

Ans
Natur und Geisteswelt

5

R. Blochmann

Einführung in die
Experimental-Chemie

Luft, Wasser, Licht und Wärme

Fünfte Auflage



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Die Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt“

nunmehr über 800 Bändchen umfassend, bietet wirkliche „Einführungen“ in die Hauptwissensgebiete für den **Unterricht** oder **Selbstunterricht** des **Laien** nach den heutigen methodischen Anforderungen, seit ihrem Entstehen (1898) den Gedanken dienend, auf denen die heute so mächtig entwickelte **Volks- Hochschulbewegung** beruht. Sie will jedem geistig Mündigen die Möglichkeit schaffen, sich ohne besondere Vorkenntnisse an sicherster Quelle, wie sie die Darstellung durch berufene Vertreter der Wissenschaft bietet, über jedes Gebiet der Wissenschaft, Kunst und Technik zu unterrichten. Sie will ihn dabei zugleich unmittelbar im Beruf fördern, den Gesichtskreis erweitern, die Einsicht in die Bedingungen der Berufsarbeit vertiefen. Diesem Bedürfnis können Skizzen im Charakter von „Auszügen“ aus großen Lehrbüchern nie entsprechen, denn solche setzen eine Vertrautheit mit dem Stoffe schon voraus.

Die Sammlung bietet aber auch dem Fachmann eine rasche zuverlässige Übersicht über die sich heute von Tag zu Tag weitenden Gebiete des geistigen Lebens in weitestem Umfang und vermag so vor allem auch dem immer stärker werdenden Bedürfnis des Forschers zu dienen, sich auf den Nachbargebieten auf dem laufenden zu erhalten.

In den Dienst dieser Aufgabe haben sich darum auch in dankenswerter Weise von Anfang an die besten Namen gestellt, gern die Gelegenheit benutzend, sich an weiteste Kreise zu wenden.

So konnte der Sammlung auch der Erfolg nicht fehlen. Mehr als die Hälfte der Bändchen liegen, bei jeder Auflage durchaus neu bearbeitet, bereits in 2. bis 8. Auflage vor, insgesamt hat die Sammlung bis jetzt eine Verbreitung von fast 5 Millionen Exemplaren gefunden.

Alles in allem sind die schmucken, gehaltvollen Bände besonders geeignet, die Freude am Buche zu wecken und daran zu gewöhnen, einen Betrag, den man für Erfüllung körperlicher Bedürfnisse nicht anzusehen pflegt, auch für die Befriedigung geistiger anzuwenden.

Wenn eine Verteuerung der Sammlung infolge der außerordentlichen Steigerung der Herstellungskosten – sind doch die Löhne auf das Acht- bis Zehnfache, die Materialien auf das Zwölf- bis Fünfzehnfache gestiegen – auch unvermeidbar gewesen ist, wie bei anderen „billigen“ Büchern, z. B. den Reclambesten, so ist der Preis doch entfernt nicht in dem gleichen Verhältnis gestiegen, und auch jetzt ist ein Bändchen „Aus Natur und Geisteswelt“ wohlfeil, im Vergleich zu den meisten Gebrauchsgegenständen.

Jedes der meist reich illustrierten Bändchen
ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich

Leipzig, im September 1921.

B. G. Teubner

Bisher sind zur Physik und Chemie erschienen:

Physik: Einführung, Grundlagen und Geschichte.

Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre. Einführung in die Physik. Von Hofrat Professor Dr. S. Auerbach. 4. Aufl. Mit 71 Figuren. (Bd. 40.)

Experimentalphysik, Gleichgewicht und Bewegung. Von Geh. Reg.-Rat Professor Dr. R. Börslein. Mit 90 Abbildungen. (Bd. 371.)

Die Lehre von der Energie. Von Oberlehrer A. Stein. 2. Aufl. Mit 13 Fig. (Bd. 257.)

Einführung in die Relativitätstheorie. Von Dr. W. Bloch. 3., verb. Auflage. Mit 18 Figuren. (Bd. 618.)

Das Wesen der Materie. Von Prof. Dr. G. Mie. 4. Aufl. (Bd. 58.)
1. Moleküle und Atome. Mit 25 Figuren.

Naturwissenschaften, Mathematik und Medizin im klassischen Altertum. Von Prof. Dr. Joh. E. Heiberg. 2. Aufl. Mit 2 Figuren. (Bd. 370.)

Große Physiker. Von Prof. Dr. S. A. Schultze. 2. Aufl. Mit 6 Bildnissen. (Bd. 324.)

Werdegang der modernen Physik. Von Oberlehrer Dr. S. Keller. Mit 19 Figuren. (Bd. 343.)

Mechanik.

Mechanik. Von Prof. Dr. G. Hamel. 3 Bände. (Bd. 684/86.) I. Grundbegriffe der Mechanik. Mit 38 Fig. im Text. *II. Mechanik der festen Körper. *III. Mechanik der flüssigen und luftförmigen Körper.

Aufgaben aus der techn. Mechanik. Von Prof. N. Schmitt. 2 Bde. 2. Aufl. (Bd. 558-559.)
I. Statik und Festigkeitslehre. 156 Aufgaben und Lösungen. Mit zahlreichen Fig. im Text.
II. Dynamik und Hydraulik. 140 Aufgaben und Lösungen. Mit zahlr. Figuren im Text.

Statik. Von Baugewerkschuldirektor Gewerbeschulrat Reg.-Baumeister A. Schau. 2. Aufl. Mit 12 Figuren im Text. (Bd. 828.)

Festigkeitslehre. Von Baugewerkschuldirektor Gewerbeschulr. Reg.-Baumeister A. Schau. 2. Aufl. Mit 119 Figuren im Text. (Bd. 829.)

Optik, angewandte Optik und Strahlungsercheinungen.

Das Licht und die Farben. Einführung in die Optik. Von Professor Dr. L. Graeb. 4. Auflage. Mit 100 Abbildungen. (Bd. 17.)

Sichtbare und unsichtbare Strahlen. Von Geh. Regierungsrat Professor Dr. R. Börslein. 3., neubearb. Aufl. von Prof. Dr. E. Kegenert. Mit 71 Abbildungen. (Bd. 64.)

Die optischen Instrumente. (Lupe, Mikroskop, Fernrohr, photographisches Objektiv und ihnen verwandte Instrumente.) Von Prof. Dr. M. v. Rohr. 3., vermehrte u. verb. Auflage. Mit 89 Abbildungen im Text. (Bd. 88.)

Das Auge und die Brille. Von Prof. Dr. M. v. Rohr. 2. Aufl. Mit 84 Abbildungen und 1 Lichtdrucktafel. (Bd. 372.)

Das Mikroskop, seine wissenschaftlichen Grundlagen und seine Anwendung. Von Dr. A. Ehringhaus. Mit 75 Abbildungen im Text. (Bd. 678.)

Spektroskopie. Von Dr. E. Grebe. 2. Aufl. Mit 69 Figuren im Text und auf 2 Doppeltafeln. (Bd. 284.)

Die Kinematographie, ihre Grundlagen und ihre Anwendungen. Von Dr. S. Lehmann. 2. Auflage von Dr. W. Merté. Mit 68 zum Teil neuen Abbild. (Bd. 358.)

Die Photographie, ihre wissenschaftlichen Grundlagen u. ihre Anwendung. V. Dipl.-Ing. Dr. O. Prellinger. 2., verb. Aufl. Mit 64 Abbildungen. i. Z. (Bd. 414.)

Die künstlerische Photographie. Ihre Entwicklung, ihre Probleme, ihre Bedeutung. Von Studentat Dr. W. Warstat. 2., verb. Aufl. Mit Bilderanhang. (Bd. 410.)

Die Röntgenstrahlen und ihre Anwendung. Von Dr. med. G. Buchs. Mit 85 Abbildungen im Text und auf 4 Tafeln. (Bd. 556.)

Wärmelehre.

Die Lehre von der Wärme. Gemeinverständlich dargestellt von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. K. Börslein. 2., durchgesehene Auflage hsg. von Prof. Dr. A. Wigand. Mit 33 Abbildungen im Text. (Bd. 172.)

Einführung in die technische Wärmelehre (Thermodynamik). Von Geh. Bergrat Prof. K. Vater. 2. Aufl. von Dr. J. Schmidt. Mit 46 Abb. im Text. (Bd. 516.)

Praktische Thermodynamik. Aufgaben und Beispiele zur technischen Wärmelehre. Von Geh. Bergrat Prof. K. Vater. Mit 40 Abb. im Text und 3 Tafeln. (Bd. 596.)

Die Kälte, ihr Wesen, ihre Erzeugung und Verwertung. Von Dr. H. Alt. Mit 45 Abbildungen. (Bd. 311.)

Einführung in die Chemie.

Einführung in die allgemeine Chemie. Von Studentat Dr. B. Savink. 2. Aufl. Mit 24 Figuren. (Bd. 582.)

Einführung in die organische Chemie. (Natürliche und künstliche Pflanzen- und Tierstoffe.) Von Studentat Dr. B. Savink. 2. Aufl. Mit 9 Abb. im Text. (Bd. 187.)

Einführung in die anorganische Chemie. Von Studentat Dr. B. Savink. Mit 31 Abbildungen. (Bd. 598.)

Einführung in die analytische Chemie. Von Dr. J. Küssberg. 2 Bde. I. Theorie und Gang der Analyse. Mit 15 Figuren im Text. II. Die Reaktionen Mit 4 Figuren im Text. (Bd. 524/25.)

Einführung in die Biochemie in elementarer Darstellung. Von Prof. Dr. W. Eöb. 2., durchgeseh. u. verm. Aufl. v. Prof. Dr. H. Friedenthal. M. 12 Fig. i. T. (Bd. 352.)

Elektrochemie und ihre Anwendungen. Von Prof. Dr. K. Arndt. 2. Auflage. Mit 37 Abbildungen im Text. (Bd. 234.)

Das Radium und die Radioaktivität. Von Prof. Dr. M. Centnerszwer. 2. Aufl. Mit 33 Figuren im Text. (Bd. 405.)

Photochemie. Von Prof. Dr. G. Kummell. 2. Aufl. Mit 23 Abbildungen im Text und auf 1 Tafel. (Bd. 227.)

Luft, Wasser, Licht u. Wärme. Neun Vorträge aus dem Gebiete der Experimentalchemie. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. K. Blochmann. 4. Aufl. Mit 115 Abbildungen. (Bd. 5.)

Das Wasser. Von Geh. Regierungsrat Dr. O. Anselmino. Mit 44 Abbild. (Bd. 291.)

***Chemisches Wörterbuch.** Von Privatdozent Dr. H. Kemß. (Leubners kl. Sachwörterbücher.)

Chemische Technologie.

Die künstliche Herstellung von Naturstoffen. Von Prof. Dr. E. Küst. (Bd. 674.)

Der Luftstickstoff und seine Verwertung. Von Prof. Dr. K. Kaiser. 2. Aufl. Mit 13 Abbildungen. (Bd. 313.)

Agrikulturchemie. Von Dr. P. Krißche. 2. verb. Aufl. Mit 21 Abbildungen. (Bd. 314.)

Die Sprengstoffe, ihre Chemie und Technologie. Von Geh. Reg.-Rat Professor Dr. K. Biedermann. 2. Auflage. Mit 12 Figuren. (Bd. 286.)

Farben und Farbstoffe. Ihre Erzeugung u. Verwendung. Von Dr. A. Jart. Mit 31 Abb. (Bd. 483.)

Bierbrauerei. Von Dr. A. Bau. Mit 47 Abb. (Bd. 393.)

Wörterbuch der Warenkunde. Von Dr. M. Pietsch. (Leubners kleine Sachwörterbücher. Bd. 3.) Geb. M. 22.50

Naturlehre im Hause.

Physik im Küche u. Haus. Von Studentat H. Speittamp. 2. Aufl. Mit 54 Abb. (Bd. 478.)

Chemie im Küche und Haus. Von Dr. J. Klein. 4. Aufl. (Bd. 76.)

Desinfektion, Sterilisation, Konservierung. Von Regierungs- und Medizinalrat Dr. O. Solbrig. Mit 20 Abbildungen. (Bd. 401.)

Ernährung und Nahrungsmittel. Von Geh. Rat Prof. Dr. N. Junß. 3. Aufl. Mit 6 Abbildungen und 2 Tafeln. (Bd. 19.)

***Arzneimittel u. Genussmittel.** Von Prof. Dr. D. Schmiedeberg. 2. Aufl. (Bd. 363.)

Die Bakterien im Haushalt der Natur und des Menschen. Von Prof. Dr. E. Gutzeit. 2. Aufl. Mit 13 Abbildungen. (Bd. 242.)

Beleuchtungsweisen. Von Ing. Dr. H. Lux. Mit 54 Abb. im Text. (Bd. 433.)

Die mit * bezeichneten und weitere Bände befinden sich in Vorbereitung.

Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

5. Band

Luft, Wasser, Licht und Wärme

Einführung in die Experimental-Chemie

von

Prof. Dr. Reinhart Blochmann

Fünfte Auflage

Mit 92 Abbildungen im Text

22. — 26. Tausend



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 1922

Schutzformel für die Vereinigten Staaten von Amerika:
Copyright 1921 by Springer Fachmedien Wiesbaden
Ursprünglich erschienen bei B. G. Teubner in Leipzig 1921.

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten

ISBN 978-3-663-15308-5

ISBN 978-3-663-15876-9 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-663-15876-9

Vorwort zur ersten Auflage.

Die vorliegenden Vorträge sind im „Verein für fortbildende Vorträge zu Königsberg i. Pr.“ 1895 und 1897 gehalten worden. Dabei stand mir der große Hörsaal des Chemischen Universitäts-Laboratoriums zur Verfügung, dessen Einrichtungen nach Wunsch zu experimentieren gestatten. Von gemeinsam mit den Zuhörern beobachteten Erscheinungen gingen die Erörterungen aus und erweiterten sich allmählich, immer wieder durch Experimente erläutert und begründet.

Als vor einiger Zeit der geschätzte Teubnersche Verlag mit der Absicht, diese Vorträge der „Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellung aus allen Gebieten des Wissens“ einzuverleiben, an mich herantrat, mußte ich mir die Frage vorlegen, ob es möglich sein würde, was ich meinen Zuhörern unmittelbar vor Augen führen konnte, durch Bild und Wort zu ersetzen. Durch das dankenswerte Entgegenkommen der Verlagshandlung, welche Abbildungen in uneingeschränktem Maße gewährte, wurde dieses Bedenken beseitigt. Die trefflich gelungenen Abbildungen, denen man fast auf jeder Seite begegnet, sind wohl geeignet, soweit dies bildliche Darstellungen überhaupt ermöglichen, die Erscheinungen des Experimentes zum Ausdruck zu bringen.

Königsberg i. Pr., im März 1899.

Vorwort zur vierten Auflage.

Anordnung des Stoffes, sowie Art und Weise der Darstellung blieben unverändert. Dem bereits in einer früheren Auflage eingefügten Vortrag über „flüssige Luft“ folgte ein neuer kurzer Abschnitt: „Aus dem Reiche der Vorstellungen“, welcher die Molekular-, Atom- und Ionentheorie andeutungsweise enthält. Die neuesten Errungen-schaften der Wissenschaft und Technik fanden Berücksichtigung.

Königsberg i. Pr., im November 1913.

R. Blochmann.

Die fünfte Auflage wurde von dem leider vor Beginn des Druckes verstorbenen Verfasser wiederum durchgearbeitet und in verschiedener Hinsicht verbessert.

Der Verlag.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite		Seite
I. Einleitung.		Die Luft enthält Wasserdampf und Kohlensäure	31
Aufgabe der Chemie. Unterschied zwischen physikalischen und chemischen Vorgängen	7	Weitere Bestandteile der Luft: Ozon. Salpetersäure und Ammoniak. Argon. Krypton, Neon, Xenon. Helium und Wasserstoff (Sonnenstäubchen und Bakterien)	33
Eigenschaften der festen, flüssigen und gasförmigen Körper	9	Grenze der Atmosphäre. Gleichbleibende Zusammensetzung der Luft auf der Erde. Veränderte Beschaffenheit in höheren Regionen	35
Besondere Eigenschaften der Gase und Unterscheidung derselben	12		
Physikalische Vorgänge beim Zusammentreffen von Gasen, flüssigen und festen Körpern	13		
Chemische Einwirkungen von Gasen, flüssigen und festen Körpern aufeinander	15		
Umwandlung eines Metalls in verschiedene Verbindungen und Wiederabscheidung desselben. Chemie und Alchemie	19		
Alle irdischen Körper bestehen aus Grundstoffen oder Elementen. Vorkommen derselben auf der Sonne	20		
II. Die Luft.			
Falsche Ziele der Chemie. Verfolgung chemischer Vorgänge mit der Wage seit Ende des 18. Jahrhunderts	22	III. Das Wasser.	
Einwirkung der Luft auf Kupfer, Eisen und Quecksilber	23	Änderung des Aggregatzustandes des Wassers. Mechanische Wirkungen beim Gefrieren	36
Zerlegung des Quecksilberoxyds in Quecksilber und Sauerstoff	25	Destilliertes Wasser. Meer-, Brunnen-, Regenwasser. — Kreislauf des Wassers in der Natur	41
Die Luft enthält Sauerstoff und Stickstoff	27	Zerlegung des Wassers durch den elektrischen Strom (Knallgas)	44
		Das Wasser besteht aus Sauerstoff und Wasserstoff	46
		Zersetzung des Wassers durch Kalium und Natrium	49
		Darstellung, Eigenschaften und Vorkommen des Wasserstoffs. Bedeutung des Wassers für die Vorgänge in der Natur	50

Seite

Seite

IV. Kohlenäure.

Darstellung und Eigenschaften 52
 Flüssige und feste Kohlenäure 55
 Abcheidung von Kohlenstoff aus Kohlenäure durch Kalium . 59
 Vereinigung von Kohlenstoff und Sauerstoff zu Kohlenäure 60
 Anderweitige kohlenstoffhaltige Gase. Eigenschaften des Kohlenstoffs. Bei der Verbrennung eines Diamanten entsteht nur Kohlenäure, der Diamant ist Kohlenstoff . . . 61
 Was ist Verbrennung? 62

V. Flüssige Luft.

Alle Gase lassen sich verflüssigen. Kritische Temperaturen der Gase. Verdunstungskälte. Kältemaschinen 63
 Darstellung flüssiger Luft nach Dewar 65
 Eines Luftverflüssigungsmaschine 66
 Eigenschaften, Aufbewahrung u. Transport flüssiger Luft . . . 68
 Flüssige Luft ist sauerstoffreicher als gewöhnliche Luft. 70
 Trennung verflüssigter Luft in Sauerstoff und Stickstoff . . . 71
 Die Edelgase — Xenon, Krypton, Neon — 72

VI. Die wirtschaftliche Verwertung des Stickstoffs.

Kalkstickstoff 73
 Luftsalpeter 74
 Synthetisches Ammoniak 75

VII. Der Verbrennungsprozess.

Jede Verbrennung ist an drei Bedingungen geknüpft. Entzündungstemperatur 77
 Die Kerzenflamme (Petroleum-

u. Leuchtgasflamme). Ursache des Leuchtens der Flamme. 79
 Entleuchten der Flamme. Das Sauerstoffgebläse. Verbrennen von Eisen. Autogene Schweißung. Drummondsches Kalklicht 83
 Der Bunsen-Brenner. Verwendung des Leuchtgases zum Kochen und Heizen 85
 Plötzliche Verbrennung oder Explosion 88
 Die Davnische Sicherheitslampe 91
 Ursachen des Verlöschens des Feuers 92

VIII. Die unvollständige Verbrennung.

Das Rußen der Lampen u. das Rauchen der Schornsteine. . 93
 Einwirkung der Hitze auf Steinkohlen bei Abschluß von Luft (Leuchtgasbereitung) 94
 Kohlendunst und Kohlenoxyd . 96
 Bei der Verbrennung von Kohlenoxyd entsteht Kohlenäure. Zusammensetzung des Kohlenoxyds und der Kohlenäure. Chemische Zeichen u. Formeln 97

IX. Aus dem Reiche der Vorstellungen.

Ozon eine allotrope Modifikation des Sauerstoffs 100
 Molekeln und Atome 102
 Ein Blick in die Ionenlehre . 103

X. Arbeit. — Wärme. — Licht.

Umwandlung von Arbeit in Wärme und von Wärme in Arbeit. Mechanisches Wärmeäquivalent und die Wärmeinheit 105
 Das Thermometer 108

	Seite		Seite
Wärme- und Lichtstrahlen.		Übergang einer langsamen	
Umwandlung von Wärme in		Verbrennung in eine Ver-	
Licht. Auerisches Glühlicht.		brennung mit Feuererscheinung.	
Strahlen elektrischer Kraft .	109	Irrlichter	117
Weißes und farbiges Licht.		Zusammensetzung des mensch-	
Zerlegung des weißen Lichtes		lichen Körpers und der	
durch ein Prisma. (Spek-		Nahrungsmittel. Kohlen-	
tralanalyse.) Die Fraun-		säure ist ein Produkt des	
hoferschen Linien vermitteln		Stoffwechsels. Beschaffenheit	
den Nachweis irdischer		der ausgeatmeten Luft . . .	118
Grundstoffe auf der Sonne	112	Kreislauf der Kohlensäure in	
		der Natur	121
XI. Die langsame Ver-		Die Grundstoffe oder Elemente,	
brennung.		ihre Zeichen und Atomge-	
Das Rosten des Eisens ist eine		wichte	124
langsame Verbrennung . . .	116		

I. Einleitung.

Aufgabe der Chemie.

Unterschied zwischen physikalischen und chemischen Vorgängen.

Aufgabe der Chemie ist zu lehren: wie die Körper zusammengesetzt sind, daß alle Körper, die wir kennen, aus einer verhältnismäßig geringen Anzahl von Grundstoffen (Elementen) bestehen, und wie aus diesen elementaren Bestandteilen die Körperwelt sich aufbaut, nicht regellos, sondern nach bestimmten, unwandelbaren Gesetzen.

Ob und wie verschiedene Körper aufeinander einwirken, lehrt der Versuch. Durch Aneinanderreihen zielbewußter Versuche, durch genaue Beobachtung der dabei auftretenden Erscheinungen ist die Grundlage, auf der unser Wissen ruht, erhalten worden. Aus vielen Beobachtungen gewonnene Erfahrungen wurden zusammengefaßt und führten zur Erkenntnis von Gesetzen, welche die tote und lebendige Natur beherrschen. Unsrer Kenntnis stützt sich also auf den Versuch, folgerichtig stellen wir somit den in das Gebiet der Chemie Einzuführenden sogleich vor das Experiment.

Die Erscheinungen, welche wir bei unsern Versuchen beobachten werden, sind sehr mannigfacher Art. Es treten dabei auch Erscheinungen auf, die wir nicht als chemische, sondern als physikalische zu bezeichnen pflegen. —

Metalle verhalten sich beim Erhitzen verschieden. Ein Platindraht der Hitze der Flamme ausgesetzt erglüht, aus der Flamme entfernt, hört er zu glühen auf. Erhitzen wir ihn von neuem, so erglüht er wieder. Wir können also den Versuch mit ein und demselben Stück Platin so oft wiederholen als wir wollen. Das Erglühen des Platins ist ein physikalischer Vorgang; es findet hierbei keine dauernde Änderung des Platins statt.

Zinn, dünn ausgewalzt, wie wir es Stanniol nennen, läßt sich leicht zusammenrollen. Bringt man einen Io öer zusammengerollten Stanniolstreifen in eine sehr heiße Flamme¹⁾, so ist die Erscheinung eine ganz

1) Vgl. S. 83.

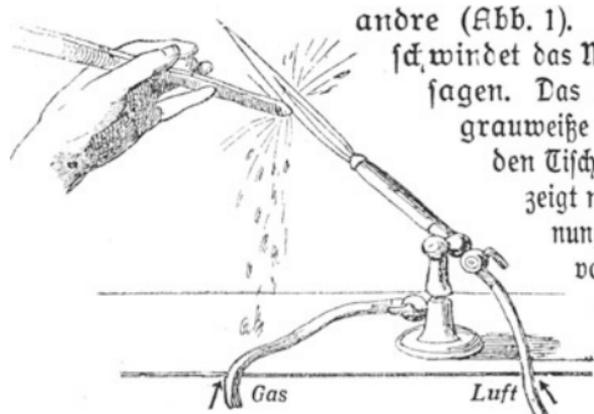


Abb. 1. Der Stanniofistreifen verbrennt in der Flamme.
(Chemischer Vorgang.)

andre (Abb. 1). Unter Funkensprühen verschwindet das Metall, es verbrennt, wie wir sagen. Das Zinn wird hierbei in eine grauweiße Asche verwandelt, die auf den Tisch herabfällt. Diese Zinnasche zeigt nicht wieder dieselbe Erscheinung, wenn wir sie sammeln und von neuem in die Flamme bringen, sie besitzt keinen Metallglanz, sie hat ganz andre Eigenschaften als das Zinn. Bei diesem Versuche fand ein chemischer Vorgang statt. Wir können den Ver-

such — und das ist das Kennzeichnende — mit einer gegebenen Menge Zinn nur einmal anstellen.

Ziehen wir den Schluß aus den beiden Versuchen, so kommen wir zu dem Ergebnis: physische Veränderungen eines Körpers können wir mit ein und derselben Substanzmenge beliebig oft, chemische Veränderungen nur einmal herbeiführen. Hiermit ist ein Prüfstein gewonnen, um zu entscheiden, ob ein Vorgang, den wir beobachten, ein chemischer oder ein physischer ist.

Würden wir einen Bleidraht in die Flamme halten, so würde er schmelzen. Den erstarrten Bleitropfen können wir durch Hämmern oder auf andre Weise wieder in Drahtform bringen und dann den Versuch wiederholen. Wenn Blei schmilzt, findet somit ein physischer Vorgang statt. Anders ist es, wenn das Eisen rostet, wenn ein Apfel fault, wenn Holz verbrennt; derartige Veränderungen erleiden die Körper nur einmal, es sind chemische. Wenn das Wasser zu Eis erstarrt und das Eis wieder aufthaut, wenn das Wasser verdampft, wenn sich der Wasserdampf an dem Deckel der Teekanne wieder zu Tropfen verdichtet, so sind dies physische Vorgänge, die wir beobachten. Die chemische Natur des Wassers wird hierbei nicht verändert, und dennoch erscheinen Wasser, Eis und Wasserdampf unseren Sinnen ganz verschieden,

Eigenschaften der festen, flüssigen und gasförmigen Körper.

Eis, Wasser und Wasserdampf repräsentieren die drei Formen der Materie, den Zustand des Festen, des Flüssigen und des Gasförmigen.

Das Eis läßt sich zerschlagen, sägen, durchbohren, wie andre feste Körper. Zerteilt man einen festen Körper, so behalten die einzelnen Teile die ursprünglichen Eigenschaften des Ganzen. Auch das kleinere und kleinste Stück Zucker schmeckt süß. Wenn wir einen festen Körper zerschlagen, so ist eine gewisse Kraft nötig, um die kleineren Teilchen, die wir erhalten, aus ihrer ursprünglichen, starren Lage zu bringen, in welcher sie sich vordem befanden, eine bestimmte Form des ganzen Stücks bedingend. Diese Form kann eine regelmäßige sein, wie wir sie am Bergkristall bewundern, oder eine zufällige, wie sie beim Spalten von Holz entsteht. Wie dem aber auch sei, jeder feste Körper hat eine ihm eigentümliche Form, und wohin wir ihn auch bringen, überall füllt er einen gleich großen Raum seiner Form entsprechend aus.

Das Wasser ist ein Beispiel für den flüssigen Zustand der Materie. Die flüssigen Körper haben keine selbständige Form, sie nehmen die Gestalt des Gefäßes an, in welchem sie sich befinden. Tropfenweise können wir das Wasser aus einem Glase in das andre gießen, die Tropfen vereinigen sich sogleich wieder zu einem Ganzen. Stören wir ihre Gleichgewichtslage durch Umrühren oder anderswie, immer kehren die kleinsten Teilchen in ihre ursprüngliche Lage zurück, der Schwerkraft folgend. Jeder Tropfen ist bemüht, so weit niederzusenken, als es die Umstände gestatten. Das Wasser rinnt vom Berg ins Tal. Flüssige Körper haben zwar keine selbständige Form, wohl aber eine selbständige Raumerfüllung.

In dem Kessel A (Abb. 2) kocht Wasser. Wir sehen den Wasserdampf durch die Röhre, welche am oberen Teile des Kessels angebracht ist, entweichen. Der Dampf scheint den Gesetzen der Schwere nicht zu folgen, er sinkt nicht zu Boden, sondern steigt in die Höhe. Die Dampf-



Abb. 2. Der dem Kessel entströmende Dampf vermischt sich mit der Luft.



Abb. 3. Das Wasser im Trichter A fließt nicht in die Flasche B.

säule breitet sich beim Aufsteigen immer mehr aus. Die einzelnen Teilchen des Dampfes zeigen das Bestreben, sich voneinander zu entfernen, sie mischen sich der Luft bei und entschwinden unserm Auge. Der in die Luft gelangte Wasserdampf verhält sich wie die Luft, und die Luft ist derjenige gasförmige Körper, an dem wir die Eigenschaften der Gase am bequemsten kennen lernen können.

Ist denn die Luft überhaupt ein Körper? Das Wesentlichste aller Körper ist, daß sie Raum einnehmen und Gewicht besitzen. Genügt die Luft diesen Bedingungen, so ist sie ein Körper im physikalischen Sinne. Nicht das Auge entscheidet; es gibt auch unsichtbare Körper, und nicht alles, was wir erblicken, z. B. der Schatten, der uns im Sonnenschein verfolgt, entspricht den Bedingungen des Körperlichen.

Wenn wir ein Glas ausgetrunken haben, pflegen wir zu sagen, das Glas sei leer, und so liegt es nahe, auf die Frage, Was ist in der Flasche, die ich mit der Öffnung nach unten gerichtet halte — da wir nichts in derselben erblicken und nichts aus derselben ausfließen sehen — zu antworten: „Die Flasche ist leer, es ist nichts darin!“ Das ist aber nicht richtig, wie wir sogleich erkennen werden. Ich verschließe die Flasche B (Abb. 3) mit einem doppelt durchbohrten Stopfen, in dessen einer Bohrung ein Trichter steckt, während die andre Bohrung ein rechtwinklig gebogenes Glasrohr, das durch einen Glashahn verschlossen ist, enthält. Nun will ich versuchen, Wasser durch den Trichter

in die Flasche zu gießen — aber, es gelingt nicht. Das Wasser fließt nicht in die Flasche, weil diese mit einem andern Körper angefüllt, voll Luft ist, die nicht entweichen kann, weil der Glashahn c geschlossen und die Spitze des Trichters A so eng ist, daß sich die Luft nicht hindurchzwängen kann. Öffnen wir den Hahn, so entweicht

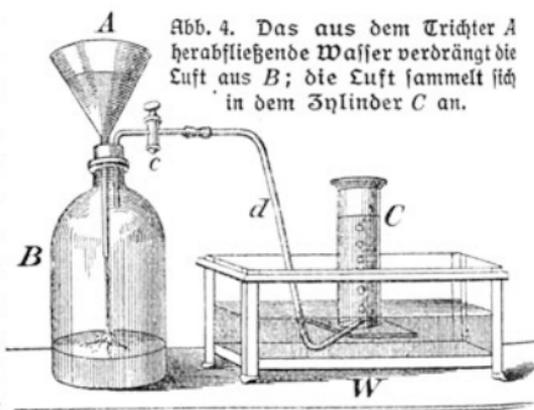


Abb. 4. Das aus dem Trichter A herabfließende Wasser verdrängt die Luft aus B; die Luft sammelt sich in dem Zylinder C an.

die Luft, verdrängt durch das in die Flasche rinnende Wasser. Daß die Luft durch das Glasrohr entweicht, können wir nicht sehen, weil die Luft durchsichtig ist. Schreiben wir aber der entweichenden Luft einen bestimmten Weg vor, zwingen wir sie z. B. durch das Glasrohr *d* (Abb. 4) zu gehen und leiten wir sie unter den mit Wasser gefüllten Glaszylinder *C* in der Wanne *W*, so sammeln sich, wie wir jetzt sehen, die Luftblasen in dem Glaszylinder an. Wollen wir Luft oder ein andres Gas auffammeln oder aufbewahren, so kann dies nur in Gefäßen, die nach allen Seiten hin geschlossen sind, geschehen. Bei unserm Versuche (Abb. 4) wird die Luft nach oben hin durch den Glaszylinder, nach unten durch den allmählich sinkenden Wasserspiegel abgeschlossen.

In ganz ähnlicher Weise findet sich eine bestimmte Luftmenge durch Quecksilber abgesperrt, in der Glasröhre *I* (Abb. 5), die in einem mit Quecksilber gefüllten Zylinder steht. Die Luft reicht genau bis zu der Marke *M*. Ziehen wir die Röhre in die Höhe, so daß sie nicht mehr auf dem Boden des Zylinders steht, jedoch mit ihrer untern Öffnung immer

unter dem Quecksilber bleibt, so vergrößert sich allmählich der Raum, den die Luft einnimmt — jetzt hat er sich nahezu verdoppelt, ohne daß etwas hinzugekommen oder verloren gegangen ist *II* (Abb. 5). Senken wir die Röhre wieder bis zum Boden des Zylinders herab, so nimmt die Luft auch wieder den ursprünglichen Raum ein. Umklammern wir den oberen Teil der Röhre fest mit der Hand, so daß sich die Körperwärme auf die Luft überträgt, so sehen wir, daß die erwärmte Luft das Quecksilber unter die Marke *M* herabdückt *III* (Abb. 5). Wir erkennen aus diesen Versuchen, daß eine bestimmte Menge Luft (Wasserdampf und alle andern gasförmigen Körper verhalten



Abb. 5. Ein und dieselbe Gasmenge nimmt unter verschiedenen (Druck- und Temperatur-) Verhältnissen einen wechselnden Raum ein.

sich ebenso) unter verschiedenen (Druck- und Temperatur-) Verhältnissen einen wechselnden Raum einnimmt.

Auch die flüssigen und festen Körper dehnen sich beim Erwärmen aus und lassen sich durch starken Druck zusammenpressen. Die Veränderungen sind jedoch nur sehr gering, um sie wahrnehmbar zu machen, bedarf es besonderer Vorrichtungen. Zu diesen gehören: das Thermometer und die hydraulische Presse.

Besondere Eigenschaften der Gase und Unterscheidung derselben.

Eine sehr beachtenswerte Eigentümlichkeit der Gase haben wir beobachtet, als wir den Wasserdampf, welcher aus dem Kessel A (Abb. 2)

entwich, in der Luft sich auflösen sahen. Wir wollen jetzt in begrenztem Raume zwei Gase miteinander zusammenbringen. Der Glaszylinder A (Abb. 6) enthält ein farbloses Gas,

in dem andern B sehen wir ein braungefärbtes Gas (Bromdampf). Die

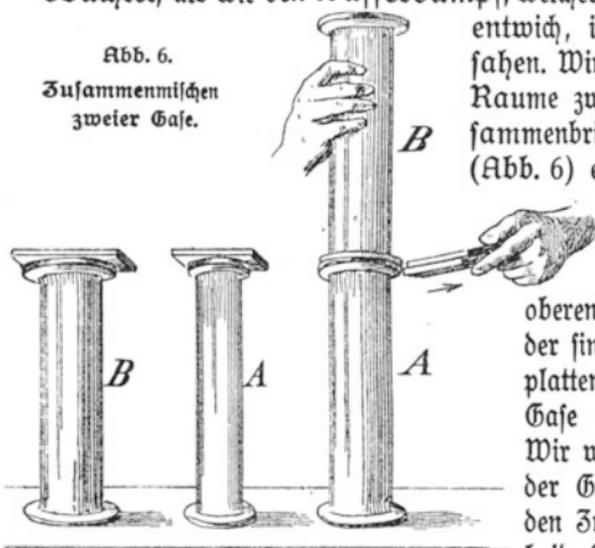
oberen Öffnungen beider Zylinder sind durch eingefettete Glasplatten verschlossen, so daß die

Gase nicht entweichen können. Wir wollen den Zylinder B mit

der Glasplatte nach unten auf den Zylinder A setzen und nun

beide Glasplatten mit einem Griff

Abb. 6.
Zusammenmischen
zweier Gase.



entfernen. Das braune Gas fällt herab, scheinbar als wäre der untere Zylinder leer, in gleichem Maße steigt das farblose Gas in den oberen, und sehr bald ist die Mischung eine vollständige. Also: bringen wir zwei verschiedene Gase in einen Raum, so durchdringen sie sich, jedes füllt den Raum so aus, als ob das andre nicht da wäre.

Wir kennen nur wenige Gase, die gefärbt sind. Die meisten Gase sind farblos, wie die Luft, die uns umgibt und daher dem Auge nicht sichtbar. Dieser Umstand macht die Unterscheidung verschiedener Gase schwieriger, als die Unterscheidung flüssiger und fester Körper.

In den drei vor mir stehenden Glaszylindern A, B, C befinden sich drei verschiedene farblose Gase (Sauerstoff, Stickstoff und Kohlen-

säure), welchen wir bei unsern späteren Untersuchungen vielfach begegnen werden. Daß diese Gase voneinander verschieden sind, erkennen wir durch folgende Versuche. Bekanntlich glimmt ein Holzspan an der Luft nur langsam fort und erlischt bald ganz. Ein glimmender Span in den Zylinder *A* eingeführt, flammt auf und verbreitet einen Glanz, der uns fast blendet. Das Gas in dem Zylinder *B* zeigt diese Erscheinung nicht, der glimmende Span hört zu glühen auf, brennend eingeführt verlöscht er augenblicklich. In gleicher Weise verhält sich das Gas in dem Zylinder *C*.

Das Gas in *A* ist also von den beiden andern in *B* und *C* verschieden, und diese wollen wir nun weiter untersuchen. Hierzu eignet sich Kalkwasser (S. 52). Auf Zusatz von Kalkwasser entsteht in dem Zylinder *C* eine Trübung, die beim Umschütteln mehr und mehr zunimmt und die Flüssigkeit milchig weiß erscheinen läßt, während in dem andern Zylinder *B* die Flüssigkeit klar und farblos bleibt. Der Versuch ergibt mithin, daß auch *B* und *C* verschiedene Gase enthielten. —

Wie das Wasser, welches in der Kälte fest, in der Wärme gasförmig wird, verhalten sich viele andre Körper. Das Eisen schmilzt in der Hitze des Hochofens. Flüssiges Eisen verhält sich wie Wasser, es besitzt keine selbständige Gestalt, es nimmt die Gestalt der Formen an, in die es gegossen wird. Eine chemische Veränderung des Eisens geht hierbei nicht vor sich. Wie der Wasserdampf werden Luft und andere Gase, wenn sie in geeigneter Weise hinreichend abgekühlt werden, flüssig und schließlich fest (S. 57), die chemische Natur ändert sich hierbei nicht.

Physikalische Vorgänge beim Zusammentreffen von Gasen, flüssigen und festen Körpern.

Wir haben soeben durch den Versuch kennen gelernt, daß zwei Gase, miteinander in Berührung gebracht, sich sehr bald durchdringen. Dasselbe findet statt, wenn drei, vier oder mehr Gase zusammenkommen. Unser Leuchtgas ist z. B. ein solches Gemisch von sechs (und darüber) verschiedenen farblosen Gasen. Allen Gasen, die wir kennen, ist die Eigenschaft des gegenseitigen Durchdringens gemein, jeder Teil der Gasmischung enthält einen gleichen Bruchteil der einzelnen Gase.

Wenn zwei Flüssigkeiten miteinander gemischt werden, findet bisweilen etwas Ähnliches statt. Wir verdünnen den Essig, wenn er

uns zu sauer ist und erhalten eine Mischung, von welcher jeder Tropfen einen bestimmten Bruchteil Essig und Wasser enthält. Anders verhalten sich Wasser und Öl; sehr bald trennen sich die Ölteilchen vom Wasser, sie vereinigen sich zu Tropfen und das Öl schwimmt oben auf. Flüssigkeiten verhalten sich also gegeneinander verschieden, sie mischen sich entweder miteinander, oder sie mischen sich nicht.

Feste Körper und Flüssigkeiten verhalten sich ähnlich. Wenn wir auf Kochsalz Wasser gießen, so löst das Salz sich auf, Schwefel dagegen löst sich in Wasser nicht. In anderen Lösungsmitteln, in Schwefelkohlenstoff z. B., ist Kochsalz unlöslich, während Schwefel sich leicht löst. Die Löslichkeit ist also von der Natur des Lösungsmittels abhängig.

Die Vorgänge, welche bei der Lösung eines festen Körpers stattfinden, lassen sich besser beobachten, wenn der lösliche Körper gefärbt ist. Die großen blauen Kristalle (Kupfervitriol) auf dem Trichter, den wir soeben in den mit Wasser gefüllten Glaszylinder B (Abb. 7) einhängten, sind in

Wasser löslich. Das Wasser dringt durch den Trichterstiel empor und löst die Kristalle in kurzer Zeit vollständig auf, die ganze Wassersäule in dem Zylinder färbt sich blau. In den danebenstehenden gleich großen Glaszylinder A wurde die gleiche Gewichtsmenge der blauen Kristalle geschüttet und hierauf vor etwa zehn Stunden Wasser gegossen. Auf dem Boden des Zylinders befinden sich noch immer ungelöste Kristalle, darüber die tiefblau gefärbte Lösung und ganz oben klares, farbloses Wasser. Das Wasser, welches mit den auf dem Boden des Zylinders befindlichen Kristallen in Berührung ist, vermag offenbar nichts mehr von denselben zu lösen, es ist gesättigt, wie man sagt. Die Lösung ist schwerer als das Wasser, und da der Zylinder nicht bewegt wurde, sondern ruhig auf dem Tische stand, fand noch keine Mischung der Lösung und des darüber befindlichen Wassers statt.

Die Löslichkeit fester Körper ist nicht unbegrenzt. In einer gegebenen Menge einer Flüssigkeit löst sich nur eine bestimmte Menge

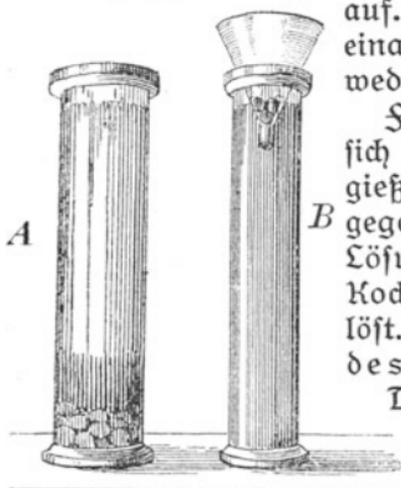
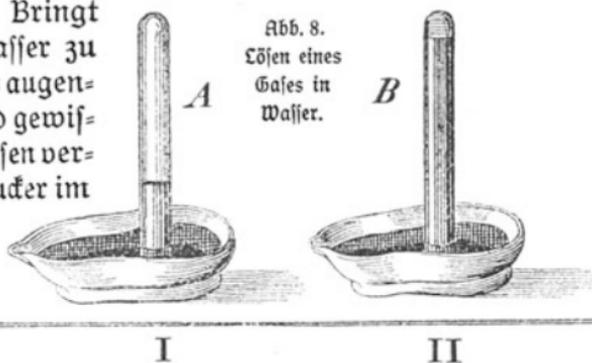


Abb. 7. Eine gegebene Menge Wasser vermag nur eine bestimmte Menge eines festen Körpers zu lösen.

des festen Körpers. Erwärmen wir die Lösung, so vermag sie neue Mengen desselben Körpers aufzunehmen, aber auch wieder nur bis zu einer bestimmten Grenze. Lassen wir die Lösung erkalten, dann scheidet sich das Mehrgelöste oft in Form schöner Kristalle wieder aus. Wir können die Kristalle von neuem lösen, der Vorgang des Lösens und des Auskristallisierens ist also ein physikalischer.

Die Gase zeigen gegen Flüssigkeiten ein ähnliches Verhalten wie die festen Körper. In der Röhre A I (Abb. 8) befindet sich ein Gas (Ammoniak) über Quecksilber aufgesammelt. Das Quecksilber wirkt nicht lösend auf das Gas ein. Bringt man aber einige Tropfen Wasser zu dem Gase¹⁾, so löst sich das Gas augenblicklich im Wasser auf, es wird gewissermaßen verschluckt, infolgedessen verschwindet es dem Auge (wie Zucker im Tee), das Quecksilber steigt in die Höhe und nimmt den Raum ein, welchen das Gas vordem innehatte II (Abb. 8).



Chemische Einwirkungen von Gasen, flüssigen und festen Körpern aufeinander.

Alle Vorgänge, welche wir uns bisher vergegenwärtigt haben, waren physikalischer Natur. Wir werden ihnen bei den mannigfaltigen Experimenten, die wir noch anzustellen haben, unausgesetzt begegnen und können sie nun richtig deuten. Ganz anders sind die Erscheinungen, wenn zwei Körper, die wir zusammen bringen, chemisch aufeinander einwirken. Diese Einwirkung kann im festen, flüssigen und gasförmigen Zustande stattfinden, wie die folgenden Versuche zeigen werden.

Die farblosen Gase (Salzsäure und Ammoniak), welche in den beiden vor uns stehenden gleichgroßen Glaszylindern A und B sich befinden, wirken chemisch aufeinander ein, wenn sie in Berührung kommen. Glasplatten verschließen die oberen Öffnungen. Stellen wir, wie bei einem früheren Versuche (S. 12), beide Zylinder so aufeinander, daß die Glas-

1) Dies läßt sich leicht mit einer kleinen Spritze bewerkstelligen, deren gebogene Spitze unter die Öffnung der Röhre gebracht wird.

platten sich decken und ziehen wir nun dieselben mit einem Griff rasch zur Seite, so beobachten wir eine unerwartete Erscheinung. Dichte Nebelwolken erfüllen plötzlich den ganzen durch die Zylinder begrenzten Raum. Das sind kleine Teilchen eines festen weißen Körpers, die zunächst schwebend erhalten werden, sehr bald aber sich an den Glaswandungen ansetzen und dieselben undurchsichtig machen. Die Zylinder haften fest aufeinander. Alle Kraft müssen wir aufbieten, um sie voneinander zu trennen, und in demselben Moment, in dem es gelingt, hören wir ein zischendes Geräusch, wie wenn Luft plötzlich in einen leeren Raum dringt. An Stelle der verschwundenen Gase bedeckt eine dünne Schicht des neuen Körpers (salzsaures Ammoniak oder Salmiak) den Boden und die Innenwandungen der Zylinder.

Die beiden Gase, welche zu dem Versuche dienen, haben die Eigenschaft sich in Wasser zu lösen. Die Lösungen sind klar, farblos und durchsichtig, wie Wasser, das lehrt ein Blick auf den Inhalt¹⁾ der Gläser A und B (Abb. 9). Es ist meine Absicht, beide Lösungen zusammen zu gießen. Eine sichtbare Veränderung tritt hierbei nicht ein und dennoch findet ein chemischer Vorgang statt und zwar genau derselben Art, wie bei der Vereinigung der Gase für sich. Der weiße, feste Körper erscheint uns nicht in greifbarer Gestalt, weil er in Wasser löslich ist, aber er bleibt sichtbar zurück, wenn wir die Mischung erwärmen, bis das Wasser verdampft ist.

Auch in anderer Weise können wir uns von dem Vollzug des chemischen Vorganges überzeugen. Wir können den Geschmack und den Geruch

der Lösungen verfolgen. In der Regel benutzt man blau und rot gefärbte Papierstreifen sogenanntes Reagenzpapier (Lackmuspapier), das wir jetzt in die Lösungen A und B tauchen wollen. Wir sehen, daß in A der rote Papierstreifen rot bleibt, der blaue hingegen sich rot färbt (die Lösung reagiert sauer) und umgekehrt in B den roten Streifen sich blau färben, den blauen unverändert bleiben (die Lösung reagiert alkalisch). Mischen wir jetzt die Lösungen zusammen und prüfen (A + B) mit unserm Reagenzpapier, so findet weder

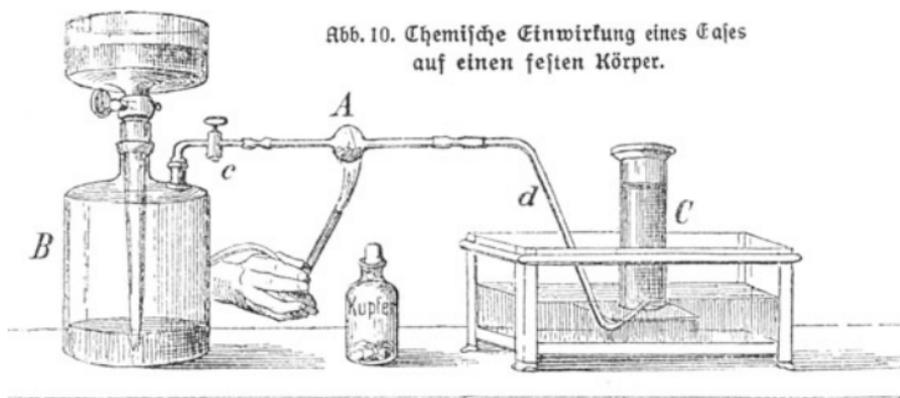


Abb. 9.

Nachweis einer chemischen Reaktion mit Reagenzpapier.

1) Wässrige Lösungen von Salzsäure und Ammoniak, genau in dem Mengenverhältnis, in welchem sie sich chemisch verbinden.

Abb. 10. Chemische Einwirkung eines Gases auf einen festen Körper.



eine Rotfärbung des blauen noch eine Blaufärbung des roten Papierstreifens statt (die Flüssigkeit reagiert neutral). Der Nachweis, daß ein Körper mit andern Eigenschaften entstand, ist also erbracht.

Wäßrige Lösungen vieler Körper geben beim Zusammenmischen unlösliche Verbindungen, die sich, bisweilen schön gefärbt, plötzlich ausscheiden. In solchen Fällen scheidet sich der unlösliche Körper fein verteilt aus: weiß, gelb, schwarz, rot usw.

Solche Reaktionen lassen sich anstellen durch Zusammengießen wäßriger Lösungen von kohlensaurem Natron und Chlorkalzium (weiß), von essigsaurem Bleioxyd und Schwefelammonium (schwarz), von Quecksilberchlorid und Natronlauge (gelb) usw.

Die chemische Vereinigung eines festen Körpers und eines Gases soll uns der folgende Versuch vor Augen führen. Der rote Körper, welcher sich in der Glasbüchse (Abb. 10) befindet, ist fein zerteiltes Kupfer. Wir wollen etwas davon in die kugelförmige Erweiterung der Glasröhre A bringen und das Gas aus dem Behälter B (Sauerstoff) einwirken lassen. Öffnen wir den Glashahn c, so strömt das Gas in die Kugelhöhle A, in der sich das Kupfer befindet. Es findet keine Einwirkung statt, das Gas entweicht durch das Glasrohr d und sammelt sich in dem mit Wasser gefüllten Glaszylinder C an. Die chemische Vereinigung des Gases mit dem Kupfer vollzieht sich erst, wenn wir die Kugelhöhle mit einer Flamme erhitzen. Da erglüht plötzlich das Kupfer, in dem Glaszylinder steigen keine Gasblasen mehr auf, jetzt vereinigt sich das Kupfer mit dem Gase. Nach dem Erkalten werden wir deutlich sehen, daß der Inhalt der Kugelhöhle schwarz geworden ist. Bringen wir ihn in ein Glas A (Abb. 11) und fügen verdünnte Schwefelsäure hinzu, so löst er sich mit blauer

Farbe auf. Das Kupfer im Glase *B* löst sich in der Säure nicht auf. Es ist also bei der Einwirkung des Gases auf das Kupfer ein neuer Körper (Kupferoxyd) mit andern Eigenschaften entstanden.

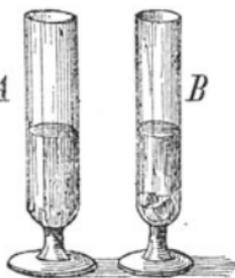


Abb. 11. Der schwarze aus dem Kupfer entstandene Körper löst sich in verdünnter Schwefelsäure, Kupfer nicht.

In überraschender Weise läßt sich die chemische Einwirkung eines festen Körpers auf einen flüssigen Körper zeigen, wenn man etwas von dem merkwürdigen Metall, das der Chemiker Kalium nennt, mit Wasser zusammenbringt. Einige Stücke Kalium, das aus den Staßfurter Abraumsalzen hergestellt wird, auch im Salpeter und in der Asche vieler Pflanzen enthalten ist, befinden sich in der Flasche (Abb. 12) unter Petroleum aufbewahrt. Das Kalium ist leichter als das Wasser, weich wie Wachs, so daß es sich mit dem Messer schneiden läßt. Wir wollen mit der nötigen Vorsicht ein erbsengroßes Stück in ein Glas mit Wasser werfen (Abb. 12). Das Metall bleibt auf der Oberfläche des Wassers. In Berührung mit dem Wasser erhitzt es sich und schmilzt zu einer Kugel, die von einem violett gefärbten Flämmchen umhüllt ist. Die scheinbar brennende Kugel schwimmt unruhig auf dem Wasser hin und her, wird dabei immer kleiner und verschwindet sehr bald mit zischendem Geräusch. Reines Wasser verändert Lackmuspapier nicht, nach der Einwirkung



Abb. 12. Chemische Einwirkung eines festen Körpers auf einen flüssigen.

des Kaliums färbt das Wasser rotes Lackmuspapier blau. Verdampft man das Wasser, so bleibt ein fester, weißer Körper zurück. Dieser Rückstand hat ganz andre Eigenschaften, als das Metall, von welchem wir ausgingen. — Die Erklärung dieser merkwürdigen Erscheinungen wollen wir uns für später (S. 49) vorbehalten.

Feste Körper wirken in der Regel nicht ohne weiteres aufeinander ein. Bei jeder chemischen Reaktion treten immer die denkbar kleinsten Teilchen der Körper miteinander in Wechselwirkung. In den festen Körpern befinden sich diese kleinsten Teilchen in einer starren, unbeweglichen Lage. Ihre leichte Beweglichkeit in den gasförmigen und flüssigen Körpern erklärt die große Reaktionsfähigkeit



Abb. 13.
Chemische
Vereinigung
Schwefel
und Eisen.

derselben. Selbst wenn wir in möglichst feingepulvertem Zustande feste Körper zusammenreiben, erhalten wir in der Regel nur Mischungen, welche unter dem Mikroskop die einzelnen Bestandteile nebeneinander erkennen lassen. In einer solchen Mischung von Schwefel- und Eisenpulver besitzen Schwefel und Eisen noch alle ihre eigentümlichen Eigenschaften. Mit dem Magnet läßt sich das Eisen vom Schwefel wieder trennen. Dasselbe erreicht man, wenn man Schwefelkohlenstoff auf die Mischung gießt; der Schwefel geht in Lösung, das Eisen bleibt zurück.

Schwefel und Eisen haben ein großes Bestreben, sich chemisch miteinander zu verbinden. Erwärmen wir etwas von der Mischung in einem Probiergläschen (Abb. 13), so schmilzt zunächst der Schwefel, steigern wir die Temperatur noch ein wenig, so findet plötzlich unter Erglühen der ganzen Masse die Vereinigung statt. Der neue Körper (Schwefeleisen) hat weder die Eigenschaften des Eisens (er ist nicht magnetisch), noch die des Schwefels (er löst sich nicht in Schwefelkohlenstoff), sondern ganz andre.

Umwandlung eines Metalls in verschiedene Verbindungen und Wiederabscheidung desselben. Chemie und Alchemie.

Bei einem der Versuche, die wir anstellten, um uns chemische Einwirkungen zu veranschaulichen, gingen wir von dem Kupfer aus. Durch Vereinigung mit einem Gase entstand aus dem Kupfer ein schwarzer Körper, der sich in verdünnter Schwefelsäure mit blauer Farbe löst. Wenn man die Lösung verdampft, bleiben blaue Kristalle zurück. Diese blauen Kristalle lassen sich rückwärts wieder zerlegen in die Bestandteile, aus welchen sie entstanden. Wir wissen, daß einer dieser Bestandteile Kupfer ist, wir werden uns daher nicht wundern, wenn es gelingt, das Kupfer aus der blauen Lösung wieder abzuscheiden. Es läßt sich dies in sehr einfacher Weise herbeiführen. Wir brauchen nur ein Stück blankes Eisenblech in die Lösung zu tauchen und sofort überzieht es sich mit einer dünnen Schicht eines rot-glänzenden Körpers, der nichts andres als Kupfer ist (Abb. 14).



Abb. 11.
Absehung
von Kupfer
durch Eisen.

Uns kann dieser Vorgang nicht überraschend erscheinen, da wir ja vorher Versuche angestellt haben, durch die wir das Kupfer erst in den schwarzen Körper, dann in die blaue Lösung überführten. Kann aber derjenige, welcher unsern Versuchen nicht beiwohnte, wenn er nur diesen letzten Vorgang sieht, nicht geneigt sein, ihn zu deuten als eine Verwandlung des Eisens in Kupfer? Und, wenn diese Vorstellung Platz greift, ist es dann nicht erklärlich, die Hoffnung daran zu knüpfen, ebenso wie Eisen in Kupfer, Kupfer in Silber, Silber in Gold zu verwandeln?

Und in der Tat, länger als ein Jahrtausend, vom 4. Jahrhundert n. Chr. bis zum 16. Jahrhundert, war es das ausschließliche Ziel der Chemie, Gold zu machen. Man suchte nach

einer geheimnisvollen Substanz — dem Stein der Weisen —, der es vollbringen sollte, unedle Metalle in Gold zu verwandeln. Es ist das Zeitalter der Alchemie. Es war ein unerreichbares Ziel, nach dem man strebte. Die endlosen Bemühungen, die Arbeiten eines Jahrtausends waren aber insofern nicht fruchtlos, als man in der Hast nach dem verlockenden Ziel alles mögliche untersuchte und eine Summe von Erfahrungen aufhäufte, welche später die wunderbar rasche Entwicklung der Chemie erleichterte.

Alle irdischen Körper bestehen aus Grundstoffen oder Elementen. Vorkommender selben auf der Sonne.

Es ist Aufgabe der Chemie, zu zeigen, wie die Körper zusammengesetzt sind. Die Frage nach den einzelnen Bestandteilen der Körper läßt sich nicht immer in so einfacher Weise, wie wir soeben den Nachweis von Kupfer in der blauen Lösung erbrachten, beantworten. In vielen Fällen sind hierzu eine Reihe umständlicher Operationen, die sich auf scharfsinnige Überlegung stützen, erforderlich. Und trotz alledem gelingt es nicht, gewisse Körper weiter zu zerlegen. Alle Versuche, die man anstellte, das Kupfer weiter zu zerlegen, sind vergeblich gewesen. Hier steht die Forschung an einer Grenze. In gleicher Weise ist es nicht möglich, durch irgendeinen bekannten chemischen Prozeß das Eisen, das Silber, das Gold, den Schwefel, das Kalium und eine Reihe anderer Körper weiter zu zerlegen.

Solche unzerlegbare Körper nennen wir Grundstoffe oder Elemente. Wir kennen 83 solcher Grundstoffe, deren Namen in jedem Hörsaal, der für chemische Vorlesungen bestimmt ist (und auf der Tabelle S. 124) verzeichnet sind. Sie bilden das Fundament unsrer Wissenschaft. Das sind die Bausteine, aus welchen die Natur all ihre Gebilde zusammengefügt hat. Alles, was die Erde in sich birgt und das Meer bis zu den erforschten Tiefen und ebenso die wunderbaren Schöpfungen der Pflanzen- und Tierwelt sind aufgebaut aus diesen — und nur aus diesen Grundstoffen. Diese Grundstoffe oder Elemente können wir nicht beliebig ineinander überführen, mithin können wir Eisen und Kupfer nicht in Silber oder Gold verwandeln.

Mit einer gewissen Vorliebe bediente sich die Natur einiger weniger dieser Grundstoffe. Andre kommen nur sehr vereinzelt in seltenen Mineralien vor, wieder andre zwar häufiger, aber stets nur in geringen Mengen.

Man hat das Vorkommen der Grundstoffe ihrer Masse nach zu schätzen versucht. Solche Schätzungen sind naturgemäß sehr unsicher, lassen aber immerhin das überwiegende Vorkommen weniger Grundstoffe erkennen.

Die in der Erdrinde am häufigsten vorkommenden Grundstoffe		(nach J. W. Clarke).			
			99,38		
Sauerstoff	49,98	} Erdmasse	} Erdmasse		
Silizium	25,30			Kohlenstoff	0,21
Aluminium	7,26			Chlor	0,15
Eisen	5,08			Phosphor	0,09
Kalzium	3,51			Mangan	0,07
Magnesium	2,50			Schwefel	0,04
Natrium	2,28			Baryum	0,03
Kalium	2,23			Stickstoff	0,02
Wasserstoff	0,94				
Titan	0,30				
	99,38		99,99		
		Die übr. 66 Elem. i. Sa	0,01		
			100,00		

Von diesen Grundstoffen wird bei unsern weiteren Unterhaltungen, in denen wir zunächst einen Einblick in die Zusammensetzung der Luft und des Wassers gewinnen wollen, uns nur ein Teil eingehender beschäftigen.

Die menschliche Forschung ist nicht gebunden an die Grenzen des Irdischen. Die Kunde, welche das Licht von fernen Himmelskörpern bringt, sagt uns zweifellos, daß auf der Sonne Grundstoffe gleicher Art vorhanden sind, wie auf der Erde (S. 116).

Die Erkenntnis von der Unveränderlichkeit der Elemente hat durch die Entdeckung des Radiums (1898) eine Einschränkung erfahren. Dieses merk-

würdige Element, das seinerseits im Uran seinen Ursprung zu haben scheint und in mühsamer Arbeit bisher nur in wenigen Grammen gewonnen werden konnte, unterliegt weiterhin dauernd einem kaum faßbar langsamen Zerfall, der, wie man berechnet hat, erst in Tausenden von Jahren sein Ende erreicht. Dieser Zerfall äußert sich in der Entwicklung von Wärme und strahlender Energie unter Bildung von Emanation usw. Ähnliche Erscheinungen zeigt auch das Thor.¹⁾

II. Die Luft.

falsche Ziele der Chemie.

Verfolgung chemischer Vorgänge mit der Wage seit Ende des 18. Jahrhunderts.

Wir haben eine Reihe von Vorgängen kennengelernt, die wir als chemische bezeichneten, weil bei denselben aus den aufeinander einwirkenden Körpern neue Körper mit andern Eigenschaften entstanden. Derartige Vorgänge vollziehen sich unausgesetzt in der Natur ohne unser Zutun, andre wieder sucht der Mensch, indem er sich auf überlieferte Erfahrungen stützt, in einer bestimmten Absicht herbeizuführen. Hierher gehört das Brennen des Kalkes zum Zwecke der Mörtelbereitung, die Gewinnung der Metalle aus den Erzen und manche andre Verrichtung, ohne welche ein Kulturleben überhaupt nicht denkbar ist.

Erfahrungen und Beobachtungen, welche in das Gebiet der Chemie gehören, sind seit den ältesten Zeiten gemacht worden. Viel später erst kam man dazu, diese Erfahrungen zusammenzufassen zur Erreichung eines bestimmten Zieles. Wir haben gesehen, daß es eine lange Zeit hindurch das Ziel der Chemie war, Gold zu machen — es ist das Zeitalter der Alchemie. Dann war es einmal das ausschließliche Ziel der Chemie, Krankheiten zu heilen — es ist das Zeitalter der Iatrochemie. Erst gegen Ende des 17. Jahrhunderts kommt die Chemie zum Bewußtsein ihres wahren Zweckes und erhebt sich dadurch zu einer selbständigen Wissenschaft, deren Aufgabe, deren unbestrittenes Ziel geblieben ist und bleiben wird: zu erforschen, wie die Körper zusammengesetzt sind und die Gesetzmäßigkeiten zu ergründen, nach denen sich die Grundstoffe vereinigen, um auf diese Kenntnis gestützt mit der Natur zu wetteifern, oder neue, ihrem Reiche fehlende, Körper hervorzu- bringen, die uns besonders wertvoll erscheinen.

Nachdem das wahre Ziel der Chemie erkannt war, faßte man zu-

1) Vgl. R. Börnstein u. W. Marcwald, ANuG 64: Strahlen S. 123ff

nächst nur die äußeren, die sichtbaren Veränderungen, welche die Körper bei der chemischen Einwirkung aufeinander erleiden, ins Auge. Diese einseitige Auffassung führte aber nicht zu einer befriedigenden und richtigen Erklärung der Beobachtungen. Erst als man die Wage zur Hand nahm und mit der Wage in der Hand die chemischen Vorgänge verfolgte, war der richtige Weg betreten, auf welchem die Chemie fortschreitend, indem sie sich die Erfahrungen vergangener Jahrhunderte nutzbar machte, ihre heutige Entwicklung erreichte und einen Einfluß auf die Kulturentwicklung ausübte, wie kaum eine andre Wissenschaft.¹⁾

Erst die Zuhilfenahme der Wage ermöglichte es, ein Urteil zu gewinnen über die Zusammensetzung der Luft, jenes unsichtbaren, gasförmigen Körpers, der uns überall umgibt, dessen einzelne Teilchen so leicht beweglich sind, daß wir sie, ohne es zu merken, bei jedem Schritt und Tritt aus ihrer Lage drängen, der den hervorragendsten Anteil hat an allen chemischen Vorgängen, die sich in der Natur abspielen, der uns zum Leben unentbehrlich ist. Solange man die Zusammensetzung der Luft nicht kannte, so lange mußte auch der Einfluß, welchen die Bestandteile der Luft auf diese Vorgänge ausüben, unerklärt bleiben. Nachdem die Bestandteile der Luft und ihre Eigenschaften erkannt waren, ergab sich die lange vergeblich gesuchte Erklärung fast von selbst. Wir wollen nun den seit hundertzweißig Jahren betretenen Weg einschlagen und die chemischen Vorgänge, die wir unsern Betrachtungen zugrunde legen, mit der Wage verfolgen, soweit es unter den gegebenen Verhältnissen möglich ist.

Einwirkung der Luft auf Kupfer, Eisen und Quecksilber.

Es ist bekannt, daß sich die Metalle beim Erhitzen an der Luft verschieden verhalten. Die edlen Metalle: Gold, Silber, Platin verändern sich beim Erhitzen an der Luft nicht, alle übrigen: Kupfer, Eisen, Zinn usw. werden verändert. Wir sahen bei einem der ersten Versuche, die wir anstellten, Zinn beim Erhitzen an der Luft sich in eine grauweiße Asche verwandeln; es verbrannte, sagten wir, aber der Ausdruck Verbrennen erklärt den Vorgang nicht.

Wir wollen jetzt etwas Kupfer²⁾ erhitzen, das, damit nichts verloren-

1) Nach: H. Kopp, Geschichte der Chemie.

2) Das zu dem Versuche benutzte Kupfer wurde durch Reduktion von porösem Kupferoxyd hergestellt.



Abb. 15.
Erhitzen von Kupfer
an der Luft.

geht, auf einer Unterlage von Kupferdrahtnetz liegt. Bevor wir jedoch den Versuch ausführen, wollen wir feststellen, wie schwer das Kupfer ist. Nun erst erhitzen wir das Kupfer mit der Spitze einer Flamme, so, daß gleichzeitig die Luft an das Kupfer herantreten kann (Abb. 15). Es erglüht und glüht auch noch ein wenig nach, wenn es aus der Flamme entfernt wird. Nach dem Erkalten sehen wir, daß das Kupfer schwarz geworden ist, es hat sich also verändert. Wir wollen nun zusehen, ob der schwarze Körper dasselbe Gewicht hat, wie das Kupfer vor dem Versuch. Die Waagschale sinkt, der neue Körper wiegt mehr, als das Kupfer. Beim Erhitzen an der Luft ist also etwas zum Kupfer hinzugekommen.

Hier ist sehr feine Eisenfeile. Bringen wir einen Magneten damit in Berührung, so zieht er die Eisenteilchen an. Ein Hufeisen-Magnet mit daran haftenden Eisenteilchen hängt bereits an der Wage (Abb. 16). Wir wollen sie hin und her schwingen lassen, um uns davon zu überzeugen, daß die Zunge der Wage nach beiden Seiten gleichweit ausschlägt. Erhitzen wir das Eisenpulver am Magneten mit einer Flamme (Abb. 17), so leuchten die einzelnen Teilchen auf, als ob sie verbrennen. Wir sehen die Schale der Wage mit dem Magneten sinken. Das verbrannte Eisen ist schwerer als das unverbrannte, und wir schließen hieraus, daß das Eisen beim Erhitzen an der Luft etwas aufnimmt.

Wenn man Quecksilber an der Luft erhitzt, nicht bis zum Siedepunkt des Quecksilbers, der bei 357° liegt, sondern nur etwa bis 350° , so bildet sich auf dem blanken Metallspiegel ein gelbrotes Häutchen, das aus einem festen Körper

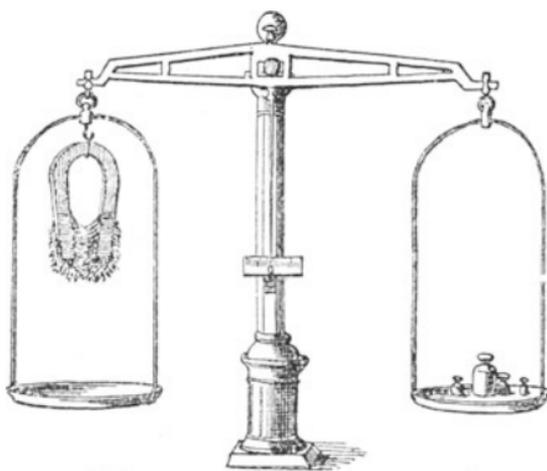


Abb. 16. Eisenfeile an einem Magneten auf der Wage im Gleichgewicht.

besteht. Schieben wir das Häutchen mit einem eisernen Löffel beiseite, so entsteht ein neues und so fort.

Auf diese Weise gelingt es, wenn wir nur lange genug erhitzen, dabei die vorgeschriebene Temperatur einhalten und fleißig umrühren, das Quecksilber allmählich in ein rotes Pulver zu verwandeln.

Wir wollen den

Versuch nicht zu Ende führen,

weil er zu lange dauern würde und es nicht zu vermeiden ist, daß Quecksilberdämpfe, die sehr giftig sind, in die Luft gelangen. Es soll uns genügen zu wissen, daß das Quecksilber die beschriebene Umwandlung erfährt, und tatsächlich ist das schöne rote Produkt (Quecksilberoxyd), das sich in meiner Büchse befindet, in ähnlicher Weise dargestellt worden. Aus 100 Gewichtsteilen Quecksilber wurden hierbei 108 Gewichtsteile des roten Körpers erhalten. Also, auch das Quecksilber nimmt beim Erhitzen etwas aus der Luft auf.

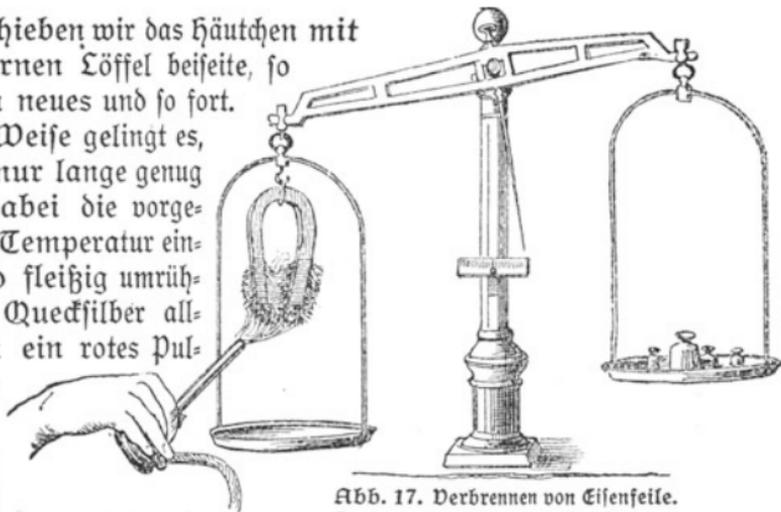


Abb. 17. Verbrennen von Eisenfeile.
Das verbrannte Eisen ist schwerer.

Zerlegung des Quecksilberoxyds in Quecksilber und Sauerstoff.

Was ist es nun, was das Quecksilber (ebenso wie das Eisen und

Kupfer) beim Erhitzen an der Luft aufnimmt? Diese Frage soll uns das folgende Experiment beantworten. Das Gläschen A (Abb. 18) enthält etwas von dem roten Pulver. In dem luftdicht schließenden Kork steckt ein nach unten gebogenes Glasrohr b, dessen untere Öffnung im Wasser der Wanne, unter dem Glaszylinderchen C

Abb. 18. Erhitzen von Quecksilberoxyd bei Abschluß der Luft.

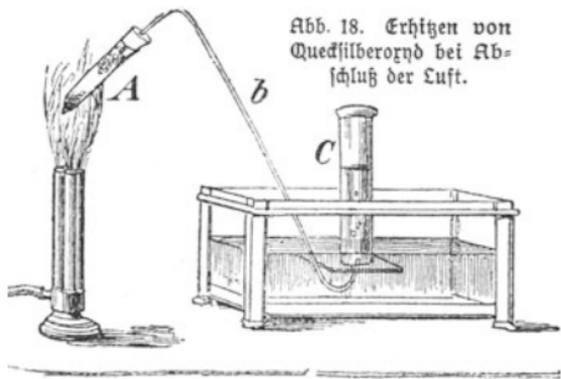




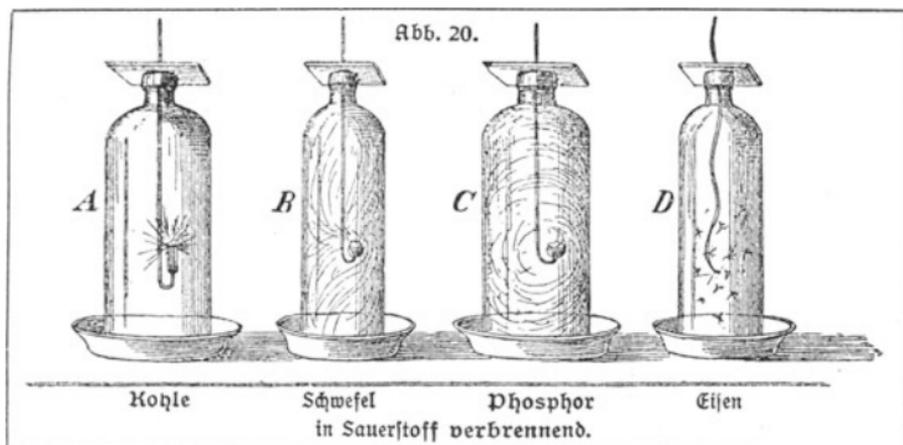
Abb. 19. In dem durch Erhitzen von Quecksilberoxyd gewonnenen Gase entzündet sich ein glimmender Span und verbrennt mit glänzendem Licht.

liegt. Nun wollen wir das von der Luft völlig abgeschlossene rote Pulver mit einer kräftigen Flamme möglichst stark erhitzen. Was beobachten wir? Wir sehen Gasblasen in dem Zylinder aufsteigen, die das Wasser aus demselben verdrängen. Zugleich bemerken wir, wenn wir den nicht von der Flamme umspülten Teil des Gläschens A aufmerksam betrachten, daß der glänzende Metallspiegel, der sich hier an-

gesetzt hat, aus kleinen Quecksilbertröpfchen besteht.

Unter dem Einfluß starker Hitze zerfällt das rote Pulver wieder in Quecksilber und in ein Gas. Verfolgen wir den Vorgang mit der Wage, so erfahren wir, daß 108 Gewichtsteile des roten Pulvers 100 Gewichtsteile Quecksilber und 8 Gewichtsteile des Gases liefern. Wir konnten somit alles das, was das Quecksilber beim vorsichtigen Erhitzen aufnahm, durch stärkeres Erhitzen wieder austreiben. Unsere bisherigen Beobachtungen können uns daher geneigt machen zu folgern: Quecksilber vereinigt sich in der Wärme mit einer bestimmten Menge Luft zu einem festen roten Körper, der in der Glühhitze wieder in Quecksilber und in Luft zerfällt, und wir hätten, um die Richtigkeit dieser Annahme zu prüfen, den Nachweis zu führen, daß das Gas, welches sich in dem Zylinder C ansammelte, wirklich Luft ist. Wir wissen, daß an der Luft ein glimmender Span allmählich erlischt; senken wir ihn (Abb. 19) in den Zylinder C, so entzündet er sich sofort und verbreitet in dem Gase ein glänzendes Licht, viel heller und schöner, wie beim Verbrennen an der Luft. Unser Gas verhält sich also anders als Luft — es ist nicht Luft.

In dem Gase vollziehen sich alle Verbrennungsvorgänge viel lebhafter wie in der Luft. Diese Erscheinungen gehören zu den glänzendsten, über welche die Experimentalchemie verfügt. Um einige derselben vorführen zu können, ist vor unsrer Zusammenkunft eine größere Menge des Gases hergestellt worden; die vier Glasglocken (Abb. 20) sind damit gefüllt. In die Glocke A bringe ich ein Stück glimmender Holzkohle; unter lebhaftem Erglühen verschwindet es in wenigen Augenblicken. Das Gas in der Glocke erwärmt sich dabei und dehnt sich infolgedessen erheblich aus. Da die Glocke nicht fest verschlossen ist und das untere offene Ende in einer Schale mit Wasser steht, kann sich der



Überdruck leicht ausgleichen. In der Glocke *B* wollen wir ein Stück Schwefel verbrennen, dessen wundervoll blaues Licht wir jetzt die ganze Glocke erfüllen sehen. In *C* werde ich etwas Phosphor¹⁾, in *D* eine Uhrfeder zur Verbrennung bringen. Der Phosphor strahlt einen Glanz aus, so blendend, daß ihn die Augen kaum ertragen; nach dem Verlöschen des Phosphors erfüllen weiße Dämpfe die Glocke. Das glühende Eisen erhitzt sich bis zum Schmelzen, und wie helleuchtende Sterne sprühen die verbrennenden Eisenteilchen nach allen Richtungen.

Die Luft enthält Sauerstoff und Stickstoff.

Luft ist es also nicht, was das Quecksilber beim Erwärmen aufnimmt, das geht aus den angestellten Versuchen zweifellos hervor, ebenso zweifellos ist es aber, daß das Gas, welches wir aus dem roten Körper wieder abscheiden konnten, aus der Luft stammt — es ist nicht Luft als solche, vielmehr ein Bestandteil der Luft. Dieser Bestandteil der Luft läßt sich nicht weiter zerlegen, er ist mithin ein Grundstoff, ein Element, welches anfangs „Lebensluft“, dann „Sauerstoff“ genannt wurde, weil man nach seiner Entdeckung vor etwas mehr als hundert Jahren annahm, daß es ein notwendiger Bestandteil aller derjenigen Körper, die man „Säuren“ nannte, sei. Schließen wir uns dieser Bezeichnung an, so können wir sagen: Beim Erhitzen des Quecksilbers vereinigt sich der Sauerstoff der Luft mit dem Quecksilber zu Quecksilbersauerstoff, jenem roten Körper, den wir gewöhn-

1) Über das Experimentieren mit Phosphor vgl. S. 77 unten.

lich Quecksilberoxyd (von Oxygenium, der latinisierten griechischen Bezeichnung für Sauerstoff) nennen. Der gleichartige Vorgang fand statt, als wir Kohle, Schwefel, Phosphor, Eisen in die Glocken mit Sauerstoff brachten. Die Vereinigung dieser Körper mit Sauerstoff geht, wie wir sahen, mit lebhafter Feuererscheinung vor sich. Das, was wir sahen, sind wir gewohnt mit „Verbrennung“ zu bezeichnen. Was wir im gewöhnlichen Leben Verbrennung nennen, ist nichts andres, als eine chemische Vereinigung des brennbaren Körpers mit Sauerstoff.

Nachdem die Versuche, die wir anstellten, uns zu der Erkenntnis geführt haben, daß Sauerstoff ein Bestandteil der Luft ist, wird in uns die Frage rege: Was enthält die Luft noch andres außer dem Sauerstoff?

Wenn ein Experiment diese Frage klären soll, so werden wir — da wir jetzt wissen, daß Körper, welche in der Luft verbrennen, diesen Sauerstoff entziehen — die Versuchsanordnung so zu treffen haben, daß wir Antwort erhalten auf die Frage: Was wird aus der Luft, in welcher ein Körper verbrannt? Wir müssen demnach in einem begrenzten Luftraum einen Körper verbrennen und zusehen, was hierbei von der Luft übrig bleibt. Zu dem Versuche soll die Luftmenge, welche von der Glocke A (Abb. 21) und dem Wasser der Wanne W

begrenzt wird, als brennbarer Körper der leicht entzündliche Phosphor dienen (S. 77). Die Entzündung des Phosphors läßt sich leicht bewirken, wenn wir durch die sogleich wieder zu verschließende, obere Öffnung der Glocke einen erwärmten Metalldraht einführen und den Phosphor in dem Schälchen damit berühren. Wir sehen den Phosphor verbrennen und die Glocke sich mit weißen Nebeln füllen, ganz ebenso, wie es der Fall war, als wir Phosphor in Sauerstoff verbrannten. Nur ist die Erscheinung keine so glänzende. Sehr bald wird das Aufleuchten des Phosphors schwächer und hört dann ganz auf. Die Glocke kühlt sich allmählich ab



Abb. 21.
Verbrennen
von Phos-
phor in
einem be-
grenzten
Luftraum.

und wir sehen das Wasser in der Glocke steigen. Ein Teil der Luft ist also verschwunden, das überrascht uns nicht, wir haben es erwartet, da wir wissen, daß bei der Verbrennung Phosphor und der Sauerstoff der Luft sich miteinander verbinden. Das Produkt der Vereinigung sind die weißen Nebel, auch sie werden bald verschwinden, da sie in Wasser löslich sind und wir werden dann sehen, daß ein farbloses Gas übriggeblieben ist. Schon jetzt läßt sich erkennen, daß nur wenig von der Luft bei der Verbrennung verbraucht

wurde. Wenn das übriggebliebene Gas sich völlig abgekühlt hat und das Wasser in der Glocke nicht mehr steigt (Abb. 22), füllt das zurückgebliebene Gas die Glocke noch etwa zu vier Fünfteln aus. Wie oft und wo auch der Versuch angestellt wird, immer sind die Erscheinungen genau dieselben.

Wenn wir das zurückgebliebene Gas untersuchen wollen, so müssen wir uns wohl hüten, den Stopfen der Glocke zu lüften, weil dann sofort der Wasserspiegel fallen und Luft in die Glocke eindringen würde. Es bleibt nichts andres übrig, als eine Glastafel unter die untere Öffnung der Glocke zu schieben und fest anzudrücken, das Ganze aus der

Wanne zu heben und die Glocke schnell umzudrehen (Abb. 23). Nun können wir durch Beiseiteschieben der Glastafel leicht zu dem Gase gelangen. Ein glimmender Span hört sofort zu glimmen auf, die Flamme einer Kerze erlischt augenblicklich in dem Gase und ebenso verhält sich jeder andre brennende Körper. Das Gas zeigt also geradezu das entgegengesetzte Verhalten wie der Sauerstoff. Würden wir eine Maus oder ein andres Tier in das Gas bringen, so würde es in wenigen Augenblicken ersticken. Diesen Luftrest hat man bis vor wenigen Jahren für einen Grundstoff, den man Stickstoff nannte, gehalten. Heute wissen wir, daß ihm noch andre gasförmige Elemente beigemischt sind, die jedoch zusammen noch nicht ein volles

Abb. 22.
Das Wasser steht innerhalb der Glocke höher wie in der Wanne.

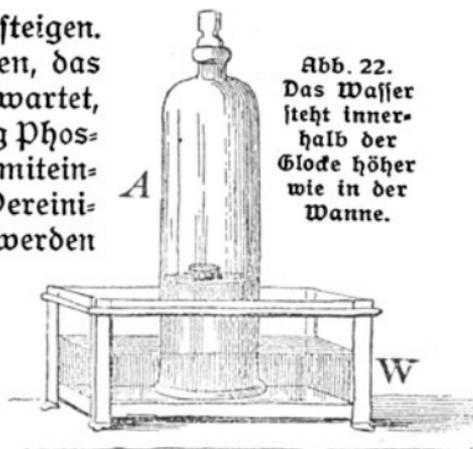


Abb. 23.
Der beim Verbrennen des Phosphors übriggebliebene Teil der Luft.

Prozent betragen, mehr als 99 Hundertstel des Gasrestes bestehen aus Stickstoff.

Chemische Vorgänge, an denen Stickstoff in freiem, gasförmigem Zustande teilnimmt, vollziehen sich nur bei sehr hohen Temperaturen. So vermag z. B. der elektrische Funke Stickstoff und Sauerstoff chemisch zu vereinigen und Magnesium sowie andre Metalle in der Glühhitze mit Stickstoff sich zu verbinden. Die geringe chemische Verwandtschaft des freien Stickstoffs zu andern Körpern schließt es aus, mit ihm in die Augen fallende Versuche anzustellen. Der Stickstoff wirkt, wo er zugegen ist, gewissermaßen wie ein Verdünnungsmittel, chemische Vorgänge, die sich in seiner Abwesenheit energischer vollziehen würden, verlangsamend und hemmend.

Unsre Versuche haben also ergeben, daß die Luft zu etwa einem Fünftel aus Sauerstoff und zu vier Fünfteln aus Stickstoff besteht. Durch genauere Untersuchungen ist festgestellt worden, daß 100 Raumteile atmosphärische Luft

20,81	Raumteile Sauerstoff
78,30	Stickstoff usw
<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>	
99,11	Raumteile enthalten.

Die Bestandteile der Luft sind, wenn auch nur in geringer Menge, in Wasser löslich. Den Fischen im Wasser mangelt daher der Sauerstoff nicht. Treibt man die im Wasser gelösten Gase durch Kochen wieder aus, dann findet man in ihnen das Verhältnis von Sauerstoff zu Stickstoff nicht wie 1 : 4, wie es sein müßte, wenn die Luft eine chemische Verbindung wäre, sondern annähernd wie 1 : 2.

1 l Wasser von 15° nimmt aus der Luft 6,8 ccm Sauerstoff und 13,2 ccm Stickstoff auf. Kocht man die Gase aus dem Wasser wieder heraus, so erhält man 20 ccm eines Gasgemisches mit 34% Sauerstoff und 66% Stickstoff.

Die Luft ist eine Mischung von verschiedenen Gasen.

Sauerstoff ist für die Lebensvorgänge der Menschen und Tiere unentbehrlich, würde die Luft jedoch nur aus Sauerstoff bestehen, so würden sich dieselben viel energischer vollziehen und ebenso würden eine Reihe für das tägliche Leben unentbehrlicher Vorgänge sich ganz anders gestalten. Hierfür geben uns die Versuche, welche wir mit Sauerstoff anstellten, genügende Anhaltspunkte. Eine Kerze, die uns stundenlang Licht spendet, würde in wenigen Sekunden verbrennen, ein herabfallender Funke würde das Holz unsrer Möbel, die Balken der Häuser sofort

entflammen, selbst das Eisen würde keinen Schutz gegen Feuersgefahr bieten, kurzum wir würden in der beständigen Gefahr, von einem Feuermeer umgeben zu sein, schweben. Durch die reichliche Vermischung mit dem unwirksam bleibenden Stickstoff wird die überaus energische Wirkung des Sauerstoffs geschwächt und geregelt und tritt, wie wir es zu sehen gewöhnt sind, in einer Weise in Erscheinung, die uns ein Beherrschen und Bewachen des Feuers ermöglicht.

Die Luft enthält Wasserdampf und Kohlensäure.

In 100,00 Raumteilen Luft

sind: 99,11 Raumteile Sauerstoff, Stickstoff usw. enthalten, es fehlen noch 0,89 Raumteile.

Die Luft enthält also noch etwas andres; zwei Körper, die in dem fehlenden Bruchteil vorhanden sind, nehmen unser Interesse besonders in Anspruch: Wasserdampf und Kohlensäure. Das Vorhandensein von Wasserdampf in der Luft, der nie, auch im strengsten Winter nicht ganz fehlt, ist leicht nachweisbar. Wir brauchen uns nur der bekannten Erscheinung zu erinnern, die wir beobachten, wenn sich im Sommer das Bedürfnis nach einem kühlen Trunke geltend macht. Die mit frischem Brunnenwasser gefüllte Flasche beschlägt, wie wir sagen. Wie der Tau an den Grashalmen vereinigen sich die Wasserbläschen zu Tropfen, die dann in der Flasche herunterrinnen. Die Wassertropfen waren vordem als Wasserdampf in der Luft. Je wärmer die Luft ist, um so mehr Wasserdampf vermag sie aufzulösen und so verschwindet der Tau wieder, wenn ihn die Sonne bescheint. —

Zu Beginn unsrer heutigen Unterhaltung goß ich etwas von der klaren Flüssigkeit (Kalkwasser) aus der Flasche (Abb. 24) in die daneben stehende Schale. In der offenen Schale hat sich die Flüssigkeit im Verlaufe einer Stunde, die fast vergangen ist, getrübt, in der verschlossenen Flasche ist sie klar geblieben. Sauerstoff, Stickstoff und Wasserdampf

bringen diese Veränderung nicht hervor, ein vierter Bestandteil der Luft verursacht sie. Wenn ich den trüben Inhalt der Schale auf ein Papierfilter gieße (Abb. 25), so bleibt auf demselben ein fester, weißer Körper zurück und die Flüssigkeit läuft klar ab. In dem festen

Abb. 24.
Kalkwasser trübt sich
an der Luft.



Körper ist ein Gas, welches aus der Luft aufgenommen wurde, Kohlen- säure, enthalten. Auf diesen im Haushalt der Natur unentbehrlichen Körper werde ich in einer späteren Zusammenkunft zurückkommen und alsdann die Eigenschaften und Zusammensetzung der Kohlen- säure eingehend zu erörtern haben. Für heute soll uns der Nachweis des Vorhandenseins der Kohlen- säure in der Luft genügen.

Die Menge Kohlen- säure in der Luft draußen- im Freien, die wir atmosphärische Luft zu nennen pflegen — und diese beschäftigt uns hier ausschließ- lich — ist nur sehr gering. Zehntausend Raum- teile atmosphärischer Luft enthalten drei Raum- teile Kohlen- säure, das ist eine feststehende, durch genaue Versuche ermittelte Zahl. Der Gehalt an Wasserdampf läßt sich nicht so bestimmt angeben, weil er mit den Temperaturänderungen schwankt.

1000 l = 1 cbm Luft vermögen bei		
30° nicht mehr als	37,4 l	0° nicht mehr als 5,1 l
20° " " "	21,3 "	— 10° " " " 2,9 " usw.
10° " " "	11,6 "	

Wasserdampf aufzunehmen. Diese Grenzen werden jedoch nur selten erreicht. Kühlt sich 1 cbm mit Wasserdampf gesättigte Luft von 20° plötzlich auf 10° ab, so werden 21,3—11,6 = 9,7 l Wasserdampf flüchtig und erscheinen zunächst in Form kleiner Wasserbläschen, aus denen der Nebel und die Wolken bestehen. Faßt man die gesamten klimatischen Verhältnisse der Erde zusammen, so gelangt man schätzungs- weise zu dem Resultat, daß 10 000 Raumteile Luft 84,9 Raumteile Wasserdampf enthalten.

Addieren wir die ermittelten Bestandteile der Luft, so erhalten wir in Volumprozenten:

Stickstoff usw.	78,30
Sauerstoff	20,81
Wasserdampf	0,85
Kohlen- säure	0,03
	<u> </u>
	i. Sa.: 99,99.

Es fehlt also immer noch ein Zehntausendstel des Ganzen.



Abb. 25.
Das an der Luft trüb ge- wordene Kalk- wasser wird auf ein Pa- pierfilter ge- gossen; auf demselben bleibt ein fester weißer Körper zurück.

Weitere Bestandteile der Luft.

Ozon. Salpetersäure und Ammoniak. Argon. Krypton, Neon, Xenon, Helium und Wasserstoff.
(Sonnenstäubchen und Bakterien.)

Der chemischen Forschung ist auch dieser geringe Bruchteil nicht entgangen, er setzt sich aus einer Reihe verschiedener Stoffe zusammen, deren Entdeckung zum Teil der Neuzeit angehört. Länger bekannt schon ist das Vorkommen einer Abart des Sauerstoffs in der Luft, die man **Ozon** (vgl. S. 100) genannt hat. In dieser Form vermag der Sauerstoff noch weit energisichere Wirkungen auszuüben, als wir sie kennen lernten. Die Wirkung des Ozons, der auf die Dauer nichts widersteht, äußert sich, trotz des hohen Verdünnungsgrades, in willkommener Weise durch die Zerstörung organischer Stoffe, insbesondere der Bakterien, die er vernichtet, von denen die Luft somit gereinigt wird. Wo diese im Übermaße sich ansammeln, wie in bewohnten Räumen oder in den Straßen volkreicher Städte, ist die geringe Menge Ozon in der Luft, die unter den günstigsten Verhältnissen nur einige Millionstel beträgt, rasch verbraucht; wir gehen ihnen nach und finden sie, wenn wir in den Bergen, an der See in der Nähe der Wälder Erholung suchen.

Serner sind in dem Luftrest zwei chemische Verbindungen enthalten: Salpetersäure, welche durch Vereinigung von Stickstoff und Sauerstoff bei elektrischen Entladungen in der Luft entsteht und Ammoniak, ein gasförmiges Zersetzungsprodukt faulender stickstoffhaltiger organischer Körper.

Da Salpetersäure und Ammoniak in Wasser leicht löslich sind, werden sie vom Regen zur Erde gespült, sie befruchten hier die Felder, ihre Mengen wechseln, sind aber immer nur äußerst gering.

Bis zum Jahre 1895 hatte unsre bisher gewonnene Erkenntnis unbestrittene Gültigkeit. Da waren es zwei englische Gelehrte, Lord Rayleigh und W. Ramsay, die einen neuen Grundstoff, das Argon, in der Luft entdeckten. Die noch nicht ein volles Prozent betragenden Mengen dieses Gases befanden sich bei den von uns angestellten Versuchen mit dem Stickstoff unter der Glocke (Abb. 22/23, S. 29). Die Zeit gestattet es nicht, die Trennung des Argons vom Stickstoff auszuführen, wir müssen uns darauf beschränken zu hören, wie die Trennung erfolgt.

Läßt man längere Zeit elektrische Funken auf Luft einwirken, so vereinigen sich allmählich Stickstoff und Sauerstoff chemisch miteinander (Salpetersäurebildung). Hierbei wird jedoch der Stickstoff nur teilweise ver-

braucht. Durch Beimischung einer bestimmten Menge Sauerstoff und gleichzeitiger Ausschaltung der gebildeten Salpetersäure läßt es sich erreichen, daß schließlich der Stickstoff vollständig verschwindet. Es bleibt dann das Argon, 0,93 Volumprozent der angewandten Luft, übrig. Das Argon läßt sich auch abcheiden, indem man trockene von Sauerstoff und Kohlensäure befreite Luft über glühendes Magnesium leitet. Der Stickstoff verbindet sich (bei 1000°) mit dem Metall, der Rest der Luft besteht aus Argon. Bisher sind nur die physikalischen Eigenschaften des Argons festgestellt, chemische Verbindungen desselben sind noch nicht bekannt.

Ein anderer Grundstoff, das Helium, dessen Vorhandensein auf der Sonne mit Hilfe der Spektralanalyse (S. 116) bereits 1868 von N. Lockyer gefolgert wurde, ist 1895, wenn auch nur in äußerst geringen Mengen, in wenigen seltenen Gesteinen eingeschlossen und später in den Gasen einiger Mineralquellen (Wildbad), aus denen es spurweise in die Luft übergeht, nachgewiesen worden, und als es gelang auch die Luft zu verflüssigen, fanden sich in ihr noch (weniger als Millionstel) die bis dahin nicht gefannten Grundstoffe: Krypton, Neon, Xenon. (S. 72.) Außerdem enthält die Luft Spuren von Wasserstoff, nach Rayleigh 0,003 Volumprozent.

Aber wenn wir auch alles dies zusammenfassen, ist das Reich des Unsichtbaren, welches die Luft darstellt, da, wo der Mensch seine Wohnstätten aufgeschlagen hat, noch nicht erschöpft. Unter besonderen Umständen ist es, wie jeder von uns weiß, sogar möglich, etwas von dem zu sehen, was uns sonst unsichtbar bleibt. Wenn ein Sonnenstrahl durch einen engen Spalt ins Zimmer fällt, dann tanzen und wirbeln die Sonnenstäubchen lustig vor unsern Augen, bis sie endlich irgendwo Ruhe finden und sich in Form von Staub auf unsern Möbeln niederlassen. Das sind kleine, leicht bewegliche feste Partikelchen, so klein, daß wir ohne weiteres ein Urteil über ihre Natur nicht gewinnen können. Legen wir diese Staubteilchen unter das Mikroskop, dann erkennen wir, was wir mit ihnen einatmen, da entpuppt sich ein Gewirre von: Wolle-, Leinen-, Leder-, Ruß-, Eisen-, Sand-, Holzteilchen usw. Wo bleiben die Stiefelsohlen, die wir ablaufen, wo die Hufeisen der Pferde? Wo bleibt der ursprüngliche Glanz unserer abgetragenen Kleidungsstücke? Ein Teil davon bewegt sich dauernd als Staub in der Luft (R. Virchow). Dazu kommen jene unendlich kleinen pflanzlichen Gebilde, wie die Hefezelle, deren Durchmesser kaum ein Hundertstel Millimeter beträgt, und die dennoch wie ein Riese gegenüber den andern Bakterien erscheint, unter denen eine scharfsinnige Forschung die Erreger der heimtückischen Krankheiten erkannt hat. Jedoch es ist nicht meine Absicht, ein Gebiet zu betreten, das uns ferner liegt. Lassen wir vielmehr zum Schluß noch einmal zusammen, was unsre heutigen Beobachtungen und Er-

fahrungen uns lehrten. Es läßt sich in wenigen Worten ausdrücken: Die Luft, die reine, staubfreie, atmosphärische Luft, besteht vorwiegend aus Sauerstoff und Stickstoff (nebst wenig Argon), sie enthält geringe Mengen Wasserdampf und Kohlensäure (zusammen nicht ganz ein Prozent) und sehr geringe Mengen der vorhin genannten Stoffe, von denen das Ozon, sowie Salpetersäure und Ammoniak, jener wegen seiner reinigenden Wirkung, diese als Nährstoffe der Pflanzen besonders zu beachten sind.

Grenze der Atmosphäre.

Gleichbleibende Zusammensetzung der Luft auf der Erde.

Veränderte Beschaffenheit in höheren Regionen.

Der Luft über uns hält das Quecksilber im Barometer das Gleichgewicht. Wie in diesem die Quecksilbersäule schwankt, ändert sich die Schwere und mit ihr die Höhe der Luftschicht. Das Gewicht einer Luftsäule über uns ist von ihrem Querschnitt abhängig; eine vom Meeresspiegel bis zur Grenze der Atmosphäre aufragende Luftsäule, deren Querschnitt 1 qcm beträgt, wiegt bei einem Barometerstand von 760 mm, da 1 ccm Quecksilber 13,6 g wiegt, $76 \times 13,6 = 1033$ g oder rund ein Kilo.

Die Grenze der Atmosphäre suchte man früher in einer Höhe von 75 km, indem man die Ablenkungen, welche die Sonnenstrahlen, ehe sie zur Erde gelangen, zugrunde legte. Es unterliegt jedoch keinem Zweifel, daß darüber hinaus noch etwas Materielles vorhanden sein muß, denn nur so lassen sich das Aufleuchten der Sternschnuppen, sowie die meisten Polarlichterscheinungen, die sich in erheblich höheren Regionen (bis 300 km und darüber) abspielen, erklären.

Von der Masse der Atmosphäre ist der Bruchteil von nicht ganz ein Prozent, der auf den Wasserdampf kommt, schon eine gewaltige Größe und wir verstehen leicht, wie dieser Wasserdampf in kälteren Schichten zu Wassertropfchen wieder verdichtet in Form von Nebel und Wolken durch Sturmwinde zusammengetrieben, wochenlanges Regenwetter veranlassen kann, und daß durch gesteigerte Verdampfung von Wasser in wärmeren Gegenden ein Ausgleich zustande kommt.

Im Hinblick hierauf regt sich fast unwillkürlich in uns die Frage: wie steht es in dieser Hinsicht mit den übrigen Bestandteilen der Luft? Summa wir wissen, daß der Sauerstoff den regsten Anteil hat an den

mannigfachen chemischen Vorgängen, die sich in der Natur abspielen. Bei jeder Verbrennung wird Sauerstoff verbraucht, mit jedem Atemzuge entziehen wir der Luft Sauerstoff. Muß das nicht, so lautet die naheliegende Frage, im Laufe der Zeiten eine Änderung in der Zusammensetzung der Luft zur Folge haben? Und doch haben umfassende Untersuchungen gezeigt, daß dies nicht der Fall ist. Überall hat die Luft draußen im Freien, so weit sie auf natürlichen Wegen erreichbar ist, die gleiche Zusammensetzung, im Süden, wie im Norden, auf dem Lande, wie über dem Meere, auf den Bergen, wie in den Tälern — und mehr noch, soweit unsre Kenntnis zurückreicht, hat die Luft immer die gleiche Zusammensetzung gehabt. Die Luft, welche in den Tränenkrügen von Pompeji und Herculaneum uns aufbewahrt wurde achtzehn Jahrhunderte lang, hatte dieselbe Zusammensetzung wie die Luft von heute (J. Liebig). Der ewige Ausgleich des Sauerstoffgehaltes ist, worauf wir später noch einmal zurückkommen werden, begründet in der Wechselwirkung zwischen der Pflanzen- und Tierwelt.

Mit zunehmender Höhe ändert sich allmählich die Zusammensetzung der Luft. Durch die Schwerkraft werden die Gase von größerer Dichte (Stickstoff, Sauerstoff, Kohlensäure usw.) zurückgehalten, woraus folgt, daß in den entferntesten Regionen das leichteste Gas, Wasserstoff, vorherrscht. Untersuchungen über das Spektrum des Polarlichtes haben es wahrscheinlich gemacht, daß in jenen Höhen neben Wasserstoff ein noch leichteres unbekanntes Gas¹⁾ vorhanden ist.

Alle Vorgänge, die man als „Wetter“ bezeichnet, finden in niedrigen Luftschichten statt. Schwere Regenwolken scheinen bisweilen in greifbarer Nähe zu hängen. Wo sie die Berge verhüllen, bietet sich ein Maßstab für ihre Höhe. Am entferntesten sind die sonnenbeschienenen Gebilde, die man „Schäfschen“ nennt. Höhen von 10 km erreichen auch diese Wolken nur selten.

III. Das Wasser.

Änderung des Aggregatzustandes des Wassers. Mechanische Wirkungen beim Gefrieren.

Bei unsern einleitenden Betrachtungen wählten wir das Wasser als Ausgangspunkt der Erörterungen über die Eigenschaften der Körper im festen, flüssigen und gasförmigen Zustande.

Es ist bekannt, daß sich fast alle Körper in der Wärme ausdehnen

1) „Geocoronium“ genannt wegen der Ähnlichkeit mit dem in der Sonnen-
corona vorhandenen Coronium.

und in der Kälte zusammenziehen. Aber die Zuführung oder Entziehung von Wärme vermag noch eine weitere, plötzliche Änderung, die Änderung des Aggregatzustandes herbeizuführen.

Die Eisdecke, welche im Winter auf den Seen und Flüssen lagert, bekommt, wenn die Kälte zunimmt, Sprünge, die sich oft zu breiten Spalten erweitern. Der Fischer, der auf dem Eise des Frischen und Kurischen Haffes seinem Gewerbe nachgeht, kennt ihre Gefahren. Sobald es wärmer wird, dehnt sich das Eis, wie jeder andre feste Körper, wieder aus, aber davon merken wir nichts, weil dann sehr bald das Eis schmilzt. Alle Wärme, die dem schmelzenden Eise zugeführt wird, verschwindet scheinbar, sie wird verbraucht, um den Übergang von dem festen in den flüssigen Zustand zu bewirken. Im festen Eise befinden sich die kleinsten Teilchen in einer starren, unbeweglichen Lage, im flüssigen Wasser sind sie leicht beweglich. Um die kleinsten Teilchen aus der starren Lage zu bringen, ist ein Kraftaufwand, eine Arbeit erforderlich, die an Stelle der verschwundenen Wärme tritt. Erst nachdem alles Eis geschmolzen ist, findet bei weiterer Wärmezufuhr eine Temperaturerhöhung des Wassers statt.

Wenn wir das Schmelzen eines Eisstückes aufmerksam verfolgen, beobachten wir eine höchst merkwürdige Erscheinung. Das Schmelzwasser nimmt einen kleineren Raum ein, als vordem das Eis inne hatte. Sobald der Eiszylinder in dem Glase I (Abb. 26) aufgetaut sein

wird, werden wir sehen, daß das Schmelzwasser das Glas nicht mehr so weit anfüllt, wie jetzt das Eis, es nimmt dann einen um ein Elftel kleineren Raum ein (II, Abb. 26). Und wenn rückwärts das Wasser zu Eis erstarrt, dehnt es sich wieder in gleicher Weise aus. In einem Gefäße, welches mit Wasser vollständig angefüllt und zugleich fest verschlossen ist, findet das Eis nicht mehr genügenden Raum und zersprengt das Gefäß. Der Kraft, welche das Wasser unter diesen Umständen ausübt, widersteht nichts. Eiserne Bomben zerspringen wie Glas. Hier sind derartige Bruchstücke (Abb. 27). Wir wol-

len den Vorgang selbst beobachten und eine solche Bombe aus Gußeisen mit Wasser füllen und mit einer eisernen Schraube fest verschließen. Um die Bombe soweit abzukühlen, daß das Wasser im Innern

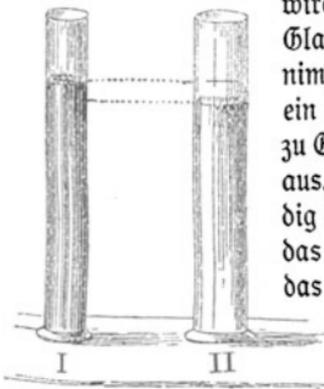


Abb. 26.
Das Schmelzwasser
nimmt einen gerin-
geren Raum ein, als
das Eis vorher inne
hatte.

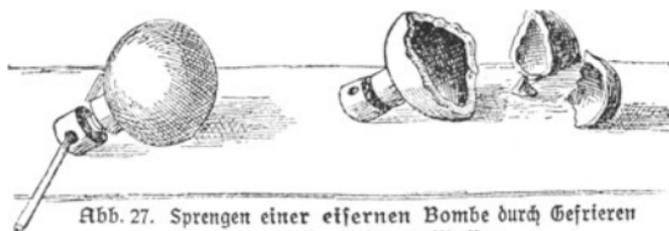


Abb. 27. Sprengen einer eisernen Bombe durch Gefrieren des eingeschlossenen Wassers.

gefriert, legen wir sie in eine Mischung von Eis und Kochsalz. In inniger Berührung mit dem Salz wird

das Eis flüssig. Die Wärme, welche zur Verflüssigung des Eises erforderlich ist, wird der nächsten Umgebung, also auch der Bombe, entzogen. Es findet hierbei eine Temperaturerniedrigung statt, welche allmählich das Wasser in der Bombe zum Gefrieren bringen wird.

Die eigentümliche Erscheinung, beim Übergang aus dem flüssigen in den festen Zustand sich plötzlich auszudehnen, zeigen von den einfachen Körpern nur zwei: das Wasser und das Wismut. Das spröde Metall findet für sich nicht Verwendung, weil es beim Erkalten die Gußformen zersprengen würde. Durch Zusammenschmelzen mit Blei, Zinn, Antimon und andern Metallen erhält man Legierungen, welche die Formen bis in die kleinsten Einzelheiten scharf ausfüllen, ohne sie zu sprengen, sehr hart sind und oft einen so niedrigen Schmelzpunkt haben, daß man die geschmolzene Masse unbedenklich in Formen von Holz (Herstellung der Klischees) oder von Papier (Herstellung von Druckwalzen für Rotationsmaschinen) gießen kann. Das Lipowizmetall schmilzt bei 60° , es besteht aus: 15 Teilen Wismut, 8 Teilen Blei, 4 Teilen Zinn und 3 Teilen Kadmium. —

Das ausnahmsweise Verhalten des Wassers ist von entscheidendem Einfluß auf die Vorgänge in der Natur. Das Eis nimmt einen größeren Raum ein, als die gleiche Gewichtsmenge Wasser. Hieraus folgt, daß Eis leichter ist als Wasser. Das Eis schwimmt auf dem Wasser. Wäre dem nicht so, würde sich das Wasser wie andre Körper beim Festwerden zusammenziehen, so würde Eis schwerer sein als Wasser und in demselben unter sinken wie Blei, wenn wir es in einen Tiegel mit geschmolzenem Blei werfen. Die Eisdecke, welche der erste Frost im Winter auf den Gewässern hervorbringt, würde hinabsinken bis auf den Grund, bald würde eine neue Eisschicht nachfolgen und im Laufe eines Winters würden allmählich die Flüsse und Seen in ihrer ganzen Tiefe zu Eis erstarren, das auch der wärmste Sommer ebensowenig völlig auftauen würde, wie die Gletscher im Hochgebirge. Die Folge wäre die Vernichtung alles Lebens in den Gewässern, welches unter der schützenden Eisdecke erhalten bleibt.

Merkwürdigerweise zieht sich auch das Eiswasser beim Wärmerwerden noch ein wenig zusammen, erst wenn es die Temperatur von

4° erreicht hat, beginnt es sich auszudehnen und vergrößert sein Volumen (Rauminhalt) bis 100° um 4⁰/₁₀₀. Dann fängt es an zu kochen und ändert nun seine Temperatur nicht mehr. Alle Wärme, die dem kochenden Wasser zugeführt wird, verschwindet scheinbar, ganz ähnlich, wie beim Schmelzprozeß. Bei der Verwandlung des Wassers in Dampf findet eine plötzliche Ausdehnung statt. Die Kraft, die Arbeit, welche erforderlich ist, diese Ausdehnung zu bewirken, wird erzeugt durch die Wärme, die wir dem kochenden Wasser zuführen. 1 l (Kilogramm) Wasser gibt 1700 l Dampf.

In dem Kessel aus Weißblech (Abb. 28) kocht Wasser. Der Kessel faßt 3,4 l, es würden, um ihn mit Dampf zu füllen, 2 g Wasser genügen. Damit der Boden des Kessels bedeckt bleibe, wurde etwas mehr Wasser eingefüllt. Seit einiger Zeit strömt Wasserdampf, der zunächst die Luft aus dem Kessel austrieb, durch die Röhre oben am Deckel. Würden wir den Hahn an der Röhre schließen und die Flamme unter dem Kessel brennen lassen, so würden die weiterhin von neuem entstehenden Dampfmen gen nicht mehr entweichen können. In ihrem Bestreben zu entweichen, würden sie auf die Wandungen des Kessels drücken mit fortdauernd gesteigerter Kraft, bis sie endlich ihre Fesseln gewaltsam sprengen. Zur Vermeidung solcher Kesselexplosionen in den Großbetrieben der Technik sind die weitestgehenden Sicherheitsmaßregeln vorgesehen. Trotzdem ereignen sich bei sorgloser Überwachung von Dampfkesseln bisweilen leider immer noch Explosionen, bei denen die entfesselten Kräfte ihr Zerstörungswerk in wenigen Augenblicken vollenden.

Der Versuch, den wir anstellen wollen, erfordert es, den Hahn zu schließen, wir unterlassen es nicht, zugleich die Flamme zu entfernen. Der Kessel ist jetzt mit Wasserdampf gefüllt, zu dem kein weiterer hinzukommen kann, weil die Erwärmung aufgehört hat. Wir wollen nun den Wasserdampf im Innern des Kessels durch rasche Abkühlung plötzlich wieder in flüssiges Wasser zurückverwandeln, indem wir von außen kaltes Wasser auf den Kessel gießen! (Abb. 29).

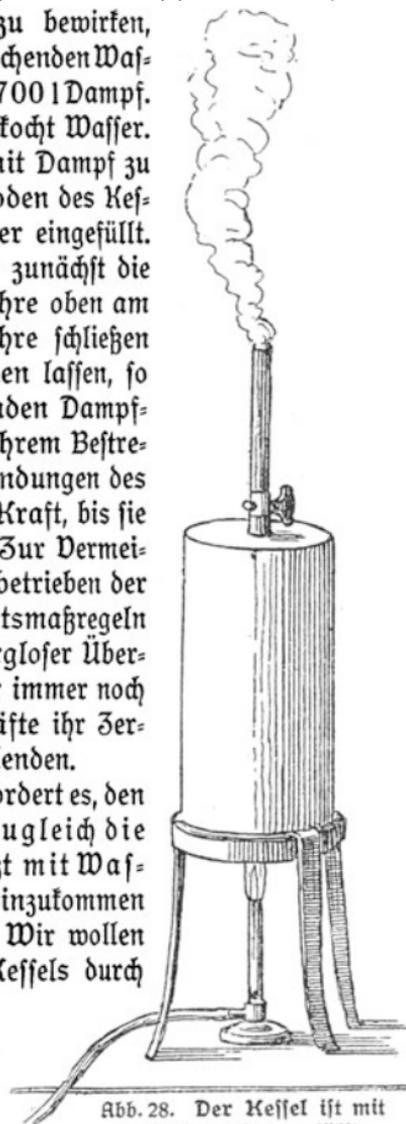


Abb. 28. Der Kessel ist mit Wasserdampf angefüllt.



Der Kessel ist in sich zusammengeknickt, mit dumpfem Knall schlugen die Innenwandungen aneinander, eine offenbar gewaltige Kraft hat sie zusammengepreßt! Wenn uns diese Erscheinung im ersten Augenblick auch überraschte, so liegen doch alle Ursachen, die sie bewirkten, klar vor unserm geistigen Auge.

In demselben Augenblick, in dem sich der Wasserdampf im Kessel infolge der Abkühlung wieder zu flüssigem Wasser verdichtete, verringerte sich sein Volumen auf $\frac{1}{1700}$, einen im Vergleich zu dem Inhalt des Kessels verschwindend kleinen Raum. Außer wenigen Tropfen Wasser befand sich also nichts in dem Kessel. Von außen drückte aber nach wie vor die Luft, und zwar die ganze Luftsäule über uns, — denn die

Abb. 29. Der Kessel wird in demselben Augenblick, in welchem sich der Wasserdampf infolge der Abkühlung zu flüssigem Wasser verdichtet, durch das Gewicht der Luft zusammengedrückt.

Luft in dem Raume, in dem wir uns befinden, steht durch Fenster und Türen in fortdauernder Verbindung mit der Luft draußen im Freien. Das Gewicht einer Luftsäule von 1 qcm beträgt 1 kg, wie wir wissen. Der Kessel hatte einen Umfang von 40 cm und eine Höhe von 25 cm. Soviel Quadratcentimeter die Oberfläche des Kessels betrug, soviel Kilo — mehr wie tausend — drückten plötzlich auf die äußeren Wandungen des Kessels, und diesem Drucke vermochten sie nicht zu widerstehen. Dieser Versuch bringt es uns überzeugend zur Anschauung, daß die Luft über uns ein Gewicht hat! Als die Luft gleichzeitig von innen und von außen auf die Wandungen des Kessels drückte, konnte eine Veränderung der Form desselben nicht stattfinden. — Hätten wir den Kessel mit einer Pumpe luftleer gemacht, so würde gleiche Wirkung eingetreten sein.

Auch unser Körper steht dauernd unter dem Drucke der Luft, er ist, wenn wir seine Oberfläche zu einem Quadratmeter annehmen, dem gewaltigen Druck von 10000 kg ausgesetzt. Wir empfinden diesen Druck nicht, weil er gleichzeitig von allen Seiten, von oben und von unten, von vorn und von hinten, von außen und von innen überall in gleicher Stärke wirkt.

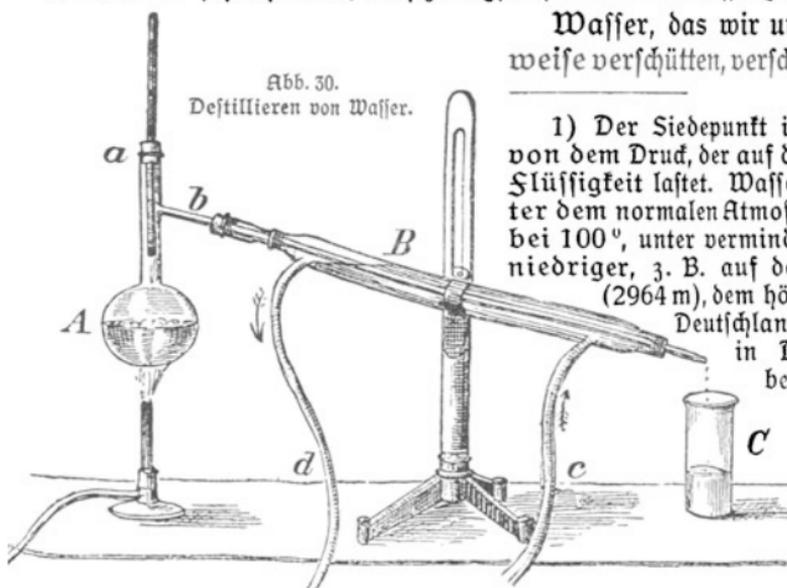
Destilliertes Wasser. Meer-, Brunnen-, Regenwasser. Kreislauf des Wassers in der Natur.

Die Wiederverdichtung von Wasserdampf zu flüssigem Wasser geht in anderer, geregelter Art und Weise hier vor unsern Augen vor sich (Abb. 30). In dem Glaskolben *A* kocht Wasser. Das von oben in den Kolben eingesenkte, durch den Kork *a* festgehaltene Thermometer zeigt unverrückt 100 Grad.¹⁾ Der Wasserdampf entweicht durch das seitliche Rohr *b*, dessen Verlängerung von einem Glasmantel umgeben ist. Durch denselben fließt beständig kaltes Wasser, es tritt durch den Schlauch *c* ein und läuft durch den andern Schlauch *d* wieder ab. In dem von dem Kühlmantel *B* umgebenen Teil des Glasrohres verflüssigt sich der Wasserdampf, die Wassertröpfchen sammeln sich, rinnen herab und tropfen in das untergestellte Glas *C*. — Diesen Vorgang, welchen der Chemiker vielfach zur Reindarstellung flüchtiger Körper benutzt, nennt man „destillieren“, das Produkt ist in dem vorliegenden Falle destilliertes Wasser. Wenn wir destilliertes Wasser verdampfen, so bleibt nichts übrig, anders ist es, wenn wir Brunnenwasser in gleicher Weise verdampfen, dann bleibt ein fester Rückstand zurück. Das sind die Stoffe, welche das Wasser in Berührung mit dem Erdreich aufgelöst hat.

In den Dampfkesseln der Fabriken setzen sich diese Rückstände oft in harten Krusten als Kesselstein ab, der von Zeit zu Zeit zu entfernen ist, da er die Wärme schlecht leitet, auch zu Explosionen Veranlassung geben kann.

Wasser, das wir unaachtsamerweise verschütten, verschwindet all-

Abb. 30.
Destillieren von Wasser.



1) Der Siedepunkt ist abhängig von dem Druck, der auf der siedenden Flüssigkeit lastet. Wasser siedet unter dem normalen Atmosphärendruck bei 100°, unter vermindertem Druck niedriger, z. B. auf der Zugspitze (2964 m), dem höchsten Berge Deutschlands, bei 89°, in Dampfkesseln bei gesteigertem Druck von 2 atm bei 120°C, von 3 atm bei 133°C usw.

mählich, es wird dampfförmig und mischt sich der Luft bei. Das Handtuch, das wir nach dem Händewaschen benutzen, trocknet wieder, die Pflügen und Lachen, die der Gewitterregen zurückläßt, verlieren sich um so schneller, je wärmer die Sonne darauf scheint. Der Wasserdampf steigt mit der Luft empor, verdichtet sich in den höheren kälteren Regionen zu Wolken, die als Regen oder Schnee wieder zur Erde fallen. Hier dringt das Wasser ein, bis es eine undurchlässige Schicht von Lehm, Ton oder felsiges Gestein erreicht, darauf rinnt es weiter, tritt als Quelle wieder zutage oder sammelt sich in von uns künstlich angelegten Brunnen an. Bei diesem unterirdischen Laufe nimmt das Wasser auf, was es an löslichen Stoffen findet. Bäche und Flüsse tragen es dem Meere zu. Was das Wasser bei diesem ewigen Kreislaufe dem Erdreich entzogen und den Ozeanen zugetragen hat, ist hier aufgehäuft. So erklärt sich der Salzgehalt des Meerwassers, der über drei Prozent beträgt; etwa ein Dreißigstel der gewaltigen Masse der Ozeane besteht aus solchen löslichen Salzen. Heute findet das Wasser — mit Ausnahme derjenigen Orte, wo es infolge besonderer Bodenbeschaffenheit in ungemessene Tiefen dringt und als Mineralquelle wieder zutage tritt — unter den gewöhnlichen Verhältnissen nur noch wenige lösliche Stoffe im Erdreich vor und ist bei seiner lösenden Arbeit hauptsächlich auf die Beihilfe der im Boden durch Verwesungsvorgänge entstehenden Kohlensäure angewiesen. Gutes Brunnenwasser enthält im Liter bis $\frac{1}{2}$ Gramm feste Stoffe, Fluß- und Teichwasser in der Regel nur die Hälfte. Das reinste in der Natur vorkommende Wasser ist das Regenwasser, welches nur in geringen Mengen die gasförmigen Bestandteile der Luft gelöst enthält, aber auch in derselben schwebenden Staub, Ruß usw. mit sich niederreißt.

Feste Stoffe in 1 l Wasser:

Totes Meer	bis 250 g	Mineralwasser . . .	0,6 bis 37,7 g
Atlant. u. andere Ozeane (Meerwasser)	35 bis 37 =	Brunnenwasser . . .	0,2 = 0,5 =
Ostsee	5 = 7 =	Fluß- u. Teichwasser	0,1 = 0,2 =
		Regenwasser	0,0 g

Wenn das Erdreich, wie es in der Nähe menschlicher Wohnstätten oft der Fall ist, durch Verwesungs- und Zersetzungsprodukte animalischen Ursprungs verunreinigt ist, so befördert das Wasser auch diese, soweit sie löslich sind, in die benachbarten Brunnen. Es ist Sache des Chemikers, wo diese Möglichkeit vorliegt, durch eine Untersuchung festzustellen, ob sich in dem Wasser derartige Zersetzungsprodukte vorfinden,

und wenn es der Fall ist, das Wasser als zu Genußzwecken untauglich zu bezeichnen. Im gewöhnlichen Leben verstehen wir daher unter einem guten, reinen Wasser, wie es uns die Natur liefert, keineswegs chemisch reines Wasser, sondern ein solches, welches frei von den Beimengungen ist, die auf die angedeuteten Zerlegungsvorgänge zurückführen lassen. Das chemisch reine, das destillierte Wasser schmeckt fade, es hat nicht den erfrischenden Geschmack eines guten Trinkwassers, mit welchem wir unserm Körper kleine Mengen zur Ernährung unentbehrlicher Salze zuführen. —

Die im Brunnenwasser hauptsächlich enthaltenen Kaltsalze bedingen die Härte des Wassers. Hartes Wasser schäumt nicht mit Seife, eignet sich daher nicht zum Waschen, auch nicht zum Kochen von Hülsenfrüchten.

Die Mineralquellen werden seit altersher als heilkräftig geschätzt, viele sind heiß (Baden-Baden 67°, Karlsbader Sprudel 74°, Petersquelle im Kaukasus 90°, Genfir auf Island u. a. m.). Je nach dem vorherrschenden Gehalt an gewissen Stoffen werden die Mineralwässer als: Säuerlinge (kohlen-saures Natrium und viel Kohlensäure), Eisen- oder Stahlwässer (kohlen-saures Eisen), Solquellen (Kochsalz) usw. unterschieden. Daneben enthalten viele Mineralwässer geringe Mengen spezifisch wirkender Stoffe, wie Lithium, Brom, Jod, Bor, Arsen.

Als man die Zusammensetzung der verschiedenen Mineralquellen erkannte hatte, stellte man durch Zusammenmischen der einzelnen Stoffe künstliche Mineralwässer her. Obgleich die künstlichen Mineralwässer auf das sorgfältigste bereitet wurden, zeigten sie nicht immer die Wirkung des an der Quelle getrunkenen natürlichen Wassers. Es fehlte der „Brunnengeist“, der nach der Entdeckung des Radiums (1898) als die in vielen Mineralquellen enthaltene Emanation¹⁾ entlarvt ist.

Der dumpfe Knall, den wir soeben hörten, wurde durch das Platzen der Bombe verursacht, die wir vor einer halben Stunde in die Kältemischung legten. Es war gut, den Eimer zu bedecken, denn ich hörte, wie ein Sprengstück an den Deckel schlug, der es verhinderte, weiter fortzufliegen und Schaden anzurichten. Nur wenige Stücke sind beim Bersten der Bombe entstanden, alle aber finden wir beim genaueren Betrachten an den Innenwandungen mit einer festhaftenden Eisschicht bedeckt.

Wenn in sehr strengen Winternächten im Waschbecken des ungeheizten Schlafzimmers Eisnadeln sich bilden, dann friert auch in den Leitungsröhren das Wasser. Die Röhren werden dabei nicht in einzelne Stücke zertrümmert, weil sie aus Schmiedeeisen sind, in der Regel reißen sie der Länge nach auf; man merkt den Schaden erst, wenn Tauwetter eintritt und das Wasser aus den Rissen hervorquillt.

1) Näheres hierüber siehe: M. Centnerszwer, Das Radium u. die Radioaktivität, ANuG 405.

Es ist daher ratsam, bei starkem Frost die Wasserleitung über Nacht abzusperrern und das hinter der Absperrstelle befindliche Wasser aus dem an der tiefsten Stelle der Hausleitung angebrachten Hahn auslaufen zu lassen.

Auch die festesten Felsen verwittern allmählich. Eine Reihe von Ursachen bewirken dies, eine davon ist der Frost. Das Wasser, welches in die Spalten, in die feinsten Risse und Poren eindringt, dehnt sich beim Erstarren zu Eis aus und lockert auf diese Weise die Oberfläche der härtesten Gesteine, bis sie im Laufe der Zeiten in Trümmer zerfallen.

Zerlegung des Wassers durch den elektrischen Strom (Knallgas).

Die bisher betrachteten Eigenschaften des Wassers waren solche, die wir als physikalische zu bezeichnen haben. Wenn wir uns nun die Frage vorlegen: woraus besteht das Wasser, welche chemische Zusammensetzung hat das Wasser?, so kann hierbei nur das reine, destillierte Wasser in Betracht kommen.

Die Zerlegung des Wassers in seine Bestandteile läßt sich auf un-
gemein einfache Weise bewerkstelligen. Dasjenige Hilfsmittel, dessen wir uns bisher vorzugsweise zur Herbeiführung chemischer Vorgänge bedienten, war die Wärme. Unter dem Einfluß der Wärme sahen wir das Kupfer sich mit Sauerstoff vereinigen, das Quecksilberoxyd entstehen und wieder zerfallen und manches andre. Wie die Wärme vermögen auch die andern Energiequellen, das Licht, der elektrische Strom chemische Vorgänge zu veranlassen, wir wollen uns des elektrischen Stromes bedienen.



Abb. 31. Zerlegung des Wassers durch den elektrischen Strom.

An den Enden der beiden Kupferdrähte, die mit einer Batterie *EE* (Abb. 31) in Verbindung stehen, sind Streifen von Platinblech befestigt. Nähern wir dieselben einander, bis sie sich berühren, so ist der Stromkreis geschlossen und der elektrische Strom fließt durch die Drähte. Tauchen wir die Platinblechstreifen (Elektroden) in ein Glas mit Wasser, das, um es leitend (S. 103) zu machen, mit etwas Schwefelsäure versetzt ist (Abb. 31), so nimmt der elektrische Strom seinen Weg von der einen Elektrode zur andern durch das Wasser. Was beobachten wir hierbei? Gasblasen steigen aus dem Wasser auf, die sich fortwährend von beiden Elektroden lösen und in die Luft entweichen, solange der Strom durch das Wasser geht.

Wollen wir die Gase auffammeln, so müssen wir ein verschließbares Zeretzungsgefäß benutzen (*A*, Abb. 32). Die Gase entweichen hier durch das Glasrohr *a* und sammeln sich in dem kleinen, etwa 100 ccm fassenden Fläschchen *F* an. Meine Absicht ist, die Gase auf ihre Brennbarkeit zu prüfen. Damit nichts verloren gehe, verschließe ich das Fläschchen, nachdem es mit den Gasen ganz gefüllt ist, noch unter Wasser mit dem Korkstopfen *b*. Erst unmittelbar, bevor ich die Öffnung des Fläschchens einer Flamme nähere, lüfte ich den Stopfen wieder. Der Versuch ist mit der geringen Gasmenge ungefährlich, da man aber keine Vorsicht außer acht lassen soll, schiebe ich die aus Drahtnetz gefertigte Kappe *K* über das Fläschchen, ehe ich den Versuch anstelle — ein Knall, stärker wie von einem Pistolenschuß, wird den Raum durchdringen!

Der Knall war so stark, daß, obgleich darauf vorbereitet, nicht jeder von uns eines unwillkürlichen Zusammenzuckens sich erwehren konnte. Wir entnehmen daraus, daß Versuche mit diesem Gasgemisch die allergrößte Vorsicht erfordern und wollen daher, um ungefährdet zu unserm Ziele zu gelangen, einen andern Weg einschlagen.

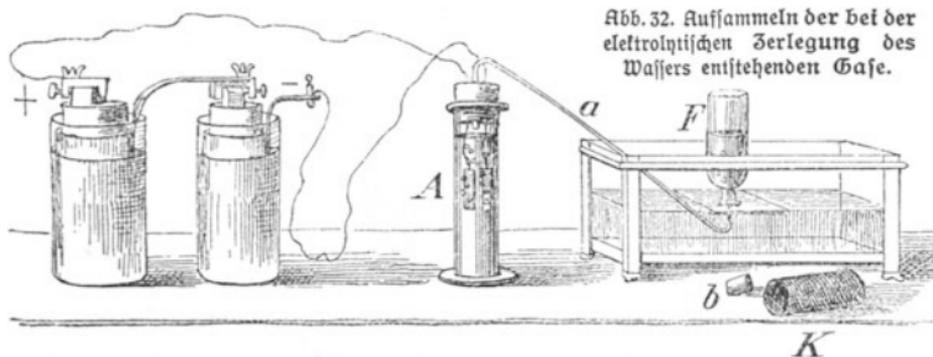
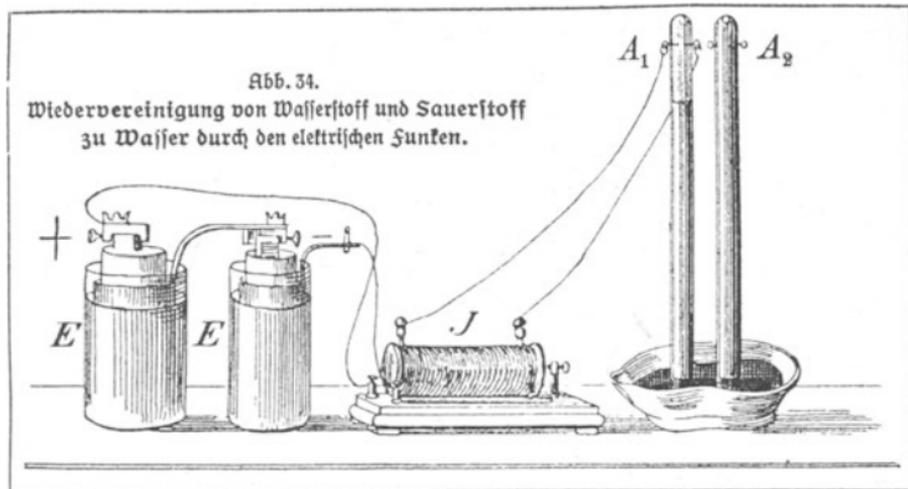


Abb. 32. Auffammeln der bei der elektrolytischen Zerlegung des Wassers entstehenden Gase.



Raumverhältnisse, in welchen die beiden Gase bei der Zersetzung des Wassers auftreten. Ohne weiteres sehen wir in dem Schenkel *A* die Gasblasen viel reichlicher aufsteigen, wie in *B*. Genaue Messungen haben ergeben, daß die Raummenge des frei werdenden Wasserstoffs doppelt so groß ist, wie die gleichzeitig entstehende Sauerstoffmenge.

Eine weitere Frage, die sich uns aufdrängt, ist: Besteht das Wasser nur aus Sauerstoff und Wasserstoff? Diese Frage läßt sich folgendermaßen durch den Versuch beantworten. Wenn es gelingt, Sauerstoff und Wasserstoff wieder chemisch miteinander zu verbinden, und wenn das Produkt der Wiedervereinigung beider Gase Wasser ist, dann kann das Wasser nur aus den genannten Grundstoffen bestehen. Denn wäre im Wasser noch ein anderer Grundstoff enthalten, dann könnten wir ihn auch nicht entbehren bei dem Wiederaufbau des Ganzen aus seinen Elementen. Der Versuch ist bereits vorbereitet. In der Glasröhre *A*₁ (Abb. 34) befindet sich über Quecksilber abgesperrt ein Gasgemisch, welches nur Wasserstoff und Sauerstoff enthält, und zwar genau in demselben Verhältnis, in dem wir die Gase aus dem Wasser entstehen sahen. Die Erfahrung hat gelehrt, daß die beiden Elemente, selbst wenn man nur einen kleinen Bruchteil der Mischung zum Glühen erhitzt, sich plötzlich explosionsartig miteinander verbinden. Wir könnten also den oberen Teil der Glasröhre, welcher die Gas Mischung enthält, mit einer Flamme erhitzen, aber es würde eine geraume Zeit dauern, bis wir den erforderlichen Hitzeegrad erreichen. Viel einfacher kommen wir zum Ziele, wenn wir uns des elektrischen Funken bedienen. Die beiden kurzen

Platindrähtchen, welche in der Kuppe der Glasröhre eingeschmolzen sind, reichen nur ein wenig ins Innere der Röhre, so daß sich die Enden nicht berühren; außen sind sie ösenförmig umgebogen. Bevor wir jedoch die Leitungsdrähte, welche uns den Strom zur Erzeugung des elektrischen Funkens zuführen sollen, in die Ösen hängen, verschließe ich die untere, auf dem Boden der Quecksilberwanne ruhende Öffnung der Röhre fest mit einem Gummistopfen, um zu verhindern, daß bei der Explosion das Quecksilber aus der Röhre geschleudert wird.¹⁾ Zwischen unserm Apparat und der Batterie (EE) ist ein Funkeninduktor (J) eingeschaltet; der primäre Strom wird durch denselben in einen sekundären Induktionsstrom verwandelt, der Funken von genügender Länge gibt.

In demselben Moment, in dem ich den Stromkreis schließe, springt der Funke zwischen den Enden der Platindrähtchen über, die Gase in der Röhre leuchten blitzartig auf, und zugleich erscheinen die Innenwandungen wie von Wasserdampf beschlagen. Ich entferne den Stopfen aus der unteren Öffnung der Röhre, sofort schnellt das Quecksilber empor. Das Gasgemisch ist verschwunden, den Raum, welchen es zuvor innehatte, füllt jetzt das Quecksilber aus (A₂, Abb. 34), nur wenn wir genau zusehen, beobachten wir auf demselben, kaum so groß wie eine Stechnadelkuppe, ein kleines Tröpfchen, das, wenn wir es abkühlen, fest wird, das beim Erwärmen verdampft und alle Eigenschaften des Wassers zeigt. Weil also bei der Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff Wasser entsteht, schließen wir rückwärts: Wasser besteht nur aus Wasserstoff und Sauerstoff.

Die Vereinigung beider Gase findet in äußerst energischer Weise statt. Da die Röhre unten fest verschlossen war, konnte keine Raumveränderung, infolgedessen auch keine Schallwirkung auftreten. Als wir aber bei dem früheren Versuche (S. 45) die Mündung des Fläschchens, in dem wir die bei der Zersetzung des Wassers freigewordenen Gase auffammelten (Abb. 32), einer Flamme näherten, konnte der entstandene, durch die Reaktionswärme erhitzte Wasserdampf sich ungehindert ausdehnen und einen Augenblick die Luft weit fortschleudern. Die sofort wieder zusammenschlagenden Luftflächen und die in das Fläschchen hineinstürzende Luft veranlaßten den Knall, den wir hörten. Ein solches Gemenge von Wasserstoff und Sauerstoff hat man Knallgas genannt. Es ist davor zu warnen, ohne besondere Vorsichtsmaßregeln größere Mengen Knallgas, als wir zu unsern Versuchen benutzten, zu entzünden.

1) Die Röhre ist vor Anstellung des Versuchs in ein Stativ fest einzuklemmen.

Zersetzung des Wassers durch Kalium und Natrium.

Der Wasserstoff läßt sich aus dem Wasser in mannigfacher Art freimachen, insbesondere durch die Einwirkung verschiedener Metalle auf das Wasser. Schon bei gewöhnlicher Temperatur wirken gewisse Metalle auf das Wasser ein. In unsrer ersten Zusammenkunft lernten wir die Einwirkung des Kaliums auf Wasser kennen. Wir wollen den Versuch wiederholen! (Abb. 35.)



Abb. 35.
Einwirkung von Kalium auf Wasser im offenen Glase.

Ein ganz ähnliches Metall ist das Natrium, das im Kochsalz, in der Soda und in vielen andern Salzen enthalten ist. Von dem Barren, der mir zur Verfügung steht, schneide ich ein kleines Stück mit dem Messer ab und

werfe es, wie vorhin das Kalium, in ein Glas mit Wasser. Auch das Natrium schmilzt zu einer Kugel, die auf dem Wasser stoßweise hin und her fährt, ohne jedoch ins Glühen zu kommen, immer kleiner wird und bald mit zischendem Geräusch verschwindet. Ich will nun versuchen, den Vorgang unter Wasser zu zeigen. Mit Kalium wage ich den Versuch nicht anzustellen, weil er in Folge der energischeren Einwirkung des Kaliums nicht ungefährlich ist. Wenn ich nun ein kleines Stückchen Natrium mit einer Stricknadel aufspieße und rasch in das Wasser der Wanne (Abb. 36) tauche, so löst es sich los und steigt auf, da es leichter als Wasser ist. Es ist mir in der That gelungen, das Natrium genau unter die Mündung des Zylinders A zu bringen¹⁾, in dem es jetzt schwimmt. Dabei beobachten wir eine höchst merkwürdige Erscheinung: In dem Zylinder sammelt sich ein Gas an, dessen Menge fortdauernd zunimmt und das Wasser aus dem Zylinder so lange verdrängt, bis die ganz ebenso wie im offenen Glase immer kleiner wer-



Abb. 36. Bei der Einwirkung von Natrium auf Wasser entsteht ein Gas.

1) Es gelingt dies sicher, wenn man das Stückchen Natrium zuvor in wenig trocknes Filtrierpapier einwickelt.

dende Natriumfugel verschwunden ist. Dieses Gas erweist sich, wenn wir es untersuchen, als brennbar und ist nichts anderes als Wasserstoff. Bei der Einwirkung von Natrium (oder Kalium) auf Wasser verbindet sich der Sauerstoff mit dem Metall, und der Wasserstoff wird frei.

Hierdurch erklärt sich das Flämmchen, das wir beobachteten, als wir ein Stück Kalium auf Wasser warfen. Bei dem Versuche mit Natrium entzündete sich der Wasserstoff nicht, weil hier die Wärmeentwicklung geringer ist. Legt man ein Stück Löschpapier auf das Wasser und bringt man nun etwas Natrium auf das feuchte Papier, so steigert sich infolge der Reibung die Wärme auch hier bis zur Entzündung des Wasserstoffs. Die Flammenhülle ist jedoch nicht violett wie beim Kalium, sondern gelb gefärbt. (S. 113.)

Darstellung, Eigenschaften und Vorkommen des Wasserstoffs. Bedeutung des Wassers für die Vorgänge in der Natur.

In ganz ähnlicher Weise wirken Eisen, Zink und andre Metalle auf das Wasser ein, allerdings erst, wenn wir über die zum Glühen erhitzten Metalle Wasserdampf leiten. Jedoch gelingt die Zersetzung des Wassers durch die genannten Metalle auch bei gewöhnlicher Temperatur, wenn wir dem Wasser eine Säure zusetzen. In der Flasche A (Abb. 37) von etwa 2 l Inhalt befindet sich granuliertes¹⁾ Zink (100 g).

Gießen wir Wasser (200 ccm) darauf, so findet keine Einwirkung statt; erst wenn wir etwas konzentrierte Schwefelsäure (50 ccm) hinzufügen, so beobachten wir eine lebhafte Gasentwicklung. Das Gas ist Wasserstoff, was wir sogleich an seiner Brennbarkeit erkennen werden. Verschließen wir die Flasche durch einen Stopfen, dessen Durchbohrung ein Glasrohr trägt, so kann das Gas aus der Spitze der Röhre entweichen. Solange die Luft nicht vollständig aus der Flasche verdrängt ist, entweicht ein Gemisch von Wasserstoff und Luft, d. i. Knallgas, verdünnt durch Stickstoff — Luftknallgas, das wir nach unsern Erfahrungen nicht zu entzünden wagen. Um



Abb. 37. Ist die Entzündung des aus der Flasche entweichenden Wasserstoffgases gefahrlos?

1) Wie man es erhält, wenn man geschmolzenes Zink in Wasser gießt.

sicher zu gehen, fange ich eine Probe der ausströmenden Gase in einem nur wenige Kubikzentimeter fassenden Probierröhrchen auf, das ich über die Ausströmungsöffnung unsres Apparates schiebe (Abb. 37), um zunächst diese kleine Probe auf ihre Brennbarkeit zu prüfen. Tritt Verpuffung ein, dann warten wir noch; erst wenn es mit ruhiger Flamme im Gläschen herabbrennt, ist es gefahrlos, das aus dem Apparat strömende Gas zu entzünden.

Wasserstoff verbrennt mit blauer, nur wenig leuchtender Flamme, die sich, wie die Flammhülle um das Natriumkügelchen gelb färbt, wenn die Glasspitze heiß wird. Diese Gelbfärbung verrät uns, daß in dem Glase Natrium enthalten ist. Das Verbrennen des Wasserstoffs ist nichts andres als eine ununterbrochen fortlaufende chemische Vereinigung des Wasserstoffs mit Sauerstoff, welchen die von allen Seiten heranströmende Luft der Flamme zuführt. Das Produkt der Verbrennung ist Wasser. Eine Glasglocke B, über die Flamme ge-



Abb. 38. Bei der Verbrennung von Wasserstoff entsteht Wasser.

halten (Abb. 38), beschlägt, die Wassertropfchen werden allmählich größer und rinnen herab.

Eine sehr bemerkenswerte Eigenschaft des Wasserstoffs ist sein geringes Gewicht. Daß Wasserstoff leichter ist als Luft, läßt sich durch einen einfachen Versuch zeigen. Aus dem kleinen vor mir liegenden Ballon, der aus einem dünnen Kollodiumhäutchen besteht, drücke ich vorsichtig die Luft und schiebe es nun über die Spitze der Glasröhre unsres Wasserstoffapparates. Sogleich füllt sich der Ballon mit Wasserstoff, er strebt, sich meinen Händen zu entwinden, und steigt jetzt auf (Abb. 39) bis zur Decke des Zimmers. 1 l Wasserstoff wiegt nicht ganz neun Hundertstel Gramm, die Luft ist vierzehnmal so schwer.

Mit vielen andern Elementen geht der Wasserstoff chemische Verbindungen ein. So kennen wir Verbindungen des Wasserstoffs mit Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor, Schwefel, ferner Verbindungen, welche



Abb. 39. Wasserstoff ist leichter als Luft.

außer Wasserstoff mehrere Elemente, z. B. Sauerstoff, Kohlenstoff und Stickstoff zugleich enthalten. Derartige Verbindungen sind in den Gebilden vegetabilischen und animalischen Ursprungs enthalten und für die Lebensvorgänge der Organismen unentbehrlich.

Zwei Drittel der Erdoberfläche sind vom Wasser bedeckt und oft bis zu gewaltigen Tiefen. Von den Höhen der Berge herabstürzend, reißt es alles mit sich fort, was ihm entgegentritt, und lagert es an tieferen Stellen wieder ab, bis es sich einen Weg gebahnt hat, in dem es ruhiger dahinfließt. Das Wasser besorgt in der Natur den Transport fester Massen sowie gelöster Stoffe und vermittelt auf diese Weise die mannigfachen geologischen und chemischen Vorgänge. Der Regen bedingt die Fruchtbarkeit der Felder. Das Wasser ist ein Kapital, welches die Natur unaufhörlich umsetzt, um reichen Nutzen daraus zu ziehen.

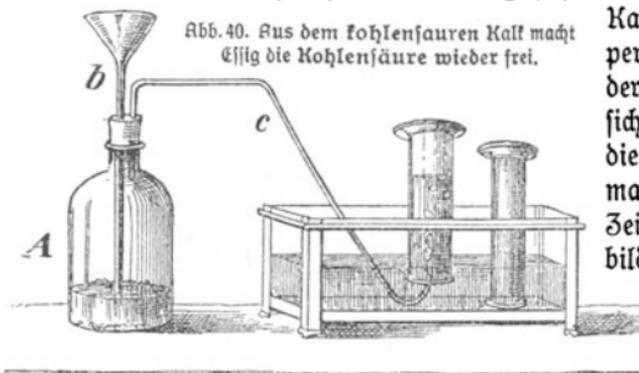
IV. Kohlensäure.

Darstellung und Eigenschaften.

Als wir uns damit beschäftigten, die Zusammensetzung der Luft zu ermitteln, machten wir unter anderm auch die Beobachtung, daß eine klare Flüssigkeit, die wir in eine offene Schale gossen, sich allmählich trübte. Die Flüssigkeit bestand aus einer Lösung von Kalk in Wasser, wie man sie erhält, wenn man gelöschten Kalk mit Wasser zusammenbringt, tüchtig umschüttelt und nach dem Absetzenlassen die klare Lösung abgießt. Die Trübung des Kalkwassers wird veranlaßt durch einen Bestandteil der Luft, die Kohlensäure, welche, wie wir wissen, nur einen geringen Bruchteil, nur drei Zehntausendstel, der atmosphärischen Luft ausmacht. Die Kohlensäure vereinigt sich mit dem im Wasser gelösten

Kalk zu einem festen Körper, dem kohlensauren Kalk, der in Wasser unlöslich ist, sich daher ausscheidet und die Lösung trübt. Wenn man Kalkwasser längere Zeit an der Luft stehen läßt, bildet sich allmählich mehr und mehr kohlensaurer Kalk, der sich dann leicht durch Filtrieren

Abb. 40. Aus dem kohlensauren Kalk macht Essig die Kohlensäure wieder frei.



von der Flüssigkeit trennen läßt (Abb. 25, S. 32). Auf diese Weise habe ich größere Mengen von kohlen-saurem Kalk gesammelt, aus dem wir nun die Kohlen-säure, welche das Kalkwasser aus der Luft aufnahm, wieder frei machen wollen. Es gelingt dies, wenn man Essig oder eine andre Säure darauf gießt. Unter Aufbrausen entweicht die Kohlen-säure (Abb. 40) als farbloses Gas, durchsichtig wie die Luft, und

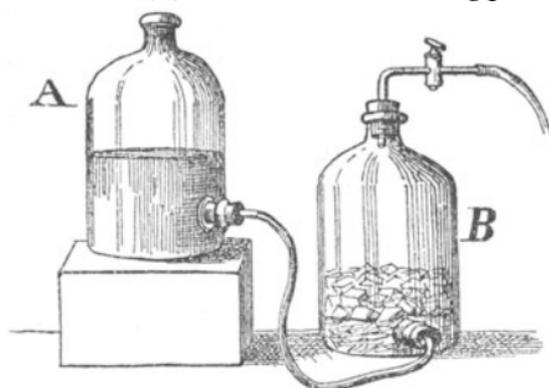


Abb. 41. Apparat zur Darstellung von Kohlen-säure aus Marmor und Salzsäure.

bald sind unfre Zylinder mit dem Gase gefüllt, so daß wir nun reine Kohlen-säure zur Verfügung haben und ihre Eigenschaften studieren können.

Bei der Untersuchung von Gasen haben wir uns immer die Frage vorgelegt, ob das Gas brennbar ist. Wir sehen, wenn wir die Öffnung eines unfreer Zylinder, in denen wir die Kohlen-säure auffangen, der Flamme nähern, daß die Kohlen-säure nicht brennbar ist. Wenn wir einen glimmenden Span in das Gas tauchen, hört er sofort auf zu glimmen, der brennende Span, ein brennendes Licht und andre brennende Körper erlöschen augenblicklich in dem Gase. Wir haben früher ein andres Gas, welches dasselbe Verhalten zeigte, den Stickstoff, kennen gelernt, wir erinnern uns, daß der Stickstoff den Atmungsprozeß nicht zu unterhalten vermag, und in gleicher Weise ersticken Tiere und Menschen in Kohlen-säure. Ein wesentlicher Unterschied besteht aber zwischen beiden Gasen, Stickstoff trübt Kalkwasser nicht.

Um es uns zu veranschaulichen, wie brennende Kerzen in Kohlen-säure verlöschen, wollen wir einen Versuch anstellen, zu dem wir größere Mengen Kohlen-säure brauchen. Da es zeitraubend und mühsam ist, größere Mengen von kohlen-saurem Kalk durch Einwirkung der Luft auf Kalkwasser herzustellen, wollen wir uns die Kohlen-säure zu dem Versuche aus kohlen-saurem Kalk, wie ihn uns die Natur in überreicher Menge liefert, herstellen. Kreide, Marmor, gewöhnlicher Kalkstein sind nichts andres als kohlen-saurer Kalk. In der einen der beiden Flaschen (Abb. 41), die durch einen Schlauch miteinander verbunden sind, befinden sich Marmorstücke¹⁾, die andre enthält Salzsäure. In

1) Der Boden der Flasche ist, soweit die Säure aus der unteren Öff-

dem Stopfen, welcher die Flasche B verschließt, steckt eine Röhre mit Glashahn. Öffne ich den Hahn, so fließt die Säure aus A zum Marmor in B und es erfolgt eine lebhafteste Kohlensäureentwicklung.

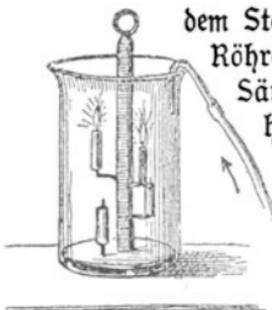


Abb. 42. Verlöschcn von Kerzenflammen durch Zufließen von Kohlensäure.

An dem Drahtgestell (Abb. 42) befinden sich in verschiedener Höhe kleine Stearinkerzen, die ich anzünde und in ein Becherglas setze. Nun wollen wir aus unserm Apparat einen Kohlensäurestrom in das Glas leiten. Was beobachten wir? Zuerst verlöscht das unterste Licht, sehr bald verlöschen auch die übrigen, aber in ganz bestimmter Reihenfolge von unten nach oben. Aus diesem Versuche folgern wir, daß die

Kohlensäure schwerer als Luft ist, sie sinkt zunächst auf den Boden des Glases, steigt allmählich höher und verdrängt schließlich die Luft vollständig, was wir an dem Verlöschen des letzten Flämmchens erkennen.

In der Tat ist die Kohlensäure erheblich schwerer wie die Luft. Das läßt sich auch mit der Wage leicht nachweisen. Es wiegt (bei 0° und 760 mm)

1 Liter Kohlensäure	1,967 g
1 " = Luft . . .	1,294 "
	0,673 g

Man kann daher ganz ähnlich, wie man Wasser aus einem Glase in das andre gießt, Kohlensäure aus einem Gefäß in das andre umfüllen (Abb. 43); sie strömt auf den Boden des Zylinders und treibt die Luft aus. Der brennende Span, den ich in den Zylinder einführe, verlöscht; Kalkwasser, das ich eingieße, trübt sich sofort! Wir erkennen hieraus, daß die Kohlensäure aus dem einen Gefäß in das andre floß, obgleich wir es nicht mit den Augen verfolgen konnten.

Diese Eigenschaft der Kohlensäure, schwerer als Luft zu sein, erklärt es, daß Kohlensäure, wo sie entsteht, an den tiefsten Stellen sich anhäuft. Das ist besonders der Fall in Gärkellern, in Brunnen und Schächten, die schlecht oder nicht ventiliert sind. Wenn jemand es wagen würde, in einen solchen Brunnen zu steigen, so würde er bald schwindlig werden, hinabfallen und ersticken. Dasselbe Schicksal abzulaufen vermag, mit Kieselsteinen bedeckt, auf welchen die Marmorstücke liegen.



Abb. 43. Umfüllen von Kohlensäure.

sal ereilt denjenigen, der ihn zu retten unternimmt, wenn nicht zuvor die nötigen Vorsichtsmaßregeln getroffen sind. Leider kommen derartige Unglücksfälle immer noch vor, und nichts ist leichter und einfacher, als sich davon zu vergewissern, ob es gefahrlos ist, in einen Brunnen zum Zwecke der Ausbesserung oder aus andern Gründen zu steigen. Wenn man zuvor ein brennendes Licht hinabläßt und dasselbe in der Tiefe verlöschen sieht, dann ist Gefahr vorhanden, wenn es weiter brennt, nicht.

Beim Einleiten von Kohlensäure in Kalkwasser scheidet sich kohlen-saurer Kalk aus, setzt man aber das Einleiten weiter fort, dann verschwindet die Trübung wieder, weil der kohlen-saure Kalk im Überschuß der Kohlensäure löslich ist. Wird durch Erwärmen der Lösung die Kohlensäure ausgetrieben, so scheidet sich der kohlen-saure Kalk wieder aus.

Das in der Natur vorkommende Wasser enthält stets mehr oder weniger Kohlensäure (S. 42) und wirkt nicht nur auf Kalk, sondern auch auf andre Stoffe (Magnesia, Eisenoxydul) lösend ein. Wenn die Sonne die Oberfläche der Seen und der Meere erwärmt, verringert sich der Gehalt des Wassers an Kohlensäure, die gelösten Stoffe scheiden sich aus und sinken in die Tiefe. Im Laufe der Zeiten häuften sich hier Massen auf Massen, vulkanische Vorgänge brachten sie an die Oberfläche — so erklären die Geologen die Entstehung der Kalkgebirge, der Dolomite usw.

Flüssige und feste Kohlensäure.

Wir haben uns des Wasserdampfes mehrfach bedient, um die Eigenschaften der Körper in gasförmigem Zustande zu studieren. Wird Wasserdampf abgekühlt, so geht er in flüssiges Wasser über. Die gleiche Erscheinung zeigen alle Gase, der Grad der Abkühlung, den sie erleiden müssen, ist aber sehr verschieden. Kohlensäure wird bei gewöhnlichem Luftdrucke erst flüssig, wenn sie einer Kälte ausgesetzt wird, die 80° unter dem Gefrierpunkt des Wassers liegt. Der strengste sibirische Winter bringt eine solche Kälte nicht hervor, in der Natur kommt die Kohlensäure daher nur im gasförmigen Zustande vor. Auf künstlichem Wege lassen sich aber noch viel weiter gehende Temperaturerniedrigungen herbeiführen.

Setzen wir ein Gas einem gesteigerten Druck aus, so wird der Raum, den es einnimmt, immer kleiner. Die einzelnen Gasteilchen nähern sich mehr und mehr, bis sie sich schließlich bei einem bestimmten Druck plötzlich zu Tröpfchen verdichten.

Es gibt also zwei Möglichkeiten, Gase zu verflüssigen: Temperaturerniedrigung und Drucksteigerung. In den meisten Fällen

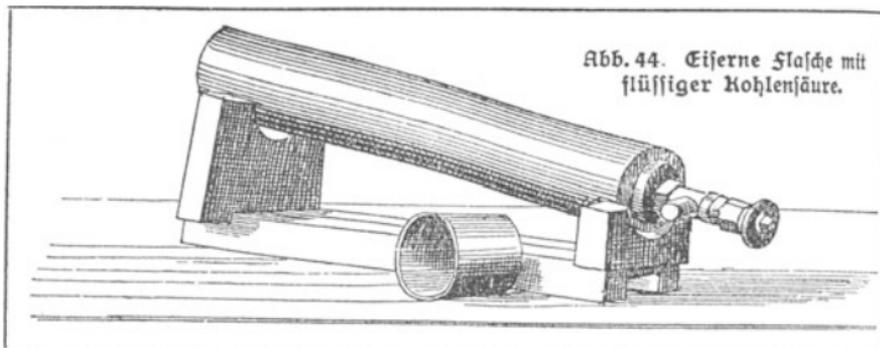


Abb. 44. Eiserne Flasche mit flüssiger Kohlen säure.

ist es, wenn man größere Mengen eines Gases verflüssigen will, zweckmäßig, beide Hilfsmittel zur Anwendung zu bringen. Auf diese Weise werden unter Anwendung kräftiger Druckpumpen und gleichzeitiger Wasserkühlung große Mengen flüssiger Kohlen säure fabrikmäßig hergestellt. In der Flasche aus schmiedbarem Eisen (Abb. 44), die eine Länge von etwa 100 cm und einen Durchmesser von 10 cm hat, befinden sich 8 kg flüssiger Kohlen säure, welche durch Zusammenpressen von 4000 l gasförmiger Kohlen säure erhalten wurden. Die flüssige Kohlen säure hat gegenwärtig dieselbe Temperatur wie die andern Gegenstände, die sich mit uns in dem Raume befinden; das an der Wand hängende Thermometer zeigt 17° . Bei dieser Temperatur bedarf es, um Kohlen säure im flüssigen Zustande zu erhalten, eines Druckes, der dem Gewichte einer Luftschicht, 55 mal schwerer wie die über uns befindliche, entsprechen würde. Dieser gewaltige Druck von 55 Atmosphären lastet auf den Innenwandungen der eisernen Flasche und hätte sie, wäre sie nicht aus so vorzüglichem Material gearbeitet, längst zersprengt. Doch wir brauchen die Gefahr nicht zu fürchten, da solche Flaschen, bevor sie in Gebrauch genommen werden dürfen, vorschriftsmäßig auf ihre Haltbarkeit geprüft und dabei einem Druck von 150 Atmosphären ausgesetzt werden.

Die eiserne Flasche ist so in das Holzgestell gelegt, daß das Ende, an dem sich das Ventil befindet, tiefer als der Boden der Flasche liegt. Den tiefer liegenden Teil füllt die flüssige Kohlen säure aus, soweit ihre Menge reicht, darüber ist gasförmige Kohlen säure gelagert, die mit dem vollen Innendruck die Flüssigkeit herauspreßt, wenn wir den Verschluß lüften. In einem Beutel aus grobem Gewebe wollen wir etwas von dem Inhalte der Flasche auffammeln; ich binde den Beutel fest um die Mündung des Ventils und öffne es vorsichtig. Das scharf

zischende Geräusch verrät uns das gewaltsame Ausströmen der Kohlen säure. Der Beutel bläht sich auf und das steif gewordene Gewebe faßt sich hart an, wie wenn es gefroren wäre. Wenn wir nun den Inhalt des Beutels näher untersuchen, überrascht uns eine unerwartete Erscheinung. Eine feste weiße Masse, ähnlich dem Schnee, fällt beim Umstülpen des Beutels heraus; die flüssige Kohlen säure ist fest geworden. Wie erklärt sich das? Die Kohlen säure siedet unter dem gewöhnlichen Druck der Luft, d. i.

unter 1 Atmosphäre bei	— 80°	unter 40 Atmosphären bei	+ 5°
= 10 Atmosphären =	— 40°	= 50	= + 13°
= 20	= — 20°	= 60	= + 20°
= 30	= — 4°		usw.

Sobald die flüssige Kohlen säure, deren Temperatur im Innern der Flasche, wie wir soeben feststellten, 17° beträgt, beim Öffnen des Ventils herausgepreßt wird und nunmehr sich unter dem gewöhnlichen Atmosphärendruck befindet, gerät sie in lebhaftes Kochen. Die Temperaturdifferenz von — 80° bis + 17° = 97° veranlaßt ein stürmisches Sieden. Hierzu wird Wärme verbraucht (S. 39), welche der umgebenden



Abb. 45. Feste Kohlen säure.

Luft und dem noch nicht verdampften Anteil der flüssigen Kohlen säure entzogen wird, der infolge der rapiden Abkühlung zu dem festen Körper erstarrt, den wir hier (Abb. 45), einem kleinen Schneeberg gleichend, vor uns sehen. Die feste Kohlen säure schmilzt nicht an der Luft, weil ihr Siedepunkt beim Druck einer Atmosphäre etwas niedriger liegt wie ihr Schmelzpunkt; sie verschwindet auch nicht sofort vor unsern Augen, weil die zu ihrer Verdampfung erforderliche Wärme nur allmählich mit der Luft, die ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, an sie herantritt.

Trotz der großen Kälte, welche der festen Kohlen säure innewohnt, kann ich mir ein Stück auf die Hand legen. Unablässig verdampft die Kohlen säure, und es befindet sich fortwährend eine Gasschicht zwischen dem festen Stück und meiner Hand. Da alle Gase die Wärme schlecht leiten, kann ich es eine Zeitlang aushalten, ich werde mich aber wohl hüten, das Stück fest in die Hand zu drücken, so daß die Berührung eine innigere wird, das würde eine äußerst schmerzhaft Verletzung, ähnlich den Brandwunden, zur Folge haben.

Die feste Kohlen säure eignet sich vorzüglich zur Erzeugung großer Kälte. Das zeigt sich ohne weiteres beim Zusammenbringen mit guten

Abb. 46.
Festes
Quecksilber.

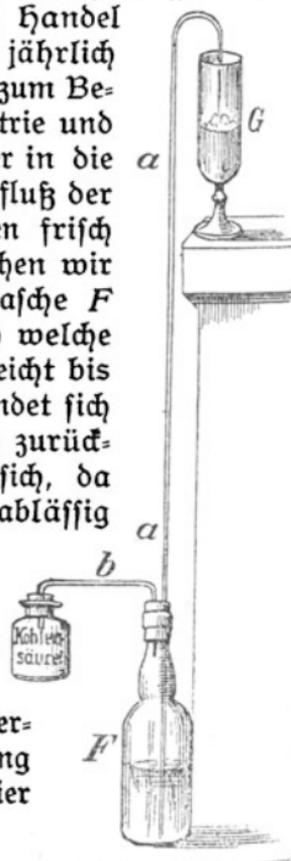


Wärmeleitern, zu denen bekanntlich die Metalle gehören. Vermengen wir feste Kohlensäure mit Quecksilber und fügen, damit die Mischung eine recht innige werde, Äther, der erst bei -129 erstarrt, hinzu¹⁾, so wird das Quecksilber fast augenblicklich fest, so daß ich den erstarrten Quecksilberklumpen mit der Zange fassen und aufheben kann (Abb. 46).

Quecksilber erstarrt bei -39° .

Es ist noch nicht allzulange, etwa 40 Jahre her, als die erste flüssige Kohlensäure in den Handel kam; jetzt werden jährlich

Millionen Flaschen davon verbraucht, und zwar zum Betriebe von Kühlanlagen, in der Sodawasserindustrie und zum Heben des Bieres aus den Fässern im Keller in die Gläser auf dem Schantisch, wobei unter dem Einfluß der Kohlensäure das Bier bis zum letzten Tropfen frisch schmeckend und schäumend bleibt. Veranschaulichen wir uns den Vorgang! Die mit Bier gefüllte Flasche *F* (Abb. 47) vertritt das Faß, die Glasröhre, durch welche das Bier in das Glas *G* gedrückt werden soll, reicht bis auf den Boden der Flasche. Im Gläschen *k* befindet sich etwas feste Kohlensäure, die in den Gaszustand zurückzukehren strebt. 1 g gibt 500 ccm Gas, das sich, da ihm in *k* der Raum fehlt, Platz schafft und unablässig auf die Oberfläche des Bieres drückt, so daß dieses in der Röhre *a a* in die Höhe steigt und mit schäumendem Strahle in das Glas läuft. Bei den Apparaten im großen tritt an Stelle *k* des Gläschens *k* die eiserne Flasche mit flüssiger Kohlensäure, an Stelle der Flasche *F* das Bierfaß, Ventile und Windkessel dienen zur Regelung des Druckes in der Leitung, so daß sich das Bier ganz nach Wunsch verzapfen läßt.



1) Wegen der leichten Entzündlichkeit des Äthers darf der Versuch nicht in der Nähe einer Flamme angestellt werden.

Abb. 47. Heben von Bier mittels fester (flüssiger) Kohlensäure.

Abcheidung von Kohlenstoff aus Kohlensäure durch Kalium.

Alle bisher betrachteten Erscheinungen beruhen auf physikalischen Vorgängen, es interessiert uns nun vor allem die Frage nach der chemischen Natur der Kohlensäure. Die Kohlensäure ist kein Grundstoff, wie der Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, sondern eine chemische Verbindung. Aus welchen Grundstoffen die Kohlensäure zusammengesetzt ist, sollen uns die folgenden Versuche zeigen.



Abb. 48. Zerlegung der Kohlensäure durch Kalium.

Ein Körper, der sehr energische chemische Wirkungen hervorzubringen vermag, ist das Kalium. In Berührung mit Wasser entzieht das Kalium dem Wasser den Sauerstoff, mit dem es sich vereinigt, und der Wasserstoff wird frei (S. 49). Der Versuch soll uns lehren, ob das Kalium auch auf die Kohlensäure einzuwirken vermag. In der Kugelröhre B (Abb. 48) befindet sich ein kleines Stück metallisches Kalium, und wir wollen nun Kohlensäure aus dem Gasbehälter A darüber leiten. Es findet keine Einwirkung statt. Da uns die Erfahrung gelehrt hat, daß Körper, die, bei gewöhnlicher Temperatur zusammengebracht, unverändert bleiben, in der Hitze oft heftig aufeinander einwirken, wollen wir das Kalium in der Kugelröhre erhitzen.

Wir sehen unsre Erfahrung von neuem bestätigt. Das Kalium glüht auf, und die Röhre füllt sich mit dichtem, weißem Rauch, von dem ein Teil vorn aus der Öffnung entweicht. Nach dem Erkalten der Röhre werden wir die Veränderung deutlicher erkennen. Das Metall ist verschwunden, an seiner Stelle liegt ein schwarzer Körper, darüber breitet sich eine weiße Masse aus. Wenn wir den Inhalt der Kugelröhre mit Wasser zusammenbringen (Abb. 49), so findet nicht die energische Einwirkung statt, welche Kalium in Berührung mit Wasser hervorbringt, die weiße Masse löst sich ohne Feuererscheinung. Die Lösung färbt rotes Lackmuspapier blau, gerade so, wie wir es beobachteten, als wir Kalium



Abb. 49. Auslaugen des Reaktionsproduktes von Kohlensäure und Kalium mit Wasser. Vor sieht!

Wir sehen unsre Erfahrung von neuem bestätigt. Das Kalium glüht auf, und die Röhre füllt sich mit dichtem, weißem Rauch, von dem ein Teil vorn aus der Öffnung entweicht. Nach dem Erkalten der Röhre werden wir die Veränderung deutlicher erkennen. Das Metall ist verschwunden, an seiner Stelle liegt ein schwarzer Körper, darüber breitet sich eine weiße Masse aus. Wenn wir den Inhalt der Kugelröhre mit Wasser zusammenbringen (Abb. 49), so findet nicht die energische Einwirkung statt, welche Kalium in Berührung mit Wasser hervorbringt, die weiße Masse löst sich ohne Feuererscheinung. Die Lösung färbt rotes Lackmuspapier blau, gerade so, wie wir es beobachteten, als wir Kalium

auf Wasser einwirken lassen (S. 49). Es löst sich aber nicht alles auf, in der Flüssigkeit schwimmen schwarze, feste unlösliche Teilchen herum, die wir abfiltrieren wollen. Der feste schwarze Körper, der auf dem Filter zurückbleibt, ist, wie eingehende Untersuchungen gelehrt haben, Kohlenstoff. Wir schließen mithin aus unserm Versuche, daß in der Kohlensäure Kohlenstoff enthalten ist.

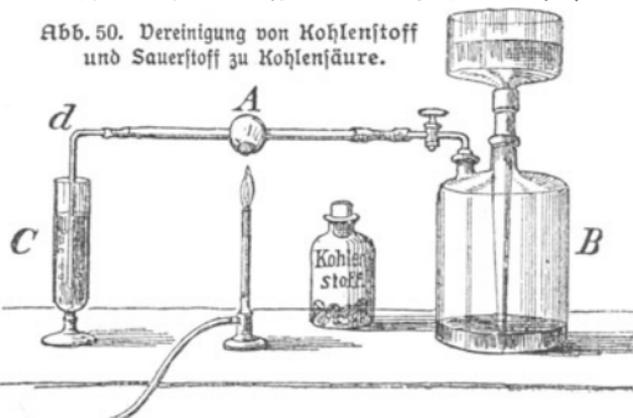
Vereinigung von Kohlenstoff und Sauerstoff zu Kohlensäure.

Bei der Einwirkung auf Wasser nimmt das Kalium Sauerstoff auf. Aus der Ähnlichkeit des Verhaltens des hierbei entstehenden Körpers und des aus dem Kalium beim Überleiten von Kohlensäure entstandenen weißen Körpers gegen Lackmuspapier folgern wir, daß in beiden Fällen derselbe Körper entstanden sein könnte, daß mithin das Kalium ebenso, wie es dem Wasser Sauerstoff entzieht, der Kohlensäure Sauerstoff entzogen hat.

Es drängt sich uns also die Vermutung auf, daß in der Kohlensäure Sauerstoff enthalten ist. Trifft diese Vermutung zu, besteht die Kohlensäure in der Tat aus Kohlenstoff und Sauerstoff, und zwar nur aus diesen beiden Elementen, so muß es auch gelingen, aus Kohlenstoff und Sauerstoff Kohlensäure herzustellen. Der Versuch mag es entscheiden. Der schwarze Körper, welcher sich in der Glasbüchse (Abb. 50) befindet, ist Kohlenstoff. Ich fülle etwas davon in die Kugelhöhre A, durch die wir nun Sauerstoff aus dem Gasbehälter B leiten wollen. Da wir die Entstehung von Kohlensäure erwarten, wurde in das Glas C, in welches die nach unten gebogene Röhre d das aus der Kugelhöhre austretende Gas führt, Kalkwasser gefüllt. Öffnen wir jetzt den Hahn

des Gasbehälters, so strömt Sauerstoff ohne Einwirkung durch den Apparat, jedoch erhitzen wir gleichzeitig den Teil der Kugelhöhre, in welchem der Kohlenstoff liegt, mit einer Flamme, so gerät er plötzlich ins Glühen und glüht auch weiter, wenn

Abb. 50. Vereinigung von Kohlenstoff und Sauerstoff zu Kohlensäure.



ich die Flamme entferne, dabei verringert sich seine Menge zusehends, immer stärker trübt sich das Kalkwasser, ein lehtes Aufleuchten, und der Kohlenstoff ist verschwunden! Die Kohlen säure besteht nur aus Kohlenstoff und Sauerstoff.

Unerweitige kohlenstoffhaltige Gase. Eigenschaften des Kohlenstoffs. Bei der Verbrennung eines Diamanten entsteht nur Kohlen säure, der Diamant ist Kohlenstoff.

Die Tatsache, daß in der Kohlen säure Kohlenstoff enthalten ist, erscheint dem Uneingeweihten überraschend. Die Kohlen säure ist jedoch nicht das einzige Gas, welches Kohlenstoff enthält, es gibt eine große Anzahl anderer kohlenstoffhaltiger Gase, die ebenso durchsichtig und farblos sind. In dem Glaszylinder *A* (Abb. 51) befindet sich ein Gas, welches aus Kohlenstoff und Wasserstoff besteht (Grubengas); ich mische es mit einem andern Gase (Chlor in *B*) zusammen. Bei gewöhnlicher Temperatur wirken die Gase nicht aufeinander ein, nähere ich aber die Mündung der Zylinder einer Flamme, so tritt plötzlich die Reaktion ein. Der schwarze Körper, welcher jetzt die Innenwandungen der Zylinder bedeckt, und der aus ihnen aufsteigende schwarze Qualm besteht aus Kohlenstoff.

Der Kohlenstoff ist ein Grundstoff, der seinen Namen von der Kohle erhalten hat, deren Hauptmenge er ausmacht. Die Steinkohlen enthalten 60 bis 80%, die Holzkohle enthält 96%, Ruß ist fast reiner Kohlenstoff. Wer mit dem Kohlenstoff noch nicht genauer bekannt ist,

Abb. 51. Chemische Einwirkung von Chlor auf Grubengas unter Abscheidung von Kohlenstoff.



kann geneigt sein, die schwarze Farbe als eine von ihm unzertrennliche Eigenschaft anzusehen. Der Chemiker jedoch beurteilt die Körper nicht nach der Farbe, sie gehört zu den physikalischen Eigenschaften. Für den Chemiker ist das chemische Verhalten maßgebend, für ihn ist der Körper, welcher bei der Vereinigung mit einer bestimm-

ten Gewichtsmenge Sauerstoff Kohlenäure, und zwar nur Kohlenäure gibt, Kohlenstoff.

In ihren wunderbaren Schöpfungen hat die Natur noch andre Körper als Kohle und Ruß hervorgebracht, die dieses chemische Verhalten zeigen und doch ganz andre physikalische Eigenschaften haben; für den Chemiker sind und bleiben sie Kohlenstoff. Diese Körper sind der Graphit und der Diamant. Der Nachweis ist leicht zu führen. Von dem kostbaren Körper steht mir nur wenig zur Verfügung, nur einige Splitter, wie sie beim Spalten größerer Steine abfallen. Solche Diamantsplitter eignen sich nicht für Schmuckgegenstände, werden aber ihrer Härte wegen geschätzt, zum Schneiden des Glases und zu Gesteinsbohrern benutzt. Wenn ich von den drei Diamantsplittern, die hier vor mir liegen und zusammen 0,1 g (d. i. $\frac{1}{2}$ Karat) wiegen, einen zu dem Versuche benutze, werden wir keine glänzende Verbrennungerscheinung, nur ein kurzes Aufleuchten beobachten. Worauf es uns ankommt, ist auch etwas andres, wir wollen nachweisen, daß bei der Verbrennung des Diamanten im Sauerstoffstrom Kohlenäure entsteht. Ich ordne den Versuch wie vorhin an, als wir etwas von dem schwarzen Kohlenstoff verbrannten, nur habe ich die Röhren enger gewählt. Sie bemerken, daß ich den Diamanten stärker erhitzen muß, ehe er für einige Augenblicke wie ein Stern aufleuchtet, um sehr bald zu verschwinden, Sie bemerken aber auch, daß das Kaltwasser deutlich getrübt, daß also Kohlenäure entstanden ist. Die Verfolgung des Versuchs mit der Waage hat gelehrt, daß der Diamant nur aus Kohlenstoff besteht.

Was ist Verbrennung?

Wenn wir Kohle an der Luft erhitzen, so findet derselbe Vorgang statt wie beim Erhitzen im Sauerstoffstrom, der Kohlenstoff erglüht und verschwindet allmählich unsern Augen, indem gleichzeitig Kohlenäure entsteht. Das ist uns leicht verständlich, da wir wissen, daß die Luft Sauerstoff enthält. Ist der Kohlenstoff nicht ganz rein, dann bleibt ein Rückstand, die Asche, zurück. Diesen Vorgang bezeichnet man im gewöhnlichen Leben kurzweg mit Verbrennung, man sagt, die Kohle verbrennt. Wir aber deuten den Vorgang als eine chemische Vereinigung des Kohlenstoffs mit dem Sauerstoff der Luft zu Kohlenäure, in gleicher Weise, wie wir die Verbrennung des Wasserstoffs mit dem Luftsauerstoff zu Wasser deuteten. Für uns ist die Verbrennung immer eine chemische Vereinigung von Sauerstoff mit dem brennbaren Kör-

per. Diese Vereinigung findet in der Regel so energisch statt, daß ein Teil des brennenden Körpers und der Verbrennungsprodukte ins Glühen kommt. Feuer und Flamme sind die gewohnten Erscheinungen, welche den Verbrennungsprozeß begleiten. Wie viele andre chemische Prozesse, ist auch dieser verbunden mit einer intensiven Wärmeentwicklung, die wir uns zu den verschiedenartigsten Zwecken nutzbar machen.

Es ist noch nicht allzulange, wenig über hundert Jahre her, daß die Erscheinung des Feuers, vor welchem heute noch unzivilisierte Völkerstämme anbetend auf die Knie sinken, daß dieses Jahrtausende alte Rätsel seine richtige Erklärung fand, in dem Sinne, in dem wir sie uns mehrfach vergegenwärtigt haben. Diese Erklärung ist eng verknüpft mit der Entdeckung des Sauerstoffs, sie konnte nicht gegeben werden, solange man den Sauerstoff noch nicht kannte.

V. Flüssige Luft.

Alle Gase lassen sich verflüssigen. Kritische Temperaturen der Gase. Verdunstungskälte. Kältemaschinen.

Dem Zeitalter, in dem wir leben, hat unverkennbar für immer die Technik ihren Stempel aufgedrückt. Was auf wissenschaftlicher Grundlage erreichbar erschien, hat sie auszuführen versucht und selten ohne Erfolg. Verdichtete und verflüssigte Gase sind heute Handelsware.¹⁾

Das doppelwandige Gefäß, welches ich in der Hand halte (Abb. 52), ist mit flüssiger Luft gefüllt. Leicht beweglich, wie Wasser, von schwach himmelblauer Färbung, sehen wir sie mit staunenden Blicken vor uns und vermögen diese wunderbare Erscheinung nicht in Einklang zu bringen mit den Erfahrungen, welche uns seit den ersten Atemzügen ununterbrochene Beziehungen unsres Daseins zu der umgebenden Luft kennen lehren. Wir befinden uns in einer ähnlichen Lage wie das Kind, welches zum erstenmal den Fuß auf die Eisdecke eines Gewässers setzt und verwundert ist, daß es sicher ruht da, wo es bisher Wasser fließen sah. —



Abb. 52. Flüssige Luft.

1) Die Gesellschaft für Markt- und Kühlhallen, Berlin SW., verkauft und versendet flüssige Luft.

Beide Vorgänge, die Verflüssigung der Luft und 'das Festwerden des Wassers, sind auf demselben Naturgesetz begründet.

Es ist bereits (S. 55) erörtert worden, daß sich alle Gase verflüssigen lassen. Diese Erkenntnis gehört der neueren Zeit an. Als man, selbst unter Drucksteigerungen bis zu Hunderten von Atmosphären, mehrere Gase, z. B. Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff zu verflüssigen noch nicht verstand, unterschied man dieselben als permanente Gase von den koerzibelen Gasen, die man, wie Kohlensäure, in den flüssigen Zustand überführen konnte. Es war damals noch nicht erkannt, daß es für jedes Gas eine gewisse Temperaturgrenze gibt, oberhalb welcher es in flüssigem Zustande überhaupt nicht zu bestehen vermag. Es ist dies die kritische Temperatur, welche für die permanenten Gase ungemein niedrig ist, sie beträgt für:

Kohlensäure	+ 31°	Stickstoff	— 146°
Sauerstoff	— 118°	Wasserstoff	— 234°
Luft	— 140°		

Der Umstand, daß die kritische Temperatur der Kohlensäure über dem durchschnittlichen Wärmegrad von Sommer und Winter liegt und daher die natürlichen Verhältnisse es gestatten, über Kühlwasser von niedrigeren Temperaturen unbeschränkt zu verfügen, erklärt es, wie die vervollkommeneten Konstruktionen der Druckpumpen ohne weiteres den Erfolg herbeiführten. Anders ist es bei den permanenten Gasen, da ist zunächst eine Abkühlung auf mehr als hundert Kältegrade zu bewirken. Hierzu gibt es zwei Wege, entweder kann man von der Erscheinung Gebrauch machen, die wir ohne weiteres beim Verdampfen sehr niedrig siedender Flüssigkeiten beobachten (Verdunstungskälte), oder von der Temperaturerniedrigung, welche zusammengepreßte Gase erleiden, wenn man den auf ihnen lastenden Druck plötzlich aufhebt.

Äther, der bei 35°, also etwas unterhalb der Körperwärme (37°) siedet, auf die Hand gegossen, erscheint sehr kalt, weil er der Hand die zu seiner raschen Verdampfung nötige Wärme entzieht. Diese Kälte Wirkung läßt sich leicht sichtbar machen. Wir brauchen nur einige Tropfen Äther auf eine Thermometerkugel fallen zu lassen und sofort sehen wir den Quecksilberfaden sinken.¹⁾ In überraschender Weise haben wir die Wirkung der Verdunstungskälte früher bereits beobachtet, als wir die Flasche mit flüssiger Kohlensäure auf ihren Inhalt prüften und ihn vor unsern Augen fest werden sahen.

1) Siehe die Anmerkung S. 58.

In den Kältemaschinen wird die Verdunstungskälte zu mannigfachen Zwecken nutzbar gemacht, indem man in ein geschlossenes Röhrensystem (Refrigerator) flüssige Kohlensäure (oder andre flüssige Gase) bringt. Hier findet ein lebhaftes Verdampfen statt, bis die Abkühlung unter den Siedepunkt der Kohlensäure bei dem im Apparat herrschenden Druck sinkt (S. 57). Die gasförmig gewordene Kohlensäure wird abgesaugt und einer Druckpumpe (Kompressor) zugeführt, die in einem zweiten, von Kühlwasser umflossenen Röhrensystem (Kondensator) die Wiederverflüssigung bewirkt. Die flüssige Kohlensäure kehrt zum Refrigerator zurück und das Spiel beginnt von neuem. Um die Abkühlung des Refrigerators nutzbar zu machen, ist er von einem Behälter umgeben, in dem sich eine bis zu Temperaturen von -20° nicht gefrierende Salzlösung befindet. In diese hängt man zur Gewinnung von Eis Gefäße mit Wasser, oder man führt die Salzlösung im Kreislauf durch Röhren, die sich in den Räumen, die abgekühlt werden sollen, befinden.

Darstellung flüssiger Luft nach Dewar.

Man kann also mit Hilfe von flüssiger Kohlensäure andre, schwerer kondensierbare Gase (z. B. Äthlen) unter ihre kritische Temperatur abkühlen und unter gleichzeitiger Anwendung von Druck verflüssigen. Flüssiges Äthlen erniedrigt seine Temperatur, wenn es bei einem Druck von 25 mm Quecksilbersäule zum Verdampfen gebracht wird, auf -139° . Auf diese Temperatur abgekühlt läßt sich Sauerstoff, dessen kritische Temperatur bei -118° liegt, verflüssigen, und hat man erst flüssigen Sauerstoff, dann bedarf es nur eines weiteren Schrittes, um auch flüssige Luft zu erhalten. Auf diesem Wege gelang es Dewar im Jahre 1892, Sauerstoff, Luft und andre permanente Gase zu verflüssigen in genügenden Mengen für wissenschaftliche Untersuchungen, insbesondere um die physikalischen Eigenschaften der verflüssigten Gase feststellen zu können. Hierbei ergab sich, daß unter den natürlichen Verhältnissen, d. i. unter dem Druck einer Atmosphäre, der Siedepunkt

von Sauerstoff	bei -183°	von Stickstoff	bei -196°
„ Luft	„ -191°	„ Wasserstoff	„ -252°

liegt. Wir würden hiernach, wenn wir die äußersten Konsequenzen einer allmählichen Abkühlung unsres Planeten ziehen wollten, zu dem Schluß kommen müssen, daß, wenn diese Abkühlung einmal bis auf -191° sinken sollte, es anfangen würde Luft zu regnen. Bis auf einen

geringen Bruchteil würde die Atmosphäre verschwinden und statt ihrer eine etwa 10 m hohe Schicht flüssiger Luft den Erdball bedecken.

Der Apparat, dem Dewar seine Erfolge verdankte, bestand gewissermaßen aus einem System von Kältemaschinen mit immer größerer Leistungsfähigkeit, er war zu kostbar und der Betrieb zu teuer, als daß man an irgendeine praktische Verwendung von flüssiger Luft hätte denken können. Das ist mit einem Schlage anders geworden, als Karl v. Linde in München 1895 seine Luftverflüssigungsmaschine erfand, die keine besonderen Hilfsstoffe, keine flüssige Kohlensäure, kein flüssiges Äthylen erfordert, sondern nur: Luft, Kraft und Kühlwasser.

Lindes Luftverflüssigungsmaschine.

Wenn man zwei Behälter mit Luft (oder mit einem andern Gase),

von denen der eine unter gewöhnlichem Luftdruck, der andre unter einem erhöhten Drucke steht, in Verbindung bringt, strömt die Luft aus diesem in jenen. Hierbei sinkt die Temperatur in dem ersten Behälter, während sie im andern steigt. Man nahm lange Zeit an, daß die Erwärmung und die Abkühlung einander gleich seien. Das trifft jedoch, wie Versuche von Thomson und Joule ergeben haben, nicht genau zu, es findet eine, wenn auch nur äußerst geringe Ab-

kühlung statt, die, wenn man Luft von einem höheren Druck

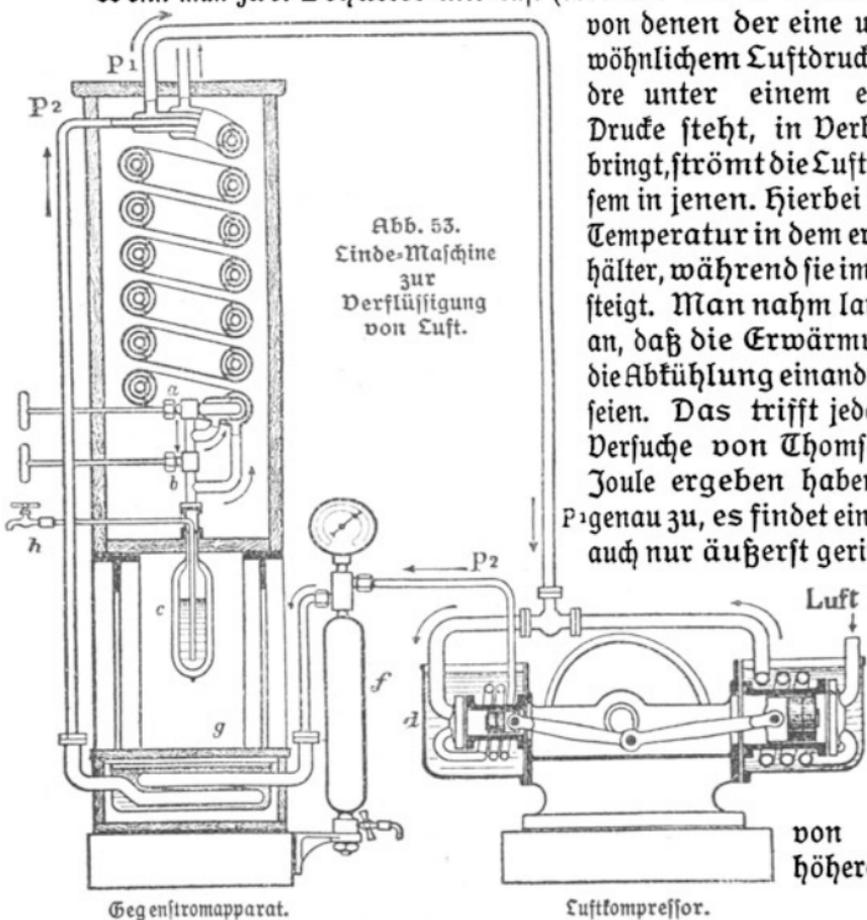


Abb. 53.
Linde-Maschine
zur
Verflüssigung
von Luft.

Gegenstromapparat.

Luftkompressor.

auf einen niederen ausströmen läßt, $0,25^{\circ}$ für je eine Atmosphäre Druckdifferenz beträgt. Es handelt sich also selbst bei sehr hohen Druckdifferenzen um nur kleine Wirkungen. Diese kleinen Wirkungen auszunutzen und aufzuhäufen war das Bestreben, welches Linde leitete. Indem er die Wirkungen beliebig vieler Ausströmungen in der Weise vereinigte, daß jede vorhergehende zur Vorkühlung der Luft vor der nachfolgenden diente, gab er seiner Luftverflüssigungsmaschine eine Form, die sinnreicher und zugleich einfacher nicht gedacht werden kann.

Die wichtigsten Teile der Linde-Maschine (Abb. 53) sind der Luftkompressor und der Gegenstromapparat. Der Kompressor ist eine doppelt wirkende Luftpumpe mit dem Niederdruckzylinder e und dem Hochdruckzylinder d , beide werden von Kühlwasser, welches die beim Zusammenpressen der Luft erzeugten Wärmemengen fortführt, umflossen. Die Luft tritt in den Niederdruckzylinder ein, wird hier auf 16 Atm. verdichtet, unter diesem Druck (gemeinsam mit der durch p_1 vom Gegenstromapparat kommenden Luft) vom Hochdruckzylinder angesaugt, auf 200 Atm. zusammengepreßt und strömt unter dieser Pressung in der Rohrleitung p_2 durch den Wasserabscheider f und die Kühlschlange g dem Gegenstromapparat zu. Der Gegenstromapparat besteht aus einer durch drei ringförmig ineinanderliegende Kupferrohre gebildeten Spirale. Die auf 200 Atm. zusammengepreßte Luft durchläuft das innerste Rohr von oben nach unten, strömt am unteren Ende desselben durch ein Regulierventil a auf den Zwischendruck von 16 Atm. aus und kehrt hierauf durch den ringförmigen Raum zwischen dem innersten und mittleren Rohr nach oben zurück, um durch abermaliges Zusammenpressen wieder auf den Druck von 200 Atm. gebracht zu werden und den Kreislauf von neuem zu beginnen, bis sich nach Verlauf von etwa zwei Stunden die Temperatur im innersten Rohre unter -191° abgekühlt hat und die Verflüssigung der Luft beginnt. Die flüssige Luft läuft durch das Regulierventil b in das Sammelgefäß c . Der nichtverflüssigte Teil strömt durch den Raum zwischen dem mittleren und äußersten Rohr der Spirale nach Abgabe seiner Kälte frei in die Atmosphäre aus. Der Gegenstromapparat ist von einem Holzmantel umgeben, in welchem Schafwolle fest eingepreßt ist. Derselbe Stoff, der uns gegen Kälte so treffliche Dienste leistet, schützt hier die kalten Maschinenteile vor Wärme. Aus dem Sammelgefäß wird die flüssige Luft mittels des Hähnhchens h abgezapft.



Abb. 54.

Dewarsches Gefäß
zur Aufbewahrung
flüssiger Luft.



Abb. 55. Längsschnitt.

Eigenschaften, Aufbewahrung und Transport flüssiger Luft.

Bringen wir flüssige Luft in ein Glasgefäß, so tanzen die ersten Tropfen auf dem Boden desselben hin und her, wie Wassertropfen auf einer heißen Ofenplatte, dann wird das Verdampfen und Zischen für einige Augenblicke heftiger, bis eine unmittelbare Berührung zwischen der Flüssigkeit und den Glaswänden eingetreten ist. Nun sind auch diese

unter -191° abgekühlt und die Verdampfung der flüssigen Luft verlangsamt sich, immerhin ist sie in kurzer Zeit verschwunden. Will man flüssige Luft längere Zeit aufbewahren, so ist Sorge zu tragen, daß die Wandungen des Gefäßes möglichst wenig durch die Außenluft erwärmt werden. Den wirksamsten Schutz bieten Gefäße, wie sie Dewar bei seinen Versuchen benutzte (Abb. 54). Erst nachdem der Raum zwischen der Innen- und Außenwandung (Abb. 55) luftleer gemacht war, ist die Spitze am unteren Teil des Glasgefäßes, dessen Wandungen stark genug sein müssen, um dem Luftdruck widerstehen zu können, zugeschmolzen worden. Eine Übertragung der Wärme durch Leitung aus der Umgebung in den Innenraum ist nicht möglich, weil sich zwischen der Innen- und Außenwandung nichts befindet. Um den Wärmeaustausch durch Strahlung auf das geringste Maß zurückzuführen, werden die Außenwandungen mit einem Silberspiegel überzogen. In solchen Dewarschen Gefäßen, deren Öffnungen nur lose am besten durch einen Wattebausch verschlossen werden, läßt sich die flüssige Luft überraschend lange aufbewahren. Ein Liter flüssiger Luft ist erst nach 14 Tagen völlig verschwunden. Die Aufbewahrung und der Transport der flüssigen Luft erfolgt in gepolsterten Drahtkörben, wie sie die auf S. 69 befindlichen Abbildungen veranschaulichen. Abb. 56 zeigt einen geschlossenen, Abb. 57 einen geöffneten Korb.

Bei der Temperatur von -191° , über welche die flüssige Luft ohne weiteres zu verfügen gestattet, erleiden die verschiedenen Körper Veränderungen, die sich bis zu einem gewissen Grade voraussehen lassen. Gasförmige Körper werden flüssig, flüssige fest und die festen erreichen oft einen Zustand der Starrheit, deren ungewohnte Erscheinung uns überrascht.

Wir wollen einige Versuche dieser Art anstellen. Ich tauche ein Sträußchen frischer Maiblumen kurze Zeit in flüssige Luft, bis das stürmische Sieden in dem Dewarschen Gefäße aufhört. Eine künstlerisch vollendete Nachbildung aus feinstem Porzellan glauben wir zu sehen! Mit dem Finger kaum berührt brechen die einzelnen Blüten ab. Durch einen Hammerschlag zerfällt das zarte Gebilde in zahllose Trümmer, selbst der Faden, der die Blütentrauben zusammenhielt, zerspringt dabei wie Glas.

Wenn ich einen von den kleinen Gummibällen, wie sie die Kinder zum Spielen benutzen, in flüssige Luft lege, wird er hart und spröde. Ich nehme ihn wieder heraus und lasse ihn auf die Erde fallen. Wir hören, wie er klirrend zerbricht, und Glascherben ähnlich liegen die Bruchstücke des Balles vor uns.

Substanzen, deren Schmelzpunkt erheblich niedriger liegt als -100° , hat man früher nur im flüssigen oder gasförmigen Zustande gekannt. Hierher gehören Alkohol, Äther usw., dieser wird bei -129° , jener bei -131° fest. Flüssige Luft ermöglicht es uns ohne weiteres, diese Körper zum Erstarren zu bringen; Alkohol wird zu

Abb. 56.

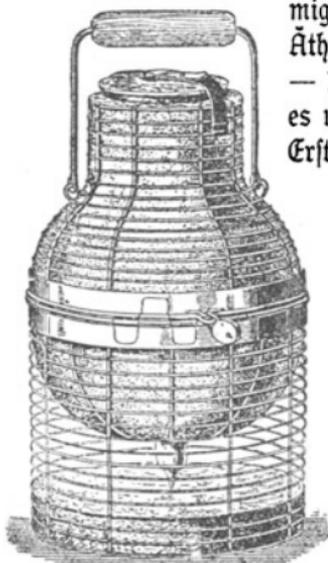
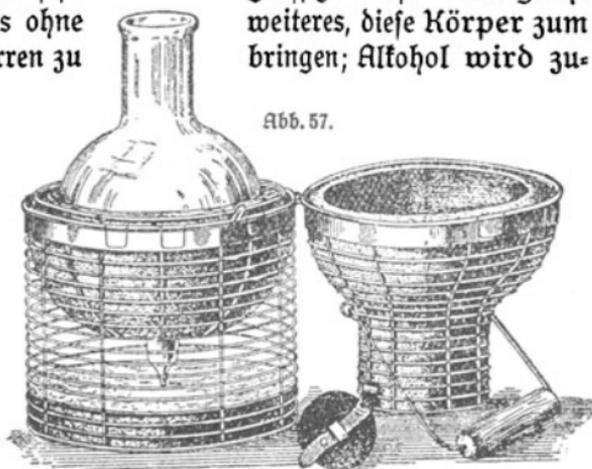


Abb. 57.



Transportkorb für Dewarsche Flaschen mit flüssiger Luft, geschlossen und offen.

Abb. 58.
Trennung fester
Kohlensäure von
flüssiger Luft
durch Filtrieren



nächst zähflüssig wie Sirup, dann erstarrt er zu einer glasartigen Masse. Bei gewöhnlicher Temperatur läßt sich Alkohol leicht mit einem Streichhölzchen entzünden, vergeblich ist unser Versuch, auf diese Weise den festen Alkohol zum Brennen zu bringen, weil die Entzündungstemperatur (S. 78) nicht erreicht wird. —

Wenn wir Kohlensäuregas aus dem Apparate (Abb. 41) in langsamem Strom in flüssige Luft leiten, so wird die Kohlensäure sofort unter ihren Gefrierpunkt (-58°) abgekühlt und erstarrt zu weißen Flöckchen, welche die Flüssigkeit milchig trüben. Gieße ich nun den Inhalt des Dewarschen Gefäßes auf ein Papierfilter (Abb. 58), so bleibt die feste Kohlensäure auf demselben zurück und die flüssige Luft tropft klar wie Wasser in ihrer ursprünglichen bläulichen Farbe ab.¹⁾

Flüssige Luft ist sauerstoffreicher als gewöhnliche Luft.

Wir wissen aus unsern früheren Betrachtungen über die chemische Zusammensetzung der Luft (S. 35), daß die Atmosphäre überall gleich zusammengesetzt ist und als vorwiegende Bestandteile Sauerstoff und Stickstoff in dem abgerundeten Verhältnis von 1 : 4 enthält. Es liegt daher nahe, von vornherein anzunehmen, daß die flüssige Luft dieselbe chemische Zusammensetzung hat. Das ist jedoch nicht der Fall. Wenn auch die Siedepunkte des flüssigen Sauerstoffs (-183°) und des flüssigen Stickstoffs (-196°) nur 13° auseinander liegen, so bedingt dieser Unterschied doch eine fortwährende Änderung. Es vollzieht sich dauernd der altbekannte Vorgang der fraktionierten Destillation, welcher der Wissenschaft und Technik bei der Trennung flüchtiger Körper voneinander unschätzbare Dienste leistet.²⁾ Die flüssige Luft, wie sie die Maschine verläßt, enthält bereits

1) Da die atmosphärische Luft Kohlensäure, wenn auch nur in geringen Mengen enthält, ist die flüssige Luft, wie sie aus der Linde-Maschine kommt, schwach getrübt.

2) So stützt sich z. B. die Spiritusindustrie auf diesen Vorgang. In den Brennereien wird der nach Gärung der Maische entstandene 22°

nahezu 50% Sauerstoff, sie wird immer sauerstoffreicher, da der Stickstoff schneller als der Sauerstoff verdampft.¹⁾

Das sauerstoffreiche Gasgemisch, welches sich aus verflüssigter Luft entwickelt — man hat es „Linde-Luft“ genannt —, vermag den Verbrennungsprozeß viel lebhafter zu unterhalten wie die gewöhnliche Luft. Nähere ich einen glimmenden Holzspan der Öffnung eines unfre Linde-Luft enthaltenden Gefäßes, so entzündet er sich; ich senke ihn tiefer, bis er in die Flüssigkeit eintaucht (Abb. 59). Der Span verbrennt innerhalb derselben mit lebhaftem Glanze, wie in Sauerstoff, er verlöscht nicht, weil der intensive Verbrennungsprozeß die Entzündungstemperatur erhält. Ebenso verbrennen Löschpapier, Watte und andre leicht entzündliche Stoffe, nachdem sie vorher mit verflüssigter Luft durchtränkt wurden, äußerst lebhaft, wenn man sie in eine genügend heiße Flamme hält. Wir wollen einen derartigen Versuch in folgender Weise anstellen. In ein Schälchen gieße ich etwas verflüssigte Luft und schütte auf dieselbe feingepulverte Holzkohle. Durch das lebhafte Verdampfen der verflüssigten Luft wird das leichte Kohlenpulver in die Höhe geschleudert. Ich entzünde es mit einem brennenden Streichholz und wie aus einem kleinen Vulkan sprüht ein Feuerregen empor, der, sobald die Luft verdampft ist, plötzlich aufhört.



Abb. 59. In verflüssigter Luft verbrennt ein Holzspan mit hellleuchtendem Glanze.

Trennung verflüssigter Luft in Sauerstoff und Stickstoff.

Läßt man flüssige Luft von der natürlichen Zusammensetzung, also mit rund 21% Sauerstoff und 79% Stickstoff verdampfen, so entweicht zuerst ein Gemisch von 7% Sauerstoff und 93% Stickstoff, der Sauerstoffgehalt der zurückbleibenden Flüssigkeit nimmt infolgedessen zu. Sind drei Viertel der Flüssigkeit verdampft, so enthält der niedriger wie Wasser siedende Alkohol durch Kochen abgetrieben und in Kühlern wieder verdichtet. Es destilliert ein Gemisch von viel Alkohol und wenig Wasser (Spiritus) über, in welchem sich durch Wiederholung der Operation der Alkohol bis zu 96% anreichern läßt.

1) Daher ist die Bezeichnung „flüssige“ Luft nicht zutreffend und in der Folge durch „Linde-Luft“ oder „verflüssigte“ Luft ersetzt worden.

Rest ungefähr 50 % Sauerstoff, der sich weiterhin bis auf 90 % steigert. Wenn man die verdampften Anteile gesondert auffängt, wieder verdichtet und wieder verdampfen läßt, gelingt es, reinen Sauerstoff und reinen Stickstoff herzustellen. Dieser Vorgang gelangt in den Sauerstoffabriken, welche von der Gesellschaft für Lindes Eismaschinen in Berlin, Paris, Birmingham, Mailand und vielen andern Orten errichtet worden sind, zur Anwendung. Der Sauerstoff kommt in Stahlflaschen bis auf 150 Atm. zusammengedrückt in den Handel (vgl. S. 84) und findet Anwendung, wo man größere Hitze braucht, wie sie der Verbrennungsprozeß an der Luft erzeugt, z. B. zum Schmelzen des Platins, zum Zusammenschweißen des Eisens usw. (S. 84).

Aber auch da, wo Mangel an Sauerstoff Leben und Gesundheit bedroht, sind kleine Flaschen mit Sauerstoff, die in einem Tornister Platz haben, von unschätzbarem Werte. Um rettend in Räume, die mit Rauch oder giftigen Gasen erfüllt sind, vordringen zu können, rüstet sich der Feuerwehrmann, der Bergmann mit einem solchen Stahlfläschchen aus, das ihm den zum Atmen nötigen Sauerstoff zuführt.

Die Edelgase: Xenon, Krypton, Neon.

Die Technik begnügt sich mit der annähernden Trennung der Luft in Sauerstoff und Stickstoff. Die wissenschaftliche Forschung, welche keine Grenzen kennt, ging weiter. Sauerstoff und Stickstoff wurden von neuem verflüssigt. Durch fraktionierte Destillation und Wiederholung dieser Operationen gelang es schließlich 1898, noch drei bis dahin unbekannte gasförmige Elemente: Xenon, Krypton und Neon, in der Luft aufzufinden. Nur die verschiedenen Siedepunkte der Gase,

Xenon	— 109 °	Stickstoff	— 196 °
Krypton	— 152 °	Neon	— 233 °
Sauerstoff	— 183 °	Helium	— 267 °?
Argon	— 186 °		

ermöglichten ihre Trennung.

Man hat die neuen Gase, weil sie allen chemischen Einwirkungen widerstehen, ähnlich wie man das sehr beständige Gold und Silber Edelmetalle nannte, mit Edelgasen bezeichnet. Zum Nachweis und zur Unterscheidung der Edelgase dienen die Spektren (S. 115); in der Geißlerschen Röhre leuchtet Xenon himmelblau, Krypton hellviolett, Neon orangerot.

Wenn man bedenkt, daß eine Million Liter Luft nur ungefähr 15 l

Neon, 1,5 l Helium, 0,05 l Krypton und 0,006 l Xenon enthalten, und wenn man sich die Schwierigkeiten vergegenwärtigt, welche das Arbeiten bei so tiefen Kältegraden mit sich bringt, so erkennt man, daß es sich hier um Staunen erregende Leistungen handelt.

VI. Die wirtschaftliche Verwertung des Stickstoffs.

Es ist eine in der Technik mehrfach verzeichnete Erscheinung, daß sich an eine Erfindung überraschende Folgen schließen, die sich nicht voraussehen ließen und erst in Erscheinung treten durch Zusammenwirken mit Erfindungen auf andern Gebieten. Bei der Herstellung von Sauerstoff aus verflüssigter Luft rechnete man anfangs nicht mit der Verwertung des hierbei in vierfacher Menge auftretenden Stickstoffs. Heute ist dieser Stickstoff für die Gewinnung von Kalkstickstoff, von Ammoniak und Salpetersäure von unschätzbarem Wert.¹⁾

Kalkstickstoff.

Das Ausgangsmaterial zur Darstellung des Kalkstickstoffs ist das Kalziumkarbid. Dieses merkwürdige, beim Erhitzen eines Gemisches von Kalk und Kohle im elektrischen Ofen entstehende Produkt ist bald nach seiner Entdeckung (1862) allgemein bekannt geworden infolge der Eigenschaft, in Berührung mit Wasser ein mit helleuchtender Flamme brennendes Gas (Acetylen) zu entwickeln, das vielseitige Anwendung in der Beleuchtungstechnik gefunden hat. — Bei ihren gemeinsamen Untersuchungen über das Kalziumkarbid erhielten Frank und Caro, indem sie Stickstoff über das zum Glühen erhitzte Karbid leiteten, den Kalkstickstoff, der, seit 1905 im Handel, mit berufen erscheint, eines der wichtigsten Düngemittel für die Landwirtschaft, den Chilesalpeter, zu ersetzen. Sowohl die Herstellung des Kalziumkarbids, wie auch der Betrieb von Lufttrennungsanlagen zur Gewinnung des nötigen Stickstoffs erfordert viel Kraft, während die Rohmaterialien wenig oder nichts kosten; man ist daher auf solche Orte, an denen die Kraft billig genug zu beschaffen ist, angewiesen. Bis zum Krieg waren in Deutschland fünf größere Kalkstickstoffwerke vorhanden, die teils mit Wasserkraft (der Alz bei Trostberg am Anfluß des Chiemsees, der Brahe in

1) Siehe auch: R. Kaiser, Der Luftstickstoff u. seine Verwertung. ANuG 313.

Mühlstal bei Bromberg), teils unter Verwendung billiger Braunkohlen (in Knapack am Rhein, südlich von Köln usw.) betrieben wurden. Während des Krieges sind neue Werke entstanden, nachdem sich die Verwendbarkeit des Kalkstickstoffs bei der Herstellung von Sprengstoffen ergeben hatte. — Weiterhin dient Kalkstickstoff unter dem Namen „Ferrodur“ zum Härten von Eisen für Werkzeugstahl und Gesteinsbohrer, für Maschinenteile und Panzerplatten. Beachtenswert sind ferner eine Reihe chemischer Umwandlungen, welche der Kalkstickstoff erleidet, insbesondere die Zersetzung beim Behandeln mit Wasserdampf unter Entwicklung von Ammoniak.

Luftsalpeter.

Die Gewinnung von Salpeter aus der Luft gründet sich auf die alte, bereits 1785 von Cavendish gemachte Beobachtung, daß in der Luft bei elektrischen Funkenentladungen Salpetersäure entsteht. Dieser Vorgang, welcher auch allerdings viel später mit zur Entdeckung des Argons (S. 33) führte, beruht auf der Verbrennung des Stickstoffs zu Stickstoffoxyd, das dann an feuchter Luft allmählich in Salpetersäure übergeht. Bei der geringen Funkenlänge der gebräuchlichen Elektrifiziermaschinen ist der Anteil der Luft, welcher auf die zur Verbrennung des Stickstoffs erforderliche Temperatur (2500°) erhitzt wird, nur so gering, daß die entstandene Salpetersäure kaum nachweisbar ist. Die Bestrebungen zur wirtschaftlichen Verwertung des Vorgangs mußten daher zunächst darauf hinauslaufen, Flammenbogen von möglichst großer Ausdehnung zu schaffen. Die Norweger Birkeland und Eyde erreichen dies durch kräftige Magneten, zwischen dessen Polen der Flammenbogen sonnen Scheibenartig sich ausbreitet. Bei einem Kraftaufwand von 1000 Pferdestärken gelingt es mit einer Stromspannung von 5000 Volt eine leuchtende Sonne von zwei Meter Durchmesser zu erhalten. Mauerwerk von feuerfestem Ton umgibt die Glut, der dauernd frische Luft zugeführt wird. Die erste Anlage dieser Art wurde 1905 in Notodden (Norwegen) errichtet. Unabhängig hiervon gelang es fast gleichzeitig Otto Schönherr von der Badischen Soda- und Anilinfabrik in einfacherer Weise ohne Inanspruchnahme magnetischer Kräfte, Lichtbogen von acht Meter Länge im Innern eines eisernen Rohres, durch welches gleichzeitig Luft geblasen wird, zu erzeugen. Nach beiden Verfahren läßt sich nur ein geringer Bruchteil der Luft (2 bis 3 %) in Stickstoffoxyd verwandeln. Das gewonnene Produkt ist also durch die

unverändert gebliebene Luft stark verdünnt. Die aus den Öfen austretenden glühenden Gase werden möglichst schnell bis auf etwa 1000° abgekühlt, weiterhin nutzt man ihre Wärme zum Heizen von Dampfkesseln aus, dann gelangen die Gase in umfangreiche Absorptionsanlagen, in denen die Bildung von Salpetersäure sich vollzieht und gleichzeitig eine Konzentration der Säure stattfindet. Um leicht verschickbare, marktfähige Ware zu erhalten, führt man die Salpetersäure unter Verwendung von Kalkstein in salpetersauren Kalk über, der als „Luftsalpeter“ oder auch unter dem Namen „Norgesalpeter“, um damit das Ursprungsland anzudeuten, in den Handel kommt.

Luftsalpeter kann nur da gewonnen werden, wo in Wasserfällen die Kraft unmittelbar von der Natur gegeben ist. In Notodden stehen Wasserkräfte von Hunderttausenden Pferdestärken zur Verfügung. Die ersten großen Salpeterwerke nach dem Schönherr'schen Verfahren wurden zu Saasheim (Telemarken) am Rjukan, einem der mächtigen Wasserfälle Norwegens errichtet, der in zwei Stufen 250 000 Pferdestärken zu liefern vermag; hier stellen sich die Kosten für die Pferdestärke während eines Jahres auf nur 12 M.

Die Salpeterlager Chiles gehen ihrer Erschöpfung entgegen. Zum Ersatz zwingt der Mensch Kraftquellen in seine Dienste, die bisher nutzlos verrannen.

Synthetisches Ammoniak.

Im Gegensatz zu dem bei der Zersetzung natürlich vorkommender Stoffe, insbesondere von Steinkohlen in den Gasanstalten und Kokereien gewonnene Ammoniak (S. 94), hat man das neuerdings auf chemischem Wege hergestellte mit „synthetisches“ Ammoniak bezeichnet. Ammoniak, im gewöhnlichen Leben Salmiakgeist genannt, ist ein Gas, das aus Stickstoff und Wasserstoff besteht. Unter Beachtung des Massenwirkungsgesetzes hat Fritz Haber in Karlsruhe vor kurzem Ammoniak in technisch verwertbarer Form aus den Elementen herzustellen gelehrt. Durch Überleiten eines Gemisches von Stickstoff und Wasserstoff unter hohem Druck (200 Atm.) und bei höherer Temperatur (500°) über gewisse sogenannte Kontaktsubstanzen lassen sich bis 9% des Gemisches zu Ammoniak verbinden, dessen Trennung von den unveränderten Gasen leicht ausführbar ist. Das Verfahren erfordert nicht den gewaltigen Kraftaufwand der Luftsalpeterwerke, es ist daher nicht an bestimmte Örtlichkeiten gebunden. Neben Stickstoff ist Wasserstoff zu beschaffen,

dessen technische Gewinnungsarten infolge des großen Bedarfs der Luftschiffahrt in befriedigender Weise ausgebildet sind.

Ammoniak wurde bislang, von dem Verbrauch in der Landwirtschaft abgesehen, hauptsächlich in der Sodaindustrie und als Betriebsstoff für Kältemaschinen benutzt. Eine neue Verwendungsart kam hinzu, seitdem die Technik die Umwandlung des Ammoniaks in Salpetersäure und Salpeter erfolgreich auszuführen imstande ist.

Ohne Salpeter kann kein Pulver, kein Sprengstoff, mag er zum Sprengen von Gestein friedlichen Zwecken dienend, oder zur kriegerischen Verwendung bestimmt sein, hergestellt werden. Es ist allgemein bekannt, daß das alte Schwarzpulver aus Salpeter, Schwefel und Kohle besteht. Sämtliche neuzeitliche Pulverarten, sowie alle Sprengstoffe sind auf Salpetersäure angewiesen, die bisher aus Chilesalpeter gewonnen wurde.

Vor dem Kriege verbrauchte Deutschland jährlich in der

	Landwirtschaft	Industrie
Chilesalpeter	800000 t	120000 t

zusammen also nahezu eine Million Tonnen im Werte von 250 Millionen Mark. Als die Zufuhr aus Chile aufhörte, waren es die chemischen Fabriken, die Ersatz schafften. Das Habersche Verfahren, das kurz vor dem Kriege von der Badischen Soda- und Anilinfabrik erprobt worden war, entwickelte sich zu einer mächtigen Industrie, der es im Verein mit den Kalkstickstoffwerken gelang, den gewaltigen militärischen Anforderungen zu genügen.

Die neu entstandenen Anlagen werden fernerhin friedlichen Zwecken dienen und der deutschen Landwirtschaft den zur Steigerung der Ernten nötigen Salpeter liefern. Werden die Mehrerträge infolge der Verwendung von Salpeter im bisherigen Umfange sehr gering auf nur ein Fünftel geschätzt, so bedeutet dies eine Wertsteigerung der deutschen Produktion an Feldfrüchten von jährlich zwei Milliarden Mark. Es unterliegt jedoch keinem Zweifel, daß die Mehrerträge aufs Doppelte und darüber hinaus sich steigern lassen, wenn künstliche Düngemittel, unter denen der Salpeter das wertvollste ist, überall der Landwirtschaft in genügenden Mengen zugeführt und von ihr, wie die Erfahrungen es lehrten, verwendet werden.

VII. Der Verbrennungsprozeß.

Jede Verbrennung ist an drei Bedingungen geknüpft. Entzündungstemperatur.

Wir haben Verbrennung wiederholt definiert als: Chemische Vereinigung des brennbaren Körpers mit Sauerstoff. Diese Vereinigung findet in der Regel nicht ohne weiteres statt; erst wenn wir den brennbaren Körper auf eine bestimmte Temperatur erhitzen, entzündet er sich und brennt nun weiter. Jede Verbrennung ist somit an drei Bedingungen geknüpft, nämlich an: 1. Die Gegenwart eines brennbaren Körpers, 2. die Gegenwart von Sauerstoff, 3. eine bestimmte Entzündungstemperatur. Im täglichen Leben tritt die dritte Bedingung in den Vordergrund, da die meisten Körper, mit denen wir es zu tun haben, brennbar sind und überall da, wo die Luft hindringt, Sauerstoff vorhanden ist. Die Entzündungstemperatur ist für jeden Körper eine ganz bestimmte, ihm eigentümliche. Einige Körper besitzen eine sehr niedrige Entzündungstemperatur, andre wieder lassen sich nur unter Anwendung der höchsten Hitzegrade zur Verbrennung bringen.

Zu den leicht entzündlichen Körpern gehört der gelbe Phosphor. Ich will ein kleines Stück Phosphor, das ich hier unter Wasser aufbewahrt habe, zunächst vorsichtig mit etwas Löschpapier vom anhaftenden Wasser befreien und nun mit der Zange auf ein dünnes Holzbrettchen legen. Berühre ich den Phosphor mit einer Stricknadel, die ich vorher durch den Kork *K* (Abb. 60) gesteckt und einige Male rasch hin und her bewegt habe, so flammt er auf und verbrennt. Die Entzündungstemperatur des Phosphors liegt ungefähr bei 60° , also 40° niedriger als der Siedepunkt des Wassers. — Die leichte Entzündlichkeit und die große Giftigkeit des Phosphors erfordern peinliche Vorsicht beim Experimentieren mit demselben. Es ist meine Pflicht,

hierauf hinzuweisen und jeden, der nicht genügende Erfahrung besitzt, vor Anstellung von Versuchen mit Phosphor zu warnen.



Der Phosphor

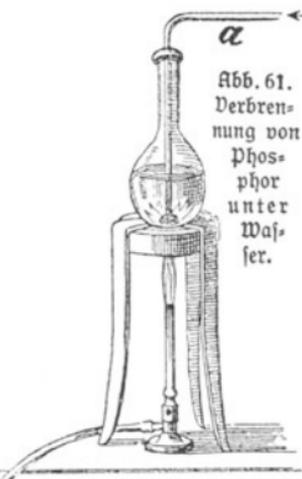


Abb. 61.
Verbrennung von
Phosphor
unter
Wasser.

ist verbrannt, das Holzbrettchen, auf dem er lag, hat sich nicht entzündet, obgleich es brennbar ist, weil beim Verbrennen des kleinen Stückchens Phosphor die erforderliche Entzündungstemperatur nicht erreicht wurde. Hätten wir unter den Phosphor etwas Schwefel, der sich an der Luft bei ungefähr 250° entzündet, gelegt, so würde sich der Schwefel an dem Phosphor, das Holz an dem brennenden Schwefel entzündet haben, in ähnlicher Weise, wie die früher gebräuchlichen Schwefelhölzchen mit der kleinen Phosphorkuppe beim Anreiben zum Brennen kamen.

Wegen der leichten Entzündlichkeit wird der Phosphor unter Wasser aufbewahrt, das chemisch nicht auf ihn einwirkt. Unter Wasser kann sich der Phosphor nicht entzünden, auch nicht, wenn wir das Wasser über 60° erwärmen, weil es die Luft abhält, mithin freier Sauerstoff, eine für jede Verbrennung notwendige Bedingung, fehlt. Erst wenn auch diese Bedingung gegeben ist, wenn wir in das Wasser Luft oder Sauerstoff durch ein Glasrohr zu dem Phosphor leiten, verbrennt er. Dieser lehrreiche Versuch, der zeigt, daß ein Körper auch unter Wasser verbrennen kann, ist vorbereitet, und wir brauchen jetzt nur noch die Verbindung der Glasröhre *a* (Abb. 61) mit einem Sauerstoffbehälter herzustellen, um zu sehen, wie bei jeder Gasblase, die ihn trifft, der Phosphor mit hellem Glanze aufleuchtet.

Es gibt noch leichter entzündliche Körper wie Phosphor. In dem Glaskügelchen (Fig. 62), das in zwei zugeschmolzene Spitzen ausläuft, befindet sich ein flüssiger Körper (Zinkäthyl), der sich bereits bei gewöhnlicher Temperatur entzündet. Sobald er an die Luft kommt, flammt er daher auf. Ich breche vorsichtig die obere Spitze der Kugel ab und neige sie jetzt langsam nach unten: Wie flüssiges Feuer tropft der Inhalt herab. Den Rest schleudere ich mit einem kräftigen Ruck heraus, und als Feuergarbe fällt er zu Boden. — Andre Körper wieder besitzen eine Entzündungstemperatur, die so hoch liegt, daß es besonderer Vorrichtungen bedarf, um sie hervorzubringen; hierher gehören die Schwermetalle: Zink, Zinn, Eisen. Nur die Edelmetalle: Silber, Gold, Platin verbrennen auch in der stärksten Hitze nicht.



Abb. 62. Kugelröhrchen mit
Zinkäthyl.

Die Kerzenflamme (Petroleum- und Leuchtgasflamme). Ursache des Leuchtens der Flamme.

Die Art der Verbrennung ist abhängig von den Verhältnissen, unter denen die drei erforderlichen Bedingungen gegeben sind. Dieselben lassen sich so regeln, daß eine gleichmäßig fortschreitende Verbrennung stattfindet. Ein schönes Beispiel hierfür ist die Flamme einer Kerze (Abb. 63). Diese alltägliche Erscheinung birgt in sich eine Fülle von Vorgängen, die unser volles Interesse in Anspruch zu nehmen imstande sind, wenn wir nur sehen, was sie uns zeigt.

Namhafte Naturforscher haben diese Vorgänge untersucht und klargestellt, unter ihnen Michael Faraday, dem wir die „Naturgeschichte einer Kerze“ verdanken. Die meisterhafte Darstellungsweise des englischen Gelehrten habe ich immer bewundert, und es wird uns von Nutzen sein, wenn wir ihm folgen: „Wir bemerken zunächst, wie die oberste Schicht der Kerze gleich unter der Flamme sich einsenkt zu einer kleinen Schale. Die zur Kerze gelangende Luft steigt infolge der Strömung, welche die Flammenhitze bewirkt, nach oben und kühlt dadurch den Mantel der Kerze ab, so daß der Rand des Schälchens kühler bleibt und weniger abschmilzt als die Mitte, auf welche die Flamme am meisten einwirkt, indem sie so weit als möglich am Docht herunterzulaufen strebt. Dieses Schälchen ist zum Teil mit flüssigem Kerzenmaterial angefüllt — es gleicht dem Ölbehälter der Lampen —, das flüssige Brennmaterial vermag der Docht aufzusaugen in sich hinein und bis zur Flamme hinauf, infolge der kapillaren Attraktion, wie die Physiker sagen, infolge derselben Kraft, die wir uns täglich zunutze machen, wenn wir nach dem Händewaschen das Handtuch nehmen, welches die Nässe von den Händen in sich zieht.“

Wir wissen, daß unsre ganze Kerze aus demselben leicht entzünd-

lichen Material besteht, das in wenigen Augenblicken zerstört ist, wenn die Flamme es in ihre Gewalt bekommt, aber wir sehen, daß die Flamme ruhig auf ihrem Platze bleibt. Sie strebt wohl herunterzulaufen an dem Docht, aber da trifft sie auf den geschmolzenen Inhalt des Schälchens und findet hier ihre Grenze; ja, wenn wir die Kerze plötzlich umdrehen würden, so daß das Geschmolzene am Dochte herunterlaufen müßte, würde die Flamme verlöschen. Warum? Weil sie die ihr plötzlich zugeführte Kerzenmasse

Abb. 63.
Die
Kerzen-
flamme.



nicht genügend zu erhitzen vermag, vielmehr selbst unter die Entzündungstemperatur abgekühlt wird.

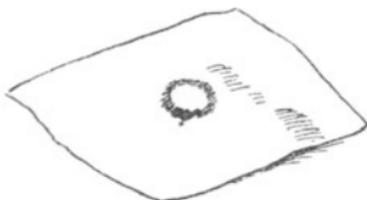


Abb. 64. Durch eine Kerzenflamme ringförmig gebräuntes Papier.

Wir wollen nun, um einen näheren Einblick in die Vorgänge, die sich in der Flamme abspielen, zu erhalten, einige Versuche anstellen, zunächst einen, der weiter keine Hilfsmittel als ein Stück Schreibpapier, wohl aber einige Geschicklichkeit erfordert. Ich fasse das Papier mit beiden Händen, bringe es über der Kerzenflamme in eine horizontale Lage, führe es nun rasch senkrecht hinunter bis in die Flamme dicht über den Docht und halte es hier fest, nur einen Augenblick, damit es nicht Feuer fängt. Der Versuch gelingt nicht immer gleich schön, es ist nötig, daß die Flamme ganz ruhig brennt. Das Papier (Abb. 64) ist ringförmig gebräunt, in der Mitte weiß geblieben. Wir schließen hieraus, daß am äußeren Umfange der Flamme eine größere Hitze herrscht als in der Mitte. Diese merkwürdige Beobachtung regt uns an, den inneren Teil der Flamme näher zu untersuchen. Senken wir eine Glasröhre langsam von oben her in das Innere der Flamme! Jetzt, wo sie den unmittelbar über dem Dochte befindlichen kaum leuchtenden, blau erscheinenden Teil erreicht, sehe ich, wie sich die Röhre mit weißen Dämpfen füllt,

die wir in einen Glaskolben leiten wollen, um ihnen Zeit zu lassen, sich in größeren Mengen zu sammeln (Abb. 65).

Hier brennt eine zweite Kerze, in welcher sich in derselben Weise eine Röhre von gleicher Form befindet (Abb. 66), jedoch so, daß aus der unteren Öffnung die Dämpfe frei in die Luft treten: ich versuche, sie zu entzünden, und es gelingt mir in der Tat! Unverkennbar ist der Zusam-

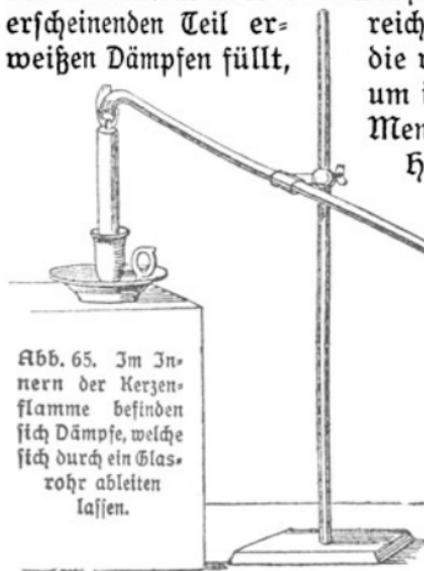


Abb. 65. Im Innern der Kerzenflamme befinden sich Dämpfe, welche sich durch ein Glasrohr ableiten lassen.

mir in der Tat! Unverkennbar ist der Zusam-

menhang des kleinen Flämmchens mit der Kerzenflamme, von der es erzeugt wird; es gleicht ihr nicht nur in seiner ganzen Erscheinung, sondern nimmt ihr auch wie ein Kind der Mutter einen Teil ihrer Kraft; der ursprüngliche Glanz der Kerzenflamme ist geschwächt.

Im Innern der Kerzenflamme befinden sich also brennbare Dämpfe. Das feste Kerzenmaterial, durch die Hitze der Flamme verflüssigt, vom Docht in das Innere der Flamme emporgeführt, hat hier Dampfform angenommen, und in diesem Zustande können wir es durch eine Glasröhre weiter leiten, in ähnlicher Weise wie das Leuchtgas aus der Gasanstalt durch weitverzweigte eiserne Rohrleitungen fortgeführt wird.

Eine alltägliche Erfahrung hat mich veranlaßt, die Glasröhre bis in den untersten, nicht leuchtenden Teil zu senken. hätten wir sie höher, da, wo die Flamme am hellsten leuchtet, belassen, so würde sie sich sehr bald verstopft haben, mit Ruß, den wir auch auf der Rückseite jenes Papierstückes bemerken, das wir über die Flamme hielten, der sich auf jedem festen Gegenstand, den wir in die Flamme bringen, abscheiden läßt. Ruß ist aber, wie wir wissen, nichts andres als Kohlenstoff, und wo stammt dieser Kohlenstoff her? Dieser Kohlenstoff ist in den Dämpfen enthalten, welche sich aus dem Kerzenmaterial im unteren Teil der Flamme entwickeln. Die gesteigerte Hitze der Flamme zerlegt die Dämpfe unter Abscheidung von Kohlenstoff. Der Ruß stammt also aus dem weißen Stearin der Kerze. Sie wurde in einer Stearinfabrik aus Rindertalg hergestellt, in welchem, wie in allen organischen Gebilden, Kohlenstoff enthalten ist; außerdem enthält Stearin nur noch Wasserstoff und Sauerstoff.

Der feste Kohlenstoff ist es, der durch sein Erglühen das Leuchten der Flamme bedingt. Im Innern der Flamme kann eine Verbrennung nicht stattfinden, weil hier der dazu erforderliche Sauerstoff fehlt, sondern nur am äußeren Umfange der Flamme, da, wo die Luft von

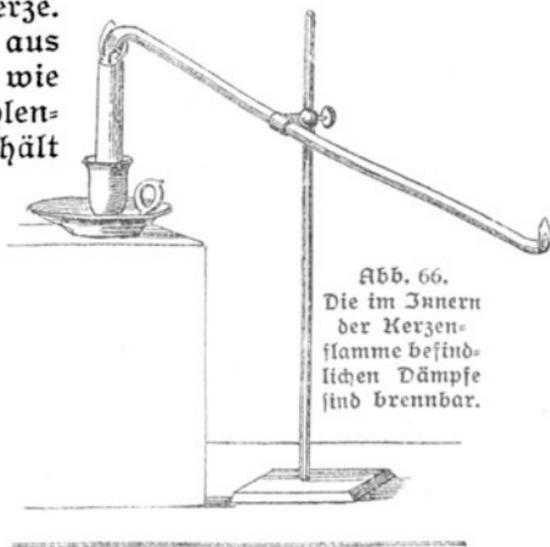


Abb. 66.
Die im Innern
der Kerzen-
flamme befind-
lichen Dämpfe
sind brennbar.

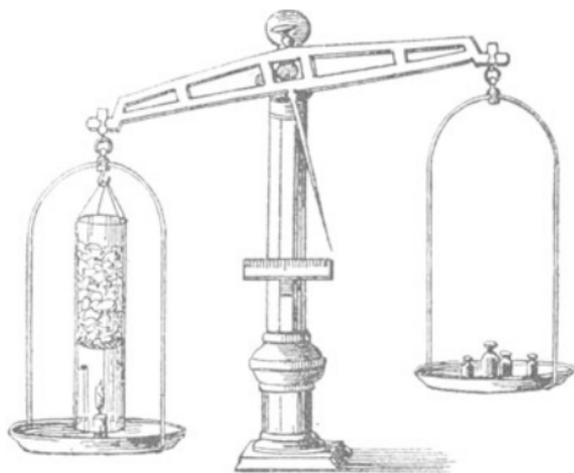


Abb. 67. Die Verbrennungsprodukte einer Kerze sind schwerer als die Kerze vor der Verbrennung.

Die Kerze brennt allmählich herab. Hierbei entsteht aus dem Kohlenstoff des Stearins Kohlenäure, aus dem Wasserstoff des Stearins Wasserdampf; beide Verbrennungsprodukte sind unsichtbar und mischen sich der Luft bei. Mit den Bestandteilen der Kerze vereinigt sich der Sauerstoff der Luft, es kommt zu denselben also etwas hinzu: die Summe der Verbrennungsprodukte ist daher schwerer als die Kerze vor der Verbrennung. Dies läßt sich nachweisen, wenn man eine Kerze auf einer Wage verbrennt und zugleich Vorkehrungen trifft, welche die Verbrennungsprodukte zurückhalten. Auf der linken Seite der Wage (Abb. 67) steht ein Lichtstumpf. Darüber ist ein Glaszylinder aufgehängt, dessen obere Hälfte kleine Stücke gebrannten Kalk (und Ätzkali), auf einem eingeklemmten Drahtnetz liegend, enthält. Der Kalk hat das Bestreben, sich sowohl mit Kohlenäure wie mit Wasser zu verbinden, er hält beide fest, wo er sie findet. Wenn ich den Lichtstumpf entzünde, steigen die Verbrennungsprodukte der Kerzenflamme in dem Zylinder empor, treffen mit dem gebrannten Kalk zusammen und werden von demselben zurückgehalten. Allmählich sinkt die Wage mit dem Lichte.

Genau dieselben Vorgänge spielen sich in der Petroleumflamme und in der Leuchtgasflamme ab. Letzterer strömen die fertig gebildeten, in den Gasfabriken bereits durch Erhitzen von Steinkohlen bei Luft-

allen Seiten heranströmt. In der Flamme äußerst fein verteilte Kohlenstoffteilchen sind es also, die durch ihr Erglühen das Leuchten der Flamme bedingen. Nachdringende Gase und Dämpfe schleudern sie an den Rand der Flamme, wo sie durch den Sauerstoff der Luft verbrannt werden, während gleichzeitig in ununterbrochener Folge durch neue Zersetzungsvorgänge frei werdende Kohlentheilchen emporsteigen und erglühen.

abschluß erzeugten Gase zu, während sie in der Kerzen- und Petroleumflamme erst am Orte der Verbrennung aus dem Leuchtmaterial entstehen.

Entleuchten der Flamme. Das Sauerstoffgebläse. Verbrennen von Eisen. Autogene Schweißung. Drummond'sches Kalklicht.

Wir sagten uns, daß im inneren, leuchtenden Teil der Flamme eine Verbrennung nicht stattfinden kann, weil Sauerstoff fehlt. Wenn ich durch ein Glasrohr Luft in die Flamme blase, also Sauerstoff zuführe (in ähnlicher Weise, wie bei dem Versuch S. 78 Abb. 61), dann sind auch im Innern der Flamme die Bedingungen für die Verbrennung gegeben, der Kohlenstoff verbrennt im Momente seines Freiwerdens, und die Flamme leuchtet nicht mehr (Abb. 68). Diese kleine, nicht leuchtende, spitze Flamme ist viel heißer als die leuchtende Flamme, weil die Verbrennung nicht nur am äußeren Umfange, sondern auch im Flammeninnern stattfindet. Man kann sich derselben mit Vorteil zum Löten bedienen. Daher nennt man eine Vorrichtung, die es ermöglicht, Luft in die Flamme zu blasen, zu der man gewöhnlich ein weniger zerbrechliches Material wie Glas nimmt, ein Lötrohr. Bei andauerndem Gebrauche einer solchen Flamme ist es bequemer, statt mit dem Munde, mit Hilfe eines Blasebalges oder auf andre Art Luft in die Flamme zu pressen. (S. 8 Abb. 1.)

Wir wissen, daß reiner Sauerstoff den Verbrennungsprozeß viel lebhafter unterhält als Luft. Wenn wir an Stelle von Luft Sauerstoff in die Flamme leiten, dann ist die Wirkung überraschend (Abb. 69). Infolge des konzentrierten Verbrennungsprozesses ist die Flamme so heiß, daß wir in dieselbe eingeführte Körper auf 2000° erhitzen können. In dieser Flamme schmilzt auch Platin, dessen Schmelzpunkt bei 1770° liegt.

Die unedlen Metalle vereinigen sich, sobald sie an der Luft auf ihre Entzündungstemperatur erhitzt werden, plötzlich mit Sauerstoff. Hierbei treten oft glänzende Verbrennungsercheinungen auf. Da liegt noch die Stricknadel, die wir zu Anfang der Vorlesung benutzten. Bringen wir das eine Ende derselben in die Flamme, so schmilzt das Eisen fast augenblicklich zu

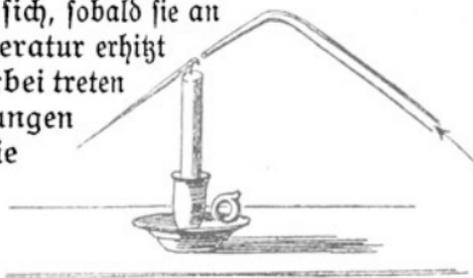


Abb. 68. Die Lötrohrflamme.



einer kleinen Kugel, die nicht herabfällt, weil das geschmolzene Metall von der gegenströmenden Flamme in Form kleinster Teilchen weggeschleudert wird. Nach allen Seiten sprühen helleuchtende Sternchen und führen uns eine der glänzendsten Erscheinung der Experimentalchemie vor Augen (Abb. 69).

Statt des Leuchtgases werden auch andere brennbare Gase im Sauerstoffgebläse benutzt, insbesondere Wasserstoff und Acetylen (S. 73). Sauerstoffgebläse finden zur „autogenen Schweißung“ der Metalle, namentlich des Eisens vielfache Verwendung. Die zu verbindenden Flächen werden unter dem Flammenstrahl zum Schmelzen gebracht. Gleichzeitig tropft von einem über die Verbindungsstelle gehaltenen durch denselben Strahl erhitzten Metallstab abschmelzendes Metall zwischen die Flächen. Nicht nur zum Verbinden von Metallteilen, sondern auch zum Zerschneiden von Eisen und Stahl dient Sauerstoff. Ist an einer kleinen Stelle durch den brennenden Gasstrahl die erforderliche Temperatur erreicht, so genügt Sauerstoff allein. Unter der fortdauernden Einwirkung eines kräftigen Sauerstoffstrahls verbrennt das Eisen so lebhaft, daß durch die Verbrennungswärme die benachbarten Teilchen sofort zum Schmelzen gebracht, durch den Gasstrahl zerstäubt werden und unter Funkenprühen verbrennen. Durch 10 cm dicke Stahlplatten lassen sich in der Minute 20 bis 25 cm

lange scharfe Schnitte erzielen (Linde). Die Arbeit erfordert große Geschicklichkeit, die Augen müssen wegen der blendenden Lichtwirkung des verbrennenden Eisens durch Brillen mit schwarzen Gläsern geschützt werden.

Körper, welche unschmelzbar sind und nicht verbrennen (insofern sie bereits Verbrennungsprodukte sind), leuchten in der Hitze der Flamme oft so hell, daß das Auge den blendenden Glanz nicht zu ertragen vermag. Wenn wir statt der Nadel ein Stück gebrannten Kalk in die Flamme bringen, so sehen wir, wie es mit zunehmender Leuchtkraft erglüht und Tageshelle um uns verbreitet, so daß die Gasflammen, die uns bisher ausreichendes Licht spendeten, Schatten werfen. In dieser Form ist der Versuch, welcher auf das schlagendste zeigt, daß das Leuchten durch Erglühen fester Körper hervorgebracht wird, zuerst von dem englischen Chemiker Drummond angestellt worden. Man bezeichnet daher die Erscheinung als Drummondsches Kalklicht und benutzte es, als das elektrische Bogenlicht noch nicht so leicht zugänglich war, als Signallicht, zu Beleuchtungseffekten und auch heute noch als Lichtquelle für Projektionsapparate bei Vorträgen, um Bilder einem größeren Zuhörerkreis sichtbar zu machen. Noch schöner ist das Licht, wenn man an Stelle des kaltes Zirkon- oder Thorerde verwendet.

Zusammensetzung des Leuchtgases.

Das Leuchtgas ist kein chemisch einheitlicher Körper, sondern eine Mischung von folgenden Gasen:

Vol.-Proz.

40—50 Wasserstoff	} als nicht leuchtende Flamme verbrennend,
35—40 Grubengas	
5—8 Kohlenoxyd	} mit helleuchtender, rußender Flamme verbrennend,
3—5 Äthylen, Benzol und andere schwere Kohlenwasserstoffe	
1—2 Kohlenensäure	} nicht brennbare Beimengungen.
1—5 Stickstoff	

Wasserstoff, Grubengas und Kohlenoxyd sind die Träger der schweren Kohlenwasserstoffe, deren Gegenwart die Leuchtkraft des Gases bedingt. Aus ihnen wird in der Hitze der Flamme der Kohlenstoff abgeschieden, welcher durch sein Erglühen das Leuchten der Flamme bewirkt.

Der Bunsen-Brenner. Verwendung des Leuchtgases zum Kochen und Heizen.

Zu manchen Zwecken, insbesondere wenn wir das Leuchtgas zum Heizen und Kochen verwenden wollen, eignet sich die leuchtende Flamme

Abb. 70.
Durch Luft
entleuchtete
Gasflamme.



nicht, weil in Berührung mit ihr die Kochtöpfe beruhen. In sehr einfacher Weise läßt sich die rußende Flamme durch Zumischen einer geringen Menge Luft entleuchten.

Die zu einer feinen Spitze ausgezogene Glasröhre *a* (Abb. 70) steht durch den Gummischlauch *b* mit der Gasleitung in Verbindung. Über die Glas-
spitze ist ein Korkstopfen geschoben, der genau in die untere Öffnung der Glasröhre *c* paßt. Drücke ich ihn fest an, so strömt das Gas aus der Spitze in die Röhre, es verläßt sie durch die obere Öffnung und brennt, entzündet, mit leuchtender Flamme. Wenn ich nun den Korkstopfen lüfte und die Glasspitze ganz allmählich nach unten bewege, so wird das Leuchten der Flamme schwächer und schwächer und hört, bei einer bestimmten Entfernung der Spitze von der unteren Öffnung der Glasröhre, ganz auf. Die Erklärung für diese Erscheinung ist einfach. Ähnlich wie das Wasser eines Springbrunnens stürzt der Gasstrom aus der engen Öffnung hervor und reißt

Teile der umgebenden Luft mit sich fort in die Glasröhre *c* hinein. Eine Mischung von Leuchtgas und Luft entströmt der oberen Öffnung der Röhre und die Flamme leuchtet nicht mehr, wenn die beigemischte Luft ausreicht, allen Kohlenstoff im Flammeninnern zu verbrennen. Bei dem Versuche ist es nicht notwendig, Spitze und Röhre senkrecht zu halten, es gelingt auch bei geneigter, selbst bei wagrechtlicher Stellung beider Teile, wenn sie sich nur in derselben Richtung befinden. Stellen wir diese Vorrichtung statt aus Glas aus Metall her, so haben wir den Blaubrenner, dessen wir uns vielfach bei unsern Versuchen bedienen. Im Brennerfuß (Abb. 71) ist eine kleine Öffnung für das Gas, die Metallröhre hat am unteren Ende zwei gegenüberliegende Löcher für den Luftzutritt. Schließen wir dieselben mit den Fingern (Abb. 72), so wird die Flamme größer und leuchtend. Diese Form ist dem Brenner von Robert Bunsen, dem berühmten Heidelberger Chemiker, der wie kein anderer es verstand, mit den einfachsten Mitteln bewundernswerte Erfolge zu erzielen, gegeben worden, man nennt ihn daher Bunsen-Brenner.



Abb. 71. Zerlegter
Bunsen-Brenner.

Die Gestalt der Flamme ist von der Form

der Ausströmungsöffnung abhängig. Die Flamme des Bunsen-Brenners ist in ihrem untersten Teile zylindrisch, baucht sich dann etwas aus und verläuft kegelförmig bis zur Spitze. Abb. 73 zeigt Aufsatzstücke, die auf die Mündung des Brenners passen. Das eine läuft in einen breiten Spalt aus und bewirkt eine fächerartige Ausbreitung der Flamme, die andern sind scheibenförmig gestaltet und seitlich (das eine auch oben) mit ringförmig angeordneten, kleinen Öffnungen versehen. Aus jeder derselben

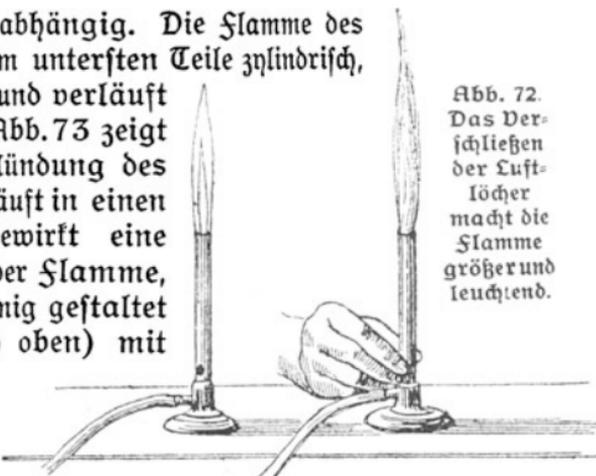


Abb. 72. Das Verschließen der Luftlöcher macht die Flamme größer und leuchtend.

sehen wir blaue Flämmchen hervorzüngeln, die wie ein Kranz die Brennerscheibe umgeben. Wir haben es also ganz in der Hand, der Flamme eine bestimmte Form zu geben oder sie zu teilen, wie es unsern Zwecken am besten entspricht. Hiervon hat die Technik ausgiebigsten Gebrauch gemacht bei der Konstruktion der Gaskoch- und Gasheizapparate, wie sie die kleine Ausstellung neben unserm Experimentiertisch zeigt.

Die Vorteile des Kochens mit Gas liegen auf der Hand, keine Hausfrau, welche sie aus eigener Erfahrung kennen gelernt hat, wird sie missen wollen. Es ist kein Brennmaterial herbei- und keine Asche fortzuschaffen, es ist nur nötig, den Gashahn zu öffnen, um jederzeit, Tag und Nacht, über die Heizquelle zu verfügen. Die Kochtöpfe beruhen nicht, wie im Herdfeuer; nur wenn die Flamme leuchtet, kann sich Ruß absetzen. In diesem Falle ist der Brenner nicht in Ordnung, es fehlt an Luft, die Verbrennung ist unvollständig.¹⁾

Die übliche Art der Unterhaltung des Herdfeuers mit Holz, Torf, Braun- oder Steinkohlen bedeutet immer eine Verschwendung an Brennmaterial, weil sich die Hitze nicht nach Bedarf regeln läßt. An der einen Stelle glüht die Herdplatte, an einer andern kommen die Speisen kaum

Abb. 73. Bunsenbrenner mit seitlich durchlöcherter Aufsatzscheibe.



1) Vor dem Gebrauche solcher Brenner ist zu warnen, da bei unvollständiger Verbrennung Kohlenoxyd entsteht, das sehr giftig ist (S. 97).

ins Kochen. Die Überlegenheit des Kochens mit Gas liegt in der Möglichkeit, jeden Augenblick nach Bedarf sparen zu können. Um die Speisen ins Kochen zu bringen, ist mehr Wärme nötig wie zum Weiterkochen, die Köchin stellt den Gasbahn auf: „Kleine Flamme“. Das Kochen mit Gas ist billiger, wie die gewöhnliche Herdfeuerung. Auch Spiritus- und Petroleumkochapparate erfordern in der Regel einen größeren Kostenaufwand und längere Zeit. Um ein Liter Wasser ins Sieden zu bringen, waren bei einem Versuche erforderlich:

	Zeit	Brennstoff
Gas	11 Minuten	32,000 l
Spiritus	14 =	0,028 =
Petroleum	28 =	0,026 =

Nach den jeweiligen Einheitspreisen lassen sich hieraus die Kosten leicht berechnen.

Eine sehr bequeme Kontrolle des Gasverbrauchs ermöglichen die „Gasautomaten“ (Münzgasmesser), die erst nach Einwurf eines 10-Pfennig-Stückes die freie Verfügung des Gases gestatten, und zwar immer nur so lange, bis die dem ortsüblichen Preise entsprechende Menge verbraucht ist.

Plötzliche Verbrennung oder Explosion.

In der Brennröhre des Bunsen-Brenners mischen sich einem Raumteil Leuchtgas etwa zwei Raumteile Luft bei. Das ist eine zur vollständigen Verbrennung unzureichende Menge. Im Innern der Flamme kann daher nur ein Bruchteil der brennbaren Bestandteile verbrennen, der Rest gelangt an den äußeren Flammensaum und wird hier durch die zur Flamme strömende Luft verbrannt.

Werden allmählich größere Luftmengen dem Leuchtgas beigemischt, dann gelangt man plötzlich zu einer Mischung, die ein ganz anderes Verhalten zeigt. Der Versuch läßt sich leicht anstellen. Die etwa zwei Liter fassende Flasche A (Abb. 74) hat zwei Öffnungen, eine in der Mitte, die andre seitlich. Erstere ist durch einen Kork verschlossen, in welchem ein etwa 1 m langes und 1 cm weites Glasrohr b steckt. In die seitliche Öffnung befestige ich ein Rohrstück c und verbinde es durch einen Schlauch mit der Gasleitung, so daß jetzt das Leuchtgas durch c in die Flasche strömt. Es kann nur durch b entweichen, ich entzünde es mit der nötigen Vorsicht (vgl. Abb. 37, S. 50) und es brennt wie eine leuchtende Fackel. Nun entferne ich den Stopfen mit dem Rohrstück c

und schlieÙe den Gasahn. Die aus der oberen Öffnung der Röhre *b* brennende Flamme wird kleiner und leuchtet schwächer. Dauernd dringt durch die freie Öffnung Luft, die noch einmal so schwer ist wie Leuchtgas, mischt sich diesem bei und entleuchtet die Flamme. Immer weniger brennbare Gase verlassen die Röhre *b*. Die Flamme verkleinert sich bis auf wenige Millimeter, aber sie verlöscht nicht, sie sinkt in die Röhre *b* hinab, anfangs ganz langsam, dann immer schneller, so daß wir kaum mit den Augen folgen können, und in der Flasche angelangt, veranlaßt sie plötzlich die Explosion des rückständigen Gasgemischs. Da die Flasche offen ist, können sich die bei der Explosion blitzartig erglühenden Gase ausdehnen, es findet daher keine Zertrümmerung der Flasche statt. Der scharf zischende durchdringende Ton, den wir hörten, läßt auf die Kraft schließen, mit welcher plötzlich die erhitzten Gase aus der Flasche gepreßt wurden.

Dieser Versuch zeigt sehr schön, daß die allmählich vermehrte Luftzufuhr 1. die Leuchtkraft der Flamme herabdrückt und bald ganz aufhebt, 2. bei weiterer Steigerung eine Mischung erzeugt, die explosionsartig verpufft.

Genaue Messungen haben ergeben, daß einem Raumteil Leuchtgas wenigstens 5 Raumteile Luft beige-
mengt sein müssen, ehe das Gemisch die Eigenschaft zu verpuffen annimmt. Bei dem Verhältnis 1 Teil Leuchtgas zu 6 bis 7 Teilen Luft ist die Explosion am stärksten, sie tritt nicht mehr ein, wenn die Luft in dem Gemisch mehr als das 12 fache vom Leuchtgas beträgt.

Wenn zwei Gase miteinander gemischt werden, so durchdringen sie sich gegenseitig, wie wir wissen. Ist das eine Gas brennbar und enthält das andre Sauerstoff, so sind in jedem Teile der Gas Mischung die Bedingungen für die Verbrennung gegeben, sobald die Entzündungstemperatur dazu kommt. In einem solchen Gasgemisch pflanzt sich die Entzündung schneller wie der Schall (340 m in der Sekunde) fort, es findet eine plötzliche Verbrennung durch die ganze Masse hindurch, d. i. eine „Explosion“, statt.

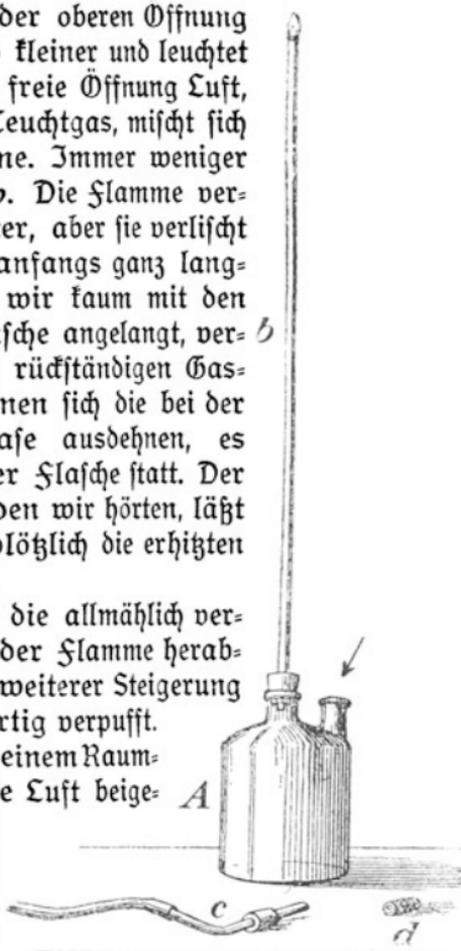


Abb. 74. Bei gesteigerter Zumischung von Luft zu Leuchtgas entsteht allmählich ein explosives Gemisch.

Den unangenehmen Geruch des Leuchtgases mag manche Hausfrau als eine lästige Zugabe empfunden haben; für unsre Sicherheit ist er von unschätzbarem Werte, denn er verrät uns sofort, wenn durch undicht gewordene Leitungen Gas ins Zimmer gelangt ist. Wir werden, nachdem wir wissen, daß schon kleine Leuchtgasmengen heftige Explosionen veranlassen können, die Hähne unsrer Gasleitung stets sorgfältig schließen und uns wohl hüten, wenn es in einem Raume nach Gas riecht, denselben mit einem brennenden Lichte zu betreten. In einem solchen Falle ist durch Öffnen der Fenster für Abzug des Gases zu sorgen.

Trotz aller Vorsicht ereignen sich Explosionen ähnlicher Art noch immer bisweilen in Kohlenbergwerken. Die Steinkohlen enthalten ein brennbares Gas eingeschlossen, das nach diesem Vorkommen Grubengas¹⁾ genannt wird. Wenn der Häuer in das Kohlenflöz einschlägt, entweicht es und bildet mit der Luft eine explosive Mischung, die der Bergmann „schlagende Wetter“ nennt, weil sie, entzündet, mit einem Schläge explodiert, Tod und Verderben mit sich bringend überall da, wo die Flamme Stollen und Schacht erfüllt. Vermeiden läßt sich diese schreckliche Gefahr durch gut ventilierte Luftschächte, welche die brennbaren Gase ins Freie führen. Haben sich schlagende Wetter aber einmal gebildet, dann ist ängstlich dafür Sorge zu tragen, daß nirgends eine Wärmeentwicklung eintritt, welche die Entzündungstemperatur der schlagenden Wetter erreicht. Ein brennendes Streichholz genügt, die Explosion zu veranlassen. Licht kann der Bergmann aber bei seiner mühevollen Arbeit unter Tage nicht entbehren.

Wir wollen den Versuch, den wir zuletzt anstellten, noch einmal wiederholen, zuvor aber in die Röhre *b* ein kleines, etwa 1 cm breites Stückchen zusammengerolltes Drahtnetz *d* (Abb. 74 u. 75) bringen. Die Erscheinungen, die wir beobachten, sind zunächst dieselben. Die Flamme brennt hellleuchtend aus der Röhre, sehr bald nimmt die Leuchtkraft ab, die Flamme wird kleiner, genau so, wie wir es

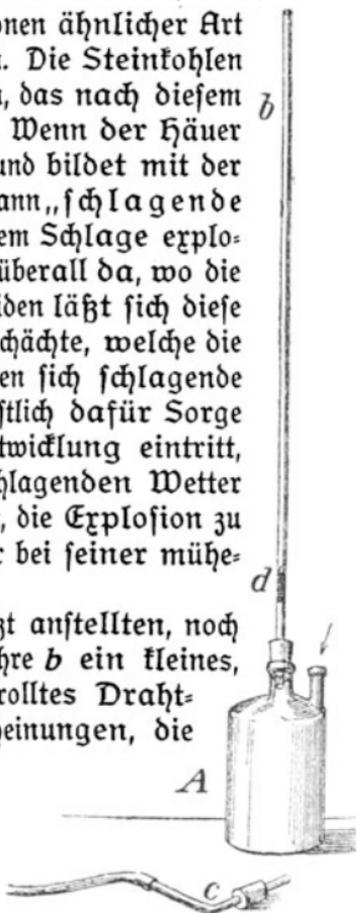


Abb. 75. Das Stückchen Drahtnetz *d* verhindert die Übertragung der Explosion aus der Röhre *b* in die Flasche *A*.

1) Dasselbe Gas entsteht in Sümpfen durch Einwirkung von Bakterien auf Pflanzenreste und wird nach diesem Vorkommen auch Sumpfgas genannt.

vorhin ſahen. Das Drahtnetz hindert alſo die Bewegung der Gaſe nicht. Das Leuchtgas enthält bis zu 40^o/_o Grubengas, die Vorgänge in unſrer Flaſche ſind denen ungemein ähnlich, die in einem Bergwerk ſtattfinden, wenn Grubengas in die Luſt gelangt. Allmählich wird die Miſchung exploſiv und die „ſchlagenden Wetter“ ſind da. Richten wir jezt unſere Blicke auf die kleine Flamme, die kaum ſichtbar noch immer aus der Röhre brennt. Jezt fährt das Flämmchen herab — aber es macht halt an dem Drahtnetz! Oberhalb deſſelben brennt es weiter, bisweilen verlöſcht es wohl auch. Das Metall leitet die Wärme ſo gut, daß ſich die Hitze des kleinen Flämmchens verteilt und herabſinkt unter die Entzündungstemperatur des exploſiven Gaſgemiſches in der Flaſche, das ſofort verpufft, wenn ich ein brennendes Streichholz durch den offenen ſeitlichen Hals in die Flaſche fallen laſſe.

Die Davnſche Sicherheitslampe.

Das Ergebnis des Verſuchs, daß ein feinmaſchiges Drahtnetz einer Ex- ploſion Halt zu gebieten vermag, hat H. Davn (1816) bei der Bauart ſeiner Sicherheitslampe verwertet. Dieſe Lampen (Abb. 76) ſind für den

Bergmann heute noch von unſchätzbarem Wert. Auf den unteren, aus Meſſing gefertigten Teil der Lampe, der Ölbehälter und Docht enthält, iſt in einer metallenen Faſſung zunächſt ein kurzer Glaszylinder, darüber eine nach allen Seiten hin geſchloſſene Kappe von engmaſchigem Drahtnetz (auf 1 qcm etwa 100 Maſchen) aufgeſchraubt. Eiſenſtäbe ſchützen Zylinder und Kappe gegen Zerbrecen beim Anſtoßen oder Hinfallen der Lampe. Die Lampe läßt ſich nur mit Hilfe eines Schließfels öffnen, den der überwachende Beamte zurückbehält, wenn er den zur Grube fahrenden Bergleuten die Lampen übergibt. Die ſchlagenden Wetter können wohl durch das feinmaſchige Drahtnetz in das Innere der Lampe gelangen und ſich hier entzünden, aber die Entzündung pflanzt ſich nicht nach außen fort. In der Regel deuten Trübbrennen und Verlängerung der Flamme ſchon vorher die drohende Gefahr an, ſo daß der aufmerksame Bergmann Zeit gewinnt, ſich derſelben zu entziehen.



Abb. 76.

Die Davnſche Sicherheitslampe.

Die neueste Erfindung auf dem Gebiete der Unfallverhütung in Bergwerken ist die Schlagwetterpfeife von F. Haber. Die Wirkung derselben beruht darauf, daß eine Pfeife verschieden hohe Töne von sich gibt, je nachdem sie mit reiner Luft oder einem Gemisch von Luft und einem andern Gase angeblasen wird. Der durch einen Handgriff leicht in Tätigkeit zu setzende Apparat enthält zwei auf denselben Ton gestimmte Pfeifen, die bei einem gefährdrohenden Gehalt an Grubengas ein rasches Trillern ertönen lassen. Das Warnungssignal ist auf gerader Strecke über 100 m weit zu hören.

Ursachen des Verlöschens des Feuers.

Wir sahen, daß es möglich ist, einem explosionsartig verlaufenden Verbrennungsvorgang Einhalt zu gebieten durch Herabminderung der Temperatur. Dasselbe sind wir bemüht zu tun, wenn es sich darum handelt, einen Brand gewöhnlicher Art zu löschen. Denn wenn wir Wasser in das Feuer gießen, beabsichtigen wir nichts andres, als den brennenden Körper unter seine Entzündungstemperatur abzukühlen. Je größer die Glut ist, um so größerer Wassermassen bedarf es, um den gewünschten Erfolg zu erreichen.

Ein Feuer läßt sich aber auch löschen, indem wir ihm die Luft und mit ihr den Sauerstoff entziehen. Benzin fängt sehr leicht Feuer und brennt, wenn ich einige Tropfen, die ich in das Schälchen (Abb. 77) gieße, entzünde, mit heller, weit über das Schälchen hinausragender Flamme. Ich decke jetzt mit fester Hand ein Glas über das Schälchen, und die Flamme verlöscht, weil ihr der Sauerstoff fehlt. Dieselbe Wirkung hätte ich erzielt, wenn ich ein (am besten nasses) Tuch über die Schale gedeckt hätte, sofern es mir dabei gelungen wäre, die Luft voll-



Abb. 77. Löschen einer Flamme durch Abschließen der Luft.

ständig abzuschließen. Auf diese Weise läßt sich oft mit Teppichen, Decken oder dicken Tüchern ein Brand im kleinen ersticken, wenn es an Wasser zum Löschen fehlt.

Endlich verlöscht jeder Brand von selbst, wenn die dritte Bedingung, die Gegenwart des brennbaren Körpers, beseitigt, d. h. wenn alles dem Feuer Erreichbare verbrannt ist. Jeder Brand nimmt daher auch ohne

unser Zutun sein Ende, allerdings leider zu oft nur, indem er Verheerung und Verwüstung, Elend und Jammer als sein Gefolge zurückläßt. An

uns ist es, rechtzeitig Vorkehrungen zu treffen und bereit zu halten, welche die Erfahrung und die richtige Erkenntnis des Verbrennungsvorgangs gelehrt haben.

VIII. Die unvollständige Verbrennung.

Das Rußen der Lampen und das Rauchen der Schornsteine.

Wer des Abends die Petroleumlampe anzündet, pflegt sich zu beeilen, den Zylinder aufzusetzen, weil sonst die Flamme rußt. — Der Docht saugt mehr Petroleum auf, als der Sauerstoff der Luft zu verbrennen vermag. Durch die Hitze der Flamme werden die Kohlenwasserstoffe, aus denen das Petroleum besteht, zerlegt in: Wasserstoff, der zuerst verbrennt, und in Kohlenstoff, von dem ein Teil unverbrannt als Ruß entweicht. Wir haben das Bild einer unvollständigen Verbrennung. Der Zylinder, den wir aufsetzen, wirkt saugend, wie ein Schornstein, er saugt so viel Luft zur Flamme, daß eine vollständige Verbrennung stattfindet.

Dieselbe Erscheinung der unvollständigen Verbrennung, das Rußen, tritt ein, wenn wir das richtige Verhältnis zwischen Petroleum- und Luftzufuhr dadurch ändern, daß wir den Docht höher schrauben oder den Luftzutritt in irgendeiner Weise hindern. Das kann auch zufällig geschehen, indem sich Staub und Schmutz in dem durchlöcherten und durchbrochenen Teil des Brenners unterhalb des Zylinders festsetzen und die Öffnungen verstopfen. Eine solche unvollständige Verbrennung ist immer unwirtschaftlich. Sie bedeutet im vorliegenden Falle eine Einbuße an Licht. Das ist aber nicht alles, wir empfinden es bald sehr unangenehm, wenn im Zimmer die Lampe blakt.

Und wie steht es in dieser Beziehung mit unsern Öfen, wie regeln wir hier die Verbrennung, wie nutzen wir hier das Brennmaterial aus? Wie rauchen zuweilen die Schornsteine auf den Häusern und insbesondere die Fabrikschornsteine! Bei diesen fällt es mehr in die Augen, da sieht man oft dichte, schwarze Rußwolken, also ungenutzten Kohlenstoff, in die Luft strömen — und das bedeutet eine Verschwendung von Brennstoffen, insofern dieselben zur Erzeugung von Wärme unvollständig ausgenutzt werden.

Wir wissen auf Grund unsrer Erfahrungen, daß es in allen diesen Fällen an Luft, an dem nötigen Sauerstoff fehlt — aber auch das Zuviel bringt Nachteile, ebenso wie das Zuwenig. Die bestmögliche Ausnutzung der Brennstoffe erfordert nicht allein eine Ofenbauart, die sich auf die Erkenntnis des Verbrennungsvorganges stützt, sondern auch eine richtige Beaufsichtigung und Regelung des Verbrennungs-

vorganges selbst. Um hierüber ein Urteil zu erhalten, erscheint es zweckmäßig, zunächst das Verhalten von Brennstoffen in der Hitze bei ungenügendem Luftzutritt oder, besser noch, bei gänzlichem Luftmangel zu verfolgen.

Einwirkung der Hitze auf Steinkohlen bei Abschluß von Luft.

Leuchtgasbereitung.

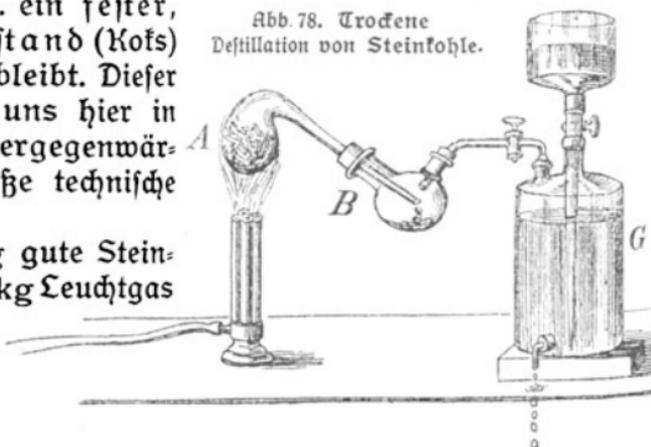
Das Glasgefäß *A* (Abb. 78) ist ungefähr zu einem Drittel mit gepulverter Steinkohle gefüllt. Da die Erfahrung gelehrt hat, daß sich beim Erhitzen von Kohlen Gase und Dämpfe entwickeln, verbinde ich das Glasgefäß *A*, das wir „Retorte“ nennen wollen, mit einer „Vorlage“ *B* und diese mit dem Wasser enthaltenden Gasbehälter *G*. Nun erhitze ich die Steinkohle in der Retorte mit einer kräftigen Flamme. Unter diesen Verhältnissen kann eine Verbrennung der Steinkohle nicht stattfinden. Warum nicht?

Das Erhitzen von festen Körpern bei Abschluß von Luft bezeichnet man mit „trockener Destillation“. Wir unterwerfen also jetzt Steinkohlen der trockenen Destillation, bei welcher sie eine tiefgreifende Veränderung erfahren.

Unter dem Einfluß der Hitze findet eine Zersetzung der Steinkohlen statt, bei welcher 1. gasförmige Produkte entstehen, die sich in dem Gasbehälter *G* ansammeln und das Wasser aus demselben verdrängen; 2. Dämpfe auftreten, die sich in der Vorlage *B* in zwei Schichten verdichten, und zwar zu einer wässrigen, oben auf schwimmenden Flüssigkeit (Ammoniakwasser) und zu einer dickflüssigen, schwarzen Masse (Teer); 3. ein fester, grauschwarzer Rückstand (Koks) in der Retorte zurückbleibt. Dieser Vorgang, den wir uns hier in kleinem Maßstab vergegenwärtigen, hat eine große technische Bedeutung.

Es liefern 100 kg gute Steinkohlen ungefähr: 15 kg Leuchtgas (30 cbm), 5 kg Teer, 6 kg Ammoniakwasser, 74 kg Koks.

Abb. 78. Trockene Destillation von Steinkohle.



In den Gasanstalten und in den Kokereien der Hüttenwerke werden täglich gewaltige Massen Steinkohlen der trockenen Destillation unterworfen. Deutschland verbrauchte 1914 in den Kokereien 40 Millionen Tonnen, in den Gasanstalten 10 Millionen Tonnen, zusammen ein Viertel des Gesamtverbrauchs an Steinkohlen.

Für die Gasanstalten ist der Koks ein willkommenes Nebenprodukt, das für Sammelheizungen gesteigerten Absatz findet. Die Kokereien erzeugen als Hauptprodukt den zur Eisengewinnung notwendigen schweren Koks. Seit einiger Zeit finden die über den eigenen Bedarf hinaus gewonnenen Gasmengen in den Industriebezirken Verwendung zur Versorgung benachbarter Städte (Essen, Barmen) mit Leucht- und Heizgas. Das Ammoniakwasser wird zu schwefelsaurem Ammoniak, ein in der Landwirtschaft begehrtes Düngemittel, verarbeitet. Der Teer ist das Rohmaterial zur Gewinnung von Benzol, Toluol, Phenol, Naphthalin, Anthrazen usw. (Produkte, die in der Farbenindustrie und zur Herstellung von Heilmitteln lohnende Verwendung finden), von Motor- und Schmierölen und von Pech zur Asphalt- und Dachpappenfabrikation usw.

Wie die Kohlen selbst, sind sämtliche Zersetzungsprodukte (mit Ausnahme des Ammoniakwassers) brennbar — aber die Art der Brennbarkeit ist eine sehr verschiedene. Wir wissen, wie leicht entzündlich das Leuchtgas ist und wie schnell es verbrennt. Auch der Teer läßt sich entzünden. Tauchen wir einen Glasstab in Teer und heben ihn wieder heraus, so bleibt etwas von der dickflüssigen, schwarzen Masse hängen, die nicht abtropft, sondern wie ein Faden sich herabsenkt. Es gelingt mir, denselben mit einem brennenden Streichholz zu entzünden und wir sehen jetzt, wie der Teer mit heller, dichte Rußwolken um sich verbreitender Flamme verbrennt. Der Koks dagegen läßt sich nicht in so einfacher Weise zum Brennen bringen.

In unsern Öfen pflegen wir zunächst ein Holzfeuer anzumachen und legen, wenn dieses ordentlich brennt, die Kohlen darauf. Die Hitze des Holzfeuers veranlaßt die Zersetzung der Kohlen. Zieht der Ofen gut, dann findet eine vollständige Verbrennung der zuerst entweichenden gasförmigen und teerigen Produkte statt, und der in Glut geratene Koks verbrennt allmählich. Fehlt es aber an Luft, so scheidet sich Kohlenstoff ab, der sich im Ofenrohr absetzt oder als Ruß aus dem Schornstein entweicht. Der verkofte Anteil der Kohlen kann nicht verbrennen, und das Feuer geht aus. Die Möglichkeit, daß unvollständig verbrannte Gase und Ruß entweichen, liegt daher besonders dann vor, wenn neue Kohlen nachgelegt wurden, es trifft dies fast immer zu, wenn wir einen Schornstein stark rauchen sehen.

Der richtig geschulte Heizer verfährt folgendermaßen: er schiebt

zunächst den noch vorhandenen glühenden Koks nach dem hinteren Teil des Ofens und macht den vorderen Teil des Rostes frei, auf welchen er die Kohlen legt. Dann erfolgt die Erhitzung der Kohlen allmählich von hinten nach vorn, die frei werdenden Gase werden, indem sie die dahinter liegende glühende Koks-schicht passieren, genügend erhitzt, um vollständig verbrennen zu können, und der Schornstein raucht nicht, denn die Produkte der vollständigen Verbrennung der Steinkohlen, Kohlen-säure und Wasser-dampf, sind dem Auge nicht sichtbar. Über dem Schornstein des richtig bedienten Ofens zittern die warmen Verbrennungsgase oder es erhebt sich ein kleines, weißes Wölkchen verdichteten Wasser-dampfes.

Kohlendunst und Kohlenognd.

Der schwarze Ruß ist das sichtbare, aber nicht das einzige Produkt der unvollständigen Verbrennung, daneben treten noch andre auf, die man im gewöhnlichen Leben mit „Kohlendunst“ bezeichnet. Wenn die Zersetzung der Kohlen vollendet, das Gas- und Dampf-förmige verbrannt und nur noch glühender Koks zurückgeblieben ist, dann ist es unvorteilhaft, zuviel Luft in den Ofen zu lassen. Erstens kann die kalte Luft den glühenden Koks allmählich unter seine Entzündungstemperatur abkühlen, es bleiben unverbrannte Koksstücke zurück; zweitens entführt die überschüssige Luft Wärme. Wir heizen den Schornstein und der Ofen bleibt kalt. Das hat die Erfahrung seit langer Zeit gelehrt und eine Vorrichtung zur Regelung des Luftzutritts, wie sie auch die Ofenklappe war, ist unentbehrlich. Die Ofenklappen sind durch gesetzliche Vorschriften abgeschafft, weil Kohlendunst ins Zimmer drang, wenn sie zu früh geschlossen wurden, auch klappten sie bei mangelhafter Beschaffenheit von selbst zu und es ereigneten sich zufällige oder auch absichtlich herbeigeführte Unglücksfälle. An ihre Stelle sind als Ersatz die fest schließenden eisernen Ofentüren getreten. Wenn wir dieselben rechtzeitig zuschrauben, dann kann keine überschüssige Luft in den Ofen gelangen. Wir haben dieselben Vorteile, welche die Klappe bietet, ohne ihre Nachteile befürchten zu müssen, wenn der Ofen sich in gutem Zustande befindet.

Die schädliche Wirkung des Kohlendunstes, der auch bei fest verschlossener Tür durch Risse und Spalten schadhafter Öfen ins Zimmer gelangen kann, wird durch ein farb- und geruchloses Gas, das neben andern, dunstig riechenden Produkten auftritt, veranlaßt. Dieses Gas



Abb. 79. Nachweis
von Kohlenoxyd.

— das Kohlenoxyd — tritt immer bei der unvollständigen Verbrennung von Steinkohlen, Torf, Holz auf. Auch bei der trockenen Destillation der genannten Brennstoffmaterialien entsteht Kohlenoxyd, es ist daher auch im Leuchtgas vorhanden. Das Kohlenoxyd ist ungemein giftig. Enthält die Luft auch nur ein Tausendstel Kohlenoxyd, so treten beim Einatmen derselben sehr bald krankhafte Erscheinungen: Kopfweh, Schwindel, Ohnmacht ein; steigert sich der Kohlenoxydgehalt auf vier Tausendstel, so wirkt die

Luft nach den Untersuchungen Pettenkofer's in 30 bis 60 Minuten tödlich.¹⁾

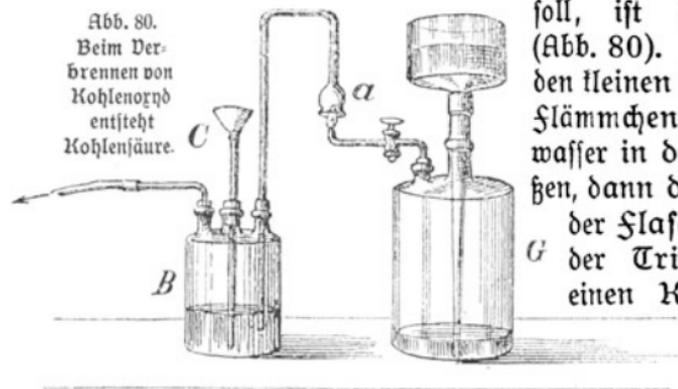
Man kann Kohlenoxyd in der Luft erkennen, wenn man mit Palladiumchlorür getränkte Papierstreifen aufhängt. Bei Gegenwart von Kohlenoxyd werden die braunen Papierstreifen allmählich schwarz. Das Leuchtgas enthält 6 bis 8% Kohlenoxyd und ist daher sehr giftig. Ob durch undichte Stellen in der Leitung oder durch offen gebliebene Hähne Leuchtgas in einen Raum gelangt ist, läßt sich, auch wenn wir es nicht riechen sollten, infolge seines Kohlenoxydgehaltes mit Hilfe von Palladiumpapier leicht nachweisen. Wir wollen etwas Leuchtgas in ein Glasgefäß (Abb. 79), welches kaum $\frac{1}{2}$ l faßt, einströmen lassen und einen Palladiumpapierstreifen einhängen, den ich mit Hilfe eines in die Öffnung des Gefäßes passenden Korks fest einflemme; in kurzer Zeit färbt der Papierstreifen sich tiefschwarz.

Bei der Verbrennung von Kohlenoxyd entsteht Kohlenensäure. Zusammensetzung des Kohlenoxyds und der Kohlenensäure. Chemische Zeichen und Formeln.

Die genannten Eigenschaften des Kohlenoxyds sind wohl geeignet, unser weiteres Interesse für das merkwürdige Gas in Anspruch zu nehmen und insbesondere die Frage nach seiner Zusammensetzung in uns anzuregen. Kohlenoxyd ist brennbar, wie wir sehen, wenn ich das im Gasbehälter G (Abb. 80) uns zur Verfügung stehende Gas entzünde; es brennt mit schön blauer Flamme. Was entsteht bei der Verbrennung des Kohlenoxyds? Der Versuch, der uns auf diese Frage Antwort geben

1) Die tödlich wirkende Menge des Gases beträgt etwa 10 ccm für 1 kg Körpergewicht.

Abb. 80.
Beim Ver-
brennen von
Kohlenoxyd
entsteht
Kohlensäure.



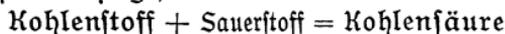
soil, ist bereits vorbereitet (Abb. 80). Wir brauchen nur den kleinen Trichter *a* über das Flämmchen zu stülpen, Kalkwasser in die Flasche *B* zu gießen, dann die mittlere Öffnung der Flasche nach Entfernung *G* der Trichterröhre *c* durch einen Kork zu verschließen und nun die Flasche in der Richtung des Pfeils

mit einem Aspirator zu verbinden. Die Saugwirkung des Aspirators zwingt die Verbrennungsgase, ihren Weg durch das Kalkwasser zu nehmen. Das Kalkwasser trübt sich. Dieselbe Erscheinung haben wir beobachtet, als wir die Eigenschaften der Kohlensäure studierten. Wenn wir den festen weißen Körper, der sich hier vor unsern Augen immer reichlicher abscheidet, auf einem Papierfilter sammeln und mit Essig oder einer andern Säure übergießen, so erhalten wir ein Gas, welches in der Tat nichts andres als Kohlensäure ist. Also der Versuch lehrt, daß bei der Verbrennung von Kohlenoxyd Kohlensäure entsteht, und wenn wir nach weiteren Verbrennungsprodukten suchen, wir finden nichts andres. Bei der Verbrennung von Kohlenoxyd entsteht nur Kohlensäure. Verbrennung ist aber, wie wir wissen, nichts andres als chemische Vereinigung des brennbaren Körpers mit Sauerstoff.

Wollen wir diesen Vorgang in einer Gleichung zum Ausdruck bringen, so können wir schreiben:

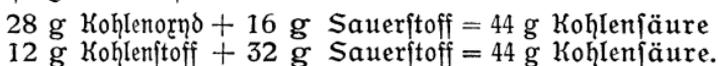


Nun erinnern wir uns aber auch des Resultates früherer Versuche (S. 60), daß bei der Verbrennung von Kohlenstoff Kohlensäure entsteht. Wir sind daher auch berechtigt,



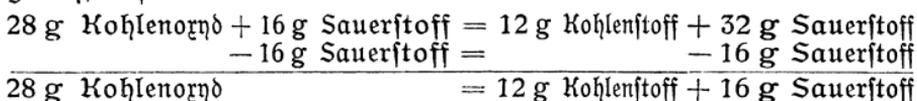
zu setzen. Diese beiden Gleichungen ermöglichen es uns, auf einen Bestandteil des Kohlenoxyds zu schließen. In der Kohlensäure sind die Elemente Kohlenstoff und Sauerstoff enthalten, immer, überall, gleichgültig, wie und wo sie entstand. Da auch Kohlenoxyd und Sauerstoff Kohlensäure geben, muß im Kohlenoxyd Kohlenstoff enthalten sein.

In den vorstehenden Gleichungen haben wir die Beobachtungen in der Weise zum Ausdruck gebracht, wie es bis Ende des 18. Jahrhunderts üblich war. Sie sind der Ausdruck der Art und Weise, der Qualität der Erscheinungen, sagen uns aber nichts über die Mengenverhältnisse, in denen die Körper aufeinander wirken. Nehmen wir die Wage zur Hand und verfolgen wir — was sich hier in wenigen Minuten nicht durchführen läßt — die Vorgänge mit der Wage, da kommen wir zu folgenden Resultaten:

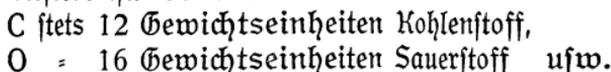


Diese Gleichungen tragen auch den Mengenverhältnissen (der Quantität) Rechnung und erlauben uns weitere Folgerungen.

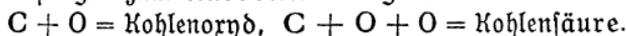
Wenn zwei Größen einer dritten gleich sind, so sind sie untereinander gleich, also:



Die Schreibweise, deren wir uns bedienen, ist umständlich; um sie übersichtlicher zu gestalten, sind die chemischen Zeichen eingeführt worden. Als solche wurden die Anfangsbuchstaben der lateinischen oder griechischen Namen der Elemente gewählt, z. B. C von Carbonium für Kohlenstoff, O von Oxygenium für Sauerstoff usw., aber mehr noch, mit diesen Zeichen denkt sich der Chemiker stets eine ganz bestimmte Menge von Gewichtseinheiten des Elementes verknüpft, die für die verschiedenen Elemente verschieden, für ein und dasselbe Element immer dieselbe ist. So bedeutet



Verwenden wir diese Zeichen, so können wir die Resultate, daß sich 12 g Kohlenstoff mit 16 g Sauerstoff zu Kohlenoxyd und 12 g Kohlenstoff mit 32 g Sauerstoff zu Kohlen säure vereinigen, in folgenden einfachen Gleichungen zum Ausdruck bringen:

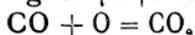


Sagt man das Gleiche zusammen und drückt man die Verbindungen durch Aneinanderlagern der Zeichen aus, so gelangt man zu der Schreibweise, wie sie in chemischen Lehrbüchern allgemein üblich ist:



In ähnlicher Weise können wir die Verbindung von 28 g Kohlenoxyd

und 16 g Sauerstoff zu 44 g Kohlenäure in die Formel



zusammenfassen. Diese Formeln bringen unsere Erfahrungen in gemein einfacher Weise zum Ausdruck und stehen mit denselben in vollem Einklang. Bei der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Körper entsteht, wenn es an Luft fehlt (nur wenig Sauerstoff vorhanden ist), Kohlenoxyd, bei reichlichem Luftzutritt (Gegenwart von viel Sauerstoff) Kohlenäure. Kohlenoxyd erscheint als Zwischenprodukt der Verbrennung des Kohlenstoffs zur Kohlenäure.

In gleicher Weise wie für Kohlenstoff und Sauerstoff sind für alle andern Elemente Zeichen eingeführt, die immer zugleich eine bestimmte relative Gewichtsmenge ausdrücken, die wir uns auch mit dem kleinsten Teilchen, welches in eine chemische Verbindung eintritt, verknüpft denken und die wir Atomgewicht nennen. In der Tabelle (S. 124), welche die Zusammenstellung der Elemente enthält, sind diese Zeichen und die Atomgewichtszahlen aufgeführt.

IX. Aus dem Reiche der Vorstellungen.

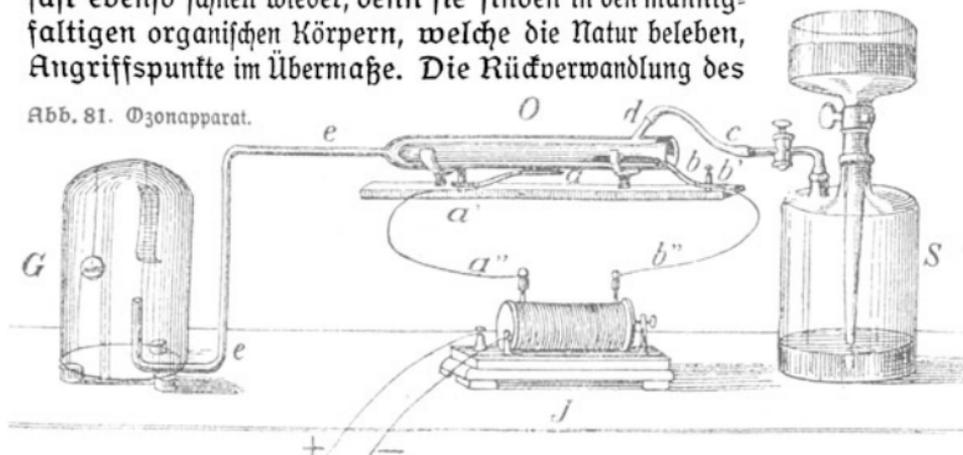
Ozon eine allotrope Modifikation des Sauerstoffs.

Wir wissen aus einer unserer früheren Zusammenkünfte, daß die Luft draußen im Freien, wenn auch nur in äußerst geringer Menge, einen gasförmigen Körper enthält, den wir Ozon nannten. Ozon ist aber im chemischen Sinne nichts andres als Sauerstoff, in ganz ähnlicher Weise, wie der Diamant nichts andres als Kohlenstoff ist. Die physikalischen Eigenschaften dieser Körper sind verschieden, die chemische Natur ist dieselbe. Den verschiedenen Zustand, in welchem uns ein und dasselbe Element entgegentritt, bezeichnet man als „allotrope Modifikation“. Der Diamant ist also eine allotrope Modifikation des Kohlenstoffs, das Ozon eine allotrope Modifikation des Sauerstoffs. Ozon entsteht aus dem Sauerstoff der Luft bei dunklen elektrischen Entladungen, bei dem unsichtbaren Ausgleich verschiedener elektrischer Spannungen, wie er in der Natur vielfach vor sich geht. Man ist auf das Ozon zuerst durch den Geruch aufmerksam geworden, der sich in Räumen verbreitet, in welchen längere Zeit mit einer Elektrifiziermaschine gearbeitet wird. Dieser eigentümliche, durchdringende Geruch war Veranlassung für den Namen (von ὄζων [ozon, griech.] = riechend).

Zur Gewinnung des Ozons benutzt man einen Apparat O (Abb. 81),

der aus zwei ungleich weiten, konzentrisch ineinander gesteckten Glasröhren besteht. Die innere Röhre ist an dem einen Ende geschlossen, an dem andern trichterförmig, bis zum Durchmesser der äußeren Röhre erweitert und mit dieser fest verschmolzen. Die Ansatzstücke *d* und *e* ermöglichen es, durch den zwischen den beiden Röhren verbleibenden Raum Sauerstoff aus dem Gasbehälter *S* zu leiten. Die äußere Röhre ist auf der Außenseite, die innere Röhre auf der Innenseite mit Stanniol, einem guten Leiter des elektrischen Stromes, belegt. Fügt man den Apparat in einen Stromkreis ein, so gleicht sich die Spannung von dem einen Stanniolbelag zu dem andern durch die Glaswandungen und die zwischen denselben befindliche Sauerstoffsicht hindurch aus (dunkle Entladung), und hierbei findet die Umwandlung des Sauerstoffs in Ozon statt. Da Wechselströme von großer Spannung erforderlich sind, habe ich den Induktionsapparat *J* eingeschaltet. Mit Hilfe des Glas-*hahns* *c* regle ich den Sauerstoffstrom so, daß er sich nur ganz langsam durch den Apparat bewegt. Durch *e* tritt er mit Ozon beladen wieder aus; der Weg, der ihm vorgeschrieben ist, führt ihn unter die Glasglocke *G*. Um die Wirkung des Ozons beobachten zu können, habe ich unter derselben einen blaugefärbten Zeugstreifen aufgehängt, der allmählich heller und schließlich weiß wird. Man benutzt Ozon in der Industrie zum Bleichen von Leinwand, Stroh usw. Die ungemein energisch oxydierende Wirkung des Ozons äußert sich auch auf Riechstoffe, Bakterien aller Art; sie werden durch das Ozon zerstört und vernichtet. Dabei zerfällt das Ozon selbst in Sauerstoff. Die Spuren Ozon, welche in der Luft draußen im Freien entstehen, verschwinden daher fast ebenso schnell wieder, denn sie finden in den mannigfaltigen organischen Körpern, welche die Natur beleben, Angriffspunkte im Übermaße. Die Rückverwandlung des

Abb. 81. Ozonapparat.



Ozons in Sauerstoff erfolgt auch durch Hitze. Wenn ich die Röhre e (Abb. 81) mit einer Flamme erwärme, findet der Zerfall statt, und gewöhnlicher Sauerstoff verläßt alsdann die Röhre.

Es ist bisher noch nicht gelungen, den Sauerstoff vollständig in Ozon überzuführen, also ganz reines Ozon herzustellen. Man hat aber aus der teilweisen Umwandlung berechnet, daß aus drei Litern Sauerstoff zwei Liter Ozon entstehen. Da 1 l Sauerstoff 1,43 g wiegt, muß somit 1 l Ozon $\frac{3}{2} \times 1,43 = 2,145$ g wiegen. In demselben Gewichtsverhältnis stehen $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$. . . $\frac{1}{n}$ l beider Gase.

Molekeln und Atome.

Bei der mechanischen Teilung eines Körpers gelangen wir an eine Grenze, die von den verwendeten Instrumenten abhängig ist. In der Vorstellung brauchen wir nicht haltzumachen. Es ist eine uralte Anschauung, die Körper seien aus sehr kleinen nicht weiter zerlegbaren Teilen zusammengesetzt, auf welche schon indische und griechische Naturphilosophen ihre Betrachtungen stützten. Auch heute noch machen wir eine solche Voraussetzung und nennen das kleinste, einer weiteren mechanischen Teilung nicht mehr fähige Teilchen eines Körpers „Molekel“ (von *molecula* [lateinisch] = Massenteilchen). Wir können diese Vorstellung zur Erklärung der Gesetzmäßigkeiten, denen die Gase (und die andern Körper) unterworfen sind, nicht entbehren und gründen unsere weiteren Folgerungen auf das Gesetz (von Avogadro 1811): Alle gasförmigen Körper enthalten in gleichen Raummengen (bei gleichem Druck und gleicher Temperatur) die gleiche Anzahl von Molekeln.

Hiernach ergibt sich, wenn wir die Anzahl der Molekeln in einem Liter mit n bezeichnen, das Gewichtsverhältnis von:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Molekel Sauerstoff: } 1 \text{ Molekel Ozon} &= \frac{1,43}{n} : \frac{2,145}{n} \\ &= 1 : 1,5 = 32 : 48 = 2 \times 16 : 3 \times 16. \end{aligned}$$

Mit dem chemischen Zeichen O denken wir uns 16 Gewichtseinheiten Sauerstoff verknüpft, wir können daher den Unterschied zwischen Sauerstoff und Ozon zum Ausdruck bringen, indem wir schreiben für

$$1 \text{ Molekel Sauerstoff} \dots \text{OO} = \text{O}_2, \quad 1 \text{ Molekel Ozon} \dots \text{OOO} = \text{O}_3.$$

Die Molekel ist somit einer weiteren Teilung fähig, diese letzten Teile

heißen Atome. Eine Molekel Sauerstoff besteht aus (mindestens) 2 Atomen, eine Molekel Ozon aus (mindestens) 3 Atomen Sauerstoff.

Die Anwendung der Atomtheorie auf die Bildung von Ozon aus Sauerstoff würde zu folgender Vorstellung führen. Unter dem Einfluß der elektrischen Energie werden Sauerstoffmolekeln in Atome gespalten und zu neuen Molekeln anders gruppiert. Die verbrauchte elektrische Energie kommt in der vermehrten chemischen Energie des Ozons wieder zum Vorschein.

Wie Sauerstoff, so bestehen auch die andern Grundstoffe aus Atomen. Die Anzahl verschiedenartiger Atome ist begrenzt, sie kann nur so groß sein wie die Zahl der Elemente (83).

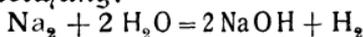
Ein Blick in die Ionenlehre.

Ein andres Beispiel der chemischen Wirkung der elektrischen Energie haben wir in der Zersetzung des Wassers kennengelernt (S. 44). Solange der Strom durch das Wasser geht, entwickelt sich an der positiven Elektrode (Anode) Sauerstoff, an der negativen Elektrode (Kathode) Wasserstoff. Schon Faraday suchte diese Erscheinung auf Grund der Beobachtung, daß gleichnamige Elektrizitäten sich abstoßen, ungleichnamige sich anziehen, zu erklären; er nahm an, der elektrische Strom bewirke eine Spaltung der Molekel (H_2O) in positiv geladenen Wasserstoff $\overset{+}{\text{H}}\overset{+}{\text{H}}$ und negativ geladenen Sauerstoff $\bar{\text{O}}$ und nannte diese elektrisch geladenen Atome Ionen (von *ίόν* [ion, griech.] = Wanderer), da sie fortwährend an die ungleichnamigen Elektroden wandern. In neuerer Zeit ist die Ionentheorie durch Svante Arrhenius (1888) und andere Forscher weiter ausgebaut worden und hat in ihrer neuen Form überraschende Aufschlüsse über bis dahin unzugängliche Gebiete der Chemie und Physik gebracht.

Reines Wasser leitet den elektrischen Strom nicht. Nur wenn im Wasser gewisse Stoffe (Säuren, Basen, Salze), die man Elektrolyte genannt hat, gelöst sind, wird es leitend. (Bei dem Versuche S. 45 setzen wir dem Wasser etwas Schwefelsäure zu.) Man nimmt nun an, daß schon bei der Auflösung in Wasser ohne weiteres eine Spaltung des Elektrolytes in Ionen eintritt, und nennt diesen Vorgang elektrische Dissoziation oder Ionisation. Die Ionen treten immer paarweise mit entgegengesetzter Elektrizität beladen auf. So ist z. B. eine wässrige Lösung von Salzsäure (HCl) in $\overset{+}{\text{H}}$ und $\bar{\text{Cl}}$ ionisiert. Sobald der Strom

eingeschaltet wird, wandern die Ionen an die ungleichnamigen Elektroden, hier angelangt geben die Ionen ihre Elektrizitätsmengen ab und vereinigen sich zu elektrisch indifferenten Wasserstoff- und Chlormolekeln, die gasförmig entweichen. Der Elektrolyt (HCl) verschwindet allmählich aus der Lösung. Die Arbeit, welche man früher dem elektrischen Strom allein zuschrieb, ist also geteilt, einen Teil übernimmt die ionisierende Kraft des Wassers. Um die Wanderung der Ionen zu bewirken, genügen schon ganz schwache Ströme.

Bei der Elektrolyse von Kochsalz (NaCl) in wässriger Lösung wandern Na^+ - und Cl^- -Ionen zu den Elektroden. An der Anode entweicht molekulares Chlor (Cl_2) gasförmig, an der Kathode gehen die entladenen Na^+ -Ionen in den molekularen Zustand über, zugleich tritt die uns bekannte chemische Einwirkung des Natriums auf Wasser (S. 49) ein, die nach der Gleichung:



verläuft. Die sichtbare Wirkung ist in gleicher Weise, wie bei der Zersetzung der Salzsäure, Gasentwicklung an beiden Elektroden. Bei dieser haben wir es jedoch mit einem rein elektrolytischen Vorgang zu tun, während in der Kochsalzlösung gleichzeitig ein zweiter chemischer Vorgang stattfindet, wobei NaOH (Ähnatron) entsteht, das auf diese Weise in der Technik in großen Massen hergestellt wird.

In vielen Fällen enthalten die Ionen mehr als ein Element, so ist Schwefelsäure (H_2SO_4) in wässriger Lösung in H^+ - und SO_4^{--} -Ionen gespalten. Auch hier entweicht bei der Elektrolyse an der negativen Elektrode Wasserstoff, der an der positiven Elektrode entladene Schwefelsäurerest SO_4 jedoch ist nicht existenzfähig, er zerfällt in Sauerstoff und SO_3 (Schwefeltrioxyd), das sich mit Wasser vereinigt, so daß Schwefelsäure zurückgebildet wird:

$$2\text{SO}_4 = \text{O}_2 + 2\text{SO}_3$$

$$2\text{SO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_2\text{SO}_4$$

In diesem Falle bleibt die Menge des Elektrolytes unverändert, endgültig findet Zerlegung des Wassers in Wasserstoff und Sauerstoff statt.

Die Zersetzung des mit Schwefelsäure versetzten Wassers durch den elektrischen Strom erscheint auf den ersten Blick ungemein einfach. Beim tieferen Eingehen haben wir jedoch eine Erklärung des Vorgangs gefunden, die sich stützt auf: 1. die ionisierende Wirkung des Wassers, 2. die Wanderung der Ionen, 3. eine chemische Einwirkung des Wassers, und betreten damit das Gebiet theoretischer Erörterungen.

Wir erkennen den großen Wert der Theorien an, die uns unentbehrlich sind, um unsrer Wahrnehmung Entzogenes durch Vorstellungen zu erklären, die uns leichter zurechtfinden lassen in der Fülle zunächst oft regellos erscheinender Tatsachen und Vorgänge und die uns vorausblicken lassen in unerforschte Gebiete. Im Rahmen meiner Aufgabe muß ich es mir aber versagen, so verlockend es auch erscheinen mag, weiter in die Ionentheorie einzudringen. Die wenigen Andeutungen waren erforderlich, um die Elektrolyse des Wassers dem heutigen Standpunkt der Wissenschaft entsprechend zu erklären.¹⁾

X. Arbeit. — Wärme. — Licht.

Umwandlung von Arbeit in Wärme und von Wärme in Arbeit. Mechanisches Wärmeäquivalent und die Wärmeeinheit.

Früher betrachtete man die Wärme und das Licht als etwas Stoffliches, man sprach von Wärme- und Lichtstoff. Wärme bezeichnete man als: „diejenige Substanz, deren Eintritt in unsern Körper das Gefühl der Wärme, deren Austritt das Gefühl der Kälte in uns erregt“. Diese Auffassung ließ jedoch eine Reihe von Erscheinungen, die wir fast täglich beobachten, insbesondere die Entstehung von Wärme durch Reibung, Stoß, und andre mechanische Mittel unerklärt. Man wußte sehr wohl, daß die Bewegung der Räder das Heißlaufen der Wagenachsen zur Folge hat, wenn sie nicht genügend geschmiert werden, man sah beim Aneinanderschlagen von Stahl und Stein Funken entstehen, es war bekannt, das wilde Völkerstämme durch Reiben von Holz an Holz sich Feuer zu verschaffen wissen, aber man beachtete dies nicht weiter, bis die Versuche des Grafen Rumford im Jahre 1798 die allgemeine Aufmerksamkeit der gelehrten Welt auf sich lenkten. Rumford war damals in München mit dem Bohren von Kanonen beschäftigt. Die bedeutende Wärme, die sich hierbei entwickelte, gab ihm die Anregung, einen besonderen Apparat zu bauen, um die durch Reibung erzeugte Wärme zu untersuchen. Der bewegliche Teil des Apparates wurde durch Pferde um seine Achse gedreht und es gelang, 9 l Wasser in 2 $\frac{1}{2}$ Stunden ins Kochen zu bringen.

1) Es sei auf folgende Bändchen der Sammlung ANUG hingewiesen: W. Löb, Einführung in die chemische Wissenschaft (Bd. 264); K. Arndt, Elektrochemie (Bd. 234); G. Mie, Moleküle, Atome, Weltäther (Bd. 58).

Immerhin vergingen noch 44 Jahre, bis der Heilbronner Arzt Dr. Rob. Mayer die Beziehung zwischen Arbeit und Wärme durch Berechnung des mechanischen Äquivalentes der Wärme zahlenmäßig feststellte und damit unsere heutige Ansicht über das Wesen der Wärme sicher begründete. Wärme ist nichts anderes als eine Art der Bewegung, wie der Schall, wie das Licht, wie die Strahlen elektrischer Kraft.

Die Volumenänderungen, welche die Körper durch Wärme erfahren, lassen sich am leichtesten im gasförmigen Zustande beobachten und messen. Denken wir uns einen langen Zylinder, der unten geschlossen, oben offen ist (*AB* Abb. 82). In demselben sei ein Stempel *S* luftdicht schließend ohne Reibung beweglich, dessen Eigengewicht durch ein über die Rolle *R* gelegtes Gegengewicht *G* ausgeglichen ist. In dem vom Stempel *S* und dem Boden *B* des Zylinders begrenzten Raum befindet sich ein bestimmtes Luftvolumen *V*. Wird dasselbe erwärmt, so dehnt es sich aus und hebt den Stempel *S* in die Höhe. Um wieviel, läßt sich leicht messen. Diese Messungen ergeben, daß aus *V* von 0° beim Erwärmen

$$\begin{array}{ll} \text{auf } 1^{\circ} \dots V + \frac{1}{273} V & \text{auf } 3^{\circ} \dots V + \frac{3}{273} V \\ = 2^{\circ} \dots V + \frac{2}{273} V & = t^{\circ} \dots V + \frac{t}{273} V \end{array}$$

wird, d. h. jede Temperaturerhöhung von 1° vergrößert das Volumen, welches die Luft bei 0° eingenommen hatte, um $\frac{1}{273}$; bei einer Erwärmung von 0° auf 273° verdoppelt sich mithin das Luftvolumen.

Bei der Erwärmung und der dadurch bedingten Volumenvergrößerung wird, falls die Wandungen unbeweglich sind, eine Vermehrung des Druckes, den die Gase auf die Wandungen ausüben, hervorgebracht. Wenn ein Teil dieser Wandungen beweglich ist, wie in der in Abb. 81 dargestellten Vorrichtung, wird durch die Ausübung einer Bewegung (des abschließenden Stempels *S*) eine bestimmte Arbeit geleistet. Da der Stempel ausbalanciert ist, erfordert seine Hebung keine Arbeitsleistung, wohl aber ist die über ihm befindliche Luftsäule zu heben. Wir wissen (vgl. S. 35), daß die atmosphärische Luft unter gewöhnlichen Verhältnissen auf eine 1 qcm große Fläche einen Druck ausübt,

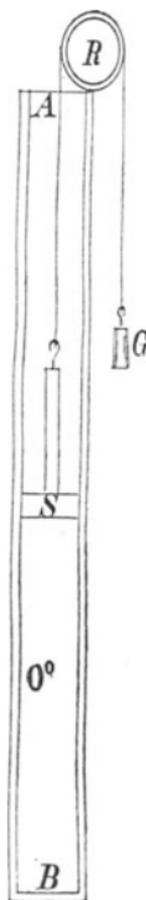


Abb. 82.

welcher dem Druck von rund 1 kg (genauer 1,033 kg) gleichkommt, den man als den Druck von einer Atmosphäre bezeichnet. Beträgt nun der Querschnitt des Stempels 100 qcm, so lastet auf demselben ein Druck von rund 100 kg. Bei der Erwärmung des in dem durch den Stempel abgeschlossenen Raume befindlichen Gases geht eine Emporbewegung des Stempels unter gleichzeitiger Überwindung des auf ihm lastenden Druckes vor sich. Wie weit nun der Stempel nach oben bewegt wird, ergibt der Versuch. Ist die Entfernung $SB = 273$ cm, so beträgt die Hubhöhe für jeden Grad Celsius 1 cm. Die bei einer Verdopplung des Volumens (in diesem Falle müßte die Temperatur der Gase 273° betragen, wenn sie beim Beginn des Versuchs 0° betrug) geleistete Arbeit würde also in dem als Beispiel gewählten Falle betragen:

$$100 \text{ kg} \times 273 \text{ cm} = 27\,300 \text{ Kilogrammzentimeter}$$

$$= 273 \text{ Kilogrammeter.}$$

Um diese Arbeit zu leisten, mußte eine Erwärmung der Gasmasse erfolgen, es mußten ihr also Wärmemengen zugeführt werden. Diese Wärmemengen mißt man nach einer Einheit, welche als „Kalorie“ bezeichnet wird. Eine Kalorie ist diejenige Wärmemenge, welche erforderlich ist, um die Temperatur von 1 kg Wasser von 0° auf 1° zu erhöhen. Würden wir hiernach unter Benutzung eines besonderen Apparates, eines Kalorimeters, die zugeführte Wärmemenge nach Kalorien messen, so wie wir die geleistete Arbeit nach Kilogramm Metern berechnet haben, so würden wir in dem Falle des von uns betrachteten Beispiels, bei einer Verdopplung des Volumens, einen Verbrauch von 0,639 Kalorie beobachten, wenn die gesamte zugeführte Wärmemenge zu nichts anderm als der Ausdehnung der eingeschlossenen Gase verbraucht wurde. Eine einfache Rechnung ergibt hiernach, daß eine Kalorie eine Arbeit zu leisten vermag, die genau so groß ist wie diejenige, welche erforderlich ist, um 427 Kilogramm ein Meter hoch zu heben; man nennt diese Arbeitsgröße das mechanische Wärmeäquivalent. $1 \text{ Kalorie} = 427 \text{ Kilogramm Meter.}$

Durch diese Gleichung kommt sowohl das bei der Verwandlung von Wärme in Arbeit, als auch das bei der Verwandlung von Arbeit in Wärme auftretende gegenseitige Größenverhältnis zum Ausdruck. Die Gleichung sagt zugleich, daß, wenn eine Masse von 427 kg beim Herabfallen aus einer Höhe von 1 m ausschlägt, ohne daß dabei noch andre Arbeitsleistungen (z. B. Formveränderungen) entstehen, so viel Wärme erzeugt wird, wie nötig ist, um 1 kg Wasser von 0° auf 1° zu er-

wärmen. Um 1 kg Eis von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln, sind 80 Kalorien erforderlich. Diese Wärmemenge entspricht einer Arbeit von 80×427 Meterkilogramm, die lediglich dazu verbraucht wird, um die kleinsten Teilchen aus der starren Lage, in der sie sich im Eise befinden, in den leichtbeweglichen flüssigen Zustand zu bringen. (Vgl. S. 37.) Um 1 kg Wasser von 100° in Dampf von 100° überzuführen, sind 539 Kalorien erforderlich. Die gleiche Wärmemenge kommt dann auch wieder zum Vorschein, wenn 1 kg Wasserdampf von 100° sich rückwärts zu flüssigem Wasser verdichtet usw.

Für alle praktischen Vorrichtungen, bei denen Wärme in Arbeit umgesetzt wird, insbesondere für den Betrieb von Maschinen, ist die Kenntnis des mechanischen Wärmeäquivalents von großer Bedeutung. Wie weit sich die Leistungsfähigkeit einer Maschinenanlage dem Erreichbaren nähert, ergibt der Vergleich der verbrauchten Wärmemenge und der geleisteten Arbeit. Es ist besonders hervorzuheben, daß dasjenige, was wir mit unsern Thermometern messen (obgleich der Name Wärmemesser bedeutet), nicht Wärmemengen sind, sondern Wärmestufen, die wir Temperaturen zu nennen gewohnt sind.

Das Thermometer.

Wenn wir nach dem Thermometer sehen, um zu erfahren, wie warm oder kalt es ist, lesen wir den Teilstrich der Skala ab, bis zu welchem die Quecksilberfäule gerade reicht. Die Teilung ist für jedes Thermometer besonders herzustellen. Hierbei verfährt man so, daß man zunächst die festen Punkte des Thermometers: 1. den Eispunkt, durch Eintauchen in schmelzendes Eis, 2. den Siedepunkt, durch Einsenken in strömenden Wasserdampf, bestimmt (Abb. 30, S. 41). Die Entfernung zwischen den beiden festen Punkten, der Fundamentalabstand, wird in eine bestimmte Anzahl von Teilen (Grade) zerlegt, welche gleich groß ausfallen, wenn der Querschnitt der Röhre zwischen den beiden gegebenen festen Punkten überall gleich groß ist, wie es gewöhnlich der Fall ist, und solche Teile werden auch über den Siedepunkt und unter den Eispunkt aufgetragen.

Als Fahrenheit (geb. 1686 zu Danzig) dem Thermometer die jetzt noch übliche Form gab, teilte er diesen Abstand in 180 Grade und wählte als Nullpunkt die größte Kälte, die er künstlich (durch Mischen von Schnee und Kochsalz) zu erreichen vermochte — sie lag 32° unter dem Eispunkt. Réaumur (1730) teilte den Fundamentalabstand vom

Eispunkt aufwärts in 80 Teile, Celsius (1742) in 100 Teile, vom Siedepunkt als Nullpunkt ausgehend. Erst Störmer setzte, Réaumur folgend, auch bei der Einteilung nach Celsius den Eispunkt gleich Null. Die Gradeinteilung der Thermometerskala ist also etwas Willkürliches. Bei uns ist für den häuslichen Gebrauch die Réaumursche Gradeinteilung noch sehr verbreitet, oft ist aber auch zugleich die Skala nach Celsius angebracht. In England findet man fast nur Thermometer nach Fahrenheit in den Wohnungen. Für meteorologische Beobachtungen und für wissenschaftliche Untersuchungen ist überall das hunderttheilige Thermometer (nach Celsius) im Gebrauch.

	Thermometergrade		
nach	Eispunkt	Siedepunkt	(Diff.)
Fahrenheit	32°	212°	180°
Réaumur	0°	80°	80°
Celsius	0°	100°	100°

Wärme- und Lichtstrahlen.

Umwandlung von Wärme in Licht. Auerisches Glühlicht. Strahlen elektrischer Kraft.

Ein glühendes Stück Eisen, das auf einen Amboss gelegt wird, kühlt sich allmählich ab. Es gibt wie jeder erhitzte Körper seine Wärme an die Umgebung ab: 1. durch Leitung, der Amboss wird warm, und 2. durch Strahlung, das ist die Wärme, die wir empfinden, wenn wir die Hand seitlich in die Nähe des glühenden Eisens bringen. So gelangen die Sonnenwärme und das Sonnenlicht durch Strahlung zu uns.

Diese Art der Fortpflanzung der Wärme und des Lichtes vollzieht sich in ähnlicher Weise, wie die Fortpflanzung des Schalles. Die Saite tönt, nachdem sie in Schwingungen versetzt wurde, die Schwingungen der Saite teilen sich der Luft mit und die Luftschwingungen treffen unser Ohr. Wenn mindestens 20 und nicht über 40 000 solcher Schwingungen in der Sekunde an unser Ohr gelangen, hören wir Geräusche und Töne. Die Wärme und das Licht der Sonne werden uns nach einer in der Physik allgemein gültigen Hypothese durch Schwingungen des Äthers übermittelt, der den ganzen Weltraum erfüllt und so fein und elastisch ist, daß er alle Körper durchdringt. Die Schnelligkeit dieser Schwingungen ist eine unfassbar große, aber ganz bestimmte, denn die Farben, die uns das Licht zeigt, werden bedingt durch eine veränderte Anzahl von Schwingungen, die auch einen veränderten Reiz auf den Sehnerv ausüben. Von den Lichtstrahlen unterscheiden sich die (dunk-

len) Wärmestrahlen durch eine etwas geringere Anzahl der Schwingungen. Eine scharfe Grenze zwischen Wärme- und Lichtstrahlen existiert nicht.

Und — auch die Strahlen elektrischer Kraft, wie sie der Funke des Induktionsapparates liefert, sind, wie neuere Untersuchungen gelehrt haben, nichts anderes als wellenförmige Bewegungen des Äthers, die sich mit der Geschwindigkeit des Lichtes fortpflanzen, die von spiegelnden Metallflächen zurückgeworfen, durch Prismen von geeignetem Material gebrochen werden und sich auch in ihrem sonstigen Verhalten, von der größeren Länge ihrer Wellen abgesehen, nicht von denjenigen Strahlen unterscheiden, deren Wirkungen wir als Licht und Wärme empfinden. Man kann daher sagen: elektrische Strahlen sind Lichtstrahlen von sehr großer Wellenlänge, oder: Lichtstrahlen sind elektrische Strahlen von sehr kleiner Wellenlänge. (Elektromagnetische Lichttheorie.)

Experimentell läßt sich die Umwandlung von Wärme in Licht ohne weiteres nachweisen; wenn wir einen festen, nicht brennbaren Körper erhitzen. Je stärker der Körper erhitzt wird, in um so lebhaftere Schwingungen geraten seine kleinsten Teilchen, die Schwingungen teilen sich dem Äther mit und pflanzen sich nach allen Richtungen strahlenförmig fort, um, wenn sie unsern Körper treffen, zunächst das Wärmegefühl, alsdann bei fortdauernd gesteigerter Schwingungszahl, den Reiz im Auge auszuüben, den wir als Licht empfinden. Bei 500° etwa wird dunkle Rotglut erkennbar, die, bei weiterem Erhitzen (Gelbglut bei 1000°) sich immer mehr steigert, bis schließlich der übergroße Reiz der grellen Weißglut (über 1500°) das Auge blendet.

Die Umwandlung von Wärme in Licht ist von großer technischer Bedeutung, sie kommt besonders in der Glühlichtbeleuchtung zum Ausdruck. Halten wir in die nichtleuchtende Flamme des Bunsen-Brenners einen Platindraht, so erscheint er als ein weißglühender Punkt (Abb. 83). Es lag nahe, hiervon zu Beleuchtungszwecken Gebrauch zu machen und zu versuchen, recht viele glühende Punkte neben- und übereinander in der Flamme hervorzubringen. Es läßt sich dies erreichen, wenn man ein feinmaschiges Drahtnetz zylinderförmig zusammenbiegt und dem Umfang der Flamme anpaßt. In der That hat man dieses Prinzip praktisch verwertet und eine Zeitlang (bis 1865) die Stadt Narbonne auf diese Weise beleuchtet. Aber das Platin ist zu kostbar für diesen Zweck. Man suchte daher nach einem Ersatz, indem man sich das Drummondsche Kalklicht (S. 85) zum Vorbilde nahm. Tessié du Motay erhitzte kleine Zylinder aus Talkerde (Magnesia) oder Zirkonerde mit



Abb. 83. Der glühende Platindraht erscheint als leuchtender Punkt in der Flamme.

einer Knallgasflamme und erreichte hierbei eine so große Lichtwirkung, daß man sich 1871 entschloß, diese Beleuchtungsart auf dem Bahnhofe der Kaiserin-Elisabeth-Bahn in Wien einzuführen. Später gab man den Leuchtkörpern die Form eines Kammes. Alle diese Versuche hatten jedoch nur einen geringen praktischen Wert, erst als Auer von Welsbach im Jahre 1885 mit seiner Erfindung hervortrat, war das Problem gelöst, wenn es auch noch einiger Jahre bedurfte, um den neuen Glühkörpern ihre heutige Vollkommenheit zu geben, in der

sie sich im Fluge das ganze Gebiet der Gasbeleuchtung eroberten.

Auer benutzte zur Herstellung der Glühkörper verschiedene seltene Erden; am besten hat sich Thorerde mit einem geringen Zusatz von Ceroryd (1 bis $1\frac{1}{2}\%$) bewährt. Ungemein sinnreich und dabei zugleich sehr einfach ist die Anfertigung der Glühkörper. Man löst die Thorerde mit dem gewünschten Zusatz von Ceroryd in Salpetersäure auf und erhält dabei eine klare Lösung, die „Leuchtflüssigkeit“, mit welcher ein äußerst feines Gewebe aus Baumwolle getränkt wird. Das Gewebe hat eine Fadestärke von 0,2 mm und die Form eines oben verengten Schlauches. Nach dem Trocknen zeigt es äußerlich die ursprüngliche Beschaffenheit; erhitzt man es, nachdem es in geeigneter Weise an einem Stativ aufgehängt ist, mit einer Flamme (Abb. 84), so verbrennen die Baumwollfäden. Die aus der Leuchtflüssigkeit aufgenommenen unverbrennlichen Erden bleiben als Asche zurück in der Form eines Skeletts des verbrannten Gewebes. Beim Abbrennen schrumpft der Glühkörper etwas zusammen und nimmt eine glockenförmige Gestalt an, die sich dem Umfange der Flamme des Bunsenbrenners genau anschmiegt. Das äußerst zarte Gefüge des Glühkörpers läßt sich leicht mit den Fingern zu einem kleinen Häuflein Asche zerreiben, und diese leichte Zerstorbarkeit ist der einzige Nachteil, welchen die Glühkörper haben. Jedoch ist es mit der Zeit gelungen, sie immer widerstandsfähiger zu machen, so daß sie 800 Brennstunden und noch mehr überdauern. Nach dem Abbrennen wiegt ein Glühkörper 0,68 g, dabei beträgt seine Oberfläche 54 qcm, von denen 45 qcm als Glühfläche leuchten! Die kleine Masse von großer Oberfläche gelangt im heißesten Teil der Bunsen-Flamme (1500°C) zur Weißglut. Die geringe



Abb. 84.
Abbrennen
eines
Glühkörpers.

allmähliche Abnahme der Leuchtfrucht ist darauf zurückzuführen, daß durch das andauernde Erhitzen der Glühkörper verkleinert und somit die strahlende Oberfläche verringert wird.

Daß die Lichtentwicklung mit einem Verbrauch von Wärme verknüpft ist, läßt sich leicht nachweisen, wenn man über ein Gasglühlicht ein Gefäß mit Wasser stellt und die Zeit ermittelt, welche nötig ist, um das Wasser ins Kochen zu bringen. Wiederholt man den Versuch, nachdem der Glühkörper aus der Flamme entfernt, ohne daß sonst etwas an derselben geändert ist, so wird man finden, daß jetzt das Wasser in viel kürzerer Zeit ins Kochen kommt, d. h. dem Wasser mehr Wärme zugeführt wird als vor-

dem. Überall da, wo man an Stelle der früher gebräuchlichen Leuchtgasflammen Glühlicht eingeführt hat, empfindet man die geringere Wärmeentwicklung angenehm, insbesondere in Gesellschaftsräumen, Konzertsälen usw., in denen einst die Gasflammen eine oft unerträgliche Hitze verbreiteten.

Nachdem man die Vorzüge des Gasglühlichtes erkannt hatte, ist auch die Spiritus- und Petroleumflamme für Glühlichtbeleuchtung umgestaltet worden. In diesen Flammen strahlen Glühkörper ein ebenso schönes helles, weißes Licht aus, wie in der Gasflamme, und wo man über Leuchtgas nicht verfügt, findet das Spiritus- und Petroleum-Glühlicht als willkommener Ersatz immer mehr Verbreitung.

Weißes und farbiges Licht. Zerlegung des weißen Lichtes durch ein Prisma. (Spektralanalyse.) Die Fraunhoferschen Linien vermitteln den Nachweis irdischer Grundstoffe auf der Sonne.

Bringt man anstatt feuerbeständiger Körper andre unverbrennliche Körper, welche in der Hitze, wenn auch nur spurweise, verdampfen, in eine nichtleuchtende Flamme, so ist die Erscheinung eine ganz andre. Die Flamme färbt sich je nach der Natur des Körpers gelb, rot, grün,

blau, oft in wunderschöner Farbenreinheit. Ein bekanntes Beispiel hierfür liefern die bunten bengalischen Flammen, an deren prächtigem Farbenspiel wir alle uns wohl schon einmal erfreut haben.

Wenn ich jetzt den Versuch, den wir oft schon anstellten, noch einmal wiederhole und einen Platindraht in die Flamme des Bunsen-Brenners halte, so geschieht es, um unsre Aufmerksamkeit darauf zu lenken, daß der Platindraht die Flamme in keiner Weise verändert. Er selbst erglüht zwar, aber unterhalb und oberhalb des leuchtenden Punktes hat die Flamme ihre ursprüngliche, nichtleuchtende Beschaffenheit erhalten. Ich nehme den Draht aus der Flamme, lasse ihn erkalten, berühre das ausgeglühte Ende mit den Fingern und bringe es von neuem in die Flamme. Jetzt ist die Erscheinung eine andre. Oberhalb des glühenden Drahtes sehen wir die Flamme gelb gefärbt, allerdings nur für wenige Augenblicke — aber so oft wir den Versuch wiederholen, tritt immer wieder die Gelbfärbung auf. Der Versuch zeigt also, daß beim Berühren des Platindrahtes mit den Fingern etwas an demselben haften geblieben ist, was die Flamme gelb färbt, und wenn wir weiter nachforschen, so erfahren wir, daß in dem Schweiß, den die Haut dauernd absondert, von dem eine Spur an dem Platindraht haften blieb, immer ein geringer Bruchteil des Kochsalzes enthalten ist, welches wir täglich mit den Speisen dem Körper zuführen. Das Kochsalz enthält Natrium, und das Natrium ist es, welches in allen seinen Verbindungen die beobachtete Eigenschaft besitzt (vgl. S. 50).

Um verschieden gefärbte Flammen vorzuführen, habe ich an einem Stativ vier Platindrähte befestigt, an deren Enden sich kleine Mengen verschiedenartiger Körper befinden. Rücke ich die Drähte in das Bereich der Flammen, so sehen wir sie, jede anders, in schönen Farben leuchten. Einige Elemente haben in sehr ausgeprägtem Maße die Eigenschaft, der Flamme eine bestimmte Färbung zu verleihen. So färben die Flamme gelb: Natrium; violett: Kalium; grün: Barium; rot: Kalzium usw.

Wenn das weiße Licht einer leuchtenden Flamme durch ein Glasprisma fällt, so wird es bekanntlich in die Regenbogenfarben zerlegt, dieselben erblicken wir auch, sobald wir durch ein Spektroskop, wie durch ein Fernrohr, nach einer der leuchtenden Flammen hier im Saale sehen. Äußerlich einer Messingröhre gleichend, enthält das Spektroskop im Innern eine Reihe von Prismen, so angeordnet, daß das zerlegte Licht in der Richtung des einfallenden Lichtstrahls wieder austritt.

Nehmen wir den Versuch in einem dunklen Zimmer vor, in welches

das Licht nur durch einen engen Spalt auf das Prisma fällt und stellen wir hinter demselben einen weißen Schirm auf — wenn wir durch das Spektroskop sehen, tritt unser Auge an Stelle des Schirmes — dann erglänzt der bunte, alle Farben von Violett, Blau, Grün, Gelb, Orange bis zum Rot widerspiegelnde Lichtstreifen in seiner vollen Schönheit (Abb. 85); man bezeichnet ihn als

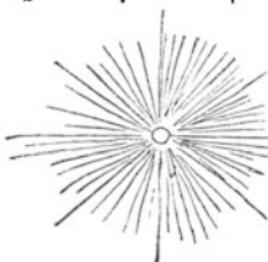


Abb. 85. Der von einer weißen Lichtquelle (Sonne, Kerzenglamme usw.) ausgehende Lichtstrahl wird durch das Prisma zerlegt und er-

zeugt auf einer Wand einen in den Regenbogenfarben erglänzenden Streifen (Spektrum).

rot
orange
gelb
grün
blau
violett

Spektrum. Diese wunderbare Erscheinung lehrt, daß das weiße Licht kein einheitliches Ganzes ist, sondern aus vielen farbigen Strahlen zusammengesetzt ist, die sich beim Durchgang durch ein Prisma, ihren verschiedenen Schwingungen entsprechend, in bestimmter Reihenfolge wieder voneinander sondern.

Ganz anders aber ist das Bild, wenn wir eine unserer gefärbten Flammen durch das Prisma betrachten, da beobachten wir nicht die kontinuierliche Farbenfolge, sondern nur einige wenige scharf begrenzte farbige Linien — ein „diskontinuierliches“ Spektrum.

Die Natriumflamme zeigt eine gelbe Linie¹⁾ auf dunklem Grunde, und zwar da, wo im kontinuierlichen Spektrum der gelbe Streifen liegt (Abb. 86), die Kaliumflamme eine rote und dun-

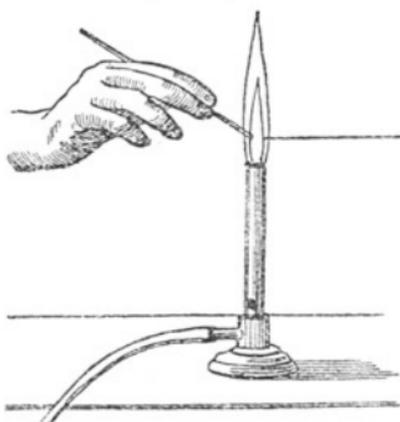


Abb. 86. Der von der gelben Natriumflamme ausgehende Lichtstrahl wird durch das Prisma abge-

lenkt (gebrochen) und erzeugt eine gelbe Linie auf schwarzem Grunde.

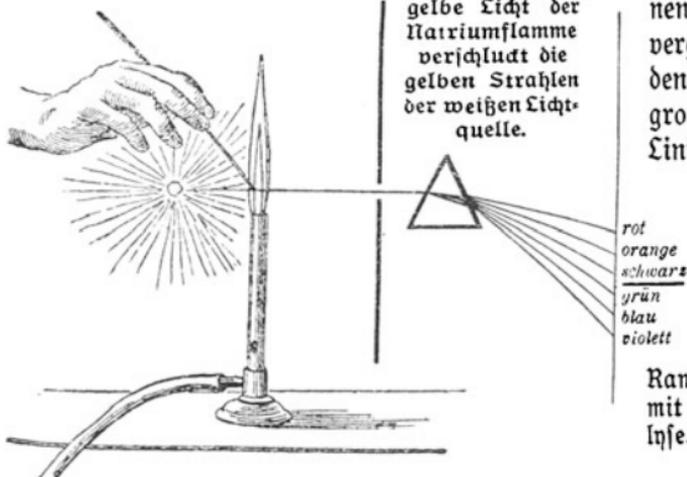
Schwarz
Gelb
Schwarz

1) Die sich bei sehr starker Brechung in zwei gelbe Linien auflöst.

selbige Linie, die Baryumflamme eine Anzahl roter, gelber und grüner Linien usw. Diese Linien treten immer an ganz bestimmten Stellen des Spektrums auf und nur dann, wenn die genannten Elemente oder Verbindungen derselben verdampfen. Solche Spektren liefern alle Körper im Gas- oder Dampfzustand, und da der Hitze des elektrischen Flammenbogens kaum etwas widersteht, so kommen darin auch die Spektren des Eisens, des Silbers, des Platins zum Vorschein.

Jedem Elemente sind ganz bestimmte Spektrallinien eigentümlich, es läßt sich daher aus der Beobachtung des Spektrums eines Körpers ein Schluß auf die in ihm enthaltenen Grundstoffe ziehen, d. h. seine Zusammensetzung ermitteln. Bunsen und Kirchhoff waren es, welche im Jahre 1859 zuerst diese Beobachtungen machten und damit die Spektralanalyse begründeten. Dabei entdeckten sie, indem sie die mit keinem Spektrum der bekannten Elemente zusammenfallenden Linien verfolgten, neue Grundstoffe (Cäsium und Rubidium).¹⁾ Im weiteren Verlauf ihrer klassischen Untersuchungen stellten die genannten Forscher folgendes fest: Wenn man zwischen die weiße Lichtquelle, von der ein Strahl auf das Prisma fällt, eine durch Natrium gelb gefärbte Flamme bringt, so verschluckt die Flamme die gelben Strahlen des weißen Lichtes. Es gelangen also diese Strahlen nicht auf den Schirm oder in unser Auge und die hierdurch entstehende Lichtlücke erscheint als schwarze Linie, genau an der Stelle, an welcher im Natriumspektrum die gelbe Linie auftritt (Abb. 87).

Abb. 87. Das gelbe Licht der Natriumflamme verschluckt die gelben Strahlen der weißen Lichtquelle.



Wenn man das Sonnenspektrum genügend vergrößert, so kommen in den farbigen Streifen eine große Anzahl schwarzer Linien zum Vorschein.

Eine derselben fällt genau mit der Natriumlinie zusammen

1) In ähnlicher Weise entdeckte W. Ramsay die Edelgase (S. 72) mit Hilfe der Spektralanalyse.



Abb. 88. Sonne
mit der Photo-
sphäre.

men. Die Erklärung der schon von Fraunhofer beobachteten schwarzen Linien des Sonnenspektrums, die nur dieses aufweist, von denen die Spektren irdischer weißer Lichtquellen (Kerzenflamme usw.) frei sind, konnte nicht gegeben werden, bis Bunsen und Kirchhoff ihre weittragenden Entdeckungen machten, sie knüpften an dieselben folgende Schlüsse: Der glühende Sonnenkern ist von einer flammenden Hülle (Photosphäre) umgeben. Das Licht des Sonnenkerns durchdringt diese Gaschülle. Hierbei wird das Licht genau an der Stelle, an welcher die Natriumlinie auftritt, verschluckt — folglich enthält die Photosphäre Natrium in Dampfform. Aus andern schwarzen Linien im Sonnenspektrum ergibt sich genau in derselben Weise das Vorhandensein von Wasserstoff, Barium, Kalzium, Eisen, Zink, Kupfer und vielen andern Elementen auf der Sonne.

Wenn bei einer totalen Sonnenfinsternis der Mondschatten den Sonnenkern vollständig verdeckt, dann läßt sich die über denselben hinausragende Photosphäre ungetrübt untersuchen (Abb. 88). Ihr Spektrum ist, wie das aller glühenden Gase und Dämpfe, diskontinuierlich und besteht aus vielen farbigen Linien. Lockyer beobachtete im Jahre 1868, daß einige derselben sich nicht mit den Spektren der bekannten irdischen Grundstoffe decken und schrieb ihre Entstehung einem unbekanntem, auf der Sonne vorhandenen Grundstoff, den er Helium (S. 34) nannte, zu. Ist es nicht als ein bewunderungswerter Erfolg wissenschaftlicher Forschung zu betrachten, daß das Vorhandensein eines Elementes auf der Sonne schon lange erkannt war, bevor es auch auf unserer Erde vor wenigen Jahren (1895) aufgefunden wurde?

XI. Die langsame Verbrennung.

Das Rosten des Eisens ist eine langsame Verbrennung.

Wir wollen noch einen Blick auf diejenigen Vorgänge werfen, die mit „langsamere Verbrennung“ bezeichnet worden sind.

Feuer und Flamme sind Erscheinungen, die man im gewöhnlichen Leben für unzertrennlich mit jeder Verbrennung hält. Wir jedoch haben Verbrennung bezeichnet als: chemische Vereinigung von brennbaren Körpern mit Sauerstoff. Auf viele Körper wirkt der Sauerstoff auch ohne Feuererscheinung, dann allerdings nur ganz allmählich ein. So ist das Rosten des Eisens nichts andres als eine

Vereinigung des Eisens mit Sauerstoff, das Vermodern des Holzes nichts anderes als eine Vereinigung der Bestandteile des Holzes mit dem Sauerstoff der Luft. Die Wärme, die hierbei entsteht, wird nicht wahrnehmbar, weil sie sich verliert im Laufe der Zeiten, welche diese Vorgänge erfordern. Derartige Einwirkungen des Sauerstoffs auf brennbare Körper, welche sich ohne Feuererscheinung ganz allmählich und langsam vollziehen, hat man zum Unterschiede von der raschen Verbrennung langsame Verbrennung genannt. Bei der langsamen Verbrennung des Eisens, beim Rosten, entsteht schließlich im wesentlichen nichts anderes wie beim Verbrennen des Eisens unter Funkenprühen, auch der Rost besteht aus Sauerstoffverbindungen des Eisens.

Übergang einer langsamen Verbrennung in eine Verbrennung mit Feuererscheinung. Irrlichter.

Vorgänge, die wir mit langsamer Verbrennung bezeichnen, vollziehen sich in umfangreicher und mannigfacher Weise an der Luft. So erleidet z. B. der Phosphor eine solche langsame Verbrennung. In einem ganz dunklen Raume verrät sich die langsame Verbrennung des Phosphors durch sein Leuchten, und von diesem Leuchten im Dunklen hat der Phosphor bekanntlich seinen Namen erhalten.

Hier in dem hellen Raume können wir, wenn ich ein Stück Phosphor unter die Glasglocke (Abb. 89) lege, das schwache Leuchten nicht wahrnehmen, aber wir sehen weiße Nebel aufsteigen, die nichts anderes sind als das Verbrennungsprodukt des Phosphors. Der Phosphor besitzt eine sehr niedrige Entzündungstemperatur. Unter Umständen kann

sich die bei der langsamen Verbrennung des Phosphors frei werdende Wärme so weit steigern, daß die Entzündungstemperatur (60°) erreicht wird und der Phosphor plötzlich mit heller Flamme zu brennen anfängt. Wir wollen uns diesen Vorgang vor Augen führen.

Ich habe hier eine Lösung von Phosphor (in Schwefelkohlenstoff), von der ich einige Tropfen auf verschiedene Stellen des Papierstreifens (Abb. 90) fallen lasse.¹⁾ Das Lösungsmittel hat die Eigenschaft, rasch zu verdampfen. Der Phosphor bleibt äußerst fein

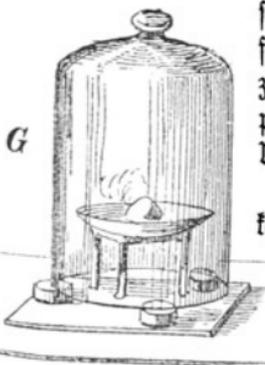


Abb. 89. Langsame Verbrennung von Phosphor.

1) Über das Experimentieren mit Phosphor vgl. S. 77 unten.

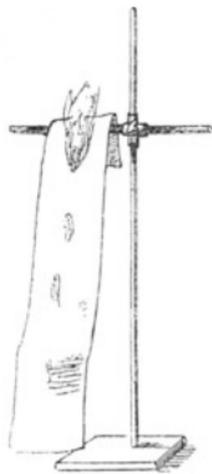


Abb. 90. Übergang iner langsamen Verbrennung in eine rasche, von einer Feuererscheinung begleiteten Verbrennung.

verteilt zurück, der Sauerstoff der Luft wirkt auf ihn ein; die bei dieser langsamen Verbrennung frei werdende Wärme steigert sich, und der Phosphor flammt plötzlich auf. In der Regel verbrennt der Phosphor so schnell, daß das Papier sich nicht entzündet, sondern nur verkohlt, wo der Phosphor lag. Dieser Versuch führt uns den Übergang einer langsamen Verbrennung in eine rasche, von einer Feuererscheinung begleitete sehr schön vor Augen. Derartige Erscheinungen von Selbstentzündungen lassen sich künstlich herbeiführen (S. 78 unten), ereignen sich wohl auch bisweilen, wo leicht entzündliche Stoffe (mit Öl getränkte Puzlappen, Steinkohlen, feuchtes Heu) in dichten Massen lagern. In der freien Natur sind sie ohne unsern Eingriff nicht möglich, hier hat der Sauerstoff der Luft im Wandel der Zeiten seinen Einfluß schon ausgeübt.¹⁾ Wohl

vermag der Blitzstrahl den Baum zu zerschmettern und das dürre Holz zu entzünden — aber hüpfende und tanzende Flämmchen, die den Wanderer irreführen, gibt es nicht. Die Irrlichter gehören in das Reich der Fabel.

Zusammensetzung des menschlichen Körpers und der Nahrungsmittel. Kohlensäure ist ein Produkt des Stoffwechsels. Beschaffenheit der ausgeatmeten Luft.

Der menschliche Körper besteht etwa zu zwei Drittel aus Wasser. Unterwirft man den Rest, die festen Bestandteile, den analytischen Operationen, welche zur Feststellung der Elemente führen, so ergibt sich, daß in dem Tierkörper Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor und, soweit er unverbrennlich ist, auch: Kalium, Natrium, Kalzium, Eisen, Chlor und Spuren einiger anderer Elemente enthalten sind. Alle Gebilde des tierischen und menschlichen Körpers,

1) Hierher gehören nicht: die Phosphoreszenzerscheinungen, wie wir sie in Sommernächten an Leuchtkäfern beobachten, das Leuchten des Meeres, das durch Massen kleiner phosphoreszierender Tierchen veranlaßt wird. — Die bisweilen an faulendem Holz, verdorbenen Fischen, altem Fleisch usw. auftretenden Phosphoreszenzerscheinungen rühren von Leuchtbakterien her.

das Blut, das Fleisch, das Fett, die Knochen usw. sind aus diesen wenigen Elementen aufgebaut. Aus dieser Tatsache läßt sich ohne weiteres schließen, daß die Art und Weise, in welcher die Atome dieser Elemente miteinander verbunden sind, um jene Gesamtheit der Gebilde hervorzubringen, die den Lebensprozeß bedingen, eine außerordentlich mannigfache und kunstvolle sein muß.

Die elementaren Bestandteile, die in unserm Körper sich vorfinden, müssen naturgemäß auch in den Nahrungsmitteln enthalten sein, die wir dem Körper zuführen. Nach der chemischen Zusammensetzung unterscheidet man drei Gruppen von Nährstoffen. Zwei Gruppen enthalten nur Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, es sind dies: die sogenannten Kohlehydrate (Zucker, Stärke usw.) und die Fette. Die dritte Gruppe umfaßt die Eiweißstoffe, die außer den genannten Elementen Stickstoff (und wenig Schwefel und Phosphor) enthalten. Die natürlichen Nahrungsmittel bestehen in der Regel aus sämtlichen Arten von Nährstoffen und mehr oder weniger Mineralstoffen (Salze), jedoch meistens in sehr wechselnden Mengen, sie werden eingeschätzt nach dem Gehalt an Eiweißstoffen (Eier, Milch, Fleisch), nach dem Überwiegen der Kohlehydrate (Kartoffeln, Getreidearten, Hülsenfrüchte), oder als Fette unterschieden.

Der Kohlenstoff ist ein nie fehlender Bestandteil der Nahrungsmittel.

Kohlenstoff findet sich nicht nur im Holz und in den daraus entstandenen Steinkohlen, sondern auch in den Blättern und Blüten, in den Samen und Früchten der Pflanzen, in den Pflanzensäften und den daraus hergestellten Produkten, z. B. auch in dem aus Rübensaft gewonnenen Zucker, das läßt sich sehr leicht durch einen Versuch

nachweisen. In dem Glase, das vor mir steht, befinden sich 50 g Zucker, gelöst in 30 g Wasser. Zucker enthält außer Kohlenstoff nur noch die Elemente des Wassers, die wir auf chemischem Wege dem Zucker entziehen können, wenn wir konzentrierte Schwefelsäure (100 g) zur Lösung gießen. Es bleibt dann von dem Zucker der Kohlenstoff übrig, und jetzt sehen wir ihn in der gewohnten schwarzen Farbe aus dem Glase hervorquellen (Abb. 91).



Abb. 91 Abcheidung von Kohlenstoff aus einer Zuckertlösung.

Die Nahrungsmittel erfahren in unserm Körper eine Reihe der mannigfachsten Umwandlungen,

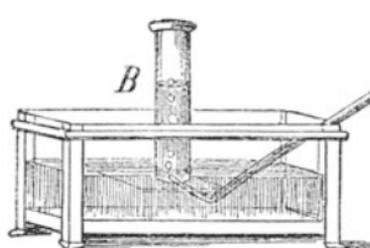


Abb. 92. Aufsammeln von ausgeatmeter Luft in einem Glaszylinder.

die vorzugsweise bedingt werden durch die chemischen Wirkungen des Sauerstoffs, welchen wir un- ausgefetzt mit der Luft einatmen. Ein beträchtlicher Teil der Endprodukte dieser Umwandlungen, des Stoffwechsels, in unserm Körper ist gasförmig und wird mit der ausgeatmeten Luft wieder ausgefchieden.

Wenn wir Luft, statt sie frei auszuatmen, in einen mit Wasser gefüllten Zylinder blasen (Abb. 92) und nun untersuchen, indem wir Kalkwasser hinzufügen, so trübt sich das Kalkwasser sofort und wird infolge der Ausscheidung von kohlensaurem Kalk milchig weiß und undurchsichtig, während draußen im Freien entnommene Luft mit Kalkwasser nur eine ganz geringe, aus der Ferne nicht wahrnehmbare Trübung des Kalkwassers veranlaßt. Die ausgeatmete Luft ist also an Kohlensäure viel reicher und (wie anderweitige Versuche gelehrt haben) an Sauerstoff ärmer, als die reine atmosphärische Luft. Diese enthält in 10000 Raumteilen 3 Teile Kohlensäure, die ausgeatmete dagegen 400—500 Raumteile, also etwa 150 mal soviel Kohlensäure. Ein erwachsener Mensch atmet täglich ungefähr 2 Pfund Kohlensäure, bei angestrenzter Arbeit bis $2\frac{1}{2}$ Pfund aus. Der in dieser Kohlensäuremenge enthaltene Kohlenstoff ($\frac{1}{2}$ bis $\frac{2}{3}$ Pfund) wurde dem Körper mit den Nahrungsmitteln zugeführt.

Aus unsern letzten Betrachtungen geht es klar hervor, daß die Luft in einem geschlossenen Raume, in welchem sich dauernd eine größere Anzahl von Menschen aufhalten, in ihrer Zusammensetzung dauernd geändert wird, wenn nicht zweckmäßige Ventilationseinrichtungen für die Zuführung frischer und für die Abführung der verbrauchten Luft sorgen. Reine Luft atmen wir ein, unreine aus. Es ist nicht allein die Kohlensäure, die wir ausatmen, mit ihr zugleich sammeln sich in bewohnten Räumen andre flüchtige Respirationsprodukte an, welche schädlich auf den menschlichen Organismus wirken. Der Menge nach überwiegt jedoch die Kohlensäure bei weitem, ihre Menge läßt sich leicht ermitteln, es bietet uns die Kenntnis des Kohlensäuregehaltes daher einen leicht zugänglichen Maßstab zur Beurteilung der Güte der Luft eines bewohnten Raumes. Man bedient sich daher allgemein der

Ermittlung des Kohlensäuregehaltes in der Luft bewohnter Räume zur Beurteilung ihrer Güte. Gute Luft soll (nach Pettenkofer) in 10000 Raumteilen nicht mehr als 10 Raumteile Kohlensäure enthalten. In ungenügend ventilirten Räumen, die von Menschen überfüllt sind, verändert sich die Luft, indem der Sauerstoff ab-, die Kohlensäure zunimmt, allmählich derart, daß sie den Lebensvorgang nicht mehr zu unterhalten vermag. Hierfür hat uns leider die Geschichte schreckliche Bilder verzeichnet.

So schildert uns Macaulay, wie bei der Eroberung von Kalkutta (1756) der unmenschliche Nabob von Bengalen, Seratscha Daula, 146 Engländer in ein Gefängnis, die berühmte schwarze Höhle, werfen ließ, welche nur 18 Fuß im Quadrat groß war und nur zwei kleine Fensteröffnungen, beide an derselben Seite, hatte. Nach vier Stunden waren fast alle die Unglücklichen, soweit sie noch lebten, ohnmächtig; nach sechs Stunden waren schon 96 verschieden und am Morgen, als die Thür geöffnet wurde, fand man nur noch 23 am Leben, von denen aber mehrere nachträglich starben, andre wahnsinnig geworden waren, nur einige wenige, welche sich zu den Fenstern durchgekämpft hatten, kamen mit dem Leben davon.

Ich könnte noch weitere, geschichtlich verbürgte Beispiele, die sich auf Auswanderungsschiffen und an andern Orten zugetragen haben, hinzufügen, — doch genug davon.

Kreislauf der Kohlensäure in der Natur.

Zu der Kohlensäure, die wir ausatmen, kommt hinzu die Kohlensäure, welche aus den Brennstoffen in unsern Öfen entsteht und durch die Schornsteine in die Luft entweicht; die Kohlensäure, welche unsere Kerzen-, Petroleum- und Gasflammen erzeugen; die Kohlensäuremengen, welche sich bei den mannigfachen Verwesungs- und Zersetzungsprozessen auf und in der Erde bilden. Fast man dies alles zusammen, so liegt es nahe, der Vermutung Raum zu geben, daß mit der Zeit die Luft in ihrer Zusammensetzung sich ändern, allmählich an Kohlensäure reicher und an Sauerstoff ärmer werden müsse. Es ist aber bereits früher (S. 36) ausgesprochen und hervorgehoben worden, daß dies nicht der Fall ist. Die atmosphärische Luft hat überall auf der Erde dieselbe Zusammensetzung und dieselbe Zusammensetzung gehabt, soweit unsere Kenntnis zurückreicht. Somit müssen Vorgänge in der Natur stattfinden, bei denen Kohlensäure verbraucht, durch welche die Kohlensäure wieder aus der Luft entfernt wird.

In den Zellen der Pflanzen wird unter der Wirkung des Sonnenlichtes die Kohlensäure zerlegt, der Sauerstoff geht in die Luft

zurück, der Kohlenstoff dient zu dem Aufbau der pflanzlichen Gebilde. Die Pflanzen nehmen ihre Nahrung zum allergrößten Teil aus der Luft. Aus dem Boden, in dem sie wurzeln, stammt nur die geringe Menge Asche, die bei der Verbrennung zurückbleibt. Aus Kohlen- säure und Wasser entstehen vorzugsweise die grünenden Wiesen, der Ernteseget der Felder, die Riesen der Wälder. Wenn bei uns Schnee und Eis die Erde bedecken, blühen anderswo Blumen und reifen anderswo Früchte. Die Pflanzenwelt ist der mächtige Regulator für die gleichbleibende Zusammensetzung der Luft. Das ist der wunder- bare Zusammenhang zwischen der Pflanzen- und Tierwelt, welchen uns in dieser Klarheit zuerst der große Altmeister Justus von Liebig (1859) kennen lehrte.

Werfen wir zum Schluß noch einen flüchtigen Blick auf diejenigen Vorgänge, welche sich fortdauernd in unserm Körper vollziehen, soweit sie in einer gewissen Beziehung stehen mit den von uns angestellten Betrachtungen. Wir atmen Luft ein, in den Lungen nimmt das Blut Sauerstoff auf, es führt ihn durch unsern ganzen Körper und mit Kohlen- säure beladen strömt das Blut zu den Lungen zurück und scheidet hier die Kohlen- säure wieder aus — ein Vorgang, der sich mit jedem Puls- schlage wiederholt. In unserm Körper vereinigt sich der Sauerstoff unter stufenweisem Abbau der Nahrungsmittel mit dem Kohlenstoff, den wir in den mannigfachsten Formen aufnehmen. Diese langsame Verbrennung, welche sich unausgesetzt in unserm Körper abspielt, ist die Quelle der Körperwärme. Der Wärme- verlust, den unser Körper täglich erleidet, beträgt 2400 Kalorien, d. i. so viel Wärme, wie nötig ist, 2400 kg Wasser um 1°, oder 240 kg Wasser um 10° usw. zu erwärmen, und diese Wärmemenge wird durch die langsame Verbrennung, welche die Nahrungsmittel in unserm Körper erleiden, täglich wieder ersetzt.¹⁾

Die Kohlen- säure, die wir ausatmen, dient den Pflanzen als Nah- rung. In unserm Körper findet ein Zerfall der Nahrungsmittel unter Entwicklung von Wärme, in den Pflanzen ein Wiederaufbau unter Verbrauch von Sonnenwärme statt.

Die Veränderungen, welche die Nahrungsmittel in unserm Körper erleiden, sind sehr komplizierter Art und nur bis zu einem gewissen Grade erforscht. Sie dienen nicht nur der Erhaltung der Körperwärme,

1) Vgl. H. Buchner, ANuG 1: Acht Vorträge a. d. Gesundheitspflege. 3. Aufl. S. 39 ff.

sie bewirken nicht nur den Aufbau des Körpers und die Erneuerung verbrauchter Gebilde, sie sind zugleich die Kraftquellen für all die Vorgänge, welche den Lebensprozeß bedingen. Wie sich dieselben auch vollziehen mögen, die einzelnen Teile, in welche die Nahrungsmittel zerfallen, enthalten die Gesamtmenge aller Bausteine, aus denen das ursprüngliche Bauwerk aufgeführt war. Diese Bausteine oder Grundstoffe bleiben dieselben und sind ihrer Masse nach unzerstörbar. Nur ihr Zusammenhang, ihre Anordnung, die Art und Weise, in welcher sie uns entgegentreten, ändert sich. Das gleiche Spiel, Werden und Vergehen, wiederholt sich überall und ewig in der Natur — aber nicht regellos, sondern nach bestimmten Gesetzen, welche zu erforschen Aufgabe der Chemie ist.

Die Sonnenstrahlen verlieren von ihrer Wärme und von ihrem Lichte, wenn sie in der Zelle der Pflanzen aus Bestandteilen der Luft, des Wassers und der Erde Blätter, Blüten und Früchte zeitigen. Zu dem unzerstörbaren Kraftvorrat in der Natur kommt täglich in den Strahlen der Sonne ein Überschuß hinzu, welcher Leben und Bewegung erhält, und so stammt alles — alles, was wir Leben nennen, in der Pflanze, in den Tieren, in uns — von weiter her, von der Sonne. (Liebig.)

Und hiermit sind unsre Betrachtungen zu einem gewissen Abschluß gelangt. Das Ziel, welches mir vorschwebte, war, eine Erklärung derjenigen Erscheinungen und Vorgänge zu geben, die sich mit dem Begriff „Verbrennung“ verknüpfen lassen. Alle Erörterungen und alle Versuche, die wir anstellten, waren gerichtet auf dieses Ziel. Und wenn wir hierbei auch dann und wann einen Schritt abseits vom geraden Wege machten, so geschah es, um das Gebiet zu rekonoszieren, oder eine Erkenntnis, die uns aus nächster Nähe verlockend entgegenwinkte, in uns aufzunehmen. Immer aber waren unsre Blicke darauf gerichtet, ein Gesamtbild aller hierher gehörigen Erscheinungen, auch von denjenigen, die wir mit unvollständiger und mit langsamer Verbrennung bezeichnen, zu erhalten. Und — wie uns reife Früchte, kaum berührt, in die Hand fallen, so zogen wir in den letzten Minuten mühelos Schlüsse, welche uns einen tiefen Einblick gewähren in das wunderbare Walten der Natur.

Die Grundstoffe oder Elemente,
ihre Zeichen und die internationalen Atomgewichte (1919).

Name	Zeichen	Atom- gewicht	Name	Zeichen	Atom- gewicht
Aluminium . . .	Al	27,1	Neon	Ne	20,2
Antimon	Sb	120,2	Nickel	Ni	58,68
Argon	Ar	39,88	Niobium	Nb	93,5
Arsen	As	74,96	Niton	Nt	222,4
Barium	Ba	137,37	Osmium	Os	190,9
Beryllium . . .	Be	9,1	Palladium . . .	Pd	106,7
Blei	Pb	207,20	Phosphor . . .	P	31,04
Bor	B	11,0	Platin	Pt	195,2
Brom	Br	79,92	Praseodym . . .	Pr	140,9
Cäsium	Cs	132,81	Quecksilber . .	Hg	200,6
Cerium	Ce	140,25	Radium	Ra	226,0
Chlor	Cl	35,46	Rhodium	Rh	102,9
Chrom	Cr	52,0	Rubidium	Rb	85,45
Dysprosium . .	Dy	162,5	Ruthenium . . .	Ru	101,7
Eisen	Fe	55,84	Samarium	Sm	150,4
Erbium	Er	167,7	Sauerstoff . . .	O	16,000
Europium . . .	Eu	152,0	Scandium	Sc	44,1
Fluor	F	19,0	Selen	Se	79,2
Gadolinium . .	Gd	157,3	Silber	Ag	107,88
Gallium	Ga	69,9	Silizium	Si	28,3
Germanium . . .	Ge	72,5	Stickstoff	N	14,01
Gold	Au	197,2	Strontium	Sr	87,63
Helium	He	4,00	Tantal	Ta	181,5
Holmium	Ho	163,5	Tellur	Te	127,5
Indium	In	114,8	Terbium	Tb	159,2
Iridium	Ir	193,1	Thallium	Tl	204,0
Jod	J	126,92	Thor	Th	232,4
Kadmium	Cd	112,40	Thulium	Tu	168,5
Kalium	K	39,10	Titan	Ti	48,1
Kalzium	Ca	40,07	Uran	U	238,2
Kobalt	Co	58,97	Vanadium	V	51,0
Kohlenstoff . .	C	12,00	Wasserstoff . . .	H	1,008
Krypton	Kr	82,92	Wismut	Bi	208,0
Kupfer	Cu	63,57	Wolfram	W	184,0
Lanthan	La	139,0	Xenon	X	130,2
Lithium	Li	6,94	Ytterbium	Yb	173,5
Lutetium	Lu	175,0	Yttrium	Y	88,7
Magnesium . . .	Mg	24,32	Zink	Zn	65,37
Mangan	Mn	54,93	Zinn	Sn	118,7
Molybdän . . .	Mo	96,0	Zirkonium	Zr	90,6
Natrium	Na	23,00			
Neodym	Nd	144,3			

Chemisches Wörterbuch. Von Dr. *H. Remy*, Privatdozent an der Universität Göttingen. (Teubn. kl. Fachwörterb. Bd. 10.) [U. d. Pr. 1921.]

Chemie. Allgemeine Kristallographie und Mineralogie. Unter Redaktion von Geh. Reg.-Rat Dr. *Fr. Rinne*, Prof. an der Univ. Leipzig, bearb. von *E. v. Meyer*, *C. Engler*, *L. Wöhler*, *O. Wallach*, *R. Luther*, *W. Nernst*, *M. Le Blanc*, *A. Kossel*, *O. Kellner* und *H. Immendorf*, *O. Witt*, *Fr. Rinne*. Mit 53 Abb. im Text. [VI u. 663 S.] Lex. 8. 1913. (Die Kultur der Gegenwart, hrsg. von Prof. Dr. *P. Hinneberg*, Teil III, Abt. III, Bd. 2.) Geh. M. 66.—, geb. M. 90.—

„Dem Herausgeber ist es gelungen, zur Mitarbeit an dem vorliegenden Bande führende Männer unserer Wissenschaft zu gewinnen, von denen jeder einzelne auf dem von ihm behandelten Gebiet erfolgreich tätig ist. Wer die klaren, überaus fesselnden Schilderungen der einzelnen Kapitel gelesen hat, wird gerne zugeben, daß die Aufgabe, die Chemie in allgemein verständlicher Form für den weiten Kreis aller Gebildeten zu schildern, hier in glänzender Weise gelöst worden ist. Für einen jeden Chemiker ist das Studium des Buches von besonderem Wert.“

(Zeitschrift für analytische Chemie.)

Einführung in die allgemeine Chemie. Von Studienrat Dr. *B. Bavink*, Bielefeld. 2. Aufl. Mit 24 Fig. [110 S.] 8. 1920. (ANuG Bd. 582.) Kart. M. 6.80, geb. M. 8.80.

„Das Buch erfüllt in ausgezeichnete Weise die Aufgabe, eine übersichtlich und kurz gefaßte Darstellung der gesamten Grundlagen zu geben, auf die unser heutiges chemisches Wissen aufgebaut ist. Man wird in ähnlichen Werken selten eine so leicht verständliche Behandlung des Gegenstandes finden.“

(Archiv für Chemie und Mikroskopie.)

Physikalisch-chemische Praktikumsaufgaben. Von Dr. *G. Kümmeli*, Prof. an der Universität Rostock i. M. [VII und 70 S.] gr. 8. 1910. Geh. M. 4.80, geb. M. 6.—

„In sachgemäßer und klarer Weise werden die wichtigsten Aufgaben des physikalisch-chemischen Praktikums besprochen. Jeder Bestimmungsmethode geht eine kurze theoretische Erläuterung vorher. Das Büchlein ist in jeder Hinsicht empfehlenswert.“

(Chemiker.)

Einführung in die anorganische Chemie. Von Stud.-Rat. Dr. *B. Bavink*, Bielefeld. Mit 31 Abb. im Text. [115 S.] 8. 1920. (ANuG Bd. 598.) Kart. M. 6.80, geb. M. 8.80.

„Die Einführung ist in anregender Form geschrieben und gewährt einen trefflichen Einblick in das Riesengebiet der Chemie der Kohlenstoffverbindungen.“

(Zeitschrift f. d. physik. u. chem. Unterricht.)

Einführung in die organische Chemie. (Natürliche und künstliche Pflanzen- und Tierstoffe.) Von Studienrat Dr. *B. Bavink*, Bielefeld. 2. Aufl. Mit 9 Abb. im Text. [IV u. 110 S.] 8. 1918. (ANuG Bd. 187.) Kart. M. 6.80, geb. M. 8.80.

Das Bändchen will weiteren Kreisen in anschaulicher Darstellung die Kenntnis der Stoffe und Vorgänge aus der organischen Chemie vermitteln, die für das tägliche Leben, für Biologie und Heilkunde sowie für Handel und Industrie von besonderer Bedeutung sind.

Die künstliche Herstellung von Naturstoffen. Von Dr. *E. Rüst*, Prof. a. d. kant. Handelsschule Zürich. [138 S.] 8. 1914. (ANuG Bd. 674.) Kart. M. 6.80, geb. M. 8.80.

„Die Schrift führt in geradezu vorbildlicher Weise in die wichtigsten Grundlehren der Chemie ein, um dann an der Hand der so gewonnenen Erkenntnisse ein gründliches Verständnis des interessantesten Teiles der chemischen Technik zu erwerben: die Synthese der Naturstoffe.“

(„Zeitschrift f. Lehrmittelwesen u. pädagog. Literatur“.)

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Preisänderung vorbehalten

Lehrbuch der Chemie für Mediziner und Biologen. Von Prof. Dr. *H. P. Kaufmann*, Vorstand der anorganischen Abteilung des chemischen Instituts der Universität Jena. I. Teil. Anorganische Chemie. Mit 21 Fig. im Text. Mit einem Anhang: Anleitung zur Ausführung einfacher Versuche im chemischen Praktikum. Mit 8 Fig. im Text. [VIII u. 156, 34 S.] gr. 8. 1921. Geh. M. 30.—, geb. M. 38.—. II. Teil. Organische Chemie. [In Vorb.]

Vorliegendes aus den Erfahrungen langjähriger Lehrtätigkeit hervorgegangenes Lehrbuch ist nicht als Nachschlagebuch geschrieben, sondern behandelt das Wesentliche in leicht faßbarer Form so, wie es die besonderen Bedürfnisse einer fortschreitenden Ausbildung der Studierenden erfordern. Den moderneren Auffassungen ist weitgehend Rechnung getragen und deshalb wird das Lehrbuch auch älteren Medizinern wertvolle Anregungen bieten.

Einführung in die analytische Chemie. Von Dr. *F. Rüsberg*, Mannheim
I. Teil: Theorie und Gang der Analyse. Mit 15 Fig. i. Text. [94 S.] 8. 1920.
II. Teil: Die Reaktionen, Mit 4 Fig. im Text. [105 S.] 8. 1920. (ANuG Bd. 524/525.) Kart. je M. 6.80, geb. je M. 8.80.

Die Bändchen wollen den Anfänger mit den Grundtatsachen der qualitativen analytischen Chemie vertraut machen und ihn in den Stand setzen, eine gewisse Fertigkeit in der praktischen Ausführung chemischer Analysen zu erwerben.

Vorlesungen über chemische Atomistik. Von Dr. *F. W. Hinrichsen*, weil. Prof. an der Technischen Hochschule Berlin. Mit 7 Abb. im Text und 1 Taf. [VIII u. 198 S.] gr. 8. 1908. Geb. M. 21.—

Die Entwicklung der chemischen Atomistik wird in großen Zügen wiedergegeben. Besonders Berücksichtigung finden die Valenzlehre, das periodische System der chemischen Elemente und die Elektronentheorie. Daneben werden kurz die erkenntnistheoretischen Grundlagen der Atomistik behandelt, die zu einer Kritik der materialist. Weltanschauung führen.

Stereochemie. Die Lehre von der räumlichen Anordnung der Atome im Molekül. Von Dr. *L. Mamlock*, Berlin. Mit 58 Fig. im Text, [VI u. 152 S.] gr. 8. 1907. Geb. M. 15.—

„Das Buch erfüllt seinen Zweck in ausgezeichnete Weise. Besonders wertvoll ist die faßliche Darstellung der nicht ganz einfachen stereochemischen Verhältnisse bei den anorganischen Körpern.“
(Chemiker-Zeitung.)

Das chemische Gleichgewicht auf Grund mechanischer Vorstellungen, Von Hofrat *H. v. Jüptner*, Prof. an der Technischen Hochschule in Wien. Mit 60 Fig. im Text. [IV u. 367 S.] gr. 8. 1910. Geh. M. 33.—, geb. M. 37.50.

Das Buch bezweckt, bei tunlichster Vermeidung der schwierigen thermodynamischen Begriffe die Lehre vom chemischen Gleichgewicht so zu entwickeln, daß dennoch eine streng mathematische Behandlung derselben möglich wird.

Elektrochemie und ihre Anwendungen. Von Dr. *K. Arndt*, Prof. an der Technischen Hochschule Berlin. 2. Aufl. Mit 37 Abb. im Text. [106 S.] 8. 1919. (ANuG Bd. 234.) Kart. M. 6.80, geb. M. 8.80.

Schildert die Grundlagen der Elektrochemie, wie Faradaysches Gesetz, Ionentheorie, Elektrolyse, und ihre technischen Anwendungen in der industriellen Metall- und Alkalichloridelektrolyse und bei der Gewinnung chemischer Erzeugnisse im elektrischen Ofen.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Preisänderung vorbehalten

Die Erscheinungsformen der Materie. Vorlesungen üb. Kolloidchemie. Von Dr. *V. Kohlschütter*, Prof. an der Universität Bern. [X u. 355 S.] 8. 1917. Geh. M. 24.—, geb. M. 30.—

„Die Darstellung ist sehr klar und in vielen Teilen geradezu fesselnd. Überall stellen Beispiele aus der Praxis die Bedeutung des theoretisch Abgeleiteten in das rechte Licht, und so darf das Buch, das erhebliche physikalische oder mathematische Kenntnisse nicht voraussetzt, angelegentlichst empfohlen werden.“ (Zeitschrift für analytische Chemie.)

Einführung in die Biochemie in elementarer Darstellung. Von Dr. *W. Löb*, weil. Prof. a. d. Universität Berlin. 2. Aufl. von Prof. Dr. *H. Friedenthal*, Charlottenburg. Mit 12 Fig. im Text. [82 S.] 8. 1919. (ANuG Bd. 352) Kart. M. 6.80, geb. M. 8.80

Gibt eine durch Abbildungen veranschaulichte Einführung in das Wesen der verwickelten chem. Prozesse, die sich im Zelleninneren der Organismen abspielen, und die in ihrer Gesamtheit und ihrer gegenseitigen Wechselwirkung das organische Leben überhaupt ermöglichen.

Photochemie. Von Prof. Dr. *G. Kimmell*, Prof. a. d. Universität Rostock i. M. [IV u. 107 S.] 8. 1918. (ANuG Bd. 227.) Kart. M. 6.80, geb. M. 8.80.

Erklärt die chemischen Vorgänge und Gesetze der Einwirkung des Lichtes auf die verschiedenen Substanzen und ihre praktischen Anwendungen, besonders in der Photographie- und Reproduktionstechnik, bis zu dem jüngsten Verfahren der Farbenphotographie.

Das Wasser. Experimentalvorträge von Geh. Reg.-Rat Dr. *O. Anselmino*, Privatdozent an der Universität Berlin. Mit 44 Fig. im Text. [VI u. 122 S.] 8. 1910. (ANuG Bd. 291.) Kart. M. 6.80, geb. M. 8.80

„Ein ausgezeichnet übersichtliches Buch, das das Wasser chemisch, hygienisch und technisch behandelt.“ (Soziale Medizin und Hygiene.)

Metallurgie. Von Dr.-Ing. *K. Nugel*, Berlin. Bd. I: Leicht- und Edelmetalle. Bd. II: Schwermetalle. (ANuG Bd. 446 u. 447.) [In Vorb. 1921.]

Chemische Plaudereien. Für 10- bis 14jährige Schüler aller Schulgattungen. Von Oberlehrer *L. Wunder*, Sendelbach b. Lohr a. M. Mit 5 Abb. [V u. 42 S.] 8. 1913. (TNB. Bd. 22.) Kart. M. 6.—

Die Plaudereien wollen zum Verständnis wichtiger chemischer Vorgänge helfen: der Oxydation und Reduktion, der Atmung und Ernährung von Pflanze und Tier, der Säure-, Laugen- und Salzbildung.

Chemisches Experimentierbuch. Von Dr. *K. Scheid*, Prof. am Realgymnasium an der II. Oberrealschule zu Freiburg i. Br.

I. Teil: Für mittlere Schüler. 4. Aufl. Mit 77 Abb. im Text. [VI u. 190 S.] gr. 8. 1919. Kart. M. 18.—

II. Teil: Für reifere Schüler. 2. Aufl. Mit 51 Abb. im Text. [VIII u. 203 S.] gr. 8. 1921. Geb. M. 20.— (TNB. Bd. 14/15.)

In meisterhafter Weise leitet der Verfasser zum Experimentieren mit „alltäglichen“ Dingen wie Soda, Kalk, Seife, Essig, Wasser, Kohlensäure, Sand usw. an und bietet damit eine Menge chemischer Tatsachen und Naturgesetze. Nicht Salonzauberkunst, sondern ernste Wissenschaft in heiterem Gewande.

Vorbereitungsbuch für den Experimentalunterricht in Chemie. Von Dr. *K. Scheid*, Prof. an der II. Oberrealschule und Realgymnasium zu Freiburg i. Br. 2. Aufl. Mit 233 Fig. und zahlreichen Tabellen im Text. [VI u. 620 S.] gr. 8. 1921. Geb. M. 96.—

„Das vortreffliche Werk ist auf vollkommen moderner Grundlage aufgebaut, indem es alle Richtungen und Bestrebungen der neuesten Zeit auf dem Gebiete des chemischen Unterrichts berücksichtigt.“ (Zeitschr. f. lateinlose höhere Schulen.)

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Preisänderung vorbehalten

Ernährung und Nahrungsmittel. Von Geh. Reg.-Rat Dr. *N. Zuntz*, weil. Prof. an der Universität Berlin. 3. Aufl. Mit 6 Abb. im Text und 1 farb. Tafel. [IV u. 136 S.] 8. 1918. (ANuG Bd. 19.) Kart. M. 6.80, geb. M. 8.80

„Über den Nährstoffbedarf des Körpers, Verdauung und Zubereitung der Speisen, über die wichtigsten Volksnahrungsmittel und die stickstofffreien Nährstoffe wird unser gesamtes Wissen in knapper, schöner, klarer Sprache dargelegt.“ (Zeitschr. f. phys. u. diät. Ther.)

Nahrung und Ernährung. Die wichtigsten Tatsachen aus der Nahrungsmittelkunde u. der Ernährungslehre. Zugleich Erläuterungsschrift zu Rubners Nahrungsmitteltafel für Schulen und Haushaltungsschulen und für den praktischen Gebrauch. Von Prof. Dr. *K. Thomas*, Dir. d. physiolog.-chem. Institutes d. Univ. Leipzig. 2. Aufl. Mit 1 Tabelle und 1 (farb.) Tafel. [IV u. 62 S.] gr. 8. 1920. Kart. M. 15.—

„Wir können hervorheben, daß es Verf. gelungen ist, eine Fülle von Wissenswerten aus den Grundkapiteln der Nahrungsmittelchemie und Ernährungsphysiologie in übersichtlicher und allgemein verständlicher Form zusammenzustellen.“ (Zeitschr. f. angew. Chemie.)

Nährwerttafel für Schulen und Haushaltungsschulen. Bearb. von Geh. Ober-Med.-Rat Dr. *M. Rubner*, Prof. an der Universität Berlin, und Prof. Dr. med. *K. Thomas*, Dir. d. physiolog.-chem. Institutes der Univ. Leipzig. Auf Papyrolin mit Klammern M. 21.— Auf Papier ohne Klammern M. 12.—

„Die Rubnersche Nährwerttafel zeichnet sich vor bisherigen graphischen Veranschaulichungsmitteln dieses Gebiets durch ganz besondere Übersichtlichkeit und Reichhaltigkeit aus.“ (Deutsche Medizinische Wochenschrift.)

Chemie für Hausfrauen, sowie zum Gebrauch an Haushaltungsschulen. Von Dr. *G. Luff*, München. Mit 129 Abb. [VII u. 127 S.] gr. 8. 1909. Geb. M. 4.50.

Schildert in gedrängter Form die Bedeutung der Chemie in der Haushaltung, wobei auch die Grenzgebiete der Chemie, als die einschlägige Technik, zu Worte kommen.

Chemie in Küche und Haus. Von Dr. *J. Klein*, Mannheim. 4. Aufl. [119 S.] 8. 1919. (ANuG Bd. 76.) Kart. M. 6.80, geb. M. 8.80.

Behandelt die chemischen Vorgänge, die sich beim Stoffwechsel im menschlichen Körper abspielen, und die Zusammensetzung der hauptsächlichsten Nahrungsmittel, ihre Zubereitung und Konservierung, die Chemie in der Wohnung (Heizung, Beleuchtung, Desinfektion) und die Chemie in der Kleidung (Waschen und Bleichen, Färben, Fleckenbeseitigung).

Desinfektion, Sterilisation, Konservierung. Von Reg.- u. Medizinal-Rat Dr. *O. Solbrig*, Breslau. Mit 20 Abb. im Text. [VI u. 116 S.] 8. 1914. (ANuG Bd. 401.) Kart. M. 6.80, geb. M. 8.80.

„Erteilt klaren Aufschluß über die Kleinlebewesen, deren Nutzen und Schädlichkeit, gibt Verhaltensmaßregeln bei ansteckenden Krankheiten und Auskunft über einwandfreie Zubereitung und Frischhaltung unserer Lebensmittel im Haushalt, in der Industrie usw. Das Büchlein ist ein sehr wichtiger praktischer Ratgeber.“ (Zeitschr. f. angew. Chemie.)

Der Luftstickstoff und seine Verwertung. Von Prof. Dr. *K. Kaiser*, Berlin. 2. Aufl. Mit 13 Abb. im Text. [104 S.] 8. 1919. (ANuG Bd. 313.) Kart. M. 6.80, geb. M. 8.80

Behandelt die Bedeutung des Stickstoffs in der Natur, die Entwicklung der deutschen Luftstickstoffindustrie zur größten der Welt und ihre technischen Verfahren bis zu den neuesten Errungenschaften.

Agrikulturchemie. Von Dr. *P. Krische*, Biblioth. d. Kalisyndikats Berlin. 2. verb. Aufl. Mit 21 Abb. im Text. [127 S.] 8. 1920. (ANuG Bd. 314.) Kart. M. 6.80, geb. M. 8.80

Behandelt, ausgehend von den verschiedenen Bodenarten und den in ihnen enthaltenen Nährstoffen, alle Arten natürlicher und künstlicher Dung- und Futtermittel, ihre Bedeutung für die Land- und die gesamte Volkswirtschaft und ihre Verwertung.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Preisänderung vorbehalten

Teubners Kleine Fachwörterbücher

bringen sachliche und wörterklärende Erklärungen aller wichtigeren Gegenstände und Sachausdrücke der einzelnen Gebiete der Natur- und Geisteswissenschaften. Sie wenden sich an weiteste Kreise und wollen vor allem auch dem Nichtfachmann eine verständnisvolle, befriedigende Lektüre wissenschaftlicher Werke und Zeitschriften ermöglichen und den Zugang zu diesen erleichtern. Dieser Zweck hat Auswahl und Fassung der einzelnen Erklärungen bestimmt: Berücksichtigung alles Wesentlichen, allgemeinverständliche Fassung der Erklärungen, ausreichende sprachliche Erklärung der Sachausdrücke, wie sie namentlich die immer mehr zurücktretende humanistische Vorbildung erforderlich macht.

Mit größeren rein wissenschaftlichen Nachschlagewerken können die kleinen Fachwörterbücher namentlich hinsichtlich der Vollständigkeit natürlich nicht in Wettbewerb treten, sie verfolgen ja aber auch ganz andere Zwecke, durch die Preis und Umfang bedingt waren. Den allgemeinen Konversationslexika gegenüber bieten sie bei den sich ohnehin mehr und mehr spezialisierenden auch außerfachlichen Interessen des einzelnen Vorteile insofern, als die Bearbeitung den besonderen Bedürfnissen des einzelnen Fachgebietes besser angepaßt und leichter auf dem neuesten Stand des Wissens gehalten werden kann, als insbesondere auch die Neu- und Nachbeschaffung der einzelnen abgeschlossenen Gebiete behandeln. Den Bände bedeutend leichter ist als die einer Gesamt-Enzyklopädie, deren erster Band gewöhnlich schon wieder veraltet ist, wenn der letzte erscheint.

* in Vorbereitung bzw. unter der Presse (1921)

Philosophisches Wörterbuch. 2. Aufl. V. Studentat Dr. P. Thormeyer. (Bd. 4) geb. M. 17.50

Psychologisches Wörterbuch von Dr. Fritz Steje. (Bd. 7) geb. M. 17.50

* **Wörterbuch zur deutschen Literatur** von Dr. H. Köhl.

* **Musikalisches Wörterbuch** von Privatdoz. Dr. J. H. Moser. (Bd. 12.)

* **Wörterbuch der Kunstgeschichte** von Dr. H. Vollmer.

* **Wörterbuch des klassischen Altertums** von Dr. B. A. Müller.

* **Physikalisches Wörterbuch** v. Prof. Dr. G. Berndt. (Bd. 5) geb. M. 17.50

* **Chemisches Wörterbuch** von Privatdozent Dr. H. Remß. (Bd. 10.)

* **Astronomisches Wörterbuch** v. Observator Dr. H. Naumann. (Bd. 11.)

Geologisch-mineralogisches Wörterbuch von Dr. E. W. Schmidt. (Bd. 6) geb. M. 20.—

Geographisches Wörterbuch v. Prof. Dr. O. Kende. I. Allgem. Erdkunde.

(Bd. 8) geb. M. 22.50. *II. Wörterbuch d. Länder- u. Wirtschaftskunde. (13.)

Zoologisches Wörterbuch von Dr. Th. Knottnerus-Meyer.

(Bd. 2) geb. M. 20.—

Botanisches Wörterbuch von Dr. O. Gerke. (Bd. 1) geb. M. 20.—

Wörterbuch der Warenkunde von Prof. Dr. M. Pietsch. (Bd. 3)

geb. M. 22.50

* **Handelswörterbuch** von Handelschuldirektor Dr. V. Sittel und Justizrat Dr. M. Strauß. (Bd. 9)

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

N VIII. 21.

Die in diesen Anzeigen angegebenen Preise sind die ab 1. Juli 1921 gültigen als freibleibend zu betrachtenden Ladenpreise, zu denen die meinen Verlag vorzugsweise führenden Sortimentsbuchhandlungen zu liefern in der Lage und verpflichtet sind, und die ich selbst berechne. Sollten betreffs der Berechnung eines Buches meines Verlages irgendwelche Zweifel bestehen, so erbitte ich direkte Mitteilung an mich.

Teubners Naturwissenschaftliche Bibliothek

Serie A. Für reifere Schüler, Studierende und Naturfreunde

Alle Bände sind reich illustriert und geschmackvoll gebunden

- Große Physiker.** Von Joh. Keferstein. Mit 12 Bildnissen. M. 18.—
- Physikalisches Experimentierbuch.** Von H. Rebenstorff. In 2 Teilen. I. Teil, 2. Aufl. Mit 99 Abbildungen M. 24.— II. Teil, Mit 87 Abbildungen . M. 18.—
- Chemisches Experimentierbuch.** Von K. Scheid. In 2 Teilen. I. Teil. 4. Aufl. Mit 77 Abbildungen. M. 18.— II. Teil, 2. Aufl. Mit 51 Abbildungen . M. 20.—
- An der Werkbank.** Von C. Gscheidlen. Mit 110 Abbildungen u. 44 Tafeln. M. 20.—
- Hervorragende Leistungen der Technik.** Von K. Schreber. Mit 56 Abb. M. 10.—
- Vom Einbaum zum Linienschiff.** Streifzüge auf dem Gebiete der Schifffahrt und des Seewesens. Von K. Kadunz. Mit 90 Abbildungen. M. 12.—
- Die Luftschiffahrt.** Von K. Nimfuh. Mit 90 Abbildungen M. 7.50
- Aus dem Luftmeer.** Von M. Sassenfeld. Mit 40 Abbildungen M. 7.50
- Himmelsbeobachtung mit bloßem Auge.** Von J. Kusch. 2. Aufl. Mit 30 Figuren und 1 Sternkarte. M. 20.—
- An der See.** Geogr.-geologische Betrachtungen. Von B. Dahms. Mit 61 Abb. M. 14.—
- Küstenwanderungen.** Biologische Ausflüge. Von V. Franz. Mit 92 Fig. M. 9.—
- Geologisches Wanderbuch.** Von K. G. Volk. 2 Teile. I. 2. Aufl. Mit 201 Abb. u. 1 Orientierungstafel. M. 30.— II. Mit 269 Abb., 1 Orientierungstafel u. 1 Titeltbild. M. 30.—
- Große Geographen.** Bilder aus der Geschichte der Erdkunde. Von J. Lampe. Mit 6 Porträts, 4 Abb. u. Kartenstizze. M. 13.50
- Geographisches Wanderbuch.** Von A. Berg. 2. Aufl. Mit 212 Abb. M. 22.—
- Anleitung zu photographischen Naturaufnahmen.** Von G. E. S. Schulz. Mit 41 photographischen Aufnahmen. M. 16.50
- Vegetationsbilder.** Von B. Gräbner. Mit 40 Abbildungen. M. 9.—
- Unsere Frühlingspflanzen.** Von Jr. Höck. Mit 76 Abbildungen. . . M. 12.—
- Große Biologen.** Bilder aus der Geschichte der Biologie. Von W. Mah. Mit 21 Bildnissen M. 10.—
- Biologisches Experimentierbuch.** Anleitung zum selbständigen Studium der Lebenserscheinungen für jugendliche Naturfreunde. Von C. Schaffer. Mit 100 Abbildungen M. 20.—
- Insektenbiologie.** Von Chr. Schröder. [H. d. Presse 1921.]
- Erlebte Naturgeschichte.** Von C. Schmitt. 2. Aufl. Mit 95 Abb. i. Text. Kart. M. 16.50
- Das Leben unserer Vögel.** Von J. Thienemann. ca. M. 10.—

In Vorbereitung:

- Große deutsche Industriebegründer.** Von C. Matschoß. **Große Mathematiker.** Von E. Löffler. **Große Chemiker.** Von D. Ohmann und K. Winderlich.

Serie B. Für jüngere Schüler und Naturfreunde.

- Physikalische Plaudereien für die Jugend.** Von E. Wunder. Mit 15 Abbildungen. Kart. M. 5.—
- Chemische Plaudereien für die Jugend.** Von E. Wunder. Mit 5 Abbildungen. Kart. M. 5.—
- Mein Handwerkszeug.** Von O. Fren. Mit 12 Abbildungen . . . Kart. M. 4.—
- Vom Tierleben in den Tropen.** Von K. Guenther. Mit 7 Abb. Kart. M. 4.—
- Versuche mit lebenden Pflanzen.** Von M. Dettli. Mit 7 Abb. Kart. M. 4.—

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Teubners Künstlersteinzeichnungen

Wohlfeile farbige Originalwerke erster deutscher Künstler fürs deutsche Haus
Die Sammlung enthält jetzt über 200 Bilder in den Größen 100×70 cm (M. 25.-), 75×55 cm (M. 21.-), 103×41 cm u. 60×50 cm (M. 18.-), 55×42 cm (M. 16.-), 41×30 cm (M. 12.50)
Geschmackvoller Rahmen aus eigener Werkstatt in den Bildern angepaßten Ausführungen.

Schattenbilder

R. W. Diefenbach „Per aspera ad astra“. Album, die 34 Teilb. des vollst. Wandstrieles fortlaufend wiederg. (20 $\frac{1}{2}$ ×25 cm) M. 70.—. Teilbilder als Wandstriele (42×30 cm) je M. 17.50, (35×18 cm) je M. 5.50, auch gerahmt in versch. Ausfüh. erhältlich.

„Göttliche Jugend“. 2 Mappen, mit je 20 Blatt (25 $\frac{1}{2}$ ×34 cm) je M. 50.—. Einzelbilder je M. 3.30, auch gerahmt in versch. Ausfüh. erhältlich.

Kindermusik. 12 Blätter (25 $\frac{1}{2}$ ×34 cm) in Mappe M. 45.—, Einzelblatt M. 4.50.

Gerda Luise Schmidt (20×15 cm) je M. 2.50. Auch gerahmt in verschiedener Ausführung erhältlich. Blumenoratel. Keisenspiel. Der Besuch. Der Liebesbrief. Ein Frühlingstraß. Die Freunde. Der Brief an „Ihn“. Annäherungsversuch. Am Spinett. Beim Wein. Ein Märchen. Der Geburtstag.

Teubners Künstlerpostkarten

(Ausf. Verzeichnis v. Verlag in Leipzig.) Jede Karte 30 Bl. Reihe von 12 Karten in Umschlag M. 3.—, jede Karte unter Glas mit schwarzer Einfassung und Schnur M. 2.20, oval M. 2.40. Die mit * bezeichneten Reihen auch in feinen ovalen Holzrahmchen (M. 6.20 bzw. M. 7.50, edig M. 5.20), in Leinwand-Rahmen (edig M. 2.90, oval M. 3.20) oder in Kettenrahmen (M. 3.40).
Teubners Künstlersteinzeichnungen in 12 Reihen. **Teubners Künstlerpostkarten** nach Gemälden neuerer Meister. 1. Maccio, Maienzelt. 2. Köstlich, Sonnenbli. 3. Butterlad, Sommer im Moor. 4. Hartmann, Sommerweide. 5. Kühn jr., Im weißen Zimmer. In Umschlag M. 1.50. ***Diefenbachs Schattenbilder** in 7 Reihen. (**Kindermusik**, je M. —.40, Reihe M. 4.—) **Aus den Kinderleben**, 6 Karten nach Bleistiftzeichn. von Hela Peters. 1. Der gute Bruder. 2. Der böse Bruder. 3. Wo drückt der Schuh? 4. Schmeicheltäuschen. 5. Püppchen, aufgepaßt! 6. Große Wäsche. In Umschlag M. 1.50. ***Schattenbilder** von Gerda Luise Schmidt: 1. Reihe: Spiel und Tanz, Fest im Garten, Blumenoratel, Die kleine Schärerin, Delauniers Dichter, Kattensänger von Hameln. 2. Reihe: Die Freunde, Der Besuch, Im Grünen, Keisenspiel, Ein Frühlingstraß, Der Liebesbrief. 3. Reihe: Der Brief an „Ihn“, Annäherungsversuch, Am Spinett, Beim Wein, Ein Märchen, Der Geburtstag. Jede Reihe in Umschlag M. 1.50. **Denkwürdige Stätten aus Nordfrankreich**. 12 Original-Eithographien von K. Loh.

Rudolf Schäfers Bilder nach der Heiligen Schrift

Der barmherzige Samariter (M. 21.—), Jesus der Kinderfreund (M. 18.—), Das Abendmahl (M. 21.—), Hochzeit zu Kana (M. 18.—), Weihnachten (M. 21.—), Die Bergpredigt (M. 21.—) (75×55 bzw. 60×50 cm), 6 Blätter in Mappe zum einmässigen Preise von M. 86.50.

Diese 6 Blätter in Format in Mappe M. 36.40, als 23×30 unter dem Titel **Biblische Bilder** Einzelblatt je M. 8.40 (Auch als „Kirchliche Gedenkblätter“ und als „Glückwunsch- u. Einladungskarten“ erhältlich.)

Karl Bauers Federzeichnungen

Führer und Helden im Weltkrieg. Einzelne Blätter (28×36 cm) M. 2.50, Liebhaberausgabe M. 5.50, 2 Mappen, enthaltend je 12 Blätter, je . . . M. 12.—

Charakterköpfe 3. deutschen Geschichte. Mappe, 32 Bl. (28×36 cm) M. 40.—, 12 Bl. M. 16.—. Einzelblätter M. 2.50. Liebhaberausgabe auf Karton geklebt M. 5.50

Aus Deutschlands großer Zeit 1813. In Mappe, 16 Bl. (28×36 cm) M. 18.—, Einzelblätter M. 2.50. Liebhaberausgabe auf Karton geklebt M. 5.50

Vollständiger Katalog üb. künstl. Wandschmud mit farb. Wiedergabe von über 200 Blättern gegen Einsend. von M. 5.50 oder gegen Nachn. (M. 6.—) vom Verlag in Leipzig, Poststr. 3, erhältlich

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin