort zu Wasser oxydiert. An Stelle des leitenden Metalles ist hier die gleichfalls vorzüglich leitende Retortenkohle gesetzt. Diesem wie dem vorigen Element ist der Vorwurf zu machen, daß es der Gesundheit schädliche Dämpfe von Oxyden des Stickstoffs verbreitet (Fig. 80). — Dieser Nachteil ist bei dem nachfolgenden Element vermieden.

4. *Buff-Bunsens Element*. Außen Zink + Schwefelsäure; in einer Tonzelle Kohle in einer Mischung von Kaliumdichromat und Schwefelsäure. Hier ist es die Chromsäure, welche den freiwerdenden Wasserstoff oxydiert. — Diese Elemente sind auch so modifiziert, daß Zink und Kohle, voneinander isoliert, gleichzeitig in ein Gemisch von Schwefelsäure und Kaliumdichromat getaucht werden (*Grenets Tauch-*

batterie). Will man den Strom unterbrechen, so hebt man Zink und Kohle oder nur das Zink aus der Flüssigkeit heraus. Namentlich für medizinische Zwecke im Gebrauch.

5. *Lectanché-Element*. In der nämlichen Zelle und in nur einer Flüssigkeit stehen ein Zinkstab und von diesem isoliert ein Kohlestab, umgeben mit einer Mischung von haselnußgroßen Stücken Braunstein und Retortenkohle. Die Flüssigkeit, in der beide Elektroden stehen, ist Ammoniumchloridlösung. Die Oxydation des auftretenden Wasserstoffs wird durch den vorhandenen Braunstein bewirkt. Das Element ist konstant und hält lange an, wenn es immer nur kurze Zeit auf einmal tätig ist. Dient besonders für elektrische Klingelleitungen.

Schaltung von Elementen. Durch Vereinigung mehrerer Elemente erhält man eine galvanische Batterie. Eine solche kann man nach 2 Prinzipien zusammenstellen. a) Man schaltet die Elemente hintereinander, d. h. man verbindet den +Pol des einen Elementes mit dem -Pol des anderen. Man erhält so Ströme von großer Spannung, da sich die Spannungsdifferenzen der vorhandenen einzelnen Elemente addieren. — Man kann sich den durch diese Art der Schaltung erhaltenen hochgespannten Strom so vorstellen, als ob eine dünne Wassersäule aus großer Höhe herabfällt. b) Man schaltet die Elemente nebeneinander, d. h. man verbindet sämtliche +Pole miteinander, ebenso sämtliche -Pole. Eine solche Batterie wirkt wie ein einzelnes, sehr großes Element; man kann sich ihre Wirkung so veranschaulichen, als ob eine große Menge Wasser mit nur geringem Gefälle abfließt.

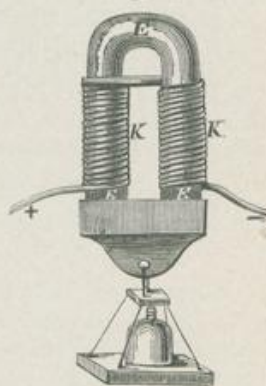
Wirkung der Elektrizität.

Von den Wirkungen der Elektrizität seien folgende hervorgehoben:

1. Weiches Eisen wird, solange es von einem elektrischen Strome umkreist wird, zu einem Magneten. Umwickelt man ein hufeisenförmiges Stück Eisen *E* mit dem isolierten Kupferdraht *KK* und verbindet die beiden Enden mit einem galvanischen Elemente, so wird das Eisen zu einem Magneten. — Unterbricht man die Zuleitung von Elektrizität, so schwinden die magnetischen Eigenschaften. Auf dieser Tatsache beruht die elektrische Telegraphie, beruhen ferner die elektromagnetischen Maschinen.

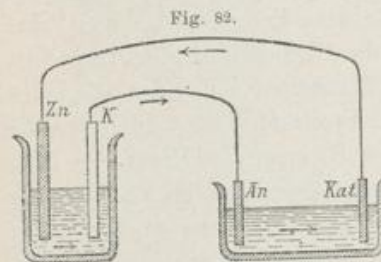
2. Galvanische Wärme- und Lichterscheinungen. Schaltet man in die Leitung einer kräftigen Batterie einen Leiter ein, der einen gewissen Leitungswiderstand bietet, z. B. einen dünnen Platindraht, so gerät dieser ins Glühen. Man benutzt diese Erscheinung zum Entzünden von Minen, Torpedos, ferner in der Chirurgie zu gewissen operativen Eingriffen (Galvanokaustik). Verbindet man die Pole einer sehr starken Batterie mit zwei Kohlestäben, nähert diese bis zur Berührung und entfernt sie wieder vorsichtig etwas voneinander, so bildet sich zwischen ihnen ein Lichtbogen von blendendem Glanze. — Hier sind es glühende Kohleteilchen, welche die Lichtwirkung verursachen. Die Kohlezylinder verbrennen allmählich; um den Lichtbogen konstant zu erhalten, werden sie durch ein Uhrwerk immer in einer gewissen Entfernung voneinander gehalten (elektrisches Bogenlicht). Die Kohle-

Fig. 81.



zylinder müssen immer wieder erneuert werden. — Schaltet man in die Leitung eines kräftigen Stromes einen Kohlebügel so ein, daß sich dieser im luftleeren Raume befindet, so erglüht er und sendet ein sehr glänzendes Licht aus. Da die glühende Kohle sich im Vakuum befindet, Sauerstoff also abwesend ist, so kann der Kohlenstoff nicht verbrennen (elektrische Glühlampen).

3. Chemische Wirkungen des Stromes. Schaltet man in den elektrischen Strom einen zusammengesetzten (Säure, Base, Salz), am besten gelösten Körper ein, so wird derselbe zersetzt. Die elektrisch positiven Bestandteile der Verbindung werden vom positiven, die elektrisch negativen Bestandteile dagegen vom negativen Strom mitgenommen. Der Vorgang der Zersetzung wird Elektrolyse, der der Zersetzung unterworfenen Körper selbst Elektrolyt genannt. Die Drähte oder



leitenden Formen, durch welche der Strom in die zu zersetzende Flüssigkeit (das Bad) eintritt, heißen Elektroden (von ὁδός, Weg) und zwar heißt diejenige Elektrode, durch welche der positive Strom eintritt, Anode (Kupferpol), diejenige, durch welche er austritt, Kathode (Zinkpol). Die Zersetzungsprodukte heißen Ionen und zwar das an der Anode auftretende Anion, das an der Kathode auftretende Kation¹⁾.

Diese zersetzenden Wirkungen des elektrischen Stromes haben das hervorragendste theoretische und praktische Interesse. — So wird Wasser H_2O in $-O$ und $+H_2$ gespalten. — Salzsäure zerfällt in $-Cl$ und $+H$, Schwefelsäure in $-SO_4$ und $+H_2$. Von praktischer Wichtigkeit ist die Zerlegung der Metallsalze geworden. Sie spalten sich unter dem Einflusse des elektrischen Stromes in das zugehörige Metall und in den zugehörigen Säurerest. $CuSO_4$ z. B. in $Cu + SO_4$. Auf diese Tatsache gründen sich mehrere moderne Industrien, die Galvanisation, die Galvanoplastik, und die Gewinnung von Metallen auf galvanischem Wege.

Galvanisation oder Galvanostegie, d. h. die Ueberziehung eines leitenden, meist metallischen Körpers mit einer dünnen Schicht eines anderen, meist eines edlen Metalles. Taucht man einen metallischen Gegenstand in eine Gold- oder Silberlösung, verbindet ihn mit der Kathode (Zn-Pol) einer Batterie und setzt ihm als Anode einen mit dem Cu-Pol verbundenen Streifen Gold- oder Silberblech entgegen, so überzieht sich der zu galvanisierende Gegenstand mit einer sehr fest anhaftenden Schicht von Gold oder Silber. Auf analoge Weise erfolgt das Vernickeln und Verkupfern. Als Bäder dienen meist die Cyanverbindungen der Metalle bzw. ihre löslichen Doppelverbindungen mit Cyankalium.

Galvanoplastik. Mit diesem Namen bezeichnet man die Nachbildung eines Gegenstandes durch elektrolytische Abscheidung von Metallen. — Formen von leicht schmelzbaren Metallen oder solche von Wachs, Harz, Guttapercha, welche durch Einstäuben mit Graphitpulver leitend gemacht sind, werden als Kathoden in galvanische Bäder gebracht. Das Metall schlägt sich auf den Formen nieder und gibt einen naturgetreuen Abdruck derselben. — Von besonderer Wichtigkeit ist dies Verfahren zur Herstellung von Formen für Buchdruckerlettern und für Klischees, weil man auf diese Weise beliebig viele Formen von absoluter Gleichartigkeit sich verschaffen kann.

¹⁾ Nach der Iontentheorie (s. S. 289) sind die in wässriger Lösung befindlichen Elektrolyte (Säuren, Basen, Salze) bereits in ihre Ionen (d. h. elektrischen Spaltprodukte) dissoziiert. Die Arbeit des elektrischen Stromes besteht nach dieser Theorie nicht darin, diese Spaltung herbeizuführen (die Ionen sind ja infolge des Auflösungsvorganges schon vorhanden), sondern lediglich darin, die Ionen nach den Elektroden zu transportieren. Man kann sich die Vorstellung machen, daß dabei die positiv geladenen Ionen vor dem positiven Strom fliehen, die negativ geladenen Ionen vor dem negativen Strom fliehen, weil gleichnamige Elektrizitäten sich gegenseitig abstoßen.

Die elektrolytische Gewinnung von Metallen ist ein der neuesten Zeit angehöriger Industriezweig; er ermöglicht namentlich die Gewinnung von Metallen in absolut reinem Zustande. — Auch einige unedle Metalle, z. B. Aluminium, Magnesium, Kupfer werden elektrolytisch gewonnen.

Akkumulatoren, Sekundärelemente. Man bezeichnet mit diesen Namen Apparate, mit Hilfe deren es gelingt, Elektrizität aufzuspeichern. Die gebräuchlichste Einrichtung ist folgende: Bringt man zwei Bleiplatten voneinander getrennt in verdünnte Schwefelsäure, schaltet dieses System in eine Stromquelle ein und leitet elektrischen Strom hindurch, so wird die Schwefelsäure zerlegt in $\text{SO}_2 + \text{O} + \text{H}_2$. An der Kathodenbleiplatte bleibt das Blei metallisch, bzw. es scheidet sich hier, schwammförmiges Blei und Wasserstoff aus, die Anodenbleiplatte wird in Bleisuperoxyd verwandelt. Nach beendigter Ladung hat man ein Element, welches besteht aus (positiv geladenem) Blei und Wasserstoff einerseits und negativ geladenem Bleisuperoxyd andererseits, welche beide in verdünnter Schwefelsäure stehen. Verbindet man diese beide Platten miteinander durch eine Leitung, so erhält man einen elektrischen Strom und zwar etwa 80—85% derjenigen Elektrizität wieder, welche man vorher beim Laden verbraucht hatte. Ein solches Element gibt einen Strom von 1,9—2,20 Volt Spannung. Durch Hintereinanderschaltung mehrerer solcher Elemente kann man natürlich Ströme von sehr hoher Spannung erzeugen. Die Elektrizitätsmenge, welche ein solcher Akkumulator liefert, richtet sich nach der Größe und Art der Präparation der Platten.

Wenn ein Akkumulator seine Ladung abgegeben hat, kann er aufs neue geladen werden, bis er nach längerer Zeit (mehreren Jahren) unbrauchbar wird. Das Laden kann geschehen durch galvanische Elemente, durch Thermolemente, durch Maschinenstrom, doch ist für jeden Akkumulator nur ein bestimmter Maximalladestrom zulässig.

Die Schwefelsäure muß eine bestimmte Konzentration haben (spez. Gewicht = 1,21).

Schädlich für einen Akkumulator sind folgende Momente: 1. Verunreinigung der Schwefelsäure oder des zum Verdünnen derselben benutzten destillierten Wassers, weil sich die Verunreinigungen, soweit sie Elektrolyte sind, auf den Bleiplatten niederschlagen. 2. Laden mit einem zu starken Strom, weil dadurch die Bleiplatten deformiert werden. 3. Plötzliche Entnahme von zuviel Strom (Kurzschluß). 4. Plötzliche Erschütterungen, durch die der Bleischwamm und das Bleisuperoxyd von den Platten gelöst werden. 5. Längeres Stehen ohne genügende Ladung.

Die Wichtigkeit der Akkumulatoren besteht darin, daß man in ihnen Elektrizität bis zum eintretenden Verbrauch aufspeichern kann. Die elektrischen Zentralen z. B. können während eines Teiles des Tages die Akkumulatoren durch die Maschinen laden, und alsdann reicht das aufgespeicherte Quantum elektrischer Energie aus für die hellen Tagesstunden, in denen der Verbrauch an Elektrizität nur gering ist. Man kann also die Akkumulatoren vergleichen mit dem Wasserturm einer Wasserhaltungsanlage, welcher auch immer eine gewisse Reserve, d. h. einen Wasservorrat enthalten muß.

Dynamo-elektrische Maschinen. Die erste elektrische Maschine war eine magnetelektrische Maschine oder elektromagnetische Maschine, d. h. zwischen den Polen eines fertigen Magneten kreiste oder drehte sich ein Grammescher Ring.

Im Prinzip beruht die Erzeugung der Elektrizität durch diese Maschinen darauf, daß ein elektrischer Strom entsteht, wenn man einen geschlossenen Leiter a) einem Magneten nähert, b) von einem Magneten entfernt, und zwar kommen hier folgende Gesetze in Betracht:

Gesetz 1. Wenn um einen Eisenkern ein elektrischer Strom kreist, so wird der Eisenkern magnetisch.

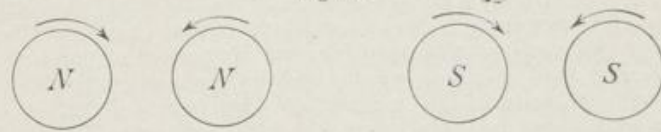
Gesetz 2. Wird einem geschlossenen Leiter ein Magnet genähert, so entsteht in dem geschlossenen Leiter ein elektrischer Strom.

Gesetz 3. Wird ein Magnet von einem geschlossenen Leiter entfernt, so entsteht in diesem ein elektrischer Strom.

Gesetz 4. Wenn um einen Magnetstab in einem geschlossenen Leiter ein Strom kreist, so ist der Nordpol des Magneten links, wenn man sich in der Richtung des Stromes schwimmend denkt, das Gesicht auf den Magnetstab gerichtet. *Ampères* Schwimmregel.

Gesetz 5. A. Am Nordpol eines Magneten fließt der Strom entgegengesetzt der Uhrzeigerbewegung, wenn das System ruht. Ist das System in Bewegung, dann ändern sich die Verhältnisse in folgender Weise: Nähert man den Nordpol eines

Fig. 83.

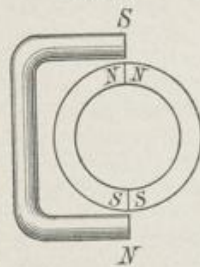


Magneten dem Stromkreise, so zirkuliert in dem Stromkreise der Strom im Sinne der Uhrzeigerbewegung. — Entfernt man den Stromkreis von dem Nordpol eines Magneten, so geht der Strom wieder der *Ampères*chen Regel entsprechend, d. h. entgegengesetzt der Uhrzeigerbewegung¹⁾.

B. Am Südpol eines Magneten fließt der Strom nach der *Ampères*chen Regel in der Richtung der Uhrzeigerbewegung, wenn das System ruht. Bei Annäherung eines Magneten fließt er der Uhrzeigerbewegung entgegengesetzt, bei Entfernung desselben der Uhrzeigerbewegung folgend.

Der Grammesche Ring. Der *Grammesche* oder *Pacinottische* Ring ist der Hauptbestandteil aller Dynamomaschinen. — Er besteht aus einem massiven, eisernen

Fig. 84.



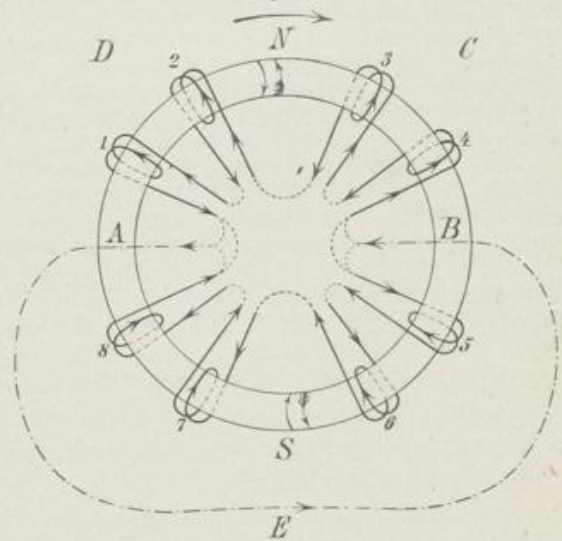
Ringe, der zwischen den zwei Polen eines starken Magneten steht. Dies hat auf den Ring die Wirkung, als ob dieser aus zwei Halbringen bestehe, die mit den gleichnamigen Polen aneinander liegen. (Fig. 84.)

— Um den Ring sind zahlreiche Spulen von isoliertem Kupferdraht gewickelt, die nach der Achse des Ringes in der Mitte abzweigen und ein geschlossenes Leitungssystem bilden. (Fig. 85.)

Nehmen wir an, daß der Ring feststeht, die Spiralen sich aber in der Richtung des bei N gezeichneten großen Pfeiles bewegen, so nähert sich die Spirale 1 dem

¹⁾ Der Beobachter denkt sich dabei so vor dem Nordpol stehend, daß er diesen direkt vor den Augen hat.

Fig. 85.



Nordpol N des Ringes. Infolgedessen entstehen in dem Abschnitt A N der Leitung Ströme in der Richtung der Uhrzeigerbewegung (diese Richtung gibt der gefiederte Pfeil bei N an), siehe Gesetz 5 A. Entfernt sich die Spirale 1 von dem Nordpol, so treten in dem Abschnitt N B der Leitung Ströme auf, die der Uhrzeigerbewegung entgegengesetzt gerichtet sind und zwar bis zum indifferenten Punkte B.

Hinter dem Punkte B nähert sich die Spirale 1 nunmehr dem Südpol des Ringes, es treten daher in dem Abschnitt B S der Leitung Ströme auf, welche der Uhrzeigerbewegung entgegengesetzt gerichtet sind. Gesetz 5 B. Entfernt sich beim weiteren Rotieren die Spirale 1 wieder vom Südpol, so kreisen in dem Abschnitt S A der Leitung Ströme, die im Sinne der Uhrzeigerbewegung gerichtet sind.

Verfolgen wir die Richtung der Ströme, so sehen wir, daß bei A und B Ströme entgegengesetzter Richtung zusammentreffen. Würde man die Leitungen bei A und B, wie die punktierten Linien zeigen, einfach gegeneinander stoßen lassen, so würden beide Ströme sich gegenseitig aufheben, die Wirkung würde = Null sein. Verbindet man jedoch je zwei dieser Enden mit je einem Ende eines dritten Drahtes, wie dies die Strichpunktlinie versinnlicht, so wird dieser dritte Draht von dem Summationsstrom einer bestimmten Richtung durchflossen sein. Dieser dritte Draht stellt den äußeren Stromkreis der Maschine und seine Enden stellen die als Bürsten geformten Schleifkontakte oder Kollektoren dar. Der Strom fließt im äußeren Stromkreise von A zu B und kann zu irgend einer Arbeitsleistung verwendet werden.

Wie es möglich ist, zwei entgegengesetzt gerichtete Ströme in einen gleichgerichteten Summationsstrom umzuwandeln, davon gibt vorstehende Figur 86 eine Vorstellung.

In das Schlangenrohr sollen von C und D her zwei Wasserströme in der Richtung der Pfeile mit gleichem Druck eintreten. Beide entgegengesetzt gerichtete Ströme würden bei A aufeinander treffen und das Resultat würde keine Bewegung sein. Setzt man bei A aber das Abzweigrohr B an, so würden beide Wasserströme gemeinsam in der Richtung des Pfeiles abfließen. Bei dem Punkte B (Fig. 85) läßt sich die gleiche Betrachtung anstellen. Nur wäre an Stelle des Druckes auf das Wasser ein Ansaugen desselben zu setzen.

Nun ist in der Praxis die Anordnung so, daß die Drahtspiralen fest auf dem massiven Ringen befestigt sind, und daß dieser mit den auf ihm befestigten Spiralen bei den Polen des feststehenden Magneten vorüberrotiert. Dadurch wird an den gemachten Voraussetzungen nichts geändert, denn zu jeder Zeit befindet sich gegenüber dem Südpol des feststehenden Magneten der Nordpol des massiven Ringes und ebenso gegenüber dem Nordpol des feststehenden Magneten der Südpol des massiven Ringes.

Dynamomaschinen. Bei diesen sind eigentliche Magnete nicht vorhanden. Der Grammesche Ring rotiert zwischen zwei Kernen von gewöhnlichem Eisen, die mit einer Leitung umwickelt sind. Das Eisen enthält von Natur soviel „remanenten

Fig. 86.

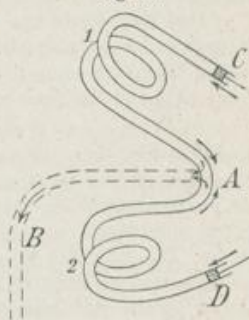
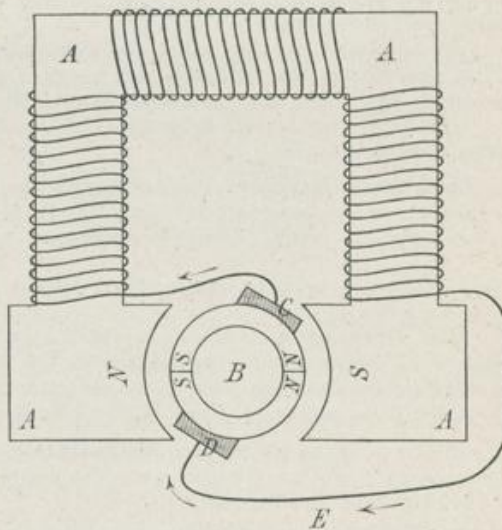


Fig. 87.



Magnetismus⁴, daß dieser genügt, um in den Wickelungen des Grammeschen Ringes, wenn dieser an den Eisenkernen vorbeirotiert, einen wenn auch nur ganz schwachen Strom zu erzeugen. Läßt man aber den so erzeugten (schwachen) Strom durch die Leitung um die Eisenkerne kreisen, so wird der Magnetismus dieser Eisenkerne verstärkt (siehe Gesetz 1 und 2). Dadurch werden auch die elektrischen Ströme in der Leitung des Grammeschen Ringes stärker, und diese verstärken wiederum den Magnetismus der Eisenkerne. Es ist also ein beständiges gegenseitiges Verstärken zwischen elektrischem Strom und Magnetismus (siehe Fig. 87).

Das Wichtigste bei diesen Dynamomaschinen besteht darin, daß man durch das Herumführen des elektrischen Stromes um die Eisenkerne viel kräftigere Magnete erzeugen kann, als wenn man wirkliche Magnete benützen wollte, außerdem ist weiches Eisen natürlich billiger als Magnete.

Elektrische Motoren. Jede Dynamomaschine, welche einen elektrischen Strom zu erzeugen im stande ist, kann auch als Elektromotor benützt werden. Führt man nämlich der Dynamomaschine durch die Bürsten bei A und B einen elektrischen Strom zu, so wird der Grammesche Ring in Bewegung gesetzt, indem der in die Spiralen eintretende Strom sowohl die Eisenkerne als auch den massiven Ring zu Magneten macht. Die Pole des Magneten ziehen sich an und stoßen sich ab und dadurch wird der Grammesche Ring in Bewegung gesetzt. Richtet man die Achse des Grammeschen Ringes so ein, daß eine Kraftübertragung (durch Riemen oder dergleichen) möglich ist, so kann man die Dynamomaschine auch als Elektromotor benützen.

In der Regel tut man dies aus praktischen Gründen nicht, sondern benützt besondere Maschinen zur Erzeugung von Elektrizität und besondere Maschinen zur Uebertragung von Kraft.

Fortpflanzung der Elektrizität. Während man über das Wesen der Elektrizität noch keineswegs im klaren ist, weiß man jetzt wenigstens, daß die Fortpflanzung der Elektrizität im Raume ebenfalls in Wellenform erfolgt, und zwar ist die Größe der elektrischen Wellen und ihre Schwingungsdauer derselben erheblich größer als diejenige der Lichtwellen.

Davon abgesehen aber haben die elektrischen Wellen manches mit den Lichtwellen gemeinsam. Sie verbreiten sich wie das Licht geradlinig, sie können reflektiert und gebrochen, sogar auch polarisiert werden (Hertz).

Die Konsequenz dieser Erkenntnis ist durch die „Telegraphie ohne Draht“ gezogen worden.

Elektrische Einheiten. Die Beziehungen der wichtigsten elektrischen Funktionen zueinander werden ausgedrückt durch das Ohmsche Gesetz: Intensität J ist gleich elektromotorische Kraft E dividiert durch den Gesamtwiderstand W .

$$J = \frac{E}{W} \text{ oder in anderer Form Ampère} = \frac{\text{Volt}}{\text{Ohm}}, \text{ d. h. } A = \frac{V}{O}.$$

Das Ohm ist die Einheit des elektrischen Widerstandes. Es wird dargestellt durch den Widerstand einer Quecksilbersäule von der Temperatur des schmelzenden Eises, deren Länge bei durchweg gleichem, einem Quadratmillimeter gleich zu achtendem Querschnitt 106,3 cm und deren Masse 14,4521 g beträgt.

1 Ohm ist etwa gleich dem Widerstande eines eisernen Telegraphendrahtes von 100 m Länge und 4 mm Durchmesser oder demjenigen eines Kupferdrahtes von 48 m Länge und 1 mm Durchmesser.

Das Ampère ist die Einheit der elektrischen Stromstärke. Es wird dargestellt durch den unveränderlichen elektrischen Strom, welcher bei dem Durchgang durch eine wässrige Lösung von Silbernitrat in 1 Sekunde 0,001118 g Silber niederschlägt.

Ein Ampère ist diejenige Stromstärke, welche erhalten wird durch die elektromotorische Kraft von 1 Volt in einem Stromkreise, dessen Widerstand = 1 Ohm ist. Oder: Ampère ist diejenige Stromstärke, durch welche in 1 Sekunde 0,000328 g metallisches Kupfer ausgeschieden wird.

Ampèrestunde ist diejenige Elektrizitätsmenge, welche einen Stromkreis wäh-

rend 1 Stunde durchläuft, wenn die Stromstärke = 1 Ampère ist. 1 Ampèrestunde ist = (60×60) 3600 Coulomb.

Das **Volt** ist die Einheit der elektrischen Kraft. Es wird dargestellt durch die elektromotorische Kraft, welche in einem Leiter, dessen Widerstand 1 Ohm beträgt, einen elektrischen Strom von 1 Ampère erzeugt.

1 Volt ist etwa die elektromotorische Kraft eines Daniell-Elementes. 1 Volt ist = 0,9 Daniell, 1 Daniell = 1,12 Volt.

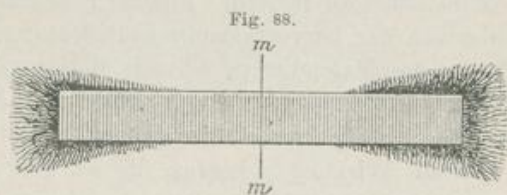
Das Watt (= Volt-Ampère, V.-A.) ist die Einheit der elektrischen Arbeit, deren elektromotorische Kraft = 1 Volt, deren Stromstärke = 1 Ampère ist.

Die im vorstehenden kursiv gesetzten Sätze sind dem Reichsgesetz vom 1. Juni 1898 entnommen.

7. Magnetismus.

Einige natürliche Mineralien, z. B. der in Schweden in großen Lagern vorkommende Magneteisenstein = Eisenoxyduloxyd Fe_3O_4 , besitzen die Eigenschaft, kleine Eisenteilchen anzuziehen und festzuhalten. Diese Tatsache war schon im Altertum bekannt, und da solche Eisenerze zuerst bei der Stadt Magnesia gefunden wurden, so erhielten sie von dieser den Namen Magnete. Später gelang es, künstliche Magnete herzustellen, und gegenwärtig verstehen wir unter einem Magneten jeden Körper, der die Fähigkeit besitzt, Eisen anzuziehen und festzuhalten. — Die Substanz der künstlichen Magnete ist Stahl; ihrer Form nach sind es entweder Stäbe oder Hufeisen.

Legen wir einen Magneten, z. B. einen stabförmigen, in einen Haufen von Eisenfeile oder in einen Haufen kleiner Nägel (Fig. 88), so können



wir beobachten, daß die magnetische Kraft an den beiden Enden des Stabes am stärksten wirkt, dass sie dagegen in der Mitte m desselben = 0 ist. Die mittlere unwirksame Zone des Magneten heißt die Indifferenzzone, die beiden am stärksten wirkenden Enden heißen die Pole des Magneten. Ein einfaches Experiment lehrt uns sofort, daß wir auch zwischen den beiden Polen eines Magneten eine Unterscheidung machen müssen. Hängen wir nämlich eine Magnetnadel an einem Faden freischwebend auf, so sehen wir, daß sie sich nach einigen Schwingungen so einstellt, daß das eine Ende nach Norden, das andere Ende aber nach Süden zeigt. Nehmen wir nun mit der Nadel eine Drehung von 180° vor, versuchen wir also, den beiden Enden die umgekehrte Richtung zu geben, so machen wir die Erfahrung, daß die Nadel, sich selbst überlassen, sofort wieder in ihre alte Richtung zurückkehrt. Nach der Rich-

tung, in welcher sich die beiden Pole eines freihängenden Magneten einstellen, unterscheiden wir nun die beiden Pole als Nord- und Südpol, und zwar nennen wir in Deutschland Nordpol das nach Norden gerichtete, Südpol das nach Süden zeigende Ende des Magneten; in Frankreich ist die umgekehrte Nomenklatur gebräuchlich.

Von Wichtigkeit ist das Verhalten der Pole zweier Magnete zueinander. Hängen wir z. B. zwei Magnetnadeln in einiger Entfernung voneinander auf, so gelingt es uns leicht, festzustellen, welches die Nord- und welches die Südpole derselben sind. Lassen wir nun die eine Nadel hängen und bringen ihrem Nordpol den Nordpol der anderen Nadel nahe, so sehen wir, daß der erstere abgestoßen wird. Nähern wir dagegen dem Nordpol der einen Nadel den Südpol der anderen, so ziehen diese beiden sich an. Dieselben Resultate ergeben sich, wenn wir den Südpol der gleichen Behandlung unterwerfen: es zeigt sich, daß die beiden Südpole sich abstoßen, daß dagegen Nordpol und Südpol sich gegenseitig anziehen. Daraus ergibt sich das Gesetz: Gleichnamige Pole eines Magneten stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen sich an. Die Tatsachen, welche durch dieses Gesetz ausgedrückt werden, haben theoretisch wie praktisch die weitesttragende Bedeutung. Wir wollen vorläufig bloß hervorheben, daß es auf diese Weise möglich ist, mit Leichtigkeit zu entscheiden, welches der Nordpol und welches der Südpol eines Magneten ist, ferner ob ein Körper überhaupt magnetische Eigenschaften besitzt. Man hat eben nur nötig, den zu untersuchenden Gegenstand einer freischwebenden Magnetnadel zu nähern. Für die Elektrotechnik sind die nämlichen Tatsachen von der hervorragendsten Bedeutung.

Ueber das Wesen des Magnetismus ist mit Bestimmtheit wenig bekannt. Früher nahm man an, durch den Einfluß eines Magneten sammelten sich an den beiden Enden eines Eisenstabes 2 verschiedene Fluida an und brächten dort die Wirkungen hervor, die wir für die beiden Pole eines Magneten kennen gelernt haben. Wäre das der Fall, so müßten, wenn wir einen Magneten in der Mitte durchbrechen, zwei isolierte Pole erhalten werden, nämlich ein Stück, welches nur den Nordpol, ein anderes, welches nur den Südpol enthält. In der Tat aber sehen wir, daß beim Durchbrechen eines Magneten, an welcher Stelle und wie oft dies auch geschehen möge, stets vollständige Magneten erhalten werden, deren jeder einen Nord- und einen Südpol enthält.

Gegenwärtig nehmen wir an, daß ein Magnet aus unzähligen, kleinen magnetischen Teilchen besteht, die im magnetischen Zustande in ganz bestimmter Weise geordnet sind: die Nordpole derselben liegen sämtlich nach der einen, die Südpole nach der anderen Seite. Wo wir also auch einen Magneten durchbrechen mögen, so erhalten wir immer Bruchstücke, deren jedes einen mit Nordpol und Südpol ausgestatteten, vollständigen Magneten darstellt.

Ja wir müssen annehmen, daß auch im unmagnetischen Eisen jedes kleinste Teilchen ein Magnet ist; nur sind diese Teilchen im unmagnetischen Zustande nicht gerichtet, sie liegen vielmehr unregelmäßig durcheinander, so daß die Wirkung der Pole aufgehoben und $= 0$ wird. Wirkt aber auf Eisen oder Stahl magnetische Kraft, also ein Magnet ein, so werden die Pole in der angegebenen Weise gerichtet, die magnetischen Eigenschaften gelangen zur Wahrnehmung. Und da nun Eisenteilchen leichter zu richten sind, wie Stahlteilchen, so erklärt sich daraus die Tatsache, daß Eisen leichter magnetisch wird wie Stahl, seinen Magnetismus aber auch leichter verliert wie dieser, ferner daß plötzliche Erschütterungen und rasche Temperaturwechsel schwächend auf Magnete wirken, weil sie die magnetische Anordnung der kleinsten Teilchen stören.

Uebrigens läßt sich nachweisen, daß jedes Stück gewöhnliches Eisen, wenn auch nur in geringem Grade, magnetisch ist. Diesen, dem gewöhnlichen Eisen zukommenden geringen Grad von Magnetismus nennt man „remanenten Magnetismus“.

Deklination. Eine Magnetnadel, welche sich horizontal frei bewegen kann, zeigt mit dem einen Pole (Nordpol) ungefähr nach Norden. Ihre Richtung weicht jedoch etwas von derjenigen des geographischen Nordens ab und zwar bei uns westlich um etwa 17° . Denkt man sich die von der Nadel dargestellte Linie verlängert, so bildet sie eine um die Erde laufende Kreislinie, welche der magnetische Meridian genannt wird.

Die Punkte, in denen sich die magnetischen Meridiane schneiden, heißen die magnetischen Pole der Erde. Sie sind nicht identisch mit den geographischen Polen. Der magnetische Nordpol, 1831 von *Ross* entdeckt, liegt im nördlichen Nordamerika, der magnetische Südpol südlich von der Ostküste Australiens. Der Winkel, unter welchem der magnetische Meridian den geographischen Meridian eines Ortes schneidet, heißt die magnetische Deklination, dieselbe beträgt bei uns etwa 17° und ist westlich.

Die Deklination ist jedoch an verschiedenen Orten der Erde verschieden. In Europa, im Atlantischen Ozean und dem uns zugekehrten Teile Amerikas ist sie westlich; in dem uns abgewendeten Teile Amerikas, in dem größten Teile von Asien und dem Stillen Ozean ist sie östlich. Zwischen beiden Abteilungen läuft um die Erde eine Zone, in welcher die Magnetnadel genau nach dem geographischen Norden zeigt; dieselbe heißt *Agone* (von α priv. und $\gamma\acute{o}\nu\eta$, Winkel). Die eine Hälfte der *Agone* läuft ungefähr der Grenze zwischen Europa und Asien entlang durch den Persischen Meerbusen nach Australien. Die andere Hälfte geht von Norden nach Süden etwa durch die Mitte von Amerika. Beide Teile der *Agone* schließen sich aneinander an und teilen so die Erde in zwei magnetische Hälften. — Die magnetische Deklination ist veränderlich, sie zeigt Variationen.

1. Säkulare Variation. Sie geht im Verlaufe der Jahrhunderte allmählich vor sich. Für unsere Gegenden war die Deklination früher östlich, dann variierte sie nach Westen hin und ist gegenwärtig wieder im Rückgange nach Osten begriffen. In Paris war die Deklination

Fig. 89.



im Jahre	1580	10° 30'	östlich,
"	"	1663	0°
"	"	1814	22° 34' westlich,
"	"	1835	22° 4' "
"	"	1852	20° 25' "

Die Ursachen der säkularen Variation sind unbekannt.

2. Tägliche Variationen. Von Sonnenaufgang bis etwa 2 Uhr Mittags geht die Magnetnadel etwa $\frac{1}{4}^\circ$ nach Westen, und geht dann um diesen $\frac{1}{4}^\circ$ bis zu Sonnenuntergang wieder nach Osten zurück; in der Nacht steht sie still. Man sagt daher: die Magnetnadel flieht vor der Sonne. Diese Variationen hängen wahrscheinlich mit der Sonne bezw. mit der Erwärmung der Erdoberfläche durch diese zusammen.

3. Unregelmäßige Schwankungen treten ganz plötzlich ein und erstrecken sich auf einen großen Umkreis. Man bringt dieselben mit den Nordlichtern in Zusammenhang.

Inklination. Im vorhergehenden war von der Richtung die Rede, welche eine horizontal sich bewegende Magnetnadel einnimmt. Eine vollkommen frei schwebende Magnetnadel nimmt infolge der magnetischen Anziehung der Erde noch eine andere Richtung an. Um dies zu prüfen, hängen wir einen unmagnetischen Stahlstab — eine Stricknadel — an einem Faden so auf, daß er genau im Gleichgewicht ist. Machen wir nun den Stahlstab magnetisch, so zeigt es sich, daß das Gleichgewicht jetzt nicht mehr vorhanden ist, vielmehr senkt sich der Nordpol der Nadel, indem er sich in der Richtung des magnetischen Nordpols einstellt. Diese Abweichung von der horizontalen Richtung wird Inklination genannt, sie beträgt bei uns etwa 66° . An anderen Orten der Erde ist die Inklination eine andere. Am magnetischen Nordpol und Südpol steht die Nadel fast senkrecht, in der Nähe des Aequators fast horizontal. Eine etwa mit dem geographischen Aequator zusammenfallende Zone um die Erde, innerhalb welcher die Inklination = 0 ist, die Nadel also horizontal schwebt, wird magnetischer Aequator genannt. Auch die Inklination ist Schwankungen unterworfen; in unseren Gegenden ist sie gegenwärtig im Abnehmen begriffen, die Gesetze jedoch, nach denen dies geschieht, sind noch nicht bekannt (Fig. 89).

Die praktische Anwendung der Magnete ist eine recht ausgedehnte. Die Magnetnadel dient dem Seemann als Wegweiser in den fernen Meeren, der Mineraloge und Geologe benutzt Magnete, um Eisenpartikelchen aus Gesteinen abzusondern, der Arzt entfernt mit ihnen Eisenteilchen aus dem Auge. Die wichtigste Anwendung des Magneten aber ist unzweifelhaft diejenige im Dienste der Elektrizität. Hier ist der Magnet sozusagen das wichtigste Reagens für Elektrizität, andererseits aber findet er Verwendung zur Herstellung der sog. elektromagnetischen Maschinen.

8. Wärme.

Die meisten Körper bewirken, wenn wir sie berühren, in unseren Gefühlsnerven das Gefühl der Wärme oder Kälte. Warm nennen wir einen Körper, der einen höheren, kalt einen solchen, der einen niedrigeren Temperaturgrad besitzt als unsere Haut. Die Wärmeempfindung im ersten Falle wird durch Zufuhr von Wärme, die Kälteempfindung im letzteren Falle durch Entziehung von Wärme verursacht.

Als Ursachen oder Quellen der Wärme wollen wir in Betracht ziehen die Sonne, die Verbrennung, chemische Prozesse und mechanische Arbeit.

1. Erwärmung durch die Sonne. Daß die Sonne unserem Planeten alljährlich eine ungeheure Menge Wärme zuführt, ist bekannt. Weniger bekannt dagegen ist die Art und Weise, in welcher dies geschieht. Die von der Sonne ausgehenden Strahlen können wir in eine Reihe von Strahlenbündeln zerlegen; es resultiert dann das sog. Lichtspektrum (violett, blau, grün, gelb, orange, rot). Jedem einzelnen Teile des Spektrums kommen, wie man sich durch das Thermometer überzeugen kann, erwärmende Eigenschaften zu. Die höchste erwärmende Kraft des Spektrums aber besitzen für uns unsichtbare, jenseits des Rots liegende Teile desselben, welche aus diesem Grunde dunkle Wärmestrahlen genannt werden. Den Wärmestrahlen gegenüber verhalten sich nun die irdischen Körper sehr verschieden. Eine Reihe von ihnen hält alle Wärmestrahlen, welche sie treffen, entweder ganz oder zum großen Teil zurück; solche Körper werden athermane Stoffe genannt. Andere wieder lassen die Wärmestrahlen gänzlich oder fast gänzlich hindurchpassieren, ohne sie aufzunehmen. Diese werden diathermane Stoffe genannt. Die Resorption der Wärmestrahlen ist übrigens unabhängig von der Durchsichtigkeit oder Undurchsichtigkeit der betreffenden Medien. So ist z. B. Steinsalz fast gänzlich diatherman, Eis dagegen fast ganz atherman; Spiegelglas läßt etwa 40% der Wärmestrahlen hindurch. Auch gasförmige und flüssige Körper verhalten sich verschieden. Während z. B. Wasser recht viel Wärme absorbiert, läßt trockene Luft die Wärmestrahlen fast unverändert hindurch. Namentlich der letztere Umstand ist von der allergrößten Bedeutung. Er erklärt uns die wichtigen Verhältnisse der Erwärmung des Erdbodens. Verhielten sich alle irdischen Körper den Wärmestrahlen gegenüber gleich, so müßten die oberen Luftschichten nicht bloß gleiche, sondern sogar stärkere Erwärmung erfahren als die unteren. Tatsächlich ist dies nicht der Fall. Die höheren Luftschichten besitzen vielmehr niedrigere Temperatur als die niedrig gelegenen. Dies kommt daher, daß trockene Luft die Wärmestrahlen ganz unabsorbiert hindurch läßt, daß dagegen die Erdoberfläche dieselben aufnimmt und der erwärmte Erdboden durch Strahlung die ihm zunächst liegenden Luftschichten erwärmt. Dazu kommt noch, daß der Erdboden auch die ihn treffenden hellen Wärmestrahlen aufnimmt und, nachdem dieselben in dunkle Wärmestrahlen umgewandelt sind, durch Strahlung gleichfalls wieder abgibt.

2. Wärme durch Verbrennung. Für die Praxis wenigstens ist die Verbrennung, d. h. die Verbindung mit Sauerstoff, die wichtigste Quelle zur Erzeugung von Wärme. Das wichtigste zur Verbrennung gelangende Material ist der Kohlenstoff, ihm schließt sich an die Zellulose, die wir in Form von Holz benützen. Wichtige Brennprodukte sind ferner Kohlenwasserstoffe in festem (Paraffin), flüssigem (Petroleum) und gasförmigem (Leuchtgas) Zustande. Die bisher erreichte höchste Temperatur liefert die Verbrennung des Aluminiums auf Kosten des Sauerstoffs von Metalloxyden, die als Thermitverfahren bekannt ist. Die hierbei erreichte Temperatur beträgt etwa 3000° C. (vgl. S. 235). — Die durch Verbrennung von Wasserstoff im Sauerstoff erzeugte Knallgasflamme hat eine Temperatur von etwa 2000° C.

3. Mechanische Arbeit. Es ist eine bekannte Tatsache, daß die Wilden Feuer durch Aneinanderreiben zweier Holzstücke erzeugen. Bekannt ist ferner, daß man durch geschicktes Hämmern einen Nagel zum Glühen bringen kann, daß Wagenachsen, die nicht gehörig geschmiert werden, sich bis zur Entzündung erwärmen können. In allen diesen Fällen wird Arbeit in Wärme umgewandelt. Eine Bewegung, welche in irgend einer Weise gehemmt wird, erzeugt Reibung und dadurch Wärme.

4. Wärme durch chemische Prozesse. Ebenso wie bei der Verbrennung, welche ja auch ein chemischer Vorgang ist, wird bei den meisten anderen chemischen Prozessen Wärme in Freiheit gesetzt, indem sich chemische Energie in Wärme umwandelt. Erwärmung tritt z. B. auf beim Mischen von konz. Schwefelsäure mit Wasser oder Alkohol, beim Löschen von Aetzkalk mit Wasser, ferner beim Auflösen von trockenen Aetzkalkalien in Wasser. Die letztere Tatsache wird sogar technisch zum Betrieb von Maschinen verwertet.

5. Wärme durch Elektrizität. Wärme kann auch dadurch erzeugt werden, daß elektrische Energie in Wärme umgesetzt wird. Lassen wir z. B. eine große

Menge hochgespannter Elektrizität einen Leiter durchfließen, welcher einen genügenden Widerstand bietet, z. B. einen dünnen Platindraht, Kupferdraht, Eisendraht, so wird Elektrizität in Wärme umgesetzt, die betreffenden, Widerstand darbietenden Körper werden erwärmt, ja zum Glühen gebracht. Hierauf beruht z. B. die Galvanokautik. Der zwischen zwei Kohlespitzen entstehende elektrische Flammenbogen hat eine Temperatur von etwa 4000° C. Diese Wärmequelle wird z. Z. im elektrischen Ofen ausgenützt. Vergl. Calciumkarbid S. 179.

Wirkungen der Wärme. 1. Ausdehnung. Die Wärme dehnt alle Körper aus. Wenn wir einen Tiegel haben, der ganz genau in einen eisernen Ring hineinpaßt, so fällt der Tiegel durch den Ring hindurch, wenn der letztere glühend gemacht wird. Im täglichen Leben ist auf die Ausdehnung durch die Wärme in vielen Fällen Rücksicht zu nehmen. Bolzen für Bügeleisen müssen etwas kleiner angefertigt werden als die entsprechende Höhlung des Plätteisens, damit sie auch im rotglühenden Zustande hineinpassen. Wagenreifen werden rotglühend über Wagenräder gebracht und haften dann infolge der Zusammenziehung beim Erkalten sehr fest.

Die Ausdehnung der festen Körper wird im Verhältnis zu ihrer ursprünglichen Länge angegeben. Sie ist für die verschiedenen Körper verschieden. Die Ausdehnung flüssiger Körper wird nach dem Verhältnis ihres kubischen Inhalts berechnet. Flüssigkeiten dehnen sich stärker aus durch Wärme als feste Körper. — Auch die Ausdehnung gasförmiger Körper wird nach dem Verhältnis des kubischen Inhaltes berechnet. Die Ausdehnung der Gase durch Wärme ist viel bedeutender als die von Flüssigkeiten und festen Körpern. Der Ausdehnungskoeffizient ist für alle Gase $= \frac{1}{273}$, d. h. alle Gase nehmen für jede Erwärmung um 1° C. um $\frac{1}{273}$ ihres Volumens zu.

Die Messung der Wärme geschieht durch Instrumente, welche auf der Ausdehnung der Körper durch die Wärme basiert sind. Dieselben werden Thermometer genannt und sind bereits besprochen.

2. Die Wärme verändert den Aggregatzustand der Körper. Ein Körper kann bei verschiedenen Temperaturen in verschiedenen Zuständen auftreten, er kann fest, flüssig oder gasförmig sein.

Das Schmelzen ist der Uebergang vom festen in den flüssigen Zustand. Es beruht darauf, daß durch die Zufuhr von Wärme die Anziehungskraft der kleinsten Teilchen der Materie überwunden wird, daß diese kleinsten Teilchen gleichsam voneinander abgestoßen werden. Schmelzbar sind die meisten uns bekannten festen Körper, aber bei verschiedenen Temperaturen. Einige Metallegierungen zeigen einen auffallend niedrigen Schmelzpunkt, z. B. *Roses Metall* 95° C., *Woodsches Metall* 70° C. Bei sehr hoher Temperatur (2000°) schmilzt Platin. Körper wie Kohlenstoff, Aetzkalk und andere, die vordem als unschmelzbar galten, haben sich neuerdings im elektrischen Flammenbogen (elektrischen Ofen) als schmelzbar erwiesen.

Eine Reihe von Körpern, z. B. Eis, bleiben bis zu einer gewissen Temperatur fest und gehen oberhalb dieser plötzlich in flüssigen Zustand über. Andere, wie die meisten Metalle, Wachs, Fett u. a. erweichen vor dem Verflüssigen. Auf diesem wichtigen Umstande beruht die Bearbeitung des Glases und der Metalle in der Hitze, z. B. das Schweißen des Eisens, des Platins.

Das Verdampfen. Während der Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand nur bei ganz bestimmten Temperaturen eintritt, findet Verdampfung sowohl bei niederen als bei hohen Temperaturen statt. Nur ist die Verdampfung bei höheren Temperaturen lebhafter. Ja, es können sogar feste Körper verdampfen. Dies ist z. B. der Fall bei Eis, Kampfer, Moschus u. a. Das Verdampfen von Flüssigkeiten bei niederer Temperatur wird Verdunsten genannt. Bei Erhöhung der Temperatur nimmt die Verdampfung allmählich zu, bis sie plötzlich in außerordentlich stürmischer Weise auftritt und dann Kochen oder Sieden genannt wird. Das Sieden tritt ein, wenn die Dampfspannung gleich ist dem Drucke der atmosphärischen Luft. Es hängt also der Siedepunkt von dem Drucke der Luft ab, während der Schmelzpunkt davon unabhängig ist. So siedet Wasser bei 760 mm Barometerdruck bei 100° C. Bei geringerem Druck, z. B. auf hohen Bergen, siedet es schon erheblich niedriger (hierauf

beruht die Anwendung der Vakuumabdampfapparate). Bei gesteigertem Druck dagegen (*Papinscher Topf*) findet das Sieden erst oberhalb 100° C. statt.

Verbreitung der Wärme. Haben im Raume verschiedene Körper verschiedene Temperatur, so geht von dem wärmeren Körper Wärme auf den kälteren oder auf kältere Teile eines Körpers über, bis das thermische Gleichgewicht hergestellt ist. Diese Art der Wärmeverbreitung wird Wärmeleitung genannt, wenn die betreffenden Körper untereinander in Verbindung stehen. Körper, welche die Wärme gut leiten, werden gute Wärmeleiter, solche, welche die Wärme schlecht leiten, schlechte Wärmeleiter genannt. Gute Wärmeleiter sind alle Metalle, schlechte Wärmeleiter sind Marmor, Porzellan, Ziegelsteine, Holz, Wolle, Federn, Garn. Die guten Leiter leiten die Wärme gut, geben sie daher auch an ihre Umgebung leicht ab, schlechte Leiter leiten die Wärme schlecht, geben sie daher an ihre Umgebung auch weniger leicht ab. Auf dieser Tatsache beruht die Benutzung von Wolle, Federn und Haaren zu Kleidungsstücken, da diese die Wärme des menschlichen Körpers nur sehr langsam ableiten, ferner die Anwendung von Holz und Porzellan zu Griffen für Kochgefäße. Es ist darauf aber auch das fatale Zerspringen von Glas- und Porzellengefäßen beim Erwärmen zurückzuführen.

Körper, welche voneinander entfernt sind, gleichen ihre Wärme durch Strahlung aus. Die Wärmestrahlung erfolgt bei jeder Temperatur, doch strahlt ein heißer Körper naturgemäß mehr Wärme aus als ein kalter. Es unterscheidet sich hiedurch die Wärmestrahlung von der Lichtstrahlung; letztere findet nur bei Glühtemperatur (500° C.) statt. Die Wärmestrahlen sind den gleichen Gesetzen unterworfen wie die Lichtstrahlen, d. h. sie können durch Medien hindurchgehen, können dabei gebrochen werden, oder aber sie werden von Medien, die sie nicht passieren können, reflektiert. — Die Stärke der Ausstrahlung hängt ab von der Temperatur eines Körpers und seiner Natur, namentlich auch von der Beschaffenheit seiner Oberfläche. Rauhe Flächen strahlen unter sonst gleichen Bedingungen mehr Wärme aus als glatte, ebenso dunkle Körper mehr als helle. Hierauf sind verschiedene praktische Tatsachen zurückzuführen, z. B. der Umstand, daß sich Flüssigkeiten in glatten Gefäßen (polierte Teekessel, Porzellankannen) länger warm erhalten als in rauhen. Ebenso wie mit der Wärmeabgabe verhält es sich mit der Wärmeaufnahme. Rauhe und dunkle Körper werden leichter erwärmt als glatte und helle. Daher halten wir es für zweckmäßig, uns im Sommer hell, im Winter dunkel zu kleiden. Aus dem gleichen Grunde streichen wir die oberen, der Sonne ausgesetzten Teile der Straßenbahnwagen etc. weiß an.

Spezifische Wärme. Man hat gefunden, daß zur Erwärmung gleicher Gewichtsmengen verschiedener Körper auf die nämliche Temperatur verschiedene Wärmemengen nötig sind. Die spezifische Wärme ist diejenige in Wärmeeinheiten ausgedrückte Wärmemenge,

welche nötig ist, um eine Gewichtseinheit eines Stoffes um 1° C. zu erwärmen. Als Wärmeeinheit („Kalorie“) hat man diejenige Wärmemenge festgesetzt, welche erforderlich ist, um eine Gewichtseinheit Wasser um 1° C. zu erwärmen. Nachfolgend einige Angaben über die spezifische Wärme einiger Stoffe.

Wasser . . .	1,000	Quecksilber .	0,033	Gold . . .	0,032
Alkohol . . .	0,632	Eisen . . .	0,114	Blei . . .	0,031
Aether . . .	0,550	Kupfer . . .	0,095	Glas . . .	0,198
Olivenöl . . .	0,504	Silber . . .	0,057	Schwefel . . .	0,203

Wenn wir also sagen, die spezifische Wärme des Glases ist = 0,198, so heißt das so viel als: um 1 kg Glas in seiner Temperatur um 1° C. zu erhöhen, ist nur 0,198mal so viel Wärme nötig, als um die Temperatur von 1 kg Wasser um 1° C. zu erhöhen. — Bemerkenswert ist, daß die spezifische Wärme gas- und dampfförmiger Körper in ganz bestimmtem Verhältnis zu ihrem Atomgewicht steht (Dulong-Petitsches Gesetz).

Latente Wärme. Wir können einem Körper Wärme zuführen, ohne daß wir im stande sind, eine Erhöhung der Temperatur desselben nachzuweisen. Erwärmen wir z. B. ein Gefäß mit Eis, so bleibt ein eingesetztes Thermometer, trotzdem wir erhebliche Quantitäten Wärme zuführen, so lange auf 0° C. stehen, bis das letzte Stückchen Eis geschmolzen ist. — Erhitzen wir Wasser, so beginnt es bei 100° C. sich in Dampf zu verwandeln; wir setzen das Erhitzen fort, führen dem Wasser immer neue Quantitäten Wärme zu und doch können wir uns leicht überzeugen, daß der gebildete Wasserdampf die nämliche Temperatur besitzt als das siedende Wasser. Es ist also Wärme verbraucht worden, die wir anscheinend nicht nachweisen können. Woher kommt das? In den angeführten beiden Beispielen ist Wärme in Arbeit umgesetzt worden. — Um einen festen Körper zu schmelzen, bedarf es der Wärme; dieselbe drängt die durch Kohäsion einander nahe gerückten Moleküle auseinander, ebenso wird beim Verdampfen eines flüssigen Körpers Arbeit geleistet, indem die einzelnen Moleküle noch weiter voneinander entfernt werden. Daß hier in der Tat Wärme in Arbeit umgesetzt wird, ist daraus ersichtlich, daß umgekehrt die geleistete Arbeit wieder in Wärme übergeführt werden kann. Wenn ein flüssiger Körper erstarrt, so gibt er genau die nämliche Wärmemenge wieder ab, die er vorher zu seiner Verflüssigung verbraucht hatte; ein gasförmiger Körper gibt beim Verdichten genau die gleiche Wärmemenge wieder ab, die er vorher verbraucht hatte, um aus dem flüssigen in dampfförmigen Zustand überzugehen. Die latente Wärme wird in Wärmeeinheiten ausgedrückt, welche man „Kalorien“ nennt. Eine Kalorie ist diejenige Wärmemenge, welche erforderlich ist, um eine Gewichtseinheit Wasser von 0° C. auf 1° C. zu erwärmen. Die latente Wärme des Eises ist = 79,2. Das heißt mit anderen Worten: um 1 kg

Eis von 0° C. in Wasser von 0° C. zu verwandeln, ist ebensoviel Wärme nötig, als um 79,2 kg Wasser von 0° C. in Wasser von 1° C. zu verwandeln. Umgekehrt wird dieselbe Menge von 79,2 Wärmeeinheiten frei, wenn Wasser von 0° C. zu Eis erstarrt. — Die latente Wärme des Wasserdampfes ist = 536, d. h. um 1 kg Wasser von 100° C. in Wasserdampf von 100° C. zu verwandeln, ist so viel Wärme nötig, als genügen würde, um 536 kg Wasser von 0° C. auf 1° C. zu erwärmen.

9. Kohäsion. Adhäsion. Attraktion.

Die Materie besteht aus Atomen; dieselben sind aber — so nehmen wir an — in freiem Zustande nicht existenzfähig, eine ihnen innewohnende Kraft, welche wir chemische Affinität oder chemische Verwandtschaft nennen, nötigt sie, sich miteinander zu verbinden. Durch die Verbindung von Atomen erhalten wir Atomkomplexe, welche Moleküle genannt werden, und zwar bestehen die Moleküle der Elemente aus gleichartigen Atomen, diejenigen der chemischen Verbindungen dagegen aus ungleichartigen Atomen. Es wäre von vornherein nun denkbar, daß, nachdem mit der Bildung von Molekülen die chemische Verwandtschaft der Atome befriedigt oder gesättigt wurde, die einzelnen Moleküle aufeinander irgend welche Wirkungen nicht mehr ausüben, daß sie sich zueinander vollkommen indifferent verhalten. Dem ist jedoch nicht so, es findet vielmehr auch unter den schon gebildeten Molekülen Anziehung statt. Wäre dies nicht der Fall, verhielten sich also die einzelnen Moleküle gegeneinander indifferent, so würde der Begriff des Körperlichen überhaupt nicht existieren, und falls man davon absehen will, müßte es schon längst gelungen sein, Moleküle zu sehen, zu messen oder auf irgend eine andere Weise zur Anschauung zu bringen. — Die auch den fertigen Molekülen innewohnenden Anziehungskräfte sind die Ursache davon, daß eine raumerfüllende Materie existiert.

Je nachdem nun die anziehenden Kräfte der Moleküle in nächster Nähe, oder aber in weiterer Ferne aufeinander einwirken, je nachdem die sich gegenseitig anziehenden Moleküle gleichartig oder ungleichartig sind, unterscheiden wir die anziehenden Kräfte als Kohäsion, Adhäsion oder Attraktion.

Unter Kohäsion oder Festigkeit verstehen wir die Kraft, mit welcher die Moleküle des nämlichen Körpers sich gegenseitig anziehen, es ist die Kraft, welche die Moleküle zu Körpern zusammenhält. — Gemessen wird die Kohäsion oder Festigkeit nach dem Widerstande, welchen ein Körper der Trennung seiner Teilchen entgegensetzt. Je nach der Art und Weise, wie die trennende Kraft auf einen Körper einwirkt, unterscheidet man

- | | |
|-----------------|---|
| 1. absolute | Festigkeit, den Widerstand eines Körpers gegen das Zerreißen, |
| 2. relative | " " " " " " " " Zerbrechen, |
| 3. Torsions- | " " " " " " " " Zerdrehen, |
| 4. rückwirkende | " " " " " " " " Zerdrücken. |

Am deutlichsten tritt die Kohäsion bei den festen Körpern hervor, viel schwächer äußert sie sich bei den Flüssigkeiten (daß sie bei diesen vorhanden ist, zeigt sich an ihrer Fähigkeit, Tropfen zu bilden), bei den Gasen ist sie = 0. Von besonderem Einfluß auf die Kohäsion ist die Temperatur. Erniedrigung der Temperatur bewirkt Zunahme der Kohäsion, Erhöhung der Temperatur Abnahme derselben. Am deutlichsten läßt sich das bei Körpern zeigen, welche in allen drei Aggregatzuständen vorkommen. Das Wasser z. B. erstarrt in der Kälte zu Eis. Dasselbe ist ein fester Körper; um dessen Teilchen voneinander zu trennen, bedarf es einer erheblichen Kraft. — Durch Wärmezufuhr wird das Eis zu flüssigem Wasser; die Kohäsion des letzteren ist viel geringer, es gehört nur wenig Kraft dazu, die einzelnen Wasserteilchen voneinander zu entfernen. — Durch weitere Wärmezufuhr wird Wasser in Dampf verwandelt; die Kohäsion des Wasserdampfes ist = 0. Die einzelnen Moleküle des Wasserdampfes haben nicht bloß keine Neigung, sich gegenseitig festzuhalten, sie zeigen im Gegenteil das Bestreben, sich möglichst weit voneinander zu entfernen. — Bei vielen Körpern ist auch die Bearbeitung, der sie unterworfen waren, von hervorragendem Einfluß auf ihre Kohäsion; geringe fremdartige Zusätze bewirken oftmals durchgreifende Aenderung in Bezug auf die Kohäsion. — So ist gehämmertes oder galvanisch niedergeschlagenes Kupfer dichter und fester als gegossenes. Schnell abgekühltes Glas ist spröde, d. h. es neigt zum Zerbrechen, langsam abgekühltes dagegen ist von besonderer Zähigkeit (Hartglas). — Bekannt ist ferner, daß ein geringer Gehalt des Eisens an Kohlenstoff die Eigenschaften desselben durchgreifend verändert, das weiche, zähe Schmiedeeisen wird dadurch zu elastischem Stahl oder sprödem Gußeisen. Eine minimale Verunreinigung des Zinks durch Arsen verhindert das Ausziehen desselben zu Zinkdraht. — Gold, welches fremde Metalle enthält, verliert erheblich an Dehnbarkeit, die mit der Kohäsion gleichbedeutend ist.

Adhäsion. Während unter Kohäsion die Kraft verstanden wird, mit welcher sich die kleinsten Teilchen des nämlichen Körpers anziehen, bezeichnet man mit Adhäsion diejenige Kraft, mit welcher sich die kleinsten Teilchen verschiedener Körper anziehen. Diese Körper können entweder gleichartig oder ungleichartig sein, Bedingung ist nur, daß die Anziehung zwischen verschiedenen Individuen stattfindet. Die Adhäsion zwischen zwei Körpern ist umso stärker, in je mehr Punkten sie sich berühren. Bringt man z. B. zwei sehr fein geschliffene, möglichst ebene Glasplatten zusammen, so haften sie fest aneinander, trotzdem sie sich eigentlich nur an wenig Stellen berühren. Sind die Körper, welche man zusammenbringt, weich oder nachgiebig, so werden sich natürlich mehr Berührungspunkte erzielen lassen; solche Körper, z. B. Wachs, Pflaster, Harze etc., adhären deshalb viel stärker. Aehnliche günstige Verhältnisse liegen vor bei der Adhäsion zwischen festen Körpern und Flüssigkeiten. Die letzteren sind im Stande, die ersteren an möglichst vielen Stellen zu berühren, die Adhäsion zwischen ihnen wird also recht stark sein. Doch kommt hierbei noch in Betracht, wie sich die Kohäsion der Flüssigkeit zu der Adhäsion des festen Körpers verhält. — Ist die Adhäsion des festen Körpers zu der Flüssigkeit größer als die Kohäsion der Flüssigkeit, so tritt Benetzen ein (Beispiel: Wasser oder Alkohol und Glas), umgekehrt bleibt das Benetzen aus, wenn die Kohäsion der Flüssigkeit die Adhäsion zu dem festen Körper überwiegt (Beispiel: Quecksilber und Glas).

Es erklärt sich hieraus, daß Glas von Wasser benetzt wird, weil die Adhäsion des Glases die Kohäsion des Wassers überwiegt; Quecksilber hingegen benetzt Glas nicht, da die Kohäsion des Quecksilbers größer ist als die Adhäsion des Glases. — Die günstigsten Verhältnisse für Adhäsion treten ein, wenn eine zwischen zwei feste Körper gebrachte Flüssigkeit später fest wird. Auf dieser letzteren Tatsache beruht das Leimen, Kleistern und Löten.

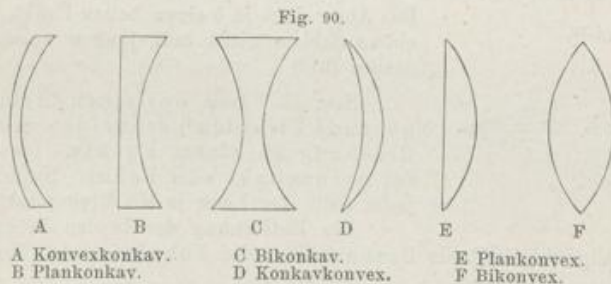
Auf Adhäsion ist auch die Tatsache zurückzuführen, daß Flüssigkeiten in engen Röhren keine horizontale Oberfläche besitzen. Bei den meisten Flüssigkeiten zeigt sich die Oberfläche konkav gekrümmt, weil die den Glaswandungen zunächst befindlichen Flüssigkeitsteilchen stärker von der Adhäsion des Glases betroffen werden, als die mehr in der Mitte der Flüssigkeitssäule vorhandenen. — Quecksilber zeigt im Gegensatz hierzu eine konvexe Oberfläche, weil die Kohäsion desselben die Adhäsion des Glases bei weitem überwiegt. Auf Adhäsion sind eine große Anzahl von Vor-

kommissen des täglichen Lebens zurückzuführen: das Anhaften von Staub auf Wänden und Möbeln, das Schreiben und Zeichnen mit Tinte, Bleistift und Pastellfarben, das galvanische Vergolden und Versilbern etc., das Anhaften der Zinnfolie an den gewöhnlichen Spiegeln. Endlich auch das Adhäreren von Gasen an festen Körpern, z. B. von Luft an einem Zuckerstückchen, von Luft und anderen Gasen an Kohle u. s. w.

Attraktion. Während Kohäsion und Adhäsion in möglichster Nähe wirkende Kräfte sind, verstehen wir unter Attraktion diejenige Kraft, mit welcher alle Körper untereinander auch in bedeutender Entfernung sich anziehen. Es läßt sich experimentell nachweisen, daß alle Körper sich, wenn sie auch räumlich getrennt sind, gegenseitig anziehen. Die Größe der Anziehung ist proportional der Masse der Körper und umgekehrt proportional der Entfernung der Körper. Beweis hierfür ist, daß Pendel in der Nähe von großen Gebirgsmassen aus ihrer lotrechten Lage abgelenkt werden. — Indessen ist die Anziehungskraft aller irdischen Dinge verschwindend klein im Vergleich zu derjenigen Kraft, mit der die Erde alle auf ihr befindlichen Körper anzieht. Es kommt daher praktisch für uns nur eine Art von Attraktion in Betracht, nämlich diejenige Kraft, mit welcher die Erde alle irdischen Körper anzieht, d. h. die Schwerkraft oder Gravitation.

10. Mikroskop.

Unter diesem Namen verstehen wir Instrumente, durch welche wir in der Nähe befindliche kleine Gegenstände unseren Sehwerkzeugen wahrnehmbar machen können. Von der Lupe unterscheidet sich das Mikroskop dadurch, daß die erstere uns den Gegenstand selbst ver-



größert zeigt, während wir bei dem Mikroskop das vergrößerte Bild des Objekts betrachten. — Da die Mikroskope Kombinationen von Linsen sind, so wollen wir uns zunächst mit den Wirkungen der letzteren auf das Licht beschäftigen.

Linsen sind von Kugelflächen begrenzte, sehr fein geschliffene Glaskörper. Man teilt sie ein in konvexe (oder Sammell.) und konkave (oder Zerstreuungsl.) und unterscheidet außerdem noch mehrere Unterabteilungen.

Es sollen hier namentlich die bikonvexen Linsen (*F*) ins Auge gefaßt werden. Diese sind in der Regel kreisförmig, aus Glas. In der Mitte der Linse liegt der optische Mittelpunkt *O* (Fig. 91). Die Centra der die Linsen begrenzenden Kugelflächen heißen die geometrischen Mittelpunkte der Linse. Die diese genannten 3 Punkte verbindende

gerade Linie bzw. ihre Verlängerung ab heißt die optische Achse (Fig. 91).

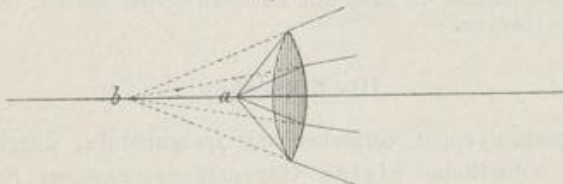
Satz I. Alle Strahlen, welche von einem Punkte a ausgehen, werden durch Linsen so gebrochen, daß sie selbst, oder ihre rückwärtigen Verlängerungen sich wieder in einem Punkte b schneiden.

Fig. 91.



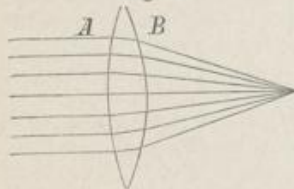
In Fig. 91 sind die von a kommenden Strahlen nicht sehr divergierend; sie werden daher von der Linse so gebrochen, daß sie sich jenseits derselben im Punkte b schneiden. In b entsteht ein kleiner leuchtender Punkt (das Bild), welcher auf einem

Fig. 92.



Schirme aufgefangen werden kann (reelles Bild). In Fig. 92 dagegen sind die von a kommenden Strahlen stark divergierend; sie werden daher von der Linse nur weniger divergierend gemacht, so daß ihre rückwärtigen Verlängerungen sich in b schneiden. Das Auge sieht in b einen hellen Punkt, der aber auf einem Schirm nicht aufgefangen werden kann (virtuelles Bild).

Fig. 93.



Satz II. Der optischen Achse parallel gehende Strahlen¹⁾ schneiden sich nach der Brechung in einem Punkte. Dieser Punkt ist der Brennpunkt oder Fokus. Natürlich liegt auf jeder Seite der Linse je ein Brennpunkt.

Die Entfernung der beiden Brennpunkte vom optischen Mittelpunkt heißt die Brennweite oder Fokaldistanz (Fig. 93).

Satz III. Strahlen, welche vor der Brechung durch den Brennpunkt gingen, gehen nach der Brechung parallel der optischen Achse (Umkehrung des vorigen Satzes).

Satz IV. Ein Strahl, der durch den optischen Mittelpunkt geht, geht ungebrochen hindurch.

Mit der Kenntnis dieser Sätze ausgerüstet, können wir die Lage des Bildes bestimmen, und zwar haben wir hierbei 3 verschiedene Fälle zu unterscheiden.

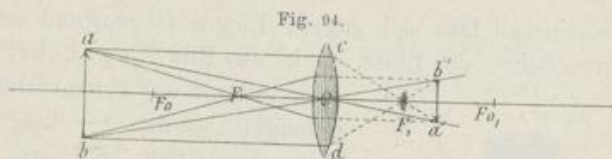
1. Der leuchtende Gegenstand ab liegt im Unendlichen²⁾.

Wir ziehen vom Punkte a aus einen der optischen Achse parallelen Strahl ac bis zur Linse; derselbe muß nach der Brechung durch den Fokus F_1 gehen (Satz II).

¹⁾ Man kann dieselben auffassen als von einem, unendlich weit entfernt liegenden Punkte ausgehend.

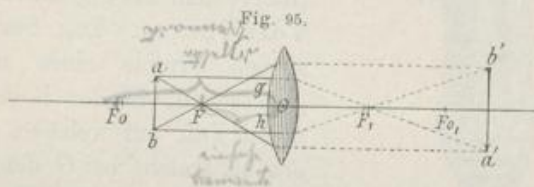
²⁾ Als unendlich bezeichnet man hier jede Entfernung vom optischen Mittelpunkt, welche größer ist als die doppelte Brennweite (s. folgende Fußnote).

Hierauf legen wir vom Punkte a aus durch den Fokus F einen Strahl bis zur Linse; derselbe muß nach der Brechung parallel der optischen Achse gehen und schneidet den ersten Strahl im Punkte a' (Satz III). Ein durch den optischen Mittelpunkt von a ausgehender Strahl geht ungebrochen durch und trifft die beiden vorigen Strahlen auch in a' (Satz IV). Hier im Punkte a' also entsteht das Bild des Punktes a , die Pfeilspitze. — In der gleichen Weise verfahren wir vom Punkte b ausgehend und finden das Bild desselben in b' . In der nämlichen Weise könnten wir für jeden Punkt des

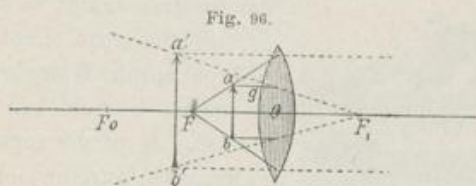


leuchtenden Gegenstandes den zugehörigen Bildpunkt bestimmen und finden, daß das Bild des Pfeiles zwischen $a'b'$ zu liegen kommt. — Das Bild liegt auf der anderen Seite der Linse, zwischen Brennweite und doppelter¹⁾ Brennweite umgekehrt und verkleinert (Fig. 94).

2. Der leuchtende Gegenstand ab liegt zwischen Brennweite und doppelter Brennweite (Fig. 95).



Wir ziehen vom Punkte a aus den der optischen Achse parallelen Strahl ag bis zur Linse; derselbe muß nach der Brechung durch den Brennpunkt F_1 in der Richtung nach a' gehen (Satz II). Ferner legen wir von a aus durch den Brennpunkt F einen Strahl bis zur Linse. Dieser muß nach der Brechung parallel der optischen Achse gehen und schneidet den vorigen Strahl in a' (Satz III). Hier also muß sich das Bild des Punktes a bilden. (Beweis dafür ist noch, daß der durch den optischen Mittel-



punkt O von a aus gelegte Strahl auch in a' schneidet (Satz IV). In gleicher Weise finden wir als Bildpunkt von b den Punkt b' . Das Bild des Gegenstandes ab liegt also zwischen $a'b'$. Das Bild liegt auf der anderen Seite der Linse im Unendlichen, ist umgekehrt und vergrößert.

3. Der leuchtende Gegenstand ab liegt innerhalb der einfachen Brennweite (Fig. 96).

Wir ziehen in diesem Falle vom Punkte a aus den parallel der optischen Achse liegenden Strahl ag ; dieser geht nach der Brechung durch den Fokus F_1 , seine rückwärtige Verlängerung nach a' hin (Satz II und I). Alsdann legen wir von a aus einen

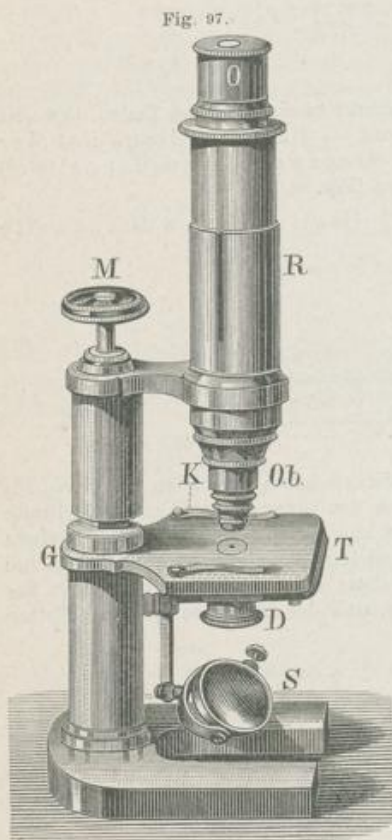
¹⁾ Unter doppelter Brennweite versteht man die der Brennweite entsprechende doppelte Entfernung vom optischen Mittelpunkte.

Strahl durch F an die Linse. Nach der Brechung muß derselbe parallel der optischen Achse gehen (Satz III), seine rückwärtige Verlängerung schneidet den vorigen Strahl in a' (Satz I). Hier im Punkte a' also liegt die Spitze a des leuchtenden Pfeiles. Ebenso finden wir als Bildpunkt für b den Punkt b' ; das Bild des Gegenstandes ab liegt also zwischen $a'b'$. Es liegt auf derselben Seite der Linse zwischen Brennweite und doppelter Brennweite, ist aufrecht und vergrößert und virtuell (kann nicht aufgefangen werden).

Verallgemeinernd läßt sich sagen: Liegen Gegenstand und Bild auf verschiedenen Seiten der Linse, so ist das Bild umgekehrt und reell, d. h. es kann auf einem Schirm etc. aufgefangen werden. — Liegen dagegen

Gegenstand und Bild auf derselben Seite der Linse, so ist das Bild aufrecht und virtuell, d. h. es kann auf einem Schirm nicht aufgefangen werden.

Seiner äußeren Einrichtung nach besteht das Mikroskop zunächst aus dem Stativ und der eigentlichen optischen Vorrichtung. Das Stativ besitzt an seinem Grunde einen mit Blei ausgegossenen, in der Regel hufeisenförmigen Fuß, auf welchem eine Säule sich erhebt, welche bei G den Objektisch T trägt. Unterhalb desselben ist ein nach allen Richtungen um seine Achse drehbarer Spiegel S angebracht. K sind Klammern, um das Objekt auf dem Objektisch zu fixieren. Der obere Teil des Statives endigt in die federnde Hülse R , welche dazu dient, das eigentliche Mikroskoprohr festzuhalten und doch ein bequemes Verschieben desselben zu gestatten. M ist die sogen. Mikrometerschraube, durch welche man den oberen Teil des Statives dem Objektische näher

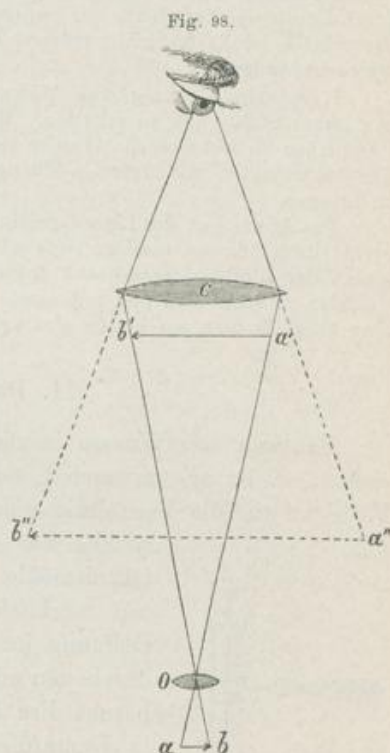


oder entfernter rücken kann. Um eine mikroskopische Untersuchung auszuführen, bringt man das möglichst feine und durchsichtige Objekt auf einen Objektträger von Glas, befeuchtet es mit etwas Wasser und bedeckt es mit einem Deckgläschen. Man legt nun das so vorbereitete Objekt auf die mittlere Oeffnung des Objektisches — bei starker Vergrößerung schaltet man in diesen den Strahlensammler D ein — und stellt nun den Spiegel, indem man in das Mikroskop hineinsieht, so, daß man möglichst große Helligkeit erzielt. Alsdann stellt man das Mikroskoprohr erst durch sanftes Drehen und Schieben, zuletzt mit der Mikrometerschraube so ein,

daß man ein recht scharfes Bild bekommt. — Das erhaltene Bild ist vergrößert und umgekehrt.

Wenden wir uns nun zur inneren Einrichtung des Mikroskopes und zur Erklärung des optischen Vorganges. Das Mikroskoprohr ist eine zylindrische, innen geschwärzte Hülse, welche an ihrem unteren, verjüngten Ende mittels eines Schraubengewindes das Objektiv (Fig. 97) *Ob* trägt. Dieses ist im einfachsten Falle eine bikonvexe Linse, meist aber ein System mehrerer Linsen, das aber von gleicher Wirkung wie eine bikonvexe Linse ist. In die obere Oeffnung der Hülse senkt man das Okular *O* ein, welches im einfachsten Falle gleichfalls eine bikonvexe Linse ist, in der Regel aber aus mehreren, ebenso wie eine einzige wirkenden, Linsen besteht. Um mit dem Mikroskop sehen zu können, müssen wir das Mikroskoprohr so einstellen, daß das Objekt zwischen Brennweite und doppelter Brennweite des Objektivs zu liegen kommt; es tritt dann der als Nr. 2 bezeichnete Fall ein: es entsteht auf der anderen Seite der Linse ein vergrößertes umgekehrtes Bild *a' b'* hinter der doppelten Brennweite im Unendlichen. Die Dimensionen der Linsen und des Mikroskoprohres sind so gewählt, daß dieses vergrößerte Bild gerade innerhalb der Brennweite des Okulars liegt; indem wir das so erhaltene Bild, gleichsam durch eine Lupe, mit dem Okular *C* betrachten, wird es nochmals vergrößert, es entsteht zwischen Brennweite und doppelter Brennweite des Okulars ein vergrößertes virtuelles Bild *a'' b''* des ersten Bildes, welches aber, da das Okular nicht mehr umkehrend auf das erste Bild wirkt, umgekehrt bleibt (Fig. 98).

Die heutigen Mikroskope sind nun allerdings bedeutend komplizierter eingerichtet. Das Objektiv ist niemals eine einzige Linse, sondern eine Kombination mehrerer Linsen, ein Objektivsystem. Verwendete man zu starken Vergrößerungen einzelne, stark gekrümmte Linsen, so würde man der Farbdispersion wegen farbig gesäumte Bilder erhalten. Dieser Uebelstand wird aufgehoben, wenn man Linsensysteme benützt, die aus Crown- und Flintglaslinsen bestehen. Solche Systeme geben ungefärbte Bilder und heißen achromatische Systeme. Schon aus diesem



Grunde also besteht das Objektiv stets aus mehreren Linsen; außerdem aber lassen sich starke Vergrößerungen überhaupt nur durch Kombination mehrerer Linsen erreichen. Aus den gleichen Gründen besteht auch das Okular stets aus mindestens 2 Linsen.

Prüfung des Mikroskopes. 1. Man ritzt in eine berußte Glasplatte mit einer feinen Nadel kleine Kreise ein und betrachtet diese mit dem Mikroskop. Die Ränder der Kreise müssen scharf sein, widrigenfalls liegt sphärische Aberration der Linsen vor.

2. Die Bilder dürfen keine blauen oder rötlichen Ränder zeigen, das Mikroskop muß also achromatisch sein.

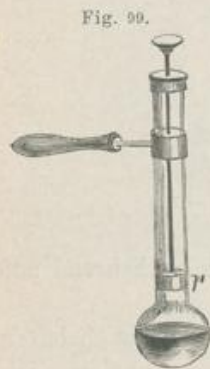
3. Das Sehfeld muß eine ebene Fläche darstellen. Um dies zu konstatieren, bringt man auf einen möglichst ebenen Objektträger etwas Lycopodium. Es müssen dann die an der Peripherie des Gesichtsfeldes liegenden Sporen ebenso deutlich sichtbar sein — sie dürfen nicht verzerrt erscheinen — wie die in der Mitte des Gesichtsfeldes liegenden.

Die Behandlung des Mikroskopes muß natürlich darauf gerichtet sein, den guten Status quo zu erhalten. Man hüte sich, die Gewinde durch ungeschicktes Handhaben zu überdrehen. Ferner vermeide man es sorgfältig, die Linsen, namentlich das Objektiv, mit ätzenden Flüssigkeiten, z. B. Säuren oder Laugen, in Berührung zu bringen.

Das Abwischen der Linsen geschehe niemals mit Zeugstoffen, da diese die Gläser leicht ritzen können, sondern stets mit einem weichen ledernen Lappen. Hat sich im Innern der Linsensysteme Staub angesammelt, so sind dieselben sehr vorsichtig auseinander zu schrauben und mit einem feinen Pinsel zu säubern. Diese letztere Arbeit aber überläßt man am besten einem durchaus Sachkundigen.

11. Dampfmaschine.

Erhitzen wir Wasser in einem Gefäß, so beginnt es schließlich zu sieden, d. h. es verwandelt sich in Wasserdampf, welcher entweicht. Wählen wir die Verhältnisse des Gefäßes so, daß die Oeffnung, durch



welche der gebildete Dampf entweichen kann, verhältnismäßig klein ist, so sehen wir, daß der Dampf mit merklicher Kraft ausströmt. Verstopfen wir die Oeffnung lose mit einem Pfropfen, so wird der letztere durch den austretenden Dampf herausgeschleudert. Es beruht dies darauf, daß das gleiche Gewicht Wasser in Dampfform einen viel größeren Raum einnimmt als in flüssigem Zustande, ferner darauf, daß die Gase und Dämpfe ungemein elastische Körper sind, welche, falls man ihrer Ausdehnung Hindernisse entgegengesetzt, sich auf ein sehr vielmal kleineres Volumen zusammendrücken lassen, als sie unter gewöhnlichen Verhältnissen einnehmen. Beseitigt man das ihrer Ausdehnung entgegenstehende Hindernis ganz oder teilweise, so suchen die zusammengedrückten (gespannten) Dämpfe ihr ursprüngliches Volumen wieder einzunehmen und entweichen nun mit einer gewissen Kraft oder Spannung.

Bringen wir etwas Wasser in das nebenstehende Glasgefäß (Fig. 99), verschließen dasselbe mit dem gut passenden Kolben *p* und erhitzen das

Wasser über einer Flamme, so sehen wir sehr bald den Kolben in die Höhe steigen. — Der gebildete Wasserdampf, der ein größeres Volumen einnimmt als das flüssige Wasser, hat das Bestreben, sich auszudehnen, und treibt dabei den Kolben in die Höhe. — Entfernen wir nun die Flamme und kühlen das Glasgefäß mit kaltem Wasser ab, so bemerken wir, daß der Kolben sich senkt und in seine ursprüngliche Lage allmählich wieder zurückkehrt. Der Grund dafür liegt darin, daß die gebildeten Wasserdämpfe durch die Abkühlung wieder zu flüssigem Wasser, welches ein geringeres Volumen einnimmt, kondensiert werden. Zwischen der Wasseroberfläche und dem Kolben bildet sich dabei ein luftverdünnter Raum. Es übt nun die äußere Luft einen Druck auf den Kolben p aus und treibt diesen in seine alte Lage zurück. Auf der Erkenntnis dieser einfachen Tatsachen beruht das Verständnis der Dampfmaschinen.

Das Verdienst der praktischen Einführung der Dampfmaschinen gebührt James Watt (geb. 1736), indessen waren schon lange vor ihm gelungene Versuche angestellt worden, den Wasserdampf als motorische Kraft zu benutzen. — Es ist natürlich hier nicht der Ort, die gegenwärtig fast ins Unendliche ausgedehnte Verschiedenheit der Konstruktion der Dampfmaschinen zu besprechen, das hier gegebene Bild kann nur ein schematisches sein.

Generell unterscheidet man die Dampfmaschinen als Niederdruckmaschinen und als Hochdruckmaschinen. Erstere arbeiten mit Dampf von geringerer, letztere mit Dampf von höherer Spannung. Indessen kann mit Maschinen beider Gattung der gleiche Krafteffekt erzielt werden, nur sind dann die Dimensionen der Niederdruckmaschinen bedeutender als die der Hochdruckmaschinen. — Ein beiden Arten gemeinsamer Teil ist der Dampfkessel, der zur Erzeugung der gespannten Dämpfe dient. Derselbe ist entweder aus Eisen oder Kupfer hergestellt und kann sehr verschiedene Gestalten besitzen. Wesentlich ist, daß der Kessel stark gebaut ist, um den gespannten Dämpfen genügenden Widerstand leisten zu können. Von Wichtigkeit ist ferner, daß das Feuer möglichst ausgenützt wird. Zu diesem Zwecke läßt man die brennenden Gase — bevor sie in den Schornstein abgeleitet werden — auf einem möglichst langen Wege den Kessel umspülen, indem man sie um denselben herumführt, oder aber man läßt sie wie bei der Lokomotive durch viele in dem Wasser befindliche enge eiserne Röhren hindurchstreichen (Siederohrkessel). — Um den Stand des Wassers im Kessel zu jeder Zeit bequem kontrollieren zu können, ist an dem Kessel ein Wasserstandglas angebracht. Um Explosionen vorzubeugen, besitzt der Dampfkessel ein Sicherheitsventil. Dasselbe öffnet sich nach außen und wird durch ein gewisses, angehängtes Gewicht verschlossen gehalten. Uebersteigt der Dampfdruck im Kessel dieses Gewicht, so wird das Ventil gehoben, es strömt der Ueberdruck von Dampf aus. — Um jederzeit über den im Dampfkessel vorhandenen Druck unterrichtet zu sein, ist am Kessel ein

Manometer angebracht. Neuerdings benützt man meist Federmanometer, welche den Druck mit Hilfe eines Zeigers direkt in Atmosphären angeben. — Aus dem Kessel gelangt der entwickelte Dampf durch ein starkes, meist mit schlechten Wärmeleitern umgebenes Rohr, das Dampfrohr, nach dem Dampfzylinder *A* (Fig. 101). In dem letzteren bewegt sich ein luftdicht passender Kolben auf und ab, dessen Führungstange durch die oben den Zylinder abschließende Stopfbüchse gleichfalls luftdicht hindurchgeht. Der vom Dampfzuleitungsrohr *D* kommende Dampf soll nun, um das Hin- und Herbewegen des Kolbens zu bewirken, abwechselnd einmal oberhalb, das andere Mal unterhalb des Kolbens in den Zylinder eintreten. — Dies wird erzielt durch das sog. Schieberventil. (S. Fig. 100a u. 100b.)

Das Schieberventil oder die Steuerung ist zwischen Kessel und Dampfzylinder eingeschaltet und besteht aus einem kleinen Kasten, der

Fig. 100a.

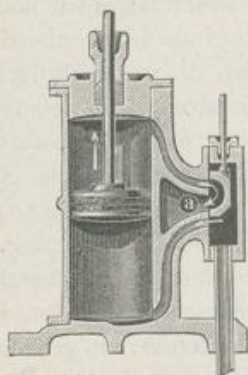
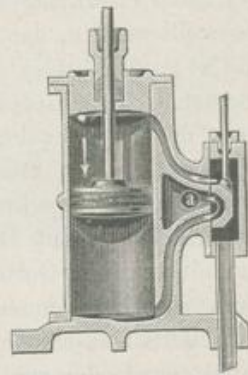


Fig. 100b.



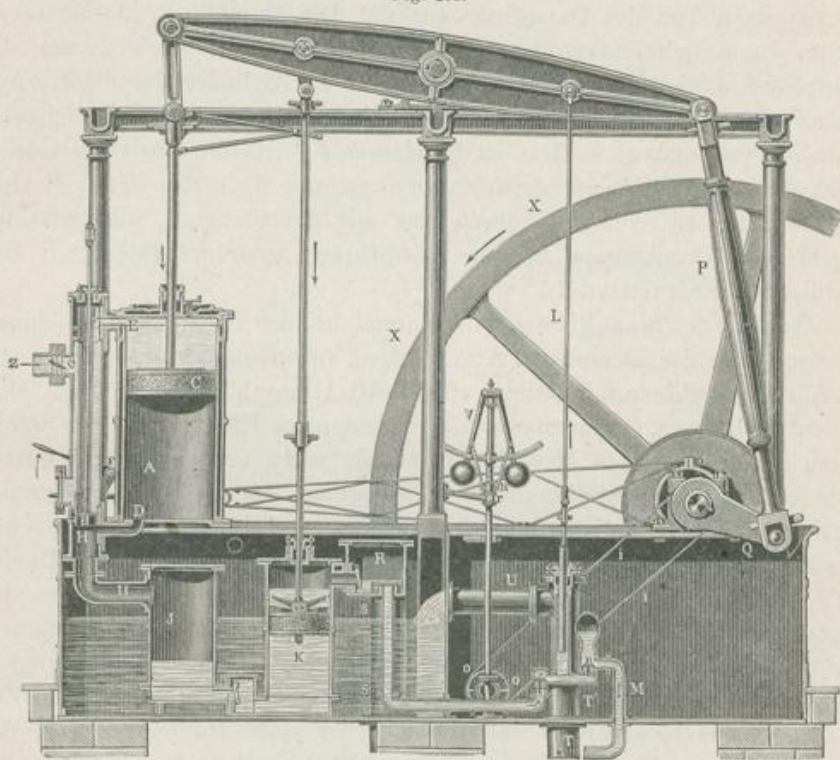
durch eine geringe Verschiebung das abwechselnde Eintreten des Dampfes in den oberen und den unteren Teil des Dampfzylinders ermöglicht. In Fig. 100a steht das Schieberventil so, daß der von *D* einströmende Dampf unterhalb des Kolbens einströmt; der Kolben wird daher nach oben hin sich bewegen, während der oberhalb des Kolbens sich noch befindende Dampf nach *a* hin entweicht. In Fig. 100b steht der obere Teil des Zylinders mit dem Dampfrohr *D* in Verbindung. Der Kolben wird also heruntergedrückt, der unterhalb des Kolbens aber befindliche Dampf durch *a* entweichen. Die Tätigkeit des Schieberventils wird von der Maschine selbst reguliert. Bei den Hochdruckmaschinen wird nun der jedesmal durch *a* zu entfernende Dampf direkt in die Atmosphäre entlassen (hierfür wird unter allen Umständen mindestens 1 Atmosphäre Druck verbraucht). Bei den Niederdruckmaschinen dagegen (s. Fig. 101) gelangt er nicht in die Luft, sondern durch das Rohr *HH* in ein von kaltem Wasser¹⁾ um-

¹⁾ Aus diesem Grunde verbrauchen Niederdruckmaschinen große Mengen von Kühlwasser.

flossenes Gefäß, den Kondensator *J*. Während über dem einen Teile des Kolbens gespannte Dämpfe wirken, entsteht durch die Wirkung des Kondensators am entgegengesetzten Teile ein luftverdünnter Raum. Und da dies sich abwechselnd auf jeder Seite wiederholt, so wird der Kolben im Zylinder auf und ab bewegt. Es handelt sich nun darum, die gleitende Bewegung des Kolbens in eine drehende umzuwandeln.

Dies geschieht dadurch, daß die Kolbenstange an dem einen Ende eines gleicharmigen Hebels, des Balanciers, befestigt ist, während an

Fig. 101.



dem anderen Ende des Hebels die Triebstange *P* oder die Pleuelstange angebracht ist, welche durch die Kurbel *Q* die Welle des Schwungrades *X* dreht und dieses in drehende Bewegung nach der Richtung des Pfeiles hin versetzt. Die jetzt vorhandene drehende Bewegung kann durch Uebertragungen (Zahnräder oder Transmissionen mit Riemen etc.) nach jeder beliebigen Richtung hin mitgeteilt werden. Es erübrigt noch, einige wichtige Teile der Maschine kennen zu lernen.

Das Schwungrad hat den Zweck, den Gang der Maschine gleichmäßig zu gestalten (wie das Pendel der Uhr), und bildet ferner eine Art Reservoir von Kraft, welches die Maschine, selbst wenn der Dampf einen Augenblick abgesperret ist, vermöge seiner Zentrifugalkraft im Gange er-

hält. Es dient ferner dazu, die Kurbel Q , wenn sie in ihrem höchsten oder tiefsten Punkte (toten Punkten) steht, aus dieser Lage herauszubringen. — Eine andere Regulierung erfolgt durch den Zentrifugalregulator V . Zwei schwere Metallkugeln hängen an einer senkrechten Achse, welche mit der Welle des Schwungrades durch den Riemen ii so verbunden ist, daß sie sich mit einer dieser entsprechenden Geschwindigkeit umdreht. Je schneller nun die Achse sich dreht, umso höher werden die beiden Metallkugeln durch die Zentrifugalkraft gehoben. Dabei aber wirken sie durch ein Hebelsystem auf eine bei e befindliche Klappe und sperren einen Teil des Dampfrohres z ab. Die Maschine geht nun langsamer, die Kugeln sinken infolgedessen etwas herab, wodurch nun die Klappe bei e wieder etwas mehr Dampf in den Zylinder durchläßt. Auf diese Weise läßt sich die Maschine auf eine gewisse Durchschnittsleistung einstellen (regulieren). — Das im Kondensator J gesammelte Wasser wird durch eine vom Balancier getriebene Saugpumpe K in das Gefäß R und, weil es warm ist, von dort durch eine mit der Stange L am Balancier angebrachte Druckpumpe in den Dampfkessel gedrückt (hierdurch Ersparnis von Brennmaterial).

Hochdruckmaschinen. — Während bei den Niederdruckmaschinen die Spannung des Dampfes 2 Atmosphären selten übersteigt, arbeiten die Hochdruckmaschinen mit Dampf von 4—10 Atmosphären Spannung. Man bedient sich ihrer, wenn man einen bedeutenden Effekt mit einer wenig Raum beanspruchenden Maschine erreichen will, und wenn Kühlwasser nicht in genügender Menge zur Verfügung steht. — Beispielsweise arbeiten alle Lokomotiven und die meisten gewerblichen Maschinen mit Hochdruck. Bei diesen fällt der Kondensator weg, der benützte Dampf wird direkt in die Luft entlassen. Das Eintreten des Dampfes und das Austreten desselben geschieht durch die sog. Steuerung, die genau wie das Schieberventil konstruiert ist. — Ist es unmöglich, ein Schwungrad anzubringen — wie bei den Lokomotiven —, so benützt man zwei Zylinder, welche so arbeiten, daß die von der einen Kolbenstange in Bewegung gesetzte Kurbel gerade ihren größten Krafteffekt entfaltet, wenn die andere Kurbel auf ihren toten Punkten steht.

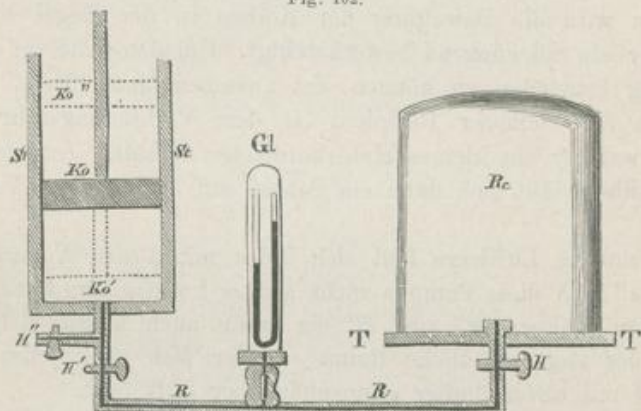
12. Luftpumpe.

Dieses von dem Magdeburger Bürgermeister Otto von Guericke 1650 erfundene Instrument dient dazu, die in einem abgeschlossenen Raume vorhandene Luft auszupumpen oder besser gesagt, möglichst zu verdünnen. — Sie besteht (Fig. 102) im wesentlichen aus einem innen sehr gleichmäßig geschliffenen, möglichst ebenen Zylinder St , welcher gewöhnlich der Stiefel genannt wird. Dieser steht durch ein Rohr R mit dem Teller T , einer aus geschliffenem Glase bestehenden, in der

Mitte durchbohrten Glasplatte, in Verbindung. Auf den Teller ist aufgesetzt eine genau eben aufgeschliffene Glasglocke *Rc*, welche gewöhnlich der Rezipient genannt wird. Dieser muß sich luftdicht auf den Teller aufsetzen lassen; da dies durch einen auch noch so guten Schliff niemals erreicht wird, so werden seine Ränder mit Talg eingefettet. — In dem Stiefel befindet sich ein sehr genau passender, auf und nieder beweglicher Kolben *Ko*. — Bei *H''*, *H'* und *H* befinden sich Hähne, welche den Zweck haben, abwechselnd einerseits die Verbindung des Instrumentes mit der äußeren Luft (*H''*), anderseits die Verbindung des Stiefels mit dem Rezipienten (*H'* und *H*) abzusperren oder zu vermitteln.

In den meisten Fällen wird es sich darum handeln, die Luft in dem Rezipienten zu verdünnen. — Zu diesem Zwecke wird derselbe auf den Teller mit Hilfe von Talg luftdicht aufgesetzt, alsdann schließt man

Fig. 102.



Hahn *H'*, öffnet Hahn *H''* und drückt den Kolben in die mit *Ko'* bezeichnete Lage hinab. — Hierauf schließt man Hahn *H''*, öffnet Hahn *H'* und *H* und zieht den Kolben in die Höhe bis *Ko''*. Da nun die Verbindung mit der äußeren Luft unterbrochen ist, so würde in dem Stiefel ein luftleerer Raum entstehen. — Das läßt indessen die im Rezipienten vorhandene Luft vermöge ihrer Elastizität nicht zu, vielmehr dehnt sie sich aus und erfüllt den ganzen Raum bis unter den Kolben *Ko''*. Es ist nun klar, daß jetzt die in dem Apparate vorhandene Luft dünner sein muß als vorher, denn dieselbe Luftmenge, welche vorher den Rezipienten und das Rohr bis zum Hahn *H'* erfüllt hatte, nimmt jetzt einen bedeutend größeren Raum ein. — Man schließt nun Hahn *H'*, öffnet Hahn *H''* und läßt die im Stiefel befindliche Luft nach außen entweichen, indem man den Kolben wieder nach unten in die Lage *Ko'* hinabdrückt. Hierauf wird Hahn *H''* geschlossen, Hahn *H'* geöffnet und der Kolben wird in die Höhe gezogen. Es erfolgt nun eine abermalige Verdünnung der Luft, denn das gleiche Luftquantum, welches vorher den

Rezipienten und das Rohr bis zum Hahn H' erfüllt hatte, verbreitet sich jetzt bis unter den Kolben Ko'' . — Setzt man in dieser Weise das Auspumpen der Luft fort, so gelingt es, eine erhebliche Verdünnung der Luft im Rezipienten hervorzubringen.

Apparate neuerer Konstruktion besitzen an Stelle der beiden Hähne H'' und H' einen einzigen sog. Graßmannschen Vierwegehahn, dessen Bohrungen so eingerichtet sind, daß er in der einen Stellung den Stiefel mit dem Rezipienten in Verbindung setzt und die äußere Luft absperrt, in der anderen den Rezipienten vom Stiefel absperrt, den Stiefel aber mit der äußeren Luft in Verbindung setzt. — Außerdem besitzen viele Luftpumpen an Stelle eines Zylinders (d. h. Stiefel + Kolben) deren zwei (doppelwirkende). Dieselben sind dann so arrangiert, daß der eine Stiefel immer dann mit der äußeren Luft in Verbindung steht, während der andere mit dem Rezipienten verbunden ist und umgekehrt. Bei solchen Luftpumpen wird die Bewegung der Kolben in der Regel durch eine Kurbel oder ein Schwungrad bewerkstelligt. Um den Grad der erreichten Verdünnung beurteilen zu können, ist zwischen dem Stiefel und dem Rezipienten ein kleinerer Rezipient Gl dem Verbindungsrohr luftdicht eingefügt, welcher ein kleines Heberbarometer enthält. Aus dem Stande des Quecksilbers läßt sich dann ein Schluß auf die erreichte Verdünnung ziehen.

Vollkommene Luftleere läßt sich indes mit diesen Apparaten nicht erzielen, weil sich diese Pumpen nicht anders konstruieren lassen, als daß zwischen den Hähnen H'' und H' ein wenn auch kleiner leerer Raum bleibt — der sog. schädliche Raum —, der sich nach jeder Oeffnung des Hahnes mit unverdünnter atmosphärischer Luft füllt.

Sehr sinnreich, aber kompliziert konstruiert ist die sog. französische Luftpumpe, welche nur einen Zylinder besitzt, aber trotzdem doppelt wirkend ist, weil bei ihr der Kolben in der Mitte des ganz geschlossenen Zylinders angebracht ist und sich von da aus nach den beiden Enden bewegt. Dieses Instrument hat an Stelle der Hähne Ventile. Doch läßt sich auch mit dieser eine vollkommene Luftleere nicht erzeugen, weil der schädliche Raum auch hier von Einfluß ist, außerdem die Ventile nur bis zu einem gewissen Grade der Luftverdünnung gehörig funktionieren.

Die Quecksilberluftpumpe von Geißler ist das gegenwärtig vollkommenste Instrument. Hier ist der Kolben durch eine Quecksilbersäule ersetzt und dadurch, daß man das Quecksilber bis durch den Vierwegehahn durchtreten lassen kann, kommt es nicht zur Bildung eines schädlichen Raumes. Mit diesem Instrument gelingt es, einen Raum — nach unseren Begriffen natürlich — völlig luftleer zu pumpen. Man hat gegenwärtig auch automatisch arbeitende Quecksilberluftpumpen konstruiert.

Bis vor kurzem dienten die Luftpumpen vorzüglich dazu, das Vorhandensein von Luft und den von dieser ausgeübten Druck experimentell

zu be
Versu

welche
einer K
den di
nur m
benutz
Kaiser
16 Pfe

Zeit st

hervor

pressen

dem F

Raum.

Anwe

in ein

brach

word

kleine

Sauer

zu K

Röhre

Queck

mitein

chemi

Molek

möge

Grup

schon

jedoch

der M

entge

zu beweisen. — Die hauptsächlichsten zu diesem Zwecke ausgeführten Versuche sind nachstehende:

1. Die Magdeburger Halbkugeln. Zwei genau aufeinander passende Halbkugeln, welche bei *H* (Fig. 103) einen luftdicht schließenden Hahn besitzen und deren jede mit einer Handhabe versehen ist, werden luftleer gepumpt. Der Druck, den die äußere Luft auf dieselben ausübt, ist nun so groß, daß sie sich nur mit großer Gewalt voneinander trennen lassen. *O. v. Guericke* benutzte auf dem Reichstag zu Regensburg in Gegenwart des Kaisers Halbkugeln, die den Durchmesser einer Elle hatten; 16 Pferde waren nicht im stande, dieselben auseinander zu reißen.

Fig. 103.



2. Das Fallen von Körpern im luftleeren Raume findet für alle in der gleichen Zeit statt.

3. Das Erlöschen von Kerzen, Ersticken von Tieren.

4. Ein in Gang gebrachtes Läutewerk bringt keinen oder nur schwachen Schall hervor.

5. Das Zerspringen von Glasplatten durch den äußeren Luftdruck; das Hindurchpressen von Quecksilber durch Buchsbaumholz (Quecksilberregen).

6. Das Anschwellen und Platzen einer nur wenig Luft enthaltenden Blase unter dem Rezipienten.

7. Das Sieden von Flüssigkeiten bei niederer Temperatur im luftverdünnten Raum.

Neuerdings hat die Luftpumpe aber auch hervorragende praktische Anwendung gefunden. In den elektrischen Glühlämpchen wird ein in einer luftleeren Glasglocke vorhandener Kohlebügel zum Glühen gebracht. — Die Verwendung der Glühlämpchen ist erst dadurch ermöglicht worden, daß man mit Hilfe der Quecksilberluftpumpe im stande ist, diese kleinen Lämpchen sozusagen luftleer zu pumpen. Bliebe in denselben Sauerstoff, so würde der Kohlebügel bei der Glühtemperatur eben einfach zu Kohlensäure verbrennen. Ebenso ist die Herstellung der Röntgen-Röhren, welche gleichfalls fast luftleer sein müssen, lediglich durch die Quecksilberluftpumpe möglich.

13. Aggregatzustände.

Die Materie besteht aus Atomen. — Durch Vereinigung der Atome miteinander entstehen die Moleküle, in denen die Atome durch die chemische Verwandtschaft (Affinität) zusammengehalten werden. Die Moleküle ihrerseits besitzen gleichfalls noch anziehende Kräfte; sie vermögen sich kraft der ihnen innewohnenden Kohäsion zu größeren Gruppen zu vereinigen. Das Resultat dieser Vereinigung sind die irdischen Körper.

Bei der Vereinigung der Moleküle zu körperlichen Individuen ist jedoch nicht bloß die Kohäsion zu berücksichtigen, welche die Verbindung der Moleküle bewirkt, vielmehr wirkt dieser Kraft eine andere geradezu entgegen, die Expansivkraft, welche höchst wahrscheinlich mit der Wärme

im engsten Zusammenhange steht. Als das Resultat dieser sich entgegen arbeitenden Kräfte sehen wir, je nachdem die eine oder die andere vorwaltet, daß Körper der nämlichen chemischen Zusammensetzung in verschiedenen Zuständen vorkommen können, welche wir Aggregatzustände nennen. — Wir unterscheiden 3 Aggregatzustände, den festen, flüssigen und gasförmigen.

Im festen Zustande ist ein Körper, dessen Teilchen sich nur durch Anwendung einer größeren Kraft voneinander trennen lassen, der demnach ein selbständiges Volumen und eine selbständige Gestalt besitzt. — Im festen Aggregatzustande sind die einzelnen Moleküle sich möglichst nahe gerückt, es überwiegt daher die Kohäsion ganz bedeutend über die Expansivkraft (Wärme), welche das Bestreben hat, die Moleküle voneinander zu entfernen.

Flüssig ist ein Körper, dessen Teilchen untereinander zwar einen gewissen Zusammenhang haben, sich aber durch Anwendung sehr geringer Kraft verschieben lassen. — Flüssige Körper haben zwar selbständiges Volumen, aber keine selbständige Gestalt. — Vielmehr nimmt jede Flüssigkeit stets die Gestalt desjenigen Behälters an, in dem sie sich gerade befindet.

Im flüssigen Zustande halten sich Kohäsion und Expansivkraft beinahe das Gleichgewicht, doch überwiegt die erstere ein wenig, was man an der Fähigkeit, Tropfen zu bilden, sehen kann.

Luftförmig ist ein Körper, dessen Teilchen sämtlich das Bestreben haben, sich auszubreiten; daher sind seine Teilchen sehr leicht zu verschieben. Sie haben aber keinen Zusammenhang untereinander, sondern breiten sich in jedem Raume aus, so daß luftförmige Körper weder ein bestimmtes Volumen, noch eine selbständige Gestalt besitzen. Im luftförmigen Zustande ist die Kohäsion der Moleküle = Null, es überwiegt die molekulare Abstoßung.

Die meisten der uns bekannten Körper kommen in allen drei genannten Zuständen vor; ja theoretisch müssen wir annehmen, daß alle Körper in drei Aggregatzuständen vorkommen können, obgleich das für viele Körper erst noch zu beweisen ist.

Aenderung des Aggregatzustandes. Der Zustand, in welchem ein Körper sich befindet, ist abhängig von der Temperatur, welche er besitzt. Doch verhalten sich in Bezug auf diese die verschiedenen Körper nach der Art ihrer chemischen Natur sehr verschieden. Viele sind schon bei gewöhnlicher Temperatur fest (Schwefel), andere bedürfen zum Festwerden einer erheblichen Temperaturerniedrigung (Quecksilber — 40° C.), ebenso ist die Temperaturerhöhung, welche verschiedene feste Körper bedürfen, um in den flüssigen oder gasförmigen Zustand übergeführt zu werden, eine sehr verschiedene.

Der Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand, das Schmelzen eines Körpers, beruht darauf, daß durch die zugeführte Wärme die Kohäsion der einzelnen Moleküle überwunden wird. Von den bekannten festen Körpern können sehr viele in flüssigen Zustand gebracht werden, z. B. die meisten Metalle. Nicht geschmolzen werden können solche Körper, welche beim Erhitzen chemische Zersetzung erleiden, z. B. Kohlehydrate (Zucker, Cellulose) u. a.

Die Temperatur, bei welcher ein fester Körper in den flüssigen Zustand übergeht, nennt man seinen Schmelzpunkt. Derselbe ist für die meisten Körper ein ganz bestimmter und häufig identisch mit dem Erstarrungspunkt, d. h. mit der Temperatur, bei welcher ein flüssiger Körper wieder fest wird. Bei vielen Körpern ist der Uebergang vom festen Zustande in den flüssigen ein plötzlicher, z. B. bei Eis, bei manchen Körpern ist dieser Uebergang ein allmählicher. Sie geraten vor dem Schmelzen in einen Zustand der Erweichung. Das ist z. B. der Fall bei den Fett- und Wachsarten. Das Gleiche findet aber auch statt bei einigen Metallen, z. B. Eisen, Platin, und ist für deren Bearbeitung von der größten Bedeutung. Das Schweißen des Eisens z. B. beruht darauf, daß zwei rotglühende erweichte Eisenstücke durch Hämmern zu einem einzigen sozusagen zusammengeknetet werden können. — Auffallend ist, daß einige Metalllegierungen einen erheblich niedrigeren Schmelzpunkt zeigen, als der Schmelzpunkt der einzelnen in ihnen enthaltenen Metalle. So schmilzt das *Rosesche Metall* (aus Wismut, Blei und Zinn) bei 94°C ., das *Woodsche Metall* (aus Wismut, Cadmium, Blei und Zinn) schon bei 65°C . (s. S. 227).

In manchen Fällen ist die Wärme allein nicht im stande, die Verflüssigung eines Körpers zu bewirken, sie gelingt jedoch durch Anwendung von Lösungsmitteln. — Wasser z. B. löst Kochsalz auf, indem die Moleküle des Wassers diejenigen des Kochsalzes auseinander drängen. Hier also tritt die chemische Affinität an die Stelle der Wärme. — Bisweilen zeigen auch Mischungen von festen Körpern die Neigung, sich zu verflüssigen; so geben Kalium und Natrium eine bei gewöhnlicher Temperatur flüssige, dem Quecksilber ähnliche Legierung, Chloralhydrat und Kampfer vereinigen sich zu einer Flüssigkeit etc. — Da beim Verflüssigen Wärme verbraucht wird, so tritt in diesen Fällen oftmals eine sehr starke Abkühlung ein. Auf dieser Tatsache beruht die Wirkung der sog. Kältemischungen:

	Die Temperatur sinkt
1 Tl. Schnee mit 1 Tl. Kochsalz	von 0° bis -18°
1 " " " 1 " krist. Calciumchlorid	" 0° " -45°
1 " " " 2 " " "	" -18° " -55°

Die Abkühlung wird dadurch hervorgebracht, daß bei dem Verflüssigen fester Körper Wärme verbraucht wird, welche der Umgebung entzogen wird.

Der Uebergang in den gasförmigen Zustand. Das Verdampfen ist an eine bestimmte Temperatur nicht gebunden. Nicht bloß flüssige, sondern auch feste Körper können bei jeder Temperatur (Eis verdampft noch unter 0°C .) sich verflüchtigen. — Findet die Verdampfung allmählich und bei mittlerer Temperatur statt, so nennt man sie Verdunstung. — Durch Zufuhr von Wärme wird die Verdampfung beschleunigt, und wird im höchsten Stadium Sieden genannt. Fassen wir einmal die Verhältnisse beim Wasser ins Auge. Wenn wir Wasser erwärmen, so können wir dessen Temperatur bis auf 100°C . steigern. — Um dieses Wasser von 100°C . in Dampf von derselben Temperatur (100°C .) zu verwandeln, müssen wir noch eine erhebliche Wärmemenge zuführen (Verdampfungswärme genannt). Es scheint hier Wärme einfach zu verschwinden, und man nannte diese Verdampfungswärme früher latente Wärme. Um 1 g Wasser von 100°C . in Dampf von 100°C . zu verwandeln, wird so viel Wärme verbraucht, als erforderlich wäre, um 536 g Wasser von 0°C . auf 1°C . zu erwärmen (536 Kalorien). Die latente Wärme des Wasserdampfes ist daher 536. — Das Verschwinden der Wärme ist demnach darauf zurückzuführen, daß dieselbe zur Leistung einer mechanischen Arbeit verbraucht wird, nämlich dazu, die einzelnen Moleküle des Wassers möglichst weit voneinander zu entfernen. Das Sieden findet statt, wenn die Spannung der entwickelten Dämpfe den Druck der äußeren Atmosphäre zu überwinden im stande ist. Aus diesem Grunde erfolgt das Sieden unter ver-

mindertem Druck bei erheblich niedriger Temperatur (Vakuumpapparate); umgekehrt aber kann das Sieden durch gesteigerten Druck erheblich verzögert werden (*Papin-scher Topf*, Dampfkessel). Flüssigkeiten, deren Siedepunkt sehr niedrig liegt, z. B. Aether, Aldehyd, Schwefelkohlenstoff, flüssiges Ammoniak, flüssige schweflige Säure, flüssige Kohlensäure u. a., entziehen, wenn sie der freiwilligen Verdunstung überlassen werden, ihrer Umgebung die zum Verdampfen nötige Wärme und erzeugen dadurch Abkühlung. Hierauf beruht das Kältegefühl, welches auf der menschlichen Haut verdampfender Aether hervorbringt, ferner die Anwendung flüssigen Ammoniaks und flüssiger schwefliger Säure zur Eisfabrikation, die Benützung der flüssigen und festen Kohlensäure sowie der flüssigen Luft zur Erzeugung sehr niedriger Temperaturen.

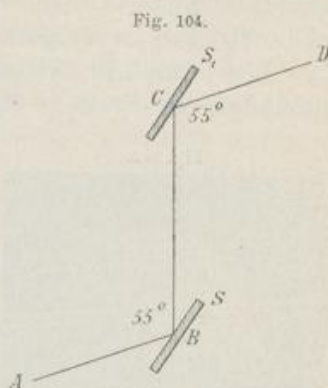
Der Uebergang aus dem gasförmigen in flüssigen Zustand. Wenn flüssige Körper durch Zufuhr von Wärme in gasförmigen Zustand übergehen, so wird man erwarten können, durch Abkühlung gasförmige Körper in flüssigen Zustand überzuführen. — Ein anderes Hilfsmittel zur Kondensation von Gasen ist gesteigerter Druck. Derselbe wirkt gewissermassen mechanisch, indem er die entfernten Moleküle einander näher rücken läßt. — Schon früher hatte man durch hohen Druck eine Reihe von Gasen, z. B. schweflige Säure, Chlor, Ammoniak verdichten gelernt. Nicht gelungen war die Verdichtung einiger anderen Gase, z. B. des Wasserstoffes, Sauerstoffes, Stickstoffes, Kohlenoxydes u. a. Diese wurden daher früher zu den sog. permanenten d. h. nicht verdichtbaren Gasen gerechnet. Seitdem jedoch erkannt worden war, daß die Kondensation der Gase nicht bloß an einen bestimmten Druck, sondern auch an eine bestimmte (kritische) niedrige Temperatur gebunden ist, hat man inzwischen gelernt, auch die sog. permanenten Gase zu verflüssigen. — Der Sauerstoff z. B. wurde bei -140°C . durch einen Druck von 525 Atmosphären verflüssigt. Erreicht man diese niedrige Temperatur nicht, so gelingt die Verflüssigung des Sauerstoffes auch durch viel stärkeren Druck nicht. — Während beim Uebergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand Wärme gebunden wird, wird beim Uebergang eines gasförmigen Körpers in den flüssigen Zustand umgekehrt Wärme frei. Verwandeln wir 1 g Wasserdampf von 100°C . durch Abkühlung in Wasser von 100°C ., so wird so viel Wärme frei, als genügen würde, um 536 g Wasser von 0°C . auf $+1^{\circ}\text{C}$. zu erwärmen. Es wird also hier genau dieselbe Wärmemenge wieder frei, welche erforderlich war, um Wasser von 100°C . in Dampf von 100°C . zu verwandeln.

Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand. Das Erstarren ist im allgemeinen unabhängig vom Druck, dagegen abhängig von der Temperatur. Das Erstarren eines Körpers findet in der Regel bei dem nämlichen Temperaturgrade statt, bei welchem der starre Körper schmilzt, das Wasser beispielsweise erstarrt bei 0°C . Unter gewissen Bedingungen aber, nämlich wenn man jede Erschütterung vermeidet, kann man einen Körper bedeutend unter seine Erstarrungstemperatur abkühlen, ohne daß er fest wird. Die geringste Bewegung, namentlich aber eine Berührung mit einem festen Körper gleicher Art genügt dann, um die ganze Masse plötzlich erstarren zu machen. — Das Erstarren ist in der Regel mit einer Volumenvergrößerung und stets mit Abgabe von Wärme verbunden. — Kühlt man Wasser vorsichtig auf -7°C . ab und bringt dann ein Thermometer hinein, so zeigt es nach dem Erstarren des Wassers sofort die Temperatur 0° . — Auf solche Abgabe von Wärme ist auch der Umstand zurückzuführen, daß vom Kristallwasser befreite Salze, z. B. Ferr. sulfur. sicc. u. a. beim Zusammenbringen mit Wasser Erwärmung verursachen. Hierbei wird eben Wasser chemisch gebunden und gibt bei dem Uebergang vom flüssigen in den festen Aggregatzustand seine latente Wärme ab.

14. Polarisation.

Läßt man auf einen Spiegel *S* von schwarzem Glase (Fig. 104) unter einem Einfallswinkel von 55° einen Lichtstrahl *AB* auffallen, so wird derselbe in der Richtung *BC* reflektiert und trifft einen zweiten Glas-spiegel *S*₁, dessen Ebene der des ersten Spiegels parallel ist. Der auf-

fallende Strahl wird gleichfalls unter einem Winkel von 55° nach D hin reflektiert. — Ist der Spiegel S einer erleuchteten Fläche, z. B. einer weißen Wolkenschicht, zugekehrt, so wird ein von D nach S_1 sehender Beobachter diesen Spiegel erleuchtet sehen, weil die Reflexionsebenen beider Spiegel ABC und BCD zusammenfallen. — Dreht man jetzt, während der Spiegel S feststehen bleibt, den Spiegel S_1 um den Strahl BC als Achse so, daß der Einfallswinkel stets derselbe bleibt, so beginnt sich das Gesichtsfeld bei S_1 zu verfinstern und erscheint nach einer Drehung von 90° völlig dunkel, weil jetzt die Reflexionsebenen beider Spiegel aufeinander senkrecht stehen. — Bei weiterer Drehung hellt sich das Gesichtsfeld wieder auf und erreicht nach einer Umdrehung von 180° seine ursprüngliche Helligkeit. Nach einer Drehung von 270° ist es wieder vollkommen dunkel. Ein Lichtstrahl also, welcher von Glas unter einem Winkel von 55° reflektiert wird, zeigt von gewöhnlichem Lichte abweichende Eigenschaften, indem er bei der zweiten Reflexion in der Richtung der ersten Reflexionsebene ein anderes Verhalten zeigt, als in der auf dieser senkrecht stehenden Ebene. So verändertes Licht nennt man polarisiertes Licht. Die Ebene, in welcher das Licht polarisiert ist, nennt man die Polarisationsebene, der Winkel, unter welchem der Strahl reflektiert werden muß, um die genannten Eigenschaften zu



Schwingungen
eines gewöhnlichen
Lichtteilchens.

Fig. 106.



Schwingungen
polarisierter
Lichtteilchen.

zeigen, heißt der Polarisationswinkel. Derselbe beträgt für Glas 55° . Erfolgt die Reflexion unter einem anderen Winkel, so ist die Polarisation unvollständig, d. h. bei senkrecht aufeinanderstehenden Reflexionsebenen tritt wohl Verminderung der Helligkeit des Spiegels S_1 , nicht aber vollständige Verdunklung ein.

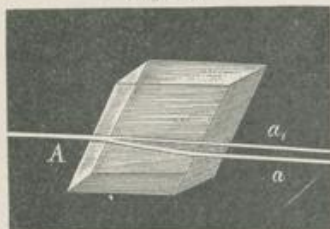
Die Verschiedenheit des polarisierten Lichtes von dem gewöhnlichen erklärt man sich durch die verschiedenartigen Schwingungen der einzelnen Aetherteilchen. Während nämlich die Aetherteilchen gewöhnlichen Lichtes nach allen Richtungen im Raume schwingen (Fig. 105), fällt, so nimmt man an, die Schwingungsebene der Aetherteilchen bei polarisiertem Lichte mit

der Polarisationssebene zusammen, oder beide stehen aufeinander senkrecht (Fig. 106).

Alle durchsichtigen Kristalle, welche nicht dem regulären System angehören, haben die wichtige Eigenschaft, einen in ihr Inneres eindringenden Lichtstrahl in zwei Strahlen, den außerordentlichen und den ordentlichen zu zerlegen.

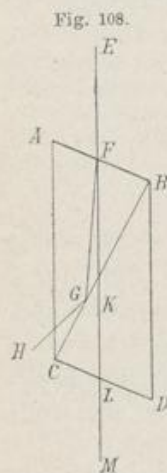
Diese Erscheinung beobachtet man am besten am Kalkspat in nachfolgender Weise: Man läßt auf einen klaren Kalkspatkristall,

Fig. 107.



welchen man in einem verdunkelten Zimmer aufstellt, durch eine kleine Oeffnung im Fensterladen mittels eines Heliostatenspiegels einen Sonnenstrahl auffallen und bläst vor und hinter den Kristall Tabaksdampf. Da der Kristall im Innern nie ganz durchsichtig ist, so kann man den Gang des Lichtstrahles innerhalb und außerhalb des Kristalles genau beobachten und sieht nun die durch Fig. 107 veranschaulichte Erscheinung. — Der Strahl A zerlegt sich im Innern des Kristalles in den stärker gebrochenen ordentlichen Strahl a und den schwächer gebrochenen außerordentlichen a_1 . Untersucht man die austretenden Strahlen a und a_1 , so findet sich, daß beide polarisiert sind, und zwar stehen ihre Polarisationssebenen senkrecht aufeinander.

Aehnliche Erscheinungen zeigen sich bei anderen Kristallen. Der Turmalin z. B. zerlegt gleichfalls einen durch ihn gehenden Lichtstrahl in zwei; zugleich aber wird der ordentliche Strahl vollständig absorbiert und nur der außerordentliche hindurchgelassen. — Es wurden daher Turmalinplatten zu Polarisationszwecken benützt (Turmalinzange). Indessen erwies sich der Turmalin seiner starken Färbung wegen für viele Zwecke als ungeeignet. Viel zweckmäßiger mußte die Benützung von Kalkspatkristallen sein, sobald es gelang, einen der beiden polarisierten Lichtstrahlen zu entfernen. — Dieses Problem wurde von *Nicol* gelöst.

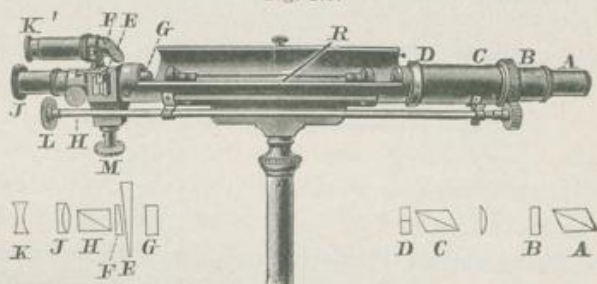


Nicolsches Prisma. — Nicol schnitt einen Kalkspatkristall $ABCD$ in der Richtung BC durch und kittete beide Schnittflächen mit Kanadabalsam wieder zusammen. Die Richtung der Schnittfläche hatte er so gewählt, daß der ordentliche Strahl FG durch Reflexion an der Kanadabalsamschicht nach GH abgelenkt und so beseitigt wird, während der außerordentliche Strahl FKL fast ungebrochen nach LM hindurchgeht. Diese sinnreiche Einrichtung wurde ihrem Erfinder zu Ehren „Nicolsches Prisma“ genannt. — Diese Instrumente sind nicht bloß bequeme Mittel, polarisiertes Licht zu

erzeugen, sondern auch sehr geeignet, polarisiertes Licht von nichtpolarisiertem zu unterscheiden.

Eine Reihe von festen Körpern, namentlich Kristallen, z. B. Bergkristall, Gips, Weinsäure, weinsaure Salze und andere, ebenso manche Flüssigkeiten und Lösungen, z. B. viele ätherische Oele, Zuckerlösungen, Dextrinlösung, haben die Eigenschaft, die Ebene des polarisierten Lichtes abzulenken oder zu drehen. — Die Drehung kann entweder nach rechts oder nach links erfolgen. — Da die Art und die Intensität der Ablenkung für die meisten Körper charakteristisch ist, so ergibt sich daraus, daß man durch Bestimmung dieser Ablenkung viele Körper nach ihrer Art und Quantität bestimmen kann. — Praktisch kommt namentlich die Bestimmung von zuckerhaltenden Flüssigkeiten in Betracht. Für diese hat man Apparate konstruiert, welche den Zuckergehalt einer Flüssigkeit direkt

Fig. 109.



in Prozenten abzulesen gestatten und Saccharimeter genannt werden. — Das gebräuchlichste ist das Saccharimeter von Soleil.

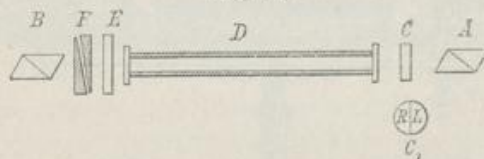
Die zu untersuchende, möglichst farblose, vollkommen klare Flüssigkeit ist in dem durch Glasplatten beiderseitig geschlossenen Glasrohr *R* enthalten. — *A*, *B* und *C* stellen den Polarisator dar, d. h. die Vorrichtungen (Nicol'sche Prismen), durch welche das bei *A* eintretende Licht polarisiert wird. Das polarisierte Licht geht alsdann durch die in Rohr *R* enthaltene Flüssigkeit, passiert dann den Rotationskompensator *G*, ein System von Quarzplatten, geht dann durch das Nicol'sche Prisma (den Analysator) *H* und schließlich durch das Fernrohr *J*. — *K F* ist ein kleines Fernrohr mit Spiegel zum Ablesen des Nonius *E*. — *M* ist der Antrieb, um die Drehung der Polarisationsebene festzustellen, *L* eine Reguliervorrichtung, um den Apparat auf die empfindliche Uebergangsfarbe einzustellen.

Etwas deutlicher ist die innere Einrichtung eines Saccharimeters aus nachfolgender Fig. 110 zu ersehen.

A ist ein Nicol'sches Prisma, der Polarisator, welcher bestimmt ist, das ihn passierende Licht zu polarisieren. *B* ist gleichfalls ein Nicol'sches Prisma, der Analysator. — Stellt man beide Prismen so zueinander ein, daß ihre Polarisationsebenen senkrecht aufeinander stehen, so würde

das Gesichtsfeld vollständig dunkel erscheinen. — Nun ist aber bei *C* eine Quarzplatte eingeschoben, welche, wie in *C*₁ veranschaulicht ist, aus zwei halbkreisförmigen rechts und links drehenden Quarzplatten besteht. Diese bewirken durch Interferenz, daß bei gekreuzten Nicols das Gesichtsfeld nicht dunkel, sondern in der sog. Uebergangsfarbe (rot) gefärbt erscheint. — Schaltet man nun in den Apparat eine drehende Flüssigkeit, in das Rohr *D* eingefüllt, ein, so gibt sich das geringste Drehungsvermögen derselben durch eine veränderte Färbung zu erkennen, indem die eine Hälfte des Gesichtsfeldes in Rot, die andere in Blau (oder Grün) übergeht. Man könnte nun die Uebergangsfarbe durch Drehung des Analysators *B* wiederherstellen. — Indessen besitzen diese Apparate hiezu eine andere Vorrichtung in *F* und *E*. Es ist nämlich *E* eine Platte von rechtsdrehendem Quarz, *F* dagegen sind zwei keilförmige Platten von linksdrehendem Quarz, welche mit den entgegengesetzten Kanten aneinander liegend zu-

Fig. 110.



sammen eine linksdrehende Platte bilden, deren Dicke veränderlich ist, je nachdem man die beiden Keile mehr oder weniger übereinander schiebt. — Sind *E* und *F* gleich dick, so heben sie sich in ihrer Wirkung gegenseitig auf. Ist nun eine drehende Flüssigkeit in den Apparat eingeschaltet, so wird die Uebergangsfarbe durch Verstellung der Platten *F* wiederhergestellt. Diese Verschiebung wird durch eine Mikrometerschraube bewirkt und durch eine am Apparate angebrachte Skala, welche bei diesen Apparaten den Prozentgehalt an Zucker direkt abzulesen gestattet, den Nonius, gemessen. — Neuerdings sind die sog. Halbschattenapparate an Stelle der Farbenapparate getreten. Ihre Einrichtung weicht von dem beschriebenen Farbenapparate nur so weit ab, als das aus zwei Kreishälften bestehende Gesichtsfeld gleich hell beleuchtet ist, wenn der Apparat auf dem Nullpunkte steht. Wird die Ebene des polarisierten Lichtes abgelenkt, so gibt sich dies dadurch zu erkennen, daß die eine Hälfte des Gesichtsfeldes hell, die andere dunkel ist. Man findet den Betrag der Drehung, wenn man den Apparat so einstellt, daß beide Hälften des Gesichtsfeldes wieder gleich beleuchtet sind und den Nonius abliest.

Diese Saccharimeter sind nur für Zuckerlösungen eingerichtet. — Bei den für allgemeine Zwecke eingerichteten Polarisationsapparaten wird die Drehung in Graden angegeben, aus denen sich dann durch Rechnung und durch beigegebene Tabellen der Gehalt gleichfalls bestimmen läßt.

15. Apparate zur Maßanalyse

siehe Seite 521.

16. Telephon und Telegraph.

1. Telephon. Unter „Telephonie“ im allgemeinen versteht man die Uebermittlung von Tönen (Tönen, aber nicht Sprachlauten) nach mehr oder weniger entfernten Orten auf elektrischem Wege; der hiezu benützte Apparat heißt „Telephon“. Ein Apparat, welcher im stande ist, Sprachlaute zu übermitteln, heißt Fernsprecher. Nicht jedes Telephon kann Sprachlaute übermitteln, aber ein Fernsprecher ist im stande, Töne jeder Art zu überbringen.

Ein Ton wird in seiner Eigenart völlig wiedergegeben, wenn die Höhe (Anzahl der in einer Zeiteinheit gemachten Schwingungen), Fülle (bedingt durch die Weite — Amplitude — der Wellen) und die Klangfarbe (bedingt durch die Form der Wellen) die nämlichen sind. Dieses Problem zu lösen ist nunmehr gelungen.

Das erste Telephon bzw. der erste Fernsprecher wurde 1861 bis 1863 von dem Oberlehrer Philipp Reis in Friedrichsdorf bei Homburg v. d. H. konstruiert, doch erst in der von James Bell 1877 konstruierten Form war das Telephon zu einer solchen Vollkommenheit gelangt, daß es in den Dienst des Verkehrswesens ganz allgemein eingestellt werden konnte.

Telephon von Bell.

Um die Einrichtung des Telephons zu verstehen, muß man sich dasselbe zunächst in seiner einfachsten Form vorstellen und jeder Zutat entkleiden. Man muß insbesondere die Vorstellung aufgeben, es gehöre zu einer Telephoneinrichtung unbedingt eine elektrische Batterie; das ist keineswegs der Fall.

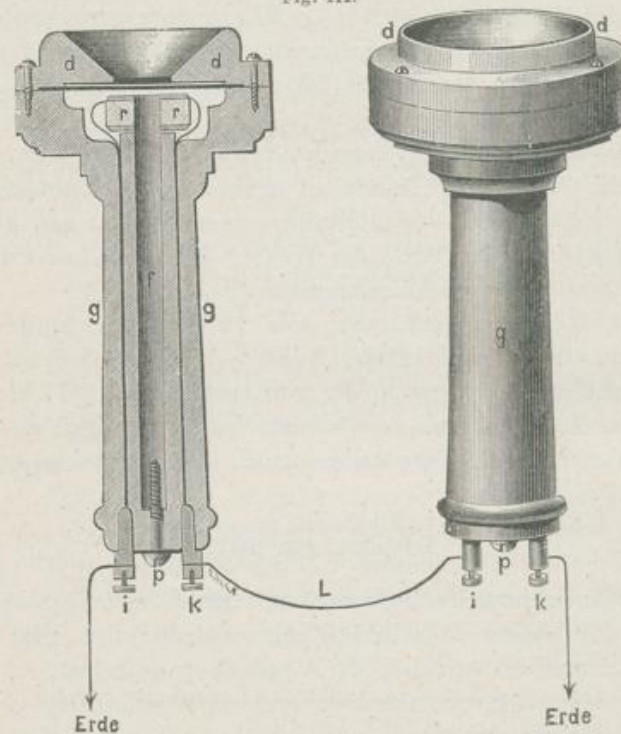
In nebenstehender Fig. 111 sind zwei Telephone gezeichnet, das eine im Durchschnitt, das andere in der Ansicht; beide stehen durch die Leitung L miteinander in leitender Verbindung, die Rückleitung wird durch die Erde vermittelt.

In dem im Durchschnitt gezeichneten Telephon ist f ein Stabmagnet, welcher an seinem oberen Ende mit einer Rolle isolierten Kupferdrahtes r umgeben ist, dessen Enden in die Klemmschrauben i und k hinablaufen. Die letzteren dienen dazu, das Telephon in die Leitung L und in die Rückleitung zur Erde einzuschalten. gg ist das hölzerne Gehäuse, welches den Stabmagneten f mit der Drahtrolle r umgibt. Vor dem oberen Ende des Stabmagneten f (unterhalb von d) liegt eine dünne Eisenplatte (die sog. Membran), welche durch den hölzernen Deckel d mit trichter-

förmigem Ausschnitt festgeklemmt wird. Der Stabmagnet *f* wird durch die Schraube *p* festgehalten.

Dadurch, daß die aus Eisen bestehende Membran dem Stabmagneten gegenübersteht, wird sie selbst dauernd magnetisch. Spricht man nun in die durch *d* gebildete trichterförmige Oeffnung des Telephons hinein, so wird die Membran in Schwingungen versetzt. Durch das Auf- und Abschwingen der Membran vor dem Stabmagneten *f* aber wird der magnetische Zustand desselben geändert. Diese Aenderungen erzeugen ihrer-

Fig. 111.



seits in der umgebenden Drahtrolle *r* einen Induktionsstrom, welcher durch die Leitung *L* in das zweite Telephon übergeleitet wird. In dem zweiten Telephon erregt nun der um den Stabmagneten kreisende Induktionsstrom in dem Stabmagneten die nämlichen magnetischen Aenderungen, welchen der Stabmagnet in dem ersten Telephon unterworfen ist. Hierdurch wird die in dem zweiten Telephon befindliche Membran in Schwingungen versetzt und erzeugt die nämlichen Schallwellen, welche als gesprochene Worte die erste Membran getroffen hatten. Die in das erste Telephon gesprochenen Töne oder Worte werden unserem Ohre vernehmlich, wenn wir das zweite Telephon dem Ohre nähern.

Eine Batterie ist für das Telephon als solches, wie man sieht, nicht nötig, sie wird allerdings an den meisten Apparaten angebracht zur Aus-

lösung eines Klingesignals, welches anzeigen soll, daß jemand am Telephon ist und sprechen will.

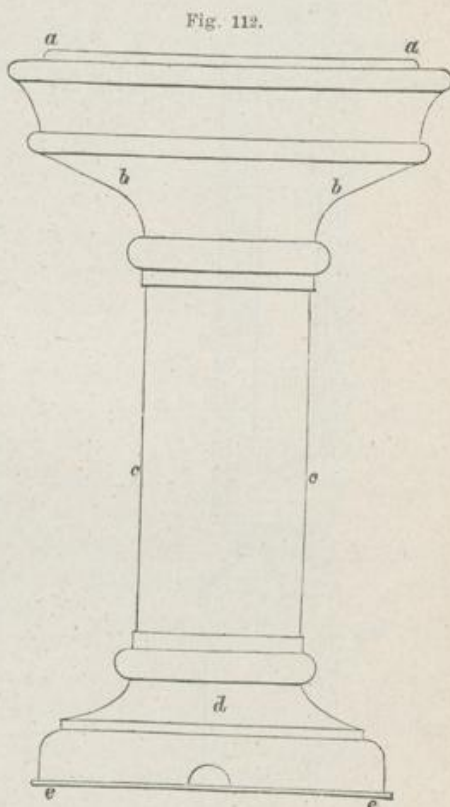
Das Siemenssche Telephon,

welches von der Reichstelegraphenverwaltung eingeführt ist, stellt eine Verbesserung des Bellschen dar. Seine Einrichtung ist folgende: In der durch Fig. 112 veranschaulichten Hülse aus Holz ist der durch Fig. 113 im Durchschnitt dargestellte Apparat untergebracht. *gg* ist ein Messinghaken, an welchem das Telephon aufgehängt werden kann, *ec* ist eine Messingplatte, auf welcher durch die Schraube *q* der Hufeisenmagnet *mm* befestigt ist. Auf letzterem sind die beiden Polschuhe *ss* durch Schrauben befestigt und auf den Schuhen und mit ihnen fest verbunden sitzen die mit isoliertem Kupferdraht umwickelten Eisenstücke *uu*.

Die Enden *rr* der isolierten Leitung, welche die Eisenstücke *uu* umläuft, werden an den Holzbrettchen *h* entlang nach den Klemmschrauben *i* geführt, von welchen aus die Leitungsschnüre austreten.

Diese Vorrichtung steckt in dem Gehäuse Fig. 112. Die Röhre *cc* ist oberhalb des Aufsatzes *bb* durch eine dünne Eisenplatte (die Membran) geschlossen, welche nur wenig über den Polen *uu* des Hufeisenmagnetes steht und durch das konische Mundstück *aa* festgehalten wird.

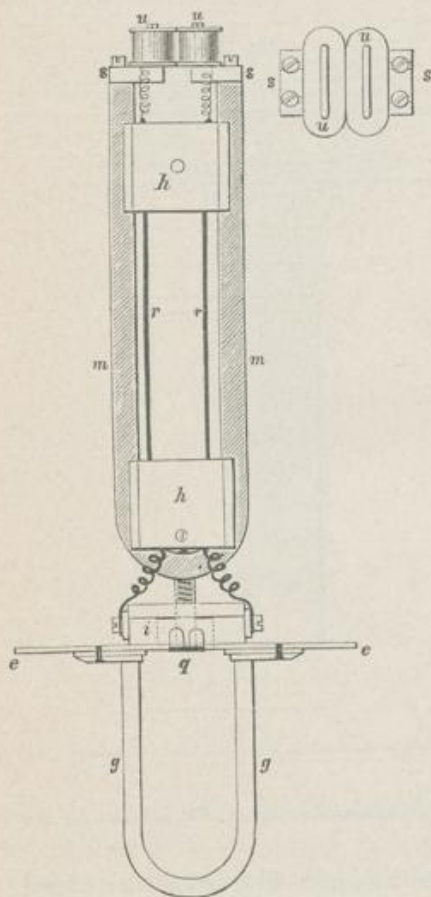
Spricht man nun in ein solches Telephon, welches mit einem zweiten in leitender Verbindung steht, hinein, so verlaufen die elektrischen Erscheinungen ganz ebenso wie beim Bellschen Telephon, d. h. die Membran wird von dem Hufeisenmagneten dauernd im magnetischen Zustande erhalten. Durch in das Mundstück gesprochene Worte wird sie in Schwingungen versetzt und verändert dadurch den magnetischen Zustand des Hufeisenmagneten. Hierdurch entsteht in der isolierten Leitung *rr* ein Induktionsstrom, welcher um *uu* im zweiten Telephon die nämlichen



magnetischen Aenderungen hervorbringt und dort die Membran zu den gleichen Schwingungen veranlaßt.

Die bei den meisten heute im Gebrauche befindlichen Telephonen angeschlossene Batterie (aus Leclanchéelementen) hat allerdings in erster

Fig. 113.



Linie die Aufgabe, den Weckruf erschallen zu lassen, gleichzeitig aber hat sie noch eine andere Bedeutung. Wer einmal telephonisch gesprochen hat, weiß, daß für gewöhnlich das Telephon an einem Haken aufgehängt ist und diesen Haken durch sein Gewicht niederdrückt. In dieser Lage kreist der von der Batterie erzeugte Strom lediglich in dem Alarmapparat, wenn der zum Geben des Klingelsignales angebrachte Tastapparat in Bewegung gesetzt wird. Nimmt man das Telephon von dem Haken, so wird der letztere durch eine Feder emporgezogen. Nunmehr ist die Leitung in dem Alarmapparat unterbrochen, dafür aber kreist der Strom in den Telephonen selbst um *f* in Fig. 111 und *u* in Fig. 113. Es ist klar, daß unter diesen Umständen der Magnetismus von *f* und *u* verstärkt werden wird. Dadurch wächst natürlich auch der Magnetismus der Membranen. Das hat zur Folge, daß die in Schwingungen versetzte Membran kräftigere Induktionsströme erzeugen wird, welche die Membran im zweiten Telephon selbstverständlich auch in kräftigere Schwingungen versetzt, so daß das Gesprochene deutlicher wiedergegeben wird.

Als Material für die Telephonleitungen hat sich besonders der Bronzedraht bewährt, welcher die Uebermittlung von gesprochenen Worten auf Entfernungen von 400—500 km ermöglicht. Die Erläuterung der Mikrophone, welche Telephone von größter Vollkommenheit darstellen,

insofern als sie das Gesprochene auf große Entfernungen sehr deutlich und getreu wiedergeben, muß hier als zu weit gehend ausgeschlossen werden.

2. Telegraph. Unter „Telegraph“ im allgemeinen versteht man jede Vorrichtung, welche den Austausch von Nachrichten zwischen zwei entfernt gelegenen Orten gestattet ($\tau\eta\lambda\epsilon$ in die Ferne und $\gamma\rho\acute{\alpha}\varphi\omega$ schreibe). Optische Telegraphen (Feuerzeichen) waren seit dem Altertum bis zu Anfang dieses Jahrhunderts (Napoleons Zeigertelegraph) im Gebrauche.

Neuerdings sind unter „Telegraphen“ Vorrichtungen zu verstehen, welche die Uebermittlung von Schriftzeichen auf elektrischem Wege ermöglichen („Fernschreiber“). — Als die Erfinder der elektrischen Telegraphie sind Gauß und Weber anzusehen, welche 1833 eine telegraphische Verständigung zwischen der Sternwarte und dem physikalischen Kabinett zu Göttingen herstellten.

Der der elektrischen Telegraphie zu Grunde liegende Gedanke ist die praktische Verwertung der auf S. 595 angegebenen Tatsache, daß gewöhnliches „Eisen so lange zu einem Magneten wird, als es von einem elektrischen Strome umkreist wird“.

Hat man also eine Leitung zwischen Leipzig und Berlin, so können sich beide Orte untereinander verständigen, wenn 1. durch diese Leitung ein elektrischer Strom kreist, 2. dieser Strom z. B. in Leipzig ein Stück gewöhnliches Eisen umkreist, 3. in Berlin z. B. die Möglichkeit gegeben ist, den Strom in der Leitung beliebig zu unterbrechen.

Nur solange der Strom in der Leitung kreist, wird das Eisen in Leipzig magnetisch; unterbricht Berlin die Zuführung von Strom, so wird das Eisen in Leipzig wieder unmagnetisch. —

Mit diesen Vorkenntnissen ausgerüstet, ist es nicht schwer, die Einrichtung eines Telegraphenapparates zu verstehen. In Fig. 114 ist die telegraphische Verständigung zwischen Berlin und Leipzig veranschaulicht, und zwar gibt Station Berlin soeben ein Telegramm nach Leipzig auf.

Der elektrische Strom wird durch das in Berlin aufgestellte Zinkkohleelement B erzeugt. Er geht in der Richtung der Pfeile vom Zink zur Kohle, sodann infolge der Erdleitung von der in den Erdboden versenkten Metallplatte Pl zu der gleichfalls in die Erde versenkten Metallplatte Pl_1 nach Leipzig. Hier durchfließt er die aus isoliertem Leitungsdrahte gebildete Rolle E , geht von dieser durch die Luftleitung (Leipzig-Berlin) L , alsdann durch den Schlüssel D wieder nach dem in Berlin aufgestellten Element zurück.

Zu Leipzig befindet sich im Innern der aus isoliertem Leitungsdraht gebildeten Rolle E ein weicher Eisenkern Z . — Solange in Berlin der Knopf K des Schlüssels D herabgedrückt ist, kreist der elektrische Strom

in der vorhin angegebenen Richtung und der Eisenkern *Z* in Leipzig wird magnetisch (ein Elektromagnet). Wird dagegen der Knopf *K* in Berlin

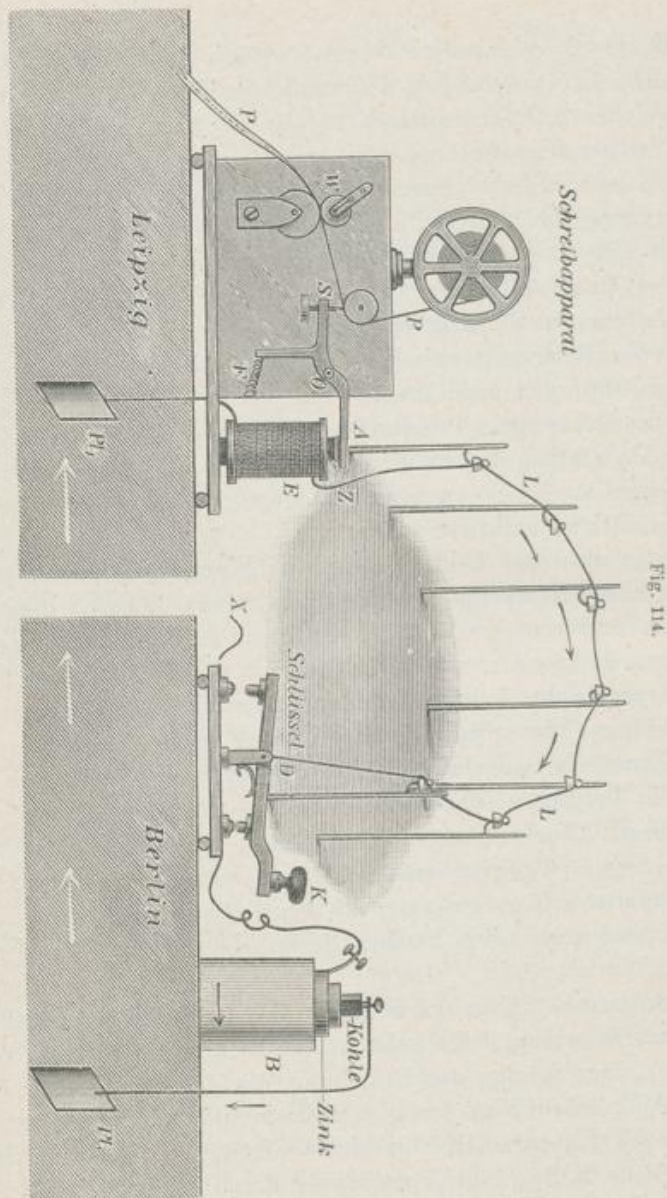


Fig. 114.

gehoben, so ist die Stromleitung unterbrochen, und der Eisenkern *Z* in Leipzig wird wieder unmagnetisch.

Es gelingt mithin durch Herabdrücken oder Heben des Knopfes *K* in Berlin den Eisenkern *Z* in Leipzig nach Belieben (und für beliebige

Zeit) in einen (Elektro-)Magneten, bezw. in gewöhnliches unmagnetisches Eisen zu verwandeln.

Die so geschaffenen Aenderungen in dem Zustande des Eisenkernes *Z* werden nun in verschiedenen Apparaten in verschiedener Weise zur Hervorbringung von Schriftzeichen benützt.

Fig. 114 stellt einen Morseapparat dar. Oberhalb des Eisenkernes *Z* befindet sich ein in *O* beweglicher Stahlanker *A* (in der Regel ist dieser aus Messing gearbeitet und bei *A* mit einer Stahlplatte belegt). — Wenn der Apparat in Ruhe ist, so wird dieser Anker *A* durch die Feder *F* in solcher Stellung gehalten, daß der Arm *A* nach oben gezogen wird, während der den Schreibstift *S* enthaltende Arm nach unten gezogen wird.

Drückt jedoch Station Berlin den Knopf *K* nieder, so kreist in der Leitung der Strom, der Eisenkern *Z* wird magnetisch und zieht nun den Anker *A* nach unten an. Dadurch geht der Schreibstift *S* in die Höhe und drückt gegen den Papierstreifen *P*, welcher von dem Schreibapparat durch die Rollen *W* abgewickelt wird. Dauert der Druck des Stiftes *S* gegen den Papierstreifen *P* nur eine kurze Zeit, so entsteht ein Punkt, dauert er längere Zeit, so entsteht, da der Papierstreifen durch ein Uhrwerk an dem Stifte vorbeigeführt wird, eine Linie. Sobald Berlin durch Emporheben des Knopfes *K* den Strom unterbricht, wird *Z* unmagnetisch und die Feder *F* zieht wieder den Schreibstift nach unten, den Anker *A* nach oben. Der Papierstreifen bleibt jetzt unbeschrieben. Station Berlin hat es in der Hand, auf dem Papierstreifen in Leipzig Punkte oder Striche hervorzubringen, je nachdem sie den Knopf *K* kürzere oder längere Zeit herabdrückt.

Aus den so hervorgebrachten Punkten und Strichen setzt sich das Morsealphabet zusammen.

<i>a</i> . —	<i>c</i> — . — .	<i>e</i> .	<i>g</i> — — .
<i>b</i> — . . .	<i>d</i> — . .	<i>f</i> . . — .	<i>h</i>
<i>i</i> . .	<i>k</i> — . —	<i>l</i> . — . .	<i>m</i> — —
<i>n</i> — .	<i>o</i> — — —	<i>p</i> . — — .	<i>q</i> — — . —
<i>r</i> . — .	<i>s</i> . . .	<i>t</i> —	<i>u</i> . . —
<i>v</i> . . . —	<i>w</i> . — —	<i>x</i> — . . —	<i>y</i> — . — —
	<i>z</i> — — . .		

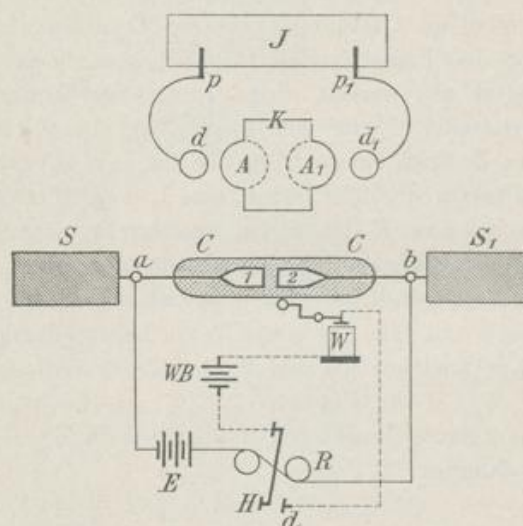
Bei dem Typendruckapparat von Hughes setzt der Elektromagnet ein Typenrad in Bewegung, welches gewöhnliche Schriftzeichen auf den Papierstreifen aufdrückt. Die Vorrichtung auf der Aufgabestation, welche dem Schlüssel *D* entspricht, hat die Form einer Klaviatur.

Gegenwärtig ist es sogar möglich, Originalschriftzeichen (z. B. handschriftliche Unterschriften), sowie Zeichnungen telegraphisch zu übermitteln.

Telegraphie ohne Draht.

Auf S. 600 ist angegeben worden, daß die Elektrizität im Raume sich in Form von Wellen (*Hertz'sche* Elektrizitätswellen) fortpflanzt, welche sich ebenso wie die Lichtwellen geradlinig verbreiten; d. h., läßt man an irgend einem Punkte im Raume einen elektrischen Funken überspringen, so breiten sich von diesem Punkte elektrische Wellen aus, die sich in gleicher Weise geradlinig fortpflanzen wie die Lichtwellen. Auf dem Umstande, daß man in der Lage ist, die elektrischen Wellen, die von Station *A* ausgehen, auf Station *B* aufzufangen und nachzuweisen, beruht die Telegraphie ohne Draht.

Fig. 115.



(Nach Grätz, Kurzer Abriss der Elektrizität.)

Die Fig. 115 stellt in ihrem oberen Teile die Gebestation, in ihrem unteren Teile die Empfangstation dar. Beide kann man sich kilometerweit voneinander entfernt denken. In der Gebestation ist *J* ein kräftiger Induktionsapparat, welcher durch einen Akkumulator gespeist wird. Die Pole des Induktionsapparates *p* und *p*₁ stehen mit zwei kleinen hohlen Metallkugeln *d* und *d*₁ in Verbindung. Zwischen diesen stehen, mit den benachbarten Hälften in einen mit flüssigem Paraffin gefüllten Kasten *K*, welcher vorn ein Fensterchen hat, eingebaut, zwei größere hohle Metallkugeln *A* und *A*₁. Wird der Induktionsapparat in Tätigkeit gesetzt, so springen zwischen den beiden großen Kugeln Funken über. Diese pflanzen sich im Weltäther fort und gelangen zur Empfangstation. Der ganze Gebeapparat heißt

Righi-Sender.

In der Empfangstation ist das wichtigste Organ der Kohärer (*Koherer*) *C*. Dies ist ein kleines Glasröhrchen (etwa dreimal so groß wie in der Zeichnung). In das Glasröhrchen führen die zwei Pole *1* und *2*. Der Raum zwischen den beiden Polen ist mit feinem Metallpulver (Nickelfeile) gefüllt. (*S* und *S*₁ sind Metallscheiben, welche die Empfindlichkeit des Kohärens zu regulieren bestimmt sind.)

Dieser Kohärer befindet sich in einem Stromkreis, welcher gebildet ist aus dem Element E und dem Relais R , d. h. einem Elektromagneten mit seinem Anker H . Solange elektrische Wellen den Kohärer nicht treffen, bietet das lose Metallpulver einen so großen Widerstand, daß der Stromkreis unterbrochen ist. — Treffen den Kohärer jedoch elektrische Wellen, so wird (wahrscheinlich weil die Nickelspäne magnetisch werden) der Widerstand sehr gering, und es kreist jetzt in dem Stromkreise ein elektrischer Strom. Nunmehr wird der Elektromagnet bei R magnetisch und zieht seinen Anker H nach d hin an. Dadurch wird ein zweiter sog. Lokalstromkreis (Relais) geschlossen, welcher von d nach H , der Lokalbatterie WB und über den Morseschreibapparat W wieder nach d zurückgeht und hier mit punktirter Linie gezeichnet ist.

Der Schreibapparat W ist schließlich auch nichts anderes als ein Elektromagnet. Wird auf der Gebestation ein Funken gegeben, so wird auf der Empfangsstation zunächst der äußere (mit soliden Linien gezeichnete) Stromkreis, dann der innere (mit punktierten Linien gezeichnete) Stromkreis geschlossen. Der Elektromagnet des Morseschreibapparates zieht seinen Anker an und dieser erzeugt auf einem an ihm vorbeigeführten Papierstreifen Zeichen.

Ist aber der Kohärer durch das Auftreffen von elektrischen Wellen einmal leitend (magnetisch) geworden, so kehrt er von selbst nicht mehr in den nichtleitenden Zustand zurück. Wird er dagegen leise erschüttert, so geraten die vorher magnetisch gerichteten (s. S. 602) Metallteilchen wieder durcheinander, der Kohärer kommt wieder auf seinen früheren hohen Widerstand zurück, und der Strom ist wiederum unterbrochen.

Es ist nun das Verdienst *Marconis*, diese Erschütterung des Kohärsers selbsttätig ausgeführt zu haben. An dem Anker des Elektromagneten im Morseschreibapparat ist nämlich ein kleiner Klöppel angebracht, welcher beim Anziehen des Ankers sanft gegen den Kohärer schlägt. Dadurch wird der nicht leitende Zustand wieder hergestellt, und der Apparat ist zum Empfang einer neuen elektrischen Welle vorbereitet.

So kann man von Station A nach Station B mittels eines gewöhnlichen Morseschlüssels Zeichen geben. Ein kurzes Ueberspringen eines Funkens läßt in B einen Punkt, eine längere Hintereinanderfolge von Funken einen Strich entstehen.

Zweckmäßig ist es, wenn die elektrischen Funken von möglichster Höhe aus gegeben werden, ebenso wenn sich der Empfangsapparat in möglichster Höhe befindet, damit die elektrischen Wellen möglichst wenig Widerstand finden. Bis jetzt ist es gelungen, auf Entfernungen von etwa 300 km sich zu verständigen.

