

Physik und Chemie

Leitfaden für Bergschulen

von

Dr. H. Winter



Physik und Chemie

Leitfaden für Bergschulen

von

Dr. H. Winter

Leiter des berggewerkschaftlichen Laboratoriums
und Lehrer an der Bergschule zu Bochum

Mit 114 Textfiguren und
einer farbigen Tafel



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1920

**Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen,
vorbehalten.**

Additional material to this book can be downloaded from <http://extras.springer.com>

ISBN 978-3-662-23193-7 ISBN 978-3-662-25188-1 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-25188-1

Copyright 1920 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1920.

Vorwort.

Der vorliegende Leitfaden der Physik und Chemie für den Unterricht auf der Bergschule ist auf Grund meiner 20jährigen Lehrtätigkeit als Assistent und Privatdozent an der Berliner Bergakademie, besonders aber als Lehrer an der Bergschule zu Bochum verfaßt.

Die Abbildungen entstammen der bewährten Hand des berggewerkschaftlichen Zeichners Herrn Haibach und waren zum großen Teil für Dr. Küppers Leitfaden der Physik und Chemie, Bochum i. Westf., Verlag der Westfälischen Berggewerkschaftskasse 1917, bestimmt.

Bochum, im Oktober 1920.

H. Winter.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	III
Einleitung	1

Physik.

Allgemeine Eigenschaften der Körper. Maße	3
---	---

I. Mechanik.

Kräfte. Arbeit. Leistung	4
Gleichgewicht und Bewegung der festen Körper. Schwerpunkt. Gleichgewicht. Standfestigkeit	5
Maschinen. Hebel. Rolle. Flaschenzug. Schiefe Ebene	7
Gleichgewicht und Bewegung der Flüssigkeiten	9
Fortpflanzung des Druckes. Bodendruck. Seitendruck. Kommunizierende Gefäße	9
Kommunizierende Gefäße	11
Auftrieb. Archimedisches Prinzip	12
Spezifisches Gewicht. Dichte	13
Haarröhrenerscheinungen. Kapillarität	15
Gleichgewicht und Bewegung der gasförmigen Körper	15
Luftdruck. Gefäß-, Heber-, Dosenbarometer	16
Veränderungen des Luftdrucks	17
Anwendungen des Luftdrucks. Stech- und Saugheber. Luftpumpe. Pumpen	18
Auftrieb in Gasen	21
Verdichtung der Gase	21
Gesetz von Boyle-Mariotte	22
Diffusion	22
Spezifisches Gewicht der Gase	24

II. Wärmelehre.

Wärmeempfindung. Wärmemessung. Thermometer	24
Ausdehnung der festen Körper. Anwendungen. Metallthermometer	26
Ausdehnung der flüssigen Körper	29
Ausdehnung der gasförmigen Körper. Luftthermometer.	30
Wärmemenge. Spezifische Wärme	31
Schmelzpunkt. Schmelzwärme. Eisbildung. Unterkühlung. Kältemischungen	33
Siedepunkt. Verdampfungswärme.	34
Verdampfen	36
Feuchtigkeitsgehalt der Luft. Niederschläge. Psychrometer. Haarhygrometer. Hygroskope. Regen, Schnee. Tau, Reif	38
Sättigungsspannung (Tension) des Wasserdampfes	40

	Seite
Verflüssigung der Dämpfe. Destillation	41
Verflüssigung der Gase, der Luft	42
Wärmeleitung und Wärmestrahlung	44
Wärmequellen	46
III. Magnetismus. Natürliche und künstliche Magnete. Kompaß.	
Magnetisches Feld. Die Erde als Magnet. Deklination und Inklination	47
IV. Elektrizitätslehre.	
Reibungselektrizität. Glas- und Harzelektrizität. Leiter und Nichtleiter. Elektrische Verteilung. Gewitter. Blitz- ableiter	50
Berührungselektrizität. Galvanisches Element. Voltasche Reihe. Inkonstante und konstante Elemente	52
Spannung. Stromstärke. Widerstand	54
Ohmsches Gesetz und Schaltung	55
Leistung und Verbrauch	56
Wärmewirkungen des elektrischen Stromes	57
Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes	59
Polarisationsstrom. Akkumulator.	60
Ablenkende Wirkung auf die Magnethöhle	60
Elektromagnetismus. Morsescher Drucktelegraph. Elektrische Klingel und Uhr	61
Magnetinduktion	63
Elektroinduktion. Induktionsapparat	64
Telephon	65
Thermoelektrizität	65
V. Lehre vom Schall. Akustik.	
Entstehung und Fortpflanzung des Schalles. Echo. Nachhall	66
Musikalische Töne	69
Tonerzeuger. Saiten. Stäbe. Platten. Pfeifen.	70
Schwebungen. Interferenz	71
Phonograph	71
VI. Lehre vom Licht. Optik.	
Lichtquellen und Ausbreitung des Lichts. Fortpflanzungs- geschwindigkeit	72
Zurückwerfung, Reflexion des Lichts. Ebener Spiegel. Winkel- spiegel. Sphärische Spiegel. Zerstreute Reflexion	73
Brechung des Lichts	74
Totale Reflexion. Prisma. Linsen. Fernrohr. Mikroskop	75
Farbenzerstreuung des Lichts	80
Spektralanalyse	81
Regenbogen	82
Interferenz des Lichts. Interferometer	82
Chemische Wirkungen des Lichts	82
Das Auge	83
Chemie.	
Chemische Grundbegriffe. Unterschied zwischen Physik und Chemie. Chemische Energie. Mechanisches Gemenge und che- mische Verbindung. Molekül und Atom. Atomgewicht. Che- mische Formeln und Gleichungen. Wertigkeit. Konstante Zu- sammensetzung der Verbindungen	85
Sauerstoff. Vorkommen. Darstellung. Eigenschaften. Anwendung	88
Verbrennung. Langsame Verbrennung. Atmung	89

	Seite
Wasserstoff. Vorkommen. Darstellung. Eigenschaften. Anwendung	90
Gasexplosionen	93
Wasser. Vorkommen. Bildung. Eigenschaften. Mineralwässer	94
Oxydation und Reduktion	96
Chlor. Vorkommen. Darstellung. Eigenschaften. Salzsäure	96
Schwefel. Vorkommen. Gewinnung. Eigenschaften. Anwendung	97
Schwefelwasserstoff. Vorkommen. Darstellung. Eigenschaften. Nachweis. Anwendung	98
Schweflige Säure. Vorkommen. Darstellung. Eigenschaften. Anwendung	98
Schwefelsäure. Vorkommen. Darstellung. Eigenschaften. Anwendung	99
Stickstoff. Vorkommen. Darstellung. Eigenschaften. Anwendung	99
Atmosphärische Luft	100
Ammoniak. Vorkommen. Darstellung. Eigenschaften	101
Stickoxyde. Darstellung. Eigenschaften	101
Salpetersäure. Darstellung. Eigenschaften. Anwendung	102
Phosphor. Vorkommen. Eigenschaften. Anwendung	103
Kohlenstoff. Diamant. Graphit. Amorpher Kohlenstoff	103
Kohlensäure. Vorkommen. Darstellung. Eigenschaften. Nachweis. Anwendung	104
Ernährung und Atmung der Menschen, Tiere und Pflanzen	106
Kohlenoxyd. Vorkommen. Bildung. Darstellung. Eigenschaften. Nachweis. Quellen der Kohlenoxydvergiftung. Anwendung	108
Heizwert des Kohlenstoffs	110
Grubengas. Vorkommen. Bildung. Darstellung. Eigenschaften. Schlagwetter. Nachschwaden. Kohlenstaubexplosionen. Nachweis. Bestimmung des Grubengases	111
Äthylen. Vorkommen. Eigenschaften	114
Azetylen. Vorkommen. Darstellung. Eigenschaften. Anwendung	115
Flamme. Kerzenflamme. Bunsenbrenner	116
Silizium	117
Säuren. Basen. Salze. Lösungen. Kristalle	117
Allgemeine Eigenschaften der Nichtmetalle und Metalle	118
Natrium. Vorkommen. Darstellung. Eigenschaften. Ätznatron, Kochsalz, Soda, Natronsalpeter	118
Kalium. Vorkommen. Darstellung. Eigenschaften. Chlorsaures Kali. Kalisalpeter	119
Ammoniumverbindungen. Salmiak. Ammonsalpeter	120
Sprengstoffe. Sicherheitssprengstoffe	121
Kalzium. Vorkommen. Mörtel. Gips. Kesselstein	122
Magnesium. Vorkommen. Darstellung. Eigenschaften	124
Aluminium. Vorkommen. Darstellung. Eigenschaften. Thermitverfahren. Zement	125
Brennstoffe.	
Feste Brennstoffe. Verwesung. Vermoderung. Vertorfung. Fäulnis	125
Torf. Vorkommen. Eigenschaften. Anwendung	127
Braunkohle. Vorkommen. Eigenschaften. Anwendung	127
Steinkohle. Vorkommen. Einteilung nach dem Aussehen. Glanzkohle. Mattkohle. Faserkohle. Brandschiefer	128
Chemische Einteilung. Koksausbeute. Koksform. Flammerscheinungen. Rohkohle. Reinkohle. Kohlenarten. Asche, Schwefel, Stickstoff der Steinkohle. Lagerverlust. Selbstentzündung	128

VIII**Inhaltsverzeichnis.**

	Seite
Heizwert. Verdampfungswert. Anwendung	131
Veredelung der Steinkohle.	
Entgasung. Verkokung. Hüttenkoks. Kokereigas. Teer.	
Ammoniak. Benzolkohlenwasserstoffe	133
Vergasung. Generatorgas. Wassergas. Mischgas	134
Flüssige Brennstoffe.	
Erdöl. Vorkommen. Bildung. Eigenschaften	136
Benzin. Petroleum	137
Naturgas. Erdgas	137
Alphabetisches Sachregister	138

Einleitung.

Die Naturlehre, Physik und Chemie, beruht wie die Mathematik nur auf erwiesenem Wissen und beschäftigt sich mit den Gesetzen der Naturerscheinungen. Zu ihrer Erkennung genügt nicht nur das Wahrnehmen derselben durch unsere Sinnestätigkeit, z. B. durch das Sehen, denn es gibt unter vielen Personen nur wenige, die imstande sind, das Erblickte seinem genauen Hergang nach zu schildern.

Das Genausehen, die Beobachtung, muß gelernt werden, was durch Übung, und Vergleichung geschieht. Durch den Versuch, bei welchem

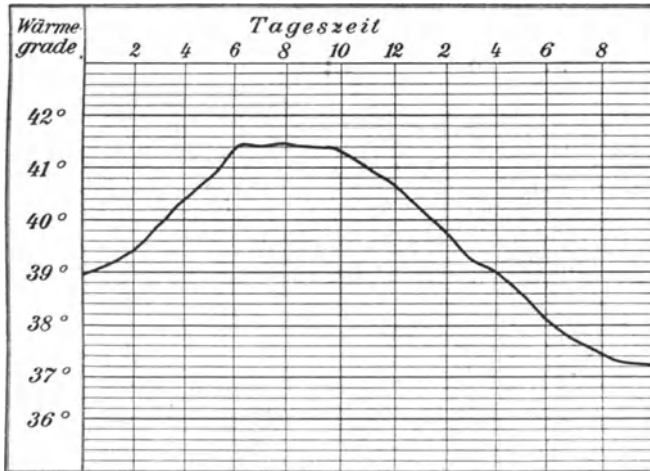


Fig. 1.

der Forscher selbsttätig und absichtlich die zusammenwirkenden Umstände abändert, wird das Gesetzmäßige einer Naturerscheinung klar erkannt. Dabei dienen in vielen Fällen besondere Apparate und Instrumente zur Unterstützung unserer Sinne, die manche Naturerscheinungen sonst überhaupt nicht wahrnehmen können.

Zum besseren Verständnis der aus zusammengehörigen Beobachtungen gewonnenen Zahlen, ihrer Gesetzmäßigkeiten und Beziehungen, bedient man sich der graphischen Darstellung mit Hilfe eines Koordinatensystems. So verzeichnet man z. B. bei Fiebermessungen die Zeiten auf der Abszissen-, die Temperaturen auf der Ordinatenachse. Verbindet man nun die dadurch bestimmten Punkte durch eine Linie, die entweder eine Gerade oder eine Kurve ist, so veranschaulicht diese die Veränderungen der Körpertemperatur. Fig. 1 stellt die Temperaturkurve eines Kranken nach vielen Messungen dar. In der Regel werden so häufige Messungen nicht vorgenommen, so daß die Kurven eckiger verlaufen. Registrierapparate: Thermometrograph, Barograph, Depressionsmesser.

Physik.

Allgemeine Eigenschaften der Körper. Maße.

Die Physik beschäftigt sich mit den Eigenschaften der Körper und allen Veränderungen, die ihre äußerlichen Eigenschaften und Zustände betreffen, ohne daß ein Wechsel der stofflichen Zusammensetzung eintritt. So erstarrt das Wasser in der Kälte zu Eis und verwandelt sich durch Wärme in Wasserdampf. Eis, Wasser und Wasserdampf aber haben dieselbe chemische Zusammensetzung, sie bestehen aus Wasserstoff und Sauerstoff. Wir haben es in diesem Beispiel also mit einem physikalischen Vorgange zu tun, bei welchem nur die Formart geändert wurde.

Man unterscheidet drei verschiedene Formarten oder Aggregatzustände, den festen, flüssigen und gasförmigen Zustand eines Körpers. Jeder Körper nimmt einen Raum (Volumen) ein und besitzt ein Gewicht. An der Stelle, wo ein Körper sich befindet, kann zu gleicher Zeit kein anderer sein. Legt man auf den Boden einer mit Wasser gefüllten Glaswanne ein Gewichtsstück und stülpt ein Glas mit der Mündung nach unten darüber, so entweicht die Luft in Blasen.

Eine richtige Vorstellung von der Größe eines Körpers, von seiner Geschwindigkeit, kann man nur durch Vergleich mit einer bekannten Größe, Geschwindigkeit gewinnen. Damit nun solche Vergleiche oder Messungen auch von anderen Menschen bequem und schnell, an jedem Orte und zu jeder Zeit, wiederholt und geprüft werden können, bedarf es genau festgelegter Maße.

Als Grundmaß der Länge gebrauchen wir das Meter, den 40000000-sten Teil eines Meridians. (Paris 1799.)

Längenmaße.

- 1 Meter = m
- 1 Dezimeter = dm = 0,1 m
- 1 Zentimeter = cm = 0,01 m
- 1 Millimeter = mm = 0,001 m
- 1 Kilometer = km = 1000 m
- 1 Meile = 7,5 km
- 1 Rute = 3,77 m

Die Flächen- und Raumaße leiten sich vom Meter ab; als Einheit für die Flächenmessung wird ein Quadrat von 1 Meter Seitenlänge angenommen.

Flächenmaße.

- 1 Quadratmeter = qm
- 1 Quadratdezimeter = qdm = 0,01 qm
- 1 Quadratzentimeter = qcm = 0,0001 qm
- 1 Quadratmillimeter = qmm = 0,000 001 qm
- 1 Quadratkilometer = qkm = 1 000 000 qm
- 1 Ar = a = 100 qm
- 1 Hektar = ha = 100 a = 10 000 qm
- 1 Morgen = 25,53 a
- 1 Quadratrute = 14,19 qm.

Raumaße.

- 1 Kubikmeter = cbm
- 1 Kubikdezimeter = cdm = 1 Liter
- 1 Kubikzentimeter = ccm = 0,001 Liter
- 1 Kubikmillimeter = cmm = 0,001 ccm
- 1 Hektoliter = hl = 100 Liter.

Als Einheit des Gewichts, der Schwere hat man das Gewicht von 1 Liter Wasser bei 4° C = 1 Kilogramm (kg) gewählt.

- 1 Tonne = 1000 kg
- 1 Kilogramm = 1000 g
- 1 Gramm = 0,001 kg
- 1 Dezigramm = 0,1 g
- 1 Zentigramm = 0,01 g
- 1 Milligramm = mg = 0,001 g.

Die Messung der Zeit wird mit Hilfe astronomischer Beobachtungen vorgenommen, welche sich auf die regelmäßig wiederkehrenden Bewegungen der Gestirne beziehen; die Einheit der Zeit ist der Sterntag.

- 1 Tag = 24 Stunden
- 1 Stunde = 60 Minuten
- 1 Minute = 60 Sekunden.

I. Mechanik.

Kräfte, Arbeit, Leistung.

Alle Körper, welche sich in der Nähe der Erdoberfläche befinden, zeigen das Bestreben zu fallen. Die Richtung, in welcher ein Körper fällt, wird Senkrechte oder Lotrechte genannt. Sie geht nach dem Mittelpunkte der Erde (Fig. 2); diese von hier ausgeübte Anziehungskraft nennt man Schwerkraft.

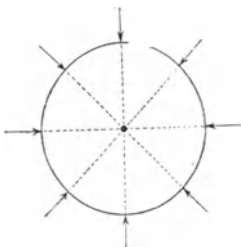


Fig. 2.

Unter **Kraft** versteht man jede Ursache, welche Bewegung hervorruft oder vorhandene Bewegung ändert. Ein Körper, auf welchen keine Kraft wirkt, verharrt in dem Zustand, in

welchem er sich befindet, in Ruhe oder Bewegung — Beharrungsvermögen oder Trägheit. Der englische Physiker Newton (1642—1727) lehrte, daß alle Körper einander anziehen. Diese Anziehungskraft bewirkt, daß sich die Planeten um die Sonne bewegen, und daß an den Küsten der Meere abwechselnd alle $6\frac{1}{2}$ Stunden Flut und Ebbe eintritt.

Die Kraft, die das Gewicht oder die Schwere eines Körpers vermöge der Schwerkraft ausübt, wird in Kilogramm gemessen. Man sagt, eine Kraft ist gleich einem Kilogramm, wenn sie in ihrer Richtung denselben Zug oder Druck ausübt wie das Gewicht von 1 Liter Wasser (4° C, 760 mm) oder von 1 Kilogramm.

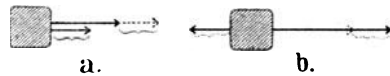
Eine Arbeit wird verrichtet, wenn eine Last gehoben oder fortgezogen wird; wird die Last gehoben, so ist die Arbeit größer, als wenn jene seitlich bewegt wird. Die Arbeit einer Kraft ist gleich dem Produkt aus Weg und Last und nimmt in demselben Verhältnis zu, wie der zurückgelegte Weg länger und die bewegte Last schwerer wird. Die Arbeit, welche nötig ist, um eine Last von einem Kilogramm ein Meter hoch zu heben, nennt man Meterkilogramm (mkg).

Unter Leistung versteht man die in der Zeiteinheit ausgeführte Arbeit.

$$\text{Leistung} = \frac{\text{Weg} \times \text{Last}}{\text{Zeit}} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}} = \frac{\text{mkg}}{\text{sek.}}$$

Die Leistungsfähigkeit der Kraftmaschinen gibt man in Pferdekraften (PS) an. Eine Pferdekraft ist die Leistung von 75 mkg Arbeit in einer Sekunde; eine Menschenkraft rechnet man zu $\frac{1}{7}$ PS.

Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte. Wirken zwei Kräfte auf einen Körper in derselben Richtung, so summieren sie sich (Fig. 3a).



Wirken zwei Kräfte auf einen Körper in entgegengesetzter Richtung, so heben sie sich ganz oder teilweise auf (Fig. 3b).

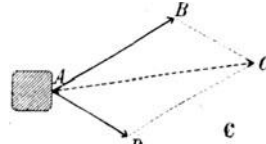


Fig. 3.

Wirken zwei Kräfte auf einen

Körper unter einem Winkel, so kann ihre Größe und Richtung durch die Diagonale AC des Parallelogramms der Kräfte $ABCD$ angegeben werden (Fig. 3c). Diese Mittelkraft (Resultante) leistet also dasselbe wie die beiden Seitenkräfte (Komponenten).

Ebenso wie man mehrere Kräfte zu einer Kraft zusammensetzt, kann man auch zur Erklärung physikalischer Vorgänge eine Kraft in zwei Seitenkräfte zerlegen, z. B. bei der Kniepresse, schiefen Ebene.

Gleichgewicht und Bewegung der festen Körper.

Die festen Körper unterscheiden sich von den Flüssigkeiten und Gasen dadurch, daß sie eine bestimmte Gestalt besitzen. Ein auf einen festen Körper ausgeübter Druck pflanzt sich nur in der Druckrichtung fort.

Der Schwerpunkt ist der Angriffspunkt der Schwerkraft, er muß unterstützt werden, wenn der Körper nicht fallen soll. Man findet den Schwerpunkt eines Körpers, indem man ihn nacheinander an zwei verschiedenen Punkten an einem Faden aufhängt. Die Verlängerung des Fadens geht stets durch den Schwerpunkt, welcher an der Kreuzungsstelle der beiden Linien liegt (Fig. 4).

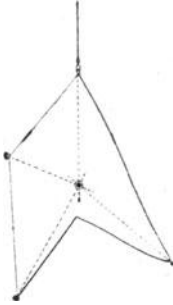


Fig. 4.

Wo liegt der Schwerpunkt eines Dreiecks, Vierecks, Vielecks? Bei regelmäßigen, überall gleich dichten Körpern fällt der Schwerpunkt mit dem Mittelpunkte zusammen. Wo liegt der Schwerpunkt eines Hammers, eines Ringes, einer Hohlkugel?

Wirken mehrere, einander entgegengesetzte Kräfte auf einen in Ruhe befindlichen Körper so ein, daß sie sich gegenseitig aufheben, dann befindet sich der Körper im Gleichgewicht. Man unterscheidet ein indifferentes (gleichgültiges), stabiles (beständiges) und labiles (unbeständiges) Gleichgewicht. Ein Körper befindet sich im indifferenten Gleichgewicht, wenn sein Unterstützungspunkt durch den

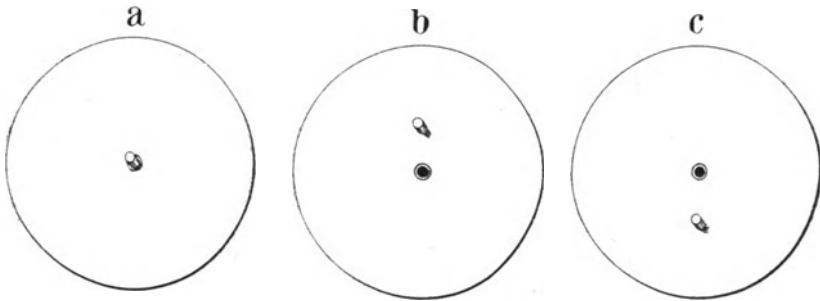


Fig. 5.

Schwerpunkt geht (Fig. 5a). Wagenräder, Kugel und Zylinder auf wagerechter Ebene.

Beim stabilen Gleichgewicht liegt der Unterstützung-(Aufhänge-)punkt senkrecht über dem Schwerpunkt (Fig. 5b), der Körper befindet sich in sicherer Ruhelage.

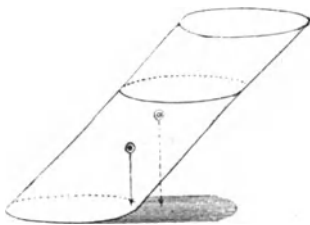


Fig. 6.

Beim labilen Gleichgewicht hat der Körper eine solche Lage, daß sein Unterstützungspunkt senkrecht unter dem Schwerpunkt liegt (Fig. 5c); beim geringsten Stoß verliert er die unbeständige Ruhelage und geht in das stabile Gleichgewicht über.

Ein Körper ist auf einer wagerechten Ebene im Gleichgewicht (standfest), wenn die von seinem Schwerpunkt gefällte Senkrechte die Unterstützungsfläche trifft; das ist in der Fig. 6 nur für den unteren

Teil des zusammengesetzten, schiefen Zylinders der Fall. Je breiter die Unterstüztungsfläche, je schwerer der Körper ist, und je tiefer sein Schwerpunkt liegt, desto größer ist seine Standfestigkeit. Wie ändert man demnach die Lage des Schwerpunktes, wenn eine Last an beiden Händen oder an einer Hand oder auf dem Rücken getragen wird?

Maschinen.

Maschinen sind Vorrichtungen zur Übertragung der Wirkung von Kräften von einem Körper auf einen anderen. Man unterscheidet einfache und zusammengesetzte Maschinen. Zu den einfachen

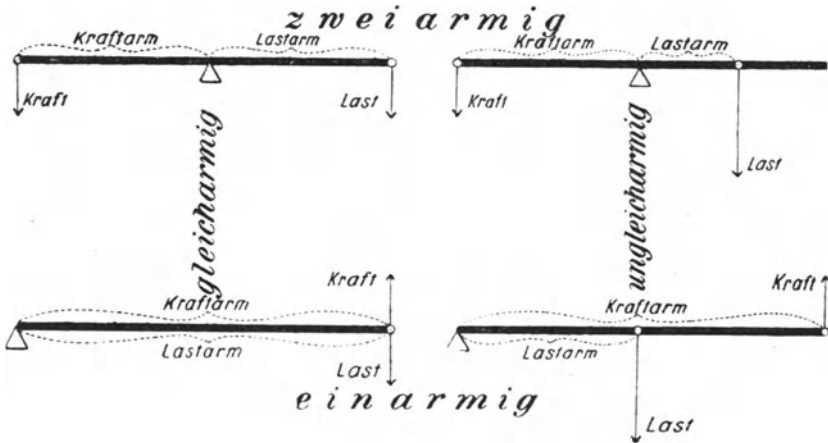


Fig. 7.

Maschinen rechnet man den Hebel (Rolle, Wellrad) und die schiefe Ebene (Keil, Schraube); die zusammengesetzten Maschinen sind aus einfachen aufgebaut.

Der Hebel ist eine um einen festen Punkt drehbare Stange, die wir uns unbiegsam und gewichtslos denken. Die Entfernung zwischen dem Drehpunkte und dem Angriffspunkte der Kraft bzw. der Last nennt man Kraftarm bzw. Lastarm. Bei den einarmigen Hebeln (Brechstange, Schubkarren, Sicherheitsventil) liegen die Angriffspunkte der Kraft und der Last auf derselben Seite, bei den zweiarmigen Hebeln (Brechstange, Wage, Schere, Zange, Pumpenschwengel) auf entgegengesetzten Seiten des Drehpunktes. Sowohl beim einarmigen als auch beim zweiarmigen Hebel können die Hebelarme gleich und ungleich sein (Fig. 7).

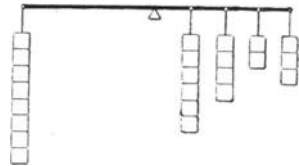


Fig. 8.

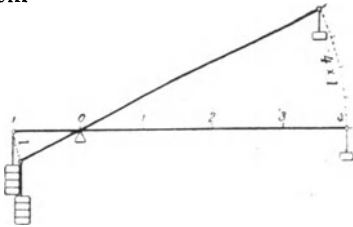


Fig. 9.

Am Hebel herrscht Gleichgewicht, wenn das Produkt aus Kraft und Kraftarm gleich dem Produkt aus Last und Lastarm ist (Fig. 8). Der gemeinsame Vorteil aller Maschinen ist, daß sie die Möglichkeit bieten, große Lasten mit kleineren Kräften zu überwinden; dabei wird an Arbeit nichts gewonnen. Was wir an Kraft gewinnen, geht an Weg verloren und umgekehrt (goldene Regel der Mechanik). Stören wir das in Fig. 9 dargestellte Gleichgewicht und bewegen die Last um die Strecke eins, so legt die Kraft einen viermal größeren Weg zurück.

Aufgabe: An einem einarmigen Hebel wirken zwei Kräfte von 300 und 500 kg nach entgegengesetzten Richtungen. Der Hebelarm der ersten Kraft ist = 3,5 m, wie groß ist der des zweiten im Falle des Gleichgewichts?

$$= \frac{3,5 \times 300}{500} = 2,1 \text{ m.}$$

Aufgabe: An einem doppelarmigen Hebel ist der eine Hebelarm = 0,4 m, der andere = 0,7 m. Am Endpunkt des ersten hängt ein Gewicht von 50 kg; wieviel hängt an dem anderen im Falle des Gleichgewichts, und wie groß ist der Druck auf den Drehpunkt?

$$\frac{0,4 \times 50}{0,7} = 28,57 \text{ kg}$$

$$50 + 28,57 = 78,57 \text{ kg.}$$

Rolle und Wellrad sind hebelartige Vorrichtungen, bei welchen die Radien als Hebel anzusehen sind.

Die feste Rolle ist eine kreisrunde, in ihrem Mittelpunkte befestigte und sich drehende Scheibe (Fig. 10a). Eine auf dem Umfang der Scheibe befindliche Rinne nimmt ein Seil auf, an dessen einem Ende die Kraft wirkt, während am anderen die zu hebende Last befestigt ist. An der festen Rolle herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft gleich der Last ist; sie dient daher nur dazu, der Kraft eine bequeme Richtung zu geben.

Die lose oder bewegliche Rolle (Fig. 10b) dreht sich in einer Schere, an der die Last hängt. Das eine Ende des Seils ist befestigt, an dem andern wirkt die Kraft. An der losen Rolle herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft gleich der Hälfte der Last ist. Goldene Regel.

Die Verbindung einer losen Rolle mit einer festen bildet die einfachste Form des Flaschenzuges (Fig. 11). Gleich viel feste und lose Rollen sind in einer festen und losen Flasche vereinigt. Die feste Flasche ist an der Unterseite eines wagerechten Trägers angebracht; an der losen Flasche hängt die Last. Ein Seil, dessen eines Ende an dem unteren Haken der festen Flasche befestigt ist, umschlingt der Reihe nach je eine Rolle der festen und der beweglichen Flasche; an dem freien Ende des Seiles wirkt die Kraft. Bei drei festen und drei beweglichen Rollen verteilt sich die Last auf sechs Schnüre. Im Falle des

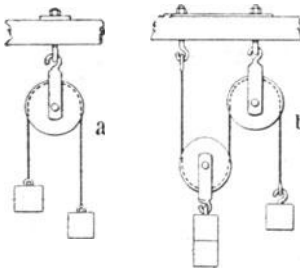


Fig. 10.

Gleichgewichts muß die Kraft also gleich $\frac{1}{6}$ der Last sein. Goldene Regel.

Schiefe Ebene. Eine zur Wagerechten unter einem spitzen Winkel geneigte Ebene (Schrotleiter, Treppe, ansteigende Straße). Legt man eine Last auf eine wagerechte Platte, so wird sie durch den von der Platte ausgeübten senkrechten Druck im Gleichgewicht gehalten. Wird die Platte geneigt, so sucht ein Teil des Gewichts den Körper auf der schiefen Ebene herabzuziehen, und zwar um so leichter, je mehr die Neigung der schiefen Ebene wächst. In der Fig. 12 stellt die senkrecht auf der Basis AB der schiefen Ebene stehende Linie SG die Schwere des Körpers dar. Die dem Körpergewicht entsprechende Kraft SG läßt sich in die Kraft SD und SQ zerlegen. Die Kraft SD übt nur einen Druck auf die Länge AC der schiefen Ebene aus; für die Bewegung längs der schiefen Ebene bleibt nur die Kraft SQ übrig. Soll der Körper also auf der schiefen Ebene in Gleichgewicht bleiben, so muß der Kraft SQ nach der anderen Seite eine gleiche Kraft SP entgegengesetzt werden. $SP = SQ$ ist aber als Kathete des rechtwinkligen Dreiecks kleiner als die Hypothenuse SG , welche die Schwere des Körpers darstellt. Daraus ergibt sich, daß man zum Festhalten des Körpers auf der schiefen Ebene eine kleinere Kraft, als der Last des Körpers entspricht, nötig hat. Wirkt die Kraft parallel zur Länge der schiefen Ebene, so herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft gleich ist der Last, multipliziert mit dem Neigungsverhältnis (Höhe : Länge) der schiefen Ebene. Goldene Regel.

Keil und Schraube sind besondere Formen der schiefen Ebene.

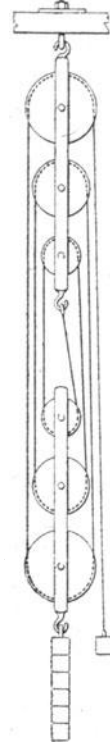


Fig. 11.

Gleichgewicht und Bewegung der Flüssigkeiten.

Flüssigkeiten sind leicht bewegliche, nicht zusammen-drückbare Körper, deren Oberfläche eine Ebene bildet: sie nehmen die Gestalt des Gefäßes an.

Fortpflanzung des Druckes.

Der auf eine Flüssigkeit ausgeübte Druck pflanzt sich nach allen Richtungen mit gleicher Stärke fort, was der in Fig. 13 dargestellte Versuch mit der Kugelspritze unmittelbar beweist.

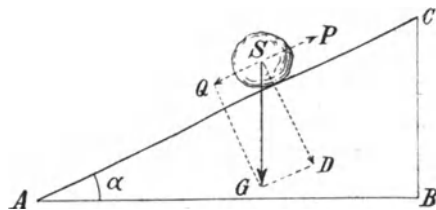


Fig. 12.

In der hydraulischen Presse (Fig. 14) findet dieses Gesetz eine wichtige Anwendung. Eine Druckpumpe ist durch eine Röhre mit einem weiten Zylinder verbunden, der durch den beweglichen Preß-

kolben verschlossen ist. Wird der Kolben *A* der Druckpumpe mit der Kraft *p* nach unten gedrückt, so wird auf den Preßkolben vom Querschnitt *B* eine Kraft $p \cdot \frac{B}{A}$ übertragen. Dadurch hebt sich der Preß-

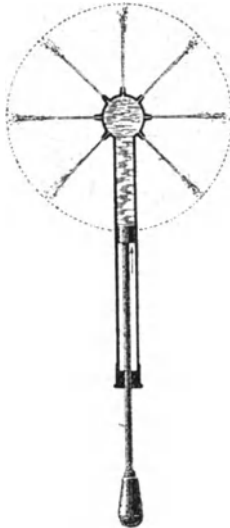


Fig. 13.

kolben und drückt den auf ihm liegenden Körper gegen ein festes Widerlager. Der Druck wächst in demselben Maße, wie der Querschnitt des Preßkolbens größer als der des Druckkolbens wird. Goldene Regel.

Die hydraulische Presse dient zum Auspressen von Öl aus Samen und Paraffin, Teer aus Naphthalin, Zuckersaft aus Rübenschnitzel, zum Pressen von Tabak, Tuch, Papier, Heben von Lasten und in der Materialprüfung zur Untersuchung von eisernen Röhren und Förderseilen.

Aufgabe: In der hydraulischen Presse (Fig. 14) sei der Querschnitt des Druckkolbens $A = 1$ qcm, der des Preßkolbens $B = 16$ qcm, der Hebelarm der Kraft an der Druckpumpe $= 40$ cm und der der Last $= 10$ cm. Wie groß ist der Druck auf den Preßkolben, wenn eine Kraft von 12 kg am Hebelarm der Pumpe wirkt?

$$= \frac{12 \cdot 40}{10} \cdot \frac{16}{1} = 768 \text{ kg.}$$

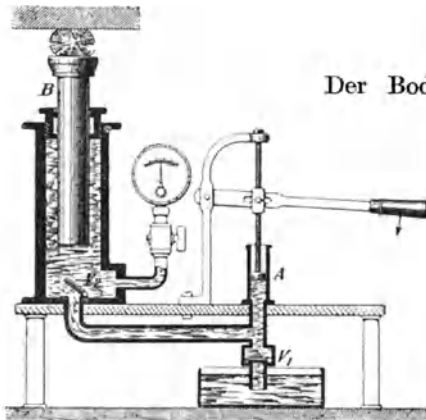


Fig. 14.

Bodendruck.

Der Bodendruck, d. h. der Druck einer Flüssigkeit auf den wagerechten Boden eines Gefäßes, ist gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, deren Grundfläche die gedrückte Fläche und deren Höhe der senkrechte Abstand dieser Fläche vom Flüssigkeitsspiegel ist. Der Bodendruck ist demnach von der Gestalt des Gefäßes unabhängig.

Verschieden geformte Gefäße (Fig. 15) sind unten mit gleich großen Fassungen versehen, so daß sie mit dem Gestell einer Wage verbunden werden können, deren einer Hebel mit einem Gewicht belastet ist und dadurch eine ebene Metallscheibe als beweglichen Boden am Endpunkt des anderen Hebels gegen die Fassung drückt. Gießt man nun vorsichtig Wasser in die Gefäße, so

bleibt die Höhe, bei welcher das Ausfließen beginnt, dieselbe, trotzdem die entsprechenden Wassergewichte ganz verschieden sind. War das Gefäß oben enger, so hat z. B. das Wasserteilchen *B* (Fig. 16) den Druck der Wassersäule *AB* auszuhalten. Dieser Druck pflanzt sich in gleicher Stärke auf das Wasserteilchen *C* fort, so daß wir uns dieses unter dem Druck einer Wassersäule *HC* befindlich denken können. Entsprechend würde für das Wasserteilchen *F* der Druck einer Wassersäule *GF* in Betracht kommen. Der Bodendruck auf *CF* ist demnach gleich dem Gewicht einer Wassersäule *CFGH*.

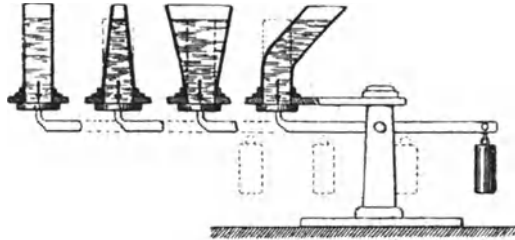


Fig. 15.

Für die Grube hat der Bodendruck eine hohe Bedeutung, da das Gebirge vielfach von Wasser führenden Klüften durchzogen ist.

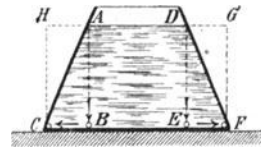


Fig. 16.

Seitendruck.

Der Seitendruck ist gleich dem Gewicht einer Flüssigkeitssäule, welche die gedrückte Fläche zur Grundfläche und die Entfernung ihres Schwerpunktes von der Oberfläche zur Höhe hat. Der Seitendruck wirkt senkrecht auf jedes Flächenstück, daher bewegt sich auch eine senkrecht hängende, unten nach einer Seite umgebogene Röhre beim Eingießen von Wasser nach der entgegengesetzten Seite (Fig. 17). Auf demselben Prinzip beruhen das Segnersche Wasserrad, die Turbine und der Rasensprenger.



Fig. 17.

Kommunizierende Gefäße.

Die freien Oberflächen einer Flüssigkeit in miteinander in Verbindung stehenden (kommunizierenden) Gefäßen liegen in einer und derselben wagerechten Ebene, weil der Druck auf die Flächeneinheit gleich ist. Denken wir uns nämlich durch die verbindende Röhre (Fig. 18) eine wagerechte Ebene, so wird der Druck in dieser durch ihren senkrechten Abstand von der Oberfläche des einen Gefäßes wie von der des anderen bestimmt. Der Druck kann in den Punkten der Ebene nur dann überall

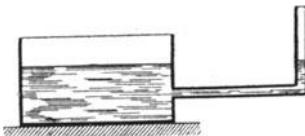


Fig. 18.

gleich sein, wenn die Abstände bis zur Oberfläche überall gleich sind.

Mit dem Gesetz der kommunizierenden Gefäße lassen sich eine Reihe von Beobachtungen in der Natur erklären, z. B. die Überschwem-

mung von Kellern in der Nähe von Flüssen bei Hochwasser. Gieß- und Kaffeekanne, Wasserwage (Fig. 19), Schlauchwage (Fig. 20), Wasserleitung, Wasserstandsglas, Springbrunnen und artesischer Brunnen (Fig. 21) sind Anwendungen der kommunizierenden Gefäße.

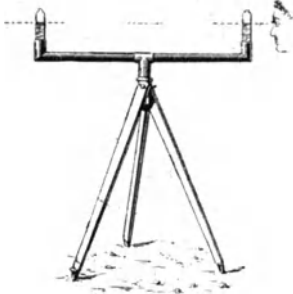


Fig. 19.

Auftrieb.

Der Druck des Wassers wirkt auch nach aufwärts, da er sich nach allen Seiten gleichmäßig fortpflanzt.

Die Glasplatte (Fig. 22), welche mit Hilfe eines Fadens als Boden des Lampenzylinders in ein Gefäß mit Wasser getaucht wird, fällt nicht herab, wenn man den Faden losläßt; das geschieht erst, wenn der Zylinder soweit mit Wasser gefüllt ist, daß es in beiden Gefäßen gleich hoch steht.

Taucht man einen prismatischen Kör-

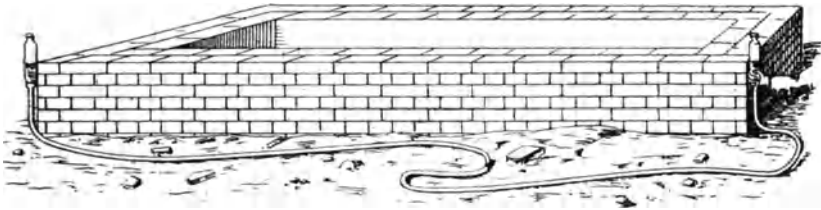


Fig. 20.

per $A B C D$ unter eine Flüssigkeit (Fig. 23), so heben sich die auf die Seiten wirkenden Kräfte gegenseitig auf, da sie gleich sind. Der Druck auf die Oberfläche $A D$ nach unten ist gleich dem Gewicht der

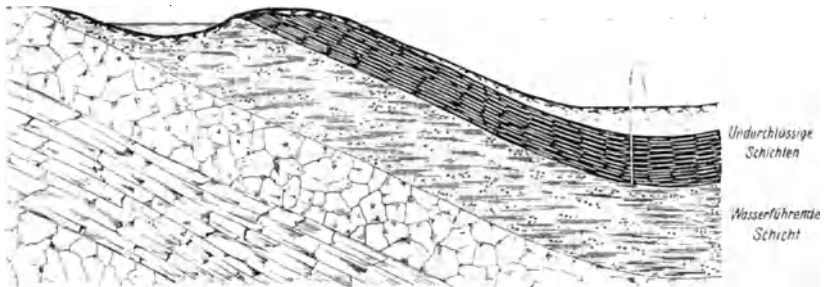


Fig. 21.

Wassersäule $F A D E$; der Druck auf die Unterfläche $B C$ nach oben (Auftrieb) ist gleich dem Gewicht der Wassersäule $F B C E$. Der Unterschied der beiden Kräfte $F B C E - F A D E = A B C D$ stellt genau das Gewicht einer dem Prisma an Volumen gleichen Flüssigkeitsmenge dar. Ein eingetauchter Körper verliert also scheinbar

soviel an Gewicht, wie dasjenige der von ihm verdrängten Flüssigkeit beträgt — Archimedes' Prinzip 250 v. Chr.

Auch durch den in Fig. 24 dargestellten Versuch wird dieses Gesetz klar bewiesen. Man hängt an den einen Arm einer Wage ein Eimerchen und an dieses einen Zylinder aus Metall, der genau hineinpaßt. Nach-

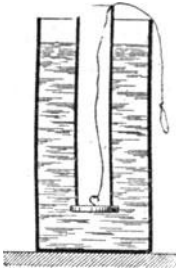


Fig. 22.

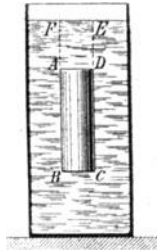


Fig. 23.

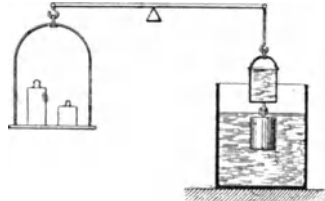


Fig. 24.

dem die Wage an der Luft in Gleichgewicht gebracht worden ist, taucht man den Zylinder in Wasser ein. Durch den Auftrieb, welchen seine untere Fläche erfährt, wird das Gleichgewicht gestört; es ist wieder hergestellt, wenn man das Eimerchen bis zum Rande mit Wasser gefüllt hat. Mit Hilfe dieses Verfahrens ist es möglich, das Volumen eines Körpers zu bestimmen.

Je nachdem das Gewicht eines Körpers größer oder gleich oder leichter ist als das eines gleichen Raumteils Wasser, sinkt, schwebt oder schwimmt er im Wasser. Ein auf Wasser schwimmender Körper taucht so tief ein, daß das Gewicht des von ihm verdrängten Wassers gleich seinem eigenen Gewicht ist (Fig. 25). Dabei ist das Gleichgewicht stabil, wenn der Schwerpunkt des schwimmenden Körpers tiefer liegt als der des verdrängten Wassers.

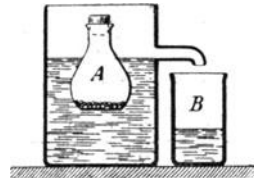


Fig. 25.

Spezifisches Gewicht, Dichte.

Das spezifische Gewicht oder die Dichte eines Körpers ist nichts anderes als das Gewicht der Volumeneinheit. Wiegt 1 ccm (cdm, cbm) Wasser bei 4° 1 Gramm (Kilo, Tonne), so wiegt 1 ccm (cdm, cbm) Kupfer 8,9 Gramm (Kilo, Tonnen).

Das spezifische Gewicht eines Körpers wird gefunden, indem man das absolute Gewicht (p) durch das Volumen (v) dividiert.

$$\text{Spezifisches Gewicht} = \frac{p}{v}.$$

Das Gewicht des Körpers wird stets durch Auswägen ermittelt. Das Volumen der festen Körper kann bestimmt werden durch 1. Ausmessen bei regelmäßigen Körpern.

2. Ermittlung seines Gewichtsverlustes unter Wasser oder anderen Flüssigkeiten.

Ein Stück Schwefelkies wog an der Luft 48 g, im Wasser 38 g. 10 Gramm ist also der Gewichtsverlust, 10ccm das Volumen des Schwefelkieses.

$$\text{Spez. Gew.} = \frac{p}{v} = \frac{48}{10} = 4,8.$$

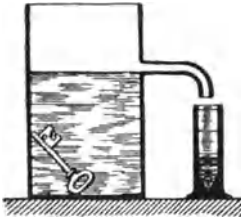


Fig. 26.

3. Ausmessen der von dem Körper verdrängten Flüssigkeit (Fig. 26).

Ein Schlüssel wurde gewogen ($p = 12,5$ g), alsdann in ein sorgfältig eingestelltes Überlaufgefäß mit Wasser getaucht. Die überlaufende Wassermenge wurde in einem Meßzylinder aufgefangen ($v = 4,5$ ccm).

$$\text{Spez. Gew.} = \frac{12,5}{4,5} = 2,8.$$

Ist ein Körper leichter als Wasser, so verbindet man ihn mit einem schwereren,

z. B. Blei, dessen Gewicht man kennt.

Aufgabe: Ein Stück Torf wiegt in der Luft 10 g, ein Stück Messing im Wasser 88,8 g. Beide Körper miteinander verbunden, wiegen im Wasser 78,2 g. Wie groß ist das spez. Gewicht des Torfs?

$$\text{Spez. Gewicht} = \frac{10}{10 + 88,8 - 78,2} = 0,48.$$

Ist der Körper in Wasser löslich, so bestimmt man sein Volumen mit Hilfe einer anderen Flüssigkeit (z. B. Öl), in der er sich nicht löst und deren spezifisches Gewicht bekannt ist.

Aufgabe: Ein Stück Zucker wog 35 g; es verdrängte aus einem Überlaufgefäß 27,4 ccm Alkohol vom spezifischen Gewicht 0,80. Wie groß ist das spezifische Gewicht des Zuckers?

$$= \frac{35}{27,4} : 0,8 = 1,6.$$

Das spezifische Gewicht von Flüssigkeiten wird mittels des 100 g-Fläschchens, ferner der Spindel oder des Aräometers ermittelt.

Das 100-g-Fläschchen wird zunächst auf der Wage mit Schrot ausgeglichen, dann mit der zu prüfenden Flüssigkeit, z. B. Quecksilber gefüllt und gewogen. Das Quecksilber wog 1360 g.

$$\text{Spez. Gew.} = \frac{1360}{100} = 13,6.$$

Die Spindel oder das Aräometer (Fig. 27) ist eine geschlossene Röhre, deren Schaft die Skala aufnimmt; sie ist unten erweitert und durch Blei beschwert. Die Spindel sinkt um so tiefer in eine Flüssigkeit ein, je leichter diese ist. An der Skala wird das spezifische Gewicht der Flüssigkeit abgelesen, z. B. 1,5.

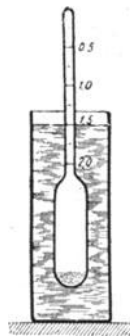


Fig. 27.

Diese Vorrichtungen sind oft so eingerichtet, daß man den Prozentgehalt der den Kaufwert einer Flüssigkeit bedingenden Bestandteile auf der Skala unmittelbar ablesen kann — Alkoholometer, Milchwagen usw.

Spezifische Gewichte.

Feste Körper.		Flüssige Körper.	
Platin	21,5	Quecksilber	13,6
Gold	19,3	Schwefelsäure	1,8
Blei	11,3	Salpetersäure	1,5
Silber	10,5	Salzsäure	1,2
Kupfer	8,9	Wasser	1,0
Zink	7,1	Öl	0,9
Diamant	3,5	Benzol	0,9
Aluminium	2,7	Alkohol	0,8
Kreide	1,8	Äther	0,7
Magnesium	1,7	Benzin	0,7
Steinkohle	1,3		
Braunkohle	1,2		
Eis	0,9		
Kork	0,3		

Haarröhrchenerscheinungen — Kapillarität.

Daß flüssige Körper auch Zusammenhangskraft (Kohäsion) besitzen, erkennt man daran, daß kleine Mengen davon Kugelgestalt annehmen und Tropfen bilden. Eine benetzende Flüssigkeit, z. B. Wasser, steht in einem Glase am Rande höher als in der Mitte, indem es sich unter dem Einfluß der Adhäsion, der Zusammenhangskraft, welche zwischen zwei verschiedenen Körpern besteht, an der Gefäßwand aufwärts krümmt.

Der Rand des Quecksilbers, welches das Glas nicht benetzt, wird dagegen durch die überwiegende Kohäsion abwärts gekrümmt.

Damit steht im Einklang, daß Wasser in Haarröhrchen um so höher steigt, je enger sie sind, und daß das Quecksilber in Haarröhrchen tiefer als im Gefäß steht.

Auf der Haarröhrchenanziehung beruht das Eindringen und Aufsteigen der Flüssigkeiten in porösen Körpern wie Löschpapier, Sand, Mauern, Öl im Docht und im beschränkten Maße des Safts im Pflanzenkörper.

Gleichgewicht und Bewegung der gasförmigen Körper.

Die Gase besitzen keine Zusammenhangskraft, ihre Teilchen verschieben sich sehr leicht gegeneinander, so daß sich die luftförmigen Körper stark zusammendrücken und ausdehnen lassen. Daher füllen die Gase jeden Raum vollständig aus, ihr Volumen kann beliebig geändert werden.

Der auf ein Gas ausgeübte Druck pflanzt sich nach allen Richtungen mit gleicher Stärke fort. Daher übt die Luft auf alle in ihr befindlichen Körper Drucke aus, die denselben Gesetzen wie die Flüssigkeiten unterworfen sind.

Luftdruck.

Wie alle Körper besitzen auch die Gase Schwere. Ein Liter Luft wiegt 1,293 g (0°, 760 mm). Deshalb übt die unsere Erde umgebende Lufthülle, die Atmosphäre, auf die Oberfläche der Erde einen Druck aus. Der Italiener Torricelli wies zuerst das Vorhandensein und die Größe des Luftdrucks nach (1643), indem er diesen mit dem Druck einer Quecksilbersäule ins Gleichgewicht brachte.

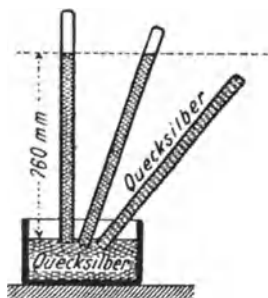


Fig. 28.



Fig. 29.

Zu diesem Zweck füllt man eine ungefähr 1 m lange, an dem einen Ende verschlossene Glasröhre mit Quecksilber, verschließt sie mit dem Finger und entfernt diesen nach Umdrehen und Eintauchen der Röhre in Quecksilber. Das Quecksilber fließt nicht aus, sondern stellt sich 76 cm höher ein als das Niveau des Quecksilbers im äußeren Gefäß (Fig. 28). Der Raum über dem

Quecksilber im Rohre ist luftleer und heißt Vakuum.

Der Luftdruck hält demnach einer Quecksilbersäule von 76 cm = 760 mm das Gleichgewicht. Der Druck auf je 1 qcm Fläche ist gleich dem Gewicht von 76 ccm Quecksilber, beträgt also $76 \times 13,6 = 1,033$ kg. Man nennt diesen Luftdruck von rund 1 kg eine Atmosphäre. Da Quecksilber 13,6 mal schwerer als Wasser ist, so ist der Luftdruck gleich dem Druck einer Wassersäule von $76 \times 13,6$ cm = 10,33 m Höhe; bis zu dieser kann man also das Papier, welches in dem durch Fig. 29 dargestellten Versuch den Boden bildet, mit Wasser belasten, bevor es abfällt.

Der Luftdruck lastet natürlich auch auf dem menschlichen Körper, dessen Oberfläche mehr als 1,5 qm beträgt. Der gewaltige Druck von 15000—20000 kg wird aber dadurch ausgehalten, daß er von allen Seiten, also auch von innen nach außen in gleicher Stärke wirkt. Die dauernde Angabe des Luftdrucks ist nicht nur für die Wetterlehre, sondern auch für viele physikalische Untersuchungen von großer Wichtigkeit; die dazu dienenden Apparate nennt man Barometer. Es gibt Quecksilber- und Dosenbarometer.

In dem Gefäßbarometer (Fig. 30) wird der Luftdruck durch die Höhe der Quecksilbersäule in dem geschlossenen Schenkel der Röhre gemessen, wobei der Nullpunkt der Quecksilberspiegel im angeschmolzenen Gefäß ist. Da sein Durchmesser im Vergleich zum Durchmesser der geschlossenen Röhre groß ist, so kann man von den Schwankungen des Quecksilberstandes im Gefäß absehen und eine feste Skala anbringen.

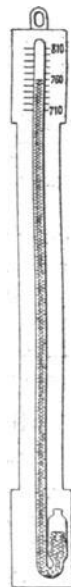


Fig. 30.

Das **Heberbarometer** gestattet genaue Messungen. Eine heberförmig gebogene, überall gleich weite Röhre hat einen etwa 80 cm langen, zugeschmolzenen Schenkel, während der kürzere oben offen ist. Die ganze Röhre wird mit Quecksilber gefüllt und umgekehrt. Der Druck der Luft ist gleich dem Druck der Quecksilbersäule im geschlossenen Schenkel; die Kuppe des Quecksilbers im kurzen Schenkel gibt den Nullpunkt an, auf welchen die verschiebbare Skala eingestellt wird.

Das **Dosen- oder Aneroidbarometer** (Fig. 31) ist besonders für Reisen (Grubenfahrt) bequem. Es besteht aus einer biegsamen, luftleeren Metalldose, welche bei Änderungen des Luftdrucks ihre Gestalt verändert. Bei steigendem Luftdruck wird die Dose mehr oder weniger stark eingedrückt. Diese Bewegung wird durch Hebelübertragung vergrößert und durch einen Zeiger auf eine Skala übertragen, welche durch Vergleich mit einem Quecksilberbarometer geeicht ist.

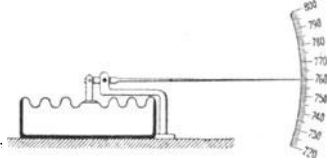


Fig. 31.

Veränderungen des Luftdrucks.

Die Angabe, der Luftdruck ist gleich 760 mm, bezieht sich auf den Meeresspiegel und auf die Temperatur 0°. Bei der Grubenfahrt gelangen wir in Teufen, die weit unter dem Meeresspiegel liegen. Die Luftsäule wird dabei um so größer, je tiefer wir uns befinden. Da die Luft elastisch ist, wird sie dort unten auch viel mehr zusammengepreßt als über Tage, und deshalb steigt auch das Barometer, je tiefer wir kommen.

Auf hohen Bergen dagegen ist die Luftsäule kürzer als auf dem Meeresspiegel. Je höher wir steigen, desto geringer wird der Luftdruck, und desto mehr fällt das Barometer und zwar um 1 mm bei je 10,5 m Erhebung. Denn zeigt die Quecksilbersäule bei einem Querschnitt von 1 qcm einen um 1 mm niedrigeren Stand, so heißt das, der Luftdruck hat um $\frac{13,6}{10} = 1,36$ g abgenommen. Die Luftsäule über 1 qcm ist also um $\frac{1,36}{1,293} = 1,05$ l leichter geworden; 1,05 l Luft entsprechen aber bei einem Querschnitt von 1 qcm 10,5 m.

Bochum liegt etwa 90 m über dem Meeresspiegel, deshalb beträgt sein mittlerer Barometerstand $760 - \frac{90}{10,5} = 751,5$ mm. Der Montblanc

ist 4800 m hoch, sein mittlerer Barometerstand würde $760 - \frac{4800}{10,5} = 303$ mm

sein. In Wirklichkeit ist die mittlere Barometerhöhe auf diesem Berge 420 mm. Das hängt damit zusammen, daß die Luft, je höher wir kommen, um so leichter wird, da sie immer weniger zusammengedrückt und damit dünner wird.

Bestimmt man den Barometerstand zunächst in der Ebene und dann auf dem Gipfel des Berges, bzw. über Tage und in der Grube, so kann man mit Hilfe von Umrechnungstabellen die Höhe eines Berges bzw. die Teufe einer Grube messen. Aus regelmäßigen Beobachtungen des Barometers ergibt sich, daß der Barometerstand an demselben Ort bald fällt, bald steigt. Nachts ändert sich der Luftdruck am wenigsten, tagsüber am meisten. Unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen wird die Luft von der Erde erwärmt und dadurch leichter. Die wärmer gewordene Luft ist befähigt, größere Wasserdampfmenge aufzunehmen als kalte Luft. Da Wasserdampf spezifisch viel leichter als Luft ist, muß der Luftdruck auch um so geringer werden, je feuchter die Luft ist. Die Süd- und Westwinde sind warm und feucht, da sie vom Meere kommen (Golfstrom) und bewirken ein Fallen des Barometers um so mehr, in je kältere Gegenden sie gelangen. Aus dem Fallen des Barometers kann man unter diesen Umständen nasse Witterung voraussagen, da die warme, feuchte Luft sich beim Vermischen mit der kalten Luft und in Berührung mit der Erde abkühlt und den überschüssigen Wasserdampf als Niederschlag abscheidet.



Fig. 32.

Anwendungen des Luftdrucks.

Der Stechheber (Fig. 32) dient dazu, aus größeren Behältern, z. B. Fässern, Proben zu nehmen. Man taucht den Stechheber offen in die Flüssigkeit, so daß er sich bis zu ihrer Oberfläche, durch Aufsaugen aber beliebig hoch füllt. Dann verschließt man die obere Öffnung und zieht den Stechheber aus der Flüssigkeit heraus; sie bleibt infolge des Luftdrucks in ihm.

Pipetten sind Stechheber, welche zur Entnahme einer bestimmten Menge, z. B. 100 ccm, aus einer größeren Menge Flüssigkeit, die chemisch untersucht werden soll, benutzt werden.

Der Saugheber (Fig. 33) fließt, weil im längeren Schenkel *AC* eine höhere Flüssigkeitssäule als im kürzeren Schenkel *AB* ist und infolgedessen einen stärkeren Zug ausübt. Die Flüssigkeit fließt auch von *B* nach *C*, wenn die Mündung in die Flüssigkeit bei *C* eintaucht, so lange, bis die Oberfläche in beiden Gefäßen gleich hoch steht.

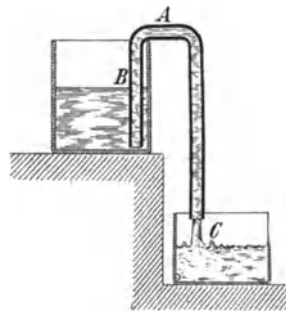


Fig. 33.

Die Luftpumpe ist von dem Magdeburger Bürgermeister Otto von Guericke erfunden und auf dem Reichstag zu Regensburg im Jahre 1654 vorgeführt worden. Eine verbesserte Form gibt Fig. 34a wieder. Beim Lüften des Kolbens schließt sich das Kolbenventil, während sich

das Bodenventil öffnet. Die Luft unter der Glasglocke (Rezipient) dehnt sich in Röhre, Pumpenzylinder und Kolben aus und entweicht beim Drücken des Kolbens in die Atmosphäre, da sich das Bodenventil schließt und das Kolbenventil öffnet. Die Luftverdünnung wird durch

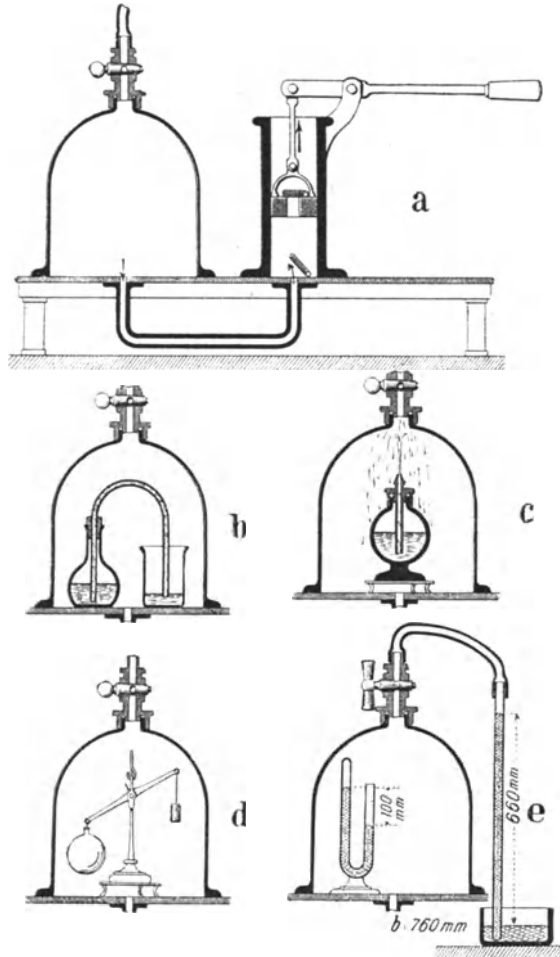


Fig. 34.

Pumpen immer größer, bis sie schließlich eine bestimmte Grenze erreicht, da sich die Durchbohrung des Kolbens vor seinem Herausziehen jedesmal mit Luft füllt.

Versuche mit der Luftpumpe.

1. Über einen hohlen Zylinder gespanntes Pergamentpapier platzt beim Auspumpen der Luft.
2. Der Heber, welcher luftdicht durch den Hals eines mit Wasser gefüllten Fläschchens geht, fängt an zu fließen (Fig. 34b).

3. Aus dem Heronsball spritzt Wasser beim ersten Kolbenhub (Fig. 34c).
4. An dem Wagebalken (Fig. 34d) ist eine größere Glaskugel mit einem kleineren Metallzylinder an der Luft im Gleichgewicht. Beim Auspumpen der Luft sinkt die Glaskugel; da sie mehr Luft als der Metallzylinder verdrängt, muß sie im luftleeren Raum schwerer als dieser werden.
5. Verbindet man mit Hilfe eines Druckschlauches eine etwa 1 m lange, in Quecksilber stehende Glasröhre mit dem Rezipienten (Fig. 34e), so steigt das Quecksilber in ihr beim Auspumpen der Luft. Die Höhe der Quecksilbersäule vom herrschenden Luftdruck abgezogen, gibt den Druck unter der Glocke an.
6. Ein 10–15 cm langes, abgekürztes Barometer (Fig. 34e), dessen geschlossener Schenkel ganz mit Quecksilber gefüllt ist, fällt erst, wenn der Druck unter der Glocke durch Pumpen entsprechend erniedrigt ist. Der Unterschied des Quecksilbers in beiden Schenkeln gibt den Druck unter der Glocke unmittelbar an. Solche Vorrichtungen, welche zum Messen des Drucks eingeschlossener Gase, Dämpfe oder Flüssigkeiten dienen, nennt man Manometer.
7. Zwei „Magdeburger Halbkugeln“ (Fig. 35) be-
dürfen, nachdem sie luftleer gepumpt sind, einer großen Kraft zu ihrer Trennung. So waren 16 Pferde kaum imstande, die

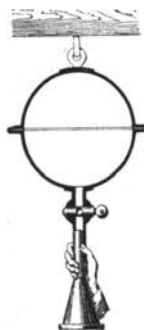


Fig. 35.

von Otto von Guericke vorgeführten Halbkugeln von ungefähr $\frac{1}{2}$ m Durchmesser auseinander zu reißen.

8. Im luftleeren Raume fallen alle Körper, z. B. Blei und Feder, gleich schnell.
9. Unter der Glocke der Luftpumpe siedet Wasser bei Temperaturen weit unter 100° .
10. Die Luft leitet den Schall; daher ist das Klingeln des Weckers unter der Glocke nicht zu hören.

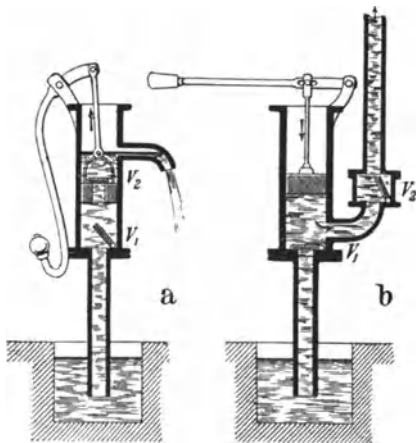


Fig. 36.

Die Pumpen beruhen auf der Wirkung des Luftdrucks; man unterscheidet Hub- (Fig. 36a) und Druckpumpe (Fig. 36b).

Auftrieb in Gasen.

Alle in der Luft befindlichen Körper erleiden einen Gewichtsverlust, welcher dem Gewicht der verdrängten Luftmenge (Fig. 34d) gleich ist.

Je nachdem das Gewicht eines Körpers größer, gleich oder kleiner als das eines gleichen Raumteils Luft ist, sinkt, schwebt oder steigt er in der Luft.

Luftballone: Montgolfier 1783, Zeppelin 1909.

Aufgabe: Wie groß ist die Tragfähigkeit eines mit reinem Wasserstoff bei 0° und 760 mm gefüllten Luftballons von 900 cbm Inhalt, wenn dessen Gewicht = 650 kg und das spez. Gew. des Wasserstoffs = 0,07 ist ?
 $= 900 (1,29 - 0,09) - 650 = 430$ kg.

Verdichtung (Kompression) der Gase.

Alle Gase lassen sich durch Druck zusammenpressen, verdichten. Um die in Fig. 34a dargestellte Luftpumpe als Kompressionspumpe benutzen zu können, bedarf es nur einer anderen Anordnung der Ventile.

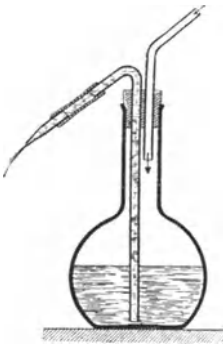


Fig. 37.

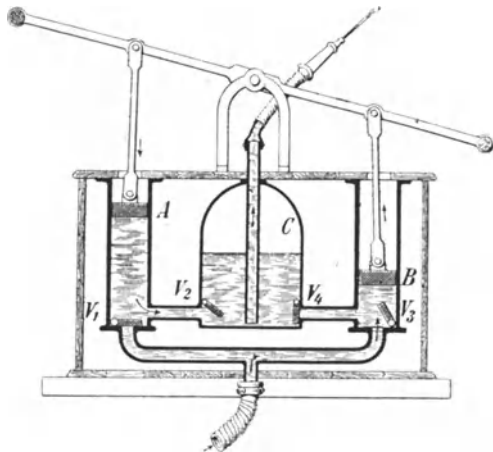


Fig. 38.

Windbüchse, Blasebalg, Fahrradpumpe, Rohrpost, Taucherglocke, Heronsball, Kartesianischer Taucher sind Anwendungen der verdichteten Luft.

Die **Spritzflasche** (Fig. 37) ist in ihrer Wirkungsweise dem Heronsball gleich; sie dient dazu, Niederschläge vollständig aus einem Gefäß auf ein Filter zu bringen und hier auszuwaschen.

Die **Feuerspritze** (Fig. 38) besteht aus einem Windkessel (Heronsball), dem abwechselnd durch zwei Druckpumpen Wasser zugeführt wird.

Durch Zusammendrücken der Gase wird Wärme erzeugt, die bis zur Entzündung mancher Stoffe gesteigert werden kann (Pneumatisches Feuerzeug).

Gesetz von Boyle-Mariotte (1662 und 1679).

Ein mit Hahn versehenes Meßrohr ist durch einen starkwandigen Gummischlauch mit einem zweiten Rohr (Druckrohr) verbunden. In das Druckrohr wird bei geöffnetem Hahn des Meßrohrs soviel Quecksilber gegossen, daß es in beiden Schenkeln gleich hoch steht. Der Hahn wird geschlossen, und die im Meßrohr befindliche Luft (20 ccm) steht unter dem Druck von einer Atmosphäre (Fig. 39a).

Hebt man das Druckrohr so hoch, daß das Quecksilber 76 cm höher als im Meßrohr steht, so nimmt die Luft in ihm nur noch halb soviel Raum (10 ccm) ein wie vorher. Die eingeschlossene Luft aber befindet sich unter dem Druck von zwei Atmosphären (Fig. 39b).

Wird das Druckrohr so tief gesenkt, daß das Quecksilber in ihm 38 cm tiefer als im Meßrohr steht, so nimmt die eingeschlossene Luft einen doppelt so großen Raum (40 ccm) als ursprünglich ein (Fig. 39c), übt aber nur den Druck von $\frac{1}{2}$ Atm. aus.

Bezeichnet man die Drucke bei diesen drei Versuchen mit p , p_1 und p_2 , die dazu gehörigen Volumen v , v_1 und v_2 , so ergibt sich, daß

$$p \times v = p_1 \times v_1 = p_2 \times v_2 \text{ ist,}$$

$$1 \times 20 = 2 \times 10 = \frac{1}{2} \times 40.$$

Das Gesetz besagt also: Steht ein Gas unter verschiedenen Drucken, so bleibt

bei gleicher Temperatur das Produkt aus Druck und Volumen stets gleich.

Aufgabe: Eine Gasmenge nimmt bei einem Barometerstand von $p = 74$ cm ein Volumen von $v = 5$ l; wie groß ist sein Volumen v_1 bei einem Barometerstand von 76 cm?

$$= \frac{74}{76} \cdot 5 = 4,87 \text{ l.}$$

Diffusion der Gase.

Gießt man in einem Probierröhrchen auf eine wässrige Lösung von Kupfersulfat vorsichtig Wasser, so ist zunächst die blaue Kupferlösung von dem farblosen Wasser durch eine scharfe Grenzlinie geschie-

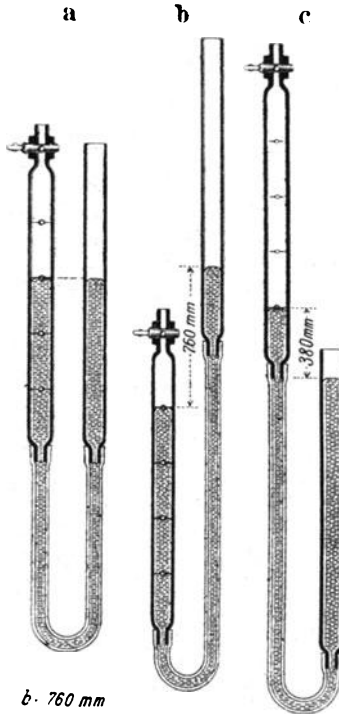


Fig. 39.

den. Nach einiger Zeit kann man aber beobachten, daß die blaue Lösung sich nach oben verbreitert, während nach unten die Stärke der Farbe abnimmt. Diesen Vorgang der freiwilligen Durchmischung nennt man Diffusion; auch die Gase besitzen Diffusion. Beim Austritt aus der Kohle strömt das leichte Grubengas zunächst unter die Firste, um sich allmählich mit den sonstigen Grubenwettern zu vermischen.

Mischen sich zwei Gase von verschiedenen spezifischen Gewichten miteinander, so dringt stets das spez. leichtere Gas mit größerer Geschwindigkeit in das schwerere als umgekehrt, so daß in dem dargebotenen Raum überall das gleiche Mischungsverhältnis besteht.

Die ungleiche Diffusion der Gase läßt sich durch folgende Versuche leicht nachweisen. Eine mit Luft gefüllte poröse Tonzelle *A* (Fig. 40) ist durch einen Gummistopfen mit einer Spritzflasche verbunden. Läßt man Wasserstoff in das über *A* befindliche Becherglas *B* strömen, so dringt dieser schneller in den Tonzylinder, als die Luft aus ihm entweichen kann. Infolgedessen entsteht in der Tonzelle ein Überdruck, so daß das Wasser aus der Flasche spritzt. Sobald die Tonzelle nach einiger Zeit ganz mit Wasserstoff gefüllt ist, hört das Spritzen auf.

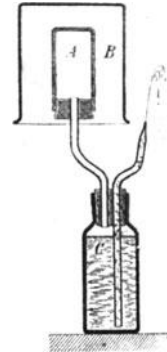


Fig. 40.

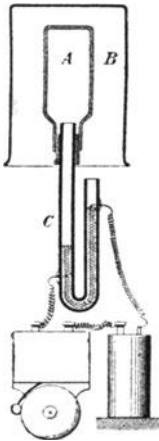


Fig. 41.

Da Grubengas viel leichter als Luft ist, hat man versucht, seine größere Diffusionsgeschwindigkeit als Schlagwetteranzeiger zu verwerten. Die Einrichtung eines solchen Apparates gibt Fig. 41 annähernd wieder. Statt der Spritzflasche ist an die Tonzelle wieder ein elektrisches Klingel mit Hilfe eines U-förmig gebogenen Glasrohrs *C* angeschlossen. Das Glasrohr ist zum Teil mit Quecksilber gefüllt, welches in beiden Schenkeln gleich hoch steht. In dem direkt mit der Tonzelle verbundenen Schenkel ist ein Platindraht tief unten eingeschmolzen, so daß er in das Quecksilber ragt. In dem anderen Schenkel ist ebenfalls ein Platindraht eingeschmolzen, aber so hoch, daß ihn das Quecksilber nicht berührt. Elektrische Klingel und galvanisches Element sind mit den beiden Platindrähten durch Leitungen verbunden. Lassen wir Leuchtgas oder Grubengas in das Becherglas strömen, so entsteht in dem Tonzylinder ein Überdruck, welcher ein Steigen des Quecksilbers im offenen Schenkel des Glasrohrs und somit ein Schließen des Stromkreises bewirkt, so daß die Klingel ertönt.

Für die Grube haben diese Schlagwetteranzeiger keine praktische Bedeutung, da die Klingel nur ertönt, solange die Tonzelle noch Luft enthält.

Vermöge der Diffusionsvorgänge gelangen die ausgesuchten Speisesäfte durch die Darmwandungen in die Blutbahn, findet eine Ent-

mischung von Gasen, die sich vermischt haben, nicht wieder statt (Atmosphäre).

Spezifisches Gewicht, Dichte der Gase.

Die auf Wasser = 1 bezogenen Dichten der gasförmigen Körper sind so klein und unübersichtlich, daß sie einen ungezwungenen Vergleich untereinander nicht erlauben. Luft ist 773 mal leichter als Wasser, somit wäre ihre Dichte = $\frac{1}{773} = 0,001293$.

Man bezieht deshalb das spezifische Gewicht der Gase auf Luft = 1. Die Dichte der Gase wird dadurch bestimmt, daß man Gefäße mit dem betreffenden Gase füllt und wägt. Durch Division des Gewichtes, z. B. eines Liters Kohlensäure durch das eines Liters Luft, erhält man das spezifische Gewicht der Kohlensäure. $\frac{1,965}{1,293} = 1,52$.

Dichte gasförmiger Körper.

Schweflige Säure	2,26	Stickstoff	0,97
Kohlensäure	1,52	Kohlenoxyd	0,97
Schwefelwasserstoff	1,18	Acetylen	0,92
Sauerstoff	1,106	Wasserdampf	0,62
Luft	1,00	Grubengas	0,55
		Wasserstoff	0,07

II. Wärmelehre.

Je nach den Empfindungen, die wir bei Berührung oder schon in der Nähe eines Körpers spüren, nennen wir ihn kalt — lau — warm. Unser Gefühl wird dabei durch vorhergehende Eindrücke beeinflusst, so daß wir denselben Keller im Sommer für kalt, im Winter für warm halten. Lauwarmes Wasser kommt uns kalt vor, wenn wir die Hand vorher in heißes Wasser halten, es erscheint uns warm, wenn unsere Hand zuvor kaltes Wasser berührt hat. Auf unser Gefühl können wir uns hinsichtlich der Wärme nicht sehr verlassen, wir müssen uns frei davon machen. Man benutzt die Ausdehnung der Körper durch die Wärme, wenn es sich um die Feststellung geringer Temperaturunterschiede und um Messung des Wärmegrades handelt.

Die Wärme bewirkt, daß sich alle festen, flüssigen und gasförmigen Körper ausdehnen. Dabei findet eine Schwächung der Kohäsion derart statt, daß der feste Körper bei weiterer Wärmezufuhr nicht mehr im festen Zustande beharren kann; er schmilzt. Schließlich geht bei weiterer Erwärmung die Zusammenhangskraft ganz verloren, der Körper geht in den gasförmigen Zustand über.

Wärmemessung. Thermometer.

Zur Wärmemessung dienen hauptsächlich Flüssigkeitsthermometer; sie bestehen aus engen, überall gleich weiten Glasröhren mit einem angeschmolzenen, kugelförmigen oder zylindrischen Behälter. Dieser und ein

Teil der Röhre sind mit einer Flüssigkeit gefüllt und darauf die Röhre zugeschmolzen. Durch längeres Eintauchen der Thermometeröhre in schmelzendes Eis und in die Dämpfe siedenden Wassers erhält man die beiden Eichpunkte.

Der Abstand zwischen den beiden Eichpunkten wird nach Celsius (1742) in 100 Grade,
Réaumur (1730) in 80 Grade,
Fahrenheit (1724) in 180 Grade geteilt.

Der Deutsche Fahrenheit bezeichnete den Gefrierpunkt des Eises mit 32° , da er in 32° F unter dem Eispunkt den absoluten Nullpunkt der Temperatur sah. Die Körperwärme des Menschen entspricht 100° , der Siedepunkt des Wassers 212° Fahrenheit. Die Einteilung des Thermometers nach Celsius wird bei wissenschaftlichen Untersuchungen und Abhandlungen bevorzugt.

Die Gradeinteilung wird über die Eichpunkte hinaus fortgesetzt (Fig. 42), indem man die Grade unter Null mit dem Vorzeichen — versieht.

Bei den meisten Thermometern ist der freie Raum über der Flüssigkeit luftleer, damit sie sich ungestört ausdehnen kann und nicht etwa durch den Sauerstoff der Luft angegriffen wird.

Da Quecksilber durch die Wärme sehr gleichmäßig ausgedehnt wird, ist es zur Herstellung von Thermometern besonders geeignet; mit Quecksilberthermometern kann man Temperaturen zwischen -35° bis 350° messen. Wird der Raum über dem Quecksilber mit Stickstoff oder Kohlensäure gefüllt, so wird das Sieden desselben verhindert, so daß das Meßgebiet bis etwa 575° reicht.

Quarzglas thermometer können bis 750° benutzt werden; bei noch höheren Temperaturen dienen Pyrometer zur Wärmemessung, die auf thermoelektrischen Strömen beruhen. Alkohol (Weingeist, Spiritus) gefriert bei Abkühlung nicht, sondern wird nur dickflüssig. Alkoholthermometer sind daher für niedrige Temperaturen, -110° bis 75° , gut verwendbar. Da Alkohol bei steigender Temperatur eine größer werdende Ausdehnung zeigt, rücken die Teilstriche nach oben immer mehr auseinander.

Maximum- und Minimumthermometer geben die höchste und niedrigste Temperatur eines Tages, einer Woche usw. an. Das Gefäß *A* (Fig. 43) und ein Teil der Röhre ist mit Alkohol, der gebogene Teil *B* mit Quecksilber gefüllt, über welchem sich noch ein Faden Alkohol befindet. In beiden Schenkeln ist über dem Quecksilber ein leichtfedernder Stahlstift angebracht, der mit dem Quecksilberfaden gehoben wird und bei seinem Zurückgehen hängenbleibt. Der rechte Stift zeigt so das Maximum, der linke das Minimum der Temperatur an. Nach



Fig. 42.

Ablesen der Wärmegrade werden die Stifte durch einen Magneten wieder mit dem Quecksilber in Berührung gebracht.

Bei dem Fieberthermometer bewirkt man durch eine Einschnürung in der Röhre, daß der Quecksilberfaden in seinem unteren Teile abreißt, so daß das obere Ende des Fadens der Körpertemperatur entsprechend stehenbleibt.

Beim Messen von Wärmegraden wird das Thermometer grundsätzlich nur an der Öse angefaßt; es muß trocken sein. Auch hat man darauf zu achten, daß der Quecksilberfaden in der Kapillare nicht gerissen ist. Sollte das doch der Fall sein, so faßt man das Thermometer an seiner Öse, die Kugel nach oben gerichtet, und schwenkt es mit kurzem, kräftigen Ruck nach unten. Dadurch vereinigt sich der gerissene Faden wieder. Das Thermometer nimmt die Temperatur der zu messenden Flüssigkeit bald an; bei den Gasen, z. B. beim Messen der Grubentemperatur, läßt man zweckmäßig das Thermometer 10 Minuten in der Mitte der Firste hängen. Das Ablesen muß schnell erfolgen, wobei das Thermometer möglichst weit vom Gesicht und von der Lampe entfernt gehalten wird

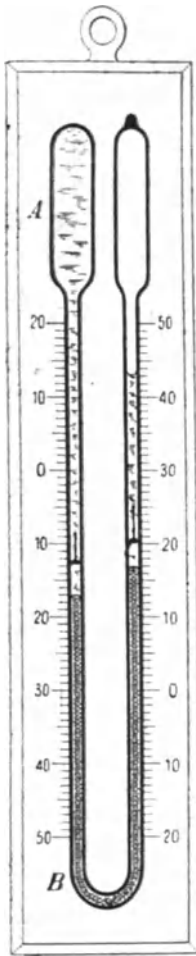


Fig. 43.

Erwärmen von 0° auf 1° ausdehnt, heißt Längenausdehnungskoeffizient und wird mit α bezeichnet. Er beträgt beim

Zink $\alpha = 0,000\ 029$,

Eisen $\alpha = 0,000\ 012$,

Glas $\alpha = 0,000\ 008$.

Der Längenausdehnungskoeffizient von Metallen kann mit Hilfe des durch Fig. 45 dargestellten Apparates bestimmt werden. Metallstangen werden in dem Ölbad so gelagert, daß sie den kurzen Arm

Ausdehnung der festen Körper.

Die Ausdehnung fester Körper durch die Wärme ist gering, am stärksten dehnen sich die Metalle aus. Die Metallkugel (Fig. 44) paßt genau in den Ring, wenn beide gleiche Temperatur haben. Wird die Kugel erhitzt, so bleibt sie auf dem Ringe liegen und fällt erst nach Ausgleichung der Temperatur hindurch.

Ein und derselbe Körper dehnt sich beim Erwärmen von Grad zu Grad sehr regelmäßig aus; verschiedene Körper zeigen dagegen verschiedene Ausdehnung. Die Zahl, welche angibt, um wieviel seiner Länge ein 1 m langer Körper sich beim

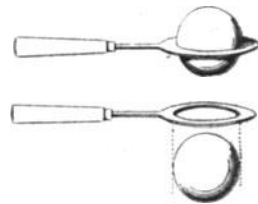


Fig. 44.

des Hebels gerade berühren; dazu dient die Schraube links. Der mit dem langen Hebelarm verbundene Zeiger steht jetzt auf dem Nullpunkt der Skala. Beim Erwärmen des Ölbades dehnen sich die Stangen aus, stoßen gegen den kurzen Hebelarm, so daß der Zeiger sich aufwärts bewegt und die Ausdehnung in vergrößertem Maße anzeigt.

Ist L_0 , die Länge eines Stabes bei 0° , bekannt, so kann seine Länge bei den höheren Temperaturen L_t berechnet werden:

$$L_t = L_0 + L_0 \cdot \alpha \cdot t = L_0 (1 + \alpha t).$$

Aufgabe: Um wieviel verlängert sich eine Zinkstange von 5 m Länge (0°) bei der Erwärmung um 60° , und welche Länge besitzt sie dann?

a) $5 \times 0,000\ 029 \times 60 = 0,0\ 087\ \text{m}$

b) $5 + 0,0\ 087 = 5,0\ 087\ \text{m}$

Soll die Flächenausdehnung einer Platte berechnet werden, so muß der Ausdehnungskoeffizient zweimal angewandt werden. Es ist dann

$$F_t = F_0 + F_0 \cdot 2 \cdot \alpha \cdot t = F_0 (1 + 2 \alpha t).$$

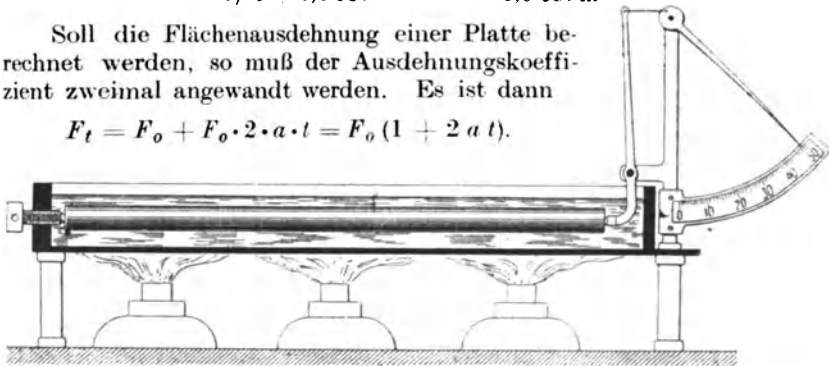


Fig. 45.

Aufgabe: Eine rechtwinklige Platte von Eisen hat bei 0° eine Fläche von 30 qdm. Wie groß ist sie bei einer Erwärmung auf 80° ?

$$30 (1 + 2 \cdot 0,000\ 012 \cdot 80) = 30,0\ 576\ \text{qdm.}$$

Handelt es sich um die Ausdehnung nach allen Richtungen (kubische Ausdehnung), so muß der Koeffizient dreimal angewandt werden.

$$V_t = V_0 + V_0 \cdot 3 \cdot \alpha \cdot t = V_0 (1 + 3 \alpha t).$$

Aufgabe: Ein gläserner Ballon hat bei 0° das Volumen 0,998 Liter: wie groß ist sein Volumen bei 80° .

$$0,998 (1 + 3 \cdot 0,000\ 008 \cdot 80) = 0,99\ 992\ \text{l.}$$

Anwendungen. Beim Verlegen von Eisenbahnschienen, Trägern und Dampfkesseln läßt man hinreichenden Spielraum; derselbe muß auch bei Rost, Ringen und Platte des Herdes, Bügeleisen usw. berücksichtigt werden. Die eisernen Träger der Brücke werden auf Rollen gelagert, die einzelnen Platten eines Metaldaches falzartig befestigt. Der Schmied legt den eisernen Reifen glühend um das Rad.

Lötet man zwei Metalle mit verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten, z. B. Zink und Eisen, zusammen, so entsteht ein Ausgleichungs-

streifen. In Fig. 46 stellt der schwarze Streifen das Zink, der weiße das Eisen dar. Beim Erwärmen bildet Zink den äußeren, größeren. beim Abkühlen den kleineren, inneren Bogen. da sein Ausdehnungskoeffizient viel größer als der des Eisens ist.

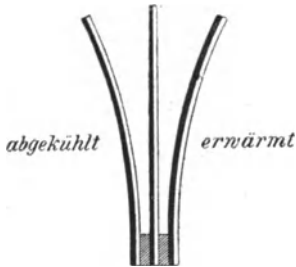


Fig. 46.



Fig. 47.

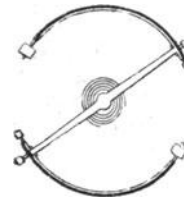


Fig. 48.

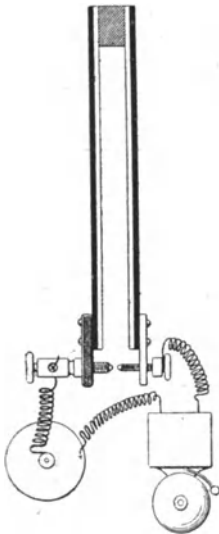


Fig. 49.

Die durch die Wärme erfolgende Ausdehnung der Pendelstange einer Uhr stört ihren gleichmäßigen Gang — im Sommer zu langsam, im Winter zu schnell. Um den Gang regelmäßig zu gestalten, setzt man ein Rostpendel aus zwei sich verschieden stark ausdehnenden Metallen, z. B. Zink und Eisen, zusammen, so daß seine Länge unverändert bleibt (Fig. 47). In der Unruhe der Taschenuhr sitzen an den radialen Streifen (Fig. 48) zwei Metallbögen, welche aus Kompensationsstreifen bestehen; das sich am stärksten ausdehnende Metall liegt außen. Die Ausdehnung der radialen Arme durch die Wärme wird dadurch ausgeglichen, daß sich die Bögen nach innen krümmen. Die Schwingungsdauer der Unruhe bleibt auf diese Weise gleich.

Auch in dem Kompensationsbügel der Läutewerksicherheitsvorrichtung (Fig. 49) liegt das am stärksten sich ausdehnende Metall außen, so daß sich die freien Schenkel beim Erwärmen nähern. Die Schraube ermöglicht hier ein so empfindliches Einstellen des Bügels, daß schon bei einer geringen Temperatursteigerung ein Berühren der freien Schenkel stattfindet. Dadurch wird der Stromkreis einer angeschlossenen Klingelanlage geschlossen, und die Alarmglocke ertönt; eine solche Vorrichtung kann z. B. zur Beaufsichtigung von Lagerräumen benutzt werden, in welchen leicht entzündliche Stoffe aufbewahrt werden.

Die Wirkungsweise des in Fig. 50 dargestellten Metallthermometers ist nach dem Gesagten ohne weiteres verständlich; es wird durch Vergleich mit einem Quecksilberthermometer geeicht, doch sind seine Angaben wenig zuverlässig.

Durch den selbsttätigen Gas-
hahn des Brenners (Fig. 51), der durch den Kompensationsbügel nur festgehalten wird, solange das Gas brennt, wird das Ausströmen des Gases beim Erlöschen der Flamme verhindert.

Ausdehnung der flüssigen Körper.

Die Flüssigkeiten, mit Ausnahme von Quecksilber, dehnen sich beim Erwärmen unregelmäßig aus. Da sie keine bestimmte Gestalt besitzen, so ist ihr Ausdehnungskoeffizient α der kubische; er wächst mit steigender Temperatur. Die Ausdehnung des Wassers beim Erwärmen

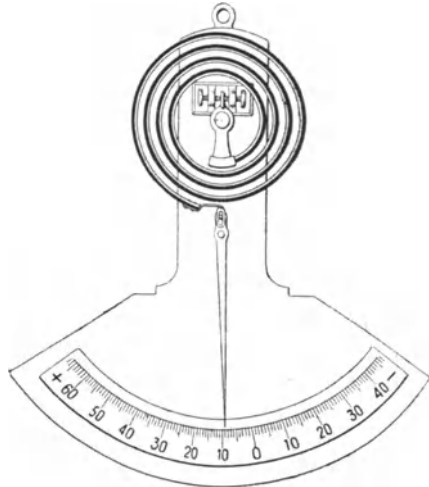


Fig. 50.

läßt sich durch den einfachen, in Fig. 52 veranschaulichten Versuch beweisen.

Wasser hat bei 4° seine größte Dichte, welche als Vergleichseinheit der Schwere dient. In der Nähe von 4° ist der Ausdehnungskoeffizient des Wassers gleich, so daß das Wasser sich sowohl beim Erwärmen auf 8° als auch beim Abkühlen auf 0° um gleiche Beträge ausdehnt. Wasser nimmt daher in einem Gefäß mit engem Hals bei 8° dieselbe Höhe wie bei 0° ein.

Das Abkühlen größerer Wassermengen geschieht an der Oberfläche, wobei das Wasser schwerer wird. Das kälter und schwerer

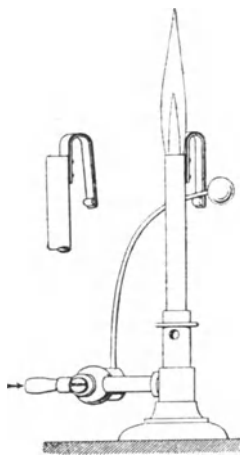


Fig. 51.

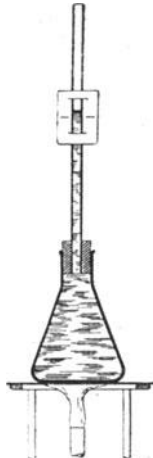


Fig. 52.

gewordene Wasser sinkt nach unten und bewirkt einen Ausgleich der Wärme durch Strömung, bis die Temperatur überall 4° beträgt. Bei weiterer Abkühlung hört die Strömung auf, da jetzt das Wasser immer leichter wird und daher an der Oberfläche bleibt. Im Verein mit der Ausdehnung beim Erstarren ist dieses

Verhalten des Wassers für den Haushalt der Natur von großer Bedeutung.

Die in Flüssigkeiten infolge ungleicher Erwärmung entstehenden Strömungen kann man mit Hilfe des durch Fig. 53 dargestellten Versuchs leicht nachweisen; die Warmwasserheizung beruht darauf.

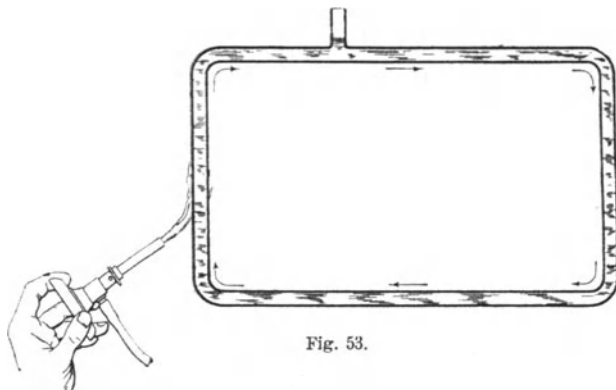


Fig. 53.

Aufgabe: Eine Menge Quecksilber hat bei 0° ein Volumen von 5 ccm; welches Volumen hat sie bei 80° , wenn $\alpha = 0,00\ 018$ ist?
 $= 5 (1 + 0,00\ 018 \cdot 80) = 5,072$ ccm.

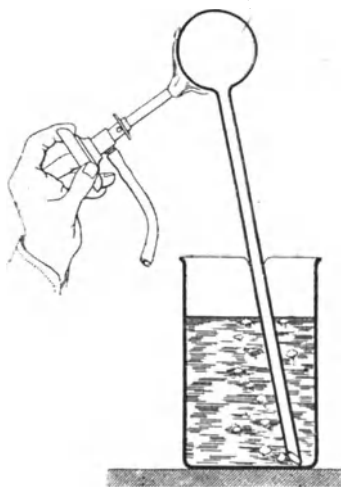


Fig. 54.

Ausdehnung der gasförmigen Körper.

Daß die Luft sich beim Erwärmen ausdehnt, zeigt der Versuch nach Fig. 54. Für die gasförmigen Körper gilt das Gesetz von Gay-Lussac (1802): Alle Gase dehnen sich bei der Erwärmung für jeden Grad Celsius um je $\frac{1}{273}$ ihres Volumens bei 0° aus.

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

Hat ein Gas bei 0° das Volumen 1, so wird dieses bei

$$273^\circ = 1 + \frac{273}{273} = 2$$

$$546^\circ = 1 + \frac{546}{273} = 3.$$

Beim Abkühlen auf -273° würde das Volumen $1 - \frac{273}{273} = 0$,

d. h. der Gaszustand hat schon vorher der flüssigen oder festen Formart Platz gemacht. Man bezeichnet -273° als absoluten Nullpunkt der Temperatur und nimmt an, daß dieses die Temperatur des Weltalls sei. Die niedrigste bis jetzt erreichte Temperatur beträgt -269° .

Zur Vereinfachung physikalischer Berechnungen benutzt man vielfach die absolute Temperatur, nach welcher z. B. das Eis bei 273° schmilzt und bei 373° kocht.

Anwendungen. Die durch die Ausdehnung der Gase durch Erwärmen hervorgerufene Strömung benutzt man zur Erzeugung von Zug in Öfen, Schornsteinen, Lampenzylindern und Wetterschächten.

Luftthermometer, Fig. 55. Die Glaskugel wird bei 0° mit 273 Raumteilen Luft oder eines anderen Gases gefüllt, was sich mit Hilfe des Hahnes und des Quecksilbers im U-förmigen Teile des Apparates leicht ausführen läßt. Das Quecksilber steht dann auf dem Nullstriche der Teilung, welche von Grad zu Grad = $\frac{1}{273}$ des Volumens der Kugel ist. Beim Erwärmen dehnt sich die Luft aus und schiebt die Quecksilbersäule nach unten. Ein solches Luftthermometer gestattet wegen der ganz gleichmäßigen Ausdehnung der Gase ein genaues Messen und bei Anwendung eines Gefäßes aus feuerfestem Ton oder Platin ein sehr großes Temperaturbereich.

Aufgabe: Eine Luftmasse hat bei 0° ein Volumen von 4,659 cbm; wie groß ist ihr Volumen bei 20°, wenn der Druck gleichbleibt?

$$= 4,659 \left(1 + \frac{1}{273} \cdot 20 \right) = 5,00 \text{ cbm.}$$

Wärmemenge. Spezifische Wärme.

Wir haben uns bisher nur mit den Temperaturen als solchen befaßt, ohne zu fragen, wodurch Wärmegrad und Erhöhung des Wärmegrades hervorgerufen werden. Mischt man

250 g Wasser von 100°
mit 250 g Wasser von 20°, so erhält man

500 g Wasser von 60°. Die Temperatur von 60° liegt genau in der Mitte von 20° und 100°; es haben also 250 g Wasser von 100° genau dieselbe Wärmemenge abgegeben, welche von den 250 g Wasser von 20° aufgenommen sind. Mischt man aber

250 g Öl von 100°
mit 250 g Wasser von 20°, so erhält man

500 g Öl + Wasser von 50°.

Die 250 g Öl haben also die gleiche Wärmemenge beim Abkühlen um 50° abgegeben, die den 250 g Wasser zum Erwärmen um 30° zugeführt wurden. Das Öl hat also 50° verlieren müssen, um das Wasser in seiner Temperatur um 30° zu erhöhen.

Die Wärmemenge, welche man einem Stoffe zuführen muß, um ihn in seiner Temperatur um 1° zu erhöhen, nennt man seine spezifische Wärme; die spezifische Wärme des Wassers ist gleich

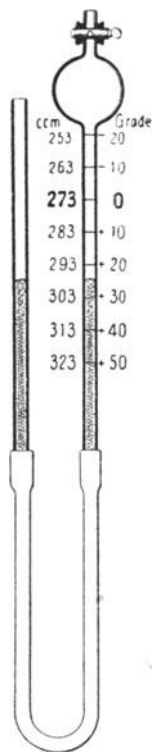


Fig. 55.

1 gewählt; man nennt sie eine Wärmeeinheit (*WE*) oder Kalorie (Kal).

250 g Wasser brauchen zum Erwärmen um $30^{\circ} = 0,25 \times 30 = 7,5$ Kal.

250 g Öl geben beim Abkühlen auf 50° ab: 7,5 Kal.

1 kg Öl bedarf zum Erwärmen um $1^{\circ} = \frac{7,5}{0,25 \times 50} = 0,6$ Kal.

Die spez. Wärme des Öls (Paraffinöl) ist demnach = 0,6. Vorrichtungen zum Messen von Wärmemengen und zur Bestimmung von spezifischen Wärmen nennt man Kalorimeter.

Aufgabe: 250 g Eisen von 100° wurden im Kalorimeter mit 250 g Wasser von 19° gemischt; die Endtemperatur des Wassers betrug 27° . Wie groß ist die spezifische Wärme des Eisens?

$$\frac{(27 - 19) 0,25}{73 \cdot 0,25} = 0,11$$

Folgende Zahlentafel enthält die spezifischen Wärmen einiger Stoffe:

Feste Körper	spez. W.	Flüssige Körper	spez. W.	Gasförmige Körper	spez. W.
Eis	0,50	Wasser	1,00	Wasserstoff	3,45
Gesteine	0,22	Paraffinöl	0,60	Grubengas	0,59
Kohle	0,22	Alkohol	0,60	Wasserdampf	0,46
Eisen	0,11	Petroleum	0,51	Stickstoff	0,25
Zink	0,10	Benzol	0,40	Luft	0,24
Kupfer	0,09	Quecksilber	0,03	Sauerstoff	0,22
Blei	0,03			Kohlensäure	0,20

Aus der hohen spezifischen Wärme des Wassers erklärt es sich, daß Länder unweit des Meeres kühle Sommer und milde Winter (Seeklima) besitzen. Da die spezifische Wärme des Sandes (0,22) nur gering ist, so nimmt sandiger Boden schnell hohe und tiefe Temperaturen an. Deshalb verdorren und erfrieren die auf ihm wachsenden Pflanzen leichter als auf feuchtem Boden.

Bei allen Wärmeberechnungen über Dampfanlagen, Wärmeinhalt von Gasen usw. muß die spezifische Wärme berücksichtigt werden; sie nimmt mit steigender Temperatur zumal bei den gasförmigen Stoffen zu.

Ein Körper ist wärmer als ein anderer, wenn er an diesen bei Berührung Wärme abgibt; das geschieht so lange, bis beide Körper dieselbe Temperatur haben. Die Temperatur ist also eine Kraft, welche das Strömen von Wärme bewirkt, wie der Unterschied des Wasserstandes zweier Gefäße das Fließen des Wassers verursacht, wenn die Gefäße miteinander verbunden werden.

Aufgabe: Die mittleren spez. Wärmen bei 200° betragen für 1 cbm Kohlensäure 0,426, Sauerstoff und Stickstoff 0,316. Wie groß ist der Wärmeverlust eines Rauchgases, bestehend aus 10%

Kohlensäure, 10% Sauerstoff und 80% Stickstoff bei 200° für 1 cbm?
 $= 200 (0,1 \times 0,426 + 0,1 \times 0,316 + 0,8 \times 0,316) = 65,4 \text{ WE.}$

Schmelzpunkt und Schmelzwärme.

Wird Eis mit einer Temperatur unter 0° in einem Gefäße erwärmt, so steigt seine Temperatur gleichmäßig bis auf 0° und bleibt bei weiterer Wärmezufuhr zunächst unverändert. Neben Eis von 0° haben wir Wasser von 0°. Diese Temperatur, bei welcher der Übergang des festen Körpers in die flüssige Formart stattfindet, nennt man Schmelzpunkt.

Bei weiterem Erwärmen zeigt das in dem Eiswasser stehende Thermometer unentwegt 0°, bis das ganze Eis geschmolzen ist, um dann wieder zu steigen. Es genügt also nicht, Eis bis zum Schmelzpunkt zu erwärmen, wenn man es schmelzen will. Vielmehr muß noch Wärme zugeführt werden, die keine Temperaturerhöhung bewirkt, weil sie dazu gebraucht wird, um aus Eis von 0° Wasser von 0° zu bilden: diese Wärme nennt man Schmelzwärme.

Die Schmelzwärme des Eises beträgt 80 Kalorien, d. h. um 1 kg Eis von 0° in 1 kg Wasser von 0° überzuführen, haben wir 80 Kalorien nötig.

Beim Abkühlen von Wasser beobachtet man, daß das Thermometer bei 0° stehen bleibt (Gefrierpunkt), bis das Wasser von 0° in Eis von 0° umgewandelt ist, um dann weiter zu sinken. Die 80 Kalorien, welche zum Schmelzen von 1 kg Eis von 0° erforderlich waren, werden beim Gefrieren des Wassers wieder frei; der Gefrierpunkt fällt mit dem Schmelzpunkt zusammen.

Die meisten Stoffe haben einen bestimmten Schmelzpunkt und eine bestimmte Schmelzwärme, z. B.

Stoff	Schmelzpunkt	Schmelzwärme in Kal.
Platin	1800°	27
Kupfer	1084°	43
Aluminium	625°	239
Zink	419°	28
Blei	327°	5,4
Zinn	232°	14
Schwefel	115°	9,4
Phosphor	44°	5
Eis	0°	80
Quecksilber	− 39°	2,8
Alkohol	− 100°	

Beim Schmelzen findet fast immer eine Volumenzunahme, beim Gefrieren eine Zusammenziehung statt. Wasser bildet eine Ausnahme, indem es sich beim Gefrieren mit großer Gewalt ausdehnt, so daß mit Wasser gefüllte Bomben gesprengt werden — Frostschäden im Winter.

Hat sich Wasser bis zur Eisbildung abgekühlt, so muß diese an der Oberfläche desselben stattfinden, da Eis um $\frac{1}{11}$ leichter als Wasser ist.

Unter dem Eise nimmt die Temperatur allmählich zu, bis sie auf dem Grunde mit 4° die größte Dichte des Wassers erreicht (Fig. 56). Daher können die Fische unter dem Eise eine Zeitlang leben.

In fließendem Wasser kann sich auch auf dem Grunde Eis bilden, da die Temperatur infolge der Strömung ausgeglichen wird und auf den Gefrierpunkt heruntergeht. Mit Vorliebe bildet sich Grund-

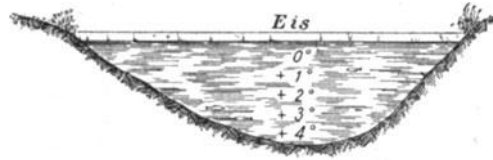


Fig. 56.

eis an Steinen, die beim Wachsen des Eises soviel Auftrieb erhalten, daß sie an die Oberfläche gelangen.

Beim Gefrieren der Seen, Teiche und Flüsse von Grund aus würde die Sommerwärme zum Schmelzen des Eises nicht ausreichen, und wir hätten in unserer Gegend Polarklima. Der Schmelzpunkt des Eises wird durch Druck erniedrigt, so daß die Gletscher unter der gewaltigen Last desselben in Bewegung geraten.

Vermeidet man Erschütterungen des Gefäßes, so kann man Wasser weit unter -10° abkühlen, ohne daß es gefriert. Das „unterkühlte Wasser“ gefriert aber teilweise, sobald das Gefäß bewegt wird; dabei steigt die Temperatur auf 0° .

Auch im Wasser aufgelöste Salze erniedrigen den Gefrierpunkt des Wassers, z. B. Kochsalz bis -23° ; deshalb schmilzt das Eis, wenn es mit Salz bestreut wird. Die zum Lösen des Salzes nötige Wärme wird dem Wasser entzogen; hierauf beruhen die Kältemischungen.

2 Teile Schnee und 1 Teil Chlorkalzium geben eine Kältemischung von -50° . Das Meerwasser gefriert immer unter 0° und Chlormagnesiumlösung erst bei -32° , weshalb sie als „Kälteträger“ beim Gefrierverfahren des Schachtabteufens dient.

Siedepunkt und Verdampfungswärme.

Erwärmt man Wasser, so steigt seine Temperatur gleichmäßig bis 100° ; hier hat es seinen Siedepunkt erreicht, es kocht. Die Temperatur ändert sich aber auch bei stärkerem Erhitzen nicht, da alle Wärme verbraucht wird, um Wasser

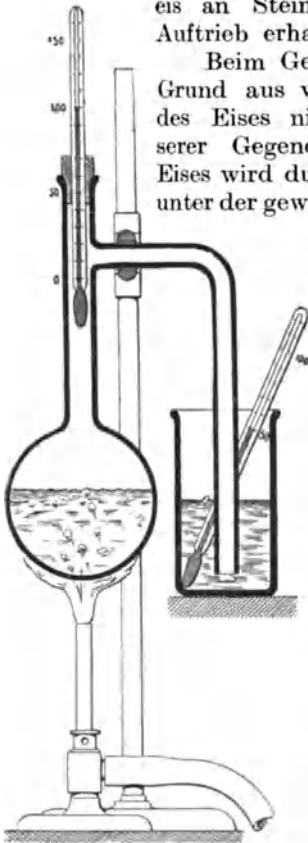


Fig. 57.

von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln. Diese Wärme nennt man Verdampfungswärme.

Um 1 kg Wasser von 100° in Dampf von 100° überzuführen, hat man 537 Kalorien nötig; die Verdampfungswärme des Wassers ist gleich 537 Kal. Verflüssigen wir Wasserdampf, so werden aus 1 kg Wasserdampf von 100° beim Übergang in Wasser von 100° diese 537 Kalorien wieder frei.

Zur Bestimmung der Verdampfungswärme des Wassers wird dieses in einem Destillierkolben zum Kochen erhitzt (Fig. 57), und der übergelassene Dampf in abgewogenes Wasser geleitet, dessen Temperatur vorher ermittelt worden ist. Nach einiger Zeit wird der Versuch unterbrochen und die Temperatur und Gewichtszunahme des Wassers gemessen.

$$\begin{array}{r} 250 \text{ g Wasser von } 11^{\circ} \\ + 19 \text{ g Wasserdampf von } 100^{\circ} \text{ ergaben} \\ \hline 269 \text{ g Wasser von } 55^{\circ}. \end{array}$$

Um 250 g Wasser von 11° auf 55° zu erwärmen, waren $0,25 \times 44 = 11$ Kalorien nötig, welche durch Verdichtung von 19 g Wasserdampf und Abkühlung von 100° auf 55°, also um 45°, geliefert wurden. Die vom Dampfe abgegebene Wärmemenge beträgt, wenn x die gesuchte Verdampfungswärme des Wassers ist:

$$\begin{aligned} 0,019x + 0,019 \times 45 &= 11 \\ x &= \frac{11 - 0,019 \times 45}{0,019} = 534 \text{ Kalorien.} \end{aligned}$$

Wasser, welches durch längeres Kochen von der in ihm gelösten Luft befreit ist, erleidet leicht Siedeverzug, d. h. kann über 100° erhitzt werden, ohne daß es kocht. Die Dampfbildung wird also zunächst verzögert, verläuft dann aber so stürmisch, daß sie zu Dampfkesselexplosionen führen kann. Stoffe, welche in einer Flüssigkeit gelöst sind, z. B. Kochsalz, erhöhen den Siedepunkt.

Wie das Wasser hat auch jede andere Flüssigkeit ihren bestimmten Siedepunkt und ihre bestimmte Verdampfungswärme, z. B.

Stoff	Siedepunkt	Verdampfungswärme in Kal.
Schwefel	440°	362
Quecksilber	357°	68
Terpentinöl	160°	70
Toluol	110°	85
Wasser	100°	537
Benzol	80°	94
Alkohol	78°	206
Äther	35°	90
Ammoniak	— 33°	330
Sauerstoff	— 182°	61

Die hohe Verflüssigungswärme des Wasserdampfs wird in Dampfheizungen verwendet.

Aufgabe: Welche Wärmemenge ist erforderlich, um $\frac{1}{2}$ kg Eis von -10° in Wasserdampf von 120° überzuführen?
 $= 0,5 ([10 \times 0,50] + 80 + 100 + 537 + [20 \times 0,46]) = 365,6 \text{ Kal.}$

Verdampfen.

Verdampfen nennt man den Übergang einer Flüssigkeit in den gasförmigen Zustand, der sich durch Verdunsten und Sieden der Flüssigkeit bilden kann.

Das **Verdunsten** ist ein freiwilliges Verdampfen der Flüssigkeit an der Oberfläche und kann bei jeder Temperatur erfolgen. Die zum Verdunsten nötige Wärme wird der Umgegend entzogen, so daß sie abgekühlt wird. Die bei der Verdunstung verflüssigter Gase, z. B. Ammoniak, entstehende Kälte wird zur Erzeugung von Eis und zum Abkühlen von Chlormagnesiumlösungen (Kälteträger) benutzt. Auch das Trocknen der Wäsche usw. beruht auf Verdunstung.

Besonders leicht verdunsten Flüssigkeiten mit niedrigem Siedepunkt, z. B. Benzin; über verdunstendem Benzin befindet sich Luft, die mit Benzindampf gemischt ist. Da Benzin brennbar ist, können durch seine Verdunstung leicht explosive Gemische entstehen.

Beim Kochen oder Sieden findet die Dampfbildung nicht nur auf der Oberfläche, sondern auch aus dem Inneren der Flüssigkeit statt. Unmittelbar über einer siedenden Flüssigkeit befindet sich nur ihr Dampf, über siedendem Benzin Benzindampf, über kochendem Wasser Wasserdampf.

Wasser kocht, sobald der Dampfdruck gleich dem Luftdruck ist. Daher ändert sich auch der Siedepunkt einer Flüssigkeit mit dem auf ihr ruhenden Druck, wie folgende Zahlentafel zeigt.

Luftdruck = Dampfdruck		Siedepunkt des Wassers
mm Quecksilber	Atm.	
4,6		0°
17,4		20°
55,0		40°
149,2		60°
355,5		80°
526,0		90°
760,0 mm = 1 Atm.		100°
	2	121°
	3	134°
	4	144°
	5	152°
	10	180°

Verschließt man einen mit siedendem Wasser gefüllten Glaskolben durch einen Gummistöpsel und kehrt ihn um, so dauert das Sieden

noch einige Zeit an; hört es auf, so kann es durch Kühlen des Kolbens von neuem hervorgerufen werden (Fig. 58).

Man benutzt das Sieden unter vermindertem Druck und niedrigerer Temperatur zum Einengen von Flüssigkeiten, die sich bei höherer Temperatur zersetzen. In den Vakuumapparaten wird der Zuckersaft der Zuckerrüben eingedampft, weil er bei 100° braun wird.

Daß Wasserdampf spezifisch viel leichter als Luft ist, geht aus dem in Fig. 59 dargestellten Versuch hervor; der Wasserdampf tritt nur aus den nach oben gerichteten Öffnungen, nicht aus dem nach unten zeigenden und näherliegenden Rohr. Wasserdampf nimmt einen 1700mal grö-

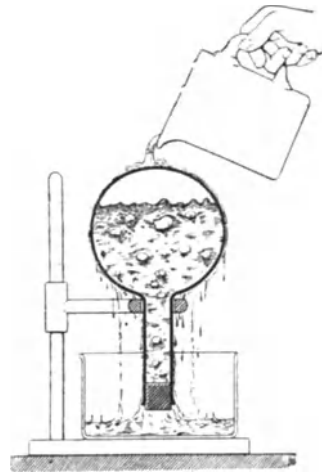


Fig. 58.

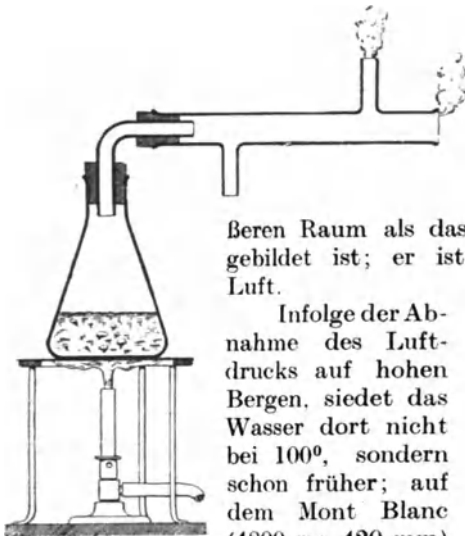


Fig. 59.

beren Raum als das gebildet ist; er ist Luft.

Infolge der Abnahme des Luftdrucks auf hohen Bergen, siedet das Wasser dort nicht bei 100°, sondern schon früher; auf dem Mont Blanc (4800 m; 420 mm) bei 84°. Daher ist

Wasser ein, aus welchem es farblos und durchsichtig wie

es mit den gewöhnlichen Kochtöpfen nicht möglich, manche Speisen gar zu kochen. Durch künstliche Erhöhung des Drucks wird auch der Siedepunkt des Wassers erhöht. Dazu braucht das Siedegefäß nur verschlossen zu werden — Papinscher Topf (Fig. 60).

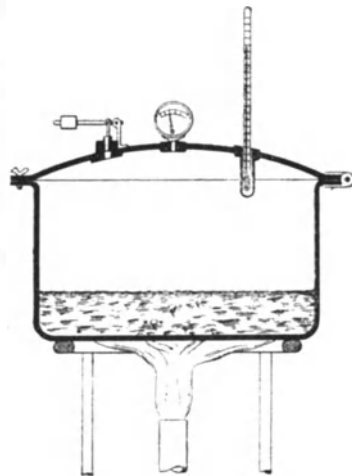


Fig. 60.

Aufgabe: Bei einer Höhenmessung mit Hilfe des Thermometers hat man gefunden, daß das Wasser in der Ebene bei 100°, auf dem Berge bei 97° siedet. Wieviel Meter ist der Berg höher als die Ebene?

$$= 0,3(760 - 526) \cdot 10,5 = 737 \text{ m.}$$

Feuchtigkeit der Luft. Niederschläge.

Von der Oberfläche der Gewässer und des Eises gelangt Wasserdampf fortwährend in die Luft, so daß diese immer mehr oder weniger feucht ist. Die Luft nimmt bei einer bestimmten Temperatur nur eine bestimmte Menge Wasserdampf in sich auf, welche mit steigender Temperatur zunimmt. Hat die Luft diejenige Wasserdampfmenge aufgenommen, die ihr nach der Temperatur zukommt, so ist sie mit Wasserdampf gesättigt. 1 cbm Luft kann enthalten:

bei -20°	1,0 g Wasserdampf
„ -10°	2,2 „ „
„ 0°	4,7 „ „
„ 5°	6,5 „ „
„ 10°	9,1 „ „
„ 15°	12,7 „ „
„ 20°	16,9 „ „
„ 25°	22,5 „ „
„ 30°	29,8 „ „
„ 35°	39,3 „ „
„ 40°	50,9 „ „

Diese Grammengen Wasserdampf entsprechen dem Sättigungsgrade 100%. Enthält die Luft bei -10° nur 1,1 g Wasserdampf, so beträgt der Sättigungsgrad 50%; hat sie bei 20° 6,3 g Wasserdampf in sich aufgenommen, so enthält sie $\frac{100 \times 6,3}{16,9} = 37\%$.

Der Feuchtigkeitsgehalt der Luft wird mit Hilfe eines Psychrometers gemessen, d. i. ein Halter mit zwei genau übereinstimmenden Thermometern, von welchen das eine an der Quecksilberkugel mit einem feuchten Musselinlappen umhüllt ist. Die beiden Thermometer zeigen denselben Stand, wenn die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt ist; ist dieses nicht der Fall, so verdunstet das Wasser des feuchten Thermometers um so schneller, je weniger Wasserdampf die Luft enthält. Durch das Verdunsten des Wassers wird dem feuchten Thermometer soviel Wärme entzogen, daß es bis zu dem Wärmegrade sinkt, bei welchem die Luft gesättigt ist — Taupunkt.

In der Grube bedient man sich des Schleuderthermometers. Das trockene Thermometer wird an einem Faden befestigt so lange im Kreise herumgeschleudert, bis seine Temperatur sich nicht mehr ändert.

Nach Anlegen eines feuchten Musselinlappens wird das Verfahren wiederholt, man erhält so die Temperatur des nassen Thermometers.

Aus dem Unterschied des trocknen und nassen Thermometers und der folgenden Zahlentafel kann man den Feuchtigkeitsgehalt der Luft leicht bestimmen.

Das trockne Thermometer zeigt	Das nasse Thermometer zeigt weniger									
	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	8°	10°	12°
0	100	81	63	46	28	12	—	—	—	—
5°	100	86	72	58	45	32	19	—	—	—
10°	100	88	76	65	54	44	34	14	—	—
15°	100	90	80	70	61	52	44	28	12	—
20°	100	91	83	74	66	59	51	37	24	12
25°	100	92	84	77	70	63	57	44	33	22
30°	100	93	86	79	73	67	61	49	39	30
35°	100	94	87	81	75	70	64	53	44	36
40°	100	94	88	83	77	72	67	57	48	40

Beispiele:

Trocknes Thermometer.	40°	30°	20°	10°
Feuchtes Thermometer.	36°	20°	12°	4°
Unterschied.	4°	10°	8°	6°
Sättigungsgrad	77%	39%	37%	34%

Die Haarhygrometer beruhen darauf, daß sich ein von Fett gereinigtes Frauenhaar beim Trocknen verkürzt, beim Feuchtwerden verlängert. Das Haar wird mit dem einen Ende oben am Apparat (Fig. 61) befestigt, während das andere Ende um die Achse eines drehbaren Zeigers gelegt ist; durch ein kleines Gewicht wird der Faden gespannt. Das Hygrometer wird geeicht und muß von Zeit zu Zeit nachgeprüft werden.

Darmsaiten drehen sich infolge von Feuchtigkeitsaufnahme und -abgabe; die darauf beruhenden Apparate nennt man Hygroskope (Wetterhäuschen).

Der Feuchtigkeitsgehalt der Grubenluft ist immer hoch, so daß das Holz schneller fault und das Eisen leichter rostet als über Tage. Auch Arbeitsfreudigkeit und Wohlbefinden des Menschen hängen von dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft ab. Ist die Grubenluft mit Wasserdampf gesättigt, so erleidet der Bergmann Einbuße an seiner Arbeitskraft, da die Abkühlung

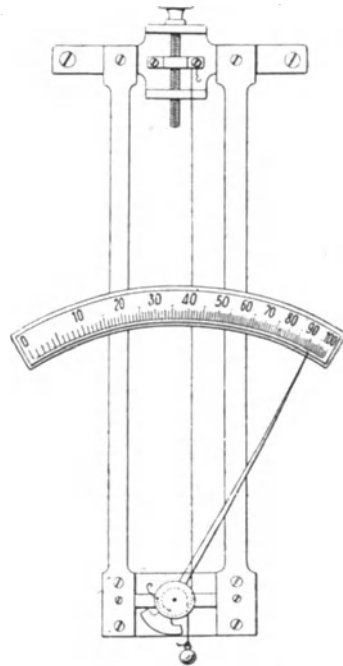


Fig. 61.

fortfällt, welche der verdun- der trockenen Luft vor dem

Puddelofen und Glashafen kann der Mensch viel höhere Wärmegrade als in der Grube vertragen, da der Schweiß leicht verdunstet.

Niederschläge. Kühlt sich mit Wasserdampf gesättigte Luft ab, so scheidet sich flüssiges Wasser aus. In ihrer feinsten Verteilung bilden die Wassertröpfchen nahe der Erde den Nebel, in höheren Luftschichten die Wolken, während Wasserdampf farblos und durchsichtig wie Luft ist. Durch Vereinigung der Wassertröpfchen zu Tropfen entsteht Regen, dessen tägliche bzw. jährliche Menge an einem Ort mit Hilfe des Regenmessers bestimmt wird (Bochum 1919 720 mm). Statt des Regens bildet sich Schnee oder Hagel, wenn die Temperatur der Luft unter 0° ist.

Die verhältnismäßig warmen und feuchten Süd- und Westwinde kühlen sich in unseren Gegenden durch Vermischen mit der kälteren Luft und an der kalten Erde ab und scheiden den Überschuß des Wasserdampfs als Regen ab. Enthielten sie z. B. bei 25° und einem Sättigungsgrad von 88,8 % $= \frac{100 \times 20}{22,5} = 20$ Gramm Wasserdampf in 1 cbm, so

fallen beim Abkühlen auf 15° $20 - 12,7 = 7,3$ g Wasser pro Kubikmeter als Regen aus (vgl. Barometer S. 18). So vollzieht sich auch das Beschlagen der Fenster und Türen und das Regnen im Ausziehschacht.

Infolge der nächtlichen Wärmeausstrahlung gegen den wolkenlosen Himmel kühlt sich die Erde gegen Morgen bis unter den Taupunkt ab, und Gegenstände, welche die Wärme gut ausstrahlen und sich rasch abkühlen (Pflanzenteile), bedecken sich mit Tau; es entsteht Reif, wenn die Abkühlung der Gegenstände bis unter 0° erfolgt ist.

Bei bedecktem Himmel kann Tau- und Reifbildung nicht eintreten, da die Wolken die Wärme zurückstrahlen. Durch künstliche Rauchbildung wird das Eintreten von Reif, z. B. in Weinbergen, verhindert.

Sättigungsspannung (Tension) des Wasserdampfs.

Bringt man in den Vakuumraum eines Barometers eine kleine Menge Wasser, so verwandelt sie sich teilweise in Dampf; die Quecksilbersäule sinkt um einen bestimmten Betrag, da der Wasserdampf Spannkraft besitzt. Bei beständiger Temperatur bleibt auch der Stand des Quecksilbers unverändert, da die Menge des Wasserdampfs und somit sein Druck den höchsten Betrag erreicht hat, welchen er bei dieser Temperatur erlangen kann. Man nennt den Druck, welchen der gesättigte Wasserdampf ausübt, Sättigungsspannung oder Tension des Wasserdampfs.

Umgibt man das Barometerrohr mit einem Glasmantel und leitet Wasserdampf durch denselben, so sinkt das Quecksilber bis auf die Höhe des Quecksilbers im Gefäß. Die Spannkraft des Dampfes ist jetzt gleich dem Luftdruck. Der Druck einer Gasmischung ist immer gleich der Summe der Drucke der einzelnen Gase. Wird zu 1 Liter Luft, die sich in einem Gefäß unter dem Druck von 1 Atm. befindet, noch 1 Liter Kohlensäure gebracht, so ist der Druck im Gefäß gleich 2 Atm. Da die Luft immer Wasserdampf enthält, so setzt sich der Luftdruck

zusammen aus dem Drucke der trockenen Luft und dem des Wasserdampfs.

Der auf der Oberfläche von Wasser in einem Gefäß lastende Druck ist abhängig von dem Druck des über der Oberfläche befindlichen, trocken gedachten Gases und dem des aufsteigenden Wasserdampfes. Mit steigender Temperatur wird der Druck der trocknen Luft immer geringer, der Druck des Wasserdampfs immer größer, bis letzterer den Druck der Luft vollständig überwindet; das Wasser kocht.

Die auf S. 36 gegebenen Zahlen der Beziehungen zwischen Luftdruck und Siedepunkt des Wassers stellen auch die Sättigungsspannungen des Wasserdampfes dar; die Angabe z. B., daß das Wasser bei einem Druck von

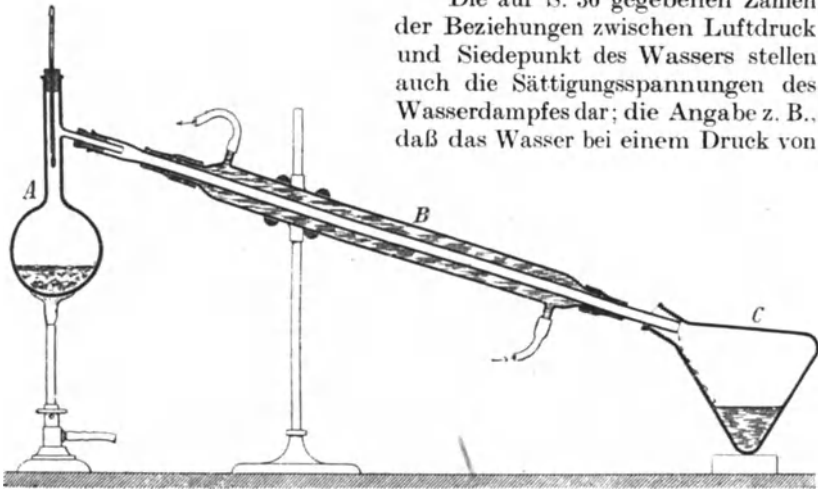


Fig. 62.

55,0 mm bei 40° siedet, bedeutet mit anderen Worten, bei 40° beträgt die Sättigungsspannung 55,0 mm.

Erhitzt man gesättigten Dampf weiter, so wird er „überhitzt“; er ist nun ein Gas und folgt den Gasgesetzen.

Verflüssigung der Dämpfe. Destillation.

Durch Abkühlung werden alle Dämpfe wieder in den flüssigen Zustand übergeführt, wobei die aufgenommene Verdampfungswärme frei wird. Verdampft man eine Flüssigkeit und leitet die durch einen Kühler verdichteten Dämpfe in ein anderes Gefäß, so nennt man den ganzen Vorgang *Destillation* (Fig. 62). Mit ihrer Hilfe trennt man Flüssigkeiten von darin gelösten festen, nicht verdampfenden Stoffen oder aber eine leicht verdampfbare Flüssigkeit von einer anderen mit höherem Siedepunkt. So trennt man das Wasser von den darin aufgelösten Salzen und erhält dadurch das reine, destillierte Wasser.

Alkohol siedet bei 78° ; aus einem Gemisch von Wasser und Alkohol destilliert vorzugsweise zunächst Alkohol. Durch wiederholtes Destillieren, wobei man das zuerst übergehende Destillat für sich auffängt, kann man den Alkohol fast wasserfrei erhalten. Ein solches Verfahren

nennt man fraktionierte Destillation. In der Technik der Spiritusbereitung wendet man dabei Kühler an, welche nur die Dämpfe der Flüssigkeit mit dem niedrigeren Siedepunkt (Alkohol) durchströmen lassen, während die Dämpfe der höher siedenden Flüssigkeit (Wasser) verdichtet werden und zurückfließen. Auf diese Weise trennt man in den Nebenproduktenanlagen der Kokereien die Destillate des Teers, Leichtöl, Mittelöl, Schweröl usw.

Durch fraktionierte Destillation trennt man auch aus flüssiger Luft den Sauerstoff vom Stickstoff, da dieser einen tieferen Siedepunkt als ersterer hat.

Durch Erhöhung des Druckes erhöht sich der Siedepunkt einer Flüssigkeit; daher ist es möglich, Wasserdämpfe von 100° statt durch Abkühlen auch durch Anwendung eines Druckes von über 1 Atm. zu verflüssigen.

Der Siedepunkt einer Flüssigkeit wird durch mechanisch beigemengte Stoffe (Schwebestoffe) nicht verändert. Diese bleiben beim Gießen der Flüssigkeit durch Filter aus Papier, Tuch, Sand, Kies, Koks usw. zurück, während die klare Flüssigkeit durch die Poren desselben fließt.

Verflüssigung der Gase.

Man kann die Gase als ungesättigte Dämpfe ansehen, sie können also durch Abkühlung und Druckerhöhung verflüssigt werden, so Kohlensäure bei -10° durch 27 Atm., bei 0° durch 36 Atm., bei 10° durch 46 Atm.

Es gibt aber für jedes Gas eine bestimmte Temperatur, oberhalb welcher es auch bei Anwendung des stärksten Druckes nicht in die flüssige Formart übergeht. Diese Temperatur heißt kritische Temperatur und der bei ihr zur Verflüssigung nötige Druck kritischer Druck. Die kritischen Daten einiger Gase sind:

Stickstoff	- 146°	35	Atm.
Luft	- 140°	39	"
Kohlenoxyd	- 140°	36	"
Sauerstoff	- 118°	50	"
Grubengas	- 95°	50	"
Kohlensäure	31°	76	"
Ammoniak	130°	114	"
Wasser	365°	200	"

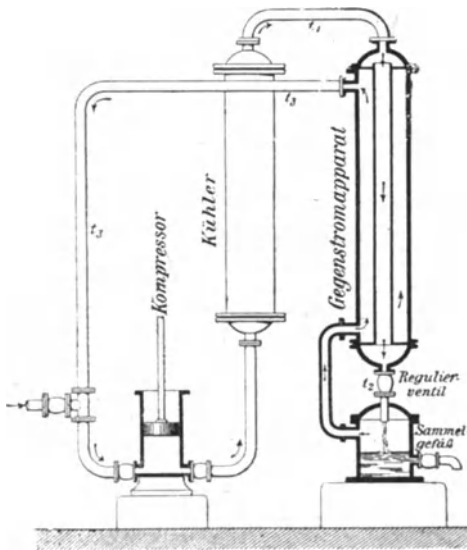


Fig. 63.

Die Verflüssigung der Luft in größeren Mengen gelang Linde in München (1895) mit Hilfe des Gegenstromapparates (Fig. 63). Dieser Apparat setzt sich zusammen aus dem

1. Kompressor, der die Luft auf einen hohen Druck zusammenpreßt,
2. Kühler, der die Kompressionswärme an Wasser abgibt,
3. Gegenstromapparat, in dessen inneres Rohr die zusammengepreßte Luft bei geöffnetem Ventil t_1 strömt, während t_2 geschlossen ist. Wird dieses geöffnet, so strömt die zusammengepreßte Luft in das Sammelgefäß, welches unter dem Druck von 1 Atm. steht, und dehnt sich dabei aus, wodurch sie sich bedeutend abkühlt.

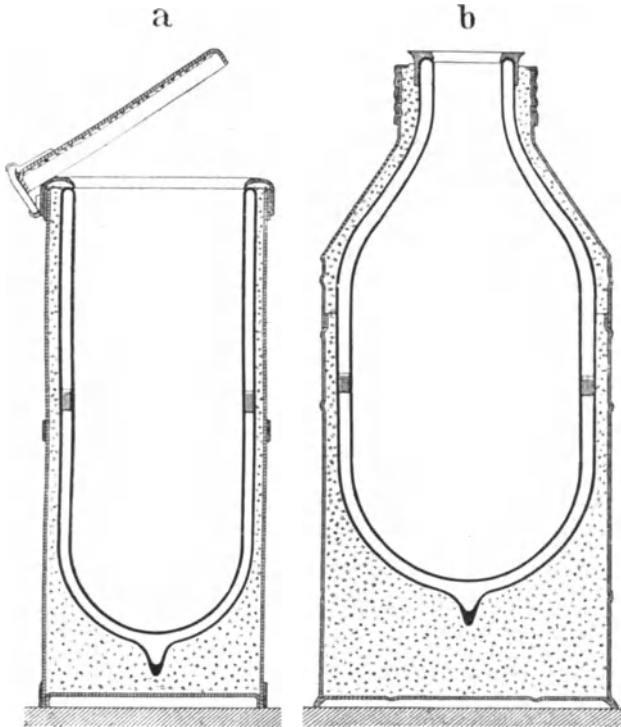


Fig. 64.

Erniedrigt sich der Druck um 1 Atm., so nimmt die Temperatur um 14° ab, bei 200 Atm. demnach um 50° . Weiter abgekühlt kehrt der Luftstrom durch das äußere Rohr des Gegenstromapparates zum Kompressor zurück und überträgt seine Kälte auf die inzwischen neu zugeströmte, hochgespannte Luft des inneren Rohres. Der Kompressor drückt die abgekühlte Luft wieder zusammen; der Kreislauf beginnt von neuem, wodurch die Luft soweit abgekühlt wird, daß sie sich schließlich bei -191° unter dem Druck von 1 Atm. verflüssigt und im Sammelgefäß ansammelt. Aus diesem wird die flüssige Luft in doppelwandige Gefäße (Fig. 64) abgelassen, deren Zwischenraum luftleer gepumpt ist, um Wärmeleitung zu verhindern. Auch werden ihre

innären Wandungen versilbert, damit alle Wärmestrahlen zurückgeworfen werden. In solchen Dewarschen Gefäßen hält sich flüssige Luft mehrere Tage und kann sogar mit der Eisenbahn verschickt werden. Da die flüssige Luft darin immer siedet, so dürfen sie nur lose verschlossen werden.

Verflüssigte Gase (Ammoniak, schweflige Säure, Kohlensäure) dienen zur Kälteerzeugung. Entzieht man die zu ihrer Verdampfung nötige Wärme dem Wasser, so erstarrt es zu Eis; auf ähnliche Weise kühlt man auch die Chlormagnesiumlösung, den Kälteträger des Gefrierverfahrens beim Schachtabteufen, auf -22° ab.

Unter der Glocke einer Luftpumpe läßt sich der Siedepunkt der flüssigen Luft auf -225° erniedrigen; mit ihrer Hilfe kann auch der Wasserstoff so weit abgekühlt werden, daß er nun unter Druck flüssig wird. Der flüssige Wasserstoff erlangt unter erniedrigtem Druck eine Temperatur von -260° .

Wärmeleitung und Wärmestrahlung.

Wärmeübergang von einem wärmeren auf einen kälteren Körper findet durch Wärmeleitung und Wärmestrahlung statt.

Hält man das Ende eines Eisenstabs in eine Flamme, so wird auch das andere Ende durch Leitung warm. Bringt man gleichzeitig mit der einen Hand eine Kupferstange, mit der anderen eine Holzkohlenstange in die Flamme, so wird erstere bald so heiß, daß sie fortgelegt werden muß, während man von einer Erhitzung der letzteren noch nichts bemerkt. Das Vermögen der Wärmeleitung ist also den verschiedenen Körpern in verschiedenem Maße eigen.

Die besten Wärmeleiter sind die Metalle und unter diesen das Silber. Bezeichnet man die Leitfähigkeit des Silbers = 100, so ergibt sich für Kupfer = 89, Messing = 15,3, Eisen = 12,5, Eis = 0,22, Marmor = 0,15, Glas = 0,15, Wasser = 0,14, Schafwolle = 0,02, Luft = 0,0056. Eis, Glas, Holz, Kohle, Wolle, Wasser und Luft sind schlechte Wärmeleiter.

Ein Zimmer wird mit einem eisernen Ofen schneller warm, nach dem Erlöschen des Feuers aber schnell kalt. Der Kachelofen wird erst allmählich warm, behält aber seine Wärme viel länger.

Zu den schlechten Leitern der Wärme gehören vor allem Wasser und Luft, wenn sie an der Bewegung gehindert sind. Werden sie erwärmt, so tritt eine Strömung ein, welche die Teilchen des Wassers und der Luft schneller miteinander in Berührung bringt und den Wärmeübergang beschleunigt. Dagegen kann man z. B. die Oberfläche des Wassers in einem Probierröhrchen zum Kochen erhitzen, während ein durch Blei beschwertes, auf dem Boden liegendes Stück Eis nicht merklich schmilzt.

Anwendungen. Sommer- und Winterkleidung, Holzgriffe an Pfannen und Schürhaken, Kochkisten, Stroh, Filz, Sägespäne zum Schutze der Pumpen, Kieselgurumhüllungen der Dampfleitungen, doppelte Fenster, Sicherheitslampe.

Die schützende Wirkung der Sicherheitslampe gründet sich auf folgende Versuche. Führt man von oben ein feinmaschiges Kupferdrahtnetz in eine Gasflamme, so wird sie dadurch abgeschnitten, d. h. sie brennt nur unter dem Drahtnetz (Fig. 65a). Unverbranntes Gas strömt durch die Maschen nach oben und entzündet sich, wenn diese glühend werden. Das Gas läßt sich oberhalb des Drahtnetzes anzünden, wenn man letzteres vor Öffnen des Gasahnes einige Zentimeter über die Brenneröffnung bringt (Fig. 65b).

Auch bei brennenden Flüssigkeiten, wie Terpenöl und Spiritus, erlöschet die Flamme beim Durchgießen durch das Drahtnetz (Fig. 65c).

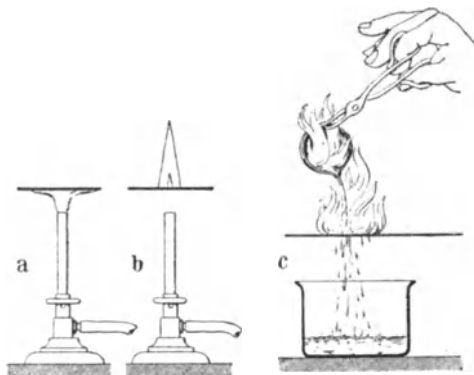


Fig. 65.

Die Versuche lehren, daß Flammen durch engmaschige Drahtnetze nicht durchschlagen, weil diese den darüber bzw. darunter liegenden Teilen der Gase durch Leitung soviel Wärme entziehen, daß die Entzündungstemperatur nicht mehr erreicht wird. Die Entzündungstemperatur der Schlagwetter liegt bei 750–800°, d. h. bei Rotglut. Daher schlagen die brennenden Wetter erst durch den Korb der Grubenlampe, wenn dieser glühend wird.

Wärmeausstrahlung. Jeder Körper, der wärmer als seine Umgebung ist, strahlt Wärme aus. Die Wärmestrahlen sind unsichtbar und kalt: sie durchheilen die Luft, ohne sie zu erwärmen und erscheinen erst wieder als Wärme, wenn sie von einem Körper aufgenommen werden. Man fühlt die Wärme eines geheizten Ofens schon in einiger Entfernung, empfindet sie aber nicht, wenn der Ofen von einem Ofenschirm umgeben ist. Die verschiedenen Stoffe verhalten sich den Wärmestrahlen gegenüber ungleich. Luft und Steinsalz z. B. sind für die Wärmestrahlen durchlässig, werden aber durch sie nicht erwärmt. Dunkle und rauhe Stoffe lassen die Wärmestrahlen nicht hindurch, sondern nehmen sie auf und werden dabei erwärmt. Helle und dichtgewalzte oder polierte Stoffe lassen die Wärmestrahlen weder hindurch, noch nehmen sie dieselben auf; sie werfen sie zurück wie ein Spiegel die Lichtstrahlen. In der Regel wird nur ein Teil der Strahlen aufgenommen oder zurückgeworfen oder durchgelassen.

Die Erwärmung eines Körpers durch strahlende Wärme nimmt mit dem Quadrate der Entfernung und mit dem schräger werdenden Auftreffen der Wärmestrahlen ab. Die Erde erhält ihre Wärme durch Sonnenstrahlen, welche die Atmosphäre auf ihrem Wege kaum erwärmen. Vielmehr empfängt diese erst von der Erde Wärme, und zwar um so weniger, je höher wir sind. Deshalb nimmt die Temperatur der trocken

Luft beim Steigen um je 100 m ungefähr 1° ab; ist die Luft mit Wasserdampf gesättigt, so vermindert sich die Abnahme der Wärme um die Hälfte, da mit der Verdichtung des Wassers zu Nebel oder Wolken seine Verflüssigungswärme frei wird. Da die Sonnenstrahlen an den Polen sehr schräg auf die Erde fallen, gelangen sie in viel geringerer Menge als unter dem Äquator auf eine gleich große Fläche; daher nimmt die Temperatur vom Äquator zu den Polen ab. Auch im Winter fallen die Wärmestrahlen schräger auf die Erde, da die Sonne tiefer steht; deshalb ist es im Winter kälter als im Sommer, wo die Erde von der Sonne sogar noch weiter entfernt ist.

Wärmequellen.

Wärme wird erzeugt:

1. **Durch mechanische Arbeit, insbesondere Reibung.** Durch Druck. Schlag, Stoß, Bohren, Feilen, Sägen, Hämmern, Reiben. Brennen. Schleifen, Verdichtung von Gasen entsteht Wärme.

Feuererzeugung durch 1. Reibung zweier Holzstücke gegeneinander,

2. Schlagen mit Stahl gegen Feuerstein, Zündblättchen, Zereisen.

3. Streichen der Zündhölzer über eine rauhe Fläche.

4. Reiben der Zündbänder durch einen Stahlstift.

Wärme ist Arbeit. Durch eine Arbeit von 427 mkg kann eine Kalorie erzeugt werden — mechanisches Wärmeäquivalent. Fällt ein Kilogramm aus 427 m Höhe zur Erde, so wird durch den Sturz ebensoviel Wärme erzeugt, wie man braucht, um 1 kg Wasser um 1° zu erwärmen. Der erste Entdecker von der Äquivalenz von Arbeit und Wärme war der Heilbronner Arzt Robert Mayer 1842.

2. **Durch direkte Sonnenwärme;** sie kann technisch nur zum Trocknen, nicht aber zum Betriebe von Dampfmaschinen angewendet werden, da bei den „Sonnenmaschinen“ der Unterhalt des Spiegelmechanismus zu teuer kommt.

3. **Durch aufgespeicherte Sonnenwärme.** Die Energie der Sonnenstrahlung läßt gewaltige Mengen von Wasser verdunsten, die als Regen auf die Berge fallen und von dort zu Tale fließen. Die Fallkraft des Wassers wird durch Mühlräder ausgenutzt, die ihrerseits Elektrizität für chemische Arbeit (Kalziumkarbid, Salpetersäure) erzeugen. Auch die Kraft des Windes, der durch Temperaturveränderungen infolge der Sonnenstrahlung entsteht und Windmühlen treibt, kann zur Wärmeerzeugung in ähnlicher Weise Anwendung finden.

Die meisten chemischen Vorgänge verlaufen unter Erzeugung von Wärme. In dem Holz und Torf, in der Kohle, in den Ölen und Fetten ist die Sonnenwärme aufgespeichert, die zum Aufbau von Pflanze und Tier, aus welchen sich diese Stoffe gebildet haben, nötig war. Durch ihre Verbrennung wird die dabei aufgewendete Sonnenwärme zurückgewonnen.

III. Magnetismus.

Schon im Altertume hatte man bei Magnesia in Kleinasien am Magneteisenstein beobachtet, daß er kleine Eisenstücke anzog und festhielt; auch Magnetkies ist dazu befähigt. Diese Erze sind natürliche Magnete.

Künstliche Magnete erhält man durch:

1. magnetische Verteilung.
2. elektrische Ströme.
3. Erdmagnetismus.

Die magnetische Verteilung wird in einem Stahlstab dadurch hervorgerufen, daß man ihn nach einer der verschiedenen Strichmethoden mit einem kräftigen Magneten streicht. Dabei erhält der neue Magnet an seinen Enden den Pol, welcher dem Pol des streichenden Magneten entgegengesetzt ist. Läßt man den elektrischen Strom durch einen isolierten Kupferdraht in vielen Windungen um einen Eisen- oder Stahlstab fließen, so erhält man tragkräftige Elektromagnete.

Auch durch den Erdmagnetismus wird magnetische Verteilung erreicht. Senkrecht hängende Eisen- und Stahlstäbe, eiserne Rohrleitungen werden mit der Zeit magnetisch, zumal wenn sie erschüttert werden – Magnetismus der Lage.

Wird ein Magnetstab gleichmäßig mit Eisenspänen bestreut und aufgerichtet, so bleiben diese nur an den Enden, nicht in der Mitte des Magneten hängen (Fig. 66). Man nennt die Enden die Pole, die Mitte die indifferente Zone des Magneten.

Nach ihren äußeren Formen unterscheidet man Stab-, Hufeisen- und Nadelmagnete. Da bei dem Hufeisenmagneten gleichzeitig zwei Pole anziehend wirken, so ist ihre Tragkraft erheblich größer als die eines gleich starken Stabmagneten. Die Kraft eines Magneten läßt allmählich nach, wenn er nicht gebraucht wird, sie bleibt durch Verbindung eines oder beider Pole mit einem Eisenstück, „Anker“, erhalten.

Hängt man einen Stabmagnet an einem Faden horizontal beweglich auf, oder läßt man eine Magnetnadel in der wagerechten Ebene schweben, so zeigt das eine Ende stets nach Norden, das andere nach Süden. Das nach Norden zeigende Ende nennt man den Nordpol, das andere den Südpol des Magneten. Schwebt die Magnetnadel über einem Kreise, der in 360 Grade oder in 24 Stunden oder in 32 Strich eingeteilt ist, oder über einer Windrose, so erhält man einen Kompaß. Mit Hilfe des Cardanischen Ringes bleibt der Kompaß trotz des Stampfens und Rollens des Schiffes in der wagerechten Lage, so daß man mit ihm die Himmelsrichtungen feststellen kann.



Fig. 66.

Unmagnetisches Eisen und ein Magnet ziehen einander an und zwar auch dann, wenn sie durch andere Körper — Papier, Glas, Holz, aber nicht Eisen, getrennt sind.

Nähert man die Nordpole zweier beweglicher Magnete einander, so stoßen sie sich ab; dasselbe ist auch bei den Südpolen der Fall. Dagegen zieht der Nordpol des einen Magneten den Südpol des anderen an und umgekehrt. Gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige Pole ziehen sich an.

Legt man zwei Magnete mit ihren gleichen Polen aufeinander, so verstärkt sich ihre Tragkraft. Daher setzt man Magnete aus vielen dünnen magnetischen Blättern zusammen. Bringt man zwei gleich starke Magnete mit den ungleichnamigen Polen aufeinander, so heben sie sich in ihrer Wirkung auf und besitzen keine Anziehungskraft mehr.

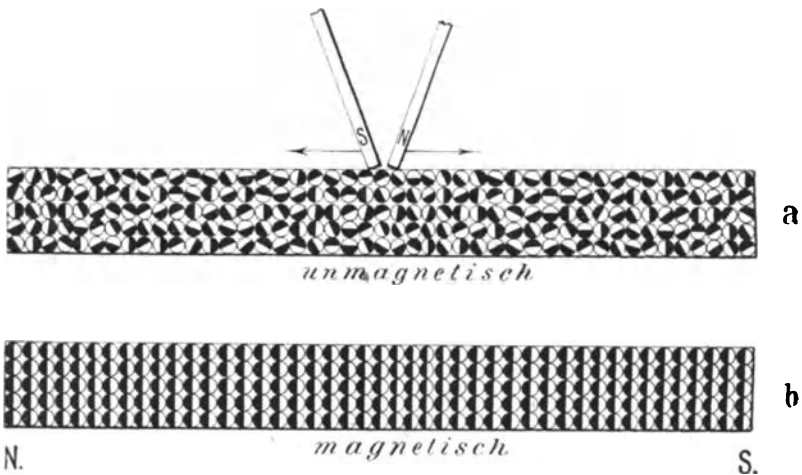


Fig. 67.

Zerbricht man einen magnetischen Stab (magnetische Stricknadel), so ist jedes, auch das kleinste Stück wieder ein Magnet mit Nord- und Südpol. Deshalb nimmt man an, daß jeder Magnet sich aus einer Reihe von sehr kleinen, gleich gerichteten Magneten (Molekularmagneten) aufbaut.

Den Raum, innerhalb dessen sich die magnetischen Kräfte bemerkbar machen, nennt man magnetisches Feld. Dasselbe wird sichtbar, wenn man z. B. über die beiden Pole eines Hufeisenmagneten ein Blatt steifes Papier hält und Eisenfeilspäne darauf siebt; sie ordnen sich in Bogenlinien, welche magnetische Kraftlinien heißen.

Im magnetischen Feld wird ein Stück Eisen selbst zu einem Magnet. Jeder Magnetpol erregt in dem genäherten Ende eines Eisenstückes den ungleichnamigen, im abgewandten Ende den gleichnamigen Pol.

Auch im unmagnetischen Eisen ist Magnetismus vorhanden, der aber wirkungslos bleibt, da die Molekularmagnete wirt durcheinander liegen und sich in ihrer Wirkung aufheben (Fig. 67a). Beim Streichen

mit einem Magneten findet ein Ausrichten der Molekularmagnete derart statt, daß die Nordpole durch den Südpol des Magneten nach der einen Seite, die Südpole durch den Nordpol nach der anderen Seite gestellt werden (Fig. 67b). Infolge der gegenseitigen Anziehung der ungleichnamigen Pole in der Mitte erscheint diese indifferent, während die Wirkung der freien Pole an den Enden zur Geltung kommt.

Die Erde ist selbst ein Magnet. Ihre nördliche Hälfte besitzt Südmagnetismus, die südliche Nordmagnetismus. Hat sich die Magnetnadel nach einigen Schwingungen eingestellt, so bezeichnet die durch ihre Achse gelegte senkrechte Ebene den magnetischen Meridian.

Die Achse des Erdmagneten fällt nicht mit der geographischen Süd-nordlinie zusammen, sie weicht z. B. in Deutschland um $6-12^\circ$ nach Westen ab. Diesen Winkel nennt man Mißweisung oder magnetische Deklination. In Europa, Afrika, auf dem Atlantischen Ozean ist sie westlich, auf der übrigen Erdhälfte östlich. Die Mißweisung ist an verschiedenen Orten verschieden. Kennt man die Deklination für einen bestimmten Ort, so kann man ihre Einstellung am Kompaß zur Auffindung des geographischen Meridians benutzen. Deshalb hat man die Orte gleicher Abweichung auf der Deklinationskarte verzeichnet und durch Kurven (Isogonen) verbunden. Geht man von einer Linie südöstlich von St. Petersburg, welche keine Mißweisung zeigt, nach Westen, so nimmt die Deklination zunächst zu, dann wieder ab, um im östlichen Amerika wieder Null zu werden.

Auch aus ihrer wagerechten Lage wird eine Magnetnadel abgelenkt, wenn sie sich um eine horizontale Achse drehen kann und auf den magnetischen Meridian eingestellt ist. Der Winkel, welcher die Ablenkung von der wagerechten Ebene angibt, wird magnetische Inklinatation genannt. Auf der nördlichen Erdhälfte neigt sich die Magnetnadel mit ihrem Nordpol nach abwärts und steht im magnetischen Südpol auf der Insel Boothia Felix (Nordamerika) senkrecht. In unseren Gegenden beträgt der Inklinationswinkel 66° . Auf der südlichen Erdkugel neigt sich das Südende der Nadel nach abwärts, in der Gegend des magnetischen Nordpols (im Süden von Van Diemensland) senkrecht. In der Nähe des geographischen Äquators bleibt die Inklinationsnadel in ihrer wagerechten Lage.

Man unterscheidet tägliche, jährliche, säkulare und plötzliche Änderungen (Variationen) im magnetischen Zustande der Erde.

Tägliche Änderungen bewirken z. B. in Europa, daß sich das Nordende der Nadel von morgens 7 Uhr bis gegen 2 Uhr nachmittags nach Westen bewegt und dann bis gegen 10 Uhr abends in die alte Lage zurückkehrt. Nachts sind die Schwankungen nur gering, tagsüber erheblicher, im Sommer größer als im Winter. Auch die Inklinatation ist am Vormittage größer als am Nachmittage.

Die jährlichen Änderungen zeigen sich darin, daß die Deklination jährlich um 10 Minuten abnimmt. In Bochum betrug die Deklination 1913 rund $11^\circ 31'$, 1918 $10^\circ 40'$.

Infolge der **säkularen Änderungen** nimmt die westliche Deklination allmählich ab, wird eine östliche und kehrt wieder in eine westliche um.

Plötzliche und unregelmäßige Veränderungen treten bei Erdbeben, vulkanischen Ausbrüchen und magnetischen Gewittern (Nordlicht) ein.

Die täglichen Änderungen der Magnetnadel sind für den Marscheider von großer Wichtigkeit; sie werden in der magnetischen Warte durch Registrierapparate aufgezeichnet und den Zechen zugänglich gemacht.

IV. Elektrizitätslehre.

Reibungselektrizität.

Reibt man eine Glas- oder Siegellackstange mit einem wollenen Lappen, so werden sie dadurch befähigt, leichte Körper, wie Papierschnitzel, Holundermarkkugeln anziehen und nach der Berührung abzustößen. Dieses Verhalten geriebener Stoffe beobachtete bereits

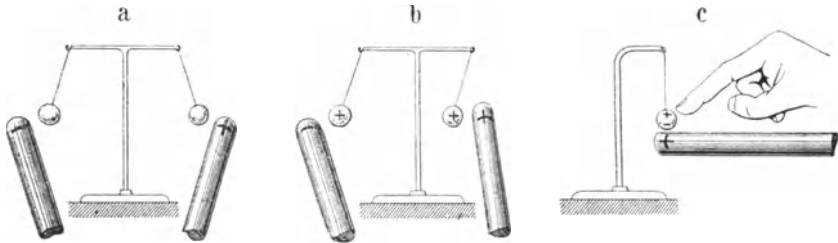


Fig. 68.

der griechische Philosoph Thales von Milet (600 v. Chr.) an Bernstein (Elektron).

Um die Anziehung und Abstoßung geriebener Stoffe zu zeigen, bedient man sich eines am Seidenfaden frei aufgehängten Markkugelchens, des elektrischen Pendels. Nähert man diesem einen geriebenen Glasstab, so wird das Kugelchen angezogen (Fig. 68a rechts) und nach der Berührung abgestoßen (Fig. 68b rechts). Von einem geriebenen Hartgummistab wird das Holunderkugelchen dann angezogen (Fig. 68b, links).

In gleicher Weise wird ein geriebener Hartgummistab ein Markkugelchen erst anziehen und dann abstoßen; von einem geriebenen Glasstab wird das Kugelchen dann angezogen.

Nach diesen und ähnlichen Versuchen unterscheidet man Glas- und Harzelektrizität; die Glaselektrizität nennt man auch positive (+), die Harzelektrizität negative (−) Elektrizität. Das elektrische Pendel nimmt durch die Berührung dieselbe Elektrizität an, welche der Glas- oder Hartgummistab hat. Gleichnamige Elektrizitäten stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an (Fig. 68b).

Durch Reiben aneinander erlangt jeder in der nachstehenden Reihe vorhergehende Stoff positive Elektrizität, jeder folgende negative.

Pelz, Glas, Wolle, Papier, Seide, Harz, Schwefel.

Das Holunderkugelchen ist nach der Berührung mit einem geriebenen Glas- bzw. Hartgummistab positiv bzw. negativ elektrisch geladen; es bleibt elektrisch, wenn es mit einem unelektrischen Glas- oder Hartgummistab berührt wird, es verliert seine Elektrizität, wenn es mit der Hand angefaßt wird. In diesem Falle wird seine Elektrizität zur Erde abgeleitet, was auch geschieht, wenn das Kugelchen an einem Leinenfaden oder Metalldraht hängt. Es gibt gute Leiter, Halbleiter und Nichtleiter der Elektrizität.

Gute Leiter sind die Metalle in der Reihenfolge, wie wir sie bei der Wärmeleitung kennen gelernt haben; auch Kohle, Säuren und Salze gehören dazu.

Trockenes Holz, Papier, Stroh, Marmor und der menschliche Körper sind **Halbleiter**.

Nichtleiter (Isolatoren) sind die fetten Öle, Metalloxyde, Porzellan, Kautschuk, Seide, Federn, Haare, Wolle, Glas, Paraffin, Wachs, Schwefel, Harze und trockene Luft.

In Leitern bewegt sich die Elektrizität mit großer Geschwindigkeit. In Nichtleitern bleibt sie an der Entstehungsstelle.

Man kann die Elektrisierung eines Körpers auch durch elektrische Verteilung erreichen. Zu diesem Zwecke nähert man einen positiv geladenen Glasstab einem am Seidenfaden hängenden Holunderkugelchen; es wird angezogen. Wird das Kugelchen, ohne daß der Glasstab entfernt wird, kurz mit dem Finger berührt (Fig. 68c), so ist es negativ elektrisch geladen; es wird von einem geriebenen Hartgummistab abgestoßen. Seine elektrische Ladung hat das Kugelchen durch Influenz (Einfluß, Verteilung) erhalten. Man nimmt an, daß jeder Körper von Natur aus, in gleichen Mengen positive und negative Elektrizität besitze, so daß er unelektrisch erscheint. Genäherte elektrische Körper bewirken eine elektrische Verteilung, so daß die negative Elektrizität des Holunderkugelchen von dem Glasstab angezogen und festgehalten, die positive Elektrizität abgestoßen und durch den Finger zur Erde abgeleitet wird. Beim Reiben von Pelz und Schwefel geht die positive Elektrizität auf den Pelz, die negative auf den Schwefel. Es ist aber unmöglich, z. B. positive Elektrizität zu erregen, ohne gleichzeitig ebensoviel negative hervorzurufen.

Auf elektrischer Verteilung beruhen die Elektrisiermaschinen. In der Reibungselektrisiermaschine wird z. B. beim Drehen der Scheibe das Glas positiv, das Reibkissen (Leder mit Zinkamalgam) negativ elektrisch. Die Elektrizität des Reibzeugs und der Scheibe wird auf Metallkugeln (Konduktoren) gesammelt, welche durch Glassäulen isoliert sind. Will man mit der positiven Elektrizität der Scheibe Versuche machen, so leitet man die negative Elektrizität des Reibkissens durch eine Metallkette zur Erde ab.

Verbindet man beide Konduktoren durch einen Leiter, so fließt ein elektrischer Strom vom positiven zum negativen Pol. Werden die beiden Konduktoren einander genähert, so gleichen sich die Elektrizitäten durch einen überspringenden Funken aus; das Gewitter stellt eine solche Entladung im Großen dar. Der Blitz entsteht nämlich

durch den plötzlichen Ausgleich der hochgespannten Elektrizitäten zweier Wolken oder einer Wolke und der Erde. Der Blitz ist vom Donner wie der Funke der Elektrisiermaschine vom Knall begleitet; der Donner entsteht durch die heftige Erschütterung der Luft, welche erst verdrängt wird und dann wieder zusammenschlägt. Multipliziert man die Sekundenzahl zwischen Wahrnehmung von Blitz und Donner mit 340, so erhält man ungefähr die Entfernung des Gewitters in Metern.

Man unterscheidet Linien-, Flächen- und Kugelblitze.

Versieht man den Konduktor einer Elektrisiermaschine mit einer Metallspitze und stellt eine Flamme davor, so wird diese durch die ausströmende Elektrizität zur Seite geblasen. Die Wirkung der Spitze besteht in einem ununterbrochenen Ausströmen bzw. Einströmen der Elektrizität, so daß eine Ausgleichung erfolgt, bevor sich ein großer Spannungsunterschied gebildet hat. In dem Blitzableiter versuchte Franklin (1752) dieses Verhalten der Spitzen auszunutzen, was aber nur unvollkommen geschah. Vielmehr liegt die Hauptwirkung des Blitzableiters darin, daß er den einschlagenden Blitz zur Erde ableitet; deshalb ist er durch einen guten Leiter mit einer Kupferplatte verbunden, die in der feuchten Erde verlegt ist. Alle größeren Metallmassen des Gebäudes, Gas- und Wasserleitungen, müssen sich an die Erdleitung des Blitzableiters angeschlossen sein. Der Blitz trifft meist hohe und einzeln stehende Gegenstände, welche gute Leiter der Elektrizität sind.

Das Ausströmen der Elektrizität aus Spitzen ist mit einer büscheligen Lichterscheinung verbunden, was man gelegentlich nachts an Blitzableitern, Windfahnen, Kronen der Bäume, Masten der Schiffe (St. Elmsfeuer) beobachten kann. Auch das Polarlicht ist eine elektrische Entladungserscheinung der Atmosphäre — magnetisches Gewitter.

Berührungselektrizität.

Galvanische Elemente.

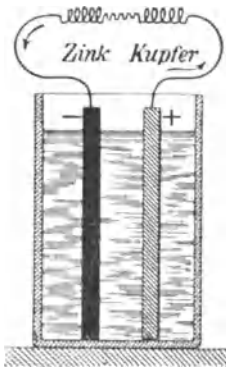


Fig. 69.

Taucht man in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Glas eine Kupfer- und eine Zinkplatte so, daß beide in der Flüssigkeit sich nicht berühren, und verbindet die hervorragenden Enden beider Platten durch einen Kupferdraht, so wird durch die Berührung der Metallplatten mit der Säure elektrische Verteilung hervorgerufen. In der Flüssigkeit geht der Strom vom Zink zum Kupfer, außerhalb läuft der Strom vom Kupfer zum Zink (Fig. 69). Das hervorragende Ende der Kupferplatte heißt der positive (+) Pol oder die Anode, das andere (Zink) der negative (−) Pol oder die Kathode. Sind die beiden Pole durch einen Leitungsdraht verbunden, so heißt der Strom geschlossen; ist der Leitungsdraht unterbrochen, so

ist der Strom geöffnet, d. h. er ist nicht vorhanden. Eine solche Verbindung von Metallen mit elektrizitätserregenden Flüssigkeiten nennt man ein galvanisches Element.

Der Entdecker der Berührungselektrizität war Volta (1794). Er wies nach, daß die Beobachtung des Anatomen Galvani (1792) an frisch präparierten Froschschenkeln, welche Zuckungen ausführten, wenn sie mit einem kupfernen Haken an einem eisernen Gitter hingen, mit der durch die Berührung der beiden verschiedenen Metalle Kupfer und Eisen entstandenen Elektrizität zu deuten wäre. Die Froschschenkel waren lediglich Anzeiger und nicht Erreger der Elektrizität.

Statt des Zinks und Kupfers, können auch andere Metalle für ein galvanisches Element gewählt werden. Dabei ist die elektrizitätserregende oder elektromotorische Kraft um so größer, je weiter die beiden verschiedenen Metalle in der von Volta aufgestellten Spannungsreihe auseinander stehen:

Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin (Kohle).

Jedes vorhergehende Metall mit einem folgenden berührt, nimmt positive, jedes folgende mit einem vorhergehenden negative Elektrizität an. Der Spannungsunterschied der Metalle ist um so größer, je stärker die Flüssigkeit auf das Metall zersetzend einwirkt. Infolge des Spannungsunterschiedes fließt der elektrische Strom in der Richtung vom positiven zum negativen Pol. Die Spannung ist bei gleichartigen Elementen immer gleich groß; so zeigt sowohl das Leclanché-Element, als auch seine zum Betriebe von Taschenlampen benutzte Zwergform eine Spannung von 1,4 Volt. Die Spannung ist demnach nur von der Natur der Stoffe, nicht von ihrer Menge abhängig.

Das oben beschriebene Volta-Element (Zink-Kupfer-Schwefelsäure) wirkt jedesmal nur kurze Zeit — inkonstante Elemente. Das Wasser in ihm wird durch den elektrischen Strom in Sauerstoff und Wasserstoff zerlegt. Der Wasserstoff setzt sich an das Kupfer und verhindert die Erregung von Elektrizität, indem er einen den Hauptstrom schwächenden, sogenannten Polarisationsstrom hervorruft.

Konstante Elemente erhält man dadurch, daß man diejenige Platte, an welcher sich der Wasserstoff entwickelt,

1. mit Sauerstoff umgibt (Salpetersäure, Chromsäure, Braunstein), der sich mit dem Wasserstoff sofort zu Wasser vereinigt;
2. aus Kupfer wählt und in Kupfervitriollösung stellt, aus welcher sich statt Wasserstoff Kupfer abscheidet.

Bunsen-Element. Zink in verdünnter Schwefelsäure, Kohle in konzentrierter Salpetersäure. Eine Tonzelle bewirkt die Trennung der beiden Säuren, wird aber durchtränkt und dadurch leitend. 1,8 Volt.

Daniell-Element. Zink in verdünnter Schwefelsäure, Kupfer in gesättigter Kupfervitriollösung. Die beiden Flüssigkeiten sind durch eine Tonzelle getrennt; durch ein in das Glas gehängtes Säckchen mit Kupfervitriol wird der Kupfergehalt der Lösung trotz Abscheidung von Kupfer erhalten. 1,1 Volt.

Meidinger-Element. Zink in Bittersalzlösung, Kupfer in Kupfervitriollösung. Das größere spezifische Gewicht der unten befindlichen

Kupferlösung genügt, einer Vermischung der beiden Salzlösungen vorzubeugen. 1,1 Volt. Anwendung in der Telegraphie.

Leclanché-Element. Zink in Salmiaklösung, braunsteinhaltige Kohle in einer Tonzelle. 1,4 Volt. Dient besonders für Klingelanlagen.

Trockenelemente besitzen die Flüssigkeiten in breiartigem Zustande.

Spannung. Stromstärke. Widerstand.

Ein Bild von der elektrischen Stromleitung gibt das Wasser, welches infolge des Höhenunterschiedes zwischen den beiden Behältern (Fig. 70) die Rohrleitung durchfließt.

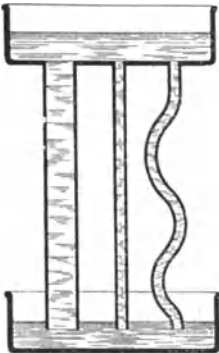


Fig. 70.

Mit dem Gefälle oder dem Druckunterschied zwischen dem oberen und unteren Wasserspiegel ist die Spannung zu vergleichen, durch welche die Elektrizität bewegt wird. Die Einheit der Spannung ist das Volt = V . Ein Volt Spannung besitzt ungefähr das Meidinger-Element. Für Beleuchtungsanlagen kommen 110 oder 220 Volt in Anwendung, mit 500 Volt Spannung werden elektrische Straßenbahnen betrieben.

Die Stromstärke entspricht der Wassermenge, welche die Rohrleitung in der Zeiteinheit durchfließt. Die Einheit der Stromstärke ist das Ampere = A . Ein Ampere ist z. B. zum Betriebe einer 32-kerzigen Glühlampe bei einer Spannung von rund 110 Volt erforderlich.

Auch das Strömen des Dampfes durch die Rohrleitung des Dampfkessels und das Fließen der Wärme bei Temperaturunterschieden eines oder zweier sich berührender Körper gibt einen guten Vergleich mit der elektrischen Stromleitung.

Ähnlich wie bei unveränderlicher Wasserhöhe die Wassermenge umso schwächer wird, je enger und je länger die Rohrleitung und je größer die Reibung in derselben ist — der Widerstand des linken Rohres (Fig. 70) ist am kleinsten, der des rechten am größten — ebenso setzen die vom elektrischen Strom durchflossenen Leiter demselben Widerstand entgegen.

Dieser Widerstand ist um so größer, je kleiner der Querschnitt des Leiters und je länger der Leiter ist. Außerdem ist der Widerstand noch von dem Stoffe des Leitungsmaterials abhängig, indem z. B. Kupfer unter sonst gleichen Bedingungen den Strom sechsmal leichter als Eisen leitet. Die elektrische Leitfähigkeit der Metalle ist der Wärmeleitfähigkeit proportional.

Die Einheit des Widerstandes ist das Ohm (Ω). Ein Ohm ist gleich dem Widerstande, den eine Quecksilbersäule von 106,3 cm Länge und 1 qmm Querschnitt bei 0° dem Strome entgegensetzt.

Die Flüssigkeiten leiten den Strom viel schlechter als Metalle, angesäuertes Wasser viel besser als reines.

Der Widerstand eines Stromkreises ist zusammengesetzt

1. aus dem Widerstande der Flüssigkeit innerhalb des Elementes — der innere Widerstand (W_i);
2. aus dem Widerstande der äußeren Leitung — der äußere Widerstand ($W_ä$).

Der innere Widerstand eines Elementes ist um so kleiner, je größer seine Metallplatten sind und je näher sie aneinander stehen. Für die am häufigsten gebrauchten Elemente beträgt der innere Widerstand 0,1—0,6 Ohm.

Der äußere Widerstand umfaßt den Leitungsdraht und die an ihn angeschlossenen Apparate.

Ohmsches Gesetz und Schaltung.

Die Stromstärke, die Menge des durchfließenden Stromes, ist um so größer, je größer die Spannung und je kleiner der Widerstand der Leitung ist.

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand}}. \quad \text{Ampere} = \frac{\text{Volt}}{\text{Ohm}}.$$

$$J = \frac{E}{W}. \quad J = \frac{E}{W_i + W_ä}$$

Will man mehrere Elemente gleichzeitig gebrauchen, so vereinigt man sie zweckmäßig zu Batterien, indem man sie hintereinander, nebeneinander oder gruppenweise schaltet.

Bei der **Hintereinanderschaltung** verbindet man den positiven Pol jedes Elementes mit dem negativen des folgenden, so daß von dem

ersten Element der negative und von dem letzten der positive Pol zur Entnahme des Stromes freibleibt (Fig. 71a). Da bei der Hintereinanderschaltung jedes Element für sich bestehen bleibt, so wächst die Spannung und der innere Widerstand mit der Zahl (n) der Elemente.

$$1) \quad J = \frac{n \cdot E}{n \cdot W_i + W_ä}$$

Bei der **Nebeneinanderschaltung** oder **Parallelschaltung** werden sämtliche positiven Pole unter sich und sämtliche negativen Pole unter sich in leitende Verbindung gesetzt (Fig. 71b). In diesem Falle wirken alle verbundenen Elemente (m) zusammen wie ein einziges Element mit m -mal vergrößerter Plattenoberfläche, also mit m -mal kleinerem inneren Widerstande. Da die Spannung nur von der Art der Platten, nicht von ihrer Größe abhängt, so bleibt sie unverändert.

$$2) \quad J = \frac{E}{\frac{W_i}{m} + W_ä}$$

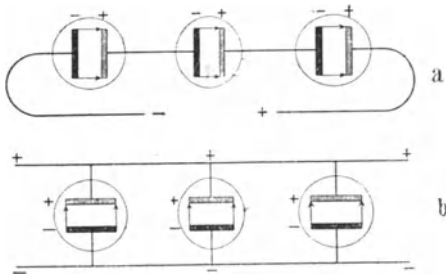


Fig. 71.

Bei der **Gruppenschaltung** schaltet man einen Teil (n) der Elemente hintereinander und derartig hintereinander geschaltete Gruppen (m) nebeneinander.

$$3) \quad J = \frac{n \cdot E}{\frac{n \cdot W_i}{m} + W_{\ddot{a}}}$$

Aufgabe: Welche Stromstärken lassen sich durch verschiedene Schaltungen von 6 Elementen herstellen. wenn bei jedem die Spannung $E = 1,9$ Volt, der innere Widerstand $W_i = 0,24$ Ohm beträgt und ein Leitungswiderstand $W_{\ddot{a}} = 5$ Ohm vorhanden ist ?

1) 6 Elemente hintereinander.

$$J = \frac{6 \times 1,9}{6 \times 0,24 + 5} = 1,77 \text{ A.}$$

2) 6 Elemente nebeneinander.

$$J = \frac{1,9}{\frac{0,24}{6} + 5} = 0,38 \text{ A.}$$

3) je 3 Elemente hintereinander, 2 nebeneinander.

$$J = \frac{3 \times 1,9}{\frac{3 \times 0,24}{2} + 5} = 1,06 \text{ A.}$$

4) je 2 Elemente hintereinander, 3 nebeneinander.

$$J = \frac{2 + 1,9}{\frac{2 \times 0,24}{3} + 5} = 0,73 \text{ A.}$$

Ist der äußere Widerstand im Vergleich zum inneren groß, dann wählt man zweckmäßig die Hintereinanderschaltung, z. B. bei der Telegraphie.

Ist nun der äußere Widerstand groß, so daß man W_i und um so mehr $\frac{W_i}{m}$ gegen $W_{\ddot{a}}$ weglassen kann, so wird $J = \frac{E}{W_{\ddot{a}}}$, d. h. bei sehr großem äußeren Widerstande (im Verhältnis zu W_i) leistet ein Element dasselbe wie viele Elemente, welche nebeneinander geschaltet sind.

Den stärksten Strom erhält man, wenn man die Elemente so schaltet, daß der innere Widerstand dem äußeren möglichst gleich wird. Dabei geht aber nur die Hälfte des Stromes in die äußere Leitung (Nutzstrom), die andere Hälfte durch die Batterie.

Leistung und Verbrauch.

Die Einheit des elektrischen Verbrauchs und der elektrischen Leistung ist das Watt, das Produkt aus Stromstärke und Spannung. Elektrische Leistung = Stromstärke \times Spannung = Ampere \times Volt. In der Technik wird gewöhnlich der 1000fache Wert des Watt, das Kilowatt, gewählt. 1 Pferdekraft (PS) ist gleich 0,736 Kilowatt. Vom elektrischen Verbrauch, z. B. einer Glühlampe spricht man, wenn es sich um die Aufnahme von Watt handelt. Für eine 32kerzige Kohlen-

fadenglühlampe beträgt die Stromstärke bei 110 Volt Spannung etwa 1 Ampere, die Lampe verbraucht demnach $110 \times 1 = 110$ Watt.

Von der elektrischen Leistung z. B. einer Gleichstrommaschine spricht man, wenn Watt abgegeben werden, von mechanischer Leistung z. B. eines Elektromotors, wenn es sich um seine Leistung handelt. Ein Elektromotor verbraucht z. B. 8,2 Kilowatt und leistet 10 Pferdestärken.

Die elektrische Arbeit wird berechnet durch Multiplikation der Leistung in Kilowatt mit der Zeitdauer der Leistung; ihre Einheit ist die Kilowattstunde. Die 32kerzige Glühlampe verbraucht in der Stunde rund 100 Watt = 0,1 Kilowatt; nach zehnstündigem Betriebe ist ihr Verbrauch = $0,1 \times 10 = 1$ Kilowattstunde. Beim Anschluß an das Stromverteilungsnetz eines Elektrizitätswerkes erfolgt die Bezahlung nach den Kilowattstunden, die vom Elektrizitätszähler angezeigt werden.

Wärmewirkungen des elektrischen Stromes.

In gleicher Weise, wie beim Reiben, Sägen usw. infolge des zu überwindenden Widerstandes Wärme entsteht, findet auch in den von Elektrizität durchströmten Leitern Erwärmung statt. Die entwickelte Wärme ist um so größer, je höher der Widerstand, die Stromstärke und die Zeit der Einwirkung ist. Nach dem Gesetze von Joule ist die entwickelte Wärmemenge dem Widerstande des Leiters, dem Quadrat der Stromstärke und der Dauer des Stromes proportional. Ein Strom von 1 Ampere, der in einem Widerstande von 1 Ohm 1 Sekunde fließt, entwickelt 0,24 Kalorien. Daher ist

$$1) \text{ Kal.} = 0,24 W \cdot J^2 \cdot t.$$

Die Wärmemenge ist auch proportional dem Produkt aus Stromstärke und Spannung, was sich ergibt, wenn man in die Formel von Joule statt eines J dessen Wert $= \frac{E}{W}$ einsetzt:

$$2) \text{ Kal.} = 0,24 E \cdot J \cdot t.$$

Aufgabe: Durch einen Draht von 5 Ohm Widerstand geht 20 Minuten lang ein Strom von 0,24 Ampere und 1,2 Volt; wieviel Gramm-Kalorien entstehen dabei?

$$1) = 0,24 \times 5 \times 0,24 \times 0,24 \times 20 \times 60 = 82,94 \text{ Kalorien.}$$

$$2) = 0,24 \times 1,2 \times 0,24 \times 20 \times 60 = 82,94 \text{ „}$$

Verbinde ich die beiden Pole eines Akkumulators kurze Zeit durch einen dünnen Eisendraht, so gerät er ins Glühen; bei längerem Schließen des Stromes und bei Anwendung von zwei Akkumulatoren schmilzt er durch. Schaltet man in dieselbe Leitung eine Kette von gleich langen und gleich dicken Silber- und Platinstreifen, so glühen die letzteren, während die Silberstreifen dunkel bleiben.

Anwendungen. Eine durch den Strom erwärmte Spirale aus Nickeleisen dient zum Betriebe von Öfen, Plättereien, Lötkolben usw. Zu wissenschaftlichen Untersuchungen benutzt man Widerstandsöfen

aus Platinblatt, und in der Metallurgie finden elektrische Schmelzöfen eine stetig wachsende Anwendung.

In den Glühzündern der Sprengschüsse wird die Zündmasse der Kapsel durch einen elektrisch zum Glühen gebrachten, dünnen Draht zur Detonation gebracht.

Mit Hilfe einer durch den elektrischen Strom zum Glühen gebrachten Platinschlinge schneidet der Arzt Wucherungen und Geschwüre weg.

Zur Vermeidung von „Kurzschluß“ schaltet man in die Leitung als Sicherung ein kurzes Stück Bleidraht ein, welches bei zu starkem Strom durchschmilzt und den Strom unterbricht,

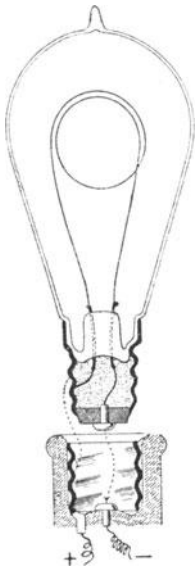


Fig. 72.

so daß die Leitung vor Zerstörung und das Gebäude vor Brand geschützt werden. Das Leuchten der Kohlenfadenglühlampe (Edison 1879) erfolgt durch das Glühen des vom Strom durchflossenen Kohlenfadens, der in einer luftleeren Glasbirne eingeschlossen ist (Fig. 72). Die Fassung dient zur Befestigung der Lampe und zum Anschluß an die stromführende Leitung; sie besitzt Gewindegang, in welchen das Gewinde der Lampe eingeschraubt wird. Die am meisten gebräuchlichen Lampen verbrauchen 3–3,5 Watt für die erzeugte Hefnerkerze (Lichteinheit), die 16kerzigen Lampen demnach 50–55 Watt. Die Lichtstärke der Kohlenfadlampen nimmt nach längerer Brenndauer rasch ab, so daß die Kosten für ihren Betrieb erheblich steigen. Auer von Welsbach ersetzte den Kohlenfaden durch Drähte aus Osmium, Wolfram und Osram, und Siemens-Halske durch Tantaldrähte; solche Metallfadenlampen erleiden im Verlaufe ihres Gebrauchs kaum Einbuße an Leuchtkraft. In der Nernstlampe

wird ein aus Metalloxyden, z. B. Magnesia, hergestelltes Stäbchen, welches zunächst durch einen Heizkörper erhitzt und dadurch leitend gemacht ist, vom Strom durchflossen und in Weißglut gehalten. Die Glühlampen werden fast ausschließlich parallel geschaltet, da bei der Hintereinanderschaltung durch Beschädigung einer Lampe der Stromkreis unterbrochen würde.

Läßt man den elektrischen Strom durch zwei sich mit ihren Spitzen berührende Stäbchen aus Retortenkohle fließen und entfernt sie dann etwas voneinander, so entsteht zwischen ihnen ein äußerst helles Licht, das elektrische Bogenlicht. Es wird aus losgerissenen, in Weißglut befindlichen Kohleteilchen gebildet, welche einen Leiter von hohem Widerstand darstellen (Davy 1821). In den hierauf beruhenden Bogenlampen werden die Kohlen durch automatische Regeler immer in gleicher Entfernung gehalten. Da die positive Kohle doppelt so schnell wie die negative abbrennt, hat man sie doppelt so dick gewählt. Das

Bogenlicht ist wirtschaftlicher als das Glühlicht und dient zur Beleuchtung großer Hallen, Säle und Geschäftsräume; zur Erzeugung geringerer Helligkeit ist es nicht geeignet. In der hohen Glut (3000°) des Bogenlichts schmilzt Platin wie Wachs, und Diamant verwandelt sich in Graphit.

Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes.

Läßt man den elektrischen Strom durch einen Platindraht fließen, so erwärmt er sich: elektrische Energie wird in Wärmeenergie verwandelt. Schickt man dagegen den elektrischen Strom durch angesäuertes Wasser, so wird zwar auch elektrische Energie in Wärme umgewandelt, aber gleichzeitig das Wasser chemisch verändert. Am negativen Pol scheidet sich die doppelte Raummenge Wasserstoff wie am positiven Pol Sauerstoff ab (Fig. 102).

Wie das Wasser werden auch alle Flüssigkeiten zersetzt, die imstande sind, den elektrischen Strom zu leiten, die Säuren und Basen, die Salze in wässriger Lösung und im geschmolzenen Zustande. Dabei erscheint am negativen Pole immer Wasserstoff oder ein Metall, am positiven Pol Sauerstoff, Chlor u. a.

Die Zersetzung eines Körpers durch den elektrischen Strom nennt man Elektrolyse, die leitenden Flüssigkeiten Elektrolyte.

Die Mengen der in der Zeiteinheit ausgeschiedenen Stoffe wachsen in demselben Maße wie die Stromstärke und verhalten sich wie die chemischen Äquivalentzahlen (Faraday 1833).

Ein Strom von 1 Ampere in der Sekunde (1 Coulomb) scheidet aus Wasser 0,01038 mg Wasserstoff,

Silbernitrat $0,01038 \cdot \frac{108}{1} = 1,12$ mg Silber,

Kupfersulfat $0,01038 \cdot \frac{63,6}{2} = 0,33$ mg Kupfer ab.

Man kann also die Stromstärke durch die Menge des ausgeschiedenen Wasserstoffs, Silbers, Kupfers usw. messen.

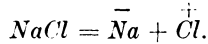
Aufgabe: Ein elektrischer Strom wurde 5 Minuten durch eine Kupfersulfatlösung geschickt; die Menge des ausgeschiedenen Kupfers betrug 104,6 mg. Wie groß ist die Stromstärke?

$$J = \frac{104,6}{0,33 \times 60 \times 5} = 1,05 \text{ Ampere.}$$

Die Elektrolyse wird auch benutzt, um leicht angreifbare oder unansehnliche Gegenstände mit einem Überzug von Zink, Kupfer, Nickel, Silber, Gold zu bekleiden (Galvanostegie); ferner zum Abformen von Abdrücken (Münzen, Kunstgegenstände, Totenmaske) auf galvanischem Wege (Galvanoplastik).

Die chemische Großindustrie bedient sich der Elektrolyse in stetig wachsendem Umfange zur Erschmelzung des Aluminiums, Magnesiums, Kalziums, Natriums und Zers, sowie von Natron, Kali, Wasserstoff, Sauerstoff, Chlor, Chloraten u. a. Da das Metall oder der Wasserstoff

immer am negativen Pol ausgeschieden werden, kann man mit Hilfe der Elektrolyse die Richtung des elektrischen Stromes, bzw. die Pole der Stromquelle bestimmen. Das Polreagenzpapier enthält Kochsalzlösung und einen Indikator. Das Kochsalz wird durch den elektrischen Strom in Chlor und Natrium gespalten.



Dieses setzt sich mit Wasser sofort zu Natronlauge und Wasserstoff um; der Indikator wird durch die Lauge z. B. purpurrot gefärbt und zeigt so den negativen Pol an.

Polarisationsstrom. Akkumulator.

Zersetzt man angesäuertes Wasser und verbindet dann die Platinplatten mit einem Multiplikator, so beobachtet man eine Ablenkung der Nadel. Da der Wasserstoff positiv, und der Sauerstoff negativ elektrisch wirkt, so entsteht ein Strom, der dem ursprünglichen entgegengesetzt ist und solange anhält, als noch die Platten mit Gas beladen sind. Dieser „Polarisationsstrom“ ist ebenfalls durch eine chemische Wirkung erzeugt, indem Wasserstoff und Sauerstoff das Bestreben haben, sich wieder zu Wasser zu vereinigen. Auf Polarisation beruhen die Akkumulatoren (Sammler). Von zwei in Schwefelsäure stehenden Bleiplatten bedeckt sich unter der Einwirkung des „Ladestroms“ die mit dem positiven Pol verbundene Platte, an der sich der Sauerstoff ausscheidet, mit braunem Bleisuperoxyd, während die mit dem negativen Pol verbundene Platte, an der sich der Wasserstoff entwickelt, metallisch rein bleibt. Man erhält so ein Element, in welchem der zum Laden benutzte Strom gleichsam gesammelt ist, so daß man ihn später daraus entnehmen kann. Durch den Ladestrom wird in dem Akkumulator eine chemische Umwandlung hervorgerufen; beim Entladen erzeugt der umgekehrte chemische Vorgang elektrischen Strom. Je nach dem Ladezustand beträgt die Spannung einer Akkumulatorzelle 2,6—1,8 Volt. Durch Hintereinanderschalten einer Anzahl von Akkumulatorzellen erhält man eine Batterie, welche zum Ausgleich von Unregelmäßigkeiten in der Stromentnahme von Maschinen dient. Der geladene Akkumulator liefert einen starken, längere Zeit konstant bleibenden Strom; durch zu weitgehende Entladung (unter 1,85 Volt) leidet seine Dauerhaftigkeit.

Ablenkende Wirkung des elektrischen Stromes auf die Magnetnadel.

Wird der elektrische Strom über, unter, neben einer Magnetnadel geleitet, so wird sie aus ihrer Richtung abgelenkt.

Schwimmerregel. Denkt man sich im elektrischen Strome schwimmend, den Kopf voran und das Gesicht der Nadel zugewendet, so liegt der abgelenkte Nordpol zur Linken.

Daumenregel. Richtet man die rechte Hand mit der Innenfläche gegen die Magnetnadel, mit den Fingerspitzen in die Stromrichtung,

so wird der Nordpol der Nadel in der Richtung des Daumens abgelenkt (Fig. 73). Auf diese Weise kann man die Pole einer Stromquelle bestimmen.

Der Ablenkungswinkel wächst mit der Zunahme der Stromstärken, so daß man diese aus dem Maß der Ablenkung ermitteln kann (Galvanometer, Multiplikator, Tangentenbussole). In dem Multiplikator wird die ablenkende Wirkung des stromdurchflossenen Leiters auf die Magnetnadel dadurch verstärkt, daß man viele, voneinander isolierte Windungen aneinander legt. Der Einfluß des Erdmagnetismus auf die Magnetnadel wird durch Anwendung einer astatischen Nadel nahezu

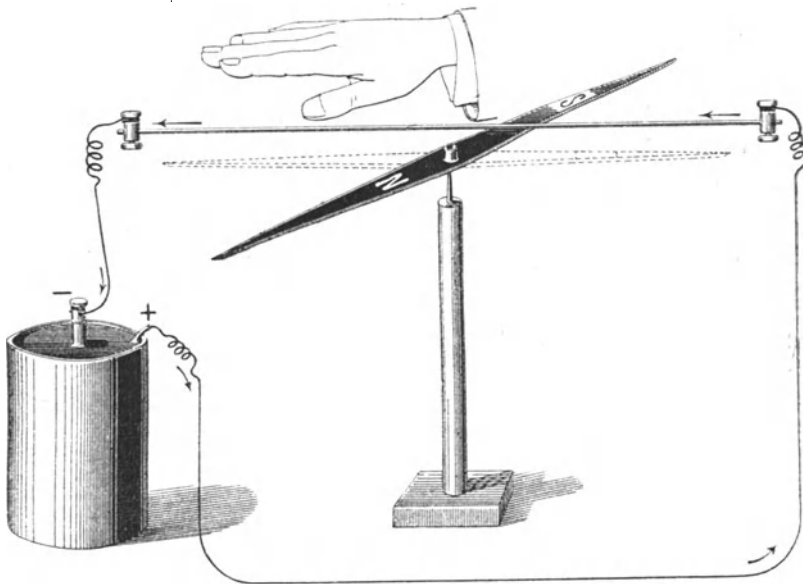


Fig. 73.

aufgehoben; sie besteht aus zwei gleichen, mit entgegengesetzten Polen parallel übereinander befestigten Magnetnadeln.

Elektromagnetismus.

Umwickelt man einen Stab aus weichem Eisen mit isoliertem Kupferdraht und schickt einen elektrischen Strom durch seine Windungen, so werden die Molekularmagnete des Eisens gerichtet; das Eisen ist magnetisch, solange ein Strom durch die Spule fließt. Hält man den Eisenstab so in der rechten Hand, daß der Strom die Richtung von der Handwurzel nach dem Mittelfinger hat, so zeigt der ausgespreizte Daumen den Nordpol des Elektromagneten an (Fig. 74).

Stecken wir einen Stab aus weichem Eisen nur ein wenig in die Höhlung einer Drahtspule hinein, dann wird er bei Schließung des Stromes kräftig in diese hineingezogen. Der elektrische Strom wirkt also nicht nur allein drehend auf die Magnetnadel, sondern er bewirkt auch unter Umständen eine fortschreitende Bewegung des Magneten.

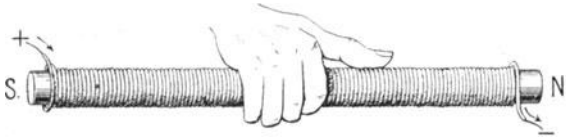


Fig. 74.

Weiches Eisen wird vorübergehend, Stahl dauernd magnetisch. Wegen ihrer großen Tragkraft dienen Elektromagnete zum Heben großer Lasten, elektrische Krane zum Transport von Roheisenmasseln und Schrott.

Auch der Telegraph ist ein Elektromagnet (Fig. 75). Wird der Taster des am meisten gebrauchten Morseschen Drucktelegraphen

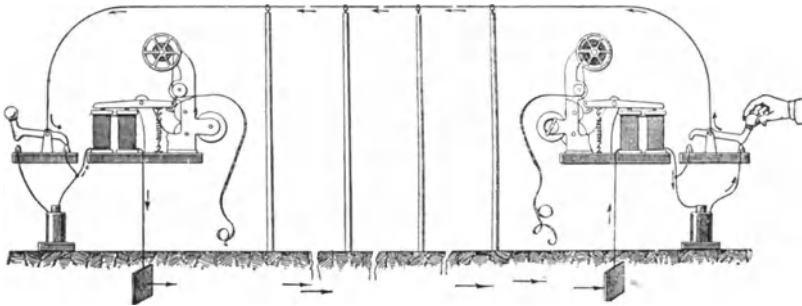


Fig. 75.

(1837) herabgedrückt, so wird der Strom geschlossen. Der mit einem Schreibstift versehene Anker des Zeichenempfängers wird dadurch angezogen und schreibt auf den Papierstreifen der durch ein Uhrwerk sich drehenden Trommel einen Strich oder einen Punkt, je nachdem der Taster längere oder kürzere Zeit herabgedrückt wird. Das Morsealphabet besteht nur aus Punkten und Strichen, die in bestimmter Reihenfolge zusammengesetzt werden. Die Leitungsdrähte haben nur den Zweck, den Strom hinzuleiten, zur Rückleitung genügt es, den anderen Pol der Batterie (auf 100 km Entfernung 20 Meidinger-Elemente) mit einer großen, in die feuchte Erde versenkten Kupferplatte zu verbinden.

Die elektrische Klingel (Fig. 76) besteht aus einem Elektromagneten, der Glocke, dem Anker und dem Stromunterbrecher. Der elektrische Strom geht von dem Element durch die Stellschraube mit Platinspitze, die Feder des Ankers mit dem Klöppel, den Elektromagneten und zum Element zurück. Sobald der Strom geschlossen ist, wird der Elektro-

magnet magnetisch und zieht den Anker mit Klöppel an. Dabei entfernt sich die Feder des Ankers von der Schraube, dadurch wird der Strom unterbrochen; der Elektromagnet wird unmagnetisch, der Anker federt zurück, wodurch der Strom wieder geschlossen wird.

In den **elektrischen Uhren** wird die Anziehungskraft eines Elektromagneten auf den Mechanismus der Uhr übertragen; man unterscheidet Hauptuhren und Nebenuhren. Bei den Hauptuhren ist der elektrische Strom allein die Triebkraft. Die Nebenuhren besitzen ein Zeigerwerk mit einem Schaltrade, welches durch den elektrischen Strom jede volle Minute um einen Zahn weiter bewegt wird. Durch eine Pendeluhr

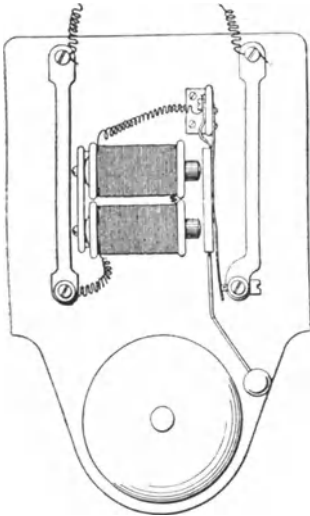


Fig. 76.

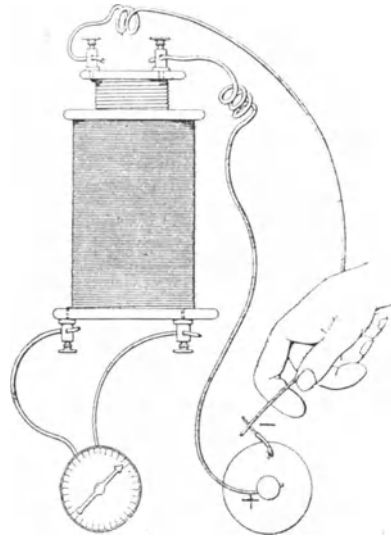


Fig. 77.

(Normaluhr) wird der Strom geschlossen und geöffnet. Die Nebenuhren sind heute als Straßen-, Bahnhofs-, Fabrik- und Hoteluhren sehr verbreitet. Elektromagnetverschlüsse dienen dazu, dem unbefugten Öffnen der Grubenlampe vorzubeugen.

Magnetinduktion.

Verbindet man die Enden einer isolierten Drahtspule mit einem Multiplikator, so schlägt sein Zeiger aus, wenn man einen Magneten in die Spule steckt. Es ist also ein elektrischer Strom in der geschlossenen Leitung entstanden; er fließt nicht, solange der Magnet in Ruhe ist. Beim Herausziehen des Magneten schlägt der Zeiger des Multiplikators nach der entgegengesetzten Seite aus. Jeder Magnet erregt in benachbarten geschlossenen Leitern durch Magnetinduktion Ströme, die man Induktionsströme nennt.

Elektroinduktion.

Wird eine stromdurchflossene Drahtspule in eine andere Spule, deren Drahtenden miteinander verbunden sind, hineingestoßen, so entsteht in dieser ein Induktionsstrom (Fig. 77). Jeder elektrische Strom erregt beim Schließen, Verstärken, Annähern in einem benachbarten, geschlossenen Leiter einen Strom von entgegengesetzter, beim Öffnen Schwächen, Entfernen einen Strom von gleicher Richtung.

Man nennt die innere stromführende Spule die induzierende, primäre oder Hauptspule, ihren Strom Primärstrom. Die äußere Spule, in welcher die Induktionsströme erregt werden, heißt die induzierte, sekundäre oder Nebenspule. Durch Vermehrung der Windungen der Nebenspule werden die Induktionsströme verstärkt, da in jeder

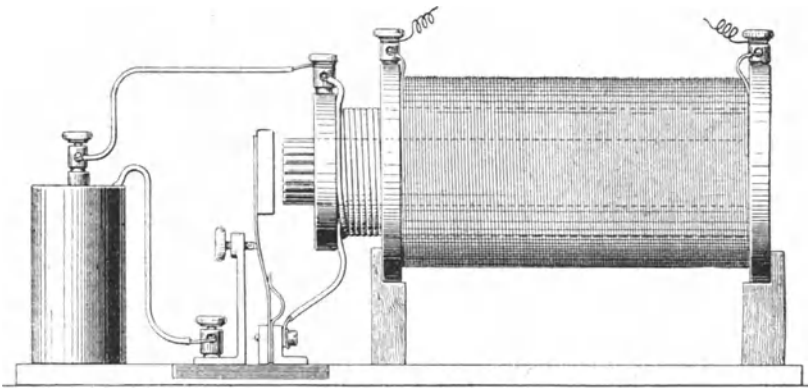


Fig. 78.

Wicklung ein Strom für sich induziert wird. Auch kann man für die Nebenspule dünnen Draht wählen, da die Stromstärke des Induktionsstromes klein ist.

Durch Vergrößerung der Stromstärke des primären Stromes wächst die Spannung des Induktionsstromes; deshalb wählt man für die Hauptspule wenige Windungen eines dicken Drahtes.

Induktionsapparat (Fig. 78). Der Widerstand der primären Spule wird durch wenige Windungen aus dickem Draht möglichst verringert; dadurch erhält man einen Primärstrom von geringer Spannung und großer Stärke. Der Widerstand der Induktionsspule wird durch Anbringen vieler Windungen von dünnem Draht erhöht; man erhält so einen Induktionsstrom von großer Spannung und geringer Stromstärke (Prinzip der Transformatoren). In der primären Spule befindet sich ein Bündel Eisendrähte, welche beim Schließen und Öffnen des Stromes abwechselnd magnetisch und unmagnetisch werden. Sie wirken dadurch in demselben Sinne induzierend auf die Nebenspule wie der primäre Strom und verstärken seine Wirkung. Der Stromunterbrecher, welcher dem der elektrischen Klingel gleich ist, bewirkt ein schnelles

Folgen von Schließen und Öffnen des Stromes. Daher erregen die Induktionsströme starke physiologische Wirkungen und werden deshalb in der Heilkunde angewandt. Die Induktionsströme dienen ferner zur Darstellung der farbenprächtigen Erscheinungen im luftverdünnten Raume (Geißler- und Röntgenröhren), Zündung von Funkenzündern und Explosionsmotoren, drahtlosen Telegraphie und zu Dynamomaschinen und Transformatoren.

Telephon.

Um die Nordspule der beiden Magnetstäbe NS und N_1S_1 (Fig. 79) sind Induktionsspulen gelegt, deren Drähte miteinander leitend verbunden sind. Vor den Nordpolen befinden sich die kreisförmigen Eisenmembranen P und P_1 , welche am Rande eingeklemmt und durch die magnetische Verteilung in der Mitte süd magnetisch, am Rande nord-

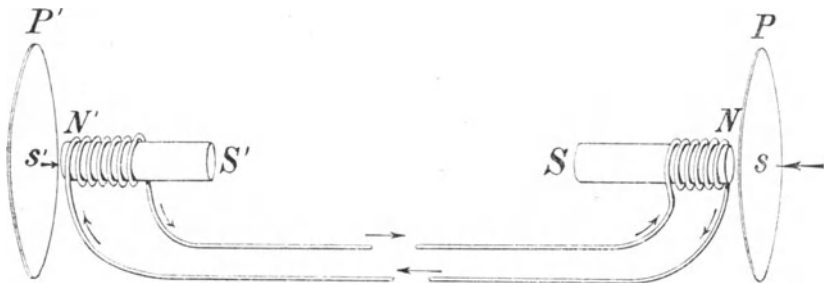


Fig. 79.

magnetisch sind. Spricht man gegen die Membran, so gerät sie in Schwingungen; sie nähert und entfernt sich von dem Nordpol. Dadurch entstehen Induktionsströme. Nähert sich die Membran P dem Magneten NS , so entsteht in der Spule ein Strom, welcher den Magneten N_1S_1 umkreist und seinen Nordpol verstärkt, so daß die Membran P_1 angezogen wird. Durch denselben Induktionsstrom wird aber der Nordpol des Magneten NS geschwächt, infolgedessen entfernt sich die Membran P wieder von dem Magneten. Nun wird auch der Magnet N_1S_1 wieder schwächer, und die Membran P_1 kehrt in ihre alte Lage zurück. Die Induktionsströme bringen also die Membran des Empfängertelephons in die gleichen Schwingungen mit der Sendermembran, so daß auch die Luftschwingungen der Sprache vollständig miteinander übereinstimmen.

Thermoelektrizität.

Auch durch Erwärmung oder Abkühlung der Lötstellen von zwei verschiedenen Metallen, z. B. Kupfer und Wismut, deren freie Enden leitend miteinander verbunden sind, erhält man einen elektrischen

Strom (Fig. 80). Man nennt solche Metallbügel ein Thermoelement und die darin erzeugte Elektrizität Thermoelektrizität.

In den Thermoelementen wächst die elektromotorische Kraft mit dem Temperaturunterschied der beiden Verbindungsstellen; sie ist

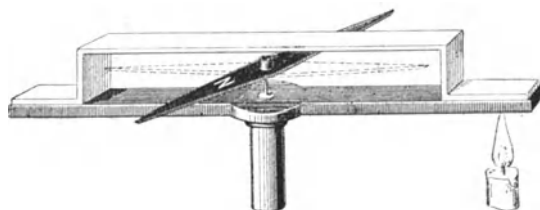


Fig. 80.

aber auch von der Natur der beiden verschiedenen Metalle abhängig. Je weiter die beiden Metalle in der thermoelektrischen Spannungsreihe auseinanderstehen, — Wismut, Quecksilber, Platin, Blei, Kupfer, Zink,

Eisen, Antimon — desto größer ist die Spannung.

Thermoelemente dienen zum Messen von hohen und tiefen Temperaturen. Die Lötstelle des Platin-Platinrhodiumelements wird mit Hilfe eines Schutzrohres z. B. in den Koksofen eingebaut, während die freien Enden mit einem empfindlichen Galvanometer verbunden sind, welches außer der Millivolteinteilung auch eine Temperaturskala besitzt. Da der Sauerstoffgehalt der flüssigen Luft von ihrer Temperatur abhängt und der Thermostrom sehr empfindlich gegen jede Temperaturveränderung ist, kann man mit einem Thermoelement nicht nur die Temperatur, sondern auch den Sauerstoffgehalt der flüssigen Luft ermitteln.

V. Lehre vom Schall. Akustik.

Entstehung und Fortpflanzung des Schalls.

Biegt man einen im Schraubstock eingespannten, elastischen Stahlstab zur Seite und läßt ihn los, so gerät er in Schwingungen. Vermöge seiner Elastizität und Trägheit schnellt er über die Ruhelage hinaus nach der anderen Seite, kehrt dann wieder um und so fort. Gleich-



Fig. 81.

zeitig entstehen vor und hinter dem schwingenden Stab Verdichtungen und Verdünnungen der Luft (Fig. 81b), welche vorher in Ruhe war (Fig. 81a). Die Luft gerät also dadurch selbst in Schwingungen, indem sie Kugelschalen von abwechselnd größerer und geringerer Dichte bildet und sich als Welle von Schicht zu Schicht fortpflanzt. Treffen diese Wellen unser Ohr (Fig. 82), so erzeugen sie die Empfindung des Schalles.

Man nennt die verdichteten Teile der Luft Wellenberge, die verdünnten Teile Wellentäler. Die Luft bewegt sich dabei nicht fort, wie auch das Wasser bei seinen Wellenbewegungen sich nicht fortbewegt, sondern nur an Ort und Stelle auf- und abgehende Bewegungen ausführt. Macht ein Luftteilchen eine vollständige Schwingung, so läßt es eine neue vollständige Welle entstehen, welche sich somit um ihre eigene Länge fortpflanzt.

Man spricht vom Knall, wenn es sich um eine einzige, schnell vorübergehende Lufterschütterung handelt (Pistolknall), vom Geräusch (Kettengeräusch) bei unregelmäßigen und vom Klang und Ton bei regelmäßigen Schwingungen der Luft.

Alle Körper, die festen, flüssigen und gasförmigen, leiten den Schall. Läßt man die Glocke eines Weckers in dem luftleeren Rezipienten einer Luftpumpe anschlagen, so hört man keinen Ton. Man ver-

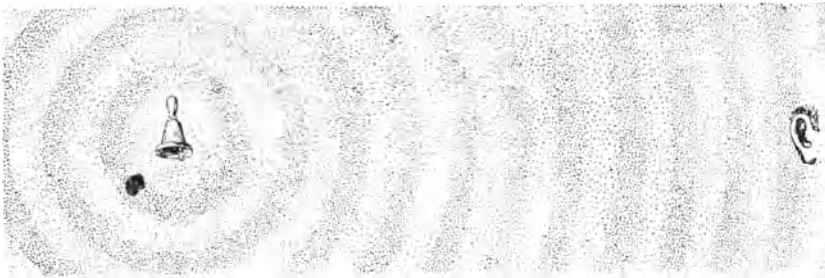


Fig. 82.

nimmt diesen, wenn man Luft in den Rezipienten einströmen läßt. da nun die Schwingungen der Glocke auf die Luft übertragen werden. Je dichter, elastischer und gleichartiger ein Körper ist, desto besser leitet er den Schall. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft kann bestimmt werden, wenn man auf zwei Stationen Kanonen abfeuert und in beiden die Zeit beobachtet, welche zwischen Wahrnehmung ihres Blitzes und Donners vergeht. Das Mittel aus den Beobachtungen ergibt eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft von 340 m/sek. bei 16°.

Im Genfer See wurde eine Glocke unter Wasser angeschlagen und die Ankunft des Schalles in einer bestimmten Entfernung durch ein in das Wasser versenktes Hörrohr festgestellt. Aus dem Zeitunterschied zwischen Erzeugung und Ankunft des Schalles ergab sich die Schallgeschwindigkeit des Schalles in Wasser zu 1435 m/sek.

Noch leichter pflanzt sich der Schall in festen Körpern fort. Legt man eine Taschenuhr auf das eine Ende einer Schulbank und das Ohr an das andere Ende, so kann man die Uhr deutlich ticken hören. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles beträgt in trockenem Tannenholz 6000 m/sek.

Wolle, Federkissen und Polster sind schlechte Überträger des Schalles, daher verwendet man gepolsterte Türen zum schallsicheren Abschluß von Sprechzimmern.

Die Stärke des Schalles wächst mit der Größe des Schallerregers und der Schwingungen, sowie mit der Dichtigkeit des Leiters und nimmt im Quadrat der Entfernung ab.

Wie eine Elfenbeinkugel von den Banden des Billards, ein Lichtstrahl vom Spiegel (Fig. 87), so wird auch der Schall von Wänden unter demselben Winkel zurückgeworfen (reflektiert), unter welchem er auffällt. Hierauf beruht das Echo. Von einer Mauer, Felsenwand, einem Walde wird das gesprochene Wort so zurückgeworfen, als käme es von einem Punkte, der ebensoweit hinter der reflektierenden Wand liegt, als der Rufer sich vor ihr befindet.

Man kann in einer Sekunde etwa 5—6 Silben deutlich aussprechen und aufnehmen. Spricht man eine Silbe gegen eine Wand, so muß diese $\frac{340}{2 \cdot 5} = 34$ m entfernt sein, damit das Echo entsteht, da das Wort je $\frac{1}{5}$ Sekunde braucht, um den Weg hin- und zurückzulegen. Bei einer Entfernung von $4 \times 34 = 136$ m kann die Wand vier Silben als Echo zurückwerfen.

Mehrfaches Echo zeigt sich dort, wo mehrere reflektierende Wände vorhanden sind. So gibt es auf dem Königsplatz in Cassel ein neunfaches, am Loreleifelsen ein 17faches Echo und in Adersbach (Böhmen) hört man ein siebensilbiges Wort dreimal.

Bei geringerer Entfernung der Wand als 34 m entsteht ein störender Nachhall, da der Schall schon teilweise zurück ist, wenn man die Silbe noch nicht vollständig ausgesprochen hat. Der letzte Teil der zurückgeworfenen Silbe tönt also der eben ausgesprochenen und vom Ohr aufgenommenen Silbe unmittelbar nach. Durch oftmaliges Unterbrechen der Wände, in Exerzierhallen z. B. durch aufgehängte Vorhänge, kann man die schädliche Wirkung des Nachhalls aufheben.

In elliptisch gekrümmten Sprachgewölben vernimmt das in dem einen Brennpunkt befindliche Ohr das in dem anderen Brennpunkte geflüsterte Wort, da die Schallstrahlen von dem einen Brennpunkte zum andern zurückgeworfen werden. Die Schallstrahlen breiten sich nach allen Richtungen mit gleicher Stärke aus; um sie zusammenzuhalten, bedient man sich in der Kirche des Schalldeckels über der Kanzel. Soll das gesprochene Wort möglichst weit gehört werden, so benutzt man das Sprachrohr, an dessen Wänden die Schallstrahlen so reflektiert werden, daß sie parallel der Achse austreten. Umgekehrt nimmt das Hörrohr vermöge seiner weiten Mündung mehr Schallstrahlen als unser Ohr auf und leitet sie in den Gehörgang. Unter Anwendung von Sprach- und Hörrohr ist bei ruhigem Wetter eine Verständigung von Schiff zu Schiff über mehrere Kilometer Entfernung möglich. Sprachrohrleitungen an Bord der Schiffe, in den Gruben, Gasthäusern halten ebenfalls das gesprochene Wort zusammen, so daß es bis auf mehrere hundert Meter zu hören ist. Ein natürliches Hörrohr bildet die menschliche Ohrmuschel mit dem Gehörgang.

Musikalische Töne.

Bei den Tönen unterscheidet man ihre

1. **Stärke.** Ein Ton ist um so stärker, je größer seine Schwingungsweite, d. h. der Unterschied zwischen Wellenberg und -tal ist.
2. **Tonhöhe.** Ein Ton ist um so höher, je größer die Zahl der Schwingungen ist, die in einer Sekunde vollendet werden.
3. **Klangfarbe.** Der Klang des Tones ist von der Form der Wellen abhängig. So haben die verschiedenen Blasinstrumente, Streichinstrumente, die menschliche Stimme bei gleicher Tonhöhe verschiedene Klangfarbe.

Um die Schwingungen einer Stimmgabel graphisch darzustellen, befestigt man an einer ihrer Zinken einen Schreibstift. Nach dem Anschlagen bringt man die Stimmgabel mit dem Stift in leichte Berührung mit Papier, welches

über eine Walze gezogen und durch ein Uhrwerk in gleichförmige Umdrehung versetzt ist. Man erhält so Kurven, welche bestimmten Tönen entsprechen (Fig. 83). Da die Kurven *a* und *b* in gleicher Menge in derselben Zeit entstanden sind, ist ihre Schwingungszahl gleich; sie entsprechen also einem gleich hohen Ton. Die Kurve *c* hat einen größeren Unterschied zwischen Wellenberg und -tal als Kurve *b*, deshalb ist der *a* entsprechende Ton auch stärker als der von *b*. Die Kurve *c* entspricht einem Ton, welcher doppelt soviel Schwingungen wie denen von *a* und *b* entspricht, und sein Ton ist daher um eine Oktave höher.

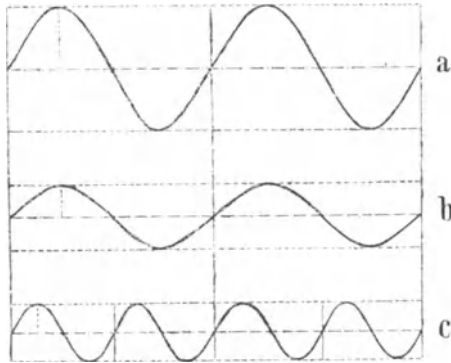


Fig. 83.

Mit Hilfe der Sirene kann man diese Gesetzmäßigkeiten noch besser erfassen; sie besteht aus einer maschinell gedrehten Scheibe, auf welcher sich in konzentrischen Kreisen und in gleichmäßiger Folge angeordnete Löcher befinden. Blasen wir mit einem Rohr auf die Löcher, so entstehen Töne von bestimmter Höhe. Sind vier Kreise mit entsprechend 40, 50, 60, 80 Löchern vorhanden, und macht die Scheibe in einer Sekunde zehn Umdrehungen, so sind die Schwingungszahlen der vier erzeugten Töne

400, 500, 600 und 800,

da sie das Produkt aus der Anzahl der Löcher im Kreise und der Zahl der Umdrehungen der Scheibe in einer Sekunde sind. Die Schwingungsverhältnisse der vier Töne sind 4:5:6:8; ist *c* der Grundton, so bilden sie *c*; *e*; *g*; *c*. Aus solchen Verhältnissen lassen sich die Schwingungszahlen der Tonleiter ableiten. Bei der *c*-dur-Tonleiter haben wir folgendes Verhältnis der Schwingungszahlen:

<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>A</i>	<i>H</i>	<i>c</i>
24	27	30	32	36	40	45	48
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2.

Das menschliche Ohr vermag Töne wahrzunehmen, deren Schwingungszahlen in der Sekunde zwischen 24 in der Tiefe und 50000 in der Höhe liegen. Das eingestrichene *a* der Violine führt in der Sekunde 435 Schwingungen aus und bildet den Grundton der musikalischen Stimmung (Stimmgabel).

Zwei Töne, deren Schwingungszahlen in einem einfachen Verhältnis zueinander stehen, bilden einen Wohlklang (Konsonanz), wenn sie zusammenklingen; ist der Zusammenklang mißtönend, so spricht man von Dissonanz.

Bei jedem musikalischen Tone kann man bei genauem Zuhören neben dem Grundton noch verschiedene, schwächere Obertöne wahrnehmen. Sie entstehen durch Bildung kleinerer Schwingungen innerhalb der Hauptschwingungen und bewirken die verschiedenen Klangfarben der sonst gleichen Grundtöne. Mit Hilfe des Phonographen läßt sich nachweisen, daß sich unsere Vokale auf Obertöne zurückführen lassen. Die Vokale sind dadurch gekennzeichnet, daß die Obertöne an bestimmten Stellen der musikalischen Skala besonders verstärkt werden. Bringt man zwei Stimmgabeln von gleichem Tone in einiger Entfernung einander genau gegenüber, so hört man nach Anstreichen der einen nach wenigen Sekunden die zweite mittönen. Diese Erscheinung nennt man Resonanz; sie beruht auf Übertragung von Energie durch Wellenbewegung und dient zur Verstärkung des Tons, z. B. einer Stimmgabel, Geige usw.

Tonerzeuger.

- I. **Saiten.** Die Saiten der Gitarre, Harfe, Zither geraten durch Zupfen, des Klaviers durch Anschlagen mit Hämmern und der Geigen durch Streichen mit dem Bogen in Schwingungen. Der Ton ist um so höher, je kürzer, dünner und stärker gespannt die Saite ist.
- II. **Stäbe.** Elastische Stäbe der Spieldose, Harmonika und Stimmgabel (gabelförmig gebogener Stahlstab) werden durch Anschlagen in Schwingungen versetzt und tönen. Der Ton ist um so höher, je kürzer und dicker der Stab und je größer seine Elastizität ist.
- III. **Platten und Membrane.** Die elastischen Platten und Membranen der Pauken, Trommeln, Glocken und des Telephons schwingen beim Schlagen, Streichen, Sprechen usw. als Ganzes oder in Teilen, welche durch Knotenlinien getrennt sind. Man kann diese sichtbar machen, wenn man eine Glasplatte, die an einer Stelle eingespannt wird, mit Sand bestreut und mit dem Violinbogen streicht. Der Sand ordnet sich nach Knotenlinien zu Figuren, welche man Chladnische Klangfiguren nennt.
- IV. **Blasen und Pfeifen.** Bei der Trompete, Posaune, Orgel, Flöte wird durch Anblasen eine Luftsäule in Röhren in Schwingungen gesetzt; diese werden bei einigen Instrumenten: Klarinette, Oboe, Fagott,

auf Zungen übertragen. Der Ton einer Pfeife ist um so höher, je kürzer die schwingende Luftsäule ist und je stärker geblasen wird. Offene Pfeifen geben einen um eine Oktave höheren Ton als gleich lange gedeckte Pfeifen. Der menschliche Kehlkopf mit Stimmritze, Stimmbändern und Luftröhre stellt eine Lippenpfeife dar.

Auch durch kleinere und größere Flammen kann man die Luft in entsprechenden Röhren zum Schwingen bringen, — singende Flammen (vgl. Wasserstoff).

Schwebungen. Interferenz.

Schlägt man zwei Stimmgabeln von gleicher Tonhöhe an, so erhält man immer den Eindruck eines vollkommen gleichen Tones, da Wellenberg mit Wellenberg und ebenso die Wellentäler zusammenfallen. Dadurch werden die Töne dauernd verstärkt oder geschwächt.

Ist jedoch die eine Stimmgabel nur ein wenig verstimmt, so hört man den Ton abwechselnd anschwellen und wieder schwächer werden. Die Töne verstärken sich, wenn Wellenberg mit Wellenberg zusammentrifft, sie schwächen oder heben sich ganz auf, so oft Berg und Tal

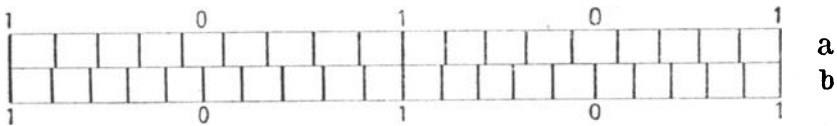


Fig. 84.

teilweise oder ganz zusammenfallen. Diese Wirkung von Tonwellen nennt man Interferenz; unser Ohr empfindet sie als Schwebungen.

Fig. 84 stellt die Wellenberge zweier Töne (*a* und *b*) durch senkrechte Striche dar. Die Schwingungszahl von *a* ist 19, die von *b* ist 21. Bei 0 fällt die Verdichtung des höheren Tones mit einer Verdünnung des tieferen zusammen. Wir haben dann weder Verdichtung noch Verdünnung, der Ton erlischt. Bei 1 fallen die Verdichtungen der beiden Töne zusammen, der Ton verstärkt sich.

Auf diesen Interferenzerscheinungen beruht die Schlagwetterpfeife von Haber.

Phonograph (Edison 1877).

Eine mit Paraffin überzogene, zylindrische Walze wird durch eine Schraubenspindel als Achse gleichzeitig gedreht und seitlich verschoben. Vor der Walze befindet sich eine Membran mit Stift, welcher sich gegen die Walze leicht anlegt. Die Membran gerät beim Sprechen in Schwingungen, welche durch den Stift in das Paraffin eingegraben werden. Läßt man nun den Stift die Furche von Anfang an durchlaufen, während sich die Walze dreht und seitlich bewegt, so daß er über alle Höhen und Tiefen der Furche gleitet, so wird die Membran in dieselben Schwingungen wie vorher beim Sprechen gebracht, so daß das Gesprochene oder Gesungene jederzeit wiedergegeben werden kann.

VI. Lehre vom Licht. Optik.

Lichtquellen und Ausbreitung des Lichts.

Alle Gegenstände, welche wir durch das Auge wahrnehmen, senden Licht aus, sind also leuchtende Körper.

Die Sonne und Fixsterne sind natürliche Selbstleuchter, d. h. sie leuchten aus eigener Kraft, da sie sich in glühendem Zustande befinden. Künstliche Selbstleuchter sind verbrennende und glühende Körper, die Flammen, elektrische Glüh- und Bogenlampen. Hierhin gehören auch leuchtende Organismen, welche, wie z. B. gewisse Infusorien, Quallen und Mollusken das Meeresleuchten und, wie gewisse Bakterien, das Leuchten faulenden Holzes in Bergwerken hervorrufen.



Fig. 85.

Die nichtselbstleuchtenden Körper werden erst dadurch sichtbar, daß sie von dem Licht der Sonne oder einer künstlichen Lichtquelle getroffen werden. Die Monde und Planeten sind dunkel, sie leuchten nur, wenn das Licht der Sonne auf sie fällt.

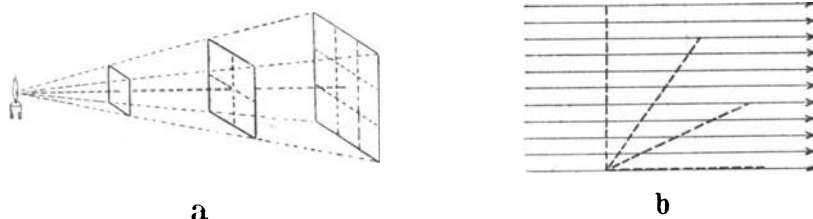


Fig. 86.

Das Licht eines leuchtenden Körpers verbreitet sich immer durch Strahlung. Die von Lichtstrahlen getroffenen Körper verhalten sich verschieden; sie sind durchsichtig (Glas), durchscheinend (Horn, Milchglas) oder undurchsichtig (Holz, Metalle). Doch gibt es zwischen diesen drei Klassen keine engen Grenzen, so läßt z. B. das äußerst dünne Goldblättchen das Licht mit blaugrüner Farbe durch.

Innerhalb desselben Mittels pflanzen sich die Lichtstrahlen des leuchtenden Körpers nach allen Seiten geradlinig fort. Daher entsteht hinter beleuchteten, undurchsichtigen Körpern ein Schatten, d. h. ein unerleuchteter Raum. Man unterscheidet Kernschatten und Halbschatten, je nachdem der Schattenraum ganz verfinstert oder teilweise erhellt wird. Ist die Lichtquelle ein leuchtender Punkt, so entsteht nur ein Kernschatten, und zwar in Gestalt eines abgestumpften Kegels. Ist die Lichtquelle eine große Fläche (Sonne), so erzeugt sie hinter den beleuchteten Körpern (Erde, Mond) Kern- und Halbschatten. Fällt

bei Neumond der Schatten des Mondes auf die Erde, so spricht man von einer Sonnenfinsternis (Fig. 85a). Dagegen entsteht bei Vollmond eine Mondfinsternis (Fig. 85b), wenn der Schatten der Erde auf den Mond fällt. Die Stärke der Beleuchtung, die Helligkeit, nimmt ab im Quadrate der Entfernung. Von der Kerze, Fig. 86a, gehen vier Lichtstrahlen aus, welche eine bestimmte Lichtmenge einschließen. Tragen wir vom Schnittpunkt aus auf alle Strahlen gleiche Stücke 1, 2, 3 usw. ab, so verhalten sich ihre Flächen wie $1^2:2^2:3^2$ usw. Das volle Licht fällt also auf die Fläche 1, 4×1 und 9×1 usw., auf ihre Einheit entsprechend 1, $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{9}$ der Lichtmenge. Je schräger die Lichtstrahlen einen Gegenstand treffen, desto weniger wird er beleuchtet (Fig. 86b).

Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Aus der Beobachtung der Verfinsternung der Jupitermonde berechnete der Däne Olaf Römer 1675 als Erster die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts zu 300000 km in einer Sekunde. Trotz dieser großen Geschwindigkeit braucht ein Sonnenstrahl acht Minuten, das Licht weit entfernter Fixsterne Jahrhunderte, um auf die Erde zu kommen.

Zurückwerfung, Reflexion des Lichts.

Die Lichtstrahlen werden von glatten, undurchsichtigen Flächen (Spiegel) zurückgeworfen, reflektiert, wie auch die strahlende Wärme und der Schall zurückgeworfen werden. In Fig. 87a sei AD der auffallende, CD der zurückgeworfene (reflektierte) Strahl und BD das Einfallslot. Den vom auffallenden Strahl und Einfallslot gebildeten Winkel ADB nennt man den Einfallswinkel und den vom reflektierten Strahl und Einfallslot gebildeten Winkel BDC den Reflexionswinkel.

Regel: Der auffallende und der zurückgeworfene Strahl, sowie das Einfallslot liegen immer in einer Ebene, welche senkrecht auf der zurückwerfenden Fläche steht.

Ebener Spiegel. Die Lichtstrahlen, die von einem leuchtenden Punkte auf den Spiegel fallen, werden so reflektiert, daß ihre Verlängerungen rückwärts sich in einem Punkte schneiden, der symmetrisch zum leuchtenden Punkt hinter der Spiegelebene liegt. Das Auge erblickt das Bild ebenso weit hinter dem Spiegel, wie der leuchtende Gegenstand davor liegt (Fig. 87b).

Das Bild eines Gegenstandes kann in einem zweiten Spiegel nochmals gespiegelt werden, so daß man sich auf diese Weise seitwärts und rückwärts betrachten kann. Bringt man zwischen zwei ebenen,

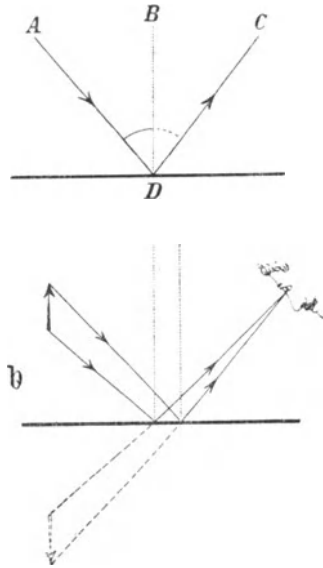


Fig. 87.

parallel zueinander aufgestellten Spiegeln eine Kerzenflamme, so erblickt man eine große Reihe von Bildern der Flamme.

Winkelspiegel. Bei Winkelspiegeln erscheint von einem Gegenstande so oft ein Bild, als der Winkel, welchen die beiden Spiegel miteinander bilden, in 360 enthalten ist weniger 1. Beträgt der Winkel z. B. 90° , so erhält man drei Bilder; bei einem Winkel von 45° erblickt man sieben Bilder. Ein Lichtstrahl wird von zwei unter einem Winkel von 45° zueinander stehenden Spiegeln so zurückgeworfen, daß der reflektierte Strahl mit dem auffallenden Strahl einen rechten Winkel bildet (Fig. 88). Hierauf beruht die Anwendung des Winkelspiegels als Zielgerät bei markscheiderischen Messungen. Winkelspiegel dienen

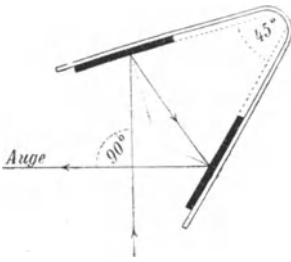


Fig. 88.

ferner als Spion am Fenster, zur Vorführung von Geistererscheinungen auf der Bühne und als Kaleidoskop.

Sphärische Spiegel sind kugelförmig gekrümmte Flächen. Wir unterscheiden Konkav- oder Hohlspiegel, wenn er auf der Innenfläche poliert ist, und Konvex- oder Erhabenspiegel, wenn das Licht auf der Außenfläche reflektiert wird.

Bilder in konvexen Zylinder- und Kegelspiegeln sind verzerrt, zeigen z. B. in die Länge oder in die Breite gezogene Gesichter. Die in unserem physikalischen Kabinett befindlichen, nach bestimmten Gesetzen verzerrt gezeichneten Bilder erscheinen in dem dazugehörigen Zylinder- oder Kegelspiegel unverzerrt.

Zerstreute (diffuse) Reflexion. Ein nicht selbstleuchtender Körper (Mond) wird sichtbar, wenn er beleuchtet (Sonne) wird. Er sendet dann Lichtstrahlen aus, welche dem auffallenden Licht nicht mehr voll und ganz entsprechen und je nach der Natur der Körper verschieden sind. Der Mond besitzt kein eigenes Licht; bei Vollmond wirft die Mondscheibe das Sonnenlicht zur Erde zurück; so daß sie gut sichtbar ist. Aber auch der dunkle Neumond ist infolge des matten Lichtscheins noch sichtbar, welchen er durch Reflexion des Lichtes der von der Sonne grell beleuchteten Erde empfängt.

Die in der Luft verteilten Wassertröpfchen, Eisnadelchen und Staubkörner wirken wie eine große Zahl kleiner Spiegel und lassen Lichtstrahlen in Schattenräume treten, welche durch dieses zerstreute Licht teilweise aufgehellt werden.

Brechung des Lichts.

Tritt ein Lichtstrahl, der sich in einem Mittel (Luft) bewegt, schräg in ein anderes Mittel (Wasser, Glas) ein, so wird er gebrochen, d. h. erfährt beim Übergange eine Richtungsänderung.

1. Fällt ein Lichtstrahl senkrecht auf die Trennungsfläche der beiden Mittel, so wird er nicht gebrochen.

2. Geht ein Lichtstrahl von einem dünneren Stoff in einen dichteren, so wird er dem Einfallslot zu gebrochen.
3. Er entfernt sich vom Einfallslot beim Übergang von einem dichteren in einen dünneren Stoff.
4. Fallen Lichtstrahlen schräg durch ebenparallele Glasplatten, so wird der ausfallende Strahl parallel zum eintretenden Strahl verschoben (Fig. 89).

Ein schräg ins Wasser gehaltener Stab erscheint an der Oberfläche des Wassers geknickt. Werden Gegenstände im Wasser schräg betrachtet, so erscheinen sie immer höher liegend, als sie wirklich sind: Kieselsteine und Fische im Wasser. Auf dem Boden des mit Wasser gefüllten Glasgefäßes (Fig. 90) liegt eine Münze, sie erscheint, schräg gesehen, gehoben.

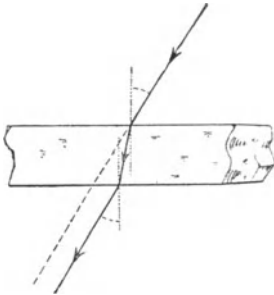


Fig. 89.

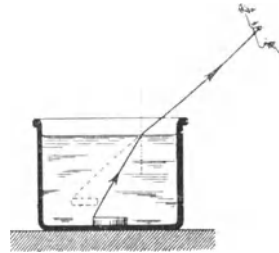


Fig. 90.

Da die Atmosphäre mit steigender Höhe immer dünner wird, erfahren die von den Sternen kommenden Lichtstrahlen eine Brechung, sind stetig gekrümmt. Daher sieht man die untergegangene Sonne noch vollständig über dem Horizonte und jeden Stern höher, als er in Wirklichkeit ist.

Totale Reflexion.

Die Gesetze der Brechung haben nur Gültigkeit, wenn der Lichtstrahl innerhalb bestimmter Winkel auf die trennende Fläche fällt. Dieser Grenzwinkel ist für die verschiedenen Mittel verschieden, er beträgt für Wasser $48\frac{1}{2}^\circ$, für Glas $40\frac{3}{4}^\circ$, für Diamant $23\frac{3}{4}^\circ$, usw. Ist der Einfallswinkel eines Lichtstrahles, der aus Luft in Wasser übergeht, z. B. $48\frac{1}{2}^\circ$, so wird derselbe längs der Oberfläche des Wassers verlaufen. Ist der Einfallswinkel größer als $48\frac{1}{2}^\circ$, d. h. fällt der Lichtstrahl noch schräger auf Wasser, so wird er an der Oberfläche des Wassers zurückgeworfen. In diesem Falle wird alles Licht von der Oberfläche zurückgeworfen, deshalb nennt man diese Erscheinung totale Reflexion. Hält man ein Probierglas schräg in ein mit Wasser gefülltes Becherglas, so sieht es glänzend wie ein Spiegel aus. Eine halbe Spielkarte, welche man am Umfang eines mit Wasser gefüllten zylindrischen Glasgefäßes befestigt, erscheint ganz, wenn man von unten schräg gegen die Oberfläche des Wassers blickt. Die Tautropfen in der Morgen-

sonne sehen diamantglänzend aus, und unter Wasser befindliche Luftblasen, z. B. der Wasserspinne, glänzen wie Silber.

Bei ganz ruhiger Luft entstehen in verschiedenen Höhen optisch dichtere oder dünnere Luftschichten, von weit entfernten Gegenständen werden dann durch totale Reflexion Bilder (*Fata morgana*) erzeugt.

Prisma. In der Optik versteht man unter einem Prisma durchsichtige Körper, die von zwei, einen Winkel einschließenden Ebenen begrenzt sind. Man nennt diesen Winkel den brechenden Winkel, seine Ebenen die brechenden Flächen und ihre Schnittlinie die brechende Kante des Prismas. Die gebräuchlichen Prismen sind dreiseitige Glasäulen, sowie Hohlkörper aus Glas, welche mit lichtbrechenden Flüssigkeiten gefüllt sind.

Fällt ein Lichtstrahl auf eine brechende Fläche, so wird er beim Durchgang durch das Prisma von der brechenden Kante weg abgelenkt.

Die total reflektierende Hypotenusenfläche eines rechtwinkligen Glasprismas wird vielfach benutzt, um den Weg eines Lichtstrahls

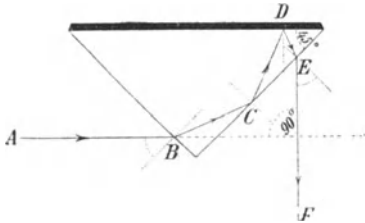


Fig. 91.

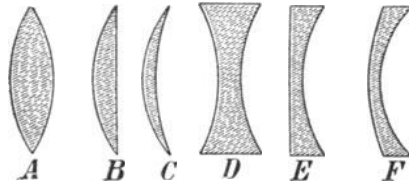


Fig. 92.

um 90° zu verlegen. Auf diese Weise kann man undurchsichtige, polierte und geätzte Körper (Metalle, Mineralien) gut beleuchten, so daß ihr Gefügebau unter dem Mikroskop untersucht werden kann. Auch als Zielkontrollgeräte dienen solche Glasprismen; dabei fällt der Lichtstrahl gewöhnlich rechtwinklig zu der einen Kathete auf, wird an der Hypotenuse total reflektiert und tritt senkrecht zu der anderen Kathete aus. Auch bei schrägerem Auffallen der Lichtstrahlen auf die brechende Fläche ist das der Fall, wie aus dem Gang derselben in Fig. 91 ohne weiteres erkennbar ist.

Lin sen. Linsen sind durchsichtige Körper (Glas, Quarz), die beiderseits oder wenigstens auf einer Seite von Kugelflächen begrenzt sind. Man unterscheidet Sammel-(Konvex)linsen und Zerstreuungslinsen (Konkav)linsen. In Fig. 92 stellt *A* eine bikonvexe, *B* eine plankonvexe, *C* eine konkavkonvexe, *D* eine bikonkave, *E* eine plankonkave, *F* eine konvexkonkave Linse dar.

Die Lichtstrahlen werden beim Eintritt in die Linse und bei ihrem Austritt nach bestimmten Gesetzen gebrochen. Für die Konstruktion der Bilder sind zwei Strahlen von besonderer Bedeutung:

1. **Hauptstrahlen;** sie gehen durch den Mittelpunkt *O* (Fig. 93) der Linse, werden nicht gebrochen, gehen in derselben Richtung weiter. Die Hauptachse *A A'*, ferner *B O B'* usw. sind Hauptstrahlen.

2. **Achsenparallele Strahlen.** Sie fallen parallel zur Hauptachse auf, werden von der Linse gebrochen und vereinigen sich auf der anderen Seite in einem Punkte, z. B. F' (Fig. 94). In diesem Punkt ist Licht- und Wärmewirkung der Sonne zusammengedrängt, leicht entzündliche Gegenstände fangen in ihm Feuer; er wird deshalb Brennpunkt genannt.

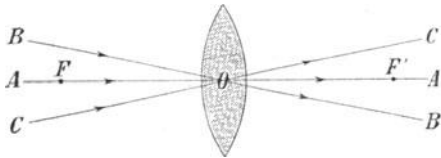


Fig. 93.

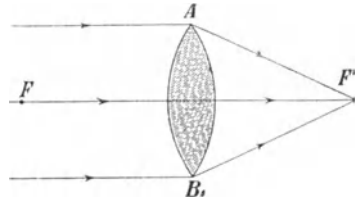


Fig. 94.

Jede Bikonvexlinse besitzt zwei Brennpunkte. Gehen die Lichtstrahlen vom Brennpunkte aus, so werden sie so gebrochen, daß sie parallel der Achse auf der anderen Seite der Linse verlaufen. Die Entfernung des Brennpunktes von der Linse nennt man Brennweite. Man bezeichnet die Konvexlinsen als Sammellinsen, weil sie die Strahlen

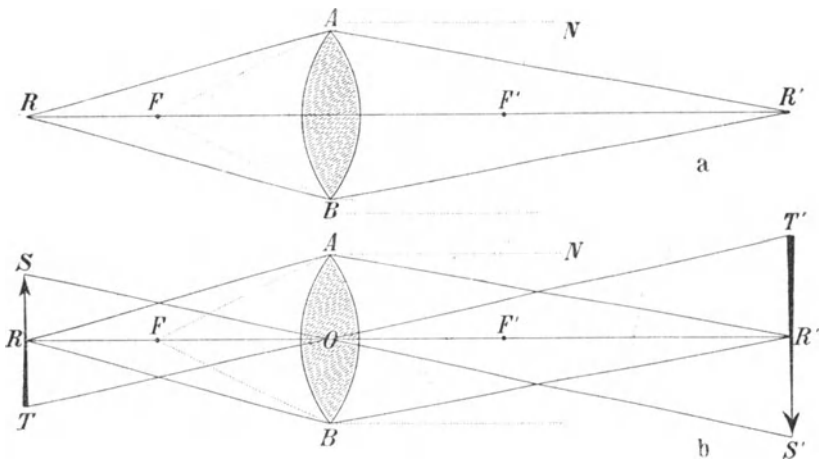


Fig. 95.

durch Brechung sammeln. Die vom Punkte R (Fig. 95a) ausgehenden Lichtstrahlen vereinigen sich alle im Punkte R' auf der anderen Seite der Linse. Da R auf der Hauptachse der Linse sich befindet, so muß auch R' auf der anderen Seite der Linse auf der Hauptachse liegen. Als weiteren Anhalt für das Auffinden des Bildes R' ergeben sich folgende Gesichtspunkte: Der vom Brennpunkte F ausgehende Strahl FA geht parallel zur Hauptachse in Richtung AN weiter. Nun ist

$$\begin{aligned} \sphericalangle R A R' &= R A F + F A R' \\ \sphericalangle F A N &= N A R' + F A R' \end{aligned}$$

Da $F A R' = F A R'$ ist, so muß auch $R A F = N A R'$ und $R A R' = F A N$ sein.

Der an $A N$ im Punkte A angelegte Winkel $R A F$ schneidet also die Hauptachse im Punkte R' , und dieser ist das Bild von R . Geht umgekehrt das Licht von R' aus, so ist R sein Sammelpunkt.

In Fig. 95b stellt der aufrechtstehende Pfeil ST einen Gegenstand dar, der außerhalb des Brennpunktes senkrecht auf der Achse der Linse steht und diese im

Punkte R schneidet. Das hinsichtlich der Lage seines Bildes R' der vorigen Figur Gesagte gilt

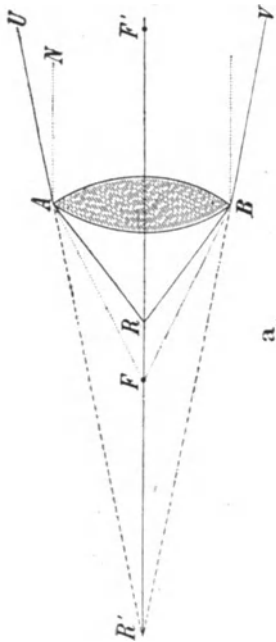
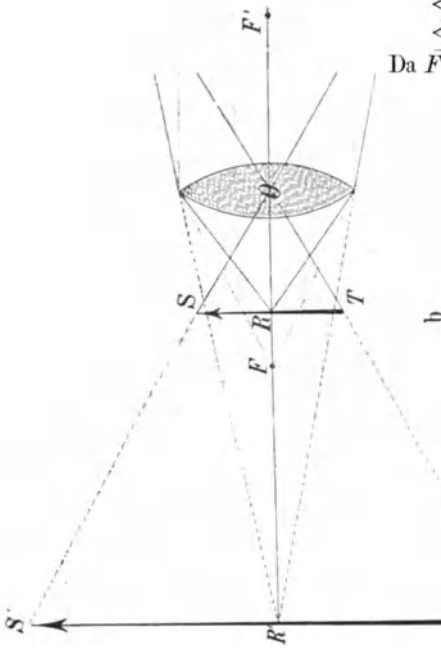


Fig. 96.

auch hier; die anderen leuchtenden Punkte S' und T' müssen auf der Senkrechten liegen, welche man auf der Achse in R' errichtet. Der von S ausgehende Hauptstrahl SO wird von der Linse nicht gebrochen, er trifft diese Senkrechte im Punkte S' , welche unterhalb der Achse RR' liegt. Der Hauptstrahl TO trifft die Senkrechte in T' . Das Bild $S'T'$ des Gegenstandes ist also umgekehrt, vergrößert und, da es durch direkte Vereinigung der leuchtenden Strahlen entstanden ist, ein wirkliches Bild, welches wir auf einem Schirme auffangen können. Je weiter der Gegenstand

von der Linse entfernt ist, desto kleiner wird sein Bild. Hierauf beruht die Anwendung der Linsen in den Kammern der photographischen Apparate.

Stellt man in den Brennpunkt der Linse ein helles Licht (elektrisches Bogenlicht, Kalklicht), so entsteht kein Bild; die Linse dient als Scheinwerfer.

Liegt der leuchtende Punkt R (Fig. 96a) innerhalb der Brennweite, so kann kein Bild entstehen, da die Lichtstrahlen so gebrochen werden (RAU und RBV), daß sie auseinandergehen. Die gebrochenen Strahlen AU und BV schneiden bei der rückwärtigen Verlängerung die Hauptachse in R' , so daß es scheint, als ob sie von diesem Punkte kämen.

Danach ergibt sich die Konstruktion des Bildes vom Pfeile ST , welcher sich innerhalb der Brennweite befindet (Fig. 96b). Die von R

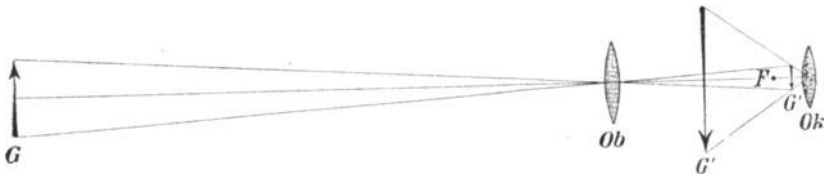


Fig. 97.

ausgehenden Strahlen werden so gebrochen, daß sie scheinbar von R' auslaufen. Auf der Senkrechten in diesem Punkte hat man die S und T entsprechenden Punkte S' und T' zu suchen, welche man findet, wenn man vom optischen Mittelpunkte O die Hauptstrahlen OS und OT zeichnet und rückwärts verlängert. Das Auge erblickt das Bild des Pfeiles aufrecht, vergrößert und auf derselben Seite des Pfeiles. Es ist aber nur ein scheinbares Bild entstanden, welches wir auf einem Schirme ebensowenig auffangen können wie das Bild in einem Spiegel. In diesem Falle dient die Linse als Vergrößerungsglas oder Lupe.

Bei dem **Fernrohr** (Fig. 97) erzeugt die Objektivlinse Ob von großer Brennweite ein wirkliches, umgekehrtes und verkleinertes Bild des entfernten Gegenstandes G innerhalb der Brennweite der Okularlinse Ok . Die Okularlinse vergrößert das Bild nochmals, läßt es aber in umgekehrter Lage. Die beiden Linsen sind in ein innen geschwärztes Rohr eingeschlossen, dessen Länge verstellbar ist, so daß das Okular in die richtige Entfernung von dem durch das Objektiv erzeugten Bilde eingestellt werden kann.

Solche Fernrohre benutzt man zu geometrischen Messungen (Theodolit), und astronomischen und spektralanalytischen Untersuchungen.

Auch das zusammengesetzte **Mikroskop** besteht aus zwei an den Enden einer ausziehbaren Röhre befestigten konvexen Linsen. Das Objektiv erzeugt von dem kleinen Gegenstand, welches bis dicht an den Brennpunkt gebracht ist, ein umgekehrtes, vergrößertes und wirkliches Bild. Dieses wird durch das Okular wie durch eine Lupe

betrachtet, dabei wird es nochmals vergrößert, bleibt umgekehrt, ist jetzt aber ein scheinbares Bild geworden.

Mit Hilfe des Mikroskops war es der Naturwissenschaft möglich, eingehende Kenntnisse über den Bau der Tier- und Pflanzenzelle, die Lebens- und Fortpflanzungsverhältnisse der kleinsten Lebewesen und den feinsten Aufbau der Mineralien zu gewinnen. Dabei bedient man sich des durchfallenden Lichtes, welches die mit dem Rasiermesser geschnittenen, sehr dünnen Plättchen des Tier- und Pflanzenkörpers und die Dünnschliffe der Gesteine genügend aufhellt.

Zur Untersuchung der undurchsichtigen Metalle und Mineralien benutzt man das auffallende Licht einer künstlichen Lichtquelle, von der man einen Teil der Lichtstrahlen durch eine unter 45° gestellte,

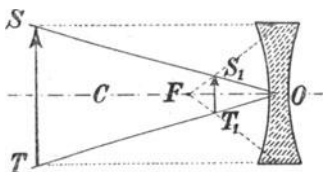


Fig. 98.

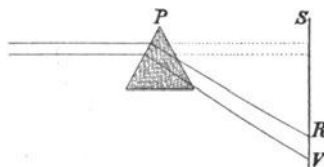


Fig. 99.

dünne Glasplatte, einen Spiegel oder ein Prisma ablenkt und schräg auf den zur Prüfung dienenden, geätzten Schliff fallen läßt.

Die Konkavlinse werden Zerstreuungslinsen genannt, weil die achsenparallelen Strahlen so gebrochen werden, daß sie auseinander gehen, zerstreut werden. Die bei den Sammellinsen auseinandergesetzten Benennungen wie Hauptachse, Hauptstrahlen, Brennpunkt, Brennweite usw. gelten auch hier. Zur Konstruktion des Bildes eines Gegenstandes $S T$ außerhalb der Brennweite (Fig. 98) zieht man zunächst die Hauptstrahlen $S O$ und $T O$; sie werden nicht gebrochen. Die von den leuchtenden Punkten S und T parallel zur Achse auffallenden Strahlen werden so gebrochen, als kämen sie vom Brennpunkte F . Die Rückverlängerungen der gebrochenen achsenparallelen Strahlen schneiden die Hauptstrahlen $S O$ und $T O$ in S_1 und T_1 . Das Bild $S_1 T_1$ des Pfeiles $S T$ ist also scheinbar, aufrecht und verkleinert.

Farbenzerstreuung des Lichts.

Das weiße Sonnenlicht ist aus vielen farbigen Strahlen zusammengesetzt, die sich durch ihre verschiedene Brechbarkeit voneinander unterscheiden (Newton 1672). Läßt man weißes Sonnenlicht durch einen feinen Spalt des geschlossenen Fensterladens auf ein Prisma fallen, und fängt es auf einem weißen Schirme auf, so erblickt man da, wo das gebrochene Bild des Spaltes zu erwarten ist (Fig. 92), einen Streifen, der von dem einen zu dem anderen Ende die Regenbogenfarben: rot, orange, gelb, grün, hellblau, dunkelblau, violett, zeigt. Diese Farben gehen allmählich ineinander über. Läßt man sie durch eine Sammellinse gehen, so werden sie wieder zu einem weißen Lichtfleck vereinigt. Es folgt daraus, daß das weiße Licht schon die Farben enthielt und

durch das Prisma infolge der verschiedenen Brechbarkeit derselben zerlegt worden ist. Man nennt den Farbstreifen das Spektrum. Das rote Licht wird am wenigsten, das violette am meisten abgelenkt; die roten Strahlen besitzen also die kleinste, die violetten die größte Brechbarkeit.

Das Wesen des Lichts besteht darin, daß ein äußerst feiner, unwägbarer, elastischer Stoff, der Äther, welcher im ganzen Weltall und zwischen den kleinsten Teilen jedes Körpers vorhanden ist, durch die Lichtquelle in Schwingungen versetzt wird, welche auf unser Auge übertragen werden. Ganz ähnlich der Tonhöhe unterscheiden sich die Farben durch die Schwingungszahl der in einer Sekunde erfolgenden Lichtwellen. Je kleiner die Wellenlänge, desto größer ist die Schwingungszahl. Rot macht in der Sekunde 395 Billionen Schwingungen, violett 763 Billionen.

Die Farben der Körper entstehen dadurch, daß diese von dem Sonnenlicht einige Farben absorbieren, andere hindurchlassen oder zurückwerfen. Fällt weißes Licht auf Zinnober, so werden alle Farben außer Rot von ihm aufgenommen. Da Zinnober vorwiegend rote Strahlen zurückwirft, sieht er rot aus. Rubinglas verschluckt alle Farben außer Rot, welches durchgelassen wird, daher erscheint es rot.

Betrachtet man Zinnober und Rubinglas mit einer durch Kochsalz gelb gefärbten Bunsenflamme, so sehen sie gelb aus, da sie nur gelbes Licht erhalten. Ein Körper kann nur das Licht wiedergeben, welches auf ihn fällt, deshalb muß er schwarz erscheinen, wenn er alle Farben absorbiert.

Lenkt man von den Spektralfarben z. B. Rot ab, so entsteht durch Vereinigung der übrigen eine grüne Mischfarbe. Dem Grün fehlt also das Rot, um mit ihm Weiß zu bilden; Rot und Grün ergänzen sich zu Weiß. Jeder Spektralfarbe entspricht eine Ergänzungsfarbe, mit welcher sie Weiß erzeugt, nämlich Rot und Grün, Orange und Blau, Gelb und Violett.

Spektralanalyse.

Außer der Sonne geben auch weißglühende feste Körper, z. B. die weißglühenden Kohleteilchen einer Flamme, das bekannte, ununterbrochene Spektrum.

Durch Erhitzen flüchtiger Substanzen mit Hilfe eines Platindrahtes im Saume einer nichtleuchtenden Flamme wird diese kennzeichnend, z. B. durch Natrium gelb, Strontium karminrot, Kupfer grün usw. gefärbt. Da Natriumverbindungen, z. B. Kochsalz, beim Glühen nur gelbes Licht erzeugen, so besteht ihr Spektrum aus einem gelben Streifen. Alle im glühenden Zustande befindlichen Gase und Dämpfe zeigen kennzeichnende Streifen im Spektralapparat: mit seiner Hilfe hat man viele Stoffe in Mineralien, der Sonne und anderen Fixsternen feststellen können. Der Nachweis ist so empfindlich, daß man auf diesem Wege z. B. beim Natrium $1/3000000$ Milligramm deutlich bestimmen kann.

Regenbogen.

Die Farbenfolge eines Regenbogens gleicht der eines Spektrums, nach innen liegt der violette Saum, der rote nach außen. Der Regenbogen entsteht durch Brechung, Zerlegung, totale Reflexion und abermalige Brechung des Lichts in Wassertröpfchen einer regnenden Wolke, eines Wasserfalls oder eines Springbrunnens. Man erblickt ihn, wenn man hinter sich die Sonne und vor sich die Wand der Wassertröpfchen hat. Der Mittelpunkt des Regenbogens und der Sonne liegt mit dem Auge des Beobachters in einer Geraden.

In dem bisweilen sichtbaren, größeren und blässeren Nebenregenbogen sind die Farben des Spektrums in umgekehrter Folge angeordnet.

Interferenz des Lichts.

Betrachtet man eine ebene Glasplatte, auf welche eine sehr schwach gekrümmte Konvexlinie gelegt ist, im gelben Licht einer Kochsalzflamme, so erscheint die dunkle Mitte von hellen und dunklen Ringen umgeben. Ähnlich den Schwebungen der Töne verstärken sich zwei gleiche Lichtwellen, wenn ihre Ausgangspunkte um eine gerade Anzahl Wellenlängen voneinander entfernt sind, da Wellenberg auf Wellenberg trifft. Die Lichtwellen schwächen sich oder heben sich auf, wenn ihre Ausgangspunkte um eine ungerade Anzahl halber Wellenlängen entfernt sind, weil Wellenberg mit Wellental zusammenfällt.

Bei der Betrachtung der Platte und Linse im weißen Licht sieht man statt der hellen und dunklen Ringe farbige Ringe. Diese Erscheinungen nennt man Interferenz des Lichtes; man nimmt sie auch an sehr dünnen Häutchen wahr. So zeigen Seifenblasen und sehr dünne, auf Wasser ausgebreitete Schichten von Öl die Regenbogenfarben.

In dem Interferometer von Haber ist die eine von zwei gleichen Kammern mit Luft; die andere z. B. mit Grubengas gefüllt. Da Luft und Grubengas für Lichtstrahlen ein verschiedenes Brechungsvermögen haben, so erfahren zwei gleiche Lichtstrahlen in diesen Mitteln Gangunterschiede, so daß sie Interferenzerscheinungen auslösen. Aus der Größe der Interferenz läßt sich der Gehalt der Wetter an Grubengas bestimmen, nachdem die darin enthaltene Kohlensäure durch Absorption mit Natron entfernt ist.

Chemische Wirkungen des Lichts.

Wird Licht von einem Körper aufgenommen, so wandelt es sich in Wärme um. Mit der Aufnahme von Licht kann aber auch die Leistung chemischer Arbeit verbunden sein. So vereinigt sich ein Gemenge von Wasserstoff und Chlor unter Explosion zu Salzsäure, wenn es von einem Lichtstrahl der Sonne getroffen wird. Der Vorgang des Bleichens der Wäsche vollzieht sich unter der vereinten Wirkung von Licht und Wasser, die Schwarzfärbung von Chlor-, Brom- und Jodsilber unter dem Einfluß des Lichts. Darauf beruht die ausgedehnte Anwendung der Photographie.

Die photographische Kammer besteht aus einem innen geschwärtzten Kasten, dessen eine Wand aus einer durchscheinenden Platte aus mattgeschliffenem Glas gebildet wird; ihr gegenüber ist in einer verstellbaren Röhre eine Sammellinse angebracht. Diese Linse entwirft von dem vor der Kammer befindlichen Gegenstand auf der Mattscheibe ein wirkliches, umgekehrtes verkleinertes Bild, welches durch Verstellen der Röhre scharf eingestellt wird.

Die Mattscheibe der Kammer wird nun durch eine Kassette mit der lichtempfindlichen Platte vertauscht. Je nach der Beleuchtung genügt eine ganz kurze oder etwas längere Zeit für die Zersetzung oder die einleitende Zersetzung des Silbersalzes zu metallischem Silber. Bei der dann folgenden Eintauchung der Platte in das Bad, z. B. einer Lösung von Pyrogallussäure (Entwickler), wird die Ausscheidung des Silbers mit schwarzer Farbe an den Stellen beendet, welche von den Lichtstrahlen des Gegenstandes getroffen waren. In dem Fixierbade aus einer Lösung von unterschwefligsaurem Natron werden die unzersetzt gebliebenen Teile des Silbersalzes weggelöst. Mit der so erhaltenen negativen Platte kann man beliebig viel positive Abzüge erhalten, indem die dunklen Stellen des Negativs die hellen Lichtstrahlen beim Kopieren verschlucken, und nur die hellen Stellen sie durchlassen.

Von geringer chemischer Wirkung sind die roten Lichtstrahlen, deshalb entwickelt man die Platte bei rotem Licht. Die stärkste chemische Wirkung hat das violette Licht, aus dem Grunde erscheinen auf den photographischen Bildern z. B. blaue Kleider hell, während rote dunkel aussehen.

Die Zerlegung der Kohlensäure und des Wassers in den Pflanzenzellen (Assimilation, S. 107) erfolgt unter Mitwirkung des lebenden Blattgrüns und des Sonnenlichtes. Das Blattgrün der Pflanzen verschluckt außer Grün alle Lichtstrahlen. Diese aufgenommenen Lichtstrahlen sind es, welche die Pflanzenstoffe durch Umsetzung von Wasser und Kohlensäure aufbauen; sie verrichten also chemische Arbeit, werden dadurch aufgespeichert und können später durch Verbrennen der Pflanze, des Torfs und der Kohle in Form von Licht und Wärme wiedergewonnen werden.

Das Auge.

Das Auge entspricht ungefähr der photographischen Kammer. Es besteht aus der

1. Hornhaut, einer vorn stärker gekrümmten und hier durchsichtigen Lederhaut,
2. Aderhaut, welche mit einem dunklen Farbstoff durchtränkt ist (Regenbogenhaut) und vorn ein kreisrundes Loch, die Pupille, hat,
3. Netzhaut, einem äußerst zarten, lichtempfindlichen Häutchen, welches die Verzweigung des Sehnervs darstellt,
4. dem Sehnerv, welcher die Vorgänge im Auge dem Gehirn übermittelt,
5. der Linse.

Der Raum zwischen der Hornhaut und der Linse ist von einer wasserhellen Flüssigkeit erfüllt, während das Innere des Auges aus einer klaren Gallerte, der Glasflüssigkeit, besteht.

Das Auge wird in der Augenhöhle durch Muskeln gehalten und bewegt und besitzt die Fähigkeit, die Linse mehr oder weniger stark zu krümmen, so daß entfernte und nahe Gegenstände klar erfaßt werden können. Die Lichtstrahlen eines Gegenstandes werden so gebrochen, daß auf den Netzhäuten jedes Auges ein ebenes, umgekehrtes wirkliches Bild entsteht, und zwar das eine mehr von links, das andere mehr von rechts gesehen (Stereoskop). Aus Übung und Gewohnheit sieht man jedoch ein Bild, welches aufrechtsteht, der natürlichen Größe entspricht und körperlich wirkt.

Verliert der Muskel der Linse die Anpassungsfähigkeit, so muß man durch Anwendung von Brillen zunächst Bilder von dem Gegenstande erzeugen, welche die Augenlinse aufnimmt und der Netzhaut übergibt. Kurzsichtige besitzen zu stark gekrümmte Linsen; die Lichtstrahlen vereinigen sich schon vor der Netzhaut zum Bilde, welches durch Zerstreungslinsen zurückverlegt wird.

Bei weitsichtigen Augen entsteht das deutliche Bild erst hinter der Netzhaut; das Bild wird durch Sammellinsen weiter nach vorn auf die Netzhaut verlegt.

Jeder Lichteindruck muß mindestens $\frac{1}{7}$ Sekunde dauern, damit er vom Auge festgehalten werden kann. Währt der Lichteindruck zu kurz, so sieht das Auge den Gegenstand nicht oder unterliegt optischen Täuschungen. Schwingt man eine glühende Holzkohle schnell herum, so sieht man einen ununterbrochenen feurigen Kreis. Die Speichen eines sehr schnell gedrehten Rades erscheinen als Scheibe. Auf der schnell gedrehten Farbenscheibe kann man die einzelnen Farben nicht mehr erkennen, man sieht ihre Mischfarbe oder weiß.

Von anderen optischen Täuschungen kann man sich leicht ein Bild machen. So erscheint z. B. eine geteilte Gerade länger als eine ungeteilte. Parallele Gerade erscheinen schief, wenn sie vielfach schief durchstrichen werden. Ein heller Gegenstand sieht auf dunklem Grunde vergrößert, ein gleich großer dunkler Gegenstand auf hellem Grunde verkleinert aus.

Chemie.

Chemische Grundbegriffe.

Unterschied zwischen Physik und Chemie. Während die Physik sich mit den vorübergehenden Zustandsänderungen der Körper befaßt, behandelt die Chemie ihre dauernden oder stofflichen Veränderungen.

Schwefel wird durch Reiben mit Wolle elektrisch, d. h. befähigt, kleine Papierschnitzel anzuziehen. Läßt man den elektrischen Strom durch eine Glühbirne fließen, so erglüht sie. Beide Erscheinungen gehören zum Gebiete der Physik, denn sie zeigen sich nur, solange die Ursache ihrer Veränderung (Reiben bzw. Durchfließen des Stromes) dauert.

Erhitzt man dagegen den Schwefel an der Luft, so entzündet er sich und verbrennt mit blauer Flamme zu einem neuen Körper mit neuen Eigenschaften, von welchen der stechende Geruch sofort bemerkbar wird. Auch das Magnesiumband verbrennt, angezündet an der Luft, mit glänzendem Licht zu einem weißen Pulver. In dem Verbrennen des Schwefels und des Magnesiums haben wir es mit chemischen Vorgängen zu tun, bei welchen der Körper dauernd oder stofflich verändert wird.

In den meisten Fällen bedarf es der Zufuhr von Energie (z. B. Temperatur, Licht, Druck, Elektrizität usw.), um chemische Vorgänge auszulösen. So erhält man durch bloßes Mischen von Eisenpulver und Schwefel nur ein mechanisches Gemenge, in welchem man mit dem bloßen Auge Eisen und Schwefel nebeneinander erkennt. Durch Schlämmen mit Wasser oder mit Hilfe des Magneten kann man Eisen vom Schwefel wieder vollständig trennen. Erhitzen wir aber die Mischung von Schwefel und Eisen in einem Probierröhrchen an einer Stelle, so erglüht diese plötzlich, und das Erglühen setzt sich ohne weiteres Erhitzen durch die ganze Masse fort. Nach dem Erkalten können wir in dem neuen schwarzen Körper selbst unter dem Mikroskop weder Schwefel noch Eisen erkennen, auch läßt sich der Schwefel durch die obenerwähnten Mittel nicht mehr vom Eisen befreien: es ist unter dem Einfluß des Erhitzens eine chemische Verbindung, Schwefeleisen, entstanden, die nur auf chemischem Wege wieder in Schwefel und Eisen zersetzt werden kann. Die Ursache

der Kraft, welche die Vereinigung der Elemente zu Verbindungen bewirkt, nennt man chemische Verwandtschaft.

Zusammengesetzte und einfache Stoffe. Alle in der Natur vorkommenden Stoffe kann man in zusammengesetzte und einfache einteilen. Die ersteren, Verbindungen genannt, setzen sich aus einfachen Stoffen zusammen und können in diese zerlegt werden. Solche Körper, die man auf chemischem Wege nicht weiter zerlegen kann, nennt man einfache Stoffe, Grundstoffe oder Elemente.

Molekül und Atom. Die Teilbarkeit des Stoffes geht außerordentlich weit. Wird eine Flasche, welche stark riechende Stoffe, z. B. Schwefelwasserstoffwasser enthält, nur kurze Zeit im Zimmer geöffnet, so ist sein übler Geruch bald überall wahrzunehmen; eine empfindliche Waage zeigt dagegen kaum einen Gewichtsverlust der Flasche an.

Durch Zerstoßen eines Stückchens Eis erhält man sehr kleine Körnchen, die unter dem Mikroskop wie grobe Körper erscheinen. Beim Erwärmen zerfließt ein solches Eiskörnchen zu einem Tröpfchen Wasser, welches, weiter erwärmt, in Wasserdampf übergeht. Durch diesen Vorgang ist das Eiskörnchen schon mindestens auf das 1700fache ausgedehnt, und durch weiteres Erhitzen können wir die kleine Menge Wasserdampf noch mehr zerteilen. Schließlich aber gibt es eine Grenze, über welche hinaus eine weitere Zerteilung des Wasserdampfes ohne chemische Zersetzung nicht möglich ist. Diese kleinsten Teilchen einer Verbindung oder eines Elements, die wir auf mechanischem Wege erhalten können, nennt man Moleküle. Die Moleküle einer Verbindung sind gleich groß und schwer und besitzen gleiche Eigenschaften.

Ein Hauptgesetz der Chemie lehrt uns, daß sich das Molekül einer Verbindung durch Vereinigung der kleinsten Teile der Elemente im Verhältnis ihrer Verbindungsgewichte bildet. Diese chemisch nicht weiter zerlegbaren kleinsten Teile eines Elementes nennt man Atome. Das Molekül Quecksilberoxyd setzt sich aus einem Atom Quecksilber und einem Atom Sauerstoff, das Molekül Sauerstoff aus den beiden gleichartigen Atomen Sauerstoff zusammen.

Die einfachen Körper (Elemente) sind demnach solche, bei denen die Moleküle aus untereinander gleichen Atomen, die zusammengesetzten Körper solche, bei denen die Moleküle aus untereinander verschiedenen Atomen bestehen. Die Atome desselben Elementes sind gleich groß und gleich schwer. Die Atome der verschiedenen Elemente sind zwar gleich groß, besitzen aber verschiedene Eigenschaften und Gewicht. Das Verhältnis zwischen den Gewichten verschiedener Atome wird durch die Atomgewichte der Elemente ausgedrückt, wobei man das Gewicht von einem Atom Wasserstoff = 1 setzt. So ist das Gewicht eines Atomes Sauerstoff 16mal so groß und das eines Atomes Stickstoff 14mal so groß als das eines Atomes Wasserstoff.

Im Interesse einer größeren Übersichtlichkeit und zur Ersparung von Zeit und Raum schreibt man die Elemente nicht mit ihren vollen Namen, sondern mit leicht verständlichen Zeichen. Man wählte dazu die Anfangsbuchstaben ihrer lateinischen oder griechischen Namen

und fügte da, wo zwei oder mehr Elemente mit demselben Buchstaben beginnen, noch einen zweiten, kennzeichnenden Buchstaben hinzu.

Die Zahl der jetzt bekannten Elemente beträgt etwa 80; die für uns wichtigsten sind mit ihren Zeichen und Atomgewichten in der folgenden Atomgewichtstabelle zusammengestellt:

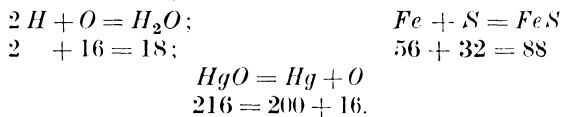
Nichtmetalle:			Metalle:		
Name	Zeichen	Atomgewicht	Name	Zeichen	Atomgewicht
Wasserstoff	<i>H</i>	1	Natrium	<i>Na</i>	23
Kohlenstoff	<i>C</i>	12	Magnesium	<i>Mg</i>	24,4
Stickstoff	<i>N</i>	14	Aluminium	<i>Al</i>	27
Sauerstoff	<i>O</i>	16	Kalium	<i>K</i>	39,2
Silizium	<i>Si</i>	28,4	Kalzium	<i>Ca</i>	40
Phosphor	<i>P</i>	31	Eisen	<i>Fe</i>	56
Schwefel	<i>S</i>	32	Nickel	<i>Ni</i>	58,7
Chlor	<i>Cl</i>	35,5	Kupfer	<i>Cu</i>	63
			Zink	<i>Zn</i>	65,4
			Silber	<i>Ag</i>	108
			Zinn	<i>Sn</i>	119
			Barium	<i>Ba</i>	137,4
			Platin	<i>Pt</i>	194,8
			Gold	<i>Au</i>	197,2
			Quecksilber	<i>Hg</i>	200
			Blei	<i>Pb</i>	207

Chemische Formeln und Gleichungen. Um die qualitative und quantitative Zusammensetzung einer Verbindung anzugeben, schreibt man die Zeichen der Elemente nebeneinander und setzt die Faktoren hinzu, mit denen das Atomgewicht eines jeden zu multiplizieren ist. Die Formel HgO drückt aus, daß

1. Quecksilberoxyd aus Quecksilber und Sauerstoff besteht,
2. sich ein Atom Quecksilber mit einem Atom Sauerstoff zu einem Molekül Quecksilberoxyd verbunden hat,
3. in 216 Gewichtsteilen Quecksilberoxyd 200 Gewichtsteile Quecksilber und 16 Gewichtsteile Sauerstoff enthalten sind und
4. $\frac{200 \times 100}{216} = 92,6\%$ Quecksilber
 $\frac{16 \times 100}{216} = 7,4\%$ Sauerstoff darin sind.

Aus der Elektrolyse des Wassers folgt, daß das Molekül Wasser aus zwei Atomen Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff zusammengesetzt ist; daher hat Wasser die Formel H_2O .

Mit Hilfe dieser Zeichen kann man auch chemische Vorgänge in Gestalt von Gleichungen schreiben, wobei die auf beiden Seiten der chemischen Gleichung stehenden Gewichte übereinstimmen müssen.



Da die Elemente im Atomzustande wenig beständig sind, so vereinigen sie sich unmittelbar nach ihrem Freiwerden aus der Verbindung zu Molekülen. z. B. $2 Hg = Hg_2$; $2 O = O_2$.

Desgleichen werden die Moleküle der Elemente vor ihrer Vereinigung zu Verbindungen in die Atome gespalten: dazu ist chemische Energie erforderlich.

Wertigkeit der Elemente. Die Tatsache, daß ein Atom Sauerstoff sich mit zwei Atomen Wasserstoff zu Wasser vereinigt, erklärt man mit der Annahme der Wertigkeit der Elemente. Sauerstoff ist also zweiwertig, da er zwei Atome Wasserstoff bindet oder sättigt. Nimmt man die Bindungsfähigkeit des Wasserstoffs als Einheit, dann sind:

Chlor, Natrium, Kalium. Silber einwertig.

Sauerstoff, Schwefel, Magnesium, Kalzium, Barium, Nickel,

Kupfer, Zink, Quecksilber, Blei zweiwertig,

Stickstoff, Phosphor, Aluminium, Eisen, Gold dreiwertig,

Kohlenstoff, Silizium, Zinn, Platin vierwertig.

Für viele der übrigen Elemente z. B. Sauerstoff ist ihre Wertigkeit veränderlich. So gibt es fünf Stickoxyde: N_2O_5 , N_2O_3 , NO_2 , NO und N_2O .

Stets aber vereinigen sich die Elemente im Verhältnis ihrer Atomgewichte oder einfacher Multiplen.

Sauerstoff ($O = 16$).

Vorkommen. Der Sauerstoff ist das verbreitetste Element auf der Erde, die Hälfte des Erdkörpers besteht aus ihm. Im freien Zustande findet er sich in der Luft, im gebundenen Zustande im Wasser, in mineralischen und organischen Körpern.

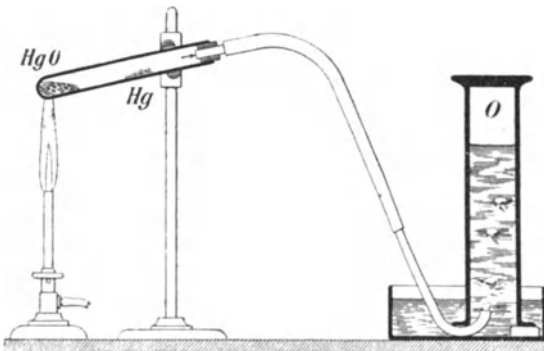


Fig. 100.

Darstellung. 1. Durch Erhitzen von rotem Quecksilberoxyd, einer Verbindung von Quecksilber mit Sauerstoff (Fig. 100). Hierbei zersetzt sich das feste Oxyd in flüssiges Quecksilber und gasförmigen Sauerstoff.
 $HgO = Hg + O$.

2. Durch Erhitzen von Kaliumchlorat: dieses zersetzt sich vollständig in festes

Chlorkalium und Sauerstoff. $KClO_3 = KCl + 3 O$.

3. Durch Elektrolyse von mit Schwefelsäure angesäuertem Wasser, welches dabei in Sauerstoff und Wasserstoff zerfällt (Fig. 102).

4. Aus flüssiger Luft; man läßt sie teilweise wieder verdampfen, wobei eine stark sauerstoffhaltige Flüssigkeit hinterbleibt, da der

flüssige Stickstoff wegen seines niederen Siedepunktes schneller verdampft.

Eigenschaften. Sauerstoff ist ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas. Seine Dichte beträgt 1,106 (Luft = 1): 1 cbm Sauerstoff wiegt 1,430 kg (0°, 760 mm).

Der Sauerstoff vereinigt sich mit den meisten Elementen direkt: die Verbrennung brennbarer Stoffe an der Luft beruht auf ihrer Vereinigung mit Sauerstoff. In reinem Sauerstoff verbrennen alle Stoffe viel lebhafter. Ein glimmender Spahn und glühende Holzkohle werden in Sauerstoff sofort zu heller Flamme entfacht und brennen mit hellem Licht. Schwefel verbrennt in Sauerstoff mit schön blauer Flamme, Phosphor mit blendendweißem Licht. Sogar Eisen und andere Metalle verbrennen in ihm mit hellem Licht unter Funkensprühen.

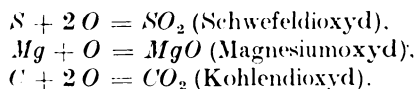
Anwendung. Der Sauerstoff wird in stählerne Flaschen gepumpt und kommt so unter einem Druck von 100 Atm. in den Handel. Er wird zu Sauerstoffgebläsen und zur Atmung (Selbstretter, Dräger-Apparat) benutzt.

Aufgabe: Wieviel Sauerstoff kann man aus 35 g Quecksilberoxyd durch Erhitzen darstellen?

$$\begin{aligned} \text{HgO} : \text{O} &= 35 : x. \\ x &= \frac{16 \times 35}{216} = 2,59 \text{ g.} \end{aligned}$$

Verbrennung.

Die chemische Vereinigung der Körper unter Licht- und Wärmeentwicklung mit dem Sauerstoff der Luft nennt man Verbrennung. Zu einer Verbrennung ist ein brennbarer Stoff und Luft erforderlich. So verbrennen Schwefel, Magnesium und Kohlenstoff beim Erhitzen an der Luft, indem sie sich mit ihrem Sauerstoff zu Oxyden vereinigen:



Aus dem Umstand, daß diese Elemente in reinem Sauerstoff viel lebhafter verbrennen und daß eine brennende Kerze in einem abgeschlossenen Gefäß bald erlischt, erkennen wir, daß der Sauerstoff die Verbrennung bewirkt.

Eine Kerze wird beim Verbrennen immer kleiner, bis sie schließlich fast restlos verschwindet. Die Verbrennung erscheint daher zunächst als ein Vorgang, der zu einer Vernichtung des Stoffes führt. In Wirklichkeit aber nimmt der verbrennende Körper an Gewicht zu, und zwar um soviel, als er Sauerstoff zum Verbrennen aufnimmt. Der Nachweis der Gewichtszunahme beim Verbrennen läßt sich leicht erbringen, wenn man die gasförmigen Verbrennungsprodukte der Kerze — Wasser und Kohlensäure — in dem durch Fig. 101 veranschaulichten Versuch aufhängt. Die Kerze steht auf dem Rahmen eines Lampenzylinders, dessen obere Hälfte Ätznatron enthält. Die ganze Vorrichtung befindet sich

auf einer empfindlichen Wage im Gleichgewicht. Entzündet man die Kerze, so werden die gasförmigen Stoffe der Verbrennung von Ätznatron aufgenommen, wodurch dieses schwerer wird und sinkt.

Die durch Verbrennen einer gleichen Menge eines brennbaren Körpers erzeugte Wärme ist gleich groß, wenn man ihn an der Luft

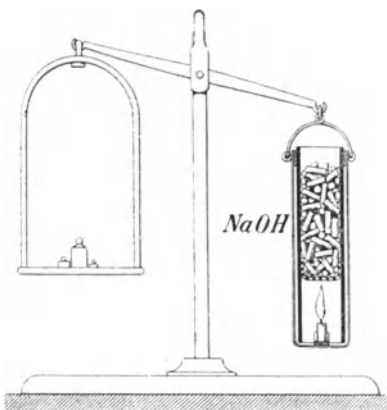


Fig. 101.

oder, wenn man ihn im reinen Sauerstoff verbrennt. Beim Verbrennen des Körpers an der Luft ist die Einwirkung des Sauerstoffs viel geringer, weil er durch eine große Menge Stickstoff verdünnt ist. Der Stickstoff wird natürlich beim Verbrennen erhitzt, die dazu erforderliche Wärme wird der Verbrennungswärme des verbrennenden Körpers entzogen. Deshalb muß auch die Verbrennungstemperatur in Luft viel geringer als in Sauerstoff sein.

Geschieht die Vereinigung eines Körpers mit Sauerstoff nicht unter Feuererscheinung, so bezeichnen wir

den Vorgang als langsame Verbrennung. Das Rosten des Eisens, das Verwesens von Pflanzen und Tieren sind langsame Verbrennungen, bei welchen dieselbe Wärmemenge wie bei der eigentlichen Verbrennung erzeugt wird, ohne daß eine merkliche Temperaturerhöhung festzustellen ist, da die Verbrennung sehr langsam vor sich geht.

Auch die Atmung ist eine Verbrennung, bei welcher die ausgesuchten Bestandteile der Nahrungsmittel durch den Sauerstoff der Luft, welche dem Blute mit Hilfe der Lunge zugeführt wird, verbrennen. Ohne Sauerstoff ist kein Atem und kein Leben möglich; er wurde daher früher Lebensluft genannt. Die Atmung der Menschen und Tiere vollzieht sich in reinem Sauerstoffgas energischer als in der Luft. Deshalb nimmt man Wiederbelebungsversuche mit reinem Sauerstoff vor.

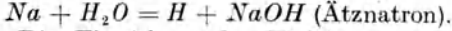
Wasserstoff ($H = 1$).

Vorkommen. Wasserstoff ist in der Welt sehr verbreitet; er ist in der Umhüllung der Sonne und Fixsterne enthalten. Bläser aus Kalisalzgruben bestehen bisweilen aus fast reinem Wasserstoff, die Bläser der Kohlengruben sind frei davon. Die hier und da in Wettern von Kohlengruben nachgewiesenen, geringfügigen Mengen von Wasserstoff entstammen der Einwirkung von sauren Grubenwässern auf eiserne Schienen und Lutten.

Wegen seiner großen Verwandtschaft zum Sauerstoff findet sich die Hauptmenge des auf der Erde vorkommenden Wasserstoffs im gebundenen Zustande als Wasser (Meere, Flüsse usw.). Die tierischen und pflanzlichen Stoffe besitzen Wasserstoff als wesentliche Bestand-

teile. Auch in vielen Mineralien ist Wasserstoff im gebundenen Zustande enthalten.

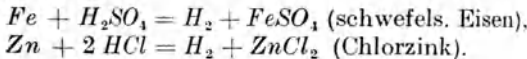
Darstellung. 1. Durch Einwirkung von metallischem Kalium und Natrium auf Wasser wird Wasserstoff frei; die dabei erzeugte Wärme ist so groß, daß sich der Wasserstoff entzündet und mit dem Sauerstoff der Luft verbrennt.



Die Einwirkung des Kalziums verläuft schon träger; viele schwere Metalle z. B. Eisen, zersetzen Wasserdampf bei Rotglut unter Bildung von Oxyden und Wasserstoff. Auch durch Leiten von Wasserdampf über glühenden Kohlenstoff wird Wasserstoff gewonnen (S. 134).

2. Aus dem mit Schwefelsäure angesäuerten Wasser durch Elektrolyse; am negativen Pole entwickelt sich doppelt soviel Wasserstoff wie am positiven Pole Sauerstoff (Fig. 102). Mit Hilfe der Elektrolyse wird Wasserstoff technisch dargestellt.

3. Aus Säuren, d. s. Wasserstoffverbindungen, deren Wasserstoff bei der Einwirkung auf Metalle durch diese ersetzt wird. Im Kippschen Apparat (Fig. 103a) läßt sich diese Zersetzung bequem und gefahrlos vornehmen.



Eigenschaften. Wasserstoff ist ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas, das leichteste aller Elemente. Wasserstoff ist vierzehneinhalbmal leichter als die atmosphärische Luft; seine Dichte beträgt 0,0695 (Luft = 1). 1 cbm Wasserstoff wiegt 0,0899 kg.

Das Füllen, Wägen (Fig. 103a und b) und Umfüllen von Gefäßen mit Wasserstoff muß wegen seiner großen Leichtigkeit derart geschehen, daß man das anzufüllende Gefäß mit der Öffnung nach unten hält

(Fig. 104). Aus einem aufrechtstehenden, offenen Gefäß entweicht der Wasserstoff sofort. Ein mit Wasserstoff gefüllter Kautschukballon ist leichter als die verdrängte

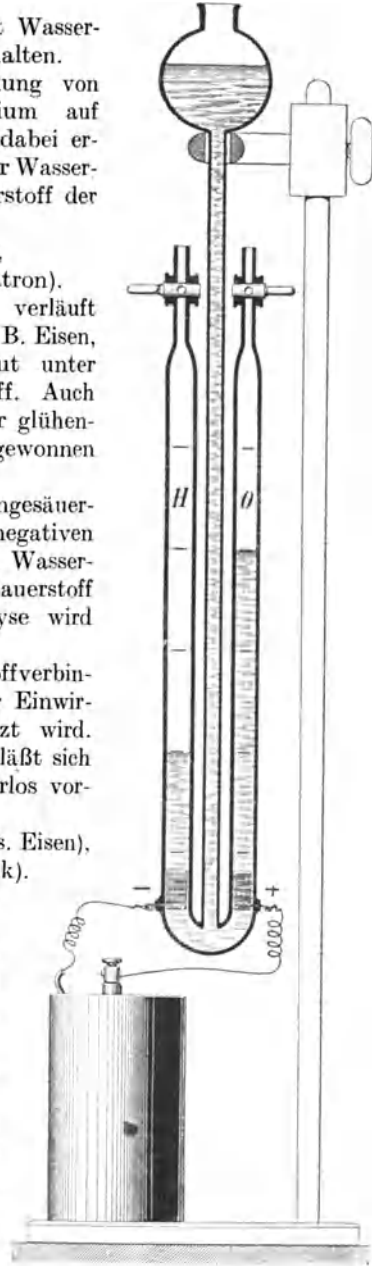


Fig. 102.

Luft und steigt demnach in die Höhe. Wasserstoff ist nicht giftig, vermag aber die Atmung nicht zu unterhalten. Auch die Verbrennung unterhält der Wasserstoff nicht, obwohl er selbst brennt (Fig. 105).

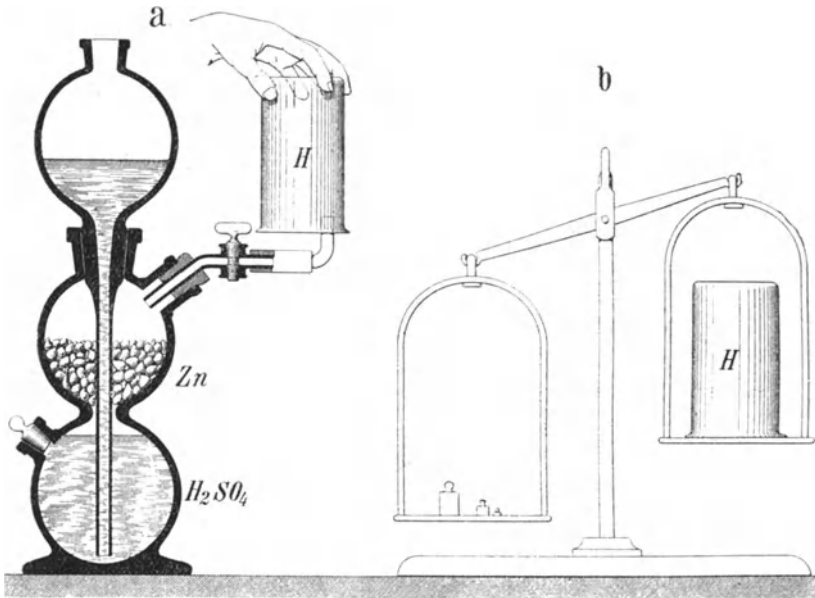


Fig. 103.

Die brennende Kerze erlischt in ihm, während der Wasserstoff selbst aus dem Gefäß heraus brennt. Die Wasserstoffflamme ist kaum sichtbar, schwach blau und sehr heiß.

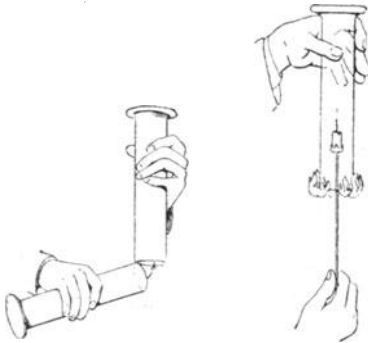


Fig. 104.

Fig. 105.

Führt man eine Glasröhre vorsichtig über eine Wasserstoffflamme, so fängt sie an zu singen.

Wasserstoff verbrennt mit Sauerstoff zu Wasser. 1 kg Wasserstoff liefert beim Verbrennen 33900 W. E.; wenn jedoch das dabei entstehende Wasser in Dampfform vorliegt, nur 28530 W. E. Bei der Verbrennung verbinden sich stets zwei Raumteile Wasserstoff mit einem Raumteil Sauerstoff zu Wasser: $2 H_2 + O_2 = 2 H_2O$.

Entzündet man die Mischung von zwei Raumteilen Wasserstoff und einem Raumteil Sauerstoff (Knallgas), so verbrennt der Wasserstoff unter scharfer Explosion. Mit Knallgas gefüllte Seifenblasen explodieren bei Annäherung der Flamme mit scharfem Knall.

Gasexplosionen sind sehr schnell verlaufende Verbrennungen eines brennbaren Gases (Wasserstoff, Grubengas, Kohlenoxyd, Leuchtgas) oder des Dampfes einer brennbaren Flüssigkeit (Benzin, Alkohol, Schwefelkohlenstoff) mit Sauerstoff oder Luft. Die Explosion wird durch eine Zündung eingeleitet (Flamme, elektrischer Funke). Die Explosion ist am heftigsten, wenn alles brennbare Gas allen Sauerstoff verbraucht, so daß nach der Explosion weder brennbares Gas noch Sauerstoff übrig ist. Auch verläuft die Explosion der Sauerstoffwasserstoffgemische viel heftiger, als die der Luftwasserstoffgemische, weil mehr Raumteile an der Explosion teilnehmen. Bei der Explosion von Luftwasserstoffgemischen dagegen muß der Luftstickstoff mit auf die hohe Explosionstemperatur erhitzt werden. Folgende Zahlentafel dient zur näheren Erläuterung:

Gemische von Raumteilen	30 H_2 15 O_2 45	20 H_2 80 Luft 100	30 H_2 70 Luft 100	40 H_2 60 Luft 100
An der Explosion nahmen teil . %	100	20 H_2 10 O_2 30	30 H_2 15 O_2 45	25,2 H_2 12,6 O_2 37,8
An der Explosion nahmen nicht teil R. T.	0	6,8 O_2 63,2 N_2 70,0	55 N_2	14,8 H_2 47,4 N_2 62,2
Zusammensetzung der Nachschwaden %	—	9,7 O_2 90,3 N_2 100,0	100 N_2	23,8 H_2 76,2 N_2 100,0
Raumverminderung %	100	30	45	37,8

Die mit der hohen Explosionstemperatur verbundene 10–15fache Ausdehnung der Gase während der Explosion bewirkt, daß die eigentliche Explosion (erster Schlag) vom Explosionsherd hinweggerichtet ist. Da nun der erzeugte Wasserdampf unmittelbar nach der Explosion sich zu flüssigem Wasser verdichtet, tritt eine Raumverminderung und damit ein Rückschlag (zweiter Schlag) ein, der naturgemäß zum Explosionsherd zurückgeht und stärker als der erste Schlag ist.

Anwendung. 1. Wasserstoff dient zur Füllung von Ballonen; man erhält die Tragkraft eines Ballons, indem man seinen Rauminhalt in Kubikmetern mit $1,29 - 0,09 = 1,2$ kg multipliziert und davon das Gewicht des Ballons abzieht.

2. In dem Danielschen Hahn (Fig. 106) läßt man durch den äußeren Brenner zunächst Wasserstoff strömen und entzündet ihn; öffnet man jetzt den Sauerstoffhahn, so entsteht ein Knallgasgebläse, in welchem

man Platin, Quarz, Feldspat schmelzen, Metalle zerschneiden und verschweißen kann (autogenes Schweißen). Gebrannter Kalk wird im Knallgasgebläse glühend und strahlt ein blendend weißes Licht aus (Drummondsches Kalklicht).

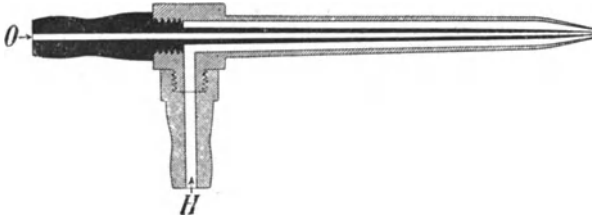


Fig. 106.

Wasser (H_2O).

Vorkommen. Wasser ist in der Natur außerordentlich stark verbreitet. Unsere Atmosphäre enthält gewaltige Mengen Wasserdampf (Nebel, Wolken), mehr als dreiviertel der Erdoberfläche ist mit Wasser bedeckt (Quellen, Flüsse, Seen, Meere). In den Polargegenden und auf den Hochgebirgen türmen sich gewaltige Eismassen. Chemisch gebunden kommt Wasser in allen tierischen und pflanzlichen Körpern und in vielen Mineralien vor.

Bildung. Wasser entsteht durch Verbrennung von Wasserstoff und wasserstoffhaltiger Körper (Holz, Torf, Kohle, Erdöl, Benzol u. a.).

Eigenschaften. Reines Wasser ist geschmacklos, geruchlos und in dünneren Schichten farblos. Dicke Schichten von Wasser haben eine schön blaue Färbung (Alpenseen). Wasser von 4° (760 mm) hat man als Einheit der Dichte gewählt. Bei 1000° beginnt der Zerfall von Wasserdampf in Wasserstoff und Sauerstoff; dieser Vorgang ist bei 2500° noch nicht beendet.

Wasserdampf dringt in die feinsten Risse des Gesteins ein, verdichtet sich zu Wasser, und dieses dehnt sich beim Gefrieren um $\frac{1}{11}$ seines Volumens bei 0° aus; dadurch werden die Felsen schließlich auseinandergesprengt. Auch der Ackerboden wird durch das in ihm gefrorene Wasser aufgelockert und zerkleinert, so daß die in der Luft enthaltene Kohlensäure die Silikate zersetzen und in lösliche Verbindungen überführen kann. (Verwitterung.)

Das reinste in der Natur vorkommende Wasser ist das Regen- und Schneewasser.

Wasser, welches den Erdboden berührt hat, ist kein reines Wasser; es enthält stets gelöste Gase, Salze und andere Stoffe.

Die vom Wasser aufgenommene Luft enthält mehr Kohlensäure und Sauerstoff und weniger Stickstoff, als der Zusammensetzung der Luft entspricht. Diese Eigenschaft des Wassers ist für das Leben der in Wasser durch Kiemen atmenden Tiere sehr wichtig.

Nach der verschiedenen Beschaffenheit des Bodens ist auch die Zusammensetzung des Wassers verschieden, welches auf ihm gestanden hat. Vom geologisch alten Granit vermag Wasser nur wenig aufzulösen,

während es in Berührung mit mittleren und jüngeren geologischen Formationen viel größere Mengen von Salzen löst. Die gelösten Salze gelangen durch die Quellen in die Bäche und Flüsse, von dort in das Meer, welches dadurch mit der Zeit salzreicher wird.

Die in Quell- und Brunnenwasser vorkommenden Salze sind leichter lösliche (Kochsalz $NaCl$, Glaubersalz Na_2SO_4 , Soda Na_2CO_3 , Chlorkalium KCl , Chlorkalzium $CaCl_2$, Chlormagnesium $MgCl_2$ und schwerer lösliche wie doppelkohlensaurer Kalk $Ca(HCO_3)_2$, Gips $CaSO_4$ und andere. Beim Eindampfen im Kessel reichern sich die Salze an und scheiden sich z. T. als Kesselstein (S. 123) aus.

Von der Art und Menge dieser Salze und organischen Stoffe hängt es ab, ob Quell- und Brunnenwasser als Trinkwasser zu benutzen ist. Durch einen gewissen Gehalt an Kohlensäure erhält es einen erfrischenden Geschmack. Die Reinigung des Wassers zu Trinkzwecken erfolgt durch Filtration mit Hilfe von Koks, Kies und Sand.

Hartes Wasser enthält viel Kalk und Magnesia gelöst und ist zum Waschen und Kochen ungeeignet.

Im Meerwasser sind 3,5 % Salze gelöst, an Kochsalz allein 2,7 % ferner Kalzium- und Magnesiumsalze, Brom- und Jodverbindungen und viele andere. Läßt man Meerwasser in warmen Gegenden in „Salzgärten“ verdunsten, so kann das Kochsalz gewonnen werden. In den Steinsalzlagerstätten ist die Salzabscheidung auch infolge Verdunstung des Meerwassers erfolgt. Meeresbecken wurden durch Hebung des Meeresbodens in warmen, niederschlagsarmen Gegenden abgeschlossen und verloren im Laufe geologischer Zeiten nach und nach ihr Wasser. Der schwer lösliche Gips schied sich zuerst ab, dann folgte das Kochsalz, bis sich schließlich auch die leicht löslichen Salze unter Bildung von Doppelsalzen wie Schönit, Karnallit (Abraumsalze) absetzten. Mineralwasser nennt man Quellwasser, welches durch einen bestimmten Gehalt an Gasen oder Salzen gekennzeichnet ist. Säuerlinge enthalten viel Kohlensäure, Schwefelwässer Schwefelwasserstoff. Aus den kochsalzhaltigen Solwässern gewinnt man das Kochsalz, indem man seinen Gehalt zunächst konzentriert. Das geschieht in den Gradierwerken, hohen mit Dornenreisig gefüllten Gerüsten. Das Wasser wird auf die Gradierwerke gepumpt und fließt langsam durch die hohe Reisigschicht, wobei es allmählich verdunstet und kohlensauren Kalk, kohlensaure Magnesia und Gips als Dornstein abscheidet. Nach wiederholtem Durchgang ist der Kochsalzgehalt der Sole so hoch geworden, daß sich sein weiteres Konzentrieren in Dampfpfannen lohnt. Bitterwässer enthalten Magnesiumsalze und Stahlquellen Eisen. Aus dem hohen Kohlensäuregehalt mancher Quellen und der hohen Temperatur warmer Quellen (Thermen) kann man schließen, daß diese aus vulkanischen Vorgängen entstanden sind.

Aufgabe: Wieviel Wasser kann man mit 9 g Natrium zerlegen?

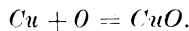
$$Na : H_2O = 9 : x$$

$$x = \frac{18 \times 9}{23} = 7,04 \text{ g.}$$

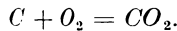
Oxydation und Reduktion.

Der Vorgang der Vereinigung des Sauerstoffs mit anderen Körpern wird Oxydation genannt. Bei jeder Oxydation findet eine Gewichtszunahme statt; die Körper, welche dabei entstehen, nennt man Oxide.

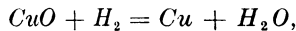
Leitet man Luft oder reinen Sauerstoff über erhitztes rotes Kupfer, so wird es schwarz unter Bildung von Kupferoxyd.



Daß jede Verbrennung, z. B. von Kohlenstoff, eine Oxydation ist, haben wir bereits gesehen.



Außer dem freien Sauerstoff wird die Oxydation auch durch Sauerstoff abgebende Körper bewirkt, wie z. B. Salpetersäure (HNO_3), chlorsaures Kali ($KClO_3$). Gibt ein Körper Sauerstoff ab, so wird er selbst reduziert. Die Entziehung von Sauerstoff wird Reduktion genannt. Mit diesem Vorgang ist stets eine Gewichtsabnahme des Körpers verbunden, welcher reduziert wird. Leitet man Wasserstoff über erhitztes Kupferoxyd, so wird es zu rotem Kupfer reduziert.



während der Wasserstoff selbst oxydiert wird. Jede Reduktion ist also von einer Oxydation, jede Oxydation von einer Reduktion begleitet. Außer dem Wasserstoff wirken auch Wasserstoff abgebende Körper z. B. Schwefelwasserstoff (H_2S), Grubengas (CH_4), Azetylen (C_2H_2), sowie Sauerstoff aufnehmende Körper, z. B. Kohlenstoff (Koks), Kohlenoxyd (CO) und schweflige Säure (SO_2), reduzierend.

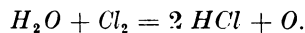
Hochofen- und Bleikammerprozeß sind technische Verfahren, welche auf Reduktion und Oxydation in großem Umfang beruhen.

Chlor ($Cl = 35,5$).

Vorkommen. Chlor kommt im freien Zustande in der Natur nicht vor. In Verbindung mit Natrium ist es sehr verbreitet als Chlornatrium (Steinsalz, Kochsalz); ferner als Chlorkalium u. a.

Darstellung. Chlor wird technisch durch Elektrolyse von Chlorkalium in wässriger Lösung gewonnen.

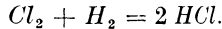
Eigenschaften. Das Chlor ist ein gelblich grünes Gas von unangenehmem, erstickendem Geruch. Seine Dichte ist 2,49 (Luft = 1). Chlor läßt sich leicht zu einer dunkelgelben Flüssigkeit verdichten, die in Stahlflaschen in den Handel gebracht wird. Chlor ist in Wasser leicht löslich (Chlorwasser). Organische Stoffe werden von Chlor zerstört, organische Farbstoffe bei Gegenwart von Wasser gebleicht, oxydiert. Diese Wirkung des Chlors beruht darauf, daß es das Wasser unter Einwirkung des Sonnenlichtes zersetzt, so daß Sauerstoff frei wird.



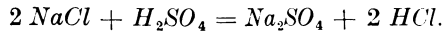
Chlor ist deshalb ein kräftiges Oxydationsmittel.

Salzsäure (*HCl*).

Läßt man das Sonnenlicht auf ein Gemenge von gleichen Raumteilen Chlor und Wasserstoff einwirken, so erfolgt ihre Vereinigung unter Explosion zu Salzsäure.



Salzsäure wird durch Destillation von Kochsalz und Schwefelsäure gewonnen.



Die Salzsäure zeigt alle Eigenschaften einer Säure (S. 117).

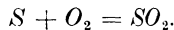
Die Verbindungen der Metalle mit Chlor nennt man Chloride. Salzsäure wird in der chemischen Industrie häufig angewendet. Eine Mischung von drei Teilen konzentrierter Salzsäure mit einem Teil konzentrierter Salpetersäure löst Gold (König der Metalle) und wird Königswasser genannt.

Schwefel (*S* = 32).

Vorkommen. Der Schwefel ist in der Natur sehr verbreitet, vor allem in vulkanischen Gegenden (Sizilien), wo er sich gediegen, mit erdigen Massen gemengt, vorfindet. Mit Metallen verbunden, bildet er die Kiese (Schwefelkies *FeS₂*, Kupferkies *CuFeS*), Glanze (Bleiglanz *PbS*) und Blenden (Zinkblende *ZnS*). Auch mit Sauerstoff und Metallen kommt er als Sulfat vor, z. B. als Gips (*CaSO₄*). Im Tier- und Pflanzenkörper ist organischer Schwefel enthalten und somit auch in der Steinkohle.

Gewinnung. Schwefel wird durch Schmelzen von den erdigen Beimengungen befreit und zur weiteren Reinigung aus gußeisernen Kesseln destilliert. Er kommt als Stangenschwefel, Schwefelblume oder Schwefelblüte und als Schwefelfaden in den Handel.

Eigenschaften. Schwefel ist bei gewöhnlicher Temperatur ein spröder, gelber Körper, der durch Reiben stark elektrisch wird. Auf -50° abgekühlt, wird der Schwefel fast farblos. Bei 115° schmilzt er zu einer gelben, dünnen Flüssigkeit, welche bei stärkerem Erhitzen sich dunkler färbt und so zähe wird, daß man sie nicht ausgießen kann. Über 250° erhitzt, wird der Schwefel wieder leichter beweglich, bis er bei 450° siedet. Gießt man bis nahe an seinen Siedepunkt erhitzten Schwefel in kaltes Wasser, so wird er nicht sofort fest, sondern verwandelt sich in eine durchsichtige, braune, knetbare Masse, die allmählich wieder hart wird. Der Schwefel tritt in mehreren, physikalisch verschiedenen Formen auf. An der Luft verbrennt der Schwefel mit blauer, leuchtloser Flamme zu schwefliger Säure

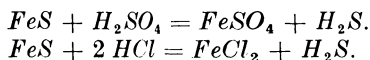


Anwendung. In der Medizin findet Schwefel in Form von Schwefelmilch und Schwefelblumen Verwendung; ferner zur Beseitigung von Pflanzenkrankheiten, in der Technik zur Darstellung von Schwefelsäure, Schwarzpulver, Zündhölzchen und zum Vulkanisieren des Kautschuks, der dadurch seine Sprödigkeit und Klebrigkeit verliert.

Schwefelwasserstoff (H_2S).

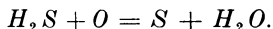
Vorkommen. Schwefelwasserstoff bildet sich bei der Fäulnis organischer, schwefelhaltiger Stoffe und kommt deshalb in Senkgruben vor. In der Kohlengrube wird Schwefelwasserstoff hier und da im „Alten Mann“ vorgefunden. Da er von Wasser begierig aufgenommen wird (Schwefelwasserstoffwasser), so enthalten Wasseransammlungen oft größere Mengen von Schwefelwasserstoff. Beim Abzapfen des Wassers ist deshalb Vorsicht geboten. In den Kaligruben trifft man Schwefelwasserstoff häufiger und in größeren Mengen an. Schwefelwasserstoff ist auch in Schwefelwässern enthalten.

Darstellung. Schwefelwasserstoff wird bei der Einwirkung von verdünnter Schwefelsäure oder Salzsäure auf Schwefeleisen erhalten.



Eigenschaften. Der Schwefelwasserstoff ist ein farbloses, höchst unangenehm nach faulen Eiern riechendes Gas, welches sehr giftig, aber nicht so gefährlich wie Kohlenoxyd ist, da der widerliche Geruch seine Anwesenheit auch in ganz geringen Mengen verrät. Die Dichte des Schwefelwasserstoffs beträgt 1,18 (Luft = 1); 1 cbm wiegt 1,525 kg. Wasser löst bei gewöhnlicher Temperatur ungefähr das Dreifache seines Volumens. An der Luft verbrennt Schwefelwasserstoff mit blaßblauer Flamme. $H_2S + 3O = SO_2 + H_2O$.

Hält man eine kalte Porzellanplatte in die Flamme, so scheidet sich gelber Schwefel ab:



Nachweis. Auch bei starker Verdünnung läßt sich Schwefelwasserstoff am Geruch erkennen. Mit Bleilösung getränktes Filtrierpapier (Bleipapier) wird auch von Schwefelwasserstoff geschwärzt, wenn nur 0,003 % davon in den Wettern vorhanden sind.

Anwendung. Schwefelwasserstoff findet im chemischen Laboratorium eine ausgedehnte Anwendung, da er viele Metalle aus den Salzlösungen als Schwefelmetalle niederschlägt und ihren Nachweis erleichtert.

Aufgabe: Wieviel Liter Schwefelwasserstoff erhält man durch Einwirkung von verdünnter Schwefelsäure auf 15 g Schwefeleisen (FeS)?

$$\begin{aligned} FeS : H_2S &= 15 : x \\ x &= \frac{34 \times 15}{88} = 5,73 \text{ g.} \end{aligned} \qquad \begin{aligned} & \frac{5,73}{1,18} = 4,85 \text{ l.} \end{aligned}$$

Schweflige Säure (SO_2).

Vorkommen. Schweflige Säure kommt in den Vulkangasen vor. Die Luft über Industriestädten enthält immer schweflige Säure, welche aus dem Schwefel der verbrannten Kohlen stammt.

Darstellung. Durch Rösten von Sulfiden und durch Verbrennung von Schwefel und schwefelhaltiger Stoffe.

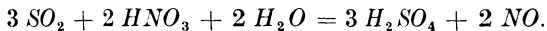
Eigenschaften. Schweflige Säure ist ein farbloses, stechend riechendes, zum Husten reizendes Gas. Die Dichte beträgt 2,26. Schweflige Säure vermag die Verbrennung nicht zu unterhalten: vom Wasser wird sie leicht gelöst. Bei Gegenwart von Wasser wirkt schweflige Säure auf Farbstoffe bleichend, was z. T. auf Reduktionsvorgänge zurückzuführen ist.

Anwendung. Zum Bleichen, Desinfizieren und Konservieren. Zur Herstellung von Schwefelsäure. Flüssige schweflige Säure findet in Kältemaschinen Verwendung.

Schwefelsäure (H_2SO_4).

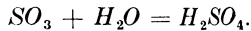
Vorkommen. Schwefelsäure kommt frei nur in einigen Gewässern Südamerikas vor. In Form von Sulfaten findet sie sich häufig z. B. in den Vitriolen (Kupfervitriol $CuSO_4 + 5 H_2O$, Eisenvitriol $FeSO_4 + 7 H_2O$). Saure Grubenwässer enthalten außer Eisenvitriol auch freie Schwefelsäure, da sie aus Schwefelkies durch Oxydation entstanden sind.

Darstellung. 1. Im Bleikammerprozeß durch Oxydation der schwefligen Säure durch Sauerstoff der Luft unter Mitwirkung von Salpetersäure und Wasser.



Die Stickoxyde werden durch Luft und Wasser wieder in Salpetersäure übergeführt, so daß man mit einer kleinen Menge Salpetersäure große Mengen Schwefelsäure erzeugen kann.

2. Im Kontaktverfahren, wobei die Vereinigung von schwefliger Säure mit dem Sauerstoff der Luft beim Überleiten über erhitzten Platinasbest sich leicht vollzieht. Das Umsetzungsprodukt, Schwefeltrioxyd SO_3 , gibt mit Wasser unter starker Erhitzung direkt Schwefelsäure.



Eigenschaften. Die reine konzentrierte Schwefelsäure ist eine farblose, geruchlose Flüssigkeit vom spez. Gewicht 1,84. Sie zieht aus der Luft begierig Feuchtigkeit an und wird daher zum Trocknen von Gasen und anderen Körpern benutzt. Sie mischt sich mit Wasser in jedem Verhältnis, wobei sie sich stark erhitzt. Stets muß daher die Schwefelsäure in dünnem Strahle in das Wasser gegossen werden, wenn man eine verdünnte Schwefelsäure herstellen will. Organischen Körpern entzieht die Schwefelsäure Wasser, dadurch werden sie zerstört. (Verkohlen von Papier, Holz, Tuch.)

Anwendung. Schwefelsäure wird zur Darstellung von schwefelsaurem Ammoniak in den Kokereien, vieler Säuren, z. B. Salzsäure und Salpetersäure, zum Füllen von Akkumulatoren benutzt.

Stickstoff ($N = 14$).

Vorkommen. Im freien Zustande kommt der Stickstoff in der atmosphärischen Luft vor, welche zu vierfüntel ihres Volumens aus Stickstoff besteht. An andere Elemente gebunden, findet er sich in

Nitraten (Chilesalpeter) und Ammoniakverbindungen, ferner in pflanzlichen und tierischen Stoffen (Steinkohle, Torf).

Darstellung. 1. Man befreit die atmosphärische Luft von ihrem Sauerstoff durch Absorption mit Hilfe von Phosphor bzw. glühendem Kupfer.

2. Aus flüssiger Luft entweicht zuerst Stickstoff wegen seines niederen Siedepunktes, so daß er getrennt aufgefangen werden kann.

Eigenschaften. Der Stickstoff ist ein farbloses, geruchloses und geschmackloses Gas. Er ist etwas leichter als Luft. Seine Dichte beträgt 0,97 (Luft = 1); 1 cbm Stickstoff wiegt 1,254 kg. Stickstoff brennt nicht, vermag auch die Verbrennung anderer Körper nicht zu unterhalten; eine Flamme erlischt daher sofort in ihm. Stickstoff ist zwar kein Gift, läßt aber Menschen und Tiere bei Mangel an Sauerstoff ersticken. Stickstoff geht nur schwer chemische Verbindungen ein und ist daher in der Luft nur als Sauerstoffverdünner aufzufassen.

Anwendung. Der Stickstoff dient zum Überfüllen brennbarer Flüssigkeiten, wodurch der Zutritt von Luft und die Bildung explosibler Luftgemische ausgeschlossen ist. Stickstoff kommt in stählernen Flaschen, auf 100 Atm. zusammen gedrückt, in den Handel.

Die atmosphärische Luft.

Lassen wir eine Kerze unter Glasglocken verschiedener Größen brennen, so leuchtet sie um so länger, je größer der Luftraum ist. In der Luft ist demnach Sauerstoff enthalten; es gelingt aber niemals, die ganze Menge Luft vollständig zu verbrauchen. Der Rest ist nicht mehr imstande, die Verbrennung zu unterhalten. Es ist daher noch ein anderer Stoff in der Luft enthalten; man nennt ihn Stickstoff. Die Luft ist ein mechanisches Gemenge von Sauerstoff und Stickstoff, welches man auf physikalischem Wege, z. B. nach vorhergegangener Verflüssigung, voneinander trennen kann (S. 42).

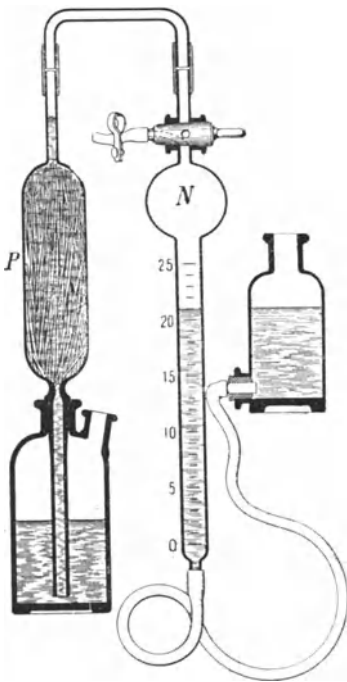


Fig. 107.

Um die Zusammensetzung der Luft zu ermitteln (Analyse), verwendet man Phosphor, welcher der Luft schon bei gewöhnlicher Temperatur den Sauerstoff entzieht. In dem Lindemannschen Apparat (Abb. 107) werden 100 ccm Luft im Meßrohr *N* abgemessen und mit Hilfe der Druckflasche in die Absorptionspipette *P* gedrückt. In diesem Glasgefäß befinden sich dünne Phosphorstangen vollständig unter Wasser.

Nachdem der Sauerstoff vom Phosphor aufgenommen ist, saugt man den Gasrest wieder in das Meßrohr zurück. Nach Gleichstellen der beiden Wassersäulen in Meßrohr und Druckflasche sieht man, daß 79 Raumteile — Stickstoff — übriggeblieben sind.

Die unsere Erde umgebene Lufthülle ist ungefähr 300 km hoch und enthält überall in Raumteilen

79	%	Stickstoff
21	%	Sauerstoff
0,04	%	Kohlensäure
100%		

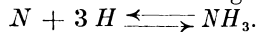
In der Luft ist immer Wasserdampf in außerordentlich wechselnden Mengen (S. 38) enthalten, so daß er gewöhnlich nicht angegeben wird. In der Nachbarschaft von großen Städten, Fabriken und Vulkanen finden sich auch andere Gase in geringen Mengen in der Luft. Man hat bei den Gasen die Dichte der Luft als Einheit angenommen. 1 cbm trockene Luft wiegt 1,293 kg (0°, 760 mm).

Ammoniak (NH_3).

Vorkommen. In geringen Mengen in der Luft in Verbindung mit Säuren, in natürlichen Wässern und im Erdboden. Ammoniak bildet sich durch Fäulnisvorgänge organischer stickstoffhaltiger Stoffe.

Darstellung. 1. Ammoniak entsteht bei der Verkokung von Torf und Steinkohle.

2. Unter hohem Druck und hoher Temperatur gelingt die Darstellung des Ammoniaks aus den Elementen; es handelt sich dabei um einen umkehrbaren Prozeß, den man durch zwei Pfeile in entgegengesetzter Richtung zum Ausdruck bringt.



Bei solchen umkehrbaren Vorgängen bildet sich ein Zustand, welcher chemisches Gleichgewicht genannt wird. Ammoniak ist eine exothermische Verbindung, d. h. seine Bildung erfolgt wie die der meisten Verbindungen unter Freiwerden von Wärme.

Eigenschaften. Ammoniak ist ein farbloses Gas von stechendem, eigentümlichen Geruch. Es wird von Wasser begierig unter Bildung von Ammoniakwasser oder Salmiakgeist aufgenommen. Durch Druck und Abkühlung läßt sich Ammoniak leicht verflüssigen. Flüssiges Ammoniak dient zur Erzeugung von künstlichem Eis und zum Abkühlen der Kälteträger (Gefrierverfahren, Kälträume).

Mit Säuren geht Ammoniak Verbindungen (Salze) wie schwefelsaures Ammoniak $(NH_4)_2SO_4$, Salmiak (NH_4Cl) , Ammonsalpeter (NH_4NO_3) ein.

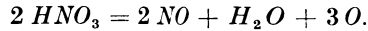
Stickstoff bildet mit Sauerstoff fünf Oxyde, von welchen Stickoxyd (NO) und Stickstoffdioxyd (NO_2) besonders erwähnt seien.

Stickoxyde (NO ; NO_2).

Stickoxyd (NO) kommt in der Natur kaum im freien Zustande vor, da die Vereinigung von Stickstoff und Sauerstoff zu Stickoxyd nur durch Wärmebindung vor sich geht. Solche Verbindungen, die

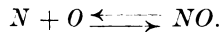
unter Aufnahme von Wärme entstehen, nennt man endothermische Verbindungen. Beim Auskochen von Schüssen in der Grube entsteht neben Stickoxyd auch Stickstoffdioxyd.

Darstellung. 1. Stickoxyd entsteht bei der Einwirkung von Kupfer auf Salpetersäure, welche dabei nach folgender Formel zerfällt:



Der Sauerstoff oxydiert das Kupfer zu Kupferoxyd, welches sich in Salpetersäure zu Kupfernitrat auflöst.

2. Im elektrischen Lichtbogen verbrennt der Stickstoff mit dem Sauerstoff der Luft zu Stickoxyd; dieses muß nach der Bildung sofort stark abgekühlt werden, da es sonst wieder in Sauerstoff und Stickstoff zerfällt.

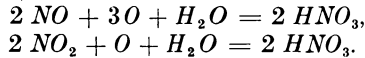


Eigenschaften. Das Stickoxyd ist ein farbloses, giftiges Gas. Seine Dichte beträgt 1,039 (Luft = 1). Stickoxyd vermag die Verbrennung einiger Körper zu unterhalten, da es 53,3% Sauerstoff enthält. Ein brennender Holzspan und Phosphor fahren fort, im Stickoxydgas zu brennen.

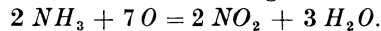
Stickstoffdioxyd (NO_2). Mit Sauerstoff vereinigt sich Stickoxyd sofort zu Stickstoffdioxyd (NO_2), einem dunkelbraunen Gas von eigentümlichem, unangenehmem Geruch.

Salpetersäure (HNO_3).

Darstellung. Die Stickoxyde bilden mit Sauerstoff und Wasser Salpetersäure (HNO_3).



Auch Ammoniak verbrennt mit Sauerstoff der Luft in Berührung mit erhitztem Platin (Kontaktwirkung) zu Stickoxyden.



Die Stickoxyde werden mit Hilfe von Wasser in Salpetersäure übergeführt. Durch diese Verbrennung des Stickstoffs und des Ammoniaks war es Deutschland während des Krieges möglich, seinen Bedarf an Salpetersäure und somit Salpeter zu decken. Vor dem Kriege wurde fast alle Salpetersäure aus Chilesalpeter durch Destillieren mit Schwefelsäure hergestellt.

Eigenschaften. Die reine konzentrierte Salpetersäure ist eine farblose, an der Luft rauchende Flüssigkeit vom spez. Gewicht 1,56, die sich mit Wasser in jedem Verhältnis mischt. Salpetersäure oxydiert und löst fast alle Metalle unter Bildung von salpetersauren Salzen (Nitraten), mit Ausnahme von Gold und Platin. Viele organische Stoffe werden von der Salpetersäure bis zur vollständigen Oxydation zerstört. Ein glühendes Stück Kohle verbrennt in konzentrierter Salpetersäure. Tropfen von Terpentinöl brennen auf Salpetersäure, und Roßhaare geraten in den Dämpfen von Salpetersäure in Brand.

Anwendung. Salpetersäure dient zur Herstellung von Schwefelsäure. Königswasser und von Nitraten (z. B. Silbernitrat = Höllenstein).

Bei der Einwirkung eines Gemisches von Salpetersäure und Schwefelsäure auf viele organische Stoffe entstehen wichtige Sprengstoffe, wie Nitroglycerin, Nitrozellulose, Nitrobenzol, Nitrotoluol, Pikrinsäure. Diese Körper sind auch Ausgangsmaterialien zur Erzeugung wichtiger Medikamente, Farbstoffe und Riechmittel.

Aufgabe: Eine Legierung enthält 92% Silber und 8% Kupfer. Wieviel Gramm Höllenstein ($AgNO_3$) kann man aus 50 g der Legierung gewinnen?

$$Ag : AgNO_3 = 46,0 : x$$

$$x = \frac{170 \times 46}{108} = 72,4 \text{ g.}$$

Phosphor ($P = 31$).

Vorkommen. Phosphor kommt in der Natur wegen seiner Verwandtschaft zum Sauerstoff nicht frei vor. Er ist hauptsächlich als phosphorsaurer Kalk ($Ca_3(PO_4)_2$), z. B. als Apatit, verbreitet. Die Knochen der Tiere bestehen im wesentlichen aus phosphorsauerm Kalk. Auch für den Aufbau des Pflanzenkörpers ist Phosphor von großer Bedeutung. Der Phosphor kommt in mehreren, physikalisch voneinander verschiedenen Formen vor.

Eigenschaften. Der gelbe Phosphor ist eine gelblich-weiße, wachsweiße Masse, welche sich an der Luft selbst entzündet, indem sie zu Phosphoroxiden verbrennt. Der gelbe Phosphor ist sehr giftig und geht beim Erhitzen unter Luftabschluß (250°) in roten Phosphor über. Dieser ist nicht selbst entzündlich und nicht giftig.

Anwendung. Phosphor dient in der Gasanalyse zur Absorption des Sauerstoffs und in der chemischen Industrie zur Herstellung von Phosphorverbindungen, Zündbändern und Zündhölzern. Die maschinell hergestellten Hölzer werden zuerst in geschmolzenen Schwefel oder geschmolzenes Paraffin, dann in einen Brei von Phosphorlösung, Salpeter und Bleisuperoxyd getaucht, wodurch der Zündkopf gebildet wird. Dieser entzündet sich durch die Wärme beim Streichen zuerst, da Phosphor leicht brennt und von leicht Sauerstoff abgebenden Körpern umgeben ist. Die Flamme des Zündkopfes bringt dann den Schwefel bzw. das Paraffin, welche leicht verbrennen, zur Entzündung, wodurch das Hölzchen Feuer fängt.

Zündbänder und Zündblättchen bestehen aus Papierstreifen bzw. Papierblättchen, auf welche ein Gemenge von Phosphor, chloresauerm Kali und Leimwasser getropft ist. Ihre Zündung erfolgt durch Reibung (Stahlstift der Grubenlampe) bzw. durch Schlag (Kinderpistolen).

Kohlenstoff ($C = 12$).

Vorkommen. Der Kohlenstoff findet sich im freien Zustande in der Natur in drei voneinander verschiedenen Formen als Diamant, Graphit und amorpher Kohlenstoff.

Der **Diamant** kommt meist kristallisiert vor, und zwar lose in angeschwemmtem Boden von Indien, Brasilien und Südafrika, seltener eingewachsen in quarzreichem Glimmerschiefer.

Der Diamant besitzt ein sehr starkes Lichtbrechungsvermögen, ist meist ganz farblos und durchsichtig, bisweilen auch rot, gelb, grün, blau und schwarz gefärbt. Sein spez. Gewicht beträgt 3.5; er ist der härteste aller Körper. Auf 700–800° erhitzt, verbrennt der Diamant in Sauerstoff zu Kohlendioxyd.

Sein ausgezeichnete Glanz wird durch Schleifen noch erhöht, er ist deshalb und wegen seiner Seltenheit ein begehrter Schmuck. Der Diamant dient ferner zum Besetzen der Bohrkronen beim Bohren im harten Gestein, als Schneid- und Schreibstift für Glas. Seine Abfälle werden als feines Pulver zum Schleifen der Edelsteine benutzt.

Der Graphit findet sich in den ältesten Gebirgsschichten meist amorph, selten kristallisiert in Sibirien, Ceylon, Mähren, Böhmen. Der Graphit ist glänzend, schwarz, sehr weich und wird deshalb zur Herstellung von Schwärze, Bleistiften und Schmiermitteln benutzt. Sein spez. Gewicht beträgt 2.1. Graphit verändert sich selbst bei hohen Temperaturen nicht, ist unerschmelzbar und dient daher zur Fabrikation von Graphittiegeln.

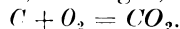
Der amorphe Kohlenstoff wird durch Verkohlung kohlenstoffhaltiger Verbindungen gewonnen und kommt fossil in der Kohle vor. Die reinste amorphe Kohle ist Kienruß; auch Holz- und Tierkohle, sowie Koks sind amorpher Kohlenstoff.

Der Kohlenstoff bildet mit Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel eine unbegrenzte Menge von Verbindungen. Da diese Kohlenstoffverbindungen früher nur aus der Tier- und Pflanzenwelt gewonnen wurden, nannte man sie organische Verbindungen. Jetzt stellt man die meisten künstlich aus den Elementen (synthetisch) dar. Da aber die Zahl dieser Verbindungen überaus groß ist, sie sich durch eine Reihe von Eigentümlichkeiten auszeichnen, so werden sie in einem besonderen Teil der Chemie besprochen. Man nennt daher die Chemie des Kohlenstoffs noch heute organische Chemie, während alle anderen Elemente und ihre Verbindungen zum Gebiete der anorganischen Chemie gehören.

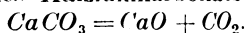
Kohlendioxyd, Kohlensäure (CO_2).

Vorkommen. Kohlensäure findet sich im freien Zustande in der Luft (0,04 %) und in vielen Mineralwässern. Sie strömt zuweilen aus Vulkanen und aus Erdspalten vulkanischer Gegenden (Hundsgrotte bei Neapel, Dunsthöhle bei Pyrmont, Eifel) in großen Mengen. Im gebundenen Zustande kommt die Kohlensäure mit Kalk (Kalkstein, Marmor, Kreide) und mit Kalk und Magnesia (Dolomit) in Form kohlen-saurer Salze sehr verbreitet vor und bildet ganze Gebirge. Als Produkt der Verwesung organischer Stoffe findet sich die Kohlensäure in manchen Brunnen und als Zersetzungserzeugnis gärenden Weines in Weinkellern.

Darstellung. 1. Durch Verbrennen von Kohlenstoff (Diamant, Graphit, Koks, Ruß) und kohlenstoffhaltiger Körper (Kohle, Torf, Holz, Benzol, Benzin, Spiritus, Grubengas, Leuchtgas u. a.) an der Luft.



2. Durch Glühen des Kalziumkarbonats (Kalkstein).



3. Durch Zersetzung des Kalziumkarbonats (Marmor) mit verdünnter Salzsäure.

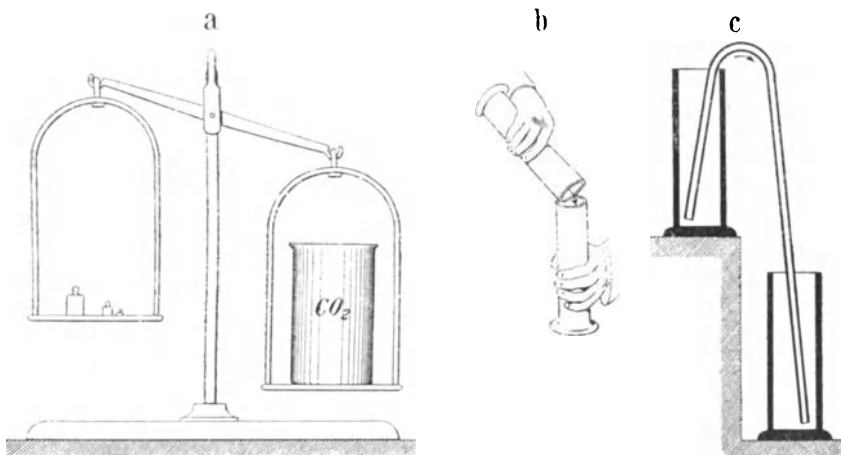
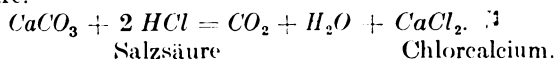


Fig. 108.

4. Durch den Gärungsprozeß zuckerhaltiger Stoffe (Weintrauben, Gerste, Kartoffeln) entsteht Kohlensäure.

Eigenschaften. Kohlensäure ist ein farbloses Gas von scharfem, säuerlichem und prickelndem Geruch und Geschmack. Kohlensäure ist viel schwerer als Luft (schwere Wetter), ihre Dichte beträgt 1,529 (Luft = 1). 1 cbm Kohlensäure wiegt 1,977 kg (0°, 760 mm).

Ein mit Luft gefülltes, auf der Wage in Gleichgewicht gebrachtes Becherglas wird beim Füllen mit Kohlensäure schwerer (Fig. 108a). Wegen seiner Schwere verdrängt die Kohlensäure durch Einströmenlassen die Luft aus Gefäßen; sie kann aus einem Gefäß in ein anderes nach unten gegossen (Fig. 108b) und mit Hilfe des Hebers abgehoben werden (Fig. 108c). Mit Kohlensäure gefüllte Seifenblasen sinken schnell zu Boden.

Kohlensäure ist nicht brennbar und vermag auch die Verbrennung nicht zu unterhalten. Brennende Kerzen erlöschen in Kohlensäure; der durch Fig. 109 dargestellte Versuch zeigt besonders anschaulich, wie eine Kerze nach der anderen beim Eindringen der Kohlensäure von unten erlischt.

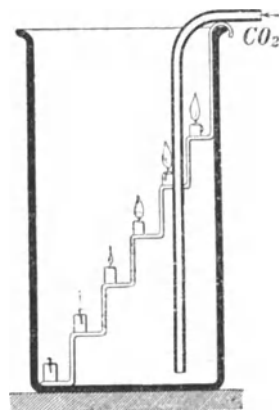


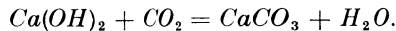
Fig. 109.

Kohlensäure kann die Atmung nicht unterhalten, obgleich sie nicht giftig ist. Alle Tiere ersticken in ihr aus Mangel an Sauerstoff. Prüfung von Brunnen und anderen kohlendioxidverdächtigen Stellen mit dem Licht, das schon bei einem Gehalt von 4–5% Kohlensäure in der Luft erlischt.

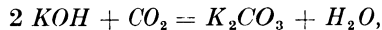
Unter 31° (kritische Temperatur) kann die Kohlensäure durch Druck (38 Atm., 0°) leicht verflüssigt werden. Aus den Kohlensäurequellen der Eifel wird die Kohlensäure unter Kühlung und Druck in Stahlflaschen verflüssigt und so in den Handel gebracht. Läßt man aus Stahlflaschen flüssige Kohlensäure durch Öffnen des tief gehaltenen Ventils in die Luft entweichen, so entsteht feste, weiße, schneeartige Kohlensäure, welche eine Temperatur von – 79° besitzt. Die schnelle Verdampfung eines Teiles der flüssigen Kohlensäure entzieht die dazu nötige Wärme dem nachströmenden Gas, so daß es erstarrt.

Von Wasser wird Kohlensäure merklich gelöst, und zwar desto mehr, je kälter es ist und unter je größerem Druck es steht. Dieses Gesetz hat allgemeine Gültigkeit für alle Gase.

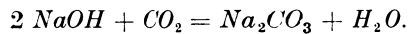
Läßt man die ausgeatmete Kohlensäure oder Verbrennungsgase durch Kalkwasser perlen, so entsteht ein weißer Niederschlag von kohlenstoffsaurem Kalk – Nachweis der Kohlensäure.



In den Kalipatronen der Atmungsgeräte streicht die kohlendioxidreiche Luft über viele Kali- und Natronkörner; dabei wird die Kohlensäure absorbiert, indem sie das Kali in Pottasche und das Natron in Soda verwandelt.



Kali Pottasche



Natron Soda

Luft, welche vor dem Erschöpfen der Kalipatronen dem Atmungsgerät entnommen war, enthielt bisweilen 6–8% Kohlensäure, ohne daß die Atmenden Beschwerden verspürten, da der Sauerstoffgehalt noch 60–80% betrug.

Anwendung. Kohlensäure wird in gasförmigem Zustande zur Bereitung kohlendioxidhaltiger Getränke (Mineralwässer, Schaumwein) und als Feuerlöschmittel verwandt. Flüssige Kohlensäure dient in Druckapparaten zum Überfüllen von Bier und zur Kälteerzeugung.

Aufgabe: Wieviel Kohlensäure erhält man aus 70 g Marmor durch Zersetzung mit Salzsäure?

$$CaCO_3 : CO_2 = 70 : x$$

$$x = \frac{44 \times 70}{100} = 30,8 \text{ g}$$

Ernährung und Atmung der Menschen, Tiere und Pflanzen.

Zum Aufbau ihres Körpers gebrauchen Mensch und Tier Kohlenhydrate, Fette, Eiweißstoffe, Wasser und Salze. Der in den Nahrungsmitteln enthaltene Kohlenstoff wird im Körper durch den eingeatmeten

Sauerstoff verbrannt; dadurch wird Wärme zur Erhaltung der für das Leben nötigen Temperatur erzeugt.

Der erwachsene Mensch bedarf täglich etwa 2 kg Nahrung, 2½ kg Wasser und etwa 25 g Salze. Die Nahrung soll nach Möglichkeit mindestens 110 g Eiweiß, 70 g Fett und 400 g Kohlehydrate enthalten. Diese Verbindungen sind im Pflanzen- und Tierkörper vorhanden und erfahren beim Genuß eine Umwandlung durch die Verdauungsapparate (Magen, Darm, Galle, Bauchspeicheldrüse), bevor sie vom Blute aufgenommen werden. Die nicht zum Aufbau des Körpers nötigen Stoffe werden auf natürlichem Wege wieder abgegeben, während die brauchbaren Säfte durch Diffusionsvorgänge in das Blut gelangen.

Der Lunge wird durch die Atmungstätigkeit Sauerstoff zugeführt, der durch die Lungenbläschen in das Blut gelangt. Der erwachsene, arbeitende Mensch atmet täglich etwa 20 cbm Luft ein; die entsprechen rund 500–750 g Sauerstoff. Der Sauerstoff verbrennt die Nahrungssäfte im Blute zu Kohlensäure und Wasser. Diese kommen mit dem Blute in die Lunge zurück und werden ausgeatmet.

Die Zusammensetzung der ausgeatmeten Luft ist im Durchschnitt

eingeatmete Luft		ausgeatmete Luft
0,04 ⁰ / ₀	CO ₂	4 ⁰ / ₀
21 ⁰ / ₀	O ₂	17 ⁰ / ₀
79 ⁰ / ₀	N ₂	79 ⁰ / ₀
100 ⁰ / ₀		100 ⁰ / ₀

Durch den Atmungsvorgang des Menschen werden täglich 500 Liter Kohlensäure erzeugt. Bei den gewaltigen Mengen von Kohlensäure, die dauernd durch Atmen der Menschen und Tiere und durch die Verbrennungsprozesse gebildet werden, sollte man denken, daß der Kohlenstoffgehalt der Luft zunehmen, ihr Sauerstoffgehalt abnehmen werde. Das ist aber durchaus nicht der Fall; vielmehr bleibt die Zusammensetzung der Luft dieselbe, da die Pflanzen Kohlensäure zum Aufbau ihres Körpers nötig haben und dafür Sauerstoff abgeben.

Die Pflanze nimmt aus der Luft mit den Blättern Kohlensäure auf, spaltet die Kohlensäure unter Einwirkung der Sonnenstrahlen und des Blattgrüns, behält den Kohlenstoff und atmet Sauerstoff aus. Diese Zerlegung der Kohlensäure in den Pflanzenzellen nennt man Assimilation; sie wird durch künstliche Zufuhr von Kohlensäure bedeutend erhöht (Kohlensäuredüngung). Aus dem Erdboden nimmt die Pflanze durch die Wurzel Wasser und Nährsalze auf; das Wasser wird zum größten Teil wieder durch die Blätter verdampft. Ein kleiner Teil bleibt jedoch in der Pflanze zurück und bildet mit dem aus der Kohlensäure stammenden Kohlenstoff die Kohlehydrate. Fette und Eiweißstoffe der Pflanze (Holz, Stärke, Mehl, Zucker, Fett, Öl, Samen usw.). Die für diese Umsetzungen nötige Wärme liefert die Sonne, welche alle auf der Erde erzeugbare Wärme spendet.

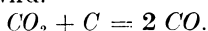
Die durch die Wurzel aufgenommenen Salze sind hauptsächlich Verbindungen des Stickstoffs, Phosphors, Kalis und des Kalkes (Kunstdünger).

Während also die Pflanzen aus unorganischen Stoffen organische Stoffe aufbauen und dabei Sauerstoff ausatmen, bilden die Tiere bei ihren Lebensvorgängen aus organischen Stoffen unorganische Stoffe; Tier- und Pflanzenwelt ergänzen sich daher gegenseitig.

Kohlenoxyd (CO).

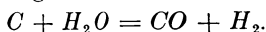
Vorkommen. Kohlenoxyd kommt stets da vor, wo Kohlen und kohlenstoffhaltige Körper unter gehemmtem Luftzutritt verbrennen.

Bildung. Kohlenoxyd ist eine ungesättigte Verbindung; seine direkte Bildung gemäß der Formel $C + O = CO$ mit Sauerstoff der Luft ist noch nicht einwandfrei bewiesen. Der in den Brennstoffen enthaltene, gebundene Sauerstoff verbindet sich dagegen direkt mit Kohlenstoff zu Kohlenoxyd (Leuchtgas, Kokereigas usw.). Bei der unvollkommenen Verbrennung kohlenstoffhaltiger Stoffe an der Luft entsteht zunächst Kohlensäure, welche durch glühenden Kohlenstoff zu Kohlenoxyd reduziert wird.



Darstellung. Man leitet: 1. Kohlensäure über Holzkohle, welche in einem Rohr aus schwer schmelzbarem Glase zu heller Rotglut erhitzt ist; das Gas wird über Kalilauge aufgefangen, um das Kohlenoxyd von unveränderter Kohlensäure zu befreien.

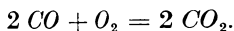
2. Wasserdampf über glühenden Kohlenstoff.



Man erhält ein Gemenge von Kohlenoxyd und Wasserstoff, welches Wassergas genannt wird (S. 134).

Eigenschaften. Kohlenoxyd ist ein farbloses und geruchloses Gas. Sein spez. Gewicht ist 0,967 (Luft = 1); 1 cbm wiegt 1,25 kg (0°, 760 mm), also nur etwas weniger als Luft.

Kohlenoxyd vermag die Verbrennung nicht zu unterhalten, ist aber selbst brennbar.



Kohlenoxyd verbrennt an der Luft mit schön blauer Flamme und unterscheidet sich dadurch von anderen brennbaren Gasen. Kohlenoxyd gibt mit Luft explosible Gemenge, und zwar sind auf zwei Raumteile CO ein Raumteil Sauerstoff oder $\frac{100 \times 1}{21} = 4,76$ Raumteile Luft erforderlich. Da schon die untere Explosionsgrenze 16,5% Kohlenoxyd voraussetzt, darf man annehmen, daß reine Kohlenoxydexplosionen in Kohlengruben nicht möglich sind.

Kohlenoxyd ist sehr giftig und für den Bergmann so gefährlich, weil seine Gegenwart nicht leicht erkannt werden kann. Erst bei bereits tödlich wirkenden Mengen in der Luft zeigt die kleingeschraubte Flamme der Benzinlampe eine Aureole, die lebhafter blau als die Grubengasaureole gefärbt ist.

Die Giftigkeit des Kohlenoxyds beruht darauf, daß es zu den Farbstoffen der roten Blutkörperchen eine größere chemische Verwandtschaft als der Sauerstoff besitzt. Es vereinigt sich mit dem Blut zu

einer festen Verbindung, die dasselbe unfähig macht, Sauerstoff aufzunehmen. Die Aufnahme von Kohlenoxyd findet daher statt, auch wenn es in ganz geringen Mengen zugegen ist, so daß Gehalte von 0,02—0,05 % Kohlenoxyd bei längerem Aufenthalt Vergiftungsercheinungen auslösen. Bei 0,1—0,2 % Kohlenoxyd tritt nach 1—2 Stunden, bei 0,4 bis 0,5 % schon nach ½stündigem Verweilen des Menschen Ohnmacht ein.

Die Vergiftung durch Kohlenoxyd äußert sich zuerst durch Kopfschmerz und brennendes Gefühl im Gesicht, namentlich in der Schläfengegend, Herzklopfen und Ohrensausen, Angst und Schwäche. Es tritt Übelkeit und Erbrechen, Ohnmacht und bei starker Vergiftung schmerzloser Tod ein.

Bei vorliegendem Verdacht der Kohlenoxydvergiftung muß der Kranke sofort in die freie Luft gebracht und der künstlichen Atmung mit reinem Sauerstoff unterworfen werden. Auf solche Weise Gerettete zeigen oft noch monatelange Gesundheitsstörungen.

Nachweis. Mäuse und Vögel, welche Kohlenoxyd gegenüber weit empfindlicher als der Mensch sind, zeigen, in Käfigen mitgenommen, durch ihr unruhiges Verhalten oder Umfallen seine Gegenwart an.

Mit Palladiumchlorür getränktes Filtrierpapier (Kohlenoxydpapier) wird bei Gegenwart von Kohlenoxyd unter Bildung von metallischem Palladium geschwärzt.

Quellen der Kohlenoxydvergiftungen.

a) **Kohlendunst.** Öffnet man die Ofentür eines Ofens, nachdem die flüchtigen Bestandteile der Kohle bereits verbrannt sind, so sieht man über dem glühenden Koks die kennzeichnende blaue Kohlenoxydflamme. Schließt man die Ofenklappe, so kann das Kohlenoxyd nicht in den Schornstein entweichen, sondern tritt ins Zimmer. Auf diese Art erfolgen in jedem Jahre eine Reihe von tödlichen Vergiftungen.

b) **Brandgase der Kohlengruben** enthalten Kohlenoxyd besonders dann, wenn der Brand an einzelnen Stellen zur Glut entfacht ist. Brandgase sind reich an Kohlensäure und Stickstoff, arm an Sauerstoff und enthalten oft außer Grubengas auch Kohlenoxyd. Die Anwesenheit auch geringer Mengen von Kohlenoxyd liefert den Beweis, daß der Brand noch nicht erloschen ist; bei Zutritt von Sauerstoff durch Öffnen des Feldes kann er von neuem ausbrechen.

c) **Leuchtgas** enthält Kohlenoxyd in beträchtlichen Mengen. Leuchtgasvergiftungen sind daher Kohlenoxydvergiftungen.

d) Alle **Sprenngase**, vornehmlich diejenigen der Sicherheits-sprengstoffe, enthalten Kohlenoxyd.

e) In den **Nachschwaden aller Kohlenstaubexplosionen** ist Kohlenoxyd enthalten. Da fast alle Schlagwetter unter Mitwirkung von Kohlenstaub explodieren, so muß auch mit der Gegenwart von Kohlenoxyd in ihren Nachschwaden gerechnet werden. Selbst bei reinen Schlagwetterexplosionen mit mehr als 9,5 % Grubengas bildet sich Kohlenoxyd, da jenes bei höheren Temperaturen und Mangel an Sauerstoff mit Kohlensäure Kohlenoxyd bildet.

f) Im **eingezogenen Tabakrauch**, namentlich bei schlechtem Zuge, ist Kohlenoxyd vorhanden.

Anwendung. In unaufröhrlichem Prozeß wird Kohlenoxyd im Hochofen zur Erschmelzung des Eisens erzeugt. Der Hochofen wird mit abwechselnden Schichten von Koks, Erzen und Zuschlägen beschickt. In der heißen Gebläsewindzone verbrennt der Koks zu Kohlensäure, welche in den höher gelegenen, glühenden Koksschichten zu Kohlenoxyd reduziert wird; dieses wirkt von 400° an auf die Eisenerze ein, indem es ihnen den Sauerstoff unter Bildung von Kohlensäure entzieht.



Die Kohlensäure wird wieder zu Kohlenoxyd reduziert, dieses wieder zu Kohlensäure oxydiert usw., bis weitere Umsetzungen wegen der nach der Gicht zu immer niedriger werdenden Temperatur nicht mehr stattfinden können.

Aus der Gicht wird das Gichtgas (S. 136) mit einem Gehalt von 25% Kohlenoxyd abgeleitet: es dient zum Heißblasen der Winderhitzer, zur Beheizung von Kesselanlagen und als Betriebsstoff für Gaskraftmaschinen nach sorgfältiger Reinigung.

Das Kohlenoxyd erfüllt im Hochofen noch eine andere Aufgabe. In Berührung mit glühendem Eisenoxyd zerfällt ein Teil des Kohlenoxyds unter Bildung von Kohlensäure und Kohlenstoff. $2 CO = CO_2 + C$.

Der Kohlenstoff setzt sich auf dem reduzierten Eisenschwamm als feiner Überzug ab, dringt in das Eisen ein (Zementation) und erniedrigt seinen Schmelzpunkt, so daß es leichter erschmolzen werden kann.

Heizwert des Kohlenstoffs. Beim Verbrennen von 1 kg reinem Kohlenstoff zu

CO_2 entstehen 8100 W. E.,

CO entstehen 2400 W. E.

Für die Wärmeausnutzung des Kohlenstoffs, welcher den Hauptbestandteil aller Brennstoffe darstellt, ist es deshalb sehr wichtig, daß ihm genügend Luft zugeführt wird, damit kein Kohlenoxyd entsteht, bzw. das entstandene Kohlenoxyd noch zu Kohlensäure verbrannt wird. In diesem Falle erhält man dieselbe Wärmemenge, die man beim direkten Verbrennen von 1 kg Kohlenstoff zu Kohlensäure erhält, nämlich 8100 W. E.

Kohlenstoff bildet mit Wasserstoff eine außerordentlich große Anzahl von Verbindungen, die z. T. natürlich vorkommen (z. B. Methan, Petroleum), z. T. bei der trockenen Destillation der Steinkohle entstehen (z. B. Azetylen, Benzol). Die einfachste und leichteste aller dieser Verbindungen ist das Methan.

Aufgabe: Wieviel Kohlenoxyd erhält man durch Überleiten von 30 g Kohlensäure über glühende Holzkohle, wenn 10% der Kohlensäure unverändert bleiben?

$$CO_2 : 2 CO = 27 : x$$

$$x = \frac{2 \times 28 \times 27}{44} = 34,4 \text{ g.}$$

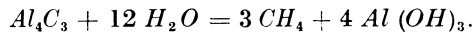
Grubengas, Sumpfgas, leichter Kohlenwasserstoff, Methan (CH_4).

Vorkommen. Methan oder Grubengas kommt in den Steinkohlen und ihren Wettern vor. Rührt man sumpfigen Boden mit einem Stock auf, so entweicht ein Gas, welches sich entzünden läßt (Sumpfgas). In Erdöl führenden Ländern entströmen dem Boden gewaltige Mengen brennbarer Gase (Erdgas, Naturgas), welche zum großen Teile aus Methan bestehen.

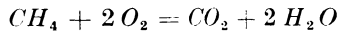
Bildung. Diese Vorkommen des Methans hängen mit seiner Entstehung aus Pflanzen- und Tierresten zusammen, welche unter Bedeckung von Wasser und Erde gerieten und bei Luftabschluß einem Inkohlungs- bzw. Fäulnisprozeß unterworfen waren, der zur Bildung von Torf, Braunkohle, Steinkohle und Erdöl führte (S. 125).

Darstellung. 1. Grubengas bildet sich bei der Trockendestillation (Verkokung) organischer Stoffe und ist daher im Kokereigas, Leuchtgas usw. enthalten.

2. Durch Zersetzung von Aluminiumkarbid mit warmem Wasser



Eigenschaften. Grubengas ist ein farbloses, geruchloses und geschmackloses Gas. Es ist nicht giftig, wirkt aber hochprozentig durch Mangel an Sauerstoff erstickend wie Kohlensäure. Seine Dichte beträgt 0,558 (Luft = 1); 1 cbm wiegt 0,7215 kg. Grubengas ist demnach viel leichter als Luft, entweicht nach dem Austritt aus der Kohle nach oben unter die Firse und vermischt sich dann langsam mit den übrigen Grubenwettern durch Diffusion. Grubengas vermag die Verbrennung nicht zu unterhalten, verbrennt aber selbst mit matt blauer Flamme zu Kohlensäure und Wasser. Aus der Verbrennungsgleichung:



$$1 \text{ Raumt.} + 2 \text{ Raumt.} = 1 \text{ Raumt.} + 2 \text{ Raumt.}$$

folgt, daß 1 Raumteil Grubengas zu seiner Verbrennung 2 Raumteile

Sauerstoff oder $\frac{100 \times 2}{21} = 9,5$ Raumteile Luft braucht.

Schlagwetter.

Gemenge von Grubengas und Luft heißen Schlagwetter; nach ihrem Verhalten dem Grubenlicht gegenüber teilt man sie in drei Gruppen ein:

1. Schlagwetter mit 0–5 % CH_4
2. „ „ 5–14 % CH_4
3. „ „ 14–100 % CH_4 .

Schlagwetter mit 0–5 % CH_4 explodieren nicht. Das in ihnen enthaltene Grubengas verbrennt in der Grubenlampe an der Flamme, die dadurch verlängert wird. Die mattblauen Lichtmäntel, welche man über dem klein geschraubten Flämmchen der Grubenlampen in Schlagwettern sieht, zeigen die Gegenwart von Grubengas an; sie werden Aureole genannt. Auch Leuchtgas und andere brennbare Gase und Dämpfe zeigen diese Erscheinung.

Schlagwetter mit 5–14% CH_4 sind explosibel, und zwar nimmt die Stärke der Explosion von 5–9,5% CH_4 zu, erreicht hier ihr Maximum, und nimmt von 9,5–14% CH_4 wieder ab. In der folgenden Zahlentafel sind diese Verhältnisse durch Beispiele erläutert.

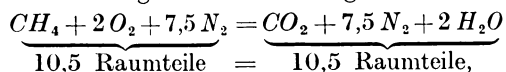
Gemische mit %	7,0 CH_4 93,0 Luft <hr/> 100,0	9,5 CH_4 90,5 Luft <hr/> 100,0	10,0 CH_4 90,0 Luft <hr/> 100,0
An der Explosion nehmen teil %	7,0 CH_4 14,0 O_2 <hr/> 21,0	9,5 CH_4 19,0 O_2 <hr/> 28,5	9,53 CH_4 18,90 O_2 <hr/> 28,43
An der Explosion nehmen nicht teil %	5,53 O_2 73,47 N_2 <hr/> 79,00	71,5 N_2	0,47 CH_4 71,10 N_2 <hr/> 71,57
Die Nachschwaden bestehen aus Raumteilen	7,0 CO_2 5,53 O_2 73,47 N_2 <hr/> 86,00	9,5 CO_2 71,5 N_2 <hr/> 81,0	0,47 CH_4 8,80 CO_2 0,56 CO 71,10 N_2 <hr/> 80,93
Zusammensetzung der Schwaden %	8,14 CO_2 6,43 O_2 85,43 N_2 <hr/> 100,00	11,7 CO_2 88,3 N_2 <hr/> 100,0	0,58 CH_4 10,87 CO_2 0,69 CO 87,86 N_2 <hr/> 100,00
Raumverminderung %	14	19,0	18,9

In der Grubenlampe brennen diese explosiblen Wetter im Korbe; ihre Flamme erfüllt ihn ganz, und die Benzinflamme erlischt. Von der Wettergeschwindigkeit hängt es ab, ob die Flamme im Korbe aus Mangel an Sauerstoff erstickt und bei welchem CH_4 -Gehalt dies erfolgt.

Schlagwetter mit 14–100% CH_4 explodieren nicht, brennen aber beim Entzünden an der Luft. Die Bergmanns-lampe erlischt in diesen hochprozentigen Wetzern.

Die zur Zündung der Schlagwetter nötige Temperatur beträgt 750–800°.

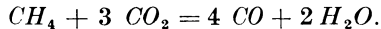
Unter Berücksichtigung des Stickstoffs der Luft vollzieht sich die Explosion von Schlagwetzern nach folgender Formel,



wenn wir das durch die Verbrennung des Grubengases erzeugte Wasser als Wasserdampf annehmen und die mit der Explosion verbundene Wärmentwicklung vernachlässigen. Gemäß den Flammentemperaturen, die je nach der Zusammensetzung der Schlagwetter etwa 1500° bis 2500° beträgt, dehnen sich die Gase während der Explosion auf

das 10–15fache ihres Volumens aus. Unmittelbar nach der Explosion kühlen sich die Nachschwaden auf die Grubentemperatur ab, der Wasserdampf schlägt sich als flüssiges Wasser nieder, so daß sich die ursprünglichen 10,5 Raumteile auf 8,5 Raumteile zusammenziehen. Wie beim Wasserstoff entsteht also auch bei der Explosion von Schlagwettern eine Raumverminderung (vgl. Zahlentafel), die den Rückschlag zur Folge hat.

Die **Nachschwaden** sind in allen Fällen reich an Stickstoff und Kohlensäure; solche von Schlagwettern von 5 bis 9,5 % CH_4 enthalten auch Sauerstoff, der aber im günstigsten Falle (5 % CH_4) zur Atmung nicht ausreicht (11,1 % O_2). Nachschwaden von Schlagwettern mit über 9,5 % CH_4 enthalten außer Stickstoff, Kohlensäure und Grubengas auch Kohlenoxyd, dessen Menge mit wachsendem CH_4 -Gehalt zunimmt. Grubengas ist ein kräftiges Reduktionsmittel, welches sich bei höherer Temperatur mit Kohlensäure zu Kohlenoxyd umsetzt:



Da bei Schlagwetterexplosionen stets Kohlenstaub aufgewirbelt und glühend gemacht wird, so muß auch bei geringprozentigen Schlagwetterexplosionen mit der Anwesenheit von Kohlenoxyd gerechnet werden. Daher sind die Nachschwaden jeder Schlagwetterexplosion nicht nur unatembär, sondern auch mehr oder weniger giftig.

Kohlenstaubexplosionen sind Gasexplosionen; das Gas wird kurz vorher durch einen Lochpfeifer oder eine Schlagwetterexplosion aus dem aufgewirbelten und stark erhitzten Kohlenstaube gebildet. Ein Gemisch von Lycopodiumpulver und reinem Sauerstoff verbrennt angezündet unter Explosion. Beim Nachfüllen von Feinkohle in den Ofen schlägt oft eine große Stichflamme aus der Ofentür.

Mühlenexplosionen in Glasgow, Leith, Hameln. Luft, welche 20–30 g Mehlstaub im Liter enthält, kann durch glühende Körper entzündet werden.

Nachweis. Schlagwetter werden auch in geringen Mengen mit der bis auf 2–3 mm Höhe verkleinerten Flamme der Benzinlampe nachgewiesen. (Tafel am Ende des Buches.) Das geübte Auge nimmt die Aureole schon bei einem Gehalt von 1 % wahr; wegen der geringen Wärme des kleinen Flämmchens ist die Aureole aber nur sehr klein, und wird erst bei Prozentgehalten über 1 leichter erkennbar.

Bei der größeren, nicht leuchtenden Flamme der Pielerlampe, welche mit Alkohol (Spiritus) gespeist wird, ist die Hitze größer als bei der Benzinlampe; infolgedessen ist auch die Aureole größer und leichter zu erkennen.

Es gibt eine große Anzahl von Schlagwetteranzeigern, die auf Diffusion, Änderung der Lichtstärke usw. beruhen. Sie haben sich auf der Grube nicht einführen können, da sie für den praktischen Bergbau mehr oder weniger wertlos sind. Die Bergmannslampe gewährt bei sachgemäßer Behandlung den bequemsten und zuverlässigsten Nachweis der Schlagwetter.

Bestimmung des Grubengases. Der Gehalt der Wetter an Kohlensäure und Grubengas wird in einem abgemessenen Volumen durch

Absorption der Kohlensäure in Kalilauge und durch Verbrennen des Grubengases an einem durch elektrische Stromwirkung glühend gemachten Platindraht bestimmt; die Genauigkeit dieser Analyse beträgt 0,02 %.

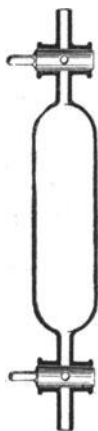


Fig. 110.

Das tragbare Interferometer erlaubt dem in seiner Handhabung Geübten, den Grubengasgehalt mit einer Genauigkeit von 0,05 % in kurzer Zeit zu ermitteln.

Zur Probenahme der Wetter dienen Gläser von etwa 100 ccm Inhalt (Fig. 110). Ihre Hähne müssen gut gereinigt und eingefettet sein, damit sie sich bewegen lassen und einen gasdichten Abschluß ermöglichen. Sie werden mit Wasser gefüllt und an Ort und Stelle der Probenahme in der durch Fig. 111 veranschaulichten Weise bei geöffneten Hähnen behandelt; diese werden geschlossen, sobald das Wasser ausgeflossen ist. Eine solche Gasprobe reicht zur Bestimmung von Kohlensäure, Grubengas und Sauerstoff aus.

Handelt es sich um hochprozentige Wetter (Bläser) oder um Brandgase (Kohlenoxyd), so sind mehrere oder größere Gläser zur Probeentnahme des Gases zu benutzen. In diesem Falle empfiehlt es sich, das die Untersuchung vornehmende Laboratorium auf die Natur des Gases durch eine kleine Notiz aufmerksam zu machen.

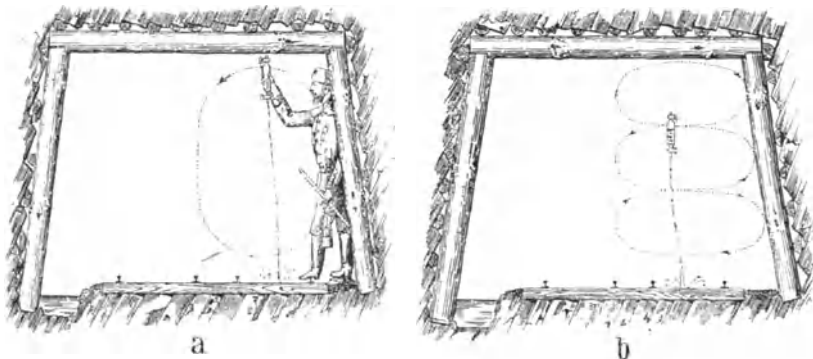


Fig. 111.

Äthylen (C_2H_4), Schwerer Kohlenwasserstoff.

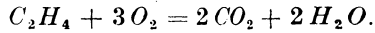
Vorkommen. Die Anwesenheit von Äthylen in den Wettern der Steinkohlengruben ist noch nicht einwandfrei festgestellt. Äthylen ist ein Bestandteil der durch Verkokung organischer Körper erhaltenen gasförmigen Stoffe.

Eigenschaften. Äthylen ist ein farbloses, nicht unangenehm riechendes Gas. Seine Dichte ist 0,967 (0° , 760 mm), es ist also nur etwas leichter als Luft. Äthylen läßt sich leicht verflüssigen und durch Kühlen mit flüssiger Luft in seine feste Formart überführen.

Äthylen ist nicht giftig, sondern in dieser Beziehung dem Methan ähnlich.

An der Luft verbrennt es mit helleuchtender Flamme und gehört daher zu den Lichtgebern des Leuchtgases.

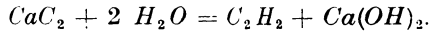
Ein Gemisch von einem Raumteil Äthylen und drei Raumteilen Sauerstoff oder 14,3 Raumteilen Luft explodiert mit großer Heftigkeit.



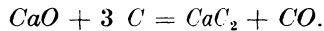
Azetylen (C_2H_2).

Vorkommen. Azetylen findet sich in kleinen Mengen im Steinkohlenleuchtgase; seine Menge erhöht sich um das Zehnfache bei der unvollständigen Verbrennung desselben im zurückgeschlagenen Bunsenbrenner.

Darstellung. Azetylen wird durch Zerlegung des Kalziumkarbids mit Wasser dargestellt.



Kalziumkarbid, ein fester grauer Stoff, wird im elektrischen Flammenofen durch Zusammenschmelzen von gebranntem Kalk und Koks gewonnen.



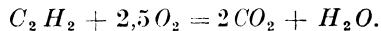
1 kg Karbid erzeugt praktisch 300 Liter Azetylen.

Eigenschaften. Azetylen ist ein farbloses, im reinen Zustande geruchloses Gas. Das technisch aus Karbid gewonnene Gas riecht infolge seines Gehaltes an Phosphorwasserstoff widerlich. Seine Dichte beträgt 0,92 (Luft = 1); 1 cbm wiegt 1,19 kg. Reines Azetylen ist nicht giftig, wirkt aber betäubend und berauschend.

Azetylen ist eine endothermische Verbindung; die Zerlegung in seine Bestandteile erfolgt unter Abgabe von Wärme, dadurch erklärt sich seine explosible Natur. Bei gewöhnlichem Druck zerfällt das Gas nur da, wo der Anlaß zur Zersetzung gegeben wurde; der Zerfall pflanzt sich aber nicht durch die ganze Masse fort. Steht jedoch das Azetylen unter einem Druck von 2 Atm., so verbreitet sich die durch den elektrischen Funken oder glühenden Draht eingeleitete Zersetzung als Explosion durch das ganze Gas, wobei das Azetylen in Kohlenstoff und Wasserstoff zerfällt.

Nach der Bergpolizeiverordnung dürfen nur Azetylerzeuger und -Lampen gebraucht werden, welche einen Überdruck von mehr als $\frac{1}{2}$ Atm. ausschließen. Durch Druck und Abkühlung läßt sich Azetylen leicht verflüssigen und stellt in diesem Zustande einen sehr gefährlichen Körper dar.

Ein Raumteil Azetylen gebraucht zur vollständigen Verbrennung 2,5 Raumteile Sauerstoff bzw. 12 Raumteile Luft.



Aus den gewöhnlichen Gasbrennern kann Azetylen nicht verbrannt werden, da es dann stark rußt. Dagegen verbrennt es aus sehr engen Öffnungen (Speckstein) ohne Rußabscheidung unter glänzend weißem Licht, das dem Sonnenlicht nahekommt.

Azetylenluftgemische mit 3–65 % Azetylen explodieren mit größerer Heftigkeit als die von Schlagwettern, da die Explosions-temperatur (2700°) sehr hoch ist. Die Explosionsgrenzen liegen weit auseinander, die Zündung tritt schon bei etwa 500° ein, deshalb darf man mit Azetylenluftmischungen nur mit großer Vorsicht umgehen.

Mit Kupfer bildet das Gas rotes Azetylenkupfer C_2Cu und mit Silber weißes Azetylsilber C_2Ag_2 . Beide Karbide explodieren im trockenen Zustande beim Schlagen, Reiben und Erhitzen äußerst heftig, indem sie in ihre Elemente zerfallen. Kupfer und Silber dürfen daher für Azetylenapparate und -leitungen keine Anwendung finden.

Anwendung. In der Sprengstoffindustrie dient Azetylenkupfer zur Herstellung von elektrischen Zündern. Beim autogenen Schweißen und Schneiden ersetzt man im Sauerstoffgebläse den Wasserstoff durch Azetylen mit ebenso gutem Erfolge. Wegen seines hohen Kohlenstoffgehaltes wird Azetylen zur Herstellung von Ruß verwandt. Das Azetylenlicht wird zur Beleuchtung kleiner Ortschaften und Häusergruppen benutzt; es fand während des Krieges eine weitgehende Verbreitung.

Die Flamme.

Brennende Gase bilden eine Flamme, während brennbare Körper, die bei der Verbrennungstemperatur keine brennbaren Gase bilden (Koks), unter Glühen, aber ohne Flamme brennen. Bei einer Kerze unterscheidet man drei verschiedene Flammenkegel (Fig. 112):



Fig. 112.

1. Den inneren dunklen Kegel. Dieser enthält das Gas (Kohlenwasserstoffe), welches durch die Hitze der Flamme aus dem geschmolzenen Stearin gebildet ist. Mit Hilfe einer dünnen Glasröhre, die in diesen Raum gebracht wird, läßt sich das Gas auffangen und am anderen Ende der Röhre entzünden. In diesem Raume findet keine Verbrennung statt, weil die Luft nicht in ihn gelangen kann.

2. Den mittleren leuchtenden Kegel. Hier geht eine teilweise Verbrennung und Zersetzung der Gase vor sich. Durch die Hitze der Flamme scheidet sich aus den Kohlenwasserstoffen Kohlenstoff ab und gerät in Weißglut; dadurch wird die Flamme leuchtend. Die Gegenwart von Kohlenstoff (Ruß) in diesem Raum kann man leicht nachweisen, indem man eine kalte Porzellanschale in die Flamme bringt. Die Schale beruht sofort.

Das Leuchten einer Flamme wird also durch glühende, feste Körper hervorgerufen. Die Wasserstoffflamme ist farblos, wird aber sofort leuchtend, wenn man den Wasserstoff vorher durch mit Benzol (C_6H_6) getränkte Watte streichen läßt. Auch durch einen glühenden Platindraht kann die Wasserstoffflamme leuchtend gemacht werden.

3. Den schwach bläulich leuchtenden, fast unsichtbaren Saum. Hier findet die vollständige Verbrennung des Gases (CH_4 , CO) und des Kohlenstoffs zu Kohlensäure und Wasser statt.

Eine gleiche Beschaffenheit zeigt die **Leuchtgasflamme**; Leuchtgas besteht hauptsächlich aus Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen. In dem Bunsenbrenner (Fig. 113) tritt das Leuchtgas durch die enge Düsenöffnung in den Schornstein, mischt sich hier mit der durch die Seitenöffnung zutretenden Luft und verbrennt oben angezündet mit nicht leuchtender, blauer Flamme. In dieser Form findet der Bunsenbrenner Anwendung zur Erhitzung des Gasglühstrumpfes und zur Beheizung der Koksöfen. Schließt man die seitlichen Öffnungen durch Drehen der Kapsel, so daß keine Luft in den Schornstein des Brenners eindringen kann, dann verbrennt das Gas mit heller, rußender Flamme.

Silizium ($Si = 28,4$).

Silizium kommt in der Natur im freien Zustande nicht vor, sondern nur in Verbindung mit Sauerstoff, z. B. als Quarz, Bergkristall, Amethyst, Achat, Rauchtropas, Feuerstein. Kieselsaure Salze (Silikate) sind Ton, Feldspat, Granit und Kaolin.

Quarz läßt sich vor dem Knallgasgebläse wie gewöhnliches Glas bearbeiten.

Quarzgläser sind gegen Temperaturwechsel unempfindlich. Man kann sie glühend in kaltes Wasser tauchen, ohne daß sie zerspringen.

Das gewöhnliche Glas ist ein Doppelsalz von Kalzium- und Natriumsilikat, das schwer schmelzbare Glas ist Kalziumkaliumsilikat. Natrium- und Kaliumsilikate sind in Wasser löslich; man nennt sie daher auch Wasserglas. Ihre Lösungen in Wasser dienen zum Imprägnieren von Stoffen, um sie vor Feuer zu schützen, und zum Konservieren von Eiern.

Säuren, Basen, Salze.

Säuren. Die Säuren sind Wasserstoffverbindungen, in welchen sich der Wasserstoff durch Metalle ersetzen läßt. Sie haben einen sauren Geschmack, färben blauen Lackmusfarbstoff rot und entwickeln bei der Einwirkung auf Metalle meist Wasserstoff unter Bildung von Salzen. Die Säuren sind auch Lösungsmittel für Metalloxyde und Salze. Die wichtigsten Säuren sind: Salzsäure (HCl), Salpetersäure (HNO_3), Schwefelsäure (H_2SO_4), Kohlensäure (H_2CO_3), Kieselsäure (H_2SiO_3), Phosphorsäure (H_3PO_4).

Basen. Die Basen färben roten Lackmusfarbstoff blau, neutralisieren Säuren und verbinden sich mit ihnen zu Salzen. Sie schmecken oft ätzend und laugenhaft; sie sind Lösungsmittel für Fette.

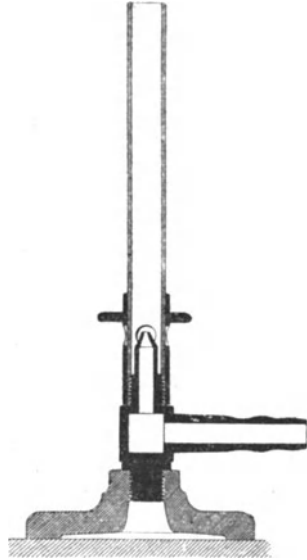
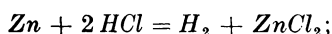


Fig. 113.

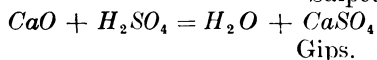
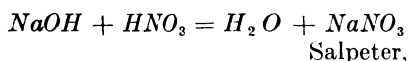
Die wichtigsten Basen sind: Ätznatron ($NaOH$), Ätzkali (KOH), Ammoniak (NH_4OH) und gelöschter Kalk $Ca(OH)_2$; sie lösen sich im Wasser unter Bildung von Laugen, welche in der Medizin und Chemie Anwendung finden. Die Fettsäuren des Palmöls, des Talgs, der Öle und Fette verbinden sich beim Kochen mit Kali oder Natron zu Seifen.

Salze. Salze sind Verbindungen einer Säure mit einer Base. Sie entstehen durch Einwirkung einer Säure auf

1. ein Metall:



2. eine Base oder ein Metalloxyd unter Wasseraustritt:



Die meisten Salze werden vom Wasser in größeren oder kleineren Mengen gelöst; die Löslichkeit nimmt im allgemeinen mit der Temperatur zu. Hat das Wasser die seiner Temperatur entsprechende Menge Salz aufgenommen, so ist die Lösung gesättigt. Beim vorsichtigen Abkühlen einer gesättigten Lösung gelingt es, in manchen Fällen mehr Salz in Lösung zu halten, als dem Sättigungsgrade bei der betreffenden Temperatur entspricht — übersättigte Lösungen.

Die Salze sind oft schon an ihrer regelmäßigen Form, der Kristallbildung, kenntlich; sie ändern meist die Lackmusfarbe nicht, sie reagieren neutral. Beim teilweisen Verdunsten und beim Abkühlen einer gesättigten Lösung scheidet sich ein Teil des gelösten Stoffes in Kristallen aus.

Kristalle sind von ebenen Flächen begrenzte Körper, deren Eigenschaften Verschiedenheiten aufweisen, die von der Richtung abhängen. Soll in einer Lösung ein Kristall entstehen, so muß sich zuerst ein Keim bilden oder der Lösung zugefügt werden.

Allgemeine Eigenschaften der Nichtmetalle und Metalle.

Eine scharfe Grenze läßt sich zwischen den beiden Gruppen der Elemente nicht ziehen.

Die Nichtmetalle leiten im allgemeinen Wärme und Elektrizität schlecht und besitzen keinen Metallglanz. Mit Wasserstoff bzw. mit Wasserstoff und Sauerstoff bilden die Nichtmetalle Säuren.

Die Metalle sind durch ihren Metallglanz, sowie durch ihre Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität gekennzeichnet. Die meisten Metalle sind dehnbar, fest und zähe, so daß sie zu Platten oder Draht verarbeitet werden können, ohne zu reißen. Mit Wasserstoff und Sauerstoff bilden die Metalle Basen.

Natrium ($Na = 23$).

Vorkommen. Natrium kommt in freiem Zustande in der Natur wegen seiner großen Verwandtschaft zum Sauerstoff nicht vor, ist aber mit Sauerstoff verbunden sehr verbreitet. In mächtigen Lagern

findet es sich als Kochsalz ($NaCl$) und als Chilesalpeter ($NaNO_3$). In Verbindung mit Kieselsäure und Aluminium kommt es im Natronfeldspat vor; durch die Verwitterung desselben gelangt es in die Ackerkrume. Im Verein mit Flußsäure und Aluminium bildet es den Kryolith.

Darstellung. Metallisches Natrium wird durch Elektrolyse von geschmolzenem Ätznatron dargestellt.

Eigenschaften. Natrium ist sehr weich und leicht, sein spez. Gewicht ist 0,97. Wegen seiner großen Verwandtschaft zum Sauerstoff ist es an der Luft nicht beständig und muß daher unter Petroleum aufbewahrt werden. Natrium zersetzt das Wasser und färbt die nicht leuchtende Flamme gelb. Das metallische Natrium dient als kräftiges Reduktionsmittel.

Ätznatron ($NaOH$) wird aus konzentrierter Natronlauge gewonnen und in weißen Stangen in den Handel gebracht. Natronpatronen der Rettungsapparate (S. 106). Mit Wasser löst sich Ätznatron zu Natronlauge, welche in der chemischen Industrie häufig verwandt wird (Seifensiederei, Reinigung von Benzol).

Kochsalz ($NaCl$) ist ein wichtiger Nährstoff. Es dient ferner zur Herstellung von Soda, Chlor, Salzsäure.

Soda, Natriumkarbonat ($Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$) wird durch Elektrolyse von Kochsalz und Einleiten von Kohlensäure in die daraus bereitete Natronlauge gewonnen.



Leitet man Kohlensäure in eine konzentrierte Sodalösung, so entsteht das doppeltkohlensaure Natron, Natriumbikarbonat ($NaHCO_3$); es dient zum Abstumpfen der Magensäure und im Verein mit Weinsäure als Brausepulver.

Chilesalpeter, Natriumnitrat ($NaNO_3$) wird in Chile und Peru gefunden. Der Chilesalpeter zieht leicht Wasser aus der Luft an, ist „hygroskopisch“, und wird deshalb nur in beschränktem Maße zur Herstellung von Sprengstoffen benutzt.

Kalium ($K = 39$).

Vorkommen. Kalium kommt in der Natur nur in Form von Salzen vor. Es ist besonders in den Abraumsalzen als Kaliumchlorid (KCl) in Form von Doppelsalzen, z. B. Karnallit ($MgCl_2 \cdot KCl$), enthalten. Mit Kieselsäure und Aluminium bildet es den Kalifeldspat. Alle Pflanzen enthalten Kaliumverbindungen.

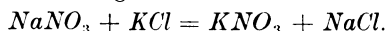
Darstellung. Das metallische Kalium wird aus geschmolzenem Chlorkalium durch Elektrolyse gewonnen.

Eigenschaften. Kalium ist ein glänzendes, silberweißes, weiches Metall. Kalium ist sehr leicht, sein spez. Gewicht ist 0,865. Kalium wird vom Sauerstoff noch begieriger als Natrium angegriffen und muß daher unter Petroleum aufbewahrt werden. Es zersetzt das Wasser energisch und färbt die nicht leuchtende Flamme violett.

Das Kali ist ein wichtiger Pflanzennährstoff, deshalb sind die Abraumsalze als Kalidünger sehr geschätzt.

Chlorsaures Kali, Kaliumchlorat ($KClO_3$) entsteht bei der Einwirkung von Chlor auf heiße Kalilauge. Beim Erhitzen gibt es den Sauerstoff leicht ab und dient daher zur Herstellung von Sprengstoffen.

Kalisalpeter, Kaliumnitrat (KNO_3) wird aus Chilesalpeter durch Umsetzen mit Chlorkalium gewonnen.



Beim Erhitzen schmilzt der Salpeter unter Abgabe von Sauerstoff; er wirkt daher stark oxydierend. Ein glimmender Holzspan wird über geschmolzenem Salpeter zu heller Flamme entfacht. Holzkohle, Schwefel und Phosphor verbrennen in ihm mit lebhaftem Feuer; darauf beruht seine Anwendung zu Sprengstoffen. Das Schwarzpulver ist ein inniges Gemisch von 75 Teilen Salpeter, 12 Teilen Schwefel und 13 Teilen pulverisierter Holzkohle. Beim Verbrennen des Pulvers entstehen Gase (Kohlensäure, Kohlenoxyd, Stickstoff), die einen 700 mal größeren Raum als das Pulver einnehmen, und es hinterbleibt ein fester Rückstand (Kaliumsulfat und Schwefelkalium).

Aufgabe: Wieviel Gramm Sauerstoff geben 10 Gramm Kalisalpeter beim Erhitzen ab, wenn sein Gesamtgehalt an Sauerstoff für die Verbrennung zur Verfügung steht?

$$\begin{aligned} KNO_3 : 3O &= 10 : x \\ x &= \frac{48 \times 10}{101,2} = 4,75 \text{ g O.} \end{aligned}$$

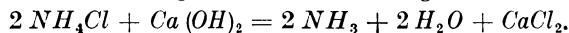
Ammoniumverbindungen.

Die Gruppe NH_4 wird als Ammonium bezeichnet; sie verhält sich wie ein einwertiges Metall.

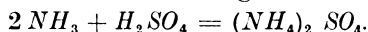
Die Salze des Ammoniums entstehen durch Addition von Ammoniak und Säuren.



Salmiak, Chlorammonium, NH_4Cl , kommt in der Natur in geringen Mengen in der Nähe tätiger Vulkane vor. Bei der Verkokung der Steinkohle bilden sich außer dem gasförmigen Ammoniak stets auch Ammoniumsalze. Das Waschwasser der Ammoniakwäscher nimmt das freie und das gebundene Ammoniak auf. In den Kolonnenapparaten wird das flüchtige Ammoniak durch Destillation, das gebundene unter gleichzeitigem Zusatz von gelöschtem Kalk ausgetrieben.

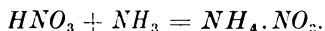


Das abgetriebene Ammoniakgas wird in Schwefelsäure zur Darstellung des schwefelsauren Ammoniaks geleitet.



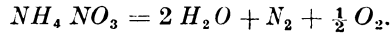
Das schwefelsaure Ammoniak ist ein wichtiges Stickstoffdüngemittel.

Ammonsalpeter, Ammoniumnitrat ($NH_4 \cdot NO_3$) entsteht beim Neutralisieren von Salpetersäure mit Ammoniak.



Ammonsalpeter ist ein farbloser, kristallinischer, explosibler Körper, der aus der Luft Wasser anzieht. Die mit Ammonsalpeter hergestellten Sprengpatronen müssen daher mit einem Paraffinüberzug versehen werden, damit sie gegen Feuchtigkeit geschützt sind.

Bei der Explosion zerfällt Ammoniumnitrat in Wasser, Stickstoff und Sauerstoff.



Der größere Teil des in Ammonsalpeter vorhandenen Sauerstoffs wird zur Oxydation des in ihm enthaltenen Wasserstoffs verbraucht. Der Rest von 20 % Sauerstoff ermöglicht den Zusatz von Kohlenstoffträgern. Auf diese Weise entstehen Sprengstoffe, die den Kalisalpetersprengstoffen gegenüber eine schwächere Wirkung haben (Sicherheitsprengstoffe). Die Ammonsalpetersprengstoffe werden auch aus Ammonsalpeter und anderen Sprengstoffen zusammengesetzt. Sie bedürfen sehr kräftiger Sprengkapseln zu ihrer Zündung.

Sprengstoffe.

Unter **Explosion** versteht man eine schnell verlaufende chemische Umsetzung, die dadurch gekennzeichnet ist, daß im Moment des Vorgangs Gase in kurzer Zeit und bei hoher Temperatur entstehen. Körper, welche durch Wärme, Stoß, Schlag, Reibung oder durch Wärme und Druck eines anderen sich zersetzenden Stoffes explodieren, heißen Sprengstoffe. In der Regel wird die Explosion eines Sprengstoffes durch die Explosion einer mit Knallquecksilber gefüllten Sprengkapsel eingeleitet.

Explosible Natur haben die endothermischen Verbindungen, wie Bleiazid und Jodstickstoff, flüssiges Ozon, Azetylen, Azetylenkupfer u. a.; sie zerfallen leicht in ihre Elemente. Das Freiwerden der zu ihrer Bildung nötigen, gebundenen Energie äußert sich in einer starken Temperaturerhöhung.

Die meisten Explosionen sind sehr schnell verlaufende Verbrennungen des Kohlenstoffs oder eines Kohlenstoffträgers durch Sauerstoff oder einen Sauerstoffträger. Man kann die Sprengstoffe einteilen in:

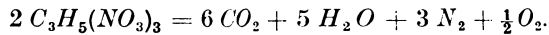
1. **Gemische**; sie werden erst durch inniges Vermengen ihrer Bestandteile explosiv;

2. **chemische Verbindungen**; sie explodieren vermöge ihres chemischen Aufbaues und zwar für sich.

Die Gemische brennbarer Gase und Sauerstoff bzw. Luft sind eingehend behandelt (S. 93, 112).

Feste Kohlenstoff- und Sauerstoffträger hinterlassen mit Ausnahme des Ammonsalpeters feste Rückstände (Schwarzpulver, S. 120), ihre Explosion ist daher weniger heftig, als die mit flüssiger Luft hergestellten Sprengstoffe, welche ohne Rückstand verbrennen. Diese Flüssige-Luft-Sprengstoffe haben aber den Nachteil, daß ihre Schärfe durch ständige Abgabe von Sauerstoff nachläßt, so daß sie unbrauchbar werden.

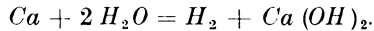
In den Sprengstoffen, die chemische Verbindungen darstellen, ist ihr Aufbau derart, daß Kohlenstoffträger (Kohlenwasserstoffe) und Sauerstoffträger (Nitrogruppen) vereint das Molekül bilden. (Nitroglycerin, Nitrocellulose, Nitrotoluol u. a.) So zersetzt sich das Nitroglycerin bei der Explosion nach folgender Gleichung:



Die Explosionstemperatur der meisten Sprengstoffe ist so hoch, daß eine Zündung von Schlagwettern und Kohlenstaublufmischungen eintritt. In den Sicherheitssprengstoffen wählt man meist als Sauerstoffträger Ammonsalpeter, dessen Explosion an und für sich schwächer verläuft, so daß er noch mit beschränkten Mengen von anderen Sprengstoffen vermischt werden muß, und erniedrigt seine Explosionstemperatur durch Zusatz von Kochsalz. Die zum Verdampfen des Kochsalzes nötige Wärme wird der Explosionswärme entzogen, so daß die Flamme dadurch gekühlt wird, und eine Zündung der Schlagwetter und des aufgewirbelten Kohlenstaubs beinahe ausgeschlossen ist.

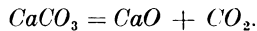
Kalzium ($Ca = 40$). Mörtel. Kesselstein.

Vorkommen. Kalzium kommt in der Natur im freien Zustande nicht vor; es ist ein weißes Metall vom spez. Gewicht 1,83. An trockner Luft ist es ziemlich beständig, mit Wasser zersetzt es sich langsam unter Entwicklung von Wasserstoff.

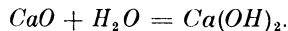


Im gebundenen Zustande kommt das Kalzium in Form von kohlen-saurem Kalk, Kalziumkarbonat ($CaCO_3$) vor und bildet ganze aus Kalkstein, Marmor, Kreide bestehende Gebirge. (Juragebirge, Kreide-felsen von Rügen.)

Mörtel. Der Kalkstein ist das Hauptmaterial zur Herstellung des Mörtels; er wird mit Kohle gemischt in Kalköfen zum Glühen gebracht, wobei er sich infolge der hohen Temperatur zu Kalziumoxyd und Kohlen-säure zersetzt.



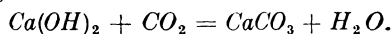
Aus 100 kg reinem Kalkstein entstehen 56 kg „gebrannter“ Kalk und 44 kg Kohlen-säure. Der gebrannte Kalk ist ein weißgrauer, poröser Stoff, welcher beim Übergießen mit Wasser (Löschen des Kalkes) unter großer Wärmeentwicklung zu einer weißen Masse, dem gelöschten Kalk, zerfällt.



Schüttelt man gelöschten Kalk in einer geschlossenen Flasche mit Wasser, so entsteht eine weiße, milchige Masse, welche im großen als Kalkmilch zum Weißer der Wände dient. Kalkmilch scheidet beim Stehenlassen den Überschuß des gelöschten Kalkes als Bodensatz ab und gibt eine klare Lösung, das Kalkwasser. Dieses dient zum Nachweis der Kohlen-säure.

Verrührt man den gelöschten Kalk mit Wasser (Kalkbrei) und Sand, so entsteht Mörtel; dieser nimmt Kohlen-säure aus der Luft auf

(Luftmörtel) und erhärtet unter Rückbildung von kohlen saurem Kalk und Abscheidung von Wasser.



Der Zusatz von Sand bezweckt, das Zerreißen und Schwinden des Mörtels zu verhindern. Die langsam entstehenden Kristalle von Kalkspat verbinden sich miteinander und dringen teilweise in die Poren der Steine ein und verkitten sie. Die Erhärtung des Mörtels kann durch Aufstellen offener Koksöfen beschleunigt werden, die viel mehr Kohlen säure erzeugen als das „Troddenwohnen“ durch den Atmungsprozeß.

Aufgabe: In einer bestimmten Menge Mörtel sind 3 kg gelöschter Kalk enthalten; wieviel Kohlen säure ist zu seinem Erhärten erforderlich?

$$\begin{aligned} Ca(OH)_2 : CO_2 &= 3 : x \\ x &= \frac{44 \times 3}{74} = 1,78 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Gips, Kalziumsulfat, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ist sehr verbreitet. Gips zerfällt auf 120° erhitzt unter Abgabe seines Kristallwassers zu einer weißen Masse, dem gebrannten Gips. Dieser gibt, mit Wasser angerührt, einen leicht erhärtbaren Brei, welcher zu Stuckarbeiten, Abgüssen, Gipsverbänden, Dünger und Befestigen von Gegenständen benutzt wird.

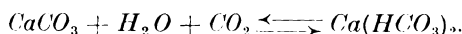
In der chemischen Industrie wird Kalk zur Darstellung von Kali, Natron, Ammoniak, Glas, zum Gerben, Reinigen des Leuchtgases usw. verwandt.

Kesselstein nennt man die steinige Masse, die sich beim Verdampfen des Wassers im Kessel bildet; als schlechter Wärmeleiter hemmt er den Übergang der Wärme an das Wasser und kann zu Dampfkessel-explosionen Anlaß geben.

Der im Wasser gelöste Sauerstoff führt leicht zu Anfressungen des Kessels und der Rohrleitungen, wenn er an den Wänden, Nietköpfen haften bleibt. Eine solche Zerstörung des Eisens durch Luft und Wasser nennt man Korrosion. Durch Erwärmen des Wassers vor Eintritt in den Kessel kann der schädliche Sauerstoff beseitigt werden.

Enthält das Wasser nur leicht lösliche Salze, so bilden diese durch Verdampfung des Wassers nach und nach eine starke Sole, aus welcher sich schließlich sogar Kochsalz als feste Kruste abscheiden kann. Deshalb muß das alte Kesselwasser von Zeit zu Zeit abgelassen werden.

Der durch Einleiten von Kohlen säure in Kalkwasser entstandene Niederschlag löst sich wieder unter Bildung von doppeltkohlen saurem Kalk, wenn man noch länger Kohlen säure einwirken läßt. Beim Stehenlassen oder Erwärmen der Lösung entweicht die Kohlen säure wieder und der kohlen saure Kalk scheidet sich aus, da er wohl in kohlen säurehaltigem, aber nicht in kohlen säurefreiem Wasser löslich ist.



Auch kohlen saure Magnesia ($MgCO_3$) und kohlen saures Eisen ($FeCO_3$) sind in kohlen säurehaltigem Wasser etwas löslich und scheiden

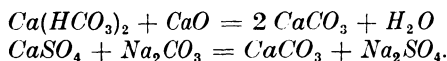
sich wie der kohlen saure Kalk im Kessel aus, wenn die Kohlensäure beim Erwärmen ausgetrieben wird.

Unter den gelösten Stoffen ist der Gips wegen seiner geringen Löslichkeit in Wasser wohl als ein Hauptfeind des Kessels zu bezeichnen; er scheidet sich beim Verdampfen zuerst aus und bildet im Verein mit kohlen saurem Kalk, kohlen saurer Magnesia, den Schwebekörpern und den organischen Stoffen den Kesselstein.

Da das Kondenswasser der Dampfmaschinen destilliertes Wasser ist, also keine festen Stoffe gelöst enthält, ist es für Kesselspeisezwecke besonders geeignet. Es hat aber auf dem Wege durch die Maschinen Öl mitgenommen, welches ein noch viel schlechteres Wärmeleitungsvermögen als der Kesselstein hat und diesen für Wasser undurchlässig macht. Das Kondenswasser muß also gut von Öl gereinigt werden (Ölscheider). Bei einer Kesselsteinschicht von 5 mm Dicke muß schon mit einem Mehrverbrauch von 15–20 % Kohle gerechnet werden. Denselben Verlust an Kohle bringt ein Ölbelag von $\frac{1}{4}$ mm Dicke.

Wird die Kesselsteinschicht noch stärker, so tritt nicht nur eine große Erhöhung des Kohlenverbrauchs, sondern die Gefahr der Durchbeulung und des Aufreißens der Kesselwände ein.

Ein allgemeines Mittel zur Verhinderung des Kesselsteins gibt es nicht; es muß vielmehr in jedem Einzelfalle auf Grund einer Analyse z. B. diejenige Menge von Kalk und kohlen saurem Natron ermittelt werden, die man dem Wasser in einem Vorreinigungsprozeß zusetzen muß.



Mit der Eigenschaft der Kohlensäure, kohlen sauren Kalk zu lösen und selbst leicht aus der Lösung zu entweichen, erklärt sich die Bildung von Höhlen im Kalksteingebirge, Tropfsteinen, Kalksinter und Sprudelsteinen.

Aufgabe: 1 Liter Wasser enthält 0,130 g Gips; wieviel wasserfreie Soda muß dem Wasser zu seiner Beseitigung zugesetzt werden?

$$\begin{aligned}CaSO_4 : Na_2CO_3 &= 0,13 : x \\x &= \frac{106 \times 0,13}{136} = 0,1013 \text{ g } Na_2CO_3.\end{aligned}$$

Magnesium ($Mg = 24$).

Vorkommen. Magnesium kommt im freien Zustande nicht vor. In Form seiner kohlen sauren Salze ist es häufig, z. B. Magnesit ($MgCO_3$), Dolomit ($MgCO_3, CaCO_3$). Es findet sich ferner in Abraumsalzen, im Meerwasser, in Mineralwässern, im Tier- und Pflanzenkörper. Talk, Meerschaum, Speckstein sind Magnesiumsilikate.

Darstellung. Magnesium wird durch Elektrolyse von geschmolzenem, wasserfreiem Magnesiumchlorid dargestellt.

Eigenschaften. Magnesium ist ein silberweißes, glänzendes, sehr dehnbares Metall. Sein spez. Gewicht beträgt 1,75. An der Luft entzündet, verbrennt es mit blendend weißem Licht; daher wird es zur Erzeugung des Blitzlichtes verwandt.

Magnesiumoxyd (MgO) dient als Medikament zur Abstumpfung der Magensäure, ferner in Verbindung mit Magnesiumchlorid zur Herstellung von Magnesiatiegeln und eines feuerfesten Zementes.

Magnesiumsulfat, Bittersalz ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) kommt in Mineralwässern (Karlsbad) vor und dient als Abführmittel.

Der Dolomit wird als Zuschlag im Hochofenprozeß, sowie mit Teer gemischt und gebrannt, zur Herstellung des basischen Futters bei der Darstellung des Flußeisens benutzt.

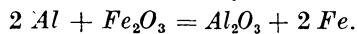
Aluminium ($Al = 27$).

Vorkommen. Aluminium kommt in freiem Zustande in der Natur nicht vor, sondern meist in Form von Aluminiumoxyd (Korund, Saphir, Rubin). Ton und Kaolin bestehen aus Aluminiumsilikat. Kryolith ist eine Doppelverbindung von Fluoraluminium und Fluornatrium.

Darstellung. Aluminium wird durch Elektrolyse einer geschmolzenen Mischung von Kryolith und Tonerde gewonnen.

Eigenschaften. Aluminium ist ein weißes Metall vom spez. Gewicht 2,7; es dient zum Bau von Luftschiffen und zur Anfertigung von Kochgeschirren.

Mit Eisenoxyd gemischt, verbrennt Aluminium leicht unter Erzeugung hoher Wärmegrade (2000–3000°). In dem Goldschmidt'schen Thermitverfahren benutzt man diese Eigenschaft zur Darstellung größerer Mengen von geschmolzenem Eisen. Ein inniges Gemisch von trockenem Aluminiumpulver und Eisenoxyd brennt, einmal entzündet, ohne Luftzufuhr, indem sich das Aluminium mit dem Sauerstoff des Eisenoxyds zu Eisen und Aluminiumoxyd umsetzt.



Dabei wird soviel Wärme frei, daß das Eisen schmilzt und so zur Ausbesserung von zerbrochenen Eisenkonstruktionen usw. verwandt werden kann.

Infolge der hohen Temperatur schmilzt das gleichzeitig entstehende Aluminiumoxyd und erstarrt kristallinisch zu Korund, welcher als Schleifmittel Verwendung findet.

Zement oder Wassermörtel ist ein Gemenge von Ton (Aluminiumsilikat) und Kalk. In vulkanischen Gegenden kommen natürliche Zemente vor, z. B. der Traß am Rhein, in der Eifel und in Bayern. Der Traß wird mit Kalk und Sand gemischt und mit Wasser zu einem Brei angerührt. Dieser erhärtet, bindet in wenigen Stunden ab und zwar infolge chemischer Bindung des Wassers.

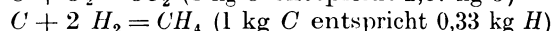
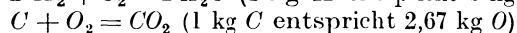
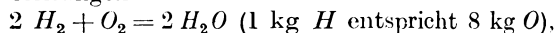
Andere Tonarten erhalten erst nach dem Brennen ihrer Mischung mit Kalk die Fähigkeit, Wassermörtel zu bilden.

Brennstoffe.

Feste Brennstoffe. Der Torf, die Braunkohle und die Steinkohle sind im wesentlichen aus Landpflanzen an Ort und Stelle durch allmähliche Zersetzung unter Luftabschluß entstanden. Bei Luftzutritt findet Verwesung, eine langsame Verbrennung, statt.

Aus dem Wasserstoff der organischen Stoffe bildet sich Wasser, aus dem Kohlenstoff Kohlensäure, und es bleibt wie bei der Verbrennung nichts übrig als das Unverbrennliche, die Asche. Durch Verwesung von Pflanzen und Tieren kann daher kein Flöz entstehen. Die dazu erforderlichen Umsetzungsvorgänge nennt man Vermoderung, Vertorfung und Fäulnis.

In den meisten Fällen sind wohl alle drei Prozesse an der Entstehung des Torfs, der Braunkohle und der Steinkohle beteiligt. Eine Umwandlung der organischen Stoffe, wie sie sich heute noch in den Torfmooren vollzieht, nennt man Torf (Humus). Ganz ähnlich denken wir uns die Entstehung der am häufigsten vorkommenden Glanzkohle. Abgefallene Äste, Stengel, Rinde, Zweige, Blätter, Fruchtorgane, sowie ganze Bäume gerieten so zeitig unter Bedeckung von Wasser oder Land, daß sie der zerstörenden Einwirkung des Sauerstoffs der Luft entzogen wurden. Statt dessen setzte der Inkohlungsprozeß ein, sobald Wasser oder Land die Pflanzen von der Luft absperreten. Durch innere Umwandlung der die Pflanze aufbauenden Elemente entstand zunächst Wasser, dann Kohlensäure und schließlich Methan. Aus den Gleichungen



folgt, daß bei diesen Vorgängen vor allem Sauerstoff, in geringerem Maße Wasserstoff und Kohlenstoff verbraucht werden. Je länger daher der Inkohlungsprozeß gedauert hat, um so stärker ist die chemische Natur der Pflanzstoffe umgewandelt, wie die Zusammenstellung auf Seite 129 zeigt:

Mit dem geologischen Alter der Brennstoffe nimmt der Gehalt an Kohlenstoff und die Koksausbeute zu, der Gehalt an Sauerstoff und Wasserstoff ab.

Mit dieser Annahme von der Bildung der Kohle steht auch im Einklang, daß der Gehalt an hygroskopischem Wasser bei dem jüngeren Torf viel größer als bei der Braunkohle und vor allem der Steinkohle ist, und daß die in der Braunkohle eingeschlossenen Gase vornehmlich Kohlensäure, bei den Steinkohlen Methan enthalten.

Bestand das unter Bedeckung von Wasser oder Land geratene Material vorwiegend aus abgestorbenen Wasserpflanzen und Tieren, so verlief der Umwandlungsvorgang anders, da diese Stoffe sehr fett- und eiweißhaltig sind. Der Fäulnisprozeß überwog, und es bildete sich ebenfalls aus dem Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff der organischen Substanz Wasser, Kohlensäure und Grubengas, aber mehr Kohlensäure und weniger Wasser und Grubengas als bei der Humusbildung, so daß der Wasserstoffgehalt erhalten geblieben ist. Diesem Prozeß entspricht der sich auf dem Boden stehender Gewässer bildende Faulschlamm und die betreffenden Brennstoffe nennt man Faulschlammtorf, -braunkohle und -steinkohle. In der Streifenkohle haben wir Torfbildung, d. i. die Glanzkohle, und Faulschlamm bildung, d. i. die Mattkohle, unmittelbar nebeneinander.

Reste der organischen Gewebe lassen sich in jüngerem Torf schon mit dem bloßen Auge, beim älteren Torf unter dem Mikroskop wahrnehmen. Nach geeigneter Vorbereitung sind auch in Braunkohlen und Steinkohlen jeder Art unzweifelhafte Reste von Pflanzen und Tieren (Zellengewebe, Sporen usw.) unter dem Mikroskop deutlich erkennbar.

Torf. Vorkommen. Deutschland besitzt rund 500 Quadratmeilen Moor, von denen 90 % allein auf Norddeutschland entfallen. Torf bildet sich in der Jetztzeit.

Eigenschaften. Die Farbe des Torfes ist hellbraun bis schwarz. Sein spez. Gewicht beträgt 0,2—1,0, selten bis 1,2. Der Kohlenstoffgehalt des Torfes beträgt mindestens 54 %.

Anwendung. Seiner allgemeinen Anwendung zu Verbrennungszwecken steht der hohe Wasser- und Aschegehalt im Wege. Durch Vergasung des Torfs in Generatoren unter gleichzeitiger Gewinnung der Nebenprodukte läßt sich die in ihm ruhende Energie am besten ausnutzen. Torf dient ferner als Torfstreu, Torfmull, Düngerstreumittel, Packmaterial, Verbandstoff, Polsterung und als Wärmeschutzmittel.

Braunkohle. Vorkommen. Braunkohle kommt in jüngeren Gebirgsgliedern als die Kreideformation, hauptsächlich im Tertiär, vor. Hauptfundorte sind Sachsen, Braunschweig, Thüringen, Niederhessen, Niederrhein und Böhmen.

Eigenschaften. Die Braunkohle ist eine dichte, erdige, holzige oder faserige Kohlenmasse von meist brauner Farbe. Auf einer Tafel von unglasiertem Porzellan gibt sie einen braunen Strich, färbt Kalilauge beim Erwärmen braun und gibt, mit Salpetersäure erwärmt, einen roten Auszug. Bei der Verkokung liefert sie meist ein saures Destillat. Durch diese Reaktionen unterscheidet sich die Braunkohle von der Steinkohle. Das spez. Gewicht der Braunkohle beträgt im großen Durchschnitt 1,20—1,25. Bei 100° getrocknet, ziehen die Braunkohlen 10—25 % Wasser beim Liegen wieder an. Die Aschenbestandteile rühren zum großen Teil aus eingemengten Mineralien und Gesteinstteilen her. Der Aschengehalt beträgt im großen Durchschnitt 5—15 %. Man unterscheidet nach ihrem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen Feuer- und Schwelkohlen.

Anwendung. Die deutschen Braunkohlen (Feuerkohlen) lassen sich ohne Zusatz eines Bindemittels brikkettieren (Unterschied von böhmischen Braunkohlen); durch diesen Vorgang wird der Wassergehalt bedeutend verringert, der Heizwert und die Transportfähigkeit erheblich erhöht.

Die Schwelkohle wird in eisernen Zylinderöfen der trockenen Destillation unterworfen, wobei man neben dem sauren, wässrigen Destillat Gas, Leuchtöl, Paraffinöl, Paraffin und einen mürben Koks erhält.

Das **Paraffin** ist in gereinigtem Zustande eine feste, harte, weiße, geruch- und geschmacklose Masse, die zur Herstellung von Zündhölzern, Zündbändern, Kerzen, zum Wasserdichtmachen von Geweben (Sprengpatronen) und Einfetten des Leders dient.

Der **Jet** oder **Gagat** ist eine Faulschlammbraunkohle; sie ist der Kännelkohle ähnlich, aber von größerer Politurfähigkeit und dient als Schmuck.

Steinkohle. Vorkommen. Die Steinkohle kommt in älteren Gebirgsgliedern als die Tertiärformation vor, und zwar hauptsächlich in der gemäßigten Zone aller Erdteile. Steinkohle ist dicht und schwarz; ihr spez. Gewicht beträgt 1,25–1,60. Lufttrockene Steinkohle enthält 0,5–7 % Wasser; selten geht der Gehalt an Wasser über 4 % hinaus. Die Steinkohle gibt auf unglasiertem Porzellan einen schwarzen Strich.

Nach dem äußeren Aussehen unterscheidet man Glanz- und Mattkohle; oft kommen diese beiden Hauptkohlenarten nebeneinander als Streifenkohle vor.

Glanzkohle. Die Glanzkohle ist von tiefschwarzer Farbe, lebhaftem Glasglanz und durch ihre meist leichte Spaltbarkeit ausgezeichnet; sie färbt nicht ab und ist so spröde, daß sie sich leicht zerpulvern läßt. Die Glanzkohle ist aschenärmer, besitzt größere Verkokungsfähigkeit und gibt höhere Koksausbeute als die anderen Kohlenarten. Die auf den Schicht- und Ablösungsflächen der Glanzkohle vorkommende Faserkohle ist ein der Holzkohle ähnliches Gebilde. Die Faserkohle ist grauschwarz, weich, samtglänzend und färbt stark ab.

Mattkohle. Die Mattkohle ist wenig glänzend, von grauschwarzer bis bräunlich-grauer Farbe und ohne Spaltbarkeit. Die Mattkohle ist sehr fest, läßt sich nur schwer zerpulvern und gibt beim Anschlagen einen holzartigen Klang. Ihr Bruch ist uneben und muschelrig; sie färbt nicht ab. Die Mattkohle ist aschenreicher, von geringerer Backfähigkeit und Koksausbeute als die Glanzkohle; sie findet sich vornehmlich in den gasreichen Flözen. Bemerkenswert ist die Kännelkohle, die so gasreich ist, daß sie angezündet wie eine Kerze (englisch = candle) brennt. Die Kännelkohle läßt sich auf der Drehbank bearbeiten, sie besitzt fast die Politurfähigkeit des Gagats, ohne seinen Glanz zu erreichen. Wegen ihres hohen Gasgehaltes dient die Kännelkohle als Zusatzkohle bei der Gasbereitung.

Der **Brandschiefer** steht der Mattkohle nahe, welche sich beim Überwiegen der organischen Stoffe des Faulschlammes gebildet hat. Bei immer größer werdenden Gehalt an anorganischen Bestandteilen (Ton, Eisen, Kalk) der Faulschlamm-Bildung ist Brandschiefer entstanden, welcher der Mattkohle bei flüchtiger Betrachtung ähnelt. Der Brandschiefer entzündet sich leicht von selbst und sieht nach dem Brande wegen des Gehalts an Eisenoxyd rot aus.

Chemische Einteilung der Steinkohle.

Da das Alter der Kohlen, die Art ihrer Bedeckung und die Veränderung ihrer ursprünglichen Lagerung verschieden ist, findet ihre sehr wechselnde chemische Zusammensetzung dadurch eine befriedigende Erklärung. In der folgenden Zahlentafel ist die chemische Zusammensetzung der westfälischen Steinkohlenarten und zur Vervollständigung die von jüngeren festen Brennstoffen wiedergegeben; die Zahlen beziehen sich auf die reine, d. h. asche- und wasserfreie Kohle.

Brennstoff	% C	% H	% O + N	Heizwert Kalorien	% hygroskopisches Wasser
Holz	50	6	44	4850	15
Torf	60	6	34	5700	30
Braunkohle	73	6	21	6850	20
Gasflammkohle	82	5,7	12,3	7800	4
Gaskohle	84	5,3	10,7	8050	3
Kokskohle	87	5,0	8,0	8400	2
Eßkohle	89	4,7	6,3	8650	1,5
Magerkohle	92	4,0	4,0	8450	1,0
Anthrazit	96	2,0	2,0	8200	0,5
Graphit	100	—	—	7850	—

Verkocht man Steinkohle, d. h. unterwirft man sie der trockenen Destillation, so entweichen Gase, aus welchen sich beim Abkühlen Ammoniakwasser und Teer abscheiden und es hinterbleibt Koks. An der Koksausbeute, der Koksform und den Flammerscheinungen beim Verkoken kann man die verschiedenen Kohlenarten erkennen.

Man erhitzt 1 g der fein gepulverten, lufttrockenen Kohle in einem gewogenen, bedeckten Platintiegel im Trockenschrank $\frac{1}{2}$ Stunde bei 105° . Nach dem Erkalten wird der Tiegel gewogen, und man erhält aus dem Unterschied der Wägezahlen den Gehalt an „hygroskopischem“ Wasser. Dann erhitzt man den Tiegel über einer nicht leuchtenden Bunsenflamme so lange, bis aus dem Deckel keine flüchtigen Bestandteile mehr herausbrennen, läßt den Tiegel erkalten und wägt ihn. Der Unterschied der beiden letzten Wägezahlen ergibt den Gehalt an flüchtigen Stoffen. Schließlich glüht man den Tiegel so lange bei Luftzutritt, bis zwei Wägungen des erkalteten Tiegels keinen Unterschied mehr aufweisen, und erhält so den Gehalt der Kohle an Asche. Erst durch Umrechnung dieser für die Rohkohle erhaltenen Werte auf die asche- und wasserfreie Reinkohle erhält man Zahlen, welche den Vergleich der verschiedenen Kohlen ermöglichen. Das folgende Beispiel diene zur weiteren Erläuterung:

Die lufttrockene Rohkohle ergab bei der Analyse:

$$\begin{array}{r}
 1,0\% \text{ Wasser} \\
 25,0\% \text{ flüchtige Stoffe} \\
 74,0\% \text{ Koks (einschl. Asche)} \\
 \hline
 100,0 \\
 9,0\% \text{ Asche.}
 \end{array}$$

Die lufttrockene Rohkohle enthielt demnach:

90,0 %	reine Kohle
10,0 %	Wasser und Asche
100,0 %	

Die Reinkohle (90 %) setzt sich zusammen aus:

25,0 %	flüchtigen Stoffen
65,0 %	Koks (aschefrei)
90,0 %	

100 % Reinkohle gibt demnach:

27,8 %	flüchtige Stoffe
72,2 %	Koks
100,0 %	

Nach den auf Reinkohle umgerechneten Werten für flüchtige Bestandteile und Koks ist folgende Einteilung der Steinkohle vorgenommen; die Zahlen entsprechen der mittleren Zusammensetzung.

Kohlenart	% flüchtige Stoffe	% Koks	Beschaffenheit	
			des Koks	der Flamme
Gasflammkohle .	40	60	Pulver oder schlecht gebacken; rissig	sehr lang, stark rußend
Gaskohle . . .	35	65	gebacken, weich, rissig	lang, stark rußend
Kokskohle . . .	26	74	gebacken, fest, silberhell	mäßig lang, rußend
Elzkohle	18	82	schlecht gebacken, dunkel	mäßig lang, wenig rußend
Magerkohle . . .	12	88	Pulver oder gesintert	klein, nicht rußend
Anthrazit . . .	4	96	Pulver	sehr klein

Scharfe Grenzen zwischen diesen Kohlenarten gibt es nicht, sie gehen unmerklich ineinander über.

Außer der fühlbaren Nässe besitzt die Steinkohle noch hygroskopisches Wasser, das mit steigendem Alter der Kohle abnimmt (6—0,5 %).

Das Unverbrennliche in der Kohle bildet die Asche; nach ihrem Ursprung setzt sie sich zusammen aus Asche

1. der Pflanzensubstanz, aus der die Kohle entstanden ist,
2. des durch Wind und Wasser angetriebenen und abgesetzten Staubes und Schlammes,
3. des Deckgebirges.

Die Asche westfälischer Kohle besteht hauptsächlich aus Kieselsäure, Tonerde, Kalk, Magnesia, Eisenoxyd und Schwefelsäure. Die Gegenwart von Kalk, Eisen und Schwefel in der Kohle begünstigt die Schlackenbildung. Der Gehalt westfälischer Kohle an Asche be-

trägt im großen Mittel 6 %: er ist gering mit 1 % und sehr hoch mit 15 %. Der Aschegehalt des Koks ist natürlich größer als der der Kohle, aus welcher er hergestellt wurde. Enthält eine Kohle z. B. 4 % Asche und gibt ein Koksausbringen von 75 %, so enthält der ausgebrachte

$$\text{Koks } \frac{4 \times 100}{75} = 5\frac{1}{3} \% \text{ Asche.}$$

Der Schwefel (1–2 %) kann in dreierlei Form in der Kohle enthalten sein, als Schwefelkies, Gips und organischer Schwefel. Der Schwefelkies entstammt schwefelsauren Eisenwässern, die durch die reduzierende Wirkung der Kohle in Schwefelkies übergeführt wurden. Der Schwefelkies kommt in größeren und kleineren Kristallen und in äußerst feiner Verteilung auch als amorpher Körper in der Kohle vor. Der organische Schwefel, d. h. der an Kohlenstoff gebundene, entstammt wahrscheinlich den Pflanzen, aus welchen die Kohle entstanden ist. Beim Verbrennen der Kohle bleibt ein Teil des Schwefels in der Asche zurück, während der andere Teil zu schwefliger Säure verbrennt, welche zerstörend auf die davon bestrichenen Metallplatten einwirkt.

Der Stickstoffgehalt der westfälischen Steinkohle beträgt 1 %, selten 2 %.

Über die Natur der Steinkohle ist noch nichts Näheres bekannt: man nimmt an, daß die Steinkohle ein Gemenge verschiedener und vielleicht sehr mannigfaltiger Verbindungen des Kohlenstoffs mit Wasserstoff und Sauerstoff ist.

Lagert Kohle an der Luft, so erleidet sie Lagerverlust; sie verwittert, indem sie Sauerstoff aufnimmt. Mit der Sauerstoffabsorption ist eine Gewichtszunahme der Kohle verbunden. Findet gleichzeitig Bildung von Kohlensäure statt, so ist eine Gewichtsabnahme damit verknüpft. Durch diese Vorgänge zerfällt die Kohle allmählich, ihre Heizkraft vermindert sich und ihre Koksausbeute wird zwar größer, der Koks selbst aber erheblich schlechter.

Infolge der Sauerstoffaufnahme tritt eine Oxydationswirkung ein, welche von immer größer werdender Wärmeentwicklung begleitet ist, so daß sich die Kohle im Lager und Flöz, der Kohlenschiefer auf der Halde selbst entzündet. Man nimmt an, daß es die in der Kohle enthaltenen ungesättigten Verbindungen des Kohlenstoffs mit Wasserstoff und Sauerstoff sind, welche die Selbstentzündung durch Sauerstoffaufnahme hervorrufen. In viel geringerem Maße trägt auch der Schwefelkies in seiner feinsten Verteilung dazu bei.

Die Brandgase sind arm an Sauerstoff, reich an Stickstoff und Kohlensäure, und enthalten immer Kohlenoxyd, oft auch Grubengas und bisweilen höhere und schwere Kohlenwasserstoffe.

Heizwert der Kohle.

Die Wärmemenge, welche 1 kg Kohle bei vollständiger Verbrennung entwickelt, heißt ihr Heizwert. Man bestimmt ihn durch:

1. direkt auszuführende Heizversuche im großen;
2. Verbrennen von 1 g Kohle in einem Kalorimeter (Stahlbombe) mit reinem Sauerstoff; die dadurch verursachte Erwärmung

von 1 kg Wasser, welches das Kalorimeter umgibt, dient zur Berechnung des Heizwertes;

3. Berechnung aus der Elementaranalyse, indem man die Werte für Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Schwefel und Wasser in die Verbandsformel einsetzt:

$$\text{theoret. Hzw.} = 81 C + 290 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 25 S - 6 H_2 O.$$

Die in dieser Formel enthaltenen Zahlen für Kohlenstoff, Wasserstoff und Schwefel stellen die Heizwerte der reinen Elemente dar. Der in der Kohle enthaltene Sauerstoff verbrennt einen Teil des Wasserstoffs, der für den Heizwert verlorengeht.

$\left(H - \frac{O}{8} \right)$ gibt die Menge des für die Verbrennungswärme übrigbleibenden (disponiblen) Wasserstoffs an. Der Ausdruck $6 H_2 O$ berücksichtigt den durch die Verdampfung des in der Kohle enthaltenen Wassers entstehenden Wärmeverlust.

Aufgabe: Wie groß ist der theoretische Heizwert einer Kohle, welche aus 79,00% Kohlenstoff, 5,20% Wasserstoff, 7,60% Sauerstoff, 1,00% Schwefel, 1,50% Wasser und 5,70% Asche besteht?

$$= 81 \times 79 + 290 \times \left(5,2 - \frac{7,6}{8} \right) + 25 - 6 \times 1,5 = 7647 \text{ cal. theor.}$$

Um zu ermitteln, wieviel Kilogramm Dampf von 100° aus Wasser von 0° beim Verbrennen von 1 kg Kohle entstehen, muß man die Zahl der ermittelten Kalorien durch 637 dividieren; man erhält so den theoretischen Verdampfungswert. In unserm Beispiel also $\frac{7647}{637} = 12$ kg Wasserdampf.

In der Praxis treten nun zahlreiche Verluste an Wärme auf, die im wesentlichen auf unvollkommener Verbrennung der Kohle, hoher Temperatur der Rauchgase, sowie auf Strahlung und Leitung beruhen. Die Rauchgase enthalten oft außer Kohlensäure, Sauerstoff und Stickstoff auch Kohlenoxyd, andere brennbare Gase und Flugruß, ein Zeichen unvollständiger Verbrennung. Stets gelangt etwas Kleinkohle durch die Rostfugen unverbrannt in den Aschenfall. Erhebliche Wärmemengen gehen ferner durch das Anwärmen des Brennmaterials und der zutretenden Luft auf die Ofentemperatur, durch die hohe Wärme der Rauchgase (300° C) in den Schornstein, sowie der Asche in den Aschenfall verloren. Berücksichtigt man ferner, daß der Kessel Wärme ausstrahlt und an das Mauerwerk ableitet, so ist ein Wärmeverlust von 25% und mehr für die Dampfbildung erklärlich. Danach würde der praktische Verdampfungswert in unserm Beispiel höchstens $\frac{3}{4} \cdot 12 = 9$ kg betragen.

Anwendung der Steinkohle.

Die einzelnen Kohlenarten werden nach ihren besonderen Eigenschaften verwandt. Zur Beheizung der Kessel von industriellen Anlagen und Lokomotiven dienen langflammige Kohlen, die wegen ihres

hohen Gasgehalts auch zur Gasfabrikation benutzt werden. Die Fettkohlen sind die eigentlichen Koks-kohlen; die Eßkohlen eignen sich als Schmiede- und Küchenkohlen, während die Magerkohlen am vorteilhaftesten als Hausbrandkohlen, die Anthrazite als Fülllofenkohle gebraucht werden. Es ist bereits ausgeführt, daß bei der Verbrennung der Kohle für Heizzwecke oder zur Krafterzeugung große Wärmeverluste eintreten; ferner gehen die chemischen Verbindungen verloren, die bei der Entgasung als Ammoniak, Benzol, Zyan usw. erhalten werden. Der Wert dieser Stoffe ist als Ausgangsmaterial wichtiger chemischer Verbindungen viel größer als ihr Verbrennungswert. Der Weg für eine bessere Ausnutzung, Veredelung der Kohle, führt über ihre Entgasung und Vergasung.

Veredelung der Steinkohle.

a) Entgasung, Verkokung der Steinkohle.

Die Verkokung der Kohle wurde zuerst in Gasanstalten zur Erzeugung von Leuchtgas vorgenommen, bei welcher nebenbei Koks gewonnen wurde. Die Gasindustrie war frühzeitig gezwungen, das Leuchtgas wegen des üblen Geruches und wegen der leicht eintretenden Verstopfungen gut zu reinigen und wurde bald auf den Wert der sog. Nebenprodukte aufmerksam.

Die Verkokung der Kohle auf den Zechen hat den Zweck, den Eisenhütten einen hochwertigen Koks zur Erschmelzung und Veredelung des Eisens zu liefern. Im Laufe der Zeit ging man auch hier dazu über, die Nebenprodukte aus den Destillationsgasen zu gewinnen.

In den Koksöfen werden 6—12 Tonnen Koks-kohlen — auch durch Mischen von mageren und gasreichen Kohlen zusammengestellt — 24—26 Stunden durch Gasbrenner (Bunsenbrenner) erhitzt, mit deren Hilfe die Hälfte des durch die Verkokung gewonnenen Gases (Tabelle S. 136) für diesen Zweck nutzbar gemacht wird.

Die Koksandrückmaschine drückt den garen Koks als glühende Mauer aus dem Ofen auf den Koksplatz, wo er auseinander gezogen und mit Wasser abgelöscht wird.

Guter westfälischer Hüttenkoks ist grau bis silberglänzend, hart und porös; sein Aschegehalt soll nicht über 10 %, sein Wassergehalt nicht über 5 % betragen. Der reine (asche- und wasserfreie) Koks enthält außer dem Kohlenstoff noch geringe Mengen von Wasserstoff, Stickstoff und Schwefel.

Die Verkokungsgase nehmen ihren Weg durch die Steigrohre jeder Ofenkammer in eine gemeinsame Vorlage, wo sich schon ein großer Teil des Teeres verdichtet, durchstreichen die Gaskühler und Gaswäscher, geben hier ihren Gehalt an Teer, Ammoniak und Benzol-kohlenwasserstoffen ab und werden dann zur Beheizung der Koksöfen, Beleuchtung der Städte (Fernleitung), Treiben von Gasmaschinen und Erzeugung von Elektrizität benutzt, nachdem sie von Schwefelwasserstoff und Zyan befreit sind.

Der **Rohteer** wird zunächst bei mäßiger Temperatur entwässert und aus schmiedeeisernen Blasen destilliert, wobei Leicht-, Mittel-, Schwer- und Anthrazenöl gewonnen werden und Pech zurückbleibt. Leichtöl und gesättigtes Waschöl der Benzolwäscher werden weiteren Destillationen unterworfen, wodurch die Kohlenwasserstoffe in Benzol, Toluol, Xylol, Solventnaphtha getrennt werden. Diese flüssigen Kohlenwasserstoffe dienen als Ausgangsmaterial zur Herstellung von Farbstoffen, Sprengstoffen, Arzneimitteln, als Lösungsmittel und Treibmittel für Motore und zur Beleuchtung.

Das Mittelöl wird auf Naphthalin und Karbolsäure verarbeitet, aus welchen Farb- und Desinfektionsstoffe hergestellt werden. Schweröl und Anthrazenöl dienen nach Abscheidung des Anthrazens (Farbstoffe) zum Imprägnieren von Holz und als Schmiermittel. Fig. 114 stellt den Stammbaum der Verkokung der Steinkohle dar.

Ammoniak wird als Nebenprodukt der Verkokung teils im direkten, teils im indirekten Verfahren in Form von schwefelsaurem Ammoniak als Stickstoffdüngemittel gewonnen.

Ein großer Teil unserer hochentwickelten chemischen Industrie (Farbstoffe, Sprengstoffe, Medikamente) ist auf diesen Nebenprodukten der Verkokung aufgebaut. Aussichtsvolle Zukunft hat die Verkokung der Steinkohle bei niedriger Temperatur oder unter niedrigem Druck, wobei man die für unsere Industrie so wichtigen Schmieröle erhält.

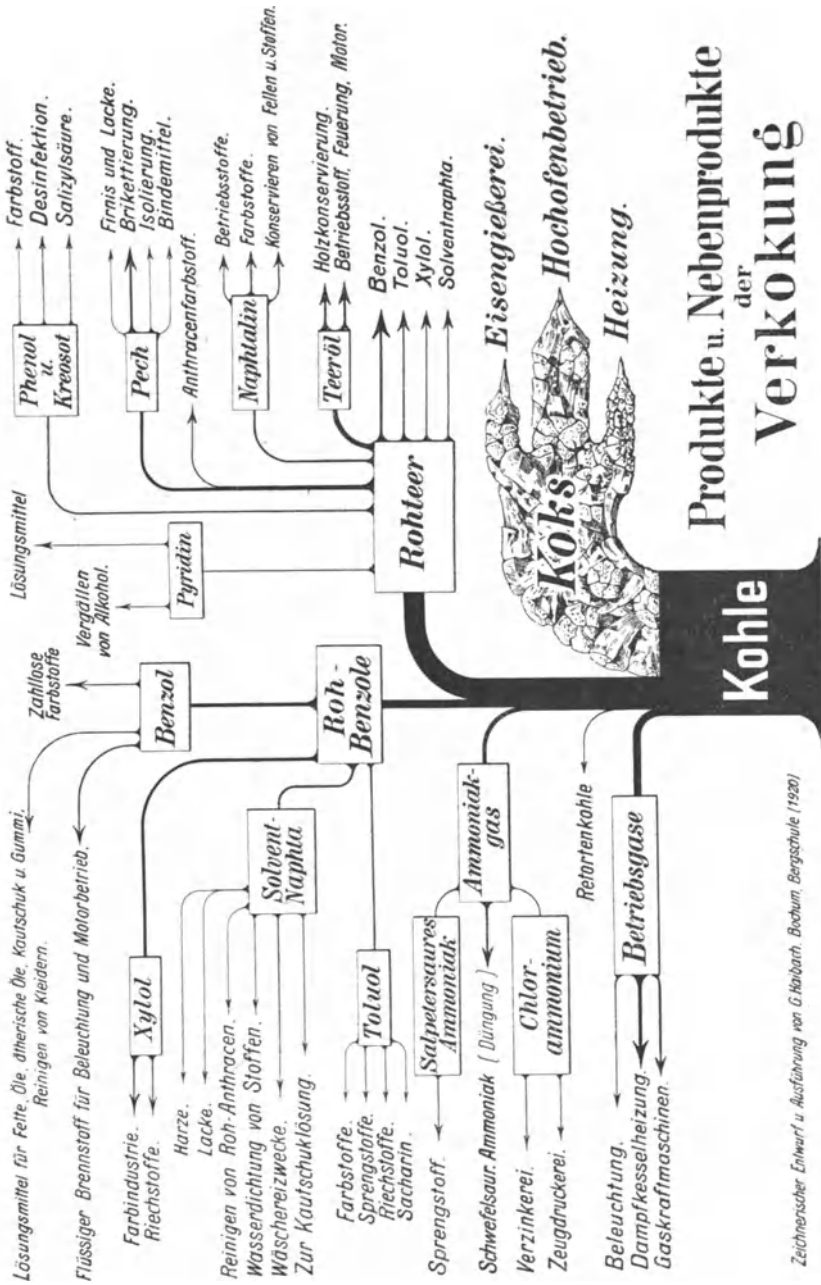
b) Vergasung der Steinkohle.

Unter Vergasung der Brennstoffe versteht man ihre unvollständige Verbrennung durch Zufuhr von Luft (Generatorgas), Wasserdampf (Wassergas), und von Luft und Wasserdampf (Mischgas), wobei neuerdings auch Nebenprodukte gewonnen werden.

Generatorgas. Koks und Anthrazit werden im Ofenschacht des Generators zum Glühen erhitzt. Luft wird dann von unten in zur vollständigen Verbrennung der Brennstoffe unzureichender Menge durchgeleitet, so daß der Vorgang möglichst nach der Formel $C + O = CO$ verläuft, indem die zunächst gebildete Kohlensäure durch den glühenden Kohlenstoff zu Kohlenoxyd reduziert wird.

Wassergas. Wassergas entsteht, wenn man im Ofenschacht statt der Luft Wasserdampf über die glühenden Kohlen leitet. Gemäß der Formel $C + H_2O = CO + H_2$ besteht das Wassergas aus Wasserstoff und Kohlenoxyd. Die Erzeugung des Gases vollzieht sich in zwei Abschnitten, da ja der Brennstoff zunächst zum Glühen gebracht werden muß. (Heißblasen.) Das hierbei entstehende Generatorgas wird abgeleitet und dient zur Dampferzeugung. Dann wird Wasserdampf über die glühenden Kohlen geblasen, wodurch Wassergas erzeugt wird. (Kaltblasen.) Die Glut geht allmählich soweit herunter, daß die Zersetzung des Wasserdampfes nachläßt. Durch Heißblasen wird die zu dieser Umsetzung nötige Temperatur rechtzeitig wiederhergestellt.

Leitet man Generatorgas und Wassergas gemeinsam ab, oder bläst man über den glühenden Brennstoff Luft und Wasserdampf, so ent-



Zeichnerischer Entwurf u. Ausführung von G. Habarth, Bochum, Bergschule (1920)

Fig. 114.

steht Mischgas. Folgende Zahlentafel gibt einen Überblick über Zusammensetzung von Kokerei-, Generator-, Wasser-, Misch- und Naturgas.

	Kokereigas	Generator- gas	Wassergas	Mischgas	Gichtgas	Naturgas
Wasserstoff . .	58	6	50	15	2	—
Methan	30	2	—	1	1	85
Kohlenoxyd . .	5,5	25	40	26	25	—
Schwere Kohlen- wasserstoffe .	2,5	—	—	—	—	2
Kohlensäure . .	1	5	4	8	12	10
Stickstoff . . .	3	62	6	50	60	3
	100	100	100	100	100	100

Diese Vergasungsverfahren sind deshalb so wichtig, weil sich dazu auch minderwertige Brennstoffe, wie aschenreiche Kohle, Torf und Holz eignen. Die ununterbrochen nachgefüllten Brennstoffe werden zunächst bei mäßiger Temperatur verkocht. Die dabei entweichenden Gase können für sich abgezogen und ihrer Nebenprodukte (Teer, Ammoniak) beraubt werden.

Generator-, Wasser- und Mischgas finden hauptsächlich für Gas-kraftmaschinen und als Heizstoff in der Industrie Anwendung.

Flüssige Brennstoffe.

Erdöl. Vorkommen. Erdöl kommt in größeren Mengen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, Rußland, Mexiko, Holländisch-Indien und Rumänien vor; ferner in Britisch-Indien, Galizien, Japan und Deutschland (z. B. Wietze in der Prov. Hannover). Von den Petroleum erzeugenden Ländern nimmt Deutschland die letzte Stelle ein.

Bildung. Die meisten Gelehrten nehmen an, daß das Erdöl aus Leichen von Tieren und fettreichen Pflanzen früherer geologischer Formationen entstanden seien. Ungeheure Mengen Leichen von Meertieren und Algen lagerten sich an der Meeresküste ab, gerieten unter Bedeckung von Wasser und Land und wurden so dem zerstörenden Einfluß des Sauerstoffs der Luft entzogen. Unter dem hohen Druck der Bedeckung machten sie einen Fäulnisprozeß durch und wurden zu Erdöl. Der Umstand, daß das Erdöl an seinen Fundorten stets von Salzwasser begleitet wird, und das gelegentlich beobachtete Massensterben von Fischen scheint diese Annahme zu bestätigen.

Die Gewinnung des Erdöls geschieht derart, daß Bohrlöcher so tief gelegt werden, bis sie auf eine Schicht mit selbst ausfließender Naphtha stoßen. Genügt der Gasdruck nicht, um das Öl zutage zu fördern, so bedient man sich des Schöpflöffels oder der Pumpe; auch fördert man Schächte ab, um an die Erdöl führenden Schichten zu gelangen.

Eigenschaften. Das Erdöl ist ein Gemenge von vielen Kohlenwasserstoffen verschiedener Arten und steht in seiner Zusammensetzung den Fetten sehr nahe. Das spez. Gewicht der verschiedenen Erdöle schwankt zwischen 0,80 und 0,96. Durch fraktionierte Destillation reinigt und trennt man das Erdöl in Benzin, Leuchtöl, Schmieröl, Vaseline, Paraffin und Pech. Gut gereinigtes Benzin soll farblos und von angenehmem Geruch sein; beim Verdunsten auf Filtrierpapier darf es keine Fettflecken hinterlassen. Benzin besteht aus 85 % Kohlenstoff und 15 % Wasserstoff. Infolge seiner Fähigkeit, Fette und Harze zu lösen, verwendet man Benzin als Fleckwasser; ferner dient es zum Betriebe von Benzinmotoren und zum Füllen der Grubenlampen. Die durch den Krieg notwendig gewordenen Ersatzmittel, Mischungen von Benzin mit anderen brennbaren Flüssigkeiten, sind Notbehelfe. Für die Grubenlampe hat sich die Dreimischung (50 % Spiritus, 30 % Benzin, 20 % Benzol) am besten bewährt.

Leuchtöl oder Petroleum darf in Deutschland nur in den Handel gebracht werden, wenn sein Flammpunkt über 21° liegt. Neuerdings ist es gelungen, auch für Benzol, welches wegen seines höheren Kohlenstoffgehaltes leicht rußt, Lampen zu konstruieren.

Das **Erdölpech** stellt einen Brennstoff von sehr hohem Heizwert (10500–11500 Kal.) dar, und wird durch Zerstäubung zur Verbrennung unter Dampfkessel und Destillierblasen gebracht.

Naturgas, Erdgas entströmt in manchen Erdölbezirken in so großen Mengen dem Boden, daß es industrielle Bedeutung erlangt hat. Am längsten sind die heiligen Feuer von Baku bekannt. Die größten Vorkommen sind in Pennsylvanien und in Ohio. Auch das Naturgas von Neuengamme bei Hamburg verdient Erwähnung.

Das Nachlassen des Druckes, unter welchem das Ausströmen solcher Erdgase stattfindet, läßt auf die baldige Erschöpfung mancher Vorkommen schließen. Naturgas (S. 136) besteht hauptsächlich aus Grubengas und mehr oder minder großen Mengen von höheren und schweren Kohlenwasserstoffen, Kohlensäure und Stickstoff.

Alphabetisches Sachregister.

Physik.

- A**blenkung der Magnetnadel 60.
 Absolute Temperatur 31.
 Absorption des Lichtes 81.
 „ der Wärmestrahlen 45.
 Abstoßung, elektrische 50.
 „ magnetische 48.
 Abszisse 2.
 Adhäsion 15.
 Aggregatzustand 3. 24.
 Akustik 66.
 Alkoholometer 15.
 Alkoholthermometer 25.
 Ampere 54.
 Aneroidbarometer 17.
 Anpassung des Auges 84.
 Anziehung, elektrische 50.
 „ magnetische 48.
 Aequator, magnetischer 49.
 Äquivalent, mechanisches 46.
 Aräometer 14.
 Arbeit 5.
 Archimedisches Prinzip 13.
 Artesische Brunnen 12.
 Atmosphärischer Druck 16.
 Auftrieb 12.
 Auge 83.
 Ausdehnung fester Körper 26.
 „ flüssiger Körper 29
 „ luftförmiger Körper 30.
 „ ungleichförmige des
 Wassers 29.
 Ausdehnungskoeffizient 26.
 Ausgleichungsstreifen 28.
 Ausstrahlung der Wärme 45.

Barometer 16.
 Barometrische Höhenmessung 18.
 Batterie, elektrische 55.
 Beharrungsvermögen 5.
 Beleuchtung der Erde 72. 74.
 Berührungselektrizität 52.
- Bild, scheinbares 79.
 Bild, wirkliches 78.
 Bilder von Spiegeln 73. 74.
 „ von Linsen 77. 78. 79.
 Blitz, Blitzableiter 52.
 Bodendruck 10.
 Boyle-Mariottesches Gesetz 22.
 Brechung des Lichtes 74.
 Brennpunkt 77.
 Brillen 84.

Camera obscura 83.
 Cardanischer Ring 47.
 Chemische Wirkungen des elektr.
 Stromes 59.
 Chemische Wirkungen des Lichtes 82.
 Chladnische Klangfiguren 70.

Dampf, Spannkraft des 45.
 Dauer des Lichteindrucks 84.
 Deklination, magnetische 49.
 Destillation 41.
 Dewar'sche Gefäße 43
 Dichtigkeit der Gase 24.
 Diffusion 22.
 Donner 52.
 Druckpumpe 20.
 Durchsichtigkeit 72.

Ebbe 5.
 Ebene, schiefe 9.
 Echo 68.
 Elektrizität, Berührungs- 52.
 „ Reibungs- 50.
 Elektrische Entladung 52.
 Elektrischer Strom 53.
 Elektrisches Bogenlicht 58.
 Elektrisiermaschine 51.
 Elektrolyse 59.
 Elektromagnetismus 61.
 Elektromotorische Kraft 53.

- Element, galvanisches 52.
 Elmsfeuer 52.
 Erdmagnetismus 49.
 Ergänzungsfarben 81.
 Erwärmung der Erde 46.

Farben der Körper 81.
 „ des Spektrums 80.
 „ dünner Blättchen 82.
 Farbenringe 82.
 Farbenscheibe 84.
 Farbenzerstreuung 80.
 Fata morgana 76.
 Fernrohr 79.
 Fernsichtigkeit 84.
 Fernsprecher 65.
 Feuchtigkeitsgehalt der Luft 38.
 Feuerspritze 21.
 Feuerzeug, pneumatisches 22.
 Fieberthermometer 26.
 Flächenblitz 52.
 Flaschenzug 9.
 Flüssigkeiten, Zusammendrückbarkeit der 9.
 Flüssigkeitsdruck 10.
 Flüstergewölbe 68.
 Flut 5.
 Fraktionierte Destillation 42.
 Funkenentladung 51.

Galvanischer Strom 52.
 Galvanoplastik 59.
 Galvanostegie 59.
 Gase, Ausdehnung durch die Wärme 36.
 „ Verdichtung der 21.
 „ Verflüssigung der 42.
 Gay-Lussac'sches Gesetz 30.
 Gefäßbarometer 16.
 Gefrierpunkt 33.
 Gefrierpunktserniedrigung 34.
 Geißlersche Röhren 65.
 Geräusch 67.
 Geschwindigkeit der Elektrizität 51.
 „ des Lichtes 73.
 „ des Schalles 67.
 Gewicht 4.
 „ spezifisches 13.
 Gewichtseinheit 4.
 Gewitter 52.
 Glaselektrizität 50.
 Gleichgewicht 6.
 Gletscher 34.
 Golfstrom 18.

 Gramm 4.
 Graphische Darstellung 2.
 Grenzwinkel der Brechung 75.

Haarhygrometer 39.
 Hagel 40.
 Harzelektrizität 50.
 Hebel 7.
 Heber 18.
 Heberbarometer 17.
 Heronsball 20.
 Höhenmessung, barometrische 18.
 Hörrohr 68.
 Hohlspiegel 74.
 Hufeisenmagnete 47.
 Hydraulische Presse 10.
 Hygrometer 39.
 Hygroskop 39.

Induktionsapparat 64.
 Induktionsströme 63.
 Influenz, elektrische 51.
 „ magnetische 47.
 Inklination 49.
 Interferenz des Lichtes 82.
 „ des Schalles 71.
 Interferometer 71.
 Isogonen 49.
 Isolatoren 51.

Kaleidoskop 74.
 Kalorie 32.
 Kalorimeter 32. 131.
 Kälte durch Verdunstung 36.
 Kältemischung 34.
 Kanalwage 12.
 Kapillarröhren 15.
 Keil 9.
 Kilogrammometer 5.
 Klang der Töne 69.
 Klangfiguren 70.
 Klima 32.
 Kohäsion 15.
 Kommunizierende Röhren 11.
 Kompaß 47.
 Kompensation der Uhren 28.
 Kompressionspumpe 21.
 Konduktor 51.
 Konkavlinen 80.
 Konkavspiegel 74.
 Konstante Elemente 53.
 Konvexlinsen 76.
 Konvexspiegel 80.

- Koordinatensystem 2.
 Kraft 4.
 Kräfteparallelogramm 5.
 Kritischer Druck 42.
 Kritische Temperatur 42.
 Kubische Ausdehnung 29.
 Kugelblitz 52
 Kurven, magnetische 48.
 Kurzsichtigkeit 84.
- L**ängeneinheit 3.
 Leistung, elektrische 56.
 „ mechanische 5.
 Leitung der Elektrizität 54.
 „ der Wärme 44.
 Leistungswiderstand der Flüssigkeiten 54.
 Leuchtende Organismen 72.
 Licht, chemische Wirkungen 82.
 „ Geschwindigkeit 73.
 „ Theorie 81.
 Lichtäther 81.
 Lichtbrechung 74.
 Lichteindrücke, Dauer der 84.
 Linsen, Sammel- 77.
 „ Zerstreuungs- 80.
 Lippenpfeifen 71.
 Luft, Schwere der 16.
 Luftballon 21.
 Luftdruck 16.
 Luftpumpe 18.
 Luftspiegelung 76.
 Luftthermometer 31.
 Lupe 79.
- M**agdeburger Halbkugeln 20.
 Magnete, künstliche 47.
 „ natürliche 47.
 Magnetische Kurven 48.
 „ Wirkungen des elektrischen Stromes 60.
 Magnetisches Feld 48.
 Magnetismus 47.
 Magnetnadel 49. 61.
 Magnetinduktion 63.
 Manometer 20.
 Mariottes Gesetz 22.
 Maschinen 7.
 Maximumthermometer 25.
 Mechanik 4.
 Mechanisches Aequivalent der Wärme 46.
 Meridian, magnetischer 49.
- Metallthermometer 29.
 Meter 3.
 Mikroskop 79.
 Minimumthermometer 25.
 Mischfarben 81.
 Mittelkraft 5.
 Molekularmagnete 48.
 Mondfinsternis 73.
 Morses Telegraph 62.
 Multiplikator 61.
 Musikalische Töne 69.
- N**ebel 40.
 Nebenregenbogen 82.
 Netzhaut 83.
 Newtons Anziehungsgesetz 5.
 Nordlicht 50.
- O**berfläche der Flüssigkeiten 11.
 Obertöne 70.
 Ohm 54.
 Ohmsches Gesetz 55.
 Okular 79.
 Optik 72.
 Optische Täuschungen 84.
 Ordinate 2.
- P**apinscher Topf 37.
 Parallelogramm der Kräfte 5.
 Pendel, elektrisches 50.
 Pfeifen, gedeckte 71.
 „ offene 71.
 Pferdekraft 5.
 Phonograph 71.
 Photographie 83.
 Physik 3.
 Physiologische Wirkungen des elektrischen Stromes 65.
 Pipette 18.
 Platten, elastische 70.
 Pneumatisches Feuerzeug 22.
 Pole 47. 52.
 Polarisationsstrom 56. 60.
 Presse, hydraulische 10.
 Prisma 76.
 Psychrometer 38.
 Pumpen, Kompressions- 21.
 „ Luft- 18.
 „ Wasser- 20.
 Pyrometer 25, 66.
- Q**uartzglasthermometer 25.
 Quecksilberthermometer 25.
 Quellen der Wärme 46.

- R**eflexion des Lichtes 73.
 „ des Schalles 68.
 „ der Wärmestrahlen 45.
 „ totale 75.
 Regen 40.
 Regenbogen 82.
 Regenmesser 40.
 Registrierung 2.
 Reibungselektrizität 50.
 Reibungswärme 46.
 Reif 40.
 Resonanz 70.
 Resultante 5.
 Rolle 8.
 Rostpendel 28.

Saiten, gespannte 70.
 Sammellinsen 77.
 Sättigungsgrad des Wasserdampfes 38.
 Saugpumpe 20.
 Schall 66.
 Schalles, Reflexion des 68.
 Schallgeschwindigkeit 67.
 Schallwellen, Interferenz der 71.
 Schatten 72.
 Schiefe Ebene 9.
 Schlagwetterpeife 71.
 Schleuderthermometer 38.
 Schmelzen 33.
 Schmelzpunkt 33.
 Schmelzwärme 33.
 Schnee 40.
 Schraube 9.
 Schwebungen, akustische 71.
 Schwerkraft 4.
 Schwerpunkt 6.
 Schwimmen 13.
 Schwingungen 66.
 Schwingungszahl 69.
 Seeklima 32.
 Segnersches Wasserrad 11.
 Sehnerv 83.
 Seitendruck 11.
 Sicherheitslampe 45. 111.
 Siedepunkte von Flüssigkeiten 35.
 Siedepunkte von Gasen 35.
 Siedeverzug 35.
 Sirene 69.
 Sonnenfinsternis 73.
 Sonnenwärme 46.
 Spannkraft der Dämpfe 36.
 Spannungsreihe für Reibungselek-
 trizität 50.
 Spannungsreihe, thermoelektrische 66.
 Spannungsreihe, Voltasche 53.
 Spezifisches Gewicht 13.
 Spezifische Wärme 31.
 Spektralanalyse 81.
 Spektrum 81.
 Spiegel, ebene 73.
 „ sphärische 74.
 Spiegelbild 73. 74.
 Sprachrohr 68.
 Springbrunnen 12.
 Standfestigkeit 6.
 Stahlmagnete 48.
 Stechheber 18.
 Sterntag 4.
 Stimmgabel 70.
 Strahlenbrechung, atmosphärische 75.
 Streichen, magnetisches 48.
 Strom, elektrischer 51. 53. 66.
 Stromunterbrecher 62.

Tau 38. 40.
 Taupunkt 38.
 Telegraphie 62.
 Telephon 65.
 Temperatur 26. 44.
 „ absolute 31
 Thermoelektrizität 65.
 Thermometer 24.
 Tonleiter 69.
 Torricellis Vakuum 16.
 Totale Reflexion 75.
 Trägheit 5.
 Tropfenbildung des Wasserdampfes 40.

Uhren, elektrische 63.
 Undurchdringlichkeit 3.
 Unruhe bei Taschenuhren 28.
 Unterkühlung 34.

Vakuum, Torricellis 16.
 Variationen des Erdmagnetismus 49.
 Verdampfen 36.
 Verdampfungswärme 34.
 Verdichtung der Gase 21.
 Verflüssigung der Gase 42.
 Verdunsten 36.
 Verdunstungskälte 36.
 Vergoldung, galvanische 59.
 Vergrößerung 77. 78.
 Verteilung, elektrische 52.

- Verteilung, magnetische 47.
 Vokallänge 70.
 Volt 54.
- W**ärme, Quellen der 46.
 „ spezifische 32.
 Wärmeäquivalent, mechanisches 46.
 Wärmeausdehnung fester Körper 26.
 „ flüssiger Körper 29.
 „ gasförmiger Körper 30.
 Wärmeeinheit 32.
 Wärmeerzeugung durch Druck 22.
 „ „ chemische Vorgänge 46.
 Wärmelehre 24.
 Wärmeleitung 44.
 Wärmestrahlen 45.
 Wärmewirkung des elektrischen Stromes 57.
 Wasserdampf, Spannung des 40.
 Wasserheizung 30.
- Wasserpumpen 20.
 Wasserzersetzung 59.
 Wellenbewegung 66.
 Wellenlänge 69.
 Winkelspiegel 74.
 Wirkungen, chemische des Lichtes 82.
 „ „ der Elektrizität 59.
 Wolken 40.
- Z**erlegung der Kräfte 5. 9.
 Zerlegung des Sonnenlichtes 80.
 Zerstreuungslinsen 80.
 Zone, indifferente 47.
 Zungenpfeifen 70.
 Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten 9.
 Zusammendrückbarkeit der Gase 15.
 Zusammensetzung des weißen Lichtes 80.
 Zusammensetzung von Kräften 15.

Chemie.

- A**braumsalze 119.
 Äthylen 114.
 Ätzkali 106. 118.
 Ätzkalk 122.
 Ätznatron 106. 119.
 Aluminium 125.
 Aluminiumkarbid 111.
 Aluminiumsilikat 117.
 Aluminothermie 125.
 Ammoniak 101.
 Ammonsalpeter 120.
 Anthrazit 129. 130. 133.
 Asche 130.
 Assimilation 107.
 Atmung 90. 106.
 Atmungsgerät 106.
 Atmungsprozeß 107.
 Atom 86.
 Atomgewichte 87.
 Autogenes Schweißen 94.
 Azetylen 115.
 Azetylenkupfer 116. 121.
 Azetylsilber 116.
- B**asen 117.
 Benzol 116. 137.
 Benzin 137.
 Bitterwasser 95.
- Bläser 90. 114.
 Bleichen 96.
 Bleiglanz 97.
 Bleikammerprozeß 99.
 Bleipapier 98.
 Brandgase 109.
 „ -schiefer 128.
 Braunkohle 127.
 Brennstoffe 124.
 Bunsenbrenner 117.
- C**arnallit 119.
 Chemie, anorganische, organische 104.
 Chilisalpeter 119.
 Chlor 96.
 Chloride 97.
 Chlorsaures Kalium 120.
 Chlorzink 91.
- D**iamant 103.
 Diffusion 113.
 Dolomit 124.
 Dornstein 95.
- E**isen, Erschmelzung des 110.
 Eisenvitriol 99.
 Elektrolyse 88. 91. 96. 119. 124. 125.
 Elementaranalyse 132.
 Elemente 86.

- Endothermische Verbindungen** 102.
 115. 121.
Energie 85. 88.
Entzündungstemperatur 112. 116.
Erdgas 137.
Erdöl 136.
Ernährung der Tiere und Pflanzen 106.
Exothermische Verbindungen 101.
Explosible Körper 121
- Faulschlamm** 126.
Feldspat 117. 119.
Flamme, Natur der 116.
Flüssige Luft 42. 88. 100.
Flüssige Luft-Sprengstoffe 121
Formel, chemische 87.
- Gagat** 128.
Gasexplosionen 93. 111. 113. 115.
Gaskohle 129. 130. 133.
Generatorgas 134.
Gesetz der Verbindungsgewichte 88.
Gichtgas 110. 136.
Gips 123.
Glanzkohle 128. 129. 130.
Glas 117.
Glaubersalz 95.
Gleichgewicht, chemisches 101.
Gleichung, chemische 87.
Gradierwerke 95.
Graphit 104.
Grubengas 111.
Grubenwasser 90.
Grundstoffe 86.
- Heizwert** 92. 110. 131.
Hochofen 110.
Höllenstein 102.
Hygroskopisches Wasser 130.
- Interferometer** 82. 114.
- Jet** 128.
- Kalialpeter** 120.
Kalium 119.
Kaliwasserglas 117.
Kalk 104. 107.
Kalkgas 117.
Kalkmilch 122.
Kalkmörtel 122.
Kalkwasser 106. 122.
Kalzium 122.
- Kalziumcarbid** 115.
Kalziumchlorid 34. 95.
Kalziumoxid 122.
Kalziumphosphat 103.
Kalziumsilikat 117.
Känelkohle 128. 129. 130.
Kaolin 117. 125.
Kerze 116.
Kesselstein 123.
Kieselsäure 117.
Knallgas 92.
Kochsalz 95. 119.
Kohle 128.
Kohlenarten 129
Kohlendioxyd 104.
Kohlenoxyd 108.
Kohlenoxydpapier 109.
Kohlensäure 104.
Kohlenstaubexplosionen 113.
Kohlenstoff 103.
Kohlenwasserstoffe 110.
Koks 129.
Koksausbeute 129.
Koksform 130.
Königswasser 97.
Kontaktverfahren 99. 102.
Korund 125.
Kreide 104. 122
Kristall 118.
Kryolith 125.
Kupferkies 97.
Kupfervitriol 99.
- Leuchtgas** 109. 133.
Löslichkeit, der Gase 106.
 „ „ Salze 118.
Lösungen, übersättigte 118.
Luft, atmosphärische 100.
- Magnesium** 124.
Magnesiumoxyd 125.
Marmor 104. 122.
Mattkohle 126. 128.
Mechanisches Gemenge 85.
Meerschium 124.
Meerwasser 95.
Metalle 118.
Methan 111.
Mineralwasser 95.
Mischgas 136.
Mörtel 122.
Moleküle 86.
Multiple Proportionen 88.

Additional material from *Physik und Chemie*,
ISBN 978-3-662-23193-7, is available at <http://extras.springer.com>



- N**atargas 137.
 Natrium 118.
 Natriumchlorid 119.
 Natriumnitrat 119.
 Natronlauge 119.
 Natronsalpeter 119.
 Natronwasserglas 117.
 Nichtmetalle 118.
 Nitrate 102.
- Öl** 107.
 Organische Verbindungen 104.
 Oxydation 96.
 Oxyde 96.
 Ozon 121.
- P**alladiumchlorür 109.
 Paraffin 121. 127. 137.
 Petroleum 136.
 Phosphor 103.
 Platin 102.
 Pottasche 106.
- Q**uartz 117.
 Quecksilber 88.
 Quellwasser 95.
- R**aumverminderung 93. 112.
 Reduktion 96.
 Regenwasser 95.
 Rohkohle 129.
 Rösten 98.
 Rückschlag 93. 112.
- S**äuren 117.
 Salmiak 120.
 Salpeter 120.
 Salpetersäure 102.
 Salze 118.
 Salzgärten 95.
 Salzsäure 97.
 Sand 122.
 Sauerbrunnen 95.
 Sauerstoff 88.
 Sauerstoffgebläse 89.
 Schlagwetter 111.
 Schießpulver 120.
 Schlacke 130.
 Schwefel 97. 131.
- Schwefeleisen 85. 98
 Schwefelsäure 99.
 Schwefeltrioxyd 99.
 Schwefelwasserstoff 98.
 Schweflige Säure 98.
 Selbstentzündung 131.
 Sicherheitslampe 45. 111. 113.
 Sicherheitssprengstoffe 122.
 Silbernitrat 102. 103.
 Silikate 94, 117.
 Silizium 117.
 Soda 119.
 Soolquellen 95.
 Sprengstoffe 121.
 Stickoxyd 101.
 Stickstoff 99.
 Stickstoffdioxyd 102.
 Sumpfgas 111.
- T**eer 133.
 Thermen 95.
 Thermitverfahren 125.
 Ton 125.
 Torf 126. 127. 129.
- Ü**bersättigte Lösungen 118.
- V**erbindungsgewicht 87.
 Verbrennung 89. 96.
 Verdampfungswert 132.
 Veredelung der Steinkohle 133.
 Verwandtschaft, chemische 86.
 Verwesung 90. 125.
 Verwitterung 94.
 Vulkangase 98.
- W**asser 94.
 Wassergas 108. 134.
 Wasserglas 117.
 Wasserstoff 90.
 Wertigkeit 88.
- Z**ement 125.
 Zersetzung, chemische 86.
 Zinkblende 97.
 Zündbänder 103.
 Zündhölzer 103.
 Zündung 93.
 Zyan 133.