

Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn, Akt.-Ges., Braunschweig

Prof. Dr. W. Ostwald:

Die Schule der Chemie

Erste Einführung in die Chemie für Jedermann

4. Auflage / Mit 74 Abbildungen

XII, 450 S. gr. 8° / 1919 Geb. *ℳ* 7.50

Ad. Stöckhardt's

Schule der Chemie

oder

erster Unterricht in der Chemie

versinnlicht durch einfache Versuche

Zum Schulgebrauch und zur Selbstbelehrung, insbesondere für angehende Apotheker, Landwirte, Gewerbetreibende usw.

22. Auflage, bearbeitet von Prof. Dr. Lassar-Cohn

Mit 204 Abbildungen und einer farbigen Spektraltafel

XXVI, 532 S. gr. 8° / 1920 *ℳ* 10.50, geb. *ℳ* 13.—

Prof. R. Winderlich:

Lehrbuch der Chemie

für höhere Lehranstalten

Teil I: Unterstufe

Zweite durchgesehene Auflage / Mit 80 Abbildungen

VI, 124 S. 8° / 1925

Geb. *ℳ* 3.20

Teil II: Oberstufe

Mit 198 Abbildungen / VI, 294 S. 8° / 1924

Geb. *ℳ* 7.20

Chemie in Natur und Kultur

Volkstümliche Vorträge

von

Prof. Dr. Richard Meyer



Mit 12 Abbildungen

Druck und Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges.
Braunschweig 1925

ISBN 978-3-663-03319-6 ISBN 978-3-663-04508-3 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-663-04508-3

Alle Rechte vorbehalten

Vorwort.

Die hiermit einem größeren Leserkreise übergebenen Vorträge habe ich in Braunschweig als Teil der daselbst eingerichteten Kurse für Volksbildung gehalten. Die Zuhörerschaft gehörte den verschiedensten Volksschichten an. Mein Zweck war, ein Verständnis der chemischen Vorgänge in der Natur und im menschlichen Leben, einschließlich besonders wichtiger technischer Prozesse zu vermitteln. Dazu war es notwendig, zuerst die chemische Grundlage zu geben, wobei ich mich auf das unumgänglich Nötige beschränkt habe. Wichtig schien es mir aber, bei jedem Versuch die Aufmerksamkeit der Zuhörer auf alle sich darbietenden, auch scheinbar nebensächliche Erscheinungen zu lenken und die sich daraus ergebenden Schlüsse zu ziehen. Auch gelegentliche kleine Rechnungen dienten, wie ich hoffe, dazu, das Verständnis der betreffenden Vorgänge und ihrer praktischen Anwendungen zu vertiefen. — Schließlich war es mein Bestreben, bei meinen Zuhörern die Überzeugung zu erwecken, daß die Wissenschaft nicht etwas Fertiges, in sich Abgeschlossenes ist, sondern ein in fortdauernder Entwicklung Begriffenes. Deshalb habe ich mich nicht gescheut, gegebenenfalls auch Dinge zu berühren, über die das letzte Wort noch nicht gesprochen ist.

Braunschweig, August 1925.

Richard Meyer.

Inhalt.

	Seite
Das Wesen der Chemie. Chemische Vorgänge	1
Was ist Chemie? Ihre Stellung unter den Naturwissenschaften 1. — Chemie und Physik 2. — Chemische Vorgänge 2. — Die Chemie eine experimentelle Wissenschaft 4. — Chemische Verbindungs- prozesse 5. — Chemische Zersetzungsprozesse 6. — Sauerstoff 7. Wasserstoff 10. — Chemische Vertretungsprozesse 13. — Dichte der Gase 14.	
Verbrennungsprozesse. Chemische Elemente	16
Verbrennung in Luft und in Sauerstoff 16. — Synthese des Wassers 19. — Knallgas 21. — Chemische Verwandtschaft 23. — Oxydation und Reduktion 24. — Kohlensäure 25. — Verbrennung einer Kerze 29. — Atmung des Menschen und der Tiere 31. — Chemische Elemente 32.	
Mengenverhältnisse bei chemischen Vorgängen. Atomtheorie .	34
Gesetz der Erhaltung des Stoffes 34. — Mechanische Mischung und chemische Verbindung 34. — Gesetz der konstanten Propor- tionen 35. — Gesetz der multiplen Proportionen 35. — Atom- theorie 37. — Chemische Formeln und Gleichungen 39.	
Säuren, Basen, Salze	42
Säuren 42. — Basen 45. — Salzbildung 48. — Ein- und mehr- basische Säuren 49. — Ein- und mehrwertige Elemente 50. — Ein- und mehrsaurige Basen 51. — Löslichkeit, ihre Abhängig- keit von der Temperatur; Kristallisation 52. — Kristallwasser 53.	
Die atmosphärische Luft	54
Zusammensetzung der Luft, Isolierung des Stickstoffs 54. — Eigenschaften der Gase 56. — Flüssige Luft 56. — Frische und verdorbene Luft 60. — Natürliche Ventilation 61. — Schädlich- keit feuchter Wohnungen 62.	
Die chemischen Vorgänge im Tier- und Pflanzenreich	63
Atmung des Menschen und der Tiere; Kreislauf des Blutes, arterielles und venöses Blut 63. — Atmung und Assimilation der Pflanzen 63. — Chemische Bestandteile der Pflanzen 63. — Stoffwechsel des Menschen und der Tiere 66. — Leistungen	

des Organismus: Wärme und Arbeit 66. — Gesetz der Erhaltung der Energie 67. — Das mechanische Wärmeäquivalent 69. — Vergleich des Organismus mit einer Dampfmaschine 69.

Die Nahrungsmittel	71
Die Nahrungsmittel, Gemische einheitlicher Nahrungsstoffe.	
1. Stickstofffreie Nahrungsstoffe. a) Kohlenhydrate: Stärke, Zucker, Pflanzenfaser; b) Fette 71. — 2. Stickstoffhaltige Nahrungsstoffe: Eiweißkörper 72. — Wasser, Salze, Pflanzensäuren, Gewürzstoffe 72. — Zusammensetzung von Nahrungsmitteln 72. — Vitamine 73. — Verbrennungswärme der Nahrungsstoffe 74. — Stickstoffumsatz des Körpers bei Ruhe und Arbeit 74. — Bedarf an den verschiedenen Nahrungsstoffen; Rolle der Eiweißkörper 75.	
Bedarf der Lebewesen an Mineralstoffen	76
Salze, Aufnahme aus dem Boden durch die Pflanzen 76. — Künstliche Düngemittel: Guano, Knochenasche 77. — Superphosphat, Thomasmehl, Kalisalze 78. — Mineralbedürfnis des Menschen und der Tiere 78. — Kreislauf des Stickstoffs 79. — Chilisalpeter 80. — Ammonsulfat 81. — Stickstoffverbindungen zur Herstellung der Kriegsmunition: Salpetersäure 82. — Ammoniak 84.	
Verwertung des atmosphärischen Stickstoffs	86
Kalkstickstoff 86. — Luftverbrennung 87. — Ammoniak aus den Elementen 89. — Salpetersäure aus Ammoniak 92.	
Wasser	93
Kreislauf des Wassers 93. — Mineralstoffgehalt der natürlichen Wässer; destilliertes Wasser; weiches und hartes Wasser 94. — Vorübergehende und bleibende Härte; Kesselstein 96. — Enthärten des Wassers 98. — Wasser und Seife 99. — Eisenhaltiges Wasser 100.	
Brennstoffe	101
Verbrennungswärme der Brennstoffe 101. — Vergasung der Kohlen, Leuchtgas 102. — Koks, Teer, Gaswasser 102. — Zusammensetzung des Leuchtgases 103. — Verwendung zum Leuchten und Heizen 104. — Wesen der Flamme 105. — Ursache des Leuchtens 106. — Der Bunsenbrenner 107. — Gasglühlicht 108. — Gasexplosionen 109. — Giftigkeit des Leuchtgases; Nebenprodukte 110. — Koksgewinnung 111. — Luftgas 111. — Wassergas 114. — Petroleum 115. — Entstehung des Erdöls 116. — Zündmittel 117. — Ausblick 119.	
Fette, Seifen, Kerzen	120
Chemische Natur der Fette 120. — Trocknende Öle, Mineralöle 122. — Speisefette, Margarine 123. — Seifen 124. — Kerzen, Fetthärtung 126. — Paraffin, Wachs 127.	

	Seite
Zucker	128
<p style="padding-left: 40px;">Verschiedene Zuckerarten 128. — Rohrzucker, Gewinnung aus der Zuckerrübe 131. — Künstliche Süßstoffe 132.</p>	
Gärung	132
<p style="padding-left: 40px;">Wein 132. — Wesen der Gärung 133. — Hefe 134. — Zellfreie Gärung 134. — Bier 135. — Trinkbranntweine 137. — Spiritus 138. — Brotbäckerei 139. — Milch- und Buttersäuregärung 140. — Essig 140.</p>	
Faserstoffe	142
<p style="padding-left: 40px;">Pflanzenfasern: Baumwolle 142. — Leinenfaser, Holzfaser 144. — Anwendung der Holzfaser in der Papierfabrikation 145. — Tierische Fasern: Schafwolle 146. — Seide 147. — Kunstseide 148. — Celluloid 149. — Der chemische Charakter der Faserstoffe 150. — Verhalten der Faserstoffe zu den Farbstoffen 150.</p>	
Halogene	152
<p style="padding-left: 40px;">Chlor 152. — Salzsäure 156. — Haloidsäuren und Haloidsalze 157. — Chlorsaures Kalium 157. — Chlorkalk 158. — Brom 158. — Jod 159. — Fluor 160. — Fluorwasserstoffsäure 160. — Blausäure 161.</p>	
Alkalimetalle	162
<p style="padding-left: 40px;">Natrium 162. — Ätznatron, Soda 163. — Doppelkohlensaures Natrium 164. — Chilisalpeter, Glaubersalz 165. — Kalium; Pottasche, Ätzkali, Kalisalpeter 165. — Entstehungszustand, status nascendi 166.</p>	
Alkalische Erdmetalle	167
<p style="padding-left: 40px;">Calcium, kohlensaures Calcium 167. — Gips, Zement, Calciumcarbid 168. — Magnesium 168. — Bittersalz 169. — Salpetersaures Strontium 169.</p>	
Spektralanalyse	170
<p style="padding-left: 40px;">Natur des weißen Lichtes 170. — Das Sonnenspektrum, die Fraunhoferschen Linien 170. — Linienspektren der Metalle; Entdeckung neuer Metalle 171. — Gasspektren 172. — Physische Beschaffenheit der Sonne 173. — Die Fixsterne 173. — Nebelflecke 174. — Die Edelgase 175. — Natur des Nordlichts 176.</p>	
Radioaktivität	177
<p style="padding-left: 40px;">Strahlungsvermögen des Urans; Polonium und Radium 177. — Emanation 178. — Umwandlungen der radioaktiven Elemente 178. — Quellen der Sonnenwärme 179. — Physiologische Wirkungen der radioaktiven Stoffe 179.</p>	

	Seite
Metallgewinnung	180
Eisen 180. — Roheisen 181. — Schmiedbares Eisen, Stahl 182. — Kupfer 183. — Elektrolytkupfer 184. — Kupferlegierungen: Messing, Bronzen 186. — Blei 186. — Bleiröhren, Letternmetall, Schrotblei; Mennige, Bleiweiß 187. — Zink, Zinn 188. — Die edlen Metalle: Gold, Silber, Platin 189. — Quecksilber 190. — Aluminium 191. — Thermitverfahren 192. — Nickel 192. — Ausblick 193.	
Tonwaren	194
Tonwaren mit verglastem Scherben: Porzellan 194. — Porzellanfarben 195. — Steinzeug 195. — Tonwaren mit po- rösem Scherben: Steingut, Majolika, Töpfergeschirr, Ziegel usw. 195.	
Glas	196
Zusammensetzung der Gläser; Rohstoffe 196. — Kristallglas, optische Gläser 197. — Das Glasmachen 197. — Verhalten des Glases in der Hitze 197. — Verarbeitung der Glasmasse 198. — Farbige Gläser, Emailen 199.	
Explosivstoffe	200
Geschoßtreibmittel: Schwarzpulver 200. — Initialzünd- mittel 201. — Rauchschwaches Pulver 202. — Sprengstoffe: Schwarzpulver 203. — Nitroglycerin, Dynamit 204. — Spreng- gelatine 204. — Flüssige Luft (Oxyliquit), Sicherheitssprengstoffe; Pikrinsäure, Trinitrotoluol 205. — Brisanz 205. — Arbeits- leistungen der Explosivstoffe 205.	
Kolloidchemie	207
Was ist ein Kolloid? 207. — Kolloide und Kristalloide 208. — Der Tyndalleffekt 208. — Suspensionen und Emulsionen, kollo- idale und echte Lösungen 209. — Das Ultramikroskop; Brown- sche Bewegung 209. — Nebel und Wolken, Rauch; gefärbte Mineralien; die Farbe des Himmels 210. — Kolloidchemische Vorgänge in den Organismen 211. — Kolloidchemie und Technik 211.	
Namen- und Sachverzeichnis	213

Das Wesen der Chemie. Chemische Vorgänge.

Die Chemie ist ein Zweig der Naturwissenschaft, welche die Aufgabe hat, die natürlichen Dinge zu erforschen. Diese Forschung erfolgt in zwei verschiedenen Richtungen. Die eine hat es mit den Dingen als solchen zu tun, sie gliedert sich in die Lehre von den Mineralien, den Pflanzen und den Tieren. Durch sorgfältige Beobachtung sucht sie diese Naturprodukte so genau als irgend möglich kennenzulernen und zu beschreiben. Als Werkzeug dienen ihr dazu die Sinnesorgane, vor allem die Augen, deren Wirkungskreis durch Anwendung des Mikroskops und anderer Hilfsmittel außerordentlich erweitert wurde. Und der Anatom begnügt sich nicht damit, Tiere und Pflanzen ihrer äußeren Erscheinung und Gliederung nach zu beschreiben, sondern er zerlegt sie mit dem Messer, um auch in ihren inneren Bau einzudringen. — Diese Art der Naturbetrachtung bezeichnet man als Naturgeschichte.

Die andere Richtung hat es nicht mit den Naturprodukten als solchen zu tun, sondern mit den Vorgängen, denen sie unterliegen können. Wenn wir einen Stein aus einer gewissen Höhe fallen lassen, so vollzieht er eine Bewegung, die schon von der gewöhnlichen Beobachtung als geradlinig und senkrecht abwärts gerichtet erkannt wird. Die nähere Untersuchung dieser Bewegung ergibt, daß ihre Geschwindigkeit mit der Zeit wächst, und zwar vollkommen gleichmäßig, so daß sie in jeder Sekunde einen gleich großen Zuwachs erfährt. In derselben Weise ist der senkrechte Wurf aufwärts, der horizontale und der schiefe Wurf, sowie die drehende Bewegung Gegenstand der Forschung und von ihr genau charakterisiert worden. Wenn wir eine Glocke anschlagen, eine Saite anstreichen oder eine Pfeife anblasen, so vernehmen wir einen Ton, und es ist Gegenstand der Forschung, zu ermitteln, wie er zustande kommt, wovon seine Höhe und sein besonderer Charakter abhängt und auf welche Weise er sich

von dem tönenden Körper zu unserem Ohre fortpflanzt. Entsprechendes gilt von den Veränderungen der Temperatur, vom Licht, von den magnetischen und elektrischen Erscheinungen usw. Endlich erwähne ich noch solche Vorgänge, wie den Übergang von Wasser in Eis und in Dampf, sowie die Rückverwandlung beider in flüssiges Wasser, welche sich bei den meisten Stoffen in entsprechender Weise herbeiführen lassen. Man erkennt leicht, daß diese Vorgänge das Wesen der Körper unverändert lassen; ihre Erforschung bildet den Gegenstand der Physik.

Nun gibt es aber noch Vorgänge ganz anderer Art. So das Rosten des Eisens, das Ansetzen von Grünspan an Kupfer und Messing, die Gärung von Trauben- und Obstmost, das Sauerwerden der Milch und des Weins, das Brennen des Kalkes und seine Erhärtung im Mörtel. Durch solche Vorgänge erleiden die Körper eine vollständige und dauernde Veränderung ihrer Eigenschaften, sie werden dadurch in ganz neue Körper mit neuen Eigenschaften umgewandelt. Würde uns nicht die Erfahrung lehren, daß der braune pulverige Rost aus dem eisernen Nagel entsteht, auf dessen Oberfläche er sich bildet, wir würden niemals einen Zusammenhang zwischen beiden vermuten. Und wenn Spiritus, Petroleum oder eine Kerze verbrennen, so scheint es gar, als ob sie spurlos verschwinden. Gegenstand der Chemie ist es nun, die Natur solcher Vorgänge zu erforschen und die Gesetze zu ermitteln, durch die sie bestimmt werden. Physik und Chemie werden wohl auch, gegenüber der Naturgeschichte, als Naturlehre zusammengefaßt.

Wir wollen nun gleich ein paar solche Vorgänge beobachten. Ich habe hier einen zu einer Spirale gebogenen Platindraht. Platin ist ein edles Metall, ähnlich dem Gold und Silber. Ich bringe nun meine Platinspirale in die wenig leuchtende Gasflamme eines sogenannten Bunsenbrenners, und sogleich erstrahlt sie in einem hellen, fast weißen Licht. Nehme ich sie aus der Flamme heraus, so verlöscht sie sogleich, und irgend eine bleibende Veränderung ist an ihr nicht zu bemerken. Auch die genaueste Untersuchung mit allen Hilfsmitteln der Physik bestätigt es, daß solches Erhitzen das Wesen des Platins vollkommen unverändert läßt. Wir haben hier also einen rein physikalischen Vorgang beobachtet: Erhitzung mit Ausstrahlung von Licht. — Nun bringe ich ein anderes Metall, das Magnesium, das jetzt von der In-

dustrie in Bandform geliefert wird, in dieselbe Flamme. Sogleich verbrennt das silberglänzende Metall mit einem blendend weißen Licht und bleibt nicht unverändert wie das Platin, sondern verwandelt sich in einen glanzlosen weißen Stoff, der wohl bei vorsichtiger Handhabung noch die ursprüngliche Bandform behalten hat, aber bei der geringsten Erschütterung zu einem staubigen Pulver zerfällt. Dies ist also ein unverkennbar chemischer Vorgang.

Ein anderes Bild bietet uns der gebrannte Kalk, den der Maurer zur Herstellung des Mörtels verwendet. Er wird aus dem natürlichen Kalkstein durch Brennen im Kalkofen erzeugt. Ich habe hier ein Stück solchen Kalksteins. Gieße ich Wasser darauf, so verhält es sich dagegen ganz indifferent, es wird von außen naß, aber eine sonstige Veränderung ist nicht zu bemerken. Verfahre ich ebenso mit dem gebrannten Kalk, so beobachten wir etwas ganz anderes. Zunächst zeigt er eine bedeutende Porosität, er saugt eine beträchtliche Menge Wasser ein und bleibt dabei trocken. Wir fahren damit fort, solange noch Wasser aufgenommen wird und legen dann unser Stück Kalk in eine geräumige Porzellanschale. Nach einiger Zeit bemerken wir das Aufsteigen von Wasserdampf, und eine Berührung mit der Hand läßt uns eine deutliche Erwärmung fühlen. Beide Erscheinungen steigern sich bald, und im weiteren Verlaufe zerfällt das feste Kalkstück zu einem trockenen weißen Pulver, welches einen viel größeren Raum einnimmt und die Schale fast ganz erfüllt. Geben wir noch mehr Wasser hinzu, so erhalten wir einen steifen Brei, und schließlich eine milchähnliche Flüssigkeit — das ist das Löschen des Kalkes, wie man es auf jedem Bau in der Kalkgrube beobachten kann.

Chemische Vorgänge finden aber auch in den lebenden Wesen statt, und zwar in großer Mannigfaltigkeit: so die Bildung von Stärke in den Getreidekörnern, den Hülsenfrüchten, den Kartoffeln, von Zucker in den Rüben und den süß schmeckenden Früchten, die Umwandlung des Viehfutters in Fleisch, Fett, Nerven- und Gehirnschubstanz, in Milch und vieles andere. Das Studium solcher Vorgänge ist von der größten Wichtigkeit für die Erkenntnis der Lebensprozesse.

Chemische Prozesse haben auch vielseitigste praktische Anwendungen. Ein Beispiel dafür ist schon das Brennen und

Löschen des Kalkes. Weiter führe ich an die Gewinnung der Metalle aus ihren Erzen. Wir haben hier mehrere solche Erze: Brauneisenstein, der aussieht wie Rost und auch wirklich nichts anderes ist als natürlicher Rost, ferner Zinkblende, Bleiglanz, Kupferkies. Die beiden letztgenannten haben zwar äußerlich das Ansehen von Metallen, aber nicht deren wertvolle Eigenschaften: sie sind spröde, zerspringen unter dem Hammer und lassen sich daher weder zu Draht ziehen noch zu Blech walzen; die beiden ersten aber lassen auch nach ihrem Ansehen nicht vermuten, daß sie Metalle enthalten. Aus den Erzen müssen die Metalle erst durch chemische Operationen abgeschieden werden. Andere Beispiele praktischer Verwertung chemischer Vorgänge sind die Herstellung und Erhärtung von gewöhnlichem Mörtel und von Zement, die Erzeugung von Brot aus Mehl und von Käse aus Milch, die Weinbereitung, Bierbrauerei, die Seifen- und Glasfabrikation, die Darstellung von Leuchtgas, die Färberei und zahllose andere Gewerbe.

Wie kommen wir nun zu näherem Verständnis solcher Vorgänge? Man möchte vielleicht meinen, daß sorgfältige Beobachtung zum Ziele führen müßte, aber die Erfahrung zeigt, daß diese allein nicht genügt. Oft sind die Vorgänge, die sich von selbst der Beobachtung bieten, zu kompliziert und von Nebenerscheinungen begleitet, von denen sie nicht getrennt werden können; und dann fehlt es meist an einer genauen Kenntnis der Umstände, die ihren Verlauf bedingen. Um diesen Schwierigkeiten zu begegnen, gibt es nur ein Mittel: wir müssen solche Vorgänge selbst herbeiführen unter ganz bestimmten, genau bekannten Bedingungen und ihre Abhängigkeit von diesen beobachten. Solches Beginnen nennt man Versuch oder Experiment; die Chemie ist — ebenso wie die Physik — eine experimentelle Wissenschaft.

Wir müssen also Versuche anstellen, wobei wir von möglichst einfachen und leicht übersehbaren Vorgängen ausgehen wollen. Ich habe hier ein gelbes Pulver, welches nichts anderes ist, als der bekannte Schwefel. Dieses mische ich mit Kupferfeilspänen. Die Mischung läßt aus der Entfernung die einzelnen Bestandteile nicht erkennen; in der Nähe, nötigenfalls unter Benutzung einer Lupe sieht man aber die gelben Schwefelteilchen und die metallisch glänzenden Kupferspäne nebeneinander liegen.

Um das auch meinen Zuhörern sichtbar zu machen, bringe ich die eine Hälfte der Mischung in einen Stöpselzylinder, gieße Wasser darauf und schüttele kräftig um. Nach einigen Sekunden sehen wir dann die schweren Kupferspäne auf dem Boden des Zylinders, während das leichtere Schwefelpulver im Wasser langsamer niedersinkt und sich daher oberhalb des Kupfers ablagert. Durch diese einfache Operation habe ich also die Mischung wieder in ihre beiden Bestandteile zerlegt. — Nun bringe ich die andere Hälfte der Mischung in eine einseitig geschlossene Glasröhre — die Chemiker nennen sie ein Reagenzrohr — und erhitze sie in der Bunsenflamme. Zuerst schmilzt der Schwefel; beim weiteren Erhitzen aber sehen wir im Innern der Röhre ein lebhaftes Erglühen. Entferne ich nun die Röhre schnell aus der Flamme, so hält dieses Erglühen noch einige Augenblicke an. Nach dem Verlöschen aber zeigt der Inhalt der Röhre ein ganz verändertes Ansehen: er stellt jetzt eine grauschwarze Masse dar, und da ich absichtlich etwas reichlich Schwefel genommen habe, so erblicken wir an dem oberen kalten Teil der Röhre einen deutlichen Ansatz von diesem Stoff. Ich zerschlage nun die Röhre und erhalte ihren Inhalt als eine graue, kompakte, ziemlich fest zusammenbackende Masse, die sich in einer Reibschale nur mit einiger Anstrengung zerpulvern läßt. Bringe ich nun das Pulver in einen zweiten Stöpselzylinder und schüttele wieder mit Wasser, so beobachten wir keine Trennung in die ursprünglichen Bestandteile mehr, sondern das graue Pulver setzt sich ganz einheitlich zu Boden.

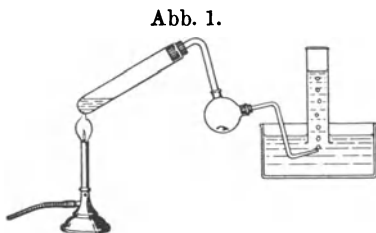
Das ist ein Versuch unter einfachen Bedingungen, aus dem wir nun unsere Folgerungen ziehen wollen. Die Mischung von Schwefel und Kupfer hat sich durch Erwärmen in einen neuen Körper mit ganz anderen Eigenschaften verwandelt. Nach seiner Entstehung muß er Schwefel und Kupfer enthalten, aber er ist etwas ganz anderes als die Mischung beider Stoffe. Diese haben sich offenbar viel inniger miteinander verbunden als bei der bloßen Mischung. Die Vereinigung erfolgte auf chemischem Wege, und das Produkt ist eine chemische Verbindung von Schwefel und Kupfer. Die Chemiker nennen demgemäß den neuen Stoff Schwefelkupfer; der Vorgang seiner Bildung ist ein chemischer Verbindungsprozeß.

Wir haben aber noch einige Nebenerscheinungen beobachtet. Zunächst das Auftreten von etwas Schwefel im kalten Teile der

Röhre. Also wir können Schwefel und Kupfer wohl in beliebigen Mengenverhältnissen miteinander mischen, nicht aber ebenso sie chemisch verbinden. Haben wir einen Überschuß von Schwefel angewandt, so entzieht sich dieser der Verbindung mit dem Kupfer. Das ist eine wichtige Erfahrung, auf die ich später zurückkommen werde. — Ferner fanden wir, daß sich Schwefel und Kupfer bei gewöhnlicher Temperatur ganz passiv gegeneinander verhalten. Erwärmen wir aber, so erfolgt plötzlich Reaktion, wie die Chemiker sagen, unter Bildung von Schwefelkupfer, und diese Reaktion ist dann ihrerseits von einer lebhaften Wärmeentwicklung begleitet, welche das Erglühen im Innern der Röhre zur Folge hatte. So sehen wir eine doppelte Beziehung zwischen einem chemischen Prozeß und den ihn begleitenden Wärmeerscheinungen: er wird einerseits durch Zufuhr von Wärme eingeleitet, einmal in Gang gebracht, wird er seinerseits eine Quelle von Wärme. Solchen Beziehungen werden wir in der Folge noch oft begegnen. — Endlich zeigt uns unser Versuch noch einen wesentlichen Unterschied zwischen einer chemischen Verbindung und einer bloß mechanischen Mischung. Diese kann man in beliebigen Mengenverhältnissen herstellen und ihre Eigenschaften lassen die Eigenschaften ihrer Bestandteile noch deutlich erkennen; eine chemische Verbindung dagegen läßt sich nur in bestimmten Mengenverhältnissen der Bestandteile zusammensetzen, und ihre Eigenschaften sind von denen der Bestandteile ganz verschieden.

Wir wollen jetzt einen anderen Versuch anstellen. Ich habe hier ein rotes Pulver. Seine Betrachtung mit bloßem Auge oder mit der Lupe zeigt, daß es aus lauter gleichartigen Teilchen besteht, und auch das Mikroskop würde uns nichts Verschiedenartiges darin erkennen lassen. Nun bringe ich etwas von diesem Pulver in ein Reagenzglas und erwärme es einige Augenblicke. Infolgedessen färbt es sich dunkler, fast schwarz. Nehme ich es aber aus der Flamme, so nimmt es nach dem Erkalten wieder die ursprüngliche Farbe an. Die Veränderung war also eine vorübergehende Folge der Temperaturerhöhung, der Vorgang ein rein physikalischer. Bringe ich nun aber das Rohr wieder in die Flamme und setze die Erwärmung länger fort, so bemerken wir bald etwas anderes: an dem kalten Teile der Röhre zeigt sich ein spiegelnder Beschlag und einige metallische Tröpfchen, die

wir als Quecksilber erkennen. Und wenn wir jetzt ein ebenglimmendes Holzspänchen in das Rohr tauchen, so entzündet es sich und brennt mit helleuchtender Flamme. Da diese Erscheinung in gewöhnlicher Luft nicht stattfindet, so muß durch die Erhitzung des roten Pulvers ein anderes luftartiges Etwas in die Röhre gekommen sein. Um der Sache besser auf den Grund zu kommen, wenden wir nun die hier aufgestellte Vorrichtung an (Abb. 1). Die Röhre, welche das rote Pulver enthält, ist mittels eines durchbohrten Korkes verschlossen, durch dessen Bohrung ein kurzes rechtwinklig gebogenes, an beiden Seiten offenes Glasrohr gesteckt ist. Dieses mündet in eine Glaskugel, welche noch ein zweites Rohr trägt, das in eine mit Wasser gefüllte Wanne taucht. Erwärme ich nun das rote Pulver, so zeigen sich zu-



nächst die schon im offenen Rohr beobachteten Erscheinungen, zugleich bemerken wir aber im Wasser der Wanne das Austreten von Luftblasen. Dies ist anfangs wieder nur eine Folge der Erwärmung, denn durch Temperaturerhöhung dehnen sich im allgemeinen die Körper aus; so auch die in der Röhre enthaltene Luft, welche daher einen Ausweg sucht und ihn durch das Wasser findet. Setze ich aber das Erwärmen fort, so folgen sich die Luftblasen immer schneller, und wir überzeugen uns, daß es nun keine gewöhnliche Luft mehr ist, welche aus dem Apparat entweicht. Ich stülpe einen mit Wasser gefüllten Zylinder, den ich in der Wanne mit der Öffnung nach unten umgekehrt habe, über die Mündung der unter Wasser tauchenden Röhre. Die aufsteigenden Luftblasen verdrängen das in dem Zylinder enthaltene Wasser, es fließt in die Wanne, und der Zylinder füllt sich allmählich mit der fraglichen Luftart. Entferne ich während dieses Vorgangs die Flamme, so verlangsamt sich das Aufsteigen der Blasen, es hört schließlich auf und kann nur durch erneutes Erhitzen wieder in Gang gebracht werden. Die in dem Zylinder aufgefangene Luftart ist äußerlich von gewöhnlicher Luft nicht zu unterscheiden. Sie ist wie diese farblos, geruchlos und geschmacklos, aber wenn ich einen glimmenden Span eintauche, so entzündet er sich ebenso wie bei dem früheren Versuch. Diese

Luftart nennt man aus Gründen, die wir später kennenlernen werden, Sauerstoff oder Oxygenium. Setzen wir den Versuch fort, so können wir eine ganze Anzahl von solchen Zylindern mit Sauerstoff füllen; zugleich aber wird das rote Pulver immer weniger und verschwindet schließlich ganz. Damit findet auch die Sauerstoffentwicklung ihr Ende. Inzwischen haben sich die Quecksilbertropfen vermehrt, sie haben sich zu größeren Tropfen vereinigt, welche schließlich in die vorgelegte Glaskugel gefallen sind.

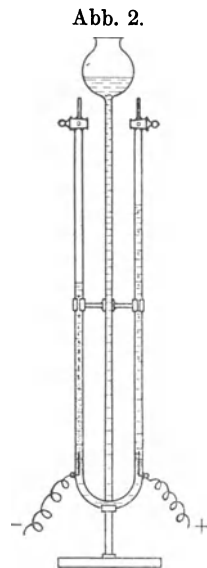
Was werden wir nun aus diesem Versuche schließen? In seinem Verlaufe ist das einheitliche rote Pulver verschwunden und an seiner Stelle erhielten wir das flüssige metallische Quecksilber und den luftförmigen Sauerstoff. Da von außen nichts hinzugekommen ist, so müssen diese beiden Stoffe in dem roten Pulver vorhanden gewesen sein. Dieses ist offenbar eine chemische Verbindung von Quecksilber und Sauerstoff, und man hat ihm daher den Namen Quecksilberoxyd beigelegt (gebildet aus Quecksilber und Oxygenium). Auch in diesem Falle sind die Eigenschaften der Verbindung grundverschieden von denen ihrer Bestandteile: ein größerer Unterschied, wie der zwischen dem pulverigen roten Quecksilberoxyd einerseits, dem metallischen Quecksilber und dem luftförmigen Sauerstoff andererseits ist gewiß kaum denkbar. Im übrigen aber steht der eben beobachtete Vorgang zu der Bildung des Schwefelkupfers in einem unverkennbaren Gegensatze: durch ihn zerfällt das Quecksilberoxyd in seine beiden Bestandteile, das ist also kein Verbindungsprozeß, sondern ein chemischer Zersetzungsprozeß. Auch bei ihm spielt die Wärme eine wesentliche Rolle, aber eine ganz andere als bei der Verbindung von Schwefel und Kupfer. Freilich wie diese, so mußten wir auch die Zerlegung des Quecksilberoxyds durch Temperaturerhöhung in Gang bringen; aber während im ersten Falle der Vorgang dann unter Wärmeentwicklung von selbst weiter geht, wird der Zerfall des Quecksilberoxyds durch Entfernung der Wärmequelle unterbrochen, er bedarf zu seiner Fortsetzung einer dauernden Zufuhr von Wärme. Nicht unter Entwicklung von Wärme vollzieht er sich, sondern unter Verbrauch von Wärme.

Was wir hier über die Beziehungen von chemischen Prozessen und Wärmeerscheinungen erfahren haben, bestätigt sich in zahllosen Fällen: meist erfolgen Verbindungsprozesse unter Wärme-

entwicklung, Zersetzungsprozesse unter Wärmeverbrauch. Zuweilen aber ist der Verlauf auch ein anderer. Und dann können an die Stelle der Wärme auch andere Energieformen treten, wie Elektrizität oder Licht; wir werden sehr bald einen solchen Fall kennenlernen.

Und noch etwas Weiteres lehrt uns der Zerfall des Quecksilberoxyds. Die kleine Menge der Verbindung lieferte uns mehrere Zylinder Sauerstoff, es wäre ein Leichtes, davon ein oder mehrere Liter zu erhalten. Das kommt daher, daß die Dichte des luftförmigen Sauerstoffs im Vergleich mit der des Quecksilberoxyds eine sehr geringe ist, er nimmt deshalb einen viel größeren Raum ein, als das Quecksilberoxyd, aus dem wir ihn abgeschieden haben. Diese geringe Dichte im Vergleich mit derjenigen fester und flüssiger Körper ist eine ganz allgemeine Eigenschaft der Luftarten oder Gase, wie auch der Dämpfe. Während 1 kg Wasser den Raum von 1 Liter einnimmt, erfüllt 1 kg gewöhnliche Luft bei der normalen Temperatur von 0° und dem gewöhnlichen Atmosphärendruck nicht weniger als 773 Liter, und 1 Liter flüssiges Wasser gibt bei der Verdampfung ungefähr 1700 Liter Wasserdampf.

Wie ich schon flüchtig erwähnte, ist Wärme nicht die einzige Energieform, durch welche chemische Prozesse eingeleitet und nötigenfalls unterhalten werden können. Der folgende Versuch wird uns dafür ein Beispiel geben. Der Apparat, den wir dazu benutzen wollen, besteht aus drei miteinander kommunizierenden Röhren; zwei davon sind oben durch einen Glashahn verschlossen, die dritte, engere, mündet in ein kugelförmiges, oben offenes Glasgefäß (Abb. 2). In die beiden Hahnröhren sind Platindrähte eingeschmolzen, an deren jeden noch ein Platinblech angelötet ist. Sie dienen dazu, einen elektrischen Strom durch den Apparat zu leiten. Dieser ist mit Wasser derartig beschickt, daß die beiden Hahnröhren ganz damit gefüllt sind, die dritte Röhre mit dem kugelförmigen Gefäß aber leer bleibt. Da reines Wasser den Strom nur sehr wenig leitet, oder, was dasselbe ist, seinem Durch-



gang einen sehr großen Widerstand entgegensetzt, so habe ich etwas Schwefelsäure hinzugefügt, wodurch der Widerstand vermindert wird. Verbinde ich einen jeden der beiden Platindrähte mit dem einen Pol einer galvanischen Batterie, wie sie beispielsweise zum Betrieb unserer elektrischen Glocken dienen, so bemerken wir an beiden Platinblechen das Auftreten von Gasblasen, welche schnell größer werden und in den beiden Hahnröhren aufsteigen. Unterbreche ich den Strom, indem ich die Verbindung des einen Platindrahtes mit der Batterie löse, so hört die Gasentwicklung an beiden Blechen sogleich auf und kommt erst wieder in Gang, wenn ich den Strom wieder schließe. Bei längerer Fortsetzung des Versuchs füllen sich die Hahnröhren immer mehr mit Gas; dieses verdrängt allmählich das Wasser aus ihnen, welches seinen Ausweg durch die dritte Röhre in die offene Glaskugel findet. Bald aber machen wir noch eine andere Beobachtung. Es zeigt sich nämlich, daß der Raum des entwickelten Gases in den beiden Röhren keineswegs gleich groß ist; er ist in der mit dem negativen Pol der Batterie verbundenen Röhre doppelt so groß, wie in der mit dem positiven Pol verbundenen. Ich setze nun den Versuch so lange fort, bis die eine der beiden Röhren nahezu ganz, die andere halb mit Gas gefüllt ist, worauf wir uns überzeugen werden, daß das Gas in der letzteren nichts anderes ist als der uns schon bekannte Sauerstoff. Öffne ich den Hahn dieser Röhre, so strömt unter dem Druck des in der Glaskugel enthaltenen Wassers das Gas aus und entzündet einen darüber gehaltenen glimmenden Holzspan. Mache ich denselben Versuch an der anderen Röhre, so wird der glimmende Span nicht entzündet; bringe ich aber an seine Stelle ein brennendes Hölzchen, so entzündet sich das ausströmende Gas mit einem schwachen, aber deutlich hörbaren Knall und verbrennt mit einer freilich nur schwach leuchtenden und daher nur bei scharfem Aufmerken sichtbaren Flamme. Dieses Gas ist also etwas Neues, es ist weder Sauerstoff noch gewöhnliche Luft. Da es aus dem Wasser stammt, hat man ihm den Namen Wasserstoff oder Hydrogenium (aus dem griechischen Hydor, Wasser) gegeben.

Dieser Versuch bringt uns einen Einblick in die Natur des Wassers. Er zeigt uns, daß es eine chemische Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff ist, so wie Quecksilberoxyd eine Ver-

bindung von Quecksilber und Sauerstoff. Freilich dürfen wir noch nicht schließen, daß Wasserstoff und Sauerstoff auch die einzigen Bestandteile des Wassers sind; denn von diesem wurde, anders als bei der Zerlegung des Quecksilberoxyds, nur ein kleiner Teil zersetzt, während sich der größte Teil in der Glaskugel ansammelte, und dieser könnte möglicherweise noch einen oder mehrere Stoffe aus dem Wasser zurückhalten. Wir werden uns aber später überzeugen, daß es nicht so ist, indem es gelingen wird, Wasserstoff und Sauerstoff durch Verbrennung zu Wasser zu vereinigen.

Der Versuch zeigt uns ferner, daß eine chemische Verbindung unter Umständen durch den elektrischen Strom zersetzt werden kann, und daß auch in diesem Falle, wie bei der Zerlegung des Quecksilberoxyds durch Wärme, eine dauernde Zufuhr von Energie erforderlich ist, um ihn in Gang zu halten. Solche elektrische Zersetzung einer chemischen Verbindung bezeichnet man wohl auch als einen elektrolytischen Vorgang, oder kürzer als Elektrolyse.

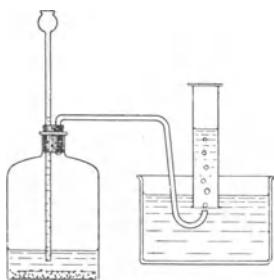
Endlich verweise ich noch einmal auf das Raumverhältnis der beiden Gase. Der Rauminhalt des entwickelten Sauerstoffs verhält sich zu dem des Wasserstoffs wie 1:2. Das ist nicht etwa ein Zufall, so oft der Versuch wiederholt wird, findet sich immer dasselbe Verhältnis. Es verrät sich hierin ein wichtiges Naturgesetz, auf das ich später näher eingehen werde; wir erkennen aber schon jetzt den Zusammenhang mit der bei der Vereinigung von Schwefel und Kupfer gemachten Beobachtung, welche uns zeigte, daß eine chemische Verbindung, im Gegensatz zu einer mechanischen Mischung, ihre Bestandteile stets in einem ganz bestimmten unveränderlichen Mengenverhältnis enthält. So besteht Wasser immer und ausnahmslos aus 1 Raumteil Sauerstoff und 2 Raumteilen Wasserstoff.

Wir haben den Sauerstoff bisher auf zwei Wegen erhalten: durch Erhitzen des Quecksilberoxyds und durch Elektrolyse des Wassers. Ein anderes Mittel dazu bietet uns das chlorsaure Kalium, ein Stoff, welcher früher vielfach zum Gurgeln bei leichten Halsentzündungen benutzt wurde, jetzt wohl weniger, da er nicht ganz ungiftig ist. Mit diesem Körper werden wir später noch zu tun haben. Für den Augenblick genügt es zu wissen, daß er eine Sauerstoffverbindung ist, welche beim Erhitzen den Sauerstoff abgibt. Ich bringe eine Probe davon in ein Reagenzglas und

erhitze es. Das weiße Pulver schmilzt zunächst zu einer farblosen durchsichtigen Flüssigkeit, bei stärkerem Erhitzen aber fängt es an zu schäumen, und wenn ich nun einen glimmenden Holzspan in die Röhre tauche, so entzündet er sich und verbrennt mit glänzendem Lichte, wie wir es am Sauerstoff kennengelernt haben. Die Erfahrung hat gezeigt, daß die Zersetzung des chloresauren Kaliums noch leichter erfolgt, wenn man es mit gepulvertem Braunstein mischt, einem Mineral, das uns auch noch später begegnen wird, das übrigens sonderbarerweise dabei ganz unverändert bleibt. Da nun chloresaures Kalium viel wohlfeiler ist als Quecksilberoxyd, so hat man sich in den chemischen Laboratorien mit Vorliebe dieses Verfahrens zur Darstellung des Sauerstoffs bedient.

Den Wasserstoff erhielten wir durch Elektrolyse des Wassers, aber für die Darstellung größerer Mengen des Gases im Laboratorium ist dieser Vorgang ebensowenig geeignet, wie für die Darstellung des Sauerstoffs. Viel bequemer führt dazu ein anderer Weg. In dieser Flasche habe ich etwas Zink. Sie ist durch einen doppelt durchbohrten Kork verschlossen, welcher in seinen Bohrungen ein Trichterrohr, das fast bis auf den Boden der Flasche reicht, und ein zweimal rechtwinklig gebogenes Rohr trägt (Abb. 3). Ich gieße nun durch den Trichter mit Wasser

Abb. 3.



verdünnte Schwefelsäure, das ist eine chemische Verbindung von Schwefel, Sauerstoff und Wasserstoff. Sie hat einen sehr stark sauren Geschmack, ihre sonstigen Eigenschaften werden wir später kennenlernen. Sobald sie mit dem Zink in Berührung kommt, erfolgt ein lebhaftes Aufbrausen, es entwickelt sich ein Gas, das wir in ähnlicher Weise über Wasser auffangen können, wie den aus Quecksilberoxyd entwickelten Sauerstoff. Wie dieser ist es farblos, geruch- und geschmacklos. Aber es unterhält die Verbrennung nicht, dagegen verbrennt es selbst mit einer kaum leuchtenden Flamme, wie wir es an dem durch Elektrolyse des Wassers erhaltenen Wasserstoff erfahren haben. Setze ich den Versuch länger fort und habe ich genug Schwefelsäure in die Flasche gebracht, so löst sich das Zink allmählich auf; dabei geht es eine Verbindung mit der Schwefelsäure ein, welche aus

Zink, Schwefel und Sauerstoff besteht und den Namen schwefelsaures Zink erhalten hat. Das Zink verdrängt also den in der Schwefelsäure enthaltenen Wasserstoff und tritt an seine Stelle. — Neben dem Verbindungs- und Zersetzungsprozeß lernen wir somit eine dritte Art eines chemischen Vorgangs kennen, den wir als chemischen Vertretungsprozeß bezeichnen können. Auf seinen näheren Verlauf kann ich erst später eingehen.

Ich habe nun hier noch einen Apparat, in dem man gleichfalls mittels Zink und Schwefelsäure Wasserstoff entwickeln kann, aber so, daß sich der Gasstrom nach Belieben in Gang bringen oder unterbrechen und auch regeln läßt, wozu ein einfacher Glashahn dient (s. Abb. 4, S. 19). Solch ein sogenannter Kippscher Apparat ist für die Entwicklung auch anderer Gase sehr bequem, weshalb er sich in den chemischen Laboratorien großer Beliebtheit erfreut. Mit seiner Hilfe wollen wir jetzt noch einige weitere Eigenschaften des Wasserstoffs kennenlernen. Die auffallendste, außer seiner Brennbarkeit, ist wohl seine geringe Dichte oder sein geringes spezifisches Gewicht. 1 Liter Wasserstoff wiegt nur ungefähr so viel, wie $\frac{1}{14}$ Liter Luft. Wir haben auf jeder Seite dieser Wage einen weiten Glaszylinder mit der Öffnung nach unten, welche durch kleine Gewichte ins Gleichgewicht gesetzt sind, so daß der Zeiger der Wage auf Null steht. Beide Zylinder sind jetzt mit Luft gefüllt. Leite ich nun aus dem Kippschen Apparat in den einen Zylinder von unten Wasserstoff, so verdrängt dieser die darin enthaltene Luft, und nach wenigen Augenblicken steigt der Wagebalken auf dieser Seite und sinkt auf der anderen. — Nun verbinde ich mit dem Kippschen Apparat mittels eines Gummischlauches eine Tonpfeife und tauche sie in eine Seifenlösung. Mit einiger Übung gelingt es dann, bei angemessener Regelung des Wasserstoffstroms, Seifenblasen zu erzeugen. Da diese aber nicht wie die von Kindern geblasenen mit Luft, sondern mit dem 14 mal leichteren Wasserstoff gefüllt sind, so steigen sie als kleine Luftballons an die Zimmerdecke —, wenn sie nicht auf dem Wege dahin zerplatzen. Da haben wir das Grundprinzip der Luftschiffahrt. — Ich fülle nun einen Zylinder mit Wasserstoff und bringe, während ich ihn mit der Öffnung nach unten halte, eine kleine, an einem umgebogenen Drahte befestigte brennende Kerze hinein. Dadurch entzündet sich der Wasserstoff mit dem uns schon bekannten leichten Knall

und wir sehen seine schwach leuchtende Flamme an der Mündung des Zylinders. Die Kerze aber verlöscht; ziehe ich sie sogleich heraus, so entzündet sie sich an dem brennenden Wasserstoff, und das kann ich mehrere Male wiederholen, bis der Wasserstoff ganz verbrannt ist. — Wir sehen: Dieses Gas verhält sich hinsichtlich der Verbrennung gerade umgekehrt wie der Sauerstoff: es ist selbst brennbar, unterhält aber nicht die Verbrennung anderer Körper. — Fülle ich zwei gleiche Zylinder mit Wasserstoff und stelle den einen offen mit der Mündung nach oben auf den Tisch, während ich den anderen gleichfalls offen mit der Mündung nach unten in eine Klammer spanne, so werden wir uns mittels der brennenden Kerze überzeugen, daß nach wenigen Augenblicken der erste der Zylinder keine Spur von Wasserstoff mehr enthält, sondern nur gewöhnliche Luft; im anderen aber hält sich der Wasserstoff ziemlich lange.

Die Dichte der Gase kann man auf verschiedene Weise zum Ausdruck bringen, z. B. durch Angabe des Gewichts von einem Liter. Da aber, wie erwähnt, diese Eigenschaft der Gase von der Temperatur abhängt, und auch der Druck, unter dem sie stehen, einen wesentlichen Einfluß ausübt, so haben solche Angaben nur einen Sinn, wenn sie sich auf eine bestimmte Temperatur und einen bestimmten Druck beziehen. Man ist überein gekommen, dafür die Temperatur von 0° und den Druck von einer Atmosphäre zugrunde zu legen. Unter diesen Umständen wiegt 1 Liter Luft 1,293 g, 1 Liter Sauerstoff 1,429 g, 1 Liter Wasserstoff 0,0899 g.

Sauerstoff und Wasserstoff haben wichtige technische Anwendungen gefunden, der Sauerstoff wegen der energischen Unterhaltung der Verbrennungsvorgänge, Wasserstoff wegen seiner Brennbarkeit und geringen Dichte, neuerdings auch noch aus anderen Gründen. Beide Gase werden deshalb jetzt fabrikmäßig dargestellt, wofür man im Laufe der Zeit verschiedene Methoden ausgearbeitet hat. Eine davon ist die Elektrolyse des Wassers. Sie ist wirtschaftlich durchführbar geworden, da die Technik durch das von unserem Landsmann Werner Siemens entdeckte elektrodynamische Prinzip in den Stand gesetzt wurde, den elektrischen Strom viel wohlfeiler zu erzeugen als mittels der galvanischen Elemente. Eine oder die andere der übrigen Methoden werden wir auch noch kennenlernen. — Für den Gebrauch

werden die Gase unter einem Druck von 100 Atmosphären in Stahlzylinder — „Bomben“ — gepreßt, welche mit einem Druckmesser und einem Reduktionsventil versehen sind. Ersterer, auch Manometer genannt, läßt uns erkennen, wieviel des Gases noch in der Bombe enthalten ist. Zeigt es z. B. einen Druck von 50 Atmosphären an, so ist die Hälfte der ursprünglichen Füllung verbraucht. Das Reduktionsventil dient dazu, den starken Druck, der für die meisten Verwendungen ungeeignet wäre, auf einen mäßigen Grad herabzusetzen. — Wir haben hier eine Sauerstoff- und eine Wasserstoffbombe und überzeugen uns durch Auffangen eines Zylinders aus jeder, daß sie uns die bekannten Gase liefern.

Verbrennungsprozesse. Chemische Elemente.

Die außerordentliche Fähigkeit des Sauerstoffs, die Verbrennung zu unterhalten, haben wir bisher nur an einem Holzspan beobachtet. Aber es gibt ja noch viele brennbare Stoffe, und wir fragen uns mit Recht, wie diese sich zum Sauerstoff verhalten werden. Ich bringe einige Stückchen Schwefel in einen kleinen eisernen, an einem Draht befestigten Löffel, und dann diesen in die Flamme meines Bunsenbrenners. Dabei schmilzt der Schwefel, bei stärkerem Erhitzen aber entzündet er sich und brennt mit der bekannten zart blauen Flamme unter gleichzeitiger Verbreitung eines stechenden Geruchs. Nun tauche ich den Löffel mit dem brennenden Schwefel in eine geräumige, mit Luft gefüllte Flasche, deren Boden 1 bis 2 cm hoch mit Wasser bedeckt ist, und lasse ihn darin, bis der Schwefel verlöscht. Darauf verschließe ich die Flasche mit einem Stöpsel und schüttele ihren Inhalt mit dem am Boden befindlichen Wasser kräftig durch, worauf ich sie für den Augenblick sich selbst überlasse. — Jetzt wiederhole ich denselben Versuch, mit dem Unterschied, daß ich den brennenden Schwefel diesmal in eine mit Sauerstoff und etwas Wasser beschickte Flasche bringe. Die Erscheinungen sind ganz dieselben, nur geht die Verbrennung im Sauerstoff viel lebhafter mit einer schön und stark leuchtenden blauen Flamme vor sich. Beim Öffnen der Flaschen durch Herausziehen der Stöpsel fühle ich einen merklichen Widerstand, ein Zeichen, daß in den Flaschen ein geringerer Druck herrscht als der äußere Luftdruck. Beide enthalten ein farbloses Gas, welches den Geruch des brennenden Schwefels besitzt. Dieses Gas hat sich aber teilweise im Wasser aufgelöst, was die Druckverminderung in den Flaschen zur Folge hatte. Dadurch hat das Wasser auch den stechenden Geruch angenommen und außerdem einen sauren Geschmack. Dann aber zeigt es noch ein auffallendes Verhalten, das ich Ihnen auch aus der Entfernung sichtbar machen kann. Ich habe hier eine blaue

Flüssigkeit. Sie enthält, in Wasser gelöst, einen blauen Farbstoff, der aus gewissen Flechtenarten dargestellt wird und den Namen Lackmus erhalten hat. Gieße ich von dieser blauen Lackmuslösung ein wenig in jede der beiden Flaschen, so färbt sich das Wasser nicht blau, wie man erwarten sollte, sondern lebhaft rot.

Wir stellen also folgendes fest: Beim Verbrennen des Schwefels bildet sich ein stechend riechendes Gas, welches in Wasser löslich ist und dem Wasser einen sauren Geschmack erteilt, sowie die Eigenschaft, blaue Lackmuslösung rot zu färben. Da dieses Gas bei der Verbrennung des Schwefels in Sauerstoff entsteht, so kann es nur eine Verbindung von Schwefel und Sauerstoff sein. Wenn wir nun dasselbe Gas auch bei der Verbrennung von Schwefel in gewöhnlicher Luft erhalten, so muß offenbar auch in dieser Sauerstoff enthalten sein. Daß die Verbrennung in ihr weniger lebhaft ist als im Sauerstoff, führt fast zwingend zu dem Schluß: die Wirkung des Sauerstoffs wird in der Luft durch die Anwesenheit eines anderen Gases abgeschwächt, welches an der Verbrennung keinen Teil hat.

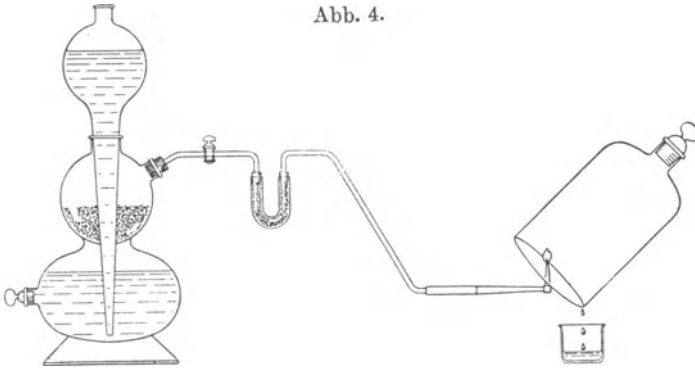
Wir wollen jetzt das Verhalten eines anderen brennbaren Körpers gegen Luft und Sauerstoff kennenlernen: Phosphor. Dieser Körper ist noch viel leichter brennbar als Schwefel, schon durch die geringste Reibung und die dadurch hervorgerufene Erwärmung entzündet er sich an der Luft, weshalb man ihn unter Wasser aufbewahrt. Ich entnehme dieser Flasche einige Stückchen Phosphor und trockne sie mit Fließpapier ab. Dabei muß ich sehr vorsichtig sein und möglichst jede Reibung vermeiden, damit er sich nicht zwischen meinen Fingern entzündet: Phosphorbrandwunden sind außerordentlich schmerzhaft und heilen sehr langsam. Den abgetrockneten Phosphor bringe ich in ein eisernes Löffelchen, wie ich es für die Verbrennung des Schwefels benutzt habe und entzünde ihn in diesem durch Berühren mit einem heißen Draht. Er brennt sogleich mit einer gelblichweißen Flamme, und ich tauche ihn, ebenso wie vorher den Schwefel, in eine Luft und ein wenig Wasser enthaltende Flasche. Auch in diesem Falle wiederhole ich die Verbrennung in reinem Sauerstoff. Wie zu erwarten, ist sie viel lebhafter als in der Luft: die Lichtentwicklung ist so stark, daß unsere Augen geblendet werden und den Glanz kaum ertragen können. — Wie steht es nun aber mit dem Verbrennungsprodukt? Diesmal ist es kein Gas, sondern

es bilden sich weiße Wolken eines festen schneeähnlichen Stoffes, der sich beim Schütteln der Flaschen im Wasser auflöst. Dieses nimmt dadurch keinen Geruch an, wohl aber, wie beim Verbrennen des Schwefels, sauren Geschmack und die Fähigkeit, blaue Lackmuslösung rot zu färben. Abgesehen von der verschiedenen Lebhaftigkeit des Vorganges ist der Erfolg in der Luft und im Sauerstoff wieder derselbe: in beiden Fällen verbindet sich der Phosphor mit Sauerstoff, und das Produkt ist jener weiße schneeartige Körper.

Hier habe ich ein Stück von einer Uhrfeder. Sie wurde ausgeglüht, um den harten Stahl weich zu machen, und dann gestreckt. An ihrem Ende habe ich ein Stückchen Feuerschwamm befestigt, das ich in einer Flamme zum Glimmen bringe; darauf tauche ich die Feder in eine mit Sauerstoff gefüllte Flasche, deren Boden wieder mit Wasser bedeckt ist. Der Feuerschwamm brennt darin mit lebhafter Flamme, und an dieser entzündet sich nun die eiserne Feder. Sie brennt aber, abweichend von den bisher beobachteten Verbrennungen, nicht mit Flamme, sondern mit lebhaftem, hell leuchtendem Funkensprühen. Dabei fallen mehrfach geschmolzene Tropfen von ihr ab, die im Wasser als kleine Kugeln erstarren, und bald ist die Feder verschwunden. Auch dieser Vorgang kann nur in einer Verbindung des brennenden Körpers mit Sauerstoff bestehen; das Produkt sind die abgeschmolzenen Kugeln, welche also eine Verbindung von Eisen und Sauerstoff darstellen. Es ist, im Gegensatz zu den Verbrennungsprodukten des Schwefels und Phosphors, in Wasser nicht löslich. — Den letzten Versuch kann ich nun nicht, wie die beiden früheren, auch in gewöhnlicher Luft ausführen, da die Verbrennung der Stahlfeder in dieser nur sehr langsam und ohne sichtbare Glüherscheinung vor sich gehen würde. Dagegen können wir uns auf andere Weise überzeugen, daß Eisen auch in der Luft verbrennt. An dieser Wage habe ich einen hufeisenförmigen Magnet ohne den dazu gehörigen Anker aufgehängt, an dessen Pole ich so viel Eisen in Gestalt eines feinen Pulvers bringe, als an ihnen hängen bleibt. Nun bringe ich die Wage durch Gewichte auf der anderen Seite ins Gleichgewicht und bestreiche dann für einen Augenblick das an den Magnetpolen hängende Eisenpulver mit der Flamme meines Bunsenbrenners. Dadurch kommt das Pulver in ein gelindes aber deutlich sichtbares Glühen,

das nach der Entfernung der Bunsenflamme noch ein Weilchen anhält. Zugleich wird nach einiger Zeit das Gleichgewicht der Wage gestört: sie sinkt auf der Seite des Magnets. Die Gewichtszunahme zeigt uns die Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft während der Verbrennung an. — Übrigens ist die Verbrennung des Eisens nicht an Laboratoriumsversuche gebunden, wir können sie in jeder Schmiede beobachten: der Hammerschlag, der auf dem Amboß des Schmiedes von dem glühenden Eisen abspringt, entsteht durch Vereinigung des Eisens mit dem Sauerstoff der Luft, es ist derselbe Körper, dessen Bildung wir soeben beobachtet haben.

Als ein brennbares Gas haben wir bereits den Wasserstoff kennengelernt. Wir vermuteten, daß das Produkt seiner Ver-



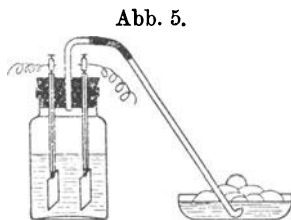
brennung nichts anderes als Wasser sei. Nun wollen wir diese Vermutung an der Erfahrung prüfen. Für diesen Zweck eignet sich besonders der uns schon bekannte Kippische Gasentwicklungsapparat (Abb. 4). Ich verbinde ihn zunächst mit einer Röhre, welche einen Chlorcalcium genannten Stoff enthält. Das tue ich, weil die zur Wasserstoffentwicklung dienende Schwefelsäure Wasser enthält, von dem sich ein Teil dem Wasserstoff als Dampf beimischt. Diesen muß ich entfernen, wenn wir uns überzeugen wollen, daß bei der Verbrennung des Wasserstoffs Wasser gebildet wird, und diesem Zwecke dient das Chlorcalcium: es verbindet sich mit dem Wasserdampf und hält ihn zurück. Der dem Kippischen Apparat feucht entströmende Wasserstoff wird dadurch getrocknet. — An das Chlorcalciumrohr schließe ich nun weiter eine Metallröhre mit einer feinen, nach oben gerichteten

Spitze, ein „Lötrohr“ an. An dieser werde ich den ausströmenden Wasserstoff entzünden. Bevor ich das tue, muß ich aber erst eine Vorsichtsmaßregel anwenden, die von der größten Wichtigkeit für unsere Sicherheit ist. Wird nämlich der Wasserstoffapparat mit Zink und Schwefelsäure frisch beschickt, so enthält er Luft, welche sich dem zuerst entwickelten Wasserstoff beimischt. Diese Mischung aber brennt nicht wie der reine Wasserstoff mit ruhiger Flamme, sondern mit einer mehr oder weniger heftigen Explosion, welche sich in den Apparat hinein fortpflanzen würde und unter Umständen stark genug sein könnte, um ihn zu zertrümmern. Die dadurch fortgeschleuderten Glasscherben und die verspritzte Schwefelsäure könnten dann leichte oder schwere Verletzungen herbeiführen. Ich darf daher das aus dem Apparat entweichende Gas erst anzünden, sobald es die ursprünglich darin enthaltene Luft völlig verdrängt hat. Um mich zu überzeugen, ob das der Fall ist, fange ich zunächst eine Probe des Gases über Wasser oder durch Luftverdrängung in einem mit der Öffnung nach unten gehaltenen Reagenzglase auf und entzünde es an der Flamme eines Bunsenbrenners. Es verbrennt in der uns bekannten Weise mit schwachem Knall und einer kaum sichtbaren Flamme. Ich kann also auch das dem Apparat zu entnehmende Gas gefahrlos entzünden. Vorher möchte ich Ihnen aber zeigen, wie sich ein Luftgehalt des Wasserstoffs zu erkennen gibt. Zu diesem Zwecke fange ich jetzt eine Probe Wasserstoff in einem Reagenzrohr auf, welches nur etwa halb mit Wasser und zur anderen Hälfte mit Luft gefüllt ist. Halte ich nun das Rohr mit der Mündung gegen eine Flamme, so erfolgt die Verbrennung mit einem kurzen pfeifenden Tone, ähnlich dem Bellen eines jungen Hundes. Das ist eine kleine ungefährliche Explosion. Zeigt das auströmende Gas diese Erscheinung, so beweist dies, daß es lufthaltig ist, und es darf durchaus noch nicht an der Ausströmungsöffnung entzündet werden. Wer von Ihnen etwa in die Lage kommt, selbst derartige Versuche anzustellen, den kann ich nicht dringend genug auf diese Prüfung hinweisen, deren Nichtbeachtung schon oft das größte Unheil zur Folge gehabt hat. Selbstverständlich ist sie bei jedem anderen Entwicklungsapparate ebenso nötig, wie bei dem Kippischen Apparat.

Da wir nun wissen, daß unser Wasserstoffgas luftfrei ist, so können wir es unbedenklich entzünden. Wir sehen, es brennt an

der Ausströmungsöffnung mit einer langen, nur schwach leuchtenden Flamme. Wenn in dieser sich manchmal ein kurzes Aufleuchten zeigt, so rührt das von in der Luft schwebenden Staubteilchen her, welche in die Flamme geraten und darin erglühen oder verbrennen. Mittels des an dem Apparat befindlichen Glashahns mäÙige ich nun den Gasstrom so weit, daß wir nur noch eine kleine Flamme von $\frac{1}{2}$ bis 1 cm Höhe erhalten. Über diese stülpe ich eine größere trockene Glasglocke und befestige sie in einer schrägen Stellung. Wir bemerken, daß sie sich im Innern sogleich beschlägt, etwa wie eine Glasscheibe, die wir mit unserer Atemluft anhauchen. Dieser Beschlag ist nichts anderes als Feuchtigkeit. Lassen wir den Versuch länger fortgehen, so bilden sich Tropfen, welche allmählich herabrieseln und in einem darunter gestellten Gläschen oder Schälchen aufgefangen werden können. Sie sind reines Wasser. Da wir schon wissen, daß Verbrennung in der Luft Vereinigung des brennenden Körpers mit dem in der Luft enthaltenen Sauerstoff ist, so haben wir hier die künstliche Bildung von Wasser aus Wasserstoff und Sauerstoff beobachtet. Der Versuch ist das Gegenstück zu der Zerlegung des Wassers durch den elektrischen Strom. Er beweist, daß Wasserstoff und Sauerstoff nicht nur überhaupt Bestandteile des Wassers, sondern weiter, daß sie dessen einzige Bestandteile sind. Wasser ist also eine chemische Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff. — Die Darstellung einer Verbindung aus ihren Bestandteilen bezeichnet man in der Chemie auch als Synthese.

Wir haben den Wasserstoff in Luft verbrannt. Nach unseren bisherigen Erfahrungen müssen wir erwarten, daß seine Verbrennung mit reinem Sauerstoff viel lebhafter sein wird. Das ist nun in der Tat der Fall. In diesem kleinen Apparat (Abb. 5) führe ich die Elektrolyse des Wassers aus, aber insofern abweichend von dem früheren Versuche, daß die entwickelten Gase gemischt entweichen. Das Gemisch leite ich in eine Seifenlösung, an deren Oberfläche sich dadurch Seifenblasen bilden. Sobald davon genug entstanden sind, entferne ich den Apparat und berühre die Blasen mit einem nicht zu kurzen brennenden Span, worauf das in ihnen angesammelte Gas mit einem lauten



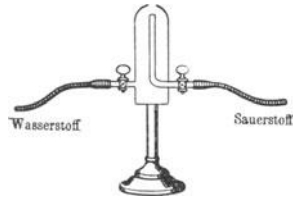
Knall verbrennt. Die Mischung von 1 Raumteil Sauerstoff und 2 Raumteilen Wasserstoff nennt man deshalb Knallgas. Ich brauche wohl kaum davor zu warnen, das aus dem Apparat entweichende Gas nicht etwa zufällig mit einer Flamme in Berührung kommen zu lassen, wodurch der Apparat unfehlbar zertrümmert werden würde. — Hier habe ich einen großen und weiten Zylinder von etwa 4 Liter Inhalt. Ich fülle ihn über Wasser zu $\frac{1}{3}$ mit Sauerstoff und $\frac{2}{3}$ mit Wasserstoff, das ist also Knallgas. Nun stelle ich den mit einer Glasplatte bedeckten Zylinder auf den Tisch, ersetze die Glasplatte durch eine in der Mitte mit einem Loch versehene Pappscheibe und bringe sogleich an diese Öffnung einen an einem langen Stabe befestigten brennenden Wachsstock. Daran entzündet sich das Gasgemisch und verbrennt mit einem kanonenschlagähnlichen Knall. Das war eine gewaltige Explosion, und es wird Sie wundern, daß sie ohne jeden Unfall verlaufen ist. Die Ursache ist, daß aus der weiten Öffnung des Zylinders die durch die Verbrennungswärme stark ausgedehnten Gase nebst dem gebildeten Wasserdampf durch die weite Öffnung des Zylinders schnell entweichen konnten¹⁾. Ganz anders sind die Bedingungen, wenn ich das aus einer engen Öffnung einem Entwicklungsapparat entströmende Gas entzünden würde, während sich im Innern des Apparats noch eine Mischung von Wasserstoff und Luft befindet. Die Flamme würde dann diese Mischung entzünden, die Verbrennungsgase könnten nicht schnell genug entweichen, sie würden sich infolgedessen einen gewaltsamen Ausweg schaffen und den Apparat zertrümmern.

Aus dem Umstande, daß die Wasserstoffflamme nur wenig leuchtet, könnte man geneigt sein, zu schließen, daß sie auch keine besonders hohe Temperatur hat. Dieser Schluß wäre aber ein Fehlschluß, in Wahrheit ist es gerade umgekehrt. Ich habe hier eine kleine Gebläselampe mit zwei Hähnen, deren einen ich mit einer Wasserstoffbombe verbinde, den anderen mit einer Sauerstoffbombe (Abb. 6). Öffne ich den Wasserstoffhahn und

¹⁾ Ich habe den Versuch viele Jahre lang in meiner Vorlesung regelmäßig und mit bestem Erfolg angestellt. Vor kurzem hörte ich aber von anderer Seite, daß er einmal zu einer Zerschmetterung des Zylinders geführt hat. Die Ursache dieses Unfalls ließ sich nachträglich nicht feststellen. Vielleicht hatte der Zylinder schon vorher einen Sprung. Eine Verantwortung für den gefahrlosen Ausfall des Versuches kann ich aber danach nicht übernehmen.

entzünde das ausströmende Gas, so erhalte ich eine gewöhnliche Wasserstoffflamme. Öffne ich nun auch den Sauerstoffhahn, so gelangt der ausströmende Sauerstoff in das Innere der Wasserstoffflamme; diese wird dadurch kleiner und auch ein wenig heller leuchtend, was uns bei einer Verbrennung mit reinem Sauerstoff nicht überraschen kann. Bringe ich ein zu einem dünnen Stäbchen angespitztes Stück Kreide in diese „Knallgasflamme“, so wird es heftig weißglühend. Dieses sogenannte Drummondsche Kalklicht benutzte man früher, als das elektrische Licht noch nicht zur Verfügung stand, zur Beleuchtung von Projektionsapparaten.

Abb. 6.



— Ein Platindraht schmilzt in der Knallgasflamme zu einer Kugel; der Schmelzpunkt des Platins liegt bei 1755°C , das ist bedeutend höher als die Temperatur des Porzellanofens. — Bringe ich einen dicken Eisendraht in die Flamme des Knallgasgebläses, so verbrennt er darin mit heftigem Funkensprühen und Abschmelzen des dadurch gebildeten Eisenoxyds. Hiervon macht man wichtige technische Anwendungen zum autogenen Schweißen und Zerschneiden von eisernen Gegenständen. Ich habe hier ein dickes Eisenblech über zwei Ziegelsteine gelegt und richte meine Knallgasflamme darauf; in wenigen Augenblicken habe ich es in zwei Stücke zerschnitten.

Wir haben eine Anzahl Verbrennungsprozesse betrachtet, sie alle bestehen in der Verbindung des brennenden Körpers mit Sauerstoff. Solche Vorgänge bezeichnet man als Oxydation. Dieser Ausdruck umfaßt aber alle Vereinigungen mit Sauerstoff, ohne Rücksicht darauf, ob sie unter Licht und Wärmeentwicklung stattfinden, ob sie schnell oder langsam vor sich gehen. So ist beispielsweise das Rosten des Eisens ein langsam verlaufender Oxydationsprozeß. — Alle diese Vorgänge beruhen auf der mehr oder weniger großen Neigung der betreffenden Körper, sich mit Sauerstoff zu verbinden. Solches Verbindungsbestreben bezeichnet man als chemische Verwandtschaft. So spricht man von der chemischen Verwandtschaft des Schwefels, des Phosphors, Eisens, Wasserstoffs zum Sauerstoff. Ebenso beruht die Bildung des Schwefelkupfers, wie wir sie beobachtet haben, auf der chemischen

Verwandtschaft von Schwefel und Kupfer. — Der Oxydation entgegengesetzt ist die Reduktion, das ist die Entziehung von Sauerstoff. In diesem Sinne sind die Zerlegung des Quecksilberoxyds durch Wärme und die Elektrolyse des Wassers Reduktionsprozesse. Bei ihnen wird die Verwandtschaft des Quecksilbers und des Wasserstoffs zum Sauerstoff durch Aufwand von Wärme und Elektrizität überwunden. Man kann aber Reduktion auch in anderer Weise herbeiführen. In dieser Kugelhöhle habe ich etwas schwarzes Kupferoxyd, das ist eine Verbindung von Kupfer und Sauerstoff. Ich erwärme sie und leite währenddessen luftfreien und mit Chlorcalcium getrockneten Wasserstoff hindurch. Sehr bald entweicht aus der Röhre Wasserdampf, der sich in einer vorgelegten Flasche zu flüssigem Wasser verdichtet. Zugleich schlägt die schwarze Farbe des Kupferoxyds in die rote des metallischen Kupfers um, und wenn wir nach Beendigung des Versuchs den Inhalt der Kugelhöhle in eine Reibeschale schütten und ihn mit dem Pistill drücken, so zeigt sich auch der metallische Glanz des Kupfers. Der Vorgang besteht darin, daß der Wasserstoff dem Kupferoxyd den Sauerstoff entzieht und sich mit ihm zu Wasser verbindet: das Kupferoxyd wird durch den Wasserstoff reduziert; andererseits aber wird der Wasserstoff durch den Sauerstoff des Kupferoxyds zu Wasser oxydiert. Je nachdem wir den Vorgang von der einen oder von der anderen Seite betrachten, erscheint er also als Reduktions- oder als Oxydationsprozeß. — Zugleich zeigt uns der Versuch, daß die Verwandtschaft des Wasserstoffs zum Sauerstoff unter den obwaltenden Umständen größer ist als die des Kupfers.

Ein Stoff, dessen Brennbarkeit uns allen geläufig ist, ist die Kohle. An diesem Drahte ist ein Stück Holzkohle befestigt, dessen Verbrennung ich durch Einführen in eine Gasflamme in Gang bringe. Entferne ich es aus der Flamme, so glimmt es in der Luft nur schwach weiter und würde bald wieder verlöschen. Statt das abzuwarten, tauche ich es in eine mit Sauerstoff gefüllte Flasche, und nun sehen wir, wie es darin lebhaft glüht. Offenbar verbrennt es, das heißt es verbindet sich mit dem in der Flasche enthaltenen Sauerstoff. Was ist nun aber das Verbrennungsprodukt? Wir sehen es nicht, da werden wir nach unseren früheren Erfahrungen schließen, daß es ein Gas ist. Um es wahrnehmbar zu machen, benutze ich eine Flüssigkeit, die ich

aus gelöschtem Kalk und Wasser erhalten habe, und die man deshalb Kalkwasser nennt. Gieße ich davon etwas in die Flasche, verschließe sie mit einem Stöpsel und schüttle kräftig um, so wird das wasserklare Kalkwasser milchig getrübt und nach einigem Stehen verwandelt sich die Trübung in einen weißen Bodensatz. Öffne ich jetzt die Flasche, so fühle ich, ebenso wie bei der Verbrennung des Schwefels, daß der Stöpsel angezogen wird; das gasförmige Verbrennungsprodukt der Kohle hat sich mit dem Kalk des Kalkwassers verbunden, so daß auch in diesem Falle im Innern der Flasche ein luftverdünnter Raum entstand. Wenn Kohle verbrennt, so bildet sich also ein farbloses Gas, das die Eigenschaft hat, Kalkwasser zu trüben, und das man an dieser Eigenschaft erkennen kann. Man nennt dieses Gas gewöhnlich Kohlensäure, und obwohl diese Bezeichnung, wie wir später sehen werden, nicht ganz korrekt ist, so wollen wir sie vorläufig gebrauchen, da sie allgemein üblich ist. — Der weiße Körper, der beim Schütteln der Kohlensäure mit Kalkwasser entsteht, ist, wie ich schon jetzt bemerken will, seiner Zusammensetzung nach nichts anderes als die gewöhnliche Kreide.

Wie Wasserstoff und Sauerstoff, so hat auch die Kohlensäure wichtige Anwendungen, sie wird deshalb technisch gewonnen und in Stahlflaschen in den Handel gebracht. Ein günstiger Umstand hierfür ist es, daß an manchen Orten Kohlensäuregas aus Erdspalten hervorströmt, so daß es direkt aufgefangen und dem Verbrauch zugeführt wird. Eine andere Quelle der Kohlensäure ist das Brennen des Kalks, ein Vorgang, mit dem wir uns noch beschäftigen werden.

Will man Kohlensäure in kleinem Maßstabe darstellen, so benutzt man dazu den Marmor, das ist Kalkstein in seiner reinsten Form, wie dieser und die Kreide, eine Verbindung von Kalk und Kohlensäure. Läßt man darauf die wohl den meisten von Ihnen bekannte Salzsäure einwirken, so wird er zersetzt unter Entwicklung des Kohlensäuregases. Ich benutze dazu wieder einen Kippschen Apparat, wie er uns schon zur Entwicklung von Wasserstoff gedient hat. Die Erklärung des Vorganges kann erst später folgen.

Die Kohlensäure ist also ein farbloses Gas wie Sauerstoff und Wasserstoff, aber abweichend von diesen hat sie einen säuerlichen Geschmack und Geruch, den wir von den Sauerbrunnen

und anderen Mineralwässern her kennen; diese sind nämlich Auflösungen von Kohlensäure in Wasser. Im Gegensatz zum Wasserstoff ist die Dichte der Kohlensäure größer, etwa anderthalb mal so groß wie die der Luft. Um das zu zeigen, habe ich hier auf der Wage dieselben beiden Glaszylinder, die wir schon zum Nachweis der geringen Dichte des Wasserstoffs benutzt haben, diesmal aber mit der Öffnung nach oben. Beide sind jetzt mit Luft gefüllt und auf der Wage ins Gleichgewicht gesetzt. Leite ich nun in den einen von oben Kohlensäure, so sinkt das spezifisch schwere Gas in der Luft unter, verdrängt diese, und infolgedessen sinkt diese Seite der Wage, während die andere steigt.

Wie wird sich nun wohl die Kohlensäure zur Verbrennung verhalten? Um das zu erfahren, fülle ich einen offenen Zylinder von oben mit Kohlensäure und bringe einen brennenden Span hinein. Wir sehen: die Kohlensäure entzündet sich nicht und der Span verlöscht. Im Gegensatz zu Wasserstoff und Sauerstoff ist also die Kohlensäure weder selbst brennbar noch unterhält sie die Verbrennung brennbarer Körper. Kehre ich einen mit Kohlensäure gefüllten Zylinder über einer brennenden Kerze um, so sinkt das spezifisch schwere Gas in der Luft unter, und sobald es die Flamme trifft, verlöscht diese. Die jetzt vielfach benutzten Feuerlöschapparate enthalten Stoffe, welche beim Gebrauch Kohlensäure entwickeln und dadurch entstehende Brände ersticken können. — Die Kohlensäure ist etwas löslich in Wasser und erteilt diesem schwach saure Eigenschaften. Leite ich sie in Wasser, dem ich etwas blaue Lackmuslösung zugefügt habe, so schlägt die Farbe in Rot um, aber das Rot ist nicht so lebhaft, wie wir es bei der Verbrennung des Schwefels und Phosphors beobachtet haben, es gleicht etwa der Farbe des Rotweins. Wie schon erwähnt, sind die Sauerbrunnen Auflösungen von Kohlensäure in Wasser. Dieses wird bei einem Druck von mehreren Atmosphären mit dem Gase gesättigt. Öffnet man die Flasche, so entweicht die Kohlensäure unter Schäumen, weil das Wasser unter gewöhnlichem Atmosphärendruck nur noch einen Teil davon in Lösung halten kann. Mit vielen natürlichen Mineralwässern verhält es sich ebenso: sie sind in tieferen Erdschichten unter Druck mit Kohlensäure gesättigt.

Noch in anderer Hinsicht unterscheidet sich die Kohlensäure vom Sauerstoff und Wasserstoff: sie läßt sich verhältnismäßig

leicht verflüssigen und zum Erstarren bringen. Wir kennen das Wasser im flüssigen Zustand, als Wasserdampf und als Eis. Diese drei Zustände bezeichnet man in der Physik als Aggregatzustände. Die Kohlensäure haben wir bei gewöhnlicher Temperatur und gewöhnlichem Atmosphärendruck als Gas. Bringen wir sie aber unter einen hohen Druck, so verdichtet sie sich zu einer Flüssigkeit. Solche flüssige Kohlensäure habe ich in dieser an beiden Enden zugeschmolzenen Glasröhre. Sie sieht aus wie Wasser, aber wir können uns leicht überzeugen, daß der Inhalt der Röhre kein Wasser ist. Schon die Wärme meiner Hand, mit der ich den unteren Teil der Röhre umfasse, genügt, um die Flüssigkeit zum Sieden zu bringen. Ebenso geschieht es, wenn ich die Röhre in lauwarmes Wasser von etwa 40° C tauche. Das würde uns mit Wasser nicht gelingen. Auch die im Handel befindlichen Kohlensäurebomben enthalten flüssige Kohlensäure, sie steht in ihnen unter einem Druck von etwa 50 Atmosphären. Nach der Füllung sind sie zum größten Teil mit der Flüssigkeit gefüllt, über dieser aber befindet sich gasförmige Kohlensäure, welche man durch Öffnen des Ventils der Bombe entnehmen kann. In dem Maße, wie das geschieht, verdampft die Kohlensäure, bis der Inhalt verbraucht ist. Solange noch flüssige Kohlensäure vorhanden ist, bleibt der Druck des darüber stehenden Gases von etwa 50 Atmosphären unverändert. — Kehre ich die Bombe um, so steht über dem Ventil flüssige Kohlensäure, und wenn ich nun das Ventil öffne, so wird die Flüssigkeit mit großer Gewalt herausgepreßt. Da die heraustretende Kohlensäure aber nicht mehr unter dem in der Bombe herrschenden Druck steht, so wird sie sofort wieder verdampfen. Nun ist es ein allgemeines Naturgesetz, daß bei der Verdampfung einer Flüssigkeit Wärme verbraucht wird. Wollen wir Wasser verdampfen, so bedarf es dazu eines Aufwandes von Wärme, die wir z. B. dem Kessel einer Dampfmaschine durch die darunter verbrannten Kohlen zuführen. Findet Verdampfung statt ohne Zufuhr von Wärme, so ist die Folge ein Sinken der Temperatur. Die angenehme Kühlung, die wir im Sommer in der Nähe eines Wasserfalles oder eines Springbrunnens empfinden, wird bewirkt durch die rasche Verdampfung des verstäubten Wassers. Da nun die flüssige Kohlensäure infolge der plötzlichen Druckverminderung von 50 auf 1 Atmosphäre sehr schnell verdampft, so entsteht

dadurch eine bedeutende Temperaturerniedrigung, welche die weiter nachströmende Flüssigkeit zum Gefrieren bringt. Um das zu zeigen, bringe ich über die Ausströmungsöffnung einen Sack aus grober Leinwand und öffne dann das Ventil. Unter großem Geräusch strömt die flüssige Kohlensäure ein, zugleich sehen wir in der Umgebung des Sackes sich mächtige Wolken erheben. Die verdampfte und sehr stark abgekühlte Kohlensäure gelangt durch die Poren der Leinwand in die Luft und verdichtet durch ihre niedere Temperatur den in dieser enthaltenen Wasserdampf zu sichtbarem Nebel. Nach längerem Einströmen der Kohlensäure stelle ich das Ventil ab, entferne den Sack von der Ausströmungsöffnung und leere seinen Inhalt in eine Porzellanschale. Er bildet eine lockere weiße Masse vom Aussehen frisch gefallenen Schnees, von der wieder Nebel verdichteten Wasserdampfes aufsteigen. Dieser Schnee, der aus fester Kohlensäure besteht, ist viel kälter als gewöhnlicher Schnee. Man darf ihn deshalb nicht fest zwischen die Finger nehmen, da er durch seine niedere Temperatur Wunden hervorrufen würde, ähnlich den Verbrennungen bei Berührung mit einem heißen Körper. Legt man ihn dagegen lose auf die innere Handfläche, so bewahrt die Hülle gasförmiger Kohlensäure, die sich infolge der Verdampfung um ihn bildet, die Haut vor der direkten Berührung und man kann einen Ballen des Kohlensäureschnees wenigstens einige Augenblicke ungestraft auf der Hand liegen lassen. — Eine außerordentlich niedere Temperatur erhält man, wenn man die feste Kohlensäure mit Äther mischt. Gieße ich in eine solche „Kältemischung“ flüssiges Quecksilber, so erstarrt es darin zu einem Klumpen. Ich kann ihn mit einer Zange herausnehmen, er sieht ungefähr aus wie geschmolzenes und wieder erstarrtes Blei. Das Quecksilber gefriert bei etwa -39°C , in unseren Wetterthermometern bleibt es ja auch bei strenger Winterkälte flüssig. Die Temperatur meiner Kältemischung liegt jedenfalls noch beträchtlich tiefer als -39° , in der Tat kann man auf diese Weise bis zu einer Temperatur von -80°C gelangen.

Wird Kohlensäure in größerer Menge eingeatmet, so wirkt sie giftig, daher findet man in der Umgebung ihrer Ausströmungen aus Erdspalten oft Leichname kleiner Tiere. Bei der Wein- und Biergärung bildet sich regelmäßig Kohlensäure, deren schädliche Wirkung man durch ausgiebige Lüftung beseitigen muß. Ob das

erreicht ist, kann man durch Einstellen einer brennenden Kerze auf den Boden des Gärungsraumes feststellen. Brennt sie ruhig weiter, so ist keine Gefahr vorhanden, verlöscht sie aber oder zeigt sie Neigung zum Verlöschen, so muß die Lüftung verstärkt werden. Da die spezifisch schwere Kohlensäure sich zuerst in den tieferen Luftschichten, also am Boden ansammelt, so wird sich auch hier zuerst eine etwaige Gefahr zu erkennen geben.

Von praktischen Anwendungen der Kohlensäure ist wohl am bekanntesten die schon erwähnte Herstellung kohlensaurer Getränke; ferner der Betrieb der sogenannten Bierpressionen zum Abzapfen des Bieres durch den Druck der verflüssigten Kohlensäure unter Ausschluß der Luft. In den Zuckerfabriken benutzt man sie zum Reinigen der Zuckersäfte, sie dient zur Herstellung der Soda nach dem sogenannten Ammoniakverfahren. Und von der starken Abkühlung bei der Verdampfung der flüssigen Kohlensäure macht man in den Kältemaschinen Gebrauch, mit deren Hilfe man entweder künstliches Eis erzeugt, oder Gärungskeller und Kühlhallen für die Aufbewahrung von Fleisch auf die erforderliche niedere Temperatur bringt.

Wir lernten die Kohlensäure kennen als Verbrennungsprodukt der Kohle. Aber es gibt noch sehr viele andere Stoffe, welche bei der Verbrennung Kohlensäure liefern. Das können natürlich nur solche Stoffe sein, die Kohle oder, wie man in der Chemie sagt, Kohlenstoff enthalten. Ich habe hier eine Stearinkerze. Nach ihrem Aussehen würde man in dem weißen Körper die Anwesenheit von Kohlenstoff nicht vermuten. Sie ist aber leicht nachzuweisen, und zwar durch einen Versuch, den gewiß jeder von Ihnen schon in der einen oder anderen Form angestellt hat. Bringe ich nämlich in die Flamme der Kerze einen kalten Gegenstand, z. B. einen Porzellanteller, so entsteht ein schwarzer Rußfleck, welcher nichts anderes ist als reiner Kohlenstoff. Tauche ich die brennende Kerze in eine Flasche mit Sauerstoff, so sehen wir zunächst, was uns nicht mehr überraschen kann, die Flamme viel heller leuchten. Lasse ich sie aber einige Zeit im Sauerstoff brennen, so werden wir uns durch Eingießen von Kalkwasser überzeugen, daß in der Tat Kohlensäure entstanden ist. — Aber Kohlensäure ist nicht das einzige Verbrennungsprodukt der Kerze. Beim Einbringen meines Porzellantellers in die Flamme konnte ich bemerken, daß sich außer Kohlenstoff noch Feuchtigkeit, das

ist Wasser, auf ihm niederschlug. Um das deutlicher zu zeigen, bringe ich über die Flamme in einiger Entfernung eine Glasglocke. Sie wird augenblicklich durch Beschlagen mit Feuchtigkeit undurchsichtig, ähnlich wie wir das bei der Verbrennung des Wasserstoffs beobachtet haben. — Aus diesen Versuchen ergibt sich, daß die Substanz der Kerze Kohlenstoff und Wasserstoff in chemischer Verbindung enthält. Nun werden wir auch verstehen, wie es kommt, daß die Kerze im Laufe der Verbrennung immer kleiner wird und schließlich ganz verschwindet. Die bloße Beobachtung könnte uns zu dem Schluß verleiten, daß dieses Verschwinden eine spurlose Vernichtung ist. Wir aber wissen es nun besser: nicht verschwunden ist die Substanz der Kerze, sondern verwandelt. Ihre Bestandteile Kohlenstoff und Wasserstoff haben sich mit dem Sauerstoff der Luft zu Kohlensäure und Wasser verbunden, beide entweichen unsichtbar in die Luft, die Kohlensäure als Gas, das Wasser als Dampf. Auf meiner Wage habe ich hier eine Kerze und darüber einen gewöhnlichen Lampenzylinder, der auf einem eingeklemmten Drahtnetz einen Stoff enthält, welcher eine starke Neigung hat, sich mit Kohlensäure und Wasser zu verbinden; man nennt ihn Natron, wir werden ihn später näher kennenlernen. Auf der anderen Seite habe ich einen ganz gleichen, ebenfalls mit Natron gefüllten Zylinder und beide Seiten sind durch aufgelegte Gewichte ins Gleichgewicht gesetzt. Zünde ich nun die Kerze an, so werden wir nach einiger Zeit die Wage auf ihrer Seite sinken sehen. Also nicht Gewichtsverlust, wie es den Anschein hat, ist die Folge der Verbrennung, sondern Gewichtszunahme, verursacht durch die Verbindung des Kohlenstoffs und Wasserstoffs der Kerzensubstanz mit dem Sauerstoff der Luft. — Diese Erfahrung zeigt uns recht deutlich, daß wir nicht durch bloße Beobachtung, sondern nur durch rationell angestellte Versuche in das Wesen chemischer Vorgänge eindringen können.

Wie durch die Verbrennung der Kerzensubstanz, so entstehen Kohlensäure und Wasser durch Verbrennung zahlloser anderer Verbindungen, welche Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten. Viele solche Körper sind Bestandteile des tierischen oder pflanzlichen Organismus, man bezeichnet sie deshalb als organische Verbindungen. Ich kann auf diesen wichtigen Gegenstand erst später eingehen. Für jetzt möchte ich nur bemerken, daß

alle unsere Brennstoffe: Steinkohlen, Braunkohlen, Torf, Holz, auch Petroleum und andere Brennöle sowie Leuchtgas Kohlenstoff- und Wasserstoffverbindungen enthalten und daher bei der Verbrennung, wie die Kerze, Kohlensäure und Wasserdampf liefern.

Aber noch eine andere Quelle der Kohlensäure gibt es, die uns viel näher liegt: unser eigener Körper. Blase ich meine Ausatemungsluft mittels einer Glasröhre durch Kalkwasser, so trübt es sich und gibt schon mit einem einzigen Atemzuge einen ganz beträchtlichen Niederschlag, wodurch in der uns bekannten Weise die Anwesenheit von Kohlensäure nachgewiesen ist. Wie beim Menschen, so ist es auch bei den Tieren, sie alle atmen Kohlensäure aus; außerdem auch Wasserdampf, wovon wir uns leicht durch Atmen gegen eine kalte Glasplatte überzeugen können. Die organischen Verbindungen des menschlichen und tierischen Körpers werden durch den Sauerstoff der eingeatmeten Luft zu Kohlensäure und Wasser oxydiert. Der Lebensprozeß des Menschen und der Tiere erzeugt also dieselben gas- und dampfförmigen Produkte wie die brennende Kerze, und der poetische Vergleich des Lebens mit einer Flamme hat auch wissenschaftlich seine Berechtigung.

Die von Menschen und Tieren ausgeatmete Kohlensäure gelangt naturgemäß in die Luft, und man sollte daher meinen, daß sich in dieser mehr und mehr davon anhäufen muß, wogegen sich der Sauerstoffgehalt der Luft vermindern würde. Das ist aber keineswegs der Fall, vielmehr bleibt der Gehalt der Luft an beiden Stoffen unverändert. Es muß also in der Natur einen Vorgang geben, der solcher Veränderung in der Zusammensetzung der Luft entgegenwirkt, und das ist der Lebensprozeß der Pflanzen. Sie bedürfen für den Aufbau ihres Körpers der von Menschen und Tieren erzeugten Kohlensäure und geben dafür ihrerseits Sauerstoff ab. Zwischen beiden Naturreichen stellt sich so ein Gleichgewicht ein, welches die Konstanz in der Zusammensetzung der Luft zur Folge hat. Wir werden uns mit diesen für den Haushalt der Natur äußerst wichtigen Dingen später noch eingehender beschäftigen. — Übrigens gilt das eben Gesagte im vollen Umfange nur für die freie atmosphärische Luft. In geschlossenen Räumen kann unter Umständen der Kohlensäuregehalt ein beträchtlich höherer werden. Halten sich in solchen viele Menschen

längere Zeit auf und brennen auch noch viele offene Flammen, so kann die dadurch „verdorbene Luft“ empfindlichen Personen recht unbequem werden, was wenigstens zum Teil durch den gesteigerten Kohlensäuregehalt der Luft verursacht wird.

Durch die bisher angestellten Versuche haben wir eine Anzahl chemischer Prozesse kennengelernt: wir sahen, daß verschiedenartige Stoffe sich zu chemischen Verbindungen vereinigen, und daß chemische Verbindungen in ihre verschiedenartigen Bestandteile zerlegt werden können. Dadurch haben wir überraschende Einblicke in die Natur einiger Stoffe gewonnen. Wer hätte wohl vermutet, daß das rote, auch unter dem stärksten Mikroskop vollkommen einheitlich erscheinende Quecksilberoxyd in Wahrheit eine chemische Verbindung von Quecksilber und Sauerstoff ist? Oder, daß Wasser, mit dem man das Feuer löscht, sich in den brennbaren Wasserstoff und den die Verbrennung so kräftig unterhaltenden Sauerstoff zerlegen und sich auch aus beiden wieder aufbauen läßt. Da drängt sich wohl einem jeden die Frage auf: Lassen sich Wasserstoff, Sauerstoff und Quecksilber noch weiter in verschiedenartige Bestandteile zerlegen? Leider bin ich nicht in der Lage, Ihnen diese Frage durch bündige Versuche zu beantworten. Aber Sie werden es mir, denke ich, glauben, wenn ich Ihnen versichere, daß alle Versuche, welche die Chemiker seit mehr als hundert Jahren in dieser Richtung angestellt haben, stets negativ verlaufen sind. Wie das Wasser, so lernte man auch andere Naturkörper in verschiedenartige Bestandteile zerlegen, aber immer kam man schließlich zu Stoffen, welche sich nicht weiter zerlegen ließen. Diese mußte man wohl als die letzten Bestandteile der Körperwelt betrachten; man bezeichnete sie als chemische Elemente oder Grundstoffe. Außer Sauerstoff, Wasserstoff und Quecksilber sind uns schon verschiedene solcher Grundstoffe durch die Hände gegangen. Vor allem gehören dazu sämtliche Metalle; ferner Kohlenstoff, Schwefel und Phosphor. Die Zahl der bekannten Elemente war früher eine beschränkte, sie ist aber im Laufe der Zeit durch neue Entdeckungen beträchtlich gewachsen und beträgt gegenwärtig einige achtzig. Übrigens dürfte man aus der Tatsache,

daß die chemischen Elemente sich nicht weiter zerlegen ließen, nicht etwa den Schluß ziehen, daß sie wirklich unzerlegbar seien, vielleicht hat man nur noch nicht den Schlüssel zu ihrer Zerlegbarkeit gefunden. In der Tat haben sich im Laufe der Zeit mehrere früher für chemische Elemente geltende Stoffe doch zerlegen lassen, und die neueste Forschung hat gerade in dieser Hinsicht große Überraschungen gebracht. Wir wollen daher als chemische Elemente bescheiden solche Körper bezeichnen, die wir bisher nicht zerlegen konnten.

Mengenverhältnisse bei chemischen Vorgängen. Atomtheorie.

Die chemischen Prozesse, die wir vor unseren Augen sich abspielen sahen, haben noch eine bisher von uns nur flüchtig beachtete Seite: ich meine die Mengenverhältnisse, in denen die Elemente zu chemischen Verbindungen zusammentreten und in denen wir sie auch aus diesen abscheiden können. Da darf ich Sie wohl an den Versuch der Verbrennung einer Kerze auf der Wage erinnern, der uns zeigte, daß das Verschwinden der Kerzen- substanz bei der Verbrennung nur ein scheinbares ist. Ebenso verhält es sich mit der Zerlegung des Quecksilberoxyds. Es verschwindet als solches, aber an seiner Stelle erhalten wir Queck- silber und Sauerstoff. Verfolgen wir diesen Vorgang mit der Wage, so ergibt sich, daß Quecksilber und Sauerstoff zusammen genau ebensoviel wiegen wie das verschwundene Quecksilberoxyd. Dasselbe gilt von allen chemischen Prozessen: niemals entsteht dabei ein Stoff aus nichts, oder kann einer zu nichts werden. Alle chemischen Prozesse sind nur Umwandlungen der Stoffe, durch welche sie Verbindungen eingehen oder aus solchen ab- geschieden werden. Stets ist das Gewicht der entstehenden Pro- dukte gleich dem Gewicht der dem Prozeß unterliegenden Stoffe. Das ist ein Grundgesetz der Chemie; wie nennen es das Gesetz der Erhaltung des Stoffes.

Aber noch in anderer Richtung wollen wir uns die Ergebnisse unserer Versuche etwas näher ansehen. Als wir die Mischung von Schwefel und Kupfer durch Erhitzen in die chemische Ver- bindung dieser beiden Elemente überführten, sahen wir, daß ein Teil des Schwefels, den ich absichtlich in reichlicher Menge an- gewandt hatte, sich der Verbindung entzog. Schon ohne Wage erkannten wir so, daß die chemische Verbindung von Schwefel und Kupfer, im Gegensatz zu ihrer mechanischen Mischung, beide Stoffe in ganz bestimmten Mengenverhältnissen enthält. — Ein

anderes Beispiel bietet uns die Elektrolyse des Wassers, bei der wir auf 1 Raumteil Sauerstoff 2 Raumteile Wasserstoff erhielten. Nun wiegt 1 Raumteil Sauerstoff 16 mal soviel wie 1 Raumteil Wasserstoff¹⁾. Wir haben also im Wasser auf 2 Gewichtsteile Wasserstoff 16 Gew.-Tle. Sauerstoff. Statt dessen können wir natürlich auch sagen, auf 1 Tl. Wasserstoff 8 Tle. Sauerstoff. Aber aus Gründen, auf die ich hier nicht eingehen kann, ist es zweckmäßiger, an dem Ausdruck 2:16 festzuhalten. Das ist ein für allemal die Zusammensetzung des Wassers, an der sich niemals etwas ändert. Und ebenso ist es mit allen wahren chemischen Verbindungen. Im Quecksilberoxyd haben wir stets und ebenso unveränderlich auf 16 Gew.-Tle. Sauerstoff 200 Gew.-Tle. Quecksilber. Das ist das zweite chemische Grundgesetz; man nennt es das Gesetz der konstanten Proportionen, weil es aussagt, daß alle chemischen Verbindungen ihre Bestandteile in unveränderlichen, konstanten Gewichtsverhältnissen oder Proportionen enthalten.

Nun lehrt uns aber weiter die Chemie, daß sehr oft zwei Elemente nicht eine, sondern mehrere Verbindungen miteinander eingehen können. Außer dem Wasser kennt man noch eine zweite Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff, das Wasserstoffsuperoxyd, das man in den Apotheken und Drogerien als Mittel zum Desinfizieren der Mundhöhle bekommt. Hier habe ich eine Lösung dieses Körpers in Wasser, welche in 100 Tln. nur 3 Tle. Wasserstoffsuperoxyd enthält. Sie sieht aus wie reines Wasser, aber wir können uns durch einen einfachen Versuch überzeugen, daß sie das nicht ist: In jedem dieser beiden Gläser habe ich etwas Braunstein, denselben, den wir bei der Darstellung des Sauerstoffs aus chlorsaurem Kalium benutzt haben. Ich gieße nun in das eine Wasser, worauf keinerlei Veränderung eintritt. Gieße ich aber in das andere Glas etwas von meiner Wasserstoffsuperoxydlösung, so erfolgt sogleich ein stürmisches Aufbrausen, und mit einem glimmenden Span überzeugen wir uns, daß das entwickelte Gas nichts anderes ist als Sauerstoff. Die Sauerstoffentwicklung bei der Berührung mit Braunstein ist also eine Eigenschaft des Wasserstoffsuperoxyds, durch die es sich vom Wasser in so auffallender Weise unterscheidet. Und dennoch führt die Analyse

¹⁾ Genauer 15,88 mal soviel, aber die Annäherung 16 genügt für unsere Zwecke.

dieses merkwürdigen Körpers zu dem Ergebnis, daß er, wie das Wasser, nur aus Wasserstoff und Sauerstoff besteht. Wodurch mag nun aber die Verschiedenheit beider Körper verursacht sein? Auch hierüber gibt uns die chemische Analyse Aufschluß: der Unterschied beruht auf dem verschiedenen Mengenverhältnis der Elemente in den beiden Verbindungen. *Wie wir sahen, enthält das Wasser auf 2 Gew.-Tle. Wasserstoff 16 Gew.-Tle. Sauerstoff; Wasserstoffsperoxyd dagegen enthält auf dieselben 2 Gew.-Tle. Wasserstoff 32 Gew.-Tle. Sauerstoff. Das ist aber gerade doppelt soviel wie im Wasser.

Wir könnten geneigt sein, dieses einfache Verhältnis für einen Zufall zu halten, aber die Erfahrung zeigt uns in zahllosen Fällen das gleiche oder ein ähnliches Verhältnis. Auch das Quecksilber bildet mit dem Sauerstoff zwei Verbindungen. Die eine ist das uns bekannte rote Quecksilberoxyd, das ich hier noch einmal hergestellt habe; die andere ist dieses schwarze Pulver, das man, zum Unterschied vom Quecksilberoxyd, Quecksilberoxydul nennt. Während nun das Quecksilberoxyd auf 16 Tle. Sauerstoff 200 Tle. Quecksilber enthält, sind im Quecksilberoxydul mit 16 Tln. Sauerstoff 400 oder 2×200 Tle. Quecksilber verbunden¹⁾. — Ebenso ist es mit dem Kupfer. Ich habe hier zwei Sauerstoffverbindungen des Kupfers: ein schwarzes Pulver, das Kupferoxyd, und ein rotes, das Kupferoxydul. Das Kupferoxyd besteht aus 16 Tln. Sauerstoff und 63,6 Tln. Kupfer; Kupferoxydul aber enthält auf 16 Tle. Sauerstoff 127,2 = $2 \times 63,6$ Tle. Kupfer. Aber nicht etwa nur die Sauerstoffverbindungen zeigen diese Regelmäßigkeit. Auch mit Schwefel bildet Kupfer zwei Verbindungen; die eine enthält auf 63,6 Tle. Kupfer 32 Tle. Schwefel, die andere auf dieselben 32 Tle. Schwefel $2 \times 63,6 = 127,2$ Tle. Kupfer.

In den eben betrachteten Fällen verhielten sich die Mengen eines Elements, welche in zwei Verbindungen mit derselben Menge eines anderen Elements verbunden sind, wie 1:2. Es kommen aber auch andere Verhältnisse vor. Das stechend riechende Verbrennungsprodukt des Schwefels enthält von seinen beiden Bestandteilen fast genau gleich viel, also auf 32 Tle. Schwefel 32

¹⁾ Das Quecksilberoxydul ist eine sehr unbeständige Verbindung, die schon beim Aufbewahren, schneller am Licht, in Quecksilber und Quecksilberoxyd zerfällt.

oder 2×16 Tle. Sauerstoff. Nun gibt es aber noch eine andere Verbindung der beiden Elemente, und diese enthält auf 32 Tle. Schwefel 48 oder 3×16 Tle. Sauerstoff. Die Mengen Sauerstoff, welche in diesen beiden Stoffen mit derselben Menge Schwefel verbunden sind, verhalten sich also wie 2:3. — Immer aber stehen die Mengen des einen Elements, welche in verschiedenen Verbindungen mit derselben Menge eines anderen Elements verbunden sind, im Verhältnis einfacher ganzer Zahlen, sie sind stets ganze Vielfache oder Multipla derselben Zahl. — Das ist das dritte Grundgesetz der Chemie; man nennt es das Gesetz der multiplen Proportionen.

Es könnte nun vielleicht so scheinen, als stünden diese Tatsachen im Widerspruch mit dem Gesetz der konstanten Proportionen. Eine nähere Überlegung zeigt aber, daß dies keineswegs der Fall ist. Denn dieses Gesetz sagt ja nur aus, daß jede einzelne chemische Verbindung stets und unter allen Umständen dieselbe unveränderliche Zusammensetzung hat, und daran wird durch die Tatsache, daß zwei Elemente mehrere Verbindungen bilden können, nichts geändert. Eine jede von ihnen unterliegt unweigerlich dem Gesetz der konstanten Proportionen. Wasser enthält immer auf 2 Gew.-Tle. Wasserstoff 16 Gew.-Tle. Sauerstoff, Wasserstoffsperoxyd auf 2 Tle. Wasserstoff 32 Tle. Sauerstoff. Einen allmählichen Übergang zwischen beiden Verbindungen gibt es nicht, von einer zur anderen ändert sich die Zusammensetzung wie auch die Eigenschaften sprungweise. Mischungen der beiden Gase können wir dagegen in beliebigen Mengenverhältnissen und in beliebiger Zahl herstellen; ihre Eigenschaften ändern sich stetig mit der Zusammensetzung. — Übrigens ist die Zahl der Verbindungen zweier Elemente durchaus nicht immer auf zwei beschränkt, sie ist in vielen Fällen bedeutend größer, wodurch sich die Verhältnisse dann wesentlich komplizierter gestalten. Auch treten oft mehr als zwei Elemente in Verbindung. Wir werden später mit solchen, vielfach sehr wichtigen Fällen bekannt werden.

Das also sind die Gesetze, welche die Bildung und den Zerfall chemischer Verbindungen bestimmen. Wie aber können wir uns ein Bild von dem Zustandekommen solcher Vorgänge machen?

Zur Beantwortung dieser Frage hat der große englische Chemiker Dalton zu Anfang des vorigen Jahrhunderts einen Versuch gemacht, der bald für das Verständnis chemischer Vorgänge von grundlegender Bedeutung wurde. Schon die alten griechischen Philosophen dachten sich die Körperwelt aus außerordentlich kleinen Teilchen bestehend, welche nicht weiter teilbar sein sollten, und daher von ihnen als Atome, d. h. Unteilbare bezeichnet wurden. Dalton knüpfte an diesen Gedanken an und hat ihn in höchst wirksamer Weise erweitert und vertieft. Er schrieb den Atomen der chemischen Elemente ganz bestimmte Gewichte zu, derart, daß die Atome ein und desselben Elements alle gleich schwer sind, diejenigen verschiedener Elemente aber ungleich schwer. Weiter nahm er an, daß die Bildung chemischer Verbindungen durch den Zusammentritt der chemischen Atome zustande kommt, und daß dies in wechselnden Zahlenverhältnissen geschehen könne. Stimmt man dem zu, so ergeben sich die chemischen Grundgesetze als notwendige Folgerungen. Besteht z. B. eine chemische Verbindung aus je einem Atom zweier Elemente, so müssen diese im Verhältnis ihrer Atomgewichte miteinander verbunden sein, also eine unveränderliche Zusammensetzung haben; das ist aber nichts anderes als das Gesetz der konstanten Proportionen. Bilden beide Elemente noch eine zweite Verbindung, in welcher ein Atom des einen mit zwei Atomen des anderen verbunden ist, so haben wir auf ein Atomgewicht des einen zwei Atomgewichte des anderen Elements; das ist das Gesetz der multiplen Proportionen.

Wir können nun die Atome nicht auf die Wage legen, um ihre wirklichen Gewichte zu ermitteln; dagegen können wir das Verhältnis ihrer Atomgewichte angeben. Besteht z. B. Quecksilberoxyd aus je einem Atom Quecksilber und einem Atom Sauerstoff, so müssen sich offenbar die Atomgewichte dieser beiden Elemente verhalten wie 200:16; ebenso die Atomgewichte des Kupfers und Sauerstoffs wie 63,6:16. — Quecksilberoxydul und Kupferoxydul müssen dann auf je ein Atom Sauerstoff zwei Atome Quecksilber und Kupfer enthalten. — So nimmt man auch an, daß Wasser aus einem Atom Sauerstoff und zwei Atomen Wasserstoff besteht. Die Gründe für diese Annahme wollen wir den Chemikern überlassen; Sie werden aber vielleicht selbst bemerken, daß darauf das räumliche Verhältnis beider Elemente im Wasser hindeutet.

Wenn dem so ist, so müssen sich die Atomgewichte des Wasserstoffs und Sauerstoffs verhalten wie 1:16.

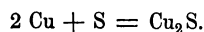
So erhalten wir die relativen Atomgewichte der chemischen Elemente. Der Zusammentritt der Elemente zu chemischen Verbindungen erfolgt im Verhältnis dieser Zahlen oder ganzer Vielfacher derselben. Für die anschauliche Darstellung solcher Vorgänge hat der große schwedische Chemiker Berzelius eine Zeichensprache geschaffen, ohne die wir uns die Chemie heute kaum vorstellen können. Er bezeichnete jedes Element durch den Anfangsbuchstaben seines Namens. Da aber die Zahl der Elemente größer ist als die der Buchstaben des Alphabets, so mußte man bei manchen Elementen noch einen zweiten Buchstaben hinzufügen. So ist das Zeichen für Sauerstoff O von Oxygenium, für Wasserstoff H von Hydrogenium, für Kohlenstoff C von carbo (Kohle), für Schwefel und Phosphor S und P, für Kupfer Cu, von dem lateinischen cuprum, für Quecksilber Hg, von dem griechischen Hydrargyrum (flüssiges Silber). — Aber diese Zeichen sollten nicht etwa nur abgekürzte Namen sein, sondern die Elemente mit ihren Atomgewichten bedeuten; also:

O = 16, H = 1, S = 32, C = 12, P = 31, Cu = 63,6, Hg = 200.

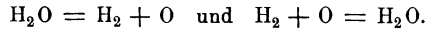
Diese Zahlen sind nur Näherungswerte. Nimmt man als Grundlage das Atomgewicht des Sauerstoffs O = 16, so ist nach den genauesten Bestimmungen das Atomgewicht des Wasserstoffs 1,008, das des Schwefels 32,07 usw. Aber für die meisten Berechnungen sind die abgerundeten Zahlen hinreichend genau, und wir wollen uns der Einfachheit halber nur ihrer bedienen.

Mittels der Atomzeichen drückt man die Zusammensetzung der chemischen Verbindungen durch sogenannte chemische Formeln aus: Wasser H_2O , Wasserstoffsuperoxyd H_2O_2 , Kupferoxyd CuO , Kupferoxydul Cu_2O , Quecksilberoxyd HgO , Quecksilberoxydul Hg_2O . Die beiden Sauerstoffverbindungen des Schwefels erhalten die Formeln SO_2 und SO_3 ; ihre Namen sind Schwefeldioxyd und Schwefeltrioxyd. Die Formel der Kohlensäure ist CO_2 .

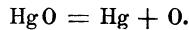
Mit diesen Formeln lassen sich die chemischen Prozesse durch chemische Gleichungen ausdrücken, die wir erhalten, indem wir auf die linke Seite die Stoffe setzen, die dem Prozeß unterliegen, auf die rechte die, welche durch ihn entstehen. So haben wir:



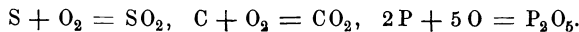
Das bedeutet: 2 Atomgewichte = $2 \times 63,6$ oder 127,2 Gew.-Tle. Kupfer verbinden sich mit 32 Gew.-Tln. Schwefel zu 159,2 Gew.-Tln. Schwefelkupfer. — Die Zerlegung des Wassers und seine Bildung aus den Elementen findet ihren Ausdruck in den beiden Gleichungen



Dem Zerfall des Quecksilberoxyds in Quecksilber und Sauerstoff entspricht die Gleichung

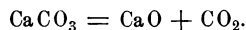


Die Verbrennung des Schwefels, des Kohlenstoffs, des Phosphors stellt sich so dar:

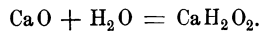


Der letzte Vorgang ist schon etwas komplizierter. Die angeführte Gleichung sagt aus, daß sich zwei Atomgewichte, also $2 \times 31 = 62$ Gew.-Tle. Phosphor mit fünf Atomgewichten, das ist $5 \times 16 = 80$ Gew.-Tln. Sauerstoff vereinigen, wodurch 142 Gew.-Tle. eines Körpers entstehen, dem man den Namen Phosphorpentoxyd erteilt hat, welcher andeuten soll, daß er fünf Atome Sauerstoff enthält (penta ist das griechische Zahlwort fünf).

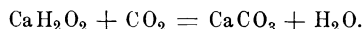
Auch das Brennen und Löschen des Kalks, sowie seine Erhärtung im Mörtel können wir jetzt formulieren. Der gebrannte Kalk ist eine Verbindung von einem Atom eines Metalles, des Calciums, mit einem Atom Sauerstoff; und der natürliche Kalkstein ist seiner Zusammensetzung nach eine Verbindung von Kalk und Kohlensäure. Bei der hohen Temperatur des Kalkofens zerfällt er in diese beiden Bestandteile, was in der folgenden Gleichung seinen Ausdruck findet:



Das Löschen des Kalks beruht auf seiner Verbindung mit Wasser:



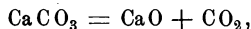
Die Erhärtung des aus gelöschtem Kalk und Sand hergestellten Mörtels kommt dadurch zustande, daß der Körper CaH_2O_2 aus der Luft Kohlensäure anzieht:



Er wird dadurch wieder zu Kalkstein, der sich mit den im Mörtel enthaltenen Sandkörnern zu einer festen Masse verbindet. Daß dieser Prozeß sich so langsam vollzieht, ist durch die große Ver-

dünnung der Kohlensäure in der Luft verursacht. Beim Abbruch alter Gebäude hat man gefunden, daß im Innern des Mörtels sich noch nach Jahrhunderten unverbundener Kalk befindet, zu dem die atmosphärische Kohlensäure in dieser langen Zeit nicht vordringen war. Auf demselben Vorgang beruht der Nachweis der Kohlensäure durch Kalkwasser, welches eine Lösung von CaH_2O_2 in Wasser ist.

Wir wollen nun gleich einmal sehen, wie man von dieser Zeichensprache eine praktische Anwendung machen kann. Ein Kalkbrenner muß zur Berechnung der Selbstkosten seines Produkts wissen, wieviel Rohstoff, also Kalkstein, zur Herstellung einer gewissen Menge, sagen wir einer Tonne = 1000 kg gebrannten Kalks erfordert wird. Halten wir uns an die Gleichung



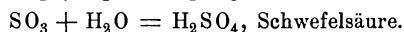
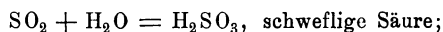
so können wir diese Aufgabe lösen, wenn wir die Atomgewichte der in Betracht kommenden Elemente kennen. Das des Calciums ist 40. Wir haben demnach

$\text{Ca} = 40$	$\text{Ca} = 40$
$\text{O} = 16$	$\text{C} = 12$
$\text{CaO} = 56$	$\text{O}_3 = 48$
	$\text{CaCO}_3 = 100$

Hiernach sind zu 1000 kg gebranntem Kalk erforderlich: $1000 \cdot 100 : 56 = 1785 \text{ kg CaCO}_3$. Nun ist der natürliche Kalkstein freilich nicht die reine Verbindung CaCO_3 , wodurch sich das Ergebnis ein wenig verändert; aber auch der daraus gebrannte Kalk ist kein reines CaO . Wollte man auch diese Verhältnisse mit berücksichtigen, so müßte man eine vollständige Analyse des Kalksteins haben, worauf wir aber füglich verzichten können.

Säuren, Basen, Salze.

Bei der Verbrennung von Schwefel erhielten wir das gasförmige Schwefeldioxyd, welches sich in Wasser löste und diesem einen sauren Geschmack erteilte, nebst der Fähigkeit, blaue Lackmuslösung rot zu färben. Das schon erwähnte Schwefeltrioxyd verbindet sich mit Wasser zu einem Körper von entsprechenden Eigenschaften. Solche Verbindungen bezeichnet man wegen ihrer auffallendsten Eigenschaft als Säuren. Die aus Schwefeltrioxyd und Wasser entstehende Säure ist die Ihnen vielleicht bekannte Schwefelsäure. Zum Unterschied von ihr hat die sauerstoffärmere, dem Schwefeldioxyd entsprechende Säure den Namen schweflige Säure erhalten. Die Bildung dieser beiden Säuren können wir formulieren wie folgt:



Die schweflige Säure hat verhältnismäßig schwach saure Eigenschaften und zerfällt leicht wieder in Schwefeldioxyd und Wasser. Dagegen ist die Schwefelsäure eine sehr beständige Verbindung und zugleich eine der stärksten Säuren, die wir kennen. Ich färbe etwa ein Liter Wasser durch Lackmuslösung blau und bringe mittels eines Glasstabes einen Tropfen Schwefelsäure hinein; beim Umrühren schlägt dann die Farbe sofort in ein lebhaftes Rot um. — Eine andere Eigenschaft der Schwefelsäure ist ihre große Neigung, sich noch weiter mit Wasser zu verbinden, was unter starker Wärmeentwicklung vor sich geht. Um Ihnen das zu zeigen, benutze ich eine leicht flüchtige und brennbare Flüssigkeit, den Äther, der zuweilen an Stelle von Benzin zur Entfernung von Fettflecken benutzt wird. Von diesem gieße ich ein wenig in ein Reagenzrohr. Halte ich dessen Mündung gegen eine Flamme, so erscheint in seinem Innern ein ganz kleines, kaum sichtbares Flämmchen. Erwärme ich aber, so kommt der Äther ins Kochen, und nun brennt aus der Röhre eine fußlange leuch-

tende Flamme heraus. Nun tauche ich meine Ätherröhre in ein etwa halb mit Wasser gefülltes Becherglas und stelle daneben einen Gasbrenner so auf, daß seine Flamme dicht an die Mündung der Röhre kommt. Gieße ich nun unter Umrühren Schwefelsäure in das Wasser, so erscheint wieder die mächtige Ätherflamme und zeigt uns die bei der Verbindung von Schwefelsäure und Wasser auftretende Wärme an. Auf dieser wasserbindenden Eigenschaft der Schwefelsäure beruht ihre stark ätzende Wirkung, sie zerstört viele organische Substanzen. Bringe ich in ein Reagenzrohr einige Stückchen Holz oder Papier und darauf konzentrierte Schwefelsäure, so tritt sehr bald Bräunung ein, und wenn ich nur schwach erwärme, so ist in wenigen Augenblicken Holz und Papier verkohlt. Man muß deshalb bei der Handhabung konzentrierter Schwefelsäure sehr vorsichtig sein. Will man sie mit Wasser verdünnen, so darf das nur in der Weise geschehen, daß man die Säure in dünnem Strahl unter fortwährendem Umrühren in das Wasser fließen läßt, nicht aber umgekehrt Wasser in Schwefelsäure.

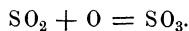
Nachdem wir so mit der Schwefelsäure ein wenig bekannt geworden sind, werden Sie wohl auch erfahren wollen, wie sie gemacht wird. Da muß ich mich freilich sehr kurz fassen. Die wichtigsten Verfahren zu ihrer Darstellung gehen über das Schwefeldioxyd. Dieses erzeugte man früher durch Verbrennen von Schwefel, welcher auf Sizilien im Gebiete des Ätna als Produkt seiner vulkanischen Tätigkeit abgelagert ist und dort bergmännisch gewonnen wird. Gegen Ende der dreißiger Jahre des vorigen Jahrhunderts trat an seine Stelle der viel billigere Schwefelkies, eine Verbindung von Eisen (Ferrum) und Schwefel, FeS_2 , welcher zu Schwefeldioxyd verbrennt und das Eisen als Eisenoxyd, Fe_2O_3 , hinterläßt. Der Vorgang wird als Röstprozeß bezeichnet. Die Röstgase enthalten, neben dem Stickstoff der Verbrennungsluft und überschüssigem Sauerstoff, 7 bis 9 Liter Schwefeldioxyd im Hektoliter. Sie werden in mächtige, aus Bleiplatten zusammengefügte sogenannte Bleikammern geleitet, in welchen das Schwefeldioxyd in Gegenwart von Wasserdampf oder fein verstäubtem Wasser in Schwefelsäure übergeführt wird:



Die Oxydation erfolgt durch den Sauerstoff der Luft, an sich aber so langsam, daß die Technik nicht darauf warten kann; sie

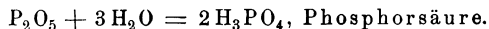
wird sehr beschleunigt durch die Anwesenheit von Stickstoffverbindungen, welche in Gestalt von Salpetersäure in die Bleikammern eingeführt werden. Diese wirken als Sauerstoffüberträger, und wenn nicht einige Verluste unvermeidlich wären, so könnte man mit einer kleinen Menge Salpetersäure unbegrenzte Mengen von Schwefelsäure erzeugen. Näher auf den interessanten Bleikammerprozeß einzugehen, ist hier leider nicht möglich.

Seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts hat sich daneben ein Verfahren auf ganz anderer Grundlage entwickelt. Es beruht darauf, daß Schwefeldioxyd sich bei höherer Temperatur in Gegenwart gewisser Stoffe mit Sauerstoff zu Schwefeltrioxyd verbindet:

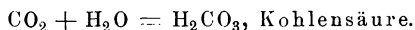


Durch eine mit einem Platindrahtnetz gefüllte Röhre, welche durch einen kleinen Gasofen mäßig erwärmt wird, leite ich ein Gemisch von Schwefeldioxyd und Sauerstoff, worauf sich dicke weiße Nebel von Schwefeltrioxyd bilden, die sich in einer vorgelegten Flasche verdichten. Durch Einleiten in gewöhnliche Schwefelsäure erhält man die rauchende Schwefelsäure, eine Verbindung von Schwefelsäure und Schwefeltrioxyd. — Das Platin wird bei diesem Prozeß gar nicht verändert, es wirkt durch bloße Berührung, Kontakt, deshalb nennt man dieses Vorgehen ein Kontaktverfahren. Wir werden später noch mehr solche Prozesse kennenlernen, sie werden jetzt meistens als katalytische Prozesse bezeichnet.

Bei der Verbrennung des Phosphors erhielten wir das Phosphorpentoxyd, welches gleichfalls mit Wasser eine Säure gibt; die Formulierung gestaltet sich hier etwas komplizierter:

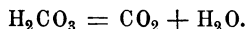


Auch die Kohlensäure gehört, wie ihr Name sagt, zu den Säuren. Sie ist aber eine schwache Säure: ihre wässrige Lösung schmeckt nur säuerlich, und Lackmuslösung färbt sie weniger lebhaft rot wie die starken Säuren. Auch führt sie, wie schon erwähnt, ihren Namen mit Unrecht; als eigentliche Kohlensäure müssen wir ihre Verbindung mit Wasser betrachten:



Der korrekte Name für den Körper CO_2 ist, entsprechend seiner dem Schwefeldioxyd analogen Zusammensetzung, Kohlendioxyd.

Auch gleicht die Kohlensäure insofern der schwefligen Säure, daß sie leicht wieder zerfällt:



Beide Säuren sind nur in ihren wässerigen Lösungen existenzfähig.

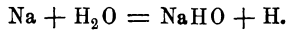
Nun gibt es aber chemische Verbindungen, welche in einem gewissen Gegensatze zu den Säuren stehen. Eine solche Verbindung ist der Körper CaH_2O_2 , den wir als gelöschten Kalk kennen, und dessen wässerige Lösung das Kalkwasser ist, welches wir zum Nachweis der Kohlensäure benutzt haben. Bringe ich zu der durch Schwefelsäure rotgefärbten Lackmuslösung eine genügende Menge Kalkwasser, so schlägt die Farbe wieder in Blau um. Ich muß aber ziemlich viel Kalkwasser nehmen, weil die Verbindung CaH_2O_2 in Wasser nur wenig löslich, und ihre Lösung daher sehr verdünnt ist.

Hier habe ich einen Stoff, der uns dieselben Erscheinungen noch deutlicher zeigen wird; es ist das Natron, mit dessen Hilfe wir die gasförmigen Verbrennungsprodukte der auf der Wage brennenden Kerze am Entweichen in die Luft verhindert haben. Wegen seiner ätzenden Eigenschaften nennt man es wohl auch Ätznatron. Es ist in Wasser viel leichter löslich als der Kalk, die Lösung nennt man Natronlauge. Gieße ich von dieser ein wenig in eine durch Schwefelsäure rot gefärbte Lackmuslösung, so wird sie blau; durch Zufügen von Schwefelsäure färbe ich sie wieder rot, durch nochmaligen Zusatz von Natronlauge wieder blau usw.

Was ist nun dieses Ätznatron? Da es sich gegen Säure ähnlich verhält wie der im Kalkwasser enthaltene Körper CaH_2O_2 , so vermuten Sie wohl, daß es auch eine ähnliche Zusammensetzung hat wie dieser. Das ist nun in der Tat der Fall, nur enthält es an Stelle des Calciums ein anderes Metall. Es hat als Bestandteil des Natrons den Namen Natrium erhalten. Dieses Natrium ist nun ein sehr merkwürdiger Stoff. In dieser Flasche haben wir einige Stücke davon unter einer Flüssigkeit, die aber nicht, wie beim Phosphor, Wasser ist — wir werden gleich sehen, warum —, sondern Petroleum. Nehme ich mit einer Pinzette ein Stück davon heraus, so sieht es äußerlich unscheinbar aus, weil es an der Oberfläche mit einer Oxydschicht ähnlich dem Eisenrost überzogen ist. Ich kann aber leicht eine frische Schnitt-

fläche herstellen, denn Natrium ist weicher als Blei. Hierfür ist es zweckmäßig, das Messer mit Petroleum zu benetzen, um die Luft abzuhalten. Wir erblicken dann eine weißgraue metallische Fläche. Trocknen wir sie mit Fließpapier ab, so verliert sie schnell den metallischen Glanz, das Natrium hat eine so große Neigung, sich mit Sauerstoff zu verbinden, daß es sich bei der Berührung mit der Luft sogleich mit einer dünnen glanzlosen Oxydschicht überzieht. — Am merkwürdigsten ist aber sein Verhalten zu Wasser. Ich schneide ein Stück etwa von der Größe einer Erbse ab, trockne es mit Fließpapier und werfe es in Wasser. Da zeigt sich zunächst, daß es, im Gegensatz zu anderen Metallen, auf dem Wasser schwimmt. Es ist also ein sehr leichtes Metall, dessen Dichte kleiner ist als die des Wassers. Dann sehen wir, daß es sogleich zu einer Kugel schmilzt, es spielt sich also ein Vorgang ab, welcher Wärme entwickelt. Die Natriumkugel fährt mit einem zischenden Geräusch auf der Oberfläche des Wassers hin und her, und in der Nähe bemerkt man, daß von ihr Gasblasen ausgehen. Wir können dieses Gas in einem mit Wasser gefüllten Zylinder auffangen und uns überzeugen, daß es nichts anderes ist als Wasserstoff. — Um die Wärmeentwicklung noch deutlicher wahrnehmbar zu machen, wende ich einen kleinen Kunstgriff an, durch den ich das Hin- und Herfahren verhindere: ich lege auf die Oberfläche des Wassers ein rundes Papierfilter und auf dieses ein Stückchen Natrium. Gleich schmilzt es wieder zu einer Kugel, aber im nächsten Augenblick fängt es Feuer und scheint mit einer gelben, hell leuchtenden Flamme zu brennen. In Wahrheit brennt aber nicht das Natrium, sondern der entwickelte Wasserstoff. Die gelbe Farbe seiner Flamme rührt von sehr kleinen Mengen Natriumdampfes her, die sich dem brennenden Wasserstoff beimischen. — Werfe ich nacheinander mehrere Natriumstückchen auf Wasser, so sehen wir, wie sie allmählich kleiner werden und sich schließlich ganz in Wasser auflösen. Das Wasser hat dadurch etwas abweichende Eigenschaften angenommen: es macht die Haut schlüpfrig, schmeckt laugenhaft und verhält sich gegen Säure genau so, wie wir es an der Natronlauge beobachtet haben: es färbt die durch Säure gerötete Lackmuslösung blau. In der Tat ist die durch Einwirkung von Natrium auf Wasser erhaltene Lösung nichts anderes als die durch Auflösen von Ätznatron in Wasser entstehende Natronlauge. Würde

ich das Wasser durch Verdampfen entfernen, so würde das in ihm gelöste Ätznatron zurückbleiben. Der Vorgang aber, durch den wir es erhalten haben, vollzieht sich im Sinne der folgenden Gleichung, in der wir das Atom des Natriums durch das Zeichen Na ausdrücken:



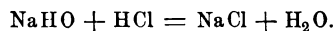
Wie wir sehen, ersetzt das Natrium die Hälfte des im Wasser enthaltenen Wasserstoffs und bildet eine Verbindung, welche aus je einem Atom Natrium, Wasserstoff und Sauerstoff besteht. Demnach nennt man das Ätznatron auch Natriumhydroxyd; in entsprechender Weise heißt der Körper CaH_2O_2 Calciumhydroxyd. — Es gibt noch einige Metalle, welche dem Natrium in ihrem chemischen Verhalten nahestehen, man faßt sie zusammen unter dem Namen Alkalimetalle; eins von ihnen, das Kalium, wird uns später noch beschäftigen.

Ehe wir die uns eben beschäftigenden Vorgänge weiter verfolgen, möchte ich aber noch darauf hinweisen, daß man beim Arbeiten mit Natrium recht vorsichtig sein, jede unbeabsichtigte Berührung mit Wasser vermeiden muß, und es vor allem nicht mit feuchten oder gar nassen Fingern berühren darf.

Wie Schwefelsäure, Kohlensäure, Phosphorsäure, so sind auch Natrium- und Calciumhydroxyd Vertreter einer zahlreichen Klasse chemischer Verbindungen. Man hat sie unter dem gemeinsamen Namen Basen zusammengefaßt; jede einzelne von ihnen heißt eine Basis. Kommt eine Säure und eine Basis zusammen, so heben sie sich in ihren Wirkungen gegenseitig auf oder, wie man in der Chemie sagt: sie neutralisieren sich. Sie verschwinden also als solche. Aber da wir wissen, daß nach dem Gesetz der Erhaltung des Stoffes dieses Verschwinden kein spurloses sein kann, so drängt sich von selbst die Frage auf: was ist aus ihnen geworden? Diese Frage will ich durch einen Versuch beantworten. Ich habe hier eine sehr starke Natronlauge, also eine Auflösung von Natriumhydroxyd in Wasser. Und hier habe ich eine ebenfalls sehr starke Lösung einer Säure, mit der wir bisher noch nicht zu tun hatten, sie heißt Salzsäure, weil sie aus Salz gewonnen wird; da diese Lösung an der Luft raucht, so bezeichnet man sie auch wohl, im Gegensatz zu einer weniger starken Lösung, als rauchende Salzsäure. Wie die Schwefelsäure, so ist auch die Salzsäure eine außerordentlich starke Säure, welche blaue Lack-

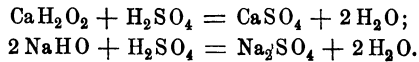
muslösung selbst in stärkster Verdünnung lebhaft rot färbt. — Gieße ich die beiden Flüssigkeiten zusammen, so beobachten wir eine sehr heftige Wirkung: die Mischung kommt ins Kochen, es erfolgt also eine lebhafte Wärmeentwicklung. Um Ihnen diese noch deutlicher sichtbar zu machen, benutze ich dasselbe Ätherröhrchen, das uns schon zum Nachweis der beim Vermischen von Wasser und Schwefelsäure entwickelten Wärme gedient hat. Ich habe nun ein Becherglas etwa zu einem Drittel mit meiner starken Natronlauge gefüllt, stelle mein Reagenzglas mit Äther hinein und bringe an dessen Mündung eine Bunsenflamme. Nun gieße ich etwas rauchende Salzsäure dazu, und sogleich schießt eine mächtig lange Ätherflamme aus der Röhre hervor; ich kann diese Wirkung noch unterstützen, indem ich den Inhalt des Glases mit der Ätherröhre umrühre. — Füge ich nun eine größere Menge rauchender Salzsäure hinzu, so geschieht noch etwas anderes: die ursprünglich wasserklare Flüssigkeit trübt sich durch Ausscheidung eines weißen pulverigen Körpers. Ich fahre mit dem Zugeben der Salzsäure so lange fort, als sich dieser „Niederschlag“ noch sichtbar vermehrt, dann bringe ich den Inhalt des Glases auf ein Filter und sauge die Flüssigkeit durch eine von der Wasserleitung betriebene Wasserstrahlpumpe ab. Der Niederschlag bleibt auf dem Filter, aber er ist noch durchtränkt von der überschüssig zugesetzten Salzsäure. Um diese zu entfernen, wasche ich ihn auf dem Filter an der Pumpe mehrmals mit Alkohol — Wasser darf ich nicht nehmen, da dieses den Niederschlag auflösen würde — und schließlich mit Äther, worauf ich ihn auf einem porösen Tonteller ausbreite und ihn an der Luft liegen lasse, bis der Äther verdunstet ist. Wir überzeugen uns dann durch den Geschmack, daß der Körper nichts anderes ist als gewöhnliches Salz! Das haben wir also künstlich aus Natronlauge und Salzsäure dargestellt.

Um den Vorgang durch eine Gleichung wiederzugeben, müssen wir die Zusammensetzung der Salzsäure kennen. Die ist eine sehr einfache: die Salzsäure besteht aus einem Atom Wasserstoff und einem Atom eines Elements, das wir später kennenlernen werden, und das den Namen Chlor erhalten hat. Sein Atomzeichen ist Cl, die Formel der Salzsäure also HCl, und die Gleichung der künstlichen Salzbildung:



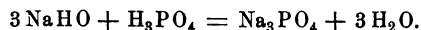
NaCl ist also die Formel des gewöhnlichen Salzes; sein wissenschaftlicher Name ist dementsprechend Chlornatrium.

Ähnliches ereignet sich jedesmal, wenn eine Säure und eine Basis sich neutralisieren. Die Neutralisation von Calcium- und Natriumhydroxyd durch Schwefelsäure erfolgt im Sinne der Gleichungen:



Die dabei entstehenden Körper haben alle eine gewisse Familienähnlichkeit mit dem gewöhnlichen Salz, sie werden deshalb allgemein als Salze bezeichnet, und dieses Wort hat also in der Chemie eine umfassendere Bedeutung als im täglichen Leben. Das gewöhnliche Salz nennt man deshalb zum Unterschied von anderen Salzen auch Kochsalz. Aus Schwefelsäure und Natriumhydroxyd entsteht das bekannte Glaubersalz, aus Schwefelsäure und Calciumhydroxyd der Gips. Will man die Zusammensetzung dieser Salze in ihrem Namen ausdrücken, so bezeichnet man sie als schwefelsaures Natrium und schwefelsaures Calcium.

Die aufgestellten Gleichungen lehren uns aber noch etwas anderes. Vergleichen wir die Formeln der Salzsäure und der Schwefelsäure mit denen ihrer Salze, so erscheinen die Salze als Säuren, deren Wasserstoff durch Metall ersetzt ist. Und weiter zeigt sich, daß die Salzsäure ein solches durch Metall ersetzbares Wasserstoffatom enthält, die Schwefelsäure aber zwei. — Die Phosphorsäure hat die Formel H_3PO_4 ; ihre Neutralisation durch Natriumhydroxyd erfolgt im Sinne der Gleichung



Man nennt in der Chemie die Menge eines Körpers, die durch seine Formel dargestellt wird, ein Molekül oder eine Molekel, aus dem lateinischen *molecula*, eine kleine Masse. Wir sehen, daß eine Molekel Salzsäure zu ihrer Neutralisation eine Molekel Natriumhydroxyd gebraucht: eine Molekel Schwefelsäure zwei und eine Molekel Phosphorsäure drei. Man unterscheidet deshalb die Säuren als ein-, zwei- und dreibasische Säuren. Die Salzsäure, HCl, ist eine einbasische, Schwefelsäure, H_2SO_4 , eine zweibasische, Phosphorsäure, H_3PO_4 , eine dreibasische Säure. Es gibt auch mehr als dreibasische Säuren. — Die Basizität einer Säure wird bestimmt durch die Anzahl ihrer durch Metall ersetz-

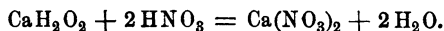
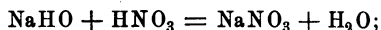
baren Wasserstoffatome. Aber nicht immer sind alle in einer Säure enthaltenen Wasserstoffatome des Austauschs gegen Metalle fähig. So ist die Essigsäure, $C_2H_4O_2$, welche den sauren Bestandteil des Essigs ausmacht, trotz ihrer vier Wasserstoffatome eine einbasische Säure, ihr Natriumsalz hat die Formel $C_2H_3O_2Na$. Wir werden später noch viel auffallendere Beispiele solcher Art kennenlernen.

Schwefelsäure und Phosphorsäure sind Sauerstoffverbindungen, und es gab eine Zeit, da glaubte man, daß es ohne Sauerstoff keine Säuren gibt. Davon erhielt der Sauerstoff seinen Namen. Auch die Ihnen vielleicht als Scheidewasser bekannte Salpetersäure, HNO_3 , ist eine solche Sauerstoffsäure. Aber die Salzsäure zeigt, daß es auch sauerstofffreie Säuren gibt, worüber seit hundert Jahren kein Zweifel mehr besteht.

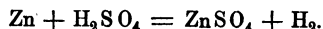
Wie die obigen Gleichungen erkennen lassen, entsteht bei der Neutralisation einer Säure und einer Base außer dem Salz auch noch Wasser; aus einer einbasischen Säure eine Molekel, aus einer zweibasischen Säure zwei, aus einer dreibasischen drei. — Endlich zeigt uns der Vergleich des schwefelsauren Natriums, Na_2SO_4 , und des schwefelsauren Calciums, $CaSO_4$, daß zwischen Natrium und Calcium hinsichtlich der Salzbildung ein Unterschied besteht: das Natriumatom ersetzt je ein Wasserstoffatom einer Säure, das Calciumatom aber zwei. Man sagt deshalb: Natrium ist ein einwertiges, Calcium ein zweiwertiges Element. Man kennt noch andere ein- und zwei-, auch drei-, vier- und mehrwertige Elemente.

Da die mehrbasischen Säuren mehrere ersetzbare Wasserstoffatome enthalten, so kann bei ihnen die Salzbildung stufenweise erfolgen. Die zweibasische Schwefelsäure bildet mit Natrium zwei Salze, $NaHSO_4$ und Na_2SO_4 . Das erste enthält noch ein ersetzbares Wasserstoffatom, es ist daher eine einbasische Säure und färbt, wie wir sehen, die blaue Lackmuslösung lebhaft rot; man nennt es daher saures schwefelsaures Natrium. In dem Salz Na_2SO_4 sind die sauren Eigenschaften der Schwefelsäure vollkommen aufgehoben, es ist ohne Wirkung auf Lackmus, man kann es zum Unterschied von dem ersten neutrales schwefelsaures Natrium nennen. — Die dreibasische Phosphorsäure bildet mit Natrium die drei Salze NaH_2PO_4 , Na_2HPO_4 und Na_3PO_4 .

Entsprechend den ein- und mehrbasischen Säuren unterscheidet man auch ein- und mehrsaurige Basen. Natriumhydroxyd ist eine einsaurige, Calciumhydroxyd eine zweisaurige Basis; ihre Neutralisation mit der einbasischen Salpetersäure erfolgt im Sinne der Gleichungen:



Die Bildung von Salzen kann aber auch noch auf andere Weise erfolgen als durch Neutralisation von Säuren und Basen, und es sind uns solche Fälle auch schon vorgekommen. Der eine war die Entwicklung von Wasserstoff mittels Zink und verdünnter Schwefelsäure. Er vollzieht sich im Sinne der folgenden Gleichung, in welcher Zn das Atomzeichen des Zinks darstellt:



Das dabei entstehende Salz ist schwefelsaures Zink oder Zinkvitriol. Seine Formel ZnSO_4 zeigt uns, daß Zink, wie Calcium, ein zweiwertiges Metall ist. — Da haben wir einen direkten Ersatz des Wasserstoffs einer Säure durch ein Metall. Eines solchen sind aber durchaus nicht alle Metalle fähig. So entwickeln Kupfer, Blei, Quecksilber und die edlen Metalle mit verdünnten Säuren keinen Wasserstoff; sie werden von ihnen unter Umständen, wie wir sie beim Zink beobachtet haben, gar nicht angegriffen. — Ein anderer Weg der Salzbildung war die Darstellung der Kohlensäure durch Einwirkung von Salzsäure auf Marmor, welcher aus kohlensaurem Calcium, CaCO_3 besteht. Die Gleichung dieses Prozesses ist



Außer Kohlensäure und Wasser bildet sich dabei Chlorcalcium, CaCl_2 , dasselbe, das wir in fester Form zum Trocknen des Wasserstoffgases benutzt haben. — Zugleich zeigt uns die Gleichung, daß das zweiwertige Calciumatom für die Bildung eines neutralen Salzes von der einbasischen Salzsäure zwei Molekeln erfordert.

Man hat für die Salze, neben den bisher gebrauchten Ausdrücken, noch eine andere Bezeichnung. Die schwefelsauren Salze werden auch Sulfate genannt (von sulfur, Schwefel), die schwefligsauren Sulfite, die salpetersauren Nitrate (von nitrum, Salpeter),

die kohlensuren Carbonate (von carbo, Kohle) usw. Danach heißt z. B. das salpetersaure Natrium, NaNO_3 , auch Natriumnitrat, das schwefelsaure Calcium, CaSO_4 , Calciumsulfat, das kohlensaure Calcium, CaCO_3 , auch Calciumcarbonat.

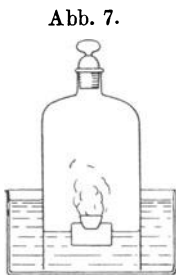
Die meisten Salze sind in Wasser mehr oder weniger leicht löslich, was z. B. bei Kochsalz und Salpeter allgemein bekannt ist; andere, wie der Gips, sind schwer löslich, und noch andere so gut wie unlöslich, wofür wir später Beispiele kennenlernen werden. Die Löslichkeit eines Stoffes ist aber nicht unter allen Umständen die gleiche, sie wird vor allem durch die Temperatur beeinflusst, und zwar nimmt sie meist mit steigender Temperatur zu. Beim Salpeter, KNO_3 , ist dieser Einfluß besonders stark. In dieser Kochflasche befindet sich etwas Salpeter und darüber eine kalt gesättigte Lösung dieses Salzes, die davon so viel enthält, als sie bei gewöhnlicher Temperatur aufnehmen kann. Erwärme ich sie zum Kochen, so wird der am Boden befindliche Salpeter gelöst; nun kühle ich sie durch von außen darüber fließendes kaltes Wasser schnell ab, und wie wir sehen, scheidet sich der in der Hitze gelöste Salpeter wieder aus. Lasse ich die Abkühlung sich langsam von selbst vollziehen, wie ich es mit dem Inhalt dieser zweiten Flasche getan habe, so erfolgt die Ausscheidung in größeren, wohl ausgebildeten säulenförmigen Kristallen. — Beim Kochsalz, NaCl , ist der Einfluß der Temperatur viel geringer, so daß seine heiß gesättigte Lösung beim Erkalten nur wenig davon ausscheidet. — Die Kristallisation ist für den Chemiker ein ausgezeichnetes Mittel, um Stoffe von fremden Beimengungen zu befreien. Wird roher, unreiner Salpeter in der Weise „umkristallisiert“, wie wir es eben beobachtet haben, so bleibt der größte Teil der Verunreinigungen in der „Mutterlauge“ und wenn man nötigenfalls die Operation wiederholt, so erhält man schließlich ein reines Produkt.

Die Kristallisation aus wässriger Lösung ist zuweilen noch mit einer anderen Erscheinung verbunden, insofern unter Umständen der kristallisierende Körper eine Verbindung mit Wasser eingeht. In diesem eigenartig geformten Glasgefäß, das man eine Retorte nennt, habe ich etwas Glaubersalz, das ist eine solche kristallisierte Verbindung von neutralem schwefelsaurem Natrium mit Wasser. Erhitze ich sie, so schmilzt sie zunächst, bei weiterem Erwärmen gehen unter der Erscheinung des Kochens Wasser-

dämpfe über, die sich in einem vorgelegten Kölbchen zu flüssigem Wasser verdichten. Sobald alles Wasser übergegangen ist, wird der Inhalt der Retorte wieder fest und bleibt es auch bei längerem Erwärmen. Das kristallisierte wasserhaltige Glaubersalz hat die Formel $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. — Ich mache nun einen entsprechenden Versuch mit dem Kupfervitriol, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Wie wir sehen, bildet er schön blaue Kristalle. Beim Erhitzen gibt er, ebenso wie Glaubersalz, das in ihm enthaltene Wasser ab, aber er schmilzt nicht; dabei verliert er die blaue Farbe, und die Kristalle zerfallen zu einem schwach rötlich weißen Pulver. Bringe ich nach dem Erkalten etwas Wasser dazu, so erfolgt wieder chemische Bindung, was daran zu erkennen ist, daß die blaue Farbe wieder erscheint. — Das auf solche Weise in den Kristallen enthaltene Wasser nennt man Kristallwasser. Es wird allgemein bei höherer Temperatur ausgetrieben. Der Gips ist wasserhaltiges schwefelsaures Calcium, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Beim Brennen verliert er das Kristallwasser je nach der angewandten Temperatur ganz oder teilweise. Rührt man den gebrannten Gips mit Wasser an, so bindet er dieses wieder, und darauf beruht der Vorgang des Erhärtens. — Übrigens sind die Kristallisation und die Bindung des Lösungsmittels nicht auf Salze und Wasser beschränkt, vielmehr zeigen sie sich auch bei vielen anderen Körpern.

Die atmosphärische Luft.

Die Erfahrung, daß die Verbrennung in gewöhnlicher Luft zwar mit geringerer Lebhaftigkeit vor sich geht, als die Verbrennung im Sauerstoff, daß sie aber dieselben Produkte liefert wie diese, hatte uns schon zu dem Schlusse geführt, daß die Luft Sauerstoff enthält, daneben aber noch ein anderes Gas, welches die Verbrennung nicht unterhält und daher die Wirkung des Sauerstoffs abschwächt. Wir wollen nun suchen, diesen vermuteten Begleiter des Sauerstoffs aus der Luft zu isolieren. Zu diesem Zwecke bringe ich einen leicht brennbaren Körper in einen abgeschlossenen Luftraum und entzünde ihn. Durch seine Verbrennung wird der in der Luft enthaltene Sauerstoff verbraucht und der andere Bestandteil der Luft wird zurückbleiben. In dieses Porzellanschälchen bringe ich einige Stücke abgetrockneten Phosphor, setze das Schälchen auf einen Korkschwimmer und diesen auf die Oberfläche des in einer größeren Glasschale befindlichen Wassers. Darüber stülpe ich eine Glasglocke, welche oben einen Tubulus trägt, das ist eine Art Flaschenhals, den ich



durch einen eingeschliffenen und gut gefetteten Glasstöpsel verschließen kann (Abb. 7). Augenblicklich ist er offen, infolgedessen dringt Wasser aus der Schale in die Glocke, so daß es außen und innen gleich hoch steht. Durch einen eingetauchten brennenden Holzspan überzeugen wir uns, daß die Glocke gewöhnliche Luft enthält: er brennt darin genau so, wie in der äußeren Luft. Ich ziehe ihn aber sogleich wieder heraus und entzünde den Phosphor mittels eines heißen Drahtes, worauf ich schnell die Glocke verschließe. Der Phosphor verbrennt nun unter Bildung der uns bekannten weißen Nebel von Phosphorpentoxyd. Durch die entwickelte Wärme dehnt sich die Luft in der Glocke aus und drängt einen Teil

des in sie eingedrungenen Wasser heraus. Bald aber ist die Verbrennung beendet, die Luft kühlt sich wieder ab, sie zieht sich daher zusammen und das ausgetretene Wasser tritt wieder ein. Aber es bleibt nun nicht bei dem vorigen Stande stehen, sondern steigt allmählich noch höher. Wenn es nicht mehr steigt, ist ungefähr ein Fünftel der ursprünglich in der Glocke enthaltenen Luft verschwunden. Inzwischen hat sich das durch die Verbrennung gebildete Phosphorpenoxyd im Wasser gelöst, und die Luft in der Glocke ist wieder klar geworden. Diese übrig gebliebenen vier Fünftel sind aber nicht mehr gewöhnliche Luft: öffne ich die Glocke durch Herausziehen des Stöpsels und tauche nun einen brennenden Span ein, so verlöscht er. Da haben wir also den zweiten Bestandteil der Luft, der die Verbrennung nicht unterhält. Man nennt ihn Stickstoff, weil er, ebenso wie die Verbrennung, auch die Atmung nicht unterhält, und infolgedessen Tiere darin ersticken. Die Bezeichnung ist aber nicht korrekt, denn das Ersticken geschieht nicht durch Einatmen des Stickstoffs, sondern durch Mangel an Sauerstoff. Wäre der Stickstoff die Todesursache, so wäre das Leben in der Luft, welche ja, wie wir eben festgestellt haben, zu nicht weniger als vier Fünfteln aus Stickstoff besteht, nicht möglich. — Genauer ist die Zusammensetzung der Luft: 21 Raumteile Sauerstoff und 79 Raumteile Stickstoff. Und ferner haben neuere Untersuchungen gezeigt, daß der nach Entfernung des Sauerstoffs bleibende Gasrest außer Stickstoff noch kleine Mengen anderer Gase enthält, die dem Stickstoff sehr ähnlich sind und deren Anwesenheiten in der Luft man deshalb lange übersehen hatte. Es wird später davon noch die Rede sein. Außerdem enthält die Luft in einem Kubikmeter (= 1000 Liter) 0,3 bis 0,4 Liter Kohlensäure und wechselnde Mengen Wasserdampf.

Die atmosphärische Luft umgibt unsere Erdkugel als eine Dunsthülle, deren Dichte mit der Entfernung von der Oberfläche der Erde allmählich abnimmt. Man merkt das bei der Besteigung hoher Berge und bei Luftfahrten, wo in großen Höhen infolge der Luftverdünnung Bergkrankheit und andere körperliche Beschwerden auftreten können. Den Weltenraum haben wir uns als luftleer zu denken.

Die Eigenschaften der Luft sind wohl im allgemeinen bekannt. Sie ist ein farbloses, geruch- und geschmackloses Gas,

das im Wasser nur wenig löslich ist. Von ihren beiden Bestandteilen Sauerstoff und Stickstoff glaubte man früher, daß sie sich auch durch die höchsten Drucke nicht verflüssigen lassen, und bezeichnete sie deshalb, wie auch den Wasserstoff, als permanente Gase. Aber seit dem Jahre 1877 wissen wir, daß die Verdichtung möglich ist, vorausgesetzt, daß man eine genügend niedrigere Temperatur anwendet. Es hat sich gezeigt, daß es für jedes Gas eine bestimmte Temperatur gibt, oberhalb deren es in der Tat permanent ist, d. h. sich durch keinen noch so starken Druck zu einer Flüssigkeit verdichten läßt. Kühlt man das Gas aber unter diese Temperaturgrenze ab, so gelingt die Verdichtung meist schon durch einen mäßigen Druck. Man nennt diese für jedes Gas oder Dampf charakteristische Temperatur seine kritische Temperatur; den Druck, der bei dieser Temperatur zu seiner Verflüssigung erforderlich ist, seinen kritischen Druck. Werden die verflüssigten Gase unter gewöhnlichen Luftdruck gebracht, so kommen sie ins Sieden, und ein jedes von ihnen hat, ebenso wie das Wasser, einen bestimmten Siedepunkt. In neuerer Zeit ist es auch gelungen, die „permanenten Gase“ zum Erstarren zu bringen, was ebenfalls, wie beim Wasser, bei einer ganz bestimmten Temperatur stattfindet. In der folgenden kleinen Tabelle habe ich für die uns bisher bekannt gewordenen Gase und das Wasser die betreffenden Zahlen zusammengestellt.

	Kritische Temperatur ° C	Kritischer Druck Atm.	Siedepunkt ° C	Erstarrungs- punkt ° C
Wasserstoff	— 240	12,8	— 252,8	— 259
Stickstoff	— 147	33,5	— 195,8	— 210
Sauerstoff	— 118,8	49,7	— 182,9	— 218,4
Kohlensäure	+ 31	75	— 80	— 56
Schwefeldioxyd	+ 157	79	— 8	— 73
Wasser	+ 365	200	+ 100	0

Im Jahre 1895 hat unser Landsmann Carl Linde ein Verfahren zur industriellen Herstellung flüssiger Luft ausgearbeitet, welches für wissenschaftliche und technische Zwecke von großer Bedeutung geworden ist. Hier haben wir ein doppelwandiges Gefäß, das zu etwa zwei Dritteln mit flüssiger Luft gefüllt ist.

Der Zwischenraum zwischen den beiden Gefäßen ist luftleer gepumpt, um den Zutritt der Wärme von außen möglichst abzuhalten. Infolgedessen kann man die Luft in einem solchen Gefäße zwar nicht unbegrenzt, aber doch für einige Zeit flüssig erhalten. Beim Einfüllen fängt sie natürlich an zu kochen, aber sobald das Gefäß unter den Siedepunkt des Stickstoffs abgekühlt ist, hört das Sieden auf. An seine Stelle tritt ein langsames Verdunsten, welches eine weitere Abkühlung zur Folge hat. Wie Sie bemerken, ist das Gefäß oben offen; es darf auch für die Aufbewahrung und etwaige Versendung nicht verschlossen werden, da sich darin schließlich ein Druck von etwa 750 Atmosphären entwickeln könnte, dem ein solches Gefäß nicht gewachsen wäre.

Da der Stickstoff, worauf sein niederer Siedepunkt hindeutet, schneller verdampft als der Sauerstoff, so ändert sich allmählich die Zusammensetzung der Flüssigkeit: sie wird stickstoffärmer und daher sauerstoffreicher.

Um nun die Eigenschaften dieser flüssigen Luft kennenzulernen, haben wir hier mehrere kleinere sogenannte Dewarsche Gefäße. Sie bestehen aus Glas, sind wie das große Vorratsgefäß doppelwandig, und der äußere Mantelraum ist luftleer gemacht. Mittels eines kleinen Kautschukgebläses drücke ich etwas flüssige Luft in ein solches Dewarsches Gefäß. Sie kocht darin und es erheben sich Wolken. Diese Erscheinung ist uns schon von der flüssigen Kohlensäure her bekannt, sie rührt von dem in der Luft enthaltenen Wasserdampf her, welcher durch die Abkühlung in der Umgebung zu Nebel verdichtet wird. — Allmählig hört das Sieden in dem Dewargefäß auf und nun sehen wir, daß der Inhalt eine klare durchsichtige Flüssigkeit ist wie Wasser, nur hat sie eine schwach blaue Farbe; diese rührt vom Sauerstoff her. Nun gieße ich etwas flüssige Luft in ein größeres mit Wasser gefülltes Glas. Durch die Berührung mit dem vergleichsweise warmen Wasser kommt sie sofort ins Sieden, und gleichzeitig bilden sich in der äußeren Luft wieder gewaltige Nebel. Ferner beobachten wir, daß die flüssige Luft sich mit dem Wasser nicht mischt und darin untersinkt, sie ist also spezifisch schwerer als dieses. Aber auch unter dem Wasser kocht sie weiter, die aufsteigenden Gasblasen treiben die Flüssigkeit an die Oberfläche. Dann sinkt sie wieder unter, steigt wieder in die Höhe, und so

geht es auf und ab, bis alles verdampft ist. — Wir können nun die flüssige Luft benutzen, um den Einfluß ihrer niederen Temperatur auf die Eigenschaften der Körper kennenzulernen. Hier habe ich ein Stück Kautschukschlauch, das die bekannten Eigenschaften der Dehnbarkeit und Elastizität in ausgezeichneter Weise besitzt, wie wir uns leicht überzeugen können. Nun tauche ich sein unteres Ende in flüssige Luft, welche durch die Berührung mit dem viel wärmeren Schlauche wieder ins Kochen kommt. Ich lasse ihn so lange darin, bis nach kurzer Zeit das Kochen aufgehört hat, woraus wir schließen, daß er die Temperatur der flüssigen Luft angenommen hat. Ziehe ich ihn nun heraus und klopfe mit dem unteren kalten Ende gegen das Dewargefäß, so klingt es, als hätte ich mit einem eisernen oder hölzernen Stabe dagegen geschlagen. Lege ich ihn auf den Tisch und führe mit einem Hammer ein paar kräftige Schläge gegen das untere Ende, so zerspringt es in einzelne Stücke; der Kautschuk ist also bei der niederen Temperatur ein spröder Körper geworden. Lassen wir die Splitter auf den Tische liegen, so nehmen sie bald die Temperatur der Umgebung an und sind dann wieder ebenso dehnbar und biegsam wie vorher. — Nun leite ich in mein Dewargefäß von oben Kohlensäuregas. Durch die Berührung mit der flüssigen Luft wird es sofort fest und schwimmt darin als ein weißer Niederschlag. Durch Filtration kann ich diesen von der Flüssigkeit trennen; dazu darf ich aber keinen Glastrichter benutzen, weil ein solcher infolge der plötzlichen sehr heftigen Abkühlung zerspringen würde. Ich nehme also einen Blechtrichter, den ich in ein zweites Dewargefäß hänge und lege ein Faltenfilter darauf. Gieße ich die Flüssigkeit auf dieses Filter, so läuft sie klar hindurch; die feste Kohlensäure bleibt auf dem Filter, verschwindet aber natürlich sehr bald durch Verdunstung.

Jetzt hänge ich ein etwas weites, leeres Reagenzrohr mittels einer Drahtschlinge in ein Dewargefäß mit flüssiger Luft und leite Acetylgas hinein, das ich aus Calciumcarbid und Wasser entwickle, wie es heute jedem Radfahrer geläufig ist. Das Gas erstarrt darin zu einer weißen, schneeähnlichen Masse. Aber dieser Schnee ist brennbar. Schütte ich ihn in eine Porzellanschale und nähere einen brennenden Span, so entzündet er sich und brennt mit leuchtender und rußender Flamme.

Die flüssige Luft ist trotz ihrer niederen Temperatur ein sehr kräftiges Oxydationsmittel, das die Verbrennung mit äußerster Heftigkeit unterhält. Dies rührt daher, daß der Sauerstoff sich in ihr in einem viel dichteren Zustande befindet wie als Gas. Ich gieße etwas flüssige Luft in ein gewöhnliches einfachwandiges Becherglas und tauche einen glimmenden Holzspan in die Flüssigkeit. Sogleich entzündet er sich und verbrennt in wenigen Augenblicken mit einer fast weißen, hell leuchtenden Flamme.

Hier habe ich eine Porzellanschale von etwa einem halben Liter Inhalt. Sie ist mit Holzwolle ungefähr bis zum Rande gefüllt, ich stelle sie auf einen Porzellanteller, gieße flüssige Luft darauf und berühre die Holzwolle einen Augenblick mit einem brennenden Span. Sogleich bildet sich eine riesige, etwa einen Meter hohe Flamme, und in wenigen Augenblicken ist unter zischendem Geräusch das ganze Bündel Holzwolle verbrannt. — Auf dieser außerordentlichen Fähigkeit die Verbrennung zu unterhalten beruht die noch heute wichtigste praktische Anwendung der flüssigen Luft als Sprengmittel. Man füllt eine Baumwollhülse mit Kohlenpulver, taucht sie in flüssige Luft, welche den Inhalt durchdringt, bringt sie in das Bohrloch und zündet. Die Wirkung beruht auf der plötzlichen Verbrennung der Kohle zu gasförmiger Kohlensäure, die sich durch die dabei entwickelte Wärme bedeutend ausdehnt und sich einen gewaltsamen Ausweg erzwingt. Für diesen Zweck ist es noch vorteilhafter, statt der flüssigen Luft reinen flüssigen Sauerstoff zu verwenden. Um ihn zu erhalten, macht man sich den Umstand zunutze, daß er sich leichter verdichtet als Stickstoff. Die Eigenschaft der flüssigen Luft und des flüssigen Sauerstoffs sich ziemlich rasch zu verflüchtigen bedingt es, daß man die damit beschickten Sprengpatronen nicht aufbewahren oder versenden kann, sondern sie in kürzester Zeit und an Ort und Stelle verwenden muß. Das ist eine gewisse Unbequemlichkeit; es hat aber gegenüber anderen Sprengstoffen den Vorteil, daß dieses Sprengmittel nicht leicht zu verbrecherischen Zwecken mißbraucht werden kann.

Die Verflüssigung des Sauerstoffs bietet auch ein Mittel ihn vom Stickstoff der Luft zu trennen um ihn für andere Zwecke zu verwenden. Auf diese Weise werden jetzt beträchtliche

Mengen von Sauerstoff gewonnen, welche wieder vergast und unter Druck in Stahlzylinder gefüllt werden, um der autogenen Schweißung und ähnlichen Zwecken zu dienen. Auch der vom Sauerstoff getrennte Stickstoff kann für sich verwertet werden, worauf ich noch zurückkommen werde.

Wie wir sahen, enthält die atmosphärische Luft der Hauptsache nach in 100 Raumteilen 21 Raumteile Sauerstoff und 79 Raumteile Stickstoff. Dieses Verhältnis hat sich durch zahlreiche Luftanalysen als nahezu unveränderlich erwiesen. Für die freie Luft erscheint das, nach dem was wir über die Wechselwirkung zwischen Tier- und Pflanzenwelt schon festgestellt haben, wohl verständlich. Wie aber mag es damit in geschlossenen Räumen stehen, in denen sich viele Menschen aufhalten und vielleicht noch offene Lampen- oder Kerzenflammen brennen, wodurch der Sauerstoff der Luft verbraucht wird? Hier habe ich dieselbe Glasglocke mit Tubulus, die wir früher benutzt haben, um den Stickstoff der Luft durch brennenden Phosphor vom Sauerstoff zu trennen (Abb. 8). Ich tauche sie wieder bei

Abb. 8.



offenem Tubulus in eine Glasschale mit Wasser, so daß dieses außen und innen gleich hoch steht. In der Glocke befindet sich über dem Wasser gewöhnliche Luft, wie wir uns durch Eintauchen eines brennenden Spans überzeugen. Nun verschließe ich den Tubulus mittels eines durchbohrten Kork- oder Kautschukstöpsels, durch den ein kurzes, rechtwinklig gebogenes, mit einem Kautschukschlauch versehenes Glasrohr gesteckt ist.

Durch Saugen an dem Schlauche ziehe ich die Luft aus der Glocke, welche sich infolgedessen mit Wasser füllt. Darauf lasse ich meine Ausatemluft in die Glocke treten, bis das Wasser innen und außen wieder gleich hoch steht. Ziehe ich nun den Stöpsel heraus und tauche sogleich einen brennenden Span ein, so verlöscht er. Die ausgeatmete Luft unterhält also die Verbrennung nicht, sie würde auch die Atmung eines kleinen in die Glocke gebrachten Tieres nicht unterhalten. Das ist in der Tat eine

Folge des Sauerstoffmangels. — Hier habe ich eine andere tubulierte Glocke, die unten einen abgeschliffenen Rand hat, mit dem sie auf einer gleichfalls abgeschliffenen Glasplatte ruht. Unter der Glocke steht ein Stück von einer Kerze, das ich anzünde, worauf ich den Tubulus mit einem Stöpsel verschließe. Anfangs brennt die Kerze wie in der freien Luft, allmählich aber wird die Flamme kleiner und schließlich verlöscht sie. Ich wiederhole nun den Versuch, nachdem ich die Glocke durch Umschwenken mit frischer Luft gefüllt habe. Diesmal aber lasse ich, sobald die Flamme zu verlöschen droht, durch den geöffneten Tubulus vorsichtig Sauerstoff eintreten, worauf sich die Flamme schnell wieder erholt und nun mit hellerem Lichte brennt als vorher. So kann man unter Umständen das Leben eines mit Atemnot kämpfenden Menschen durch Einatmenlassen von Sauerstoff retten.

Gestützt auf solche Erfahrung war man früher der Meinung, die Entstehung „verdorbener Luft“ in geschlossenen Räumen sei durch Sauerstoffmangel verursacht. Häufig ausgeführte Analysen der Luft in stark besuchten Theatern oder Konzertsälen haben aber gezeigt, daß in diesen zwar der Kohlensäuregehalt vermehrt, das Verhältnis von Sauerstoff und Stickstoff aber dasselbe ist wie in freier Luft. Diese zunächst unverständliche Erscheinung ist durch Max v. Pettenkofer, den Begründer der öffentlichen Gesundheitslehre, aufgeklärt worden. Er zeigte, daß auch in scheinbar geschlossenen Räumen ein steter Zusammenhang zwischen der äußeren und inneren Luft besteht. Er wird dadurch bewirkt, daß unsere Türen und Fenster nicht luftdicht schließen, dann aber weiter, daß die Mauern der Häuser stets mehr oder weniger porös sind. Diese Tatsache führte er durch einen hübschen Versuch vor Augen, den ich ihm nachmachen will. Wir haben hier einen Ziegelstein, dessen Oberfläche bis auf zwei kleine einander gegenüberstehende Stellen mit einem für Luft undurchlässigen Lack überzogen ist. Bringe ich nun vor die eine dieser freigebliebenen Stellen eine Kerzenflamme und richte ich auf die andere mittels eines Blasebalgs einen kräftigen Luftstrom, so kann ich durch den Ziegelstein hindurch die Flamme ausblasen. Durch die Poren des Mauerwerks und durch die Ritzen der Fenster und Türen findet also stets ein Luftwechsel zwischen außen und innen statt, eine natürliche

Ventilation, durch welche sich der innen verbrauchte Sauerstoff von außen immer wieder ersetzt. Das ist für die Erhaltung der Gesundheit von großer Bedeutung. Das zu frühe Beziehen von Neubauten ist hauptsächlich deshalb ungesund, weil die in dem Mauerwerk noch zurückgebliebene Feuchtigkeit die Poren verschließt und dadurch den Luftwechsel mehr oder weniger beeinträchtigt. Außer dem Sauerstoff- und Kohlensäuregehalt der Luft spielen dabei auch die zum Teil noch wenig bekannten Ausdünstungsstoffe der Menschen eine Rolle.

Die chemischen Vorgänge im Tier- und Pflanzenreich.

Wie wir schon sahen, findet im Körper des Menschen und der Tiere eine regelmäßige Bildung von Kohlensäure und Wasser statt, welche in der Ausatemluft aus dem Körper entfernt werden, die Kohlensäure als Gas, das Wasser als Dampf. Das ist die Folge eines Oxydationsprozesses, dem die in der Nahrung aufgenommenen, Kohlenstoff und Wasserstoff enthaltenden Verbindungen unterliegen. In der Lunge kommt das Blut mit dem Sauerstoff der eingeatmeten Luft in Berührung, nimmt ihn auf und gibt an seiner Stelle die im Körper gebildete Kohlensäure ab. Durch den Kreislauf des Blutes wird der Sauerstoff den verschiedenen Organen des Körpers zugeführt, wo er von neuem Kohlensäure und Wasser bildet u. s. f. Man kann diesen Vorgang als eine bei niederer Temperatur und ohne Flamme verlaufende Verbrennung betrachten. — Das mit Sauerstoff beladene Blut hat eine hellrote Farbe, es wird durch die Schlagadern oder Arterien durch den Körper getrieben, und deshalb auch als arterielles Blut bezeichnet; das kohlenstoffhaltige Blut dagegen ist dunkelrot, es bewegt sich durch die sogenannten Venen und heißt daher venöses Blut.

Wie die Tiere, so nehmen auch die Pflanzen aus der Luft Sauerstoff auf und geben dafür Kohlensäure und Wasserdampf ab, sie atmen; aber ihre Atmung ist wenig ausgiebig und tritt gegen die Atmung des Menschen und der Tiere sehr zurück. Dagegen vollzieht sich in den Pflanzen ein anderer Vorgang viel ausgiebiger, der gerade zu dem entgegengesetzten Ergebnis führt: sie nehmen aus der Luft Kohlensäure auf und bilden aus dieser und dem gleichzeitig aufgenommenen Wasser die zahlreichen „organischen Verbindungen“, aus denen sich ihr Körper aufbaut. Diese enthalten ausnahmslos weniger Sauerstoff als die

Kohlensäure und das Wasser, aus denen sie entstanden sind, es bleibt daher Sauerstoff übrig, welchen sie in freiem Zustand an die Luft abgeben. Dieser Vorgang wird als Assimilation bezeichnet; er vollzieht sich in den grünen Blättern und nur im Lichte, also bei Tage, während die viel schwächere Atmung der Pflanzen durch die Nacht nicht unterbrochen wird. Übrigens gilt das nur von höheren Pflanzen. Die Pilze assimilieren nicht, sie sind Schmarotzer, welche sich wie die Tiere von pflanzlichen Stoffen nähren und diese in ihrem Körper zu Kohlensäure und Wasser oxydieren.

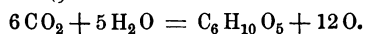
Durch die Assimilation der Pflanzen werden also Kohlensäure und Wasser in kompliziertere, sauerstoffärmere organische Verbindungen übergeführt; das ist ein Aufbau durch Reduktion. Im Tierkörper dagegen werden die in der Nahrung aufgenommenen organischen Verbindungen durch den eingeatmeten Sauerstoff der Luft wieder in Kohlensäure und Wasser verwandelt; das ist ein Abbau durch Oxydation.

Die durch die Assimilation gebildeten Bestandteile der Pflanzen sind einander in ihrer chemischen Zusammensetzung insofern ähnlich, als sie ausnahmslos Kohlenstoff und Wasserstoff, meistens auch Sauerstoff enthalten. Alle geben sie daher bei der Verbrennung Kohlensäure und Wasser; wir haben uns davon an der Substanz der Kerze überzeugt, und würden es bei allen pflanzlichen Stoffen bestätigt finden. Ich möchte Ihnen den Kohlenstoffgehalt an zwei bekannten Pflanzenstoffen vor Augen führen. In einem dieser beiden Porzellantiegel habe ich einige Holzspäne, im anderen etwas Zucker, beide erhitzte ich mit aufgelegtem Deckel. Bald brechen aus beiden zwischen dem Rande des Tiegels und des Deckels Flammen hervor; sobald sie verlöscht sind, entferne ich die Brenner und lasse die Tiegel mit ihrem Inhalt sich abkühlen. Nehme ich nun die Deckel ab, so erblicken wir in jedem der Tiegel schwarze Kohle; die Holzkohle läßt noch an der Form und Struktur ihren Ursprung erkennen, was bei der anderen nicht der Fall ist, weil der Zucker vor der Verkohlung geschmolzen war. — Manche Pflanzenstoffe enthalten auch noch einige andere Elemente, wie wir gleich sehen werden.

Von den mehr als achtzig chemischen Elementen findet sich also nur eine kleine Anzahl als Bestandteile der Verbindungen, aus denen sich der Pflanzenkörper aufbaut. Desto mannig-

faltiger aber sind diese hinsichtlich der Mengenverhältnisse der in ihnen enthaltenen Elemente, sowie in ihren Eigenschaften. Solche spezifischen Pflanzenstoffe sind: Cellulose, der Hauptbestandteil der pflanzlichen Zellwandungen; Stärke, wie sie in den Samenkörnern der Getreidearten und Hülsenfrüchte sowie in den Knollen der Kartoffeln und anderer Gewächse vorkommt; Zucker im Zuckerrohr, den Zuckerrüben, in den Mohrrüben und den süß schmeckenden Früchten; Fette und Öle, wie Rüböl, Olivenöl, Nußöl, Leinöl usw. Alle diese bestehen aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Der Menge nach zurücktretend, aber darum nicht weniger wichtig sind ferner die Eiweißkörper, welche außer den genannten Elementen regelmäßig noch Stickstoff und etwas Schwefel enthalten. — Außer diesen allgemein verbreiteten Bestandteilen erzeugen manche Pflanzen noch besondere Stoffe: Pflanzensäuren, welche den sauren Geschmack gewisser Pflanzensäfte verursachen, z. B. Äpfelsäure, Weinsäure, Zitronensäure; Pflanzenbasen oder Alkaloide, wie das Chinin der Chinarinden, das Morphin des aus dem Milchsafte des Mohns bereiteten Opiums, das Nikotin der Tabakpflanze, das Atropin der Tollkirsche usw. Die meisten von ihnen sind starke Gifte, manche aber dienen, richtig angewendet, als wertvolle Heilmittel. Sie sind sämtlich stickstoffhaltig. — Endlich gibt es aber auch Pflanzenstoffe, welche nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen, es sind Bestandteile von sogenannten flüchtigen oder ätherischen Ölen wie Terpentinöl, Zitronenöl usw.

Wie schon bemerkt, nehmen die Pflanzen den zum Aufbau ihrer Körperbestandteile erforderlichen Kohlenstoff und Wasserstoff aus der Kohlensäure und dem Wasser, wobei der überschüssige Sauerstoff ausgeschieden wird. So bildet sich in den grünen Blättern unter dem Einfluß des Sonnenlichtes — das übrigens auch durch künstliche Lichtquellen ersetzt werden kann — zunächst Stärke. Die Zusammensetzung dieser Verbindung können wir durch die Formel $C_6H_{10}O_5$ wiedergeben; sie ist zwar in Wirklichkeit komplizierter, aber wir wollen uns mit der Annäherung begnügen. Dann läßt sich ihre Bildung durch die folgende Gleichung ausdrücken:



Das ist eine chemische Arbeit, die in der Natur von den Sonnenstrahlen geleistet wird. In den Steinkohlen, welche aus den

Überresten vorweltlicher Pflanzen bestehen, ist diese vor vielen Jahrtausenden von der Sonne geleistete Arbeit aufgespeichert; sie wird in den Dampfmaschinen teilweise wiedergewonnen und der heutigen Menschheit dienstbar gemacht.

Es ist leicht einzusehen, daß die Assimilation für das Leben der höheren Pflanzen notwendig ist: sie schafft die organischen Verbindungen, aus denen der Pflanzenkörper sich aufbaut. Die Pflanze wächst solange sie lebt, wie man an den Jahresringen der Bäume erkennen kann, welche sich noch neu bilden, wenn das Längenwachstum sein Ende erreicht hat. Dazu kommt die Abgabe organischer Substanz in den Samen und Früchten, sowie im herbstlichen Blätterfall, welche ersetzt werden muß. — In den Samenkörnern sammeln die Pflanzen einen Vorrat an organischen Stoffen, hauptsächlich Stärke und etwas Eiweiß, welcher dem Keim als eiserner Bestand mitgegeben wird. Daraus baut die junge Pflanze ihren Körper auf, bis die ersten grünen Blätter gebildet sind und damit die Assimilation beginnt.

Im Gegensatz zu den Pflanzen geht dem Menschen und den Tieren die Fähigkeit ab, organische Verbindungen aus unorganischen Stoffen zu erzeugen. Sie bedürfen zum Leben organischer Nahrungsstoffe, die sie direkt oder indirekt dem Pflanzenreich entnehmen. Auch im Fleische der Schlachttiere verzehren wir ja nur die umgewandelten Pflanzenstoffe, von denen jene sich ernährt haben. Die organischen Bestandteile der Nahrung werden im Körper in mannigfacher Weise umgewandelt und schließlich durch den eingeatmeten Sauerstoff oxydiert — verbrannt. Sie müssen also durch neue Zufuhr von Nahrungsstoffen ersetzt werden. Ohne diesen Stoffwechsel ist das Leben nicht möglich: Wenn uns die Luft abgeschnitten wird, ersticken wir, wenn wir nichts zu essen haben, verhungern wir; in beiden Fällen ist die Folge der Tod. Das wissen wir alle; aber warum ist es so? Solange der Mensch und das Tier wächst, leuchtet die Notwendigkeit der Nahrungsaufnahme ohne weiteres ein. Aber wozu dient sie beim Erwachsenen, dessen Gewicht annähernd konstant ist? Die Antwort auf diese Frage finden wir in den Leistungen des Organismus. Diese sind zweierlei Art: Wärme und Arbeit.

Es ist jetzt wohl ziemlich allgemein bekannt, daß der Körper des gesunden Menschen eine nahezu unveränderliche Temperatur

von etwa 37° Celsius hat. Abweichungen von einem oder wenigen Graden nach oben oder unten sind dem Arzte ein Gradmesser für den sich abspielenden Krankheitsprozeß. Die warmblütigen Tiere verhalten sich hierin ungefähr ebenso: bei ihnen wie beim Menschen ist die Körpertemperatur, wenigsten in der gemäßigten und kalten Zone, stets höher als die Temperatur der Umgebung. Selbst bei den Kaltblütern trifft das zu, wenn auch in erheblich geringerem Grade. Infolge dieses Temperaturüberschusses gibt der Körper fortdauernd durch Leitung und Strahlung Wärme nach außen ab. Dazu kommen dann noch andere Wärmeverluste. Kalte Speisen und Getränke sowie die eingeatmete Luft werden auf die Körpertemperatur erwärmt. Die gas- und dampfförmigen sowie die festen und flüssigen Ausscheidungen aber verlassen den Körper mit der in ihm aufgenommenen Wärme. Ein anderer noch bedeutenderer Wärmeverlust ist die Folge der Wasserverdunstung durch Haut und Lunge. Der Körper nimmt nicht nur mit den Getränken, sondern auch mit den festen Nahrungsmitteln regelmäßig beträchtliche Mengen flüssigen Wassers auf, welche zum nicht geringen Teil den Körper als Dampf verlassen. Da nun, wie schon früher erwähnt wurde, jede Verdampfung mit einem Verbrauch an Wärme verbunden ist, so liegt hierin eine ganz beträchtliche Wärmeabgabe nach außen.

Die Arbeitsleistungen des Körpers sind teils äußere, teils innere. Die äußere Arbeit besteht hauptsächlich in der Hebung von Lasten und in der Überwindung von Widerständen. Unter diesen nimmt die Reibung den ersten Platz ein. Wenn beispielsweise ein Wagen auf einer wagerechten Fläche fortgezogen wird, so wird sein Gewicht nicht gehoben, und dennoch ist damit eine Anstrengung verbunden. Es muß die Reibung zwischen den Rädern und dem Boden sowie zwischen den Radnaben und den Achsen überwunden werden. Dadurch wird Wärme erzeugt, die sich bei Eisenbahnwagen, falls nicht genügend geschmiert wurde, bis zum Glühendwerden der Achsen steigern kann. Diese Wärmeezeugung ist das Produkt der aufgewendeten Arbeit. Sie unterliegt einem ganz allgemeinen Naturgesetz, welches zuerst von dem Heilbronner Arzt Robert Mayer im Jahre 1842 ausgesprochen und bald darauf durch den großen Naturforscher Hermann Helmholtz eingehend begründet wurde. Es ist das Gesetz von der Erhaltung der Energie, welches

aussagt, daß keine Leistung aus Nichts entstehen oder zu Nichts werden kann, und daß alle Leistungen nur in wechselseitigen Umwandlungen der verschiedenen Energieformen bestehen. So wird durch die Reibung mechanische Arbeit in Wärme umgewandelt, in einer Dampfmaschine umgekehrt durch Aufwand von Wärme mechanische Arbeit gewonnen. Ebenso kann Wärme oder mechanische Arbeit in elektrische Energie umgesetzt werden und umgekehrt usf. Wie man leicht erkennt, ist dieses Gesetz ein Gegenstück zu dem Gesetz von der Erhaltung des Stoffes. Die Umwandlungen der Energieformen werden, ähnlich wie die chemischen Umwandlungen der Stoffe, durch bestimmte Zahlenverhältnisse beherrscht, wovon wir gleich ein Beispiel kennenlernen werden.

Auch die innere Arbeit des Organismus ist verschiedener Art. Da ist die Herzbewegung, welche das Blut im Kreislauf durch den Körper treibt, die Atembewegung, die Bewegung des Magens und des Darms, durch welche die Verdauung unterstützt und der Speisebrei vorwärts geschoben wird. Diese Bewegungen finden ohne Einwirkung unseres Willens, auch im Schlafe statt. Die Arbeit des Herzens hat man mit der einer Saug- und Druckpumpe verglichen, sie ist eine sehr bedeutende, da die haarfeinen Blutgefäße, die sogenannten Kapillaren der Fortbewegung des Blutes, einen großen Widerstand entgegensetzen.

Wollen wir in diese Dinge einen näheren Einblick gewinnen, so müssen wir sie messend verfolgen, ebenso wie wir es bei den stofflichen Umsetzungen getan haben. Dazu aber ist es nötig, Maßeinheiten festzusetzen. Das hat man natürlich längst getan. Als Einheit der mechanischen Arbeit hat man diejenige Arbeit bestimmt, durch welche eine Last von 1 kg Gewicht 1 m hoch gehoben wird. Man nennt sie ein Kilogramm-Meter. Durch dieselbe Arbeit kann man auch eine Last von 0,5 kg 2 m hoch heben, oder eine Last von 2 kg 0,5 m usw. — Als Einheit der Wärme hat man diejenige Wärmemenge festgesetzt, durch deren Zufuhr 1 kg Wasser um 1° C (genauer von 15 auf 16°) erwärmt wird. Man nennt sie eine Wärmeeinheit oder Kalorie. Durch dieselbe Wärmemenge würde man 0,1 kg oder 100 g Wasser um 10° C erwärmen usw.

Wird Arbeit in Wärme umgesetzt oder umgekehrt, so geschieht das immer in einem ganz bestimmten Verhältnis. Zu Anfang der vierziger Jahre des vorigen Jahrhunderts ist dieses

Verhältnis durch den englischen Physiker Joule experimentell ermittelt worden. Er fand, daß durch den Aufwand von 1 Kal. eine Arbeit von 425 Kilogramm-Meter gewonnen wird. Diese nennt man das mechanische Wärmeäquivalent. Es spielt im Haushalt unserer Kraftmaschinen eine wichtige Rolle. Ihre Leistungen werden nach Pferdekraften bemessen; eine Pferdekraft ist eine Arbeitsleistung von 75 Kilogramm-Meter in der Sekunde.

Durch sorgfältige Untersuchungen hat man die Leistungen des Organismus gemessen und sie in Kalorien ziffernmäßig ausgedrückt. In der folgenden Tabelle sind die durchschnittlichen Ergebnisse zahlreicher solcher Messungen wiedergegeben. Sie beziehen sich auf die Wärmeabgabe eines kräftigen Mannes in 24 Stunden in der Ruhe und bei schwerer Arbeit. Seine tägliche Wärmeabgabe setzt sich aus den folgenden Posten zusammen:

	Ruhe Kal.	Arbeit Kal.
Leitung und Strahlung	1683	3340
Feste und flüssige Ausscheidungen	31	26
Wasserverdunstung	548	859
	2262	4225
Arbeitsäquivalent	—	451
	2262	4676

Wollen wir die äußere Tagesarbeit des Mannes in Kilogramm-Metern ausdrücken, so müssen wir die der Arbeit entsprechende Kalorienzahl mit dem mechanischen Wärmeäquivalent multiplizieren, das gibt $451 \cdot 425 = 191\,675$ Kilogramm-Meter. Zugleich sehen wir, daß bei dieser starken Arbeit auch die Wärmeentwicklung des Körpers bedeutend gesteigert ist, was mit unserer eigenen Erfahrung vollkommen übereinstimmt. — Die innere Arbeit des Körpers besteht in der Überwindung von Widerständen; sie wird im Körper in Wärme umgesetzt und als solche nach außen abgegeben.

Man hat die Wärme- und Arbeitsleistungen des Körpers mit denen einer Dampfmaschine verglichen. Um diese in Gang zu bringen und zu erhalten werden Steinkohlen oder ein anderer Brennstoff unter dem Dampfkessel verbrannt. Die dadurch erzeugte Wärme verdampft das Wasser im Kessel, und der Wasserdampf setzt vermöge seiner Spannung den Kolben der Maschine

in Bewegung. Von diesem wird die Bewegung auf die eigentlichen Arbeitsmaschinen — Drehbänke, Walzwerke, Webstühle usw. — übertragen. Aber nur ein Teil der erzeugten Wärme wird in Arbeit umgesetzt. Das liegt zum Teil in der Natur der Sache, es läßt sich auch durch die beste Konstruktion der Maschinen nicht vermeiden. Außerdem ist der Betrieb der Dampfmaschinen mit direkten Wärmeverlusten verbunden, ganz ähnlich denen, die wir am menschlichen und tierischen Körper kennengelernt haben. Da der Kessel, der Zylinder und die Dampfleitungsrohre eine höhere Temperatur haben als die Luft, so geben sie durch Leitung und Strahlung nach außen Wärme ab. Man schränkt diesen Verlust dadurch ein, daß man die heißen Maschinenteile mit Wärmeschutzmitteln einhüllt, ebenso wie man den menschlichen Körper durch warme Kleider vor zu starker Wärmeabgabe schützt; ganz vermeiden läßt sich diese aber in beiden Fällen nicht. Ein anderer Verlust entsteht dadurch, daß die Verbrennungsgase den Schornstein mit einer ziemlich hohen Temperatur verlassen; auch das läßt sich nicht vermeiden, da es für den Zug auf dem Verbrennungsherde notwendig ist. Endlich verläßt auch der Dampf, nachdem er seine Arbeit verrichtet hat, die Maschine mit hoher Temperatur und mit der, für seine Erzeugung aufgewendeten „latenten“ Verdampfungswärme. Bei den Maschinen mit Kondensation wird wenigstens dieser Wärmeinhalt des Dampfes zurückgehalten und wieder nutzbar gemacht. Immerhin ist der Nutzeffekt der Dampfmaschinen ein ziemlich geringer: es werden bei den gebräuchlichsten Maschinen nur etwa 10 bis 15 Proz. der durch die Verbrennung erzeugten Wärme in Arbeit umgesetzt; in neuerer Zeit hat man den Nutzeffekt durch Anwendung von überhitztem Dampf auf 20 bis 25 Proz. steigern können.

Im Organismus ist die Nahrung der Brennstoff, der im Körper verbrannt wird. Die dadurch entwickelte Energie tritt in den Wärme- und Arbeitsleistungen des Körpers zutage. Die Muskeln sind die Arbeitsmaschinen. Als reine Maschine betrachtet, ergibt der Organismus einen Nutzeffekt von 10 bis 20 Proz. Das Zahlenbeispiel des schwer arbeitenden Mannes zeigte uns bei einer Gesamtleistung von 4676 Kal. nur ein Arbeitsäquivalent von 451 Kal., das ist ein Nutzeffekt von $451 \cdot 100 / 4676 = 9,64$ Proz., also noch nicht einmal voll 10 Proz. Unter günstigen Umständen

kann der Nutzeffekt ein höherer sein, bis 20 Proz. und mehr, im Alter aber verringert er sich mehr und mehr.

Der Vergleich mit der Dampfmaschine ist freilich ein grober, er hinkt wie alle Vergleiche. Die Dampfmaschine hat nur den einen Zweck, mechanische Arbeit zu leisten; dagegen sind die Funktionen des Organismus — ganz abgesehen von denen der Seele und des Verstandes — viel mannigfaltiger: Wachstum und Fortpflanzung, Tätigkeit der Sinne usw. Im übrigen ist auch die geistige Tätigkeit an den Aufwand materieller Energie gebunden, sie ist mit chemischen Vorgängen im Gehirn unlösbar verknüpft. Und ferner: Wenn die Maschine nicht geheizt wird, so bleibt sie stehen, wir können sie beliebig lange stehen lassen und sie jeden Augenblick wieder in Gang setzen. Wenn wir aber den Körper nicht heizen — ernähren —, so gehen eine Zeitlang die Lebensfunktionen noch fort, die vorhandenen Reservestoffe werden aufgebraucht, allmählich kommen die Funktionen zum Stillstand, und schließlich tritt der Tod ein: Hungertod. — Auch sonst sind die Vorgänge im menschlichen und tierischen Körper von denen in unseren Maschinen vielfach recht verschieden. Der Endeffekt ist aber im wesentlichen derselbe: Umsetzung chemischer Energie in Wärme und Arbeit.

Die Nahrungsmittel.

Die Nahrung der Dampfmaschine sind die Kohlen; die des Menschen und der Tiere direkt oder indirekt Pflanzenstoffe. Die Zusammensetzung der Nahrungsmittel ist eine mannigfaltige, im allgemeinen sind es Gemische an sich einheitlicher Nahrungsmittel. Unter diesen haben wir zu unterscheiden:

1. Stickstofffreie Nahrungsmittel.

a) Kohlenhydrate: Stärke, Zucker, Pflanzenfaser. Man nennt sie Kohlenhydrate, weil sie Verbindungen von Kohlenstoff mit Wasserstoff und Sauerstoff sind im Verhältnis wie diese beiden Elemente im Wasser enthalten sind. Die früher schon gebrauchte Formel der Stärke $C_6H_{10}O_5$ läßt dies erkennen. Stärke ist, wie schon bemerkt, ein Hauptbestandteil der Pflanzensamen und der Knollen. Die Pflanzenfaser ist für den Menschen nicht verdaulich, dagegen ist sie für Wiederkäuer ein wichtiger Nahrungsmittel.

b) Fette. Sie sind im Tier- und Pflanzenreiche weit verbreitet.

2. Stickstoffhaltige Nahrungsstoffe. Eiweißkörper.

Wie der Name sagt, sind sie Bestandteile der Eier, sie finden sich aber auch im Fleische, in der Milch, im Käse, in kleinerer Menge, neben Stärke, in den Getreide- und Hülsenfrüchten; mit den ersteren gelangen sie in das Mehl und weiter in das Blut.

Außerdem sind Bestandteile der Nahrungsmittel Wasser, Salze, Pflanzensäuren, Gewürzstoffe, Bestandteile der Fleischbrühe und des Fleischextrakts. Diese sind keine eigentlichen Nahrungsstoffe, sondern Anregungsmittel für die Verdauung. Eine Kost, die nur aus Nahrungsstoffen bestünde, wäre für uns unschmackhaft und ungenießbar. Zu den Gewürzstoffen gehört auch das Kochsalz. Auch andere Salze, welche sich in den Nahrungsmitteln finden, sind für das Wachstum und die Erhaltung des Körpers notwendig, wovon wir noch Beispiele kennenlernen werden.

Die nachstehende Tabelle gibt eine Übersicht über die Zusammensetzung einer Anzahl der wichtigsten Nahrungsmittel. Bei ihrer Durchsicht fällt zunächst der große Wassergehalt der meisten auf, welcher aber in der Natur der Sache begründet ist. Dann wird man herauslesen, daß der direkte Nahrungswert mancher Gemüse nur gering ist; darum sind sie aber keineswegs überflüssig infolge ihrer anregenden Wirkung auf die Verdauung, und noch aus einem anderen Grunde, den wir gleich kennenlernen werden.

Prozentische Zusammensetzung von Nahrungsmitteln.

	Eiweiß	Fett	Kohlenhydrate	Wasser	Salze	Rohfaser
Fleisch	14,5-21,0	0,8-37,3	—	47,4-77,9	0,7-1,4	—
Hühnerei . . .	12,6	12,1	—	73,6	1,1	—
Frauenmilch . .	1,5	3,3	6,4	87,6	0,3	—
Kuhmilch . . .	3,4	3,6	4,8	87,5	0,7	—
Käse	14,3-40,6	1,0-42,3	0,2-4,0	31,8-72,0	1,1-6,3	—
Butter	0,7	82,7	0,5	14,5	1,6	—
Margarine . . .	0,4	82,6	0,6	14,0	2,4	—
Brot	6,0-6,8	—	51,5-58,3	33,7-39,8	0,9-1,6	0,3-1,6
Erbsen	23,4	1,9	52,7	13,6	2,8	5,6
Bohnen	25,7	1,7	47,3	13,9	3,1	8,3
Kartoffeln . . .	2,0	0,1	20,9	74,9	1,1	1,0
Mohrrüben . . .	1,2	0,3	9,1	86,7	1,0	1,7
Weißkohl	1,8	0,2	5,0	90,1	1,2	1,7
Spinat	3,7	0,5	3,6	89,3	2,0	0,9

Die jüngste Forschung hat uns noch andere Stoffe kennen gelehrt, welche zwar keine Nahrungsstoffe im eigentlichen Sinne sind, und doch für die Erhaltung des Lebens und der Gesundheit nicht entbehrt werden können. Man ging dabei von Erfahrungen in den Ländern aus, in denen die ärmere Bevölkerung sich sehr einseitig von Reis ernährt. Hier ist eine eigentümliche, Beriberi genannte Krankheit heimisch. Die Reiskörner werden für den Genuß von den sie umgebenden Hülsen befreit. Es hat sich nun gezeigt, daß in den Hülsen Stoffe enthalten sind, welche der Krankheit entgegenwirken. Durch Versuche an Tieren, für welche sich Ratten besonders geeignet erwiesen, wurde festgestellt, daß eine Kost, die nur aus Nahrungsstoffen und den erforderlichen Salzen besteht, auch wenn sie reichlich verabreicht wird, Leben und Gesundheit nicht zu erhalten vermag. Eine solche Nahrung ist z. B. enthülster Reis. Werden die Tiere ausschließlich mit diesem gefüttert, so erkrankten sie, Wachstum und Fortpflanzung wird vermindert oder unterbleibt ganz; schließlich tritt der Tod ein. Gibt man ihnen aber rechtzeitig die Hülsen des Reiskorns oder einen geeigneten Auszug aus diesen, so erholen sie sich. Eine normale Kost enthält also Bestandteile, welche selbst keine Nahrungsstoffe sind und doch lebenswichtige Funktionen im Körper erfüllen. Man hat sie Vitamine oder Komplettime genannt. Frische Gemüse, Butter, Lebertran sind besonders reich daran, worauf vielleicht zum Teil die medizinischen Wirkungen des Lebertrans beruhen. Aber auch in anderen Nahrungsmitteln finden sich Vitamine in ausreichender Menge, und besonders bei gemischter und abwechslungsreicher Kost ist ein Mangel an diesen Hilfsstoffen der Ernährung nicht zu befürchten. Mit den Getreidekörnern verhält es sich ähnlich wie mit dem Reis. Schrotbrot ist daher als Nahrungsmittel wertvoller als Weißbrot. — Bemerket sei noch, daß die Vitamine durch Hitze zerstört werden, weshalb Konserven Gemüse vitaminärmer sind als frische Gemüse. Auch Alkali wirkt schädlich; der Zusatz von Soda oder Natriumbicarbonat beim Kochen der Hülsenfrüchte ist also nach diesen Erfahrungen nicht zu empfehlen. — Die chemische Zusammensetzung der Vitamine ist noch ganz unbekannt.

Da durch die Oxydation — Verbrennung — der Nahrungsstoffe die Wärme- und Arbeitsleistungen des Körpers bestritten werden, so ist es wichtig, die bei ihrer Verbrennung entwickelten

Wärmemengen zu kennen. Ich gebe sie im folgenden wie sie durch genaue Messungen ermittelt wurden und setze zur Vergleichung die Verbrennungswärmen von ein paar anderen Stoffen hinzu. Es entwickeln bei der Verbrennung

1 g Kohlenhydrat	4,1 Kal.
1 g Fett	9,3 „
1 g Eiweiß	5,3 „
davon im Körper verwertet	4,1 „
1 g Alkohol	7,0 „
1 g Petroleum	11,0 „
1 g Kohlenstoff	8,14 „
1 g Wasserstoff	34,2 „

Hiernach sind Eiweiß und Kohlenhydrate als Energiequelle für den Organismus ungefähr gleichwertig, Fette mehr als doppelt so wirksam. In den pflanzlichen Nahrungsmitteln überwiegen die Kohlenhydrate, in den tierischen Eiweißkörper und Fette. Auch der Alkohol wird im Körper oxydiert, und man hat ihn von gewisser Seite auf Grund seiner hohen Verbrennungswärme als wertvollen Nahrungsstoff hingestellt. Aber man darf nicht vergessen, daß der Alkohol auch ein Gift ist, das bei regelmäßiger Zufuhr größerer Mengen den Organismus schädigt. Man darf daher seine Rolle im Körper nicht nur nach der Verbrennungswärme beurteilen. Wäre diese allein maßgebend, so wäre Petroleum ein noch bedeutend wertvollerer Nahrungsstoff.

Mit Fett und Kohlenhydraten allein kann man den Körper nicht ernähren, eine gewisse Menge Eiweiß ist unentbehrlich. Vom Standpunkte der Wärmeentwicklung ist das nicht verständlich, es muß also andere Gründe haben. Liebig war der Meinung, daß Fette und Kohlenhydrate die Quelle der Körperwärme seien, die Eiweißstoffe dagegen die Quelle der Muskelkraft. Diese Ansicht hat sich als irrig erwiesen. Leute, die sich für starke körperliche Anstrengung verproviantieren, nehmen vorwiegend stickstoffarme Nahrungsmittel zu sich: Brot, Speck und dergleichen. In Übereinstimmung mit dieser Erfahrung ergaben Versuche, welche Pettenkofer und Voit in München 1860 bis 1866 an Menschen und Hunden anstellten, daß der Stickstoffumsatz im Körper bei Ruhe und Arbeit wesentlich gleich ist. Und im Jahre 1865 haben der Physiologe Fick und der Chemiker Wislicenus das Faulhorn im Berner Oberland bestiegen und an sich selbst

festgestellt, daß dabei der Eiweißumsatz nicht entfernt für die geleistete Arbeit ausreichte. Bei sehr eiweißreicher Kost, wie sie bei den fleischfressenden Tieren die Regel ist, wird aber auch das Eiweiß zur Muskelarbeit verwertet.

Im Körper des Menschen und der Säugetiere werden die Eiweißstoffe im wesentlichen zu der einfachen Verbindung CH_4ON_2 abgebaut; sie wird durch den Harn aus dem Körper entfernt und hat deshalb den Namen Harnstoff erhalten. Ein erwachsener Mensch produziert davon in 24 Stunden etwa 30 g. Den Körper der Vögel und Reptilien verläßt der Stickstoff der Eiweißstoffe wesentlich als Harnsäure, $\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_3\text{N}_4$, welche im Gegensatz zum Harnstoff in Wasser unlöslich ist und als festes Exkrement ausgeschieden wird.

Ein erwachsener Mann braucht bei mäßiger Arbeit täglich etwa 118 g Eiweiß, 56 g Fett und 500 g Kohlenhydrate. Diese ergeben bei der Verbrennung:

Eiweiß	118 . 4,1 =	484 Kal.
Fett	56 . 9,3 =	521 „
Kohlenhydrate	500 . 4,1 =	2050 „
		<hr/>
		3055 Kal.

Nach neueren Untersuchungen soll eine viel geringere Eiweißmenge genügen, worüber das letzte Wort wohl noch nicht gesprochen ist. Soviel scheint aber aus den Erfahrungen und Untersuchungen der neueren Zeit hervorzugehen, daß der Fleischgenuß gegen unsere früheren Gewohnheiten eingeschränkt werden kann. Hierfür würden ja schon wirtschaftliche Gründe sprechen; man hat auch auf die Lebensweise der Vegetarianer hingewiesen. Und ferner ist zu berücksichtigen, daß Fleisch nicht nur ein stickstoffreiches Nahrungsmittel ist, sondern daß es Stoffe enthält, die bei mäßigem Genuß anregend und daher vorteilhaft wirken, im Übermaß aber der Gesundheit schädlich sind, gichtische und andere Erkrankungen zur Folge haben. Auch stehen uns im Brot, dem Käse, den Hülsenfrüchten noch andere, zum Teil reichliche Stickstoffquellen zur Verfügung.

Wenn nun, wie wir sahen, der arbeitende Körper keine größeren Stickstoffmengen umsetzt als der ruhende, so drängt sich die Frage auf: Wozu bedarf der Körper überhaupt einer regelmäßigen Zufuhr stickstoffhaltiger Eiweißstoffe? Zur Beant-

wortung dieser Frage wollen wir wieder auf den Vergleich unseres Körpers mit einer Maschine zurückgreifen. Unsere Arbeitsmaschinen sind die Muskeln, sie bestehen, neben Wasser, der Hauptsache nach aus Eiweißstoffen. Durch ihre Arbeitsleistungen nutzen sie sich ab ebenso wie die Metallteile der Maschinen. Diese müssen, wenn nötig, repariert oder durch andere ersetzt werden, zu welchem Zwecke die Maschine stillgestellt werden muß. Da dies bei dem Organismus nicht angeht, so ist hier ein fortlaufender Ersatz notwendig, und dieser wird durch die Eiweißstoffe der Nahrung bestritten. Abnutzung aber findet nicht nur durch äußere Arbeit statt, sondern auch in der sogenannten Ruhe, während deren ja die Atmung, die Herztätigkeit, die Darmbewegung und manche andere, unserm Willen und selbst unserm Bewußtsein entzogene Leistungen des Körpers fortgehen. — Nach neueren Untersuchungen scheint jedoch die Abnutzung der Muskeln nur gering zu sein und daneben noch andere Eiweißverluste stattzufinden, welche aber noch nicht genügend erforscht sind.

Bedarf der Lebewesen an Mineralstoffen.

Mensch und Tiere beziehen also ihre Nahrung direkt oder indirekt aus den Pflanzen; diese entnehmen Kohlensäure und Wasser der Luft und den atmosphärischen Niederschlägen. Woher aber stammt der Stickstoff und die Salze, welche zum Leben gleichfalls unentbehrlich sind?

Die Salze nehmen die Pflanzen durch ihre Wurzeln aus dem Boden auf. In erster Linie kommen hier Salze des Kaliums und der Phosphorsäure in Betracht, daneben aber auch Salze von Calcium, Magnesium, Natrium usw. Alle diese gelangen durch Verwitterung der Gesteine in den Boden. Im Urzustand, wie er noch jetzt bei den Naturvölkern der herrschende ist, liefert dieser Vorgang genügende Mengen dieser „Nährsalze“, um die dem Boden durch die Pflanzen entzogenen Mengen zu ersetzen. Das ägyptische Nilland verdankt seine außerordentliche Fruchtbarkeit den jährlichen Überschwemmungen des Nil, welcher aus den Gebirgen seines Oberlaufs die Verwitterungsprodukte der Gesteine mit sich führt und sie auf dem Ackerboden des Landes ablagert. Aber das sind ausnahmsweise günstige Verhältnisse, im allgemeinen haben sich die Dinge bedeutend verschoben.

In den Kulturländern nötigte die zunehmende Dichte der Bevölkerung zu immer intensiverem Betriebe der Landwirtschaft, und die dadurch gesteigerten Verluste des Bodens wurden durch die natürliche Verwitterung der Gesteine nicht mehr hinreichend gedeckt. Zwar wurden diese Verluste zum Teil durch den Stalldünger ersetzt, aber eben nur zum Teil. Auch durch Bewässerung, durch Brache und Wechselwirtschaft suchte man der Verarmung des Bodens entgegenzuwirken, doch auch diese Mittel, obwohl an sich berechtigt, konnten die Abnahme der Fruchtbarkeit auf die Dauer nicht verhindern. Es ist das unsterbliche Verdienst unseres großen Landsmannes Justus Liebig, diese Verhältnisse und ihre ungeheure Tragweite richtig erkannt zu haben. Durch ungezählte Analysen von Ackerböden und Pflanzenaschen führte er den Nachweis, daß unter den europäischen Kulturverhältnissen dem Lande nur durch regelmäßige Zufuhr der ihm in der Ernte entzogenen Mineralstoffe die Fruchtbarkeit erhalten werden kann. Das Ideal wäre, wenn nicht nur die tierischen, sondern auch die menschlichen Exkremete dem Boden zugeführt würden, wie es in China und Japan annähernd der Fall ist. In Europa war und ist man davon weit entfernt, und es mußte Ersatz auf anderem Wege geschaffen werden: es entstand die Industrie der künstlichen Düngemittel. So wurde Liebig zum Reformator der Landwirtschaft und dadurch zum Wohltäter der Menschheit.

Zuerst war es der Guano und die Knochenasche, welche man dem Boden als Ersatzstoffe von außen zuführte. Der Guano besteht aus den Auswurfstoffen von Seevögeln, welche in ungeheurer Masse an der westlichen Küste Südamerikas angesiedelt sind. Seine wertvollen Bestandteile sind hauptsächlich phosphorsaure Salze und Stickstoffverbindungen. Die ausgedehnten Lager, welche sich im Laufe der Jahrhunderte angesammelt hatten, sind jetzt zum großen Teil erschöpft. — Die Knochenasche wird aus den Knochen der Schlachttiere durch Glühen an der Luft gewonnen, wobei die darin enthaltene organische Substanz verbrennt. Die zurückbleibende Asche besteht zum größten Teil aus dem Calciumsalz der Phosphorsäure. Da dieses aber in Wasser unlöslich ist, so wird es von den Pflanzen nur sehr langsam aufgenommen. Durch Behandeln mit Schwefelsäure geht es in ein saures Salz über, welches in Wasser löslich und daher den Pflanzen leichter zugänglich ist. Das so erhaltene Produkt wird den Landwirten

von der chemischen Industrie unter der Bezeichnung Superphosphat geliefert. Den wichtigsten Rohstoff für seine Darstellung bilden jetzt die Phosphorite, welche eine ähnliche Zusammensetzung haben, wie die Knochenasche. Mächtige Lager davon kommen besonders in Florida und Südcarolina vor; Deutschland hat leider nur geringfügige und wenig ausgiebige Lager besessen, welche bereits zum größten Teile abgebaut sind. Deshalb ist es vielleicht von Bedeutung, daß man im Zusatz von Kieselsäure in geeigneter Form ein Mittel gefunden zu haben scheint, um die Düngewirkung der Phosphorsäure auf das Dreifache zu steigern. Es ist zu hoffen, daß man auf dem damit betretenen Wege noch weitere Fortschritte machen wird. — Eine sehr wichtige Phosphorsäurequelle für die Landwirtschaft ist jetzt die Thomasschlacke, ein Nebenprodukt der Eisenindustrie, welches bei der Verarbeitung phosphorhaltiger Erze gewonnen wird. Bedeutende Mengen solcher als Minette bezeichneter Erze finden sich in Lothringen und sind durch den Weltkrieg für Deutschland verloren gegangen. — Die Thomasschlacke ist ein basisch phosphorsaures Calcium, welches nur gemahlen zu werden braucht und als Thomasmehl ohne weiteres auf die Felder gestreut werden kann. Ich komme auf den Gegenstand noch zurück. — Für den Ersatz der Kaliumsalze oder Kalisalze, wie man sie auch nennt, liefert der Bergbau das nötige Material; es kommt in den, manchen Salzlagerstätten besonders im nordwestlichen Deutschland aufliegenden, sogenannten Abraumschichten vor. Auch davon wird später noch die Rede sein.

Die Pflanzen sind aber in ihrem Mineralbedürfnis nicht gleich. Zuckerrübe, Klee, Weinstock sind ausgesprochene Kalipflanzen, sie brauchen mehr Kali als andere Pflanzen. — Über das Mineralbedürfnis des Menschen und der Tiere möchte ich hier nur folgendes sagen: Wie schon erwähnt, bestehen die Knochen zum großen Teil aus phosphorsaurem Calcium, außerdem enthalten sie kohlenstoffsaures Calcium und noch geringere Mengen anderer mineralischer Stoffe; daneben einen organischen Stoff, die Knorpelsubstanz. Diese überwiegt im jugendlichen Alter, während dessen die Knochen noch weich und biegsam sind; mit vorschreitendem Alter lagern sich in den Knochen mehr und mehr Mineralstoffe ab, wodurch sie härter und schließlich spröde werden. Ein Kind kann beliebig oft fallen, ohne sich

Schaden zu tun, im Alter dagegen führt ein Fall leicht zu einem Knochenbruch, der dann auch schwer oder gar nicht wieder heilt. — Außer in den Knochen finden sich Phosphorverbindungen auch in den übrigen Organen, ganz besonders in den Nerven, im Gehirn und Rückenmark, hier aber weniger in Gestalt phosphorsaurer Salze, sondern hauptsächlich in komplizierter organischer Bindung; ohne Phosphor keine Empfindung und kein Gedanke. — Aus dem Chlornatrium bildet sich im Körper Salzsäure, welche einen regelmäßigen Bestandteil des Magensaftes ausmacht und für die Verdauung nötig ist. Manche Krankheiten werden durch ein Zuviel oder Zuwenig an Salzsäure im Magensaft verursacht. — Von den Mineralstoffen, deren der Körper bedarf, erwähne ich noch das Eisen. Es ist im Blutfarbstoff organisch gebunden, weshalb man bleichsüchtigen Personen Eisenpräparate oder eisenhaltige Mineralwässer gibt.

Eine besondere Rolle fällt, wie wir sahen, den Stickstoffverbindungen bei der Ernährung der organischen Wesen zu. Da die atmosphärische Luft zu etwa vier Fünfteln aus Stickstoff besteht, so könnte man meinen, daß ihnen dieses Element besonders leicht zugänglich ist. Aber wir haben ja schon gesehen, daß der Stickstoff nur wenig Neigung hat, chemische Verbindungen einzugehen, und in der Tat wird der freie elementare Stickstoff der Luft direkt weder von den Pflanzen noch vom Menschen und den Tieren aufgenommen¹⁾. Dagegen kennt man schon lange Vorgänge, durch welche der atmosphärische Stickstoff in chemische Verbindungen übergeführt wird. Dahin gehören elektrische Entladungen wie sie im Gewitter mit gewaltiger Energie vor sich gehen. In den Tropen, wo solche Entladungen häufiger und heftiger sind als in den gemäßigten Zonen, bilden sich diese Verbindungen auch in reichlicherer Menge. Durch die Passatwinde werden sie den nördlichen und südlichen Breiten zugeführt und von den atmosphärischen Niederschlägen aufgenommen, mit denen sie in den Boden gelangen. — Außerdem weiß man jetzt durch die Untersuchungen von Hellriegel, daß in den Wurzelknollen der Leguminosen, z. B. der Lupinen, mikroskopische Lebewesen, Bakterien angesiedelt sind, denen die Fähigkeit innewohnt, den Stickstoff der Luft in assimilierbare Verbindungen überzuführen, welche den

¹⁾ Nach neuesten Untersuchungen soll den grünen Pflanzen diese Fähigkeit doch, wenn auch nur in sehr geringem Grade, zukommen.

Pflanzen unmittelbar zur Nahrung dienen können. Das Anpflanzen von Lupinen zum Unterpflügen, wie es in der Landwirtschaft üblich ist, hat also seinen guten Grund. — Die Hauptquelle assimilierbarer Stickstoffverbindungen ist aber wohl die Fäulnis und Verwesung stickstoffhaltiger organischer Stoffe. — Aus den so aufgenommenen, zunächst noch unorganischen Stickstoffverbindungen bilden die Pflanzen hauptsächlich Eiweißkörper, welche größtenteils in den Samenkörnern abgelagert werden. Mit der Pflanzennahrung gelangen sie dann in den Körper des Menschen und der pflanzenfressenden Tiere, in dem sie wieder zu einfacheren Verbindungen abgebaut werden. Diese werden in den festen und flüssigen Ausscheidungen aus dem Körper entfernt und bilden mit den phosphorsauren Salzen die wertvollsten Bestandteile des Stalldüngers, durch den sie einer neuen Pflanzengeneration zur Nahrung dienen. — Die Verwesung organischer Stoffe ist im wesentlichen ein Oxydationsprozeß, durch welchen die organischen Bestandteile des Tier- und Pflanzenkörpers zu unorganischen Verbindungen abgebaut werden; die Stickstoffverbindungen gehen dabei wieder in solche Körper über, welche die Pflanzen als Nahrungsstoffe verwerten können. — So vollzieht sich in der Natur ein Kreislauf des Stickstoffs, ähnlich dem früher besprochenen des Kohlenstoffs, und es entsteht nun die Frage: sind die auf diesem Wege den Pflanzen gebotenen Stickstoffmengen ausreichend zur Deckung ihres Bedürfnisses an diesem unentbehrlichen Nahrungsstoff? Liebig glaubte ursprünglich, diese Frage bejahen zu können. Es hat sich aber schließlich gezeigt, daß dies bei dem jetzigen intensiven Betrieb der Landwirtschaft nicht zutrifft, und heute weiß jeder Landwirt, daß er dem Boden, ebenso wie Kali- und Phosphorsäuresalze, so auch assimilierbare Stickstoffverbindungen zuführen muß, wenn er reiche Ernten erzielen will.

Der Guano enthält, wie schon erwähnt, neben Phosphorsäure und etwas Kalisalzen, beträchtliche Mengen den Pflanzen zugänglichen Stickstoffs. Viel ausgiebiger ist aber ein anderes Produkt, der Chilialpeter, welcher in großen Lagern ebenfalls an der Westküste Südamerikas vorkommt und seit Jahrzehnten regelmäßig abgebaut wird. Er besteht in der Hauptsache aus dem Natriumsalz der Salpetersäure, NaNO_3 , und wurde bis zum Ausbruch des Weltkrieges in mächtigen Schiffsladungen nach

Europa gebracht. Im Jahre 1911 betrug die Gesamtausfuhr 2440 000 Tonnen (1 Tonne = 1000 kg), davon nach Europa 1700 000 Tonnen, nach Deutschland 730 000 Tonnen. Deutschland bezog also fast ein Drittel der gesamten Ausfuhr und bezahlte dafür 156 Millionen Goldmark. — Eine andere sehr wichtige Stickstoffquelle für die Landwirtschaft ist das Ammonsulfat oder schwefelsaure Ammonium. Es ist ein Salz der Schwefelsäure, welches aber, abweichend von anderen Salzen, an Stelle von Wasserstoff nicht ein Metall, sondern eine aus einem Stickstoff- und vier Wasserstoffatomen bestehende Atomgruppe enthält: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Solche „Ammoniumsalze“ werden uns später noch beschäftigen. — Das Ammonsulfat ist ein Nebenprodukt der Gasbereitung und der Koks-gewinnung, welche beide darauf beruhen, daß Steinkohlen bei Abschluß der Luft zum Glühen erhitzt werden, ein Vorgang, den man als trockene Destillation bezeichnet. Auch aus Braunkohlen, Torf und bituminösen, d. h. asphalthaltigen Schiefen wird bei der trockenen Destillation, neben anderen Produkten, Ammonsulfat gewonnen. Die Weltproduktion an dieser Verbindung betrug 1912: $1\frac{1}{3}$ Millionen Tonnen, wovon 429 000 Tonnen, mehr als ein Drittel der Weltproduktion im Werte von 124 Millionen Mark in Deutschland verbraucht wurden.

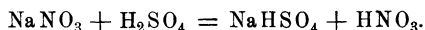
Der Chilisalpeter geht, ebenso wie der Guano der Erschöpfung entgegen, Schätzungen darüber sind sehr schwankend. Im Jahre 1911 sollten noch 50 bis 100 Millionen Tonnen vorhanden sein, und daraufhin berechnete man, daß dieser Vorrat noch 30 bis 50 Jahre reichen würde, vorausgesetzt, daß die Jahresproduktion keine weitere Steigerung erführe. — Ammonsulfat wird immer in beträchtlicher Menge gewonnen werden, solange man überhaupt Steinkohlen vergast und verkocht, aber die Produktion kann nicht beliebig gesteigert werden, weil sie von der Gas- und Koks-erzeugung abhängt. Im Jahre 1909 arbeiteten in Deutschland 14 422 Koksöfen mit Gewinnung von Nebenprodukten, 7514 ohne diese. Die technischen Prozesse auf diesem Gebiet waren und sind aber auch sonst von der Vollkommenheit noch weit entfernt. Statt der bei einer Jahresförderung von 150 Millionen Tonnen Steinkohlen berechneten Stickstoffmenge von $2\frac{1}{4}$ Millionen Tonnen gewann man in Deutschland im Jahre 1911 nur 75 000 Tonnen oder den dreißigsten Teil des in den geförderten Kohlen ent-

haltenen Stickstoffs. Hier sind also noch bedeutende Fortschritte zu machen. Auch der Hausbrand und die Heizung der Dampfkessel, bei welchen es eine Gewinnung von Nebenprodukten überhaupt nicht gibt, sind in dieser Hinsicht sehr reformbedürftig.

Es gab also eine Stickstofffrage. Wie wenn einst die Chilisalpeterlager erschöpft sind und die Gewinnung von Ammonsulfat die Anforderungen der Landwirtschaft nicht befriedigen kann? Dann stand die Existenz des Menschengeschlechts auf dem Spiel! Durch den Weltkrieg erhielt aber diese Frage für Deutschland eine noch viel unmittelbarere Bedeutung. Die Zufuhren an Chilisalpeter wurden abgeschnitten, und dadurch nicht nur die Landwirtschaft eines notwendigen Düngemittels, sondern zugleich die Munitionserzeugung ihres wichtigsten Rohstoffs beraubt. Denn der Chilisalpeter diente zur Fabrikation der Salpetersäure, mit deren Hilfe das rauchlose Pulver und andere Explosivkörper hergestellt werden. Außerdem wird Salpetersäure in der chemischen Industrie noch zu vielen anderen Zwecken gebraucht.

Nun enthält die atmosphärische Luft einen unerschöpflichen Vorrat an elementarem Stickstoff. Wenn es gelang, ihn in Salpetersäure oder Ammonsulfat überzuführen, so war für Krieg und Frieden gesorgt. In dieser Richtung sind nun in jüngster Zeit ganz außerordentliche Erfolge erzielt worden. Ehe wir uns aber mit diesen beschäftigen können, müssen wir erst die Körper, um die es sich handelt, etwas näher kennenlernen.

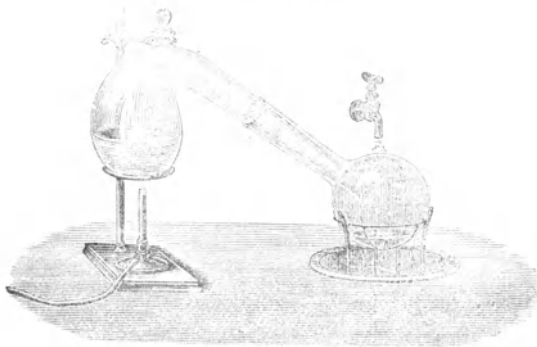
Da ist zunächst die Salpetersäure. Man stellt sie dar durch Einwirkung von Schwefelsäure auf salpetersaures Natrium im Sinne der Gleichung



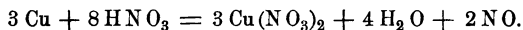
In diesem eigenartig geformten Glasgefäß — man nennt es eine Retorte (Abb. 9) — habe ich die Mischung der beiden Körper, die ich nun erwärme. Dadurch wird die Salpetersäure in Freiheit gesetzt; sie entweicht dampfförmig und wird in einer mit Wasser gekühlten Vorlage zu einer schwach gelblich gefärbten Flüssigkeit verdichtet. Wie schon früher erwähnt, ist die Salpetersäure eine sehr starke Säure, wovon wir uns noch einmal durch ihr Verhalten zum Lackmusfarbstoff in sehr starker Verdünnung überzeugen können. Aber sie hat noch besondere Eigenschaften, welche darauf beruhen, daß sie leicht einen Teil ihres Sauerstoffs

abgibt und in sauerstoffärmere Verbindungen übergeht. Infolgedessen ist sie ein kräftiges Oxydationsmittel, wodurch sie zerstörend auf viele organische Stoffe wirkt. In diesem Kölbchen habe ich etwas Stärke und bringe etwas Salpetersäure dazu. Wenn ich nun erwärme, so beginnt alsbald eine lebhaft, ja stürmische Einwirkung: es entwickelt sich ein braun gefärbtes Gas, und nach kurzer Zeit ist die Stärke verschwunden — natürlich wieder in dem Sinne, daß sie in Körper verwandelt wurde, die sich unserer Wahrnehmung entziehen. Das braune Gas besteht aus sauerstoffärmeren Verbindungen des Stickstoffs. — Nun

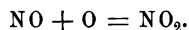
Abb. 9.



lasse ich meine Salpetersäure, von der ich einen Teil mit Wasser verdünnt habe, auf Kupferspäne einwirken. Hier beginnt sogleich, ohne daß ich nötig habe zu erwärmen, eine lebhaft Gasentwicklung; bei genauer Beobachtung zeigt sich, daß diesmal das Gas farblos ist, sich aber an der Luft braun färbt. Zugleich bemerken wir, daß die Salpetersäure eine blaue Farbe annimmt und das Kupfer allmählich als solches verschwindet, es verwandelt sich in das salpetersaure Salz $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. Die Salpetersäure gibt in diesem Falle noch mehr Sauerstoff ab als bei der Einwirkung auf Stärke, es entsteht das farblose Stickoxydgas NO . Die Gleichung dieses Vorganges ist etwas kompliziert, sie lautet:

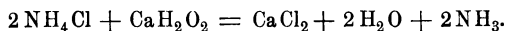


Der Sauerstoff der Luft oxydiert das farblose Stickoxyd zu braunem Stickstoffdioxyd, NO_2 :



Ein anderes Salz der Salpetersäure ist der gewöhnliche Salpeter, salpetersaures Kalium, KNO_3 , das zum Unterschied vom Chilialpeter auch Kalialpeter genannt wird; ferner der sogenannte Mauersalpeter, welcher hauptsächlich aus salpetersaurem Calcium, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, besteht; von beiden wird noch die Rede sein.

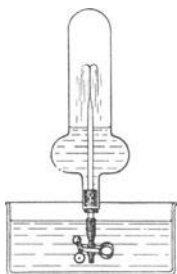
Das Ammonsulfat ist eine Verbindung der Schwefelsäure mit einem aus Stickstoff und Wasserstoff bestehenden Körper, dem Ammoniak, NH_3 . Ihr ähnlich ist der schon seit dem Altertum bekannte Salmiak, der jetzt, außer zum Löten und Verzinnen, besonders zum Füllen galvanischer Elemente benutzt wird. Er ist eine Verbindung von Ammoniak und Salzsäure, $\text{NH}_3 \cdot \text{HCl}$ oder NH_4Cl . Um daraus das freie Ammoniak zu gewinnen, erhitzen wir ihn mit staubförmig gelöschtem Kalk, Calciumhydroxyd, wodurch sich die folgende Umsetzung vollzieht:



Das Ammoniak entweicht dabei als ein farbloses Gas von durchdringend stechendem Geruch. Dieser Geruch ist Ihnen wohl allen von dem sogenannten Salmiakgeist her bekannt, welcher nichts anderes ist als eine Auflösung von Ammoniakgas in Wasser. In der Tat ist dieses Gas in Wasser löslich, viel leichter als die Gase, mit denen wir bisher zu tun hatten. Wenn wir das aus

Salmiak mit gelöschtem Kalk entwickelte Gas in Wasser leiten, so gehen anfangs die Gasblasen scheinbar unverändert durch das Wasser hindurch. Das hat aber seine Ursache darin, daß der Apparat ursprünglich mit Luft gefüllt war. In dem Maße, wie diese durch das entwickelte Ammoniakgas verdrängt wird, werden die Blasen kleiner, und schließlich werden sie ganz vom Wasser verschluckt. — Das Ammoniak hat aber eine noch überraschendere Eigenschaft. Leite ich es in eine durch Säure rot gefärbte Lackmuslösung, so schlägt deren Farbe in Blau um. Das Ammoniak ist also basischen Charakters. Hier habe ich ein birnförmiges Glasgefäß, das mit Ammoniakgas gefüllt ist (Abb. 10). Darunter steht eine größere Glasschale mit Wasser, dem etwas durch Säure gerötete Lackmuslösung zugesetzt ist. In der Öffnung der Birne befindet sich ein durchbohrter Kautschukstöpsel, durch den ein

Abb. 10.



zu einer Spitze ausgezogenes Glasrohr hindurchgeht, das bis etwa in die Mitte der Birne hineinragt. Sein unteres Ende taucht in das angesäuerte Wasser und ist zunächst durch ein Stück Kautschukschlauch mit Quetschhahn verschlossen. Öffne ich nun den Quetschhahn und bringe ein wenig von der Flüssigkeit in die Röhre, so daß nur einige Tropfen in das Innere der Birne gelangen, so zeigt sich uns ein kräftiger Springbrunnen: das Ammoniak löst sich mit großer Begierde in dem eindringenden Wasser auf, dadurch entsteht in der Birne eine Druckverminderung, der äußere Luftdruck treibt immer mehr Flüssigkeit hinein, und wenn die Birne vorher mit reinem Ammoniak gefüllt und alle Luft aus ihr verdrängt war, so wird sie in wenigen Augenblicken ganz von der Flüssigkeit erfüllt sein. Zugleich sehen wir, daß die in der Schale rote Flüssigkeit in der Birne durch die Aufnahme des Ammoniaks blau wird.

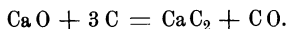
Wie mit Schwefelsäure und Salzsäure, so verbindet sich Ammoniak mit allen Säuren, und alle diese Verbindungen haben durchaus die Eigenschaften von Salzen, wofür der Salmiak das bekannteste Beispiel ist. Das ist sehr merkwürdig, denn wir lernten ja die Salze kennen als Verbindungen von Säuren, deren Wasserstoff ganz oder teilweise durch Metall ersetzt ist. Vergleichen wir nun die Formel des Salmiaks NH_4Cl mit derjenigen der Salzsäure HCl , so erscheint er als Salzsäure, deren Wasserstoff durch die Atomgruppe NH_4 ersetzt ist. Ebenso gibt es ein salpetersaures Ammon, NH_4NO_3 , ein schwefelsaures Ammon, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ usf. Die Verbindung mit Kohlensäure ist das unseren Hausfrauen als Backpulver wohlbekannte Hirschhornsalz. — Wir sehen also, daß hinsichtlich der Salzbildung die Gruppe NH_4 dieselbe Rolle spielt wie ein einwertiges Metall, z. B. Kalium oder Natrium. Um das auch in der Bezeichnung der Verbindungen zum Ausdruck zu bringen, hat man für diese Gruppe den Namen Ammonium eingeführt. Der Salmiak heißt demnach, entsprechend dem Chlornatrium, Chlorammonium, die Ammoniakverbindungen der Salpeter- und Schwefelsäure: salpetersaures und schwefelsaures Ammonium usf.

Das Ammoniakgas läßt sich, wie die Kohlensäure, aber noch leichter als diese, zu einer Flüssigkeit verdichten. Flüssiges Ammoniak wird daher in Stahlzylindern in den Handel gebracht. Der Druck in diesen ist kleiner als in den Kohlensäurebomben,

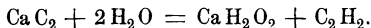
er beträgt bei gewöhnlicher Temperatur 7 bis 8 Atmosphären. Bei der Verdampfung des flüssigen Ammoniaks wird viel Wärme verbraucht, man hat davon auch eine Zeitlang zum Betriebe von Eismaschinen Gebrauch gemacht, schließlich aber den Kohlensäuremaschinen den Vorzug gegeben. — Ich habe hier eine solche Ammoniakbombe, der ich, nachdem ich sie umgekehrt habe, etwas flüssiges Ammoniak entnehme. Lasse ich dieses in einem dünnwandigen Glasgefäß, das in Wasser taucht, verdampfen, was ich durch Verbindung mit einer Wasserstrahl-Luftpumpe sehr beschleunigen kann, so umgibt es sich bald mit einer Eisschicht, und ich kann so in wenigen Minuten einen hübschen Eiskegel herstellen.

Verwertung des atmosphärischen Stickstoffs.

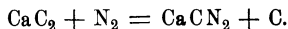
1. Kalkstickstoff. Im Jahre 1862 hat der große Göttinger Chemiker Friedr. Wöhler das Calciumcarbid entdeckt, das mit Wasser Acetylen entwickelt und jetzt dem Radfahrer zur Speisung seiner Lampe dient. Es wird fabrikmäßig durch Erhitzen von Kalk und Kohle im elektrischen Ofen gewonnen:



Das nebenbei entstehende Kohlenoxyd, CO, ein im Vergleich mit der Kohlensäure sauerstoffärmeres Oxyd des Kohlenstoffs, entweicht gasförmig. — Die Acetylenbildung entspricht der Gleichung



Das Calciumcarbid erlangte aber in neuerer Zeit eine noch viel größere Bedeutung durch eine Entdeckung von Ad. Frank und Nic. Caro aus dem Jahre 1896. Sie leiteten Stickstoff über erhitztes Calciumcarbid und fanden, daß dieses das Gas zurückhielt unter Bildung von Calciumcyanamid, CaCN_2 , und gleichzeitiger Abscheidung von elementarem Kohlenstoff:



Das Calciumcyanamid aber setzt sich mit Wasser zu kohlensaurem Calcium und Ammoniak um:

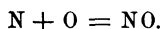


Da es diese Umsetzung durch die Bodenfeuchtigkeit erfährt, Ammoniak und seine Verbindungen aber den Pflanzen als Stickstoffquelle dienen, so erkannten Frank und Caro alsbald die

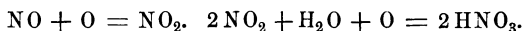
Bedeutung dieser Vorgänge für die Landwirtschaft. Es war nicht einmal nötig, das Calciumcyanamid rein darzustellen, der bei seiner Bildung abgeschiedene Kohlenstoff störte nicht, und so wurde das rohe Produkt $\text{CaCN}_2 + \text{C}$ ohne weiteres als ein neuer Stickstoffdünger der Landwirtschaft zugeführt. Es ist heute unter dem Namen Kalkstickstoff allgemein bekannt. Seine Benutzung erfährt nur dadurch eine Einschränkung, daß es für die Pflanzen giftig ist und deshalb nicht als Kopfdünger verwendet werden darf. — Während des Weltkrieges wurden in verschiedenen Teilen Deutschlands mächtige staatliche Stickstoffwerke errichtet, welche durch Wasserkräfte oder geringwertige Braunkohlen betrieben wurden. In ihnen wurden gewaltige Mengen von Calciumcarbid dargestellt, und daraus Calciumcyanamid, und weiter Ammoniak. Dieses wurde dann durch einen noch zu besprechenden Oxydationsprozeß in Salpetersäure übergeführt. — Heute arbeiten diese Werke nicht mehr für die Munitionserzeugung, sondern für die friedlichen Zwecke der Landwirtschaft.

2. Luftverbrennung. Der große englische Physiker und Chemiker Henry Cavendish, der die Zusammensetzung des Wassers entdeckt und die mittlere Dichte des Erdkörpers bestimmt hat, war gegen Ende des 18. Jahrhunderts mit umfassenden Untersuchungen über die Gase beschäftigt. Im Verlauf derselben beobachtete er 1785 beim Durchschlagen elektrischer Funken durch Luft über Kalilauge die Bildung kleiner Mengen von Salpeter. Praktische Folgen hatte diese wichtige Beobachtung damals nicht und konnte sie nicht haben, aber wenn sie auch lange schlummerte, so war sie doch nicht verloren. Freilich bedurfte es einer mächtigen Fortentwicklung der chemischen Wissenschaft und Technik, ehe man an ihre Nutzbarmachung denken konnte, und es verging mehr als ein Jahrhundert bis zu ihrer Erweckung. Diese gelang 1903 den Norwegern Christ. Birkeland und Sam. Eyde. Zwischen den Polen eines starken durch Wechselstrom betätigten Elektromagneten ließen sie einen elektrischen Flammenbogen übergehen, welcher dadurch zu einer kreisförmigen hell leuchtenden Scheibe von 2 m Durchmesser ausgebreitet wird. Diese „elektrische Sonne“ ist in einem Ofen aus feuerfestem Ton eingeschlossen; durch sie wird ein kräftiger Luftstrom geblasen. — Dasselbe Problem wurde von der Badischen Anilin- und Sodafabrik bearbeitet, und im Jahre 1907 konstruierte ihr

Chemiker Otto Schönherr einen Ofen für denselben Zweck, in welchem der elektrische Flammenbogen zu einer senkrechten, 1 bis 2 m langen Lichtlinie ausgezogen wird. — In diesen Apparaten verbrennt nun ein Teil des atmosphärischen Stickstoffs mit dem Sauerstoff der Luft zunächst zu Stickoxyd:



Nach dem Abkühlen wird dann das Stickoxyd durch den Sauerstoff der Luft zu dem braunen Stickstoffdioxydgas oxydiert, und dieses durch Berieselung mit Wasser unter weiterem Luftzutritt zum größten Teil in Salpetersäure übergeführt:



Die Bezeichnung „Luftverbrennung“ für die Bildung des Stickoxyds im elektrischen Flammenbogen ist streng genommen nicht korrekt, denn sie unterscheidet sich in wesentlichen Punkten von den wahren Verbrennungsprozessen. Diese entwickeln regelmäßig beträchtliche Wärmemengen, und wenn sie einmal in Gang gebracht sind, so laufen sie von selbst fort, bis entweder der brennbare Körper oder der zur Verfügung stehende Sauerstoff verbraucht ist. Im Gegensatz hierzu erfordert die Stickoxydbildung aus den Elementen einen bedeutenden Aufwand an Wärme, welche durch den elektrischen Flammenbogen geliefert wird. Stellt man diesen ab, so kommt die Stickoxydbildung zum Stillstand. Auch kann keineswegs der in der Luft enthaltene Stickstoff nach Maßgabe des vorhandenen Sauerstoffs „verbrannt“ werden, vielmehr gelingt das immer nur mit einem kleinen Bruchteil. Hier ist von wesentlichem Einfluß die Temperatur. Nach Versuchen von Nernst werden bei 1230° C nur 0,1 Proz. des Luftstickstoffs in Stickoxyd übergeführt, bei 1930° 1 Proz., bei 2300° 2 Proz., bei 2840° 4 Proz., bei 3060° 5 Proz. Die Temperatur hat auch einen sehr bedeutenden Einfluß auf die Geschwindigkeit der Reaktion, worüber Phil. Guey sehr interessante Versuche angestellt hat. Danach wird das Maximum an Stickoxyd erreicht:

bei 1000°	nach 82 Tagen,
„ 1500°	„ 1 $\frac{1}{4}$ „
„ 2100°	„ 5 Sekunden,
„ 2500°	„ 1/100 „

Nimmt man an, daß bei abnehmender Temperatur die Reaktionsdauer in entsprechender Weise zunimmt, so berechnet sich für 0°

ein Zeitraum von 1 350 000 Jahren, das heißt praktisch, daß die Reaktion aufhört.

Die Salpetersäure wird zum größten Teil an Kalk gebunden, teils als freie konzentrierte Salpetersäure gewonnen, teils auch in Natronsalpeter übergeführt. Das salpetersaure Calcium, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ — auch Kalksalpeter oder „Norgesalpeter“, d. h. norwegischer Salpeter genannt — ist ein vortreffliches Düngemittel. — Das Verfahren erfordert sehr bedeutende Mengen elektrischer Energie, daher ist es nur in Ländern mit ausgiebigen Wasserkraften wirtschaftlich durchführbar. 1912 waren in Norwegen 200 000 Pferdekraften ausgebaut, welche im Jahre 35 000 Tonnen Kalksalpeter lieferten; das war noch ein verhältnismäßig geringer Teil des Weltbedarfs, der 1911: 2 440 000 Tonnen Chilisalpeter erforderte. Aber das war erst der Anfang einer Entwicklung, welche freilich durch den Weltkrieg nicht gefördert wurde.

3. Ammoniak aus den Elementen.* Wie wir sahen, hat der Stickstoff nur geringe Neigung sich direkt mit andern Elementen zu verbinden. So blieben auch lange Zeit alle Versuche, durch Vereinigung von elementarem Stickstoff und Wasserstoff nennenswerte Mengen von Ammoniak zu gewinnen, ohne Erfolg. Noch im Jahre 1904 fand Fr. Haber, daß bei 1000° nur sehr geringe Mengen von Ammoniak entstehen, 1907 arbeitete Nernst bei einem Druck von 50 bis 70 Atmosphären ohne besseren Erfolg und im folgenden Jahre erhielten Haber und Le Rossignol bei 1000° und 30 Atmosphären 0,00481 Proz. Ammoniak, die Sache schien aussichtslos. Aber Haber hatte die Kühnheit, bei noch viel stärkeren Drucken und, statt mit ruhenden, mit strömenden Gasen zu arbeiten, zugleich wandte er ein Mittel an, das schon lange bekannt ist und in neuerer Zeit eine große Bedeutung erlangt hat. Es beruht darauf, daß manche Reaktionen, welche an sich sehr langsam oder unmerklich verlaufen, durch bloße Berührung mit gewissen Stoffen außerordentlich beschleunigt werden. Ein solcher Vorgang ist die von uns früher beobachtete Zersetzung des Wasserstoffsperoxyds durch Braunstein. — Besonders wirksam in dieser Richtung ist das Platin. Ich habe hier den uns schon bekannten Kippschen Gasentwicklungsapparat, der mit Zink und verdünnter Schwefelsäure beschickt ist. Öffne ich den daran befindlichen Hahn, so strömt Wasserstoffgas in die Luft ohne irgendwelche auffallende Erscheinung. Nachdem ich mich

in der üblichen Weise überzeugt habe, daß der Wasserstoff luftfrei ist, bringe ich in den Weg des ausströmenden Gases einen sogenannten Platinschwamm, an dem sich das Gas sofort entzündet. Ich kann den Versuch beliebig oft wiederholen, ohne daß das Platin dadurch verändert wird. Die Verbrennung des Wasserstoffs, seine Verbindung mit Sauerstoff, welche bei gewöhnlicher Temperatur nicht oder, genauer gesagt, mit unmerklicher Geschwindigkeit verläuft, wird also durch die bloße Berührung mit Platin so beschleunigt, daß sie sofort in die Erscheinung tritt. — Wir haben solche Wirkung des Platins schon bei dem Schwefelsäure-Kontaktverfahren kennengelernt. Wie ich damals bemerkte, bezeichnet man Vorgänge dieser Art als Katalyse, die Stoffe, welche sie herbeiführen, als Katalysatoren.

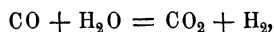
Unter Anwendung geeigneter Katalysatoren und eines Druckes von 100 bis 250 Atmosphären gelang im Jahre 1910 Haber in Verbindung mit Rossignol die Lösung der Aufgabe. Umgekehrt wie bei der elementaren Bildung des Stickoxyds, steigt hier der Erfolg mit abnehmender Temperatur. Dies und den Einfluß des Druckes zeigen die folgenden Zahlen:

	1 Atm. Proz.	100 Atm. etwa Proz. NH_3
800°	0,011	1,1
700	0,021	2,1
600	0,048	4,5
500	0,13	10,8
400	0,48	—

Man darf die Temperatur nicht zu niedrig nehmen, damit die Reaktionsgeschwindigkeit nicht zu klein wird. Als geeignet für die Praxis erwies sich eine Temperatur von 400° und ein Druck von 150 bis 200 Atmosphären, bei welchen eine Ausbeute von etwa 10 Proz. Ammoniak erzielt wurde. — Das Verfahren wurde in der Badischen Anilin- und Sodafabrik unter der genialen Leitung von K. Bosch technisch durchgearbeitet, wobei noch große Schwierigkeiten zu überwinden waren. Vor allem mußten die Gase in größter Reinheit hergestellt werden, weil durch Verunreinigungen die Katalysatoren bald unwirksam, „vergiftet“ werden. — Ein großer Vorzug des Verfahrens, im Gegensatz zur Stickoxydbildung, ist der Umstand, daß es Wärme entwickelt, und deshalb nur mäßiger Zufuhr von Energie bedarf. Es ist

daher unabhängig von Wasserkräften und besonders billigen Brennstoffen. — Eine Abänderung des Haberschen Verfahrens ist ein Verfahren von Claude, welches bei einem Drucke von 900 Atmosphären arbeitet und bis zu 25 Proz. Ammoniak erzielen soll. Es ist aber noch zu neu, um über seinen wirtschaftlichen Erfolg ein sicheres Urteil zu erlauben.

Die fabrikmäßige Herstellung des Ammoniaks aus den Elementen erfordert sehr bedeutende Mengen an Stickstoff und Wasserstoff. Den Stickstoff bietet die Luft in unbegrenzter Menge, freilich gemischt mit Sauerstoff und kleinen Mengen anderer Gase. Freien Wasserstoff enthält sie nahe der Erdoberfläche nur in Spuren. Dagegen hat man berechnet, daß sie in einer Höhe von 120 km aus fast reinem Wasserstoff besteht, und in 70 km Höhe fast genau aus 1 Raumteil Stickstoff und 3 Raumteilen Wasserstoff. Das ist nun gerade das Verhältnis der beiden Elemente im Ammoniak — leider können wir dieses wertvolle Gasgemenge nicht herunterholen! — Der Wasserstoff wird für die Luftschiffahrt und für autogene Schweißung usw. durch Elektrolyse hergestellt, was aber für die Ammoniakgewinnung zu teuer ist, wenn nicht billige Wasserkraft zur Verfügung steht. Auch durch Überleiten von Wasserdampf über glühendes Eisen erhält man Wasserstoff, er ist aber nicht rein genug. — Eine andere Quelle für elementaren Wasserstoff ist das heute als Brennstoff so wichtige Wassergas, von dem ich später noch zu sprechen habe. Es wird durch Erhitzen von Kohle in einem Strome von Wasserdampf erhalten und besteht ungefähr aus gleichen Raumteilen Wasserstoff und Kohlenoxyd. Die Entfernung des letzteren bewirkte die Badische Anilin- und Sodafabrik ursprünglich durch Abkühlen mit flüssiger Luft, wodurch das Kohlenoxydgas verflüssigt wird. Später ging sie zu einem Verfahren über, bei welchem das Wassergas mit einem andern, gleichfalls später noch zu besprechenden Heizgase, dem Generator- oder Luftgas, gemischt wird. Dieses gewinnt man durch unvollständige Verbrennung von Kohle mit Luft, es besteht aus ungefähr 1 Raumteil Kohlenoxyd und 2 Raumteilen Stickstoff. Werden Wassergas und Luftgas mit Wasserdampf bei höherer Temperatur über einen geeigneten Katalysator geleitet, so setzen sich Kohlenoxyd und Wasserdampf zu Kohlensäure und freiem Wasserstoff um



deren erstere bei erhöhtem Druck in Wasser gelöst und so entfernt wird. Durch richtige Abmessung der Gase erhält man ein Gemisch von Stickstoff und Wasserstoff in annähernd dem für die Ammoniakbildung erforderlichen Raumverhältnis 1:3. Dies wurde erreicht durch eine bewundernswürdige Ausbildung der Apparatur und die dadurch ermöglichte dauernde Kontrolle.

4. Salpetersäure aus Ammoniak. Schon lange wußte man, daß Ammoniak durch Sauerstoff unter Umständen, besonders in Gegenwart von fein verteiltem Platin oder auch von Kupfer, in Salpetersäure oder Stickstoffdioxid übergeführt werden kann, die Sache blieb aber lange unbeachtet. In neuerer Zeit hat Willh. Ostwald die Aufmerksamkeit auf die katalytische Oxydation des Ammoniaks gerichtet, und 1903 nahmen die Farbenfabriken, vorm. Friedr. Bayer & Co. ein darauf bezügliches Patent. Durch den Weltkrieg wurde die Sache dringend, das Ausbleiben des Chilisalpeters brachte die Verteidigung Deutschlands in die höchste Gefahr. Da berief die preußische Regierung Vertreter der chemischen Großindustrie nach Berlin und legte ihnen die Frage vor, ob die chemische Industrie Deutschlands in der Lage wäre, die zur Munitionserzeugung erforderliche Salpetersäure auch ohne Chilisalpeter zu erzeugen. Die Antwort lautete: „Wir können es noch nicht, aber wir werden es können.“ Und sie konnten es. In den großen Farbenfabriken und auf rheinischen Kohlenzechen entstanden mächtige Anlagen, in denen teils aus den Elementen, teils aus Steinkohlen gewonnenes Ammoniak zu Salpetersäure oxydiert wurde. — Ebenso geschah es mit dem Ammoniak aus Calciumcarbid.

Die ungeheuren Stickstoffwerke, die der Krieg aus dem Boden gestampft hat, sie werden nicht wieder verschwinden. Ihre Aufgabe ist es nun, der Landwirtschaft die Hilfsstoffe für ihre friedliche Arbeit zu liefern, und so die Wunden heilen zu helfen, die der Krieg geschlagen hat. Die Versorgung der Menschheit mit den für den Ackerbau unentbehrlichen Stickstoffverbindungen ist aber nun wohl für alle — normale — Zeiten gesichert. Gegenwärtig wird freilich der Weltbedarf an Stickstoff noch zum größten Teil durch den Chilisalpeter gedeckt.

Wasser.

Das Wasser macht auf der Erde einen natürlichen Kreislauf durch. Von der Oberfläche des Meeres und aller Gewässer verdunstet es unausgesetzt, am schnellsten in der heißen Zone und während der warmen Jahreszeit; aber auch Schnee und Eis verdunsten, wenn auch bedeutend langsamer. Der Wasserdampf erhebt sich in die Luft, von den Winden wird er in kältere Luftschichten getragen und hier, je nach der herrschenden Temperatur, zu Regen, Tau, Schnee oder Hagel verdichtet. Diese atmosphärischen Niederschläge sinken in den Erdboden, von dem sie zunächst wie von einem Schwamm aufgesogen werden, was bei Schnee und Hagel selbstverständlich erst nach dem Schmelzen geschieht. Kann der Boden nichts mehr aufnehmen, so läßt er den Überschuß in Quellen zutage treten, welche sich zu Bächen und Flüssen vereinigen; in ihnen strömt schließlich das Wasser dem Meere wieder zu. Dieser Kreislauf ist die notwendige Vorbedingung alles Lebens, ohne ihn wäre der Boden trocken und unfruchtbar.

Das Meerwasser ist, wie jedermann weiß, eine Salzlösung. Das Wasser der Ozeane und der Nordsee enthält etwa 3,5 Proz. Salze, von denen Kochsalz oder Chlornatrium den Hauptanteil ausmacht. Die Binnenseen sind im allgemeinen salzärmer, der Salzgehalt der Ostsee schwankt an verschiedenen Stellen von 0,7 bis 2 Proz. Aber es gibt auch Ausnahmen. So enthält das Wasser des Toten Meeres etwa 22 Proz. Salze, darunter aber nur 6,5 Proz. Chlornatrium, neben viel Chlorcalcium und Chlormagnesium.

Die Salze nehmen nicht teil an der Verdunstung des Wassers, daher sind die atmosphärischen Niederschläge davon frei, sie nehmen nur aus der Luft geringe Mengen von Gasen und festen Bestandteilen des Staubes auf. Dringt aber das Wasser in den Boden oder in tiefere Erdschichten, so löst es in Berührung mit

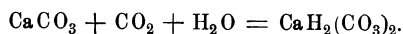
diesen mancherlei Stoffe auf, wodurch seine Eigenschaften nicht unwesentlich verändert werden. Um es von ihnen zu befreien, ahmen wir den natürlichen Kreislauf des Wassers im kleinen nach. Hier haben wir eine Glasretorte ähnlich der, die uns zur Darstellung der Salpetersäure gedient hat. Sie ist etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt, das ich durch eine Indigolösung blau gefärbt habe. Ich erhitze nun das Wasser zum Kochen und lasse die Dämpfe sich in einer gekühlten Vorlage verdichten. Nach einiger Zeit sehen wir, wie diese sich mit ungefärbtem Wasser füllt: die Wasserdämpfe gehen über, während der Farbstoff zurückbleibt. Ebenso bleiben bei der Verdampfung von Quell- und Fluß- oder auch von Meerwasser die gelösten Mineralstoffe zurück, so daß man auf solche Weise Meerwasser trinkbar machen kann. Man nennt diesen Vorgang eine Destillation; destilliertes Wasser verwendet man allgemein für wissenschaftliche, und auch für manche praktische Zwecke, z. B. in der Apotheke, in der Photographie usw. Der Kreislauf des Wassers ist eine Destillation im großen Maßstab, und die atmosphärischen Niederschläge sind das reinste Wasser, das wir in der Natur finden.

Unsere Hausfrauen wissen, daß Regenwasser sich besonders gut zum Kochen und Waschen eignet: es braucht weniger Seife als die meisten Brunnenwässer, es kocht die Gemüse leichter weich, es setzt in Töpfen und Kesseln keinen Wasserstein ab. Man nennt solches Wasser weich, während Quell- und Brunnenwässer meist mehr oder weniger hart sind. — Anderer Art sind die sogenannten Mineralwässer. Sie enthalten besondere Bestandteile und haben deshalb in vielen Fällen medizinische Anwendung, am bekanntesten sind wohl die Bitterwässer, die Eisensäuerlinge, Schwefel-, Jodquellen usw. — Die Salzsolen sind kochsalzhaltige Quellen, welche, wenn sie reichhaltig genug sind, zur Salzgewinnung ausgebeutet werden.

Die Härte des Wassers also rührt von den Mineralstoffen her, welche es aus den Erdschichten aufnimmt, mit denen es in Berührung kommt. In erster Linie wirken Salze des Calciums härtebildend, demnächst Salze des Magnesiums, während Kalium- und Natriumsalze in dieser Hinsicht ohne Wirkung sind. In einen dieser beiden Stöpselzylinder gieße ich reines destilliertes Wasser, in den anderen Kalkwasser. Bringe ich zu beiden etwas Seifenlösung und schüttele kräftig um, so bleibt der Inhalt des

ersten Zylinders fast klar, und an der Oberfläche des Wassers sammelt sich ein dauerhafter Schaum; im Kalkwasser dagegen entsteht ein starker weißer Niederschlag, es schäumt im Augenblick des Schüttelns, aber der Schaum verschwindet sehr bald. Der Vorgang erklärt sich in folgender Weise. Die Seifen bestehen aus den Natriumsalzen der sogenannten Fettsäuren. Sie sind in Wasser leicht löslich und ihre Lösungen besitzen die Eigenschaft des Schäumens; dagegen sind die Calcium- und Magnesiumsalze der Fettsäuren in Wasser unlöslich. Kommt Seife in hartes Wasser, so bilden sich diese Salze als flockiger Niederschlag, eine Erscheinung, die wir alle vom Waschen her kennen. Da sie unlöslich sind, so können sie auch keinen dauernden Schaum erregen; dieser kann bei hartem Wasser nur entstehen, wenn wir einen Überschuß an Seife anwenden.

Die Zusammensetzung der Erdschichten ist eine sehr wechselnde. Manche Gebirge, wie z. B. das Brockenmassiv, bestehen aus Granit oder ähnlichen sogenannten Eruptivgesteinen. Diese sind Mischungen verschiedener Mineralien, welche von Wasser sehr wenig angegriffen werden. Quellen, die im Verwitterungsgebiete solcher Gesteine entspringen, nehmen daher nur geringe Mengen mineralischer Stoffe auf und führen ein weiches Wasser zutage. Anders liegt die Sache bei Quellen, die sich im Kalkgebirge sammeln oder aus Kalkschichten hochgepumpt werden. Kalkstein ist, wie wir schon sahen, im wesentlichen kohlen-saures Calcium, CaCO_3 , und dieses ist im Wasser so gut wie unlöslich. Nun enthalten aber die natürlichen Wässer stets mehr oder weniger Kohlensäure, und dadurch erlangen sie die Fähigkeit, das kohlen-saure Calcium zu lösen, welches dadurch in ein lösliches Calciumbicarbonat übergeht:



Ebenso nimmt kohlen-säurehaltiges Wasser kohlen-saures Magnesium als Magnesiumbicarbonat, $\text{MgH}_2(\text{CO}_3)_2$ auf. Dadurch wird das Wasser hart. — Neben den kohlen-sauren Salzen des Calciums und Magnesiums nimmt aber meistens noch ein drittes Salz an der Härtebildung teil, das ist der Gips, das schwefel-saure Calcium, CaSO_4 . Im Gegensatz zum kohlen-sauren Calcium und Magnesium löst er sich in Wasser zwar nicht reichlich, aber ohne Vermittelung der Kohlensäure.

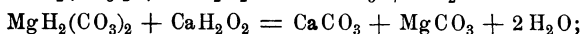
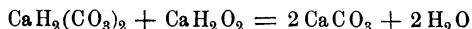
Entsprechend ihrer verschiedenen Natur und Zusammensetzung zeigen diese Härtebildner auch ein verschiedenes Verhalten. Die Bicarbonate des Calciums und Magnesiums sind sehr unbeständig, so daß sie aus ihren Lösungen gar nicht isoliert werden können. Verdunstet aus ihnen die Kohlensäure, so zerfallen sie, und die unlöslichen kohlensauren Salze fallen wieder aus. Dieser Vorgang führt in der Natur zur Bildung von Kalktuff, von Sintern und Tropfsteinen, welche oft die wunderbarsten Formen annehmen. Ich erinnere da an die herrlichen Tropfsteinhöhlen des Harzes, die Adelsberger Grotte im Karst usw. Auch beim Kochen harten Wassers scheidet sich kohlensaures Calcium und Magnesium aus, der Gips dagegen bleibt zunächst gelöst und fällt erst nieder, wenn so viel Wasser verdampft ist, daß das Zurückbleibende zu seiner Lösung nicht mehr hinreicht.

Man unterscheidet daher eine vorübergehende und eine bleibende Härte, die erste rührt von den Bicarbonaten des Calciums und Magnesiums her, die zweite vom Gips, unter Umständen auch von anderen löslichen Salzen; wir werden später einen solchen Fall kennenlernen. — Ich leite jetzt einen Strom von Kohlensäure in Kalkwasser, wodurch der uns bekannte Niederschlag von kohlensaurem Calcium entsteht. Er vermehrt sich zuerst, setze ich aber das Einleiten fort, so vermindert er sich, und er würde schließlich ganz verschwinden, wenn wir den Versuch lange genug fortsetzen könnten. Da wir das nicht abwarten können, so entferne ich den kleinen Rückstand durch Filtrieren und habe nun eine klare Flüssigkeit, welche nichts anderes ist als ein künstlich hergestelltes hartes Wasser. Koche ich dieses, so entweicht die Kohlensäure mit den Wasserdämpfen, und nun bildet sich ein kräftiger weißer Niederschlag von kohlensaurem Calcium. Die künstliche Härte war also eine vorübergehende, ich konnte sie durch Kochen wieder beseitigen.

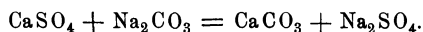
Wie wir sahen, hat sich das kohlensaure Calcium aus unserem künstlichen harten Wasser pulverig abgesetzt. Wird aber Wasser, das außer Calcium- und Magnesiumcarbonat auch Gips enthält, anhaltend verdampft, so scheidet sich der Gips in festen Krusten ab, welche die ausgeschiedenen kohlensauren Salze einhüllen und sie zu einer harten Masse verkitten. So entsteht der sogenannte Kesselstein, der für den Betrieb von Dampfkesseln und anderen Kochgefäßen sehr schädlich ist. Untergeordnet können auch

andere Bestandteile des Wassers an der Entstehung solcher Bildungen beteiligt sein. Kesselsteinähnliche Absätze bilden sich auch ohne Kochen in Röhren, durch die dauernd hartes Wasser fließt. — Die schädlichen Wirkungen des Kesselsteins beruhen hauptsächlich darauf, daß er im Vergleich mit dem Metall der Kesselwandung die Wärme schlecht leitet, er beeinträchtigt daher den Übergang der Wärme von den Feuergasen auf das Wasser, was einen bedeutenden Verlust an Brennstoff zur Folge hat. Auch hindert er die Berührung des Wassers mit der Kesselwand, wodurch die Heizplatte glühend werden und schnell verbrennen kann. Springt der Kesselstein ab oder bekommt er Risse und und kommt dadurch das Wasser mit der glühend gewordenen Heizplatte in Berührung, so bewirkt das eine zu plötzliche Dampfbildung, welche unter Umständen sogar eine Kesselexplosion zur Folge haben kann.

Es ist deshalb für den sparsamen und sicheren Betrieb der Dampfkessel sehr wichtig, der Kesselsteinbildung wirksam zu begegnen. Solange die Chemie noch keine Klarheit über die geschilderten Verhältnisse gebracht hatte, griff man zu den wunderlichsten Mitteln, die naturgemäß ihren Zweck nicht erreichen konnten — höchstens den, die Taschen derer zu füllen, die sie anpriesen und feil boten. Jetzt ist das anders geworden. Die Bicarbonate des Calciums und Magnesiums kann man durch einen Zusatz von gelöschtem Kalk entfernen:



den Gips durch Umsatz mit Soda:



Es mag auffallen, daß man den Kalk durch Kalk beseitigt, worüber aber die obige Gleichung klaren Aufschluß gibt. Natürlich muß man einen Überschuß von Kalk vermeiden, und hierfür, wie überhaupt für eine sachgemäße Durchführung des Verfahrens muß man die vorübergehende und die bleibende Härte des Wassers kennen. Diese Kenntnis erlangt man durch die chemische Analyse.

Als Maß der Härte hat man 10 mg CaO im Liter festgesetzt (1 mg = $\frac{1}{1000}$ g) und bezeichnet das als einen Härtegrad. Dabei wird auch vorhandenes MgO auf die entsprechende Menge CaO

umgerechnet. Ein Beispiel möge diese Verhältnisse noch deutlicher machen. Nehmen wir an, wir hätten ein Wasser von 10^o vorübergehender und 2^o bleibender Härte und sollten berechnen, wieviel Kalk und Soda zu seiner Enthärtung gebraucht wird.

1^o vorübergehende Härte entspricht 10 mg Kalk im Liter
 10^o " " " 100 mg oder 0,1 g Kalk im Liter
 = 100 g im Kubikmeter
 2^o bleibende Härte entspricht 20 mg oder 0,02 g Kalk im Liter
 = 20 g im Kubikmeter.

Die zur Beseitigung der bleibenden Härte erforderliche Menge Soda berechnet sich wie folgt:

Ca = 40	Na ₂ = 46	56 CaO = 106 Na ₂ CO ₃
O = 16	C = 12	20 CaO = 20 · 106 : 56 = 37,8 g Na ₂ CO ₃ .
CaO = <u>56</u>	O ₃ = 48	
	Na ₂ CO ₃ = <u>106</u>	

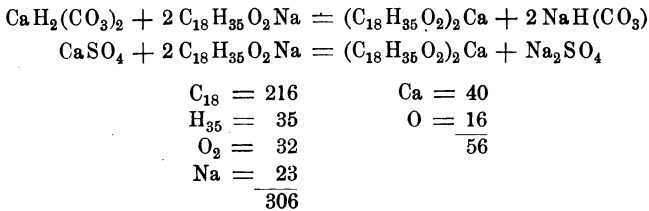
Wir brauchen also für einen Kubikmeter dieses Wassers 100 g Kalk und 37,8 g Soda. Sind beide Chemikalien, wie es gewöhnlich der Fall sein wird, nicht ganz frei von unwirksamen Beimengungen, so brauchen wir entsprechend mehr. Enthält z. B. der Kalk 92 Proz. CaO, die Soda 96 Proz. Na₂CO₃, so sind auf 1 cbm Wasser zu nehmen:

$$100 \cdot 100 : 92 = 108,7 \text{ g Kalk} \quad \text{und} \quad 37,8 \cdot 100 : 96 = 39,4 \text{ g Soda.}$$

Seit einiger Zeit hat sich ein sogenanntes Permutitverfahren der Wasserenthärtung eingeführt, welches sehr bequem ist und sich anscheinend gut bewährt. Zu seiner Ausführung dienen gewisse, als Zeolithe bezeichnete Mineralien, oder auch ähnliche künstliche Produkte. Es sind wasserhaltige Salze der Kieselsäure mit Natrium und Aluminium. Bringt man sie mit hartem Wasser in Berührung, so tauschen sie ihr Natrium gegen Calcium und Magnesium aus, wodurch das Wasser enthärtet wird. Das dabei entstehende kohlen- und schwefelsaure Natrium bleibt im Wasser ohne schädliche Folgen für den Kesselbetrieb. Durch nachträgliche Behandlung des Zeoliths mit Kochsalzlösung wird das aufgenommene Calcium und Magnesium wieder durch Natrium ersetzt und dadurch der Zeolith regeneriert, so daß er wieder für denselben Zweck gebraucht werden kann.

Es wird lehrreich sein, auch den Einfluß der Härte auf den Verbrauch an Seife rechnerisch zu verfolgen. Die gewöhnlichen Waschseifen sind die Natriumsalze verschiedener aus den Fetten

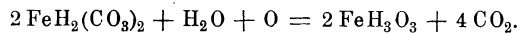
darstellbarer und deshalb Fettsäuren genannter Säuren. Unter diesen wähle ich als Beispiel die Stearinsäure. Sie hat die komplizierte Formel $C_{18}H_{36}O_2$, von ihren 36 Wasserstoffatomen ist nur eins durch Metalle ersetzbar. Die Stearinsäure ist also eine einbasische Säure, und ihr Natriumsalz hat die Formel $C_{18}H_{35}O_2Na$; das Salz des zweiwertigen Calciums ist $(C_{18}H_{35}O_2)_2Ca$. Nun haben wir:



56 Teile CaO führen also $2 \cdot 306 = 612$ Teile stearinsaures Natrium in unlösliches und daher beim Waschen unwirksames Calciumsalz über. Haben wir ein Wasser von 10° Härte, entsprechend 0,1 g CaO im Liter, so schlägt 1 Liter von diesem $612 \cdot 0,1 : 56 = 1,092$ g stearinsaures Natrium nieder. Nun enthält jede Seife aber immer noch eine nicht unbeträchtliche Menge Wasser, was keine Verfälschung ist, eine gute lufttrockene Kernseife z. B. 25 Proz., demnach 75 Proz. trockenes Natriumsalz. In diesem Falle entsprechen die obigen 1,092 g $C_{18}H_{35}O_2Na$: $1,092 \cdot 100 : 75 = 1,46$ g Seife. 1 cbm = 1000 Liter Wasser von 10° Härte macht also 1460 g oder 1,46 kg Seife unwirksam. 10° ist aber eine mäßige Härte; beispielsweise wurde im Leitungswasser der Stadt Hannover eine Gesamthärte von $21,2^\circ$ gefunden. — Für die großen Wäschereien ist, wie hieraus ersichtlich, die Härte des Wassers eine bedeutende Verlustquelle; wenn sie nicht von selbst über ein weiches Wasser verfügen, so ist die Beseitigung der Härte für sie eine wichtige Sache. Dasselbe gilt von Färbereien und vielen chemischen Betrieben.

Für Trinkwasser ist Härte kein Übelstand, wenn sie sich in mäßigen Grenzen hält, im Gegenteil schmeckt uns ein weiches Wasser fade, auch mag der Genuß kalkhaltigen Wassers der Knochenbildung günstig sein. Den frischen Geschmack verdankt ein gutes Trinkwasser aber auch seinem Gehalt an Kohlensäure. Abgestandenes Wasser schmeckt uns nicht, weil es den größten Teil seiner freien Kohlensäure durch Verdunstung eingebüßt hat.

Dagegen kann sich ein anderer Bestandteil unangenehm bemerkbar machen: das Eisen. Dieses ist in manchen Quellen als Bicarbonat, $\text{FeH}_2(\text{CO}_3)_2$ enthalten und erteilt ihnen einen metallischen, tintenähnlichen Geschmack. Dieselbe Verbindung enthalten die medizinisch verwendeten Eisensäuerlinge. Diese setzen in dem Bette, durch das sie fließen, einen rotbraunen, aus Eisenhydroxyd, FeH_3O_3 bestehenden Ocker ab, dessen Bildung durch den Sauerstoff der Luft bewirkt wird:



Hiervon macht man Gebrauch, um eisenhaltiges Trinkwasser von seinem Eisengehalt zu befreien. Man braucht es nur über eine Dornenhecke oder ein Kiesfilter rieseln zu lassen und dafür zu sorgen, daß der Sauerstoff der Luft hinreichenden Zutritt hat. — Auch zum Färben ist eisenhaltiges Wasser, außer für Schwarz und dunkle Farben, ungeeignet, weil zarte und besonders lebhaftere Farben dadurch getrübt werden. Es kann daher auch der Färber in die Notwendigkeit kommen, sich eine Enteisungsanlage zu beschaffen.

Brennstoffe.

Für den Haushalt und die Industrie ist die wichtigste Wärmequelle noch immer der Verbrennungsprozeß. Die durch Elektrizität erzeugte Wärme ist für die meisten Zwecke noch zu teuer; auch wird ja die Elektrizität, wo keine Wasserkraft zur Verfügung steht, von Maschinen erzeugt, welche durch Aufwand von Wärme betrieben werden. In diesem Falle ist die elektrische Heizung ein Kreisprozeß, der sich natürlich nicht ohne Verlust vollzieht. — Die direkte Verwertung der Sonnenwärme als Kraftquelle hat sich, obwohl mehrfach versucht, noch nicht in wirtschaftlich befriedigender Weise verwirklichen lassen. Indirekt freilich ist die Sonne die Quelle aller Wärme und Kraftwirkungen auf der Erde; ohne ihre Strahlen gäbe es weder Holz, Torf, Braunkohle oder Steinkohle noch Wasserkraft. Die Steinkohle haben sich durch Vermoderung vorweltlicher Pflanzen gebildet, welche vor vielen Jahrtausenden unter dem Einfluß des Sonnenlichtes entstanden waren; die Braunkohle sind jüngeren Datums, Torf und Holz aber bilden sich in der Gegenwart unter unseren Augen. Bei der Bildung der pflanzlichen Brennstoffe wird die verbrauchte Energie der Sonnenstrahlen in ihnen angehäuft, sie wird latent, bei ihrer Verbrennung aber wird sie als Wärme wieder frei.

Man hat die Verbrennungswärme der wichtigsten Brennstoffe bestimmt und für je ein Kilogramm gefunden

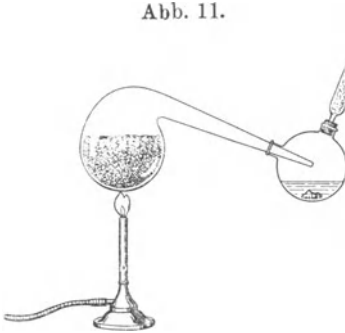
Kohlenstoff	8140	Kalorien
Koks	7000—8000	„
Holzkohle	etwa 7000	„
Steinkohle	6000—8000	„
Braunkohle	4500—5000	„
Torf	3000—4000	„
Holz, lufttrocken	etwa 3000	„

Die direkte Verbrennung, wie sie in großen und kleinen Feuerungen meistens noch immer ausgeführt wird, ist wenig rationell. Sie erfordert einen Überschuß an Luft, um vollständig zu sein, was einen erheblichen Wärmeverlust zur Folge hat. In

gleichem Sinne wirkt der Umstand, daß die Verbrennungsgase mit ziemlich hoher Temperatur in den Kamin gehen müssen, um den Zug zu unterhalten, ohne den das Feuer verlöschen würde. Bei der direkten Verfeuerung der Steinkohlen gehen überdies die wertvollen Nebenprodukte verloren. Die Technik verfügt nun über verschiedene Mittel um hier Abhilfe zu schaffen. Sie bestehen alle in einer mehr oder weniger vollständigen Vergasung der Kohlen. Mit einer solchen begann man schon um das Jahr 1600 in Deutschland und England, um dadurch Koks zum Erhitzen des Eisens aus seinen Erzen zu gewinnen. In nennenswerter Weise setzte aber die Kokserzeugung erst im 18. Jahrhundert ein. Auf der Grenze des 18. und 19. Jahrhunderts wurde dann in England die Gasbeleuchtung erfunden, welche 1815 in Paris, 1826 in Berlin und Hannover, 1838 in Leipzig eingeführt wurde. Auch die Erzeugung des Leuchtgases beruht auf einer partiellen Vergasung der Steinkohlen.

In einer Retorte aus schwerschmelzbarem Glase erhitze ich hier Steinkohlen bei Abschluß der Luft (Abb. 11). Infolge des

Abb. 11.



letzteren Umstandes können sie nicht verbrennen, aber sie erfahren durch die Wärmezufuhr eine andere nicht minder tiefgreifende Veränderung. Nach einiger Zeit bemerken wir, daß sich in der kugelförmigen Vorlage zwei miteinander nicht mischbare Flüssigkeiten ansammeln, der braune, öltartige Teer und das auch etwas gefärbte Gaswasser, und aus einer daran ge-

setzten, zu einer Spitze ausgezogenen Glasröhre entweichen Gase, die ich anzünden kann. Sie brennen mit einer leuchtenden Flamme, welche einer Kerzenflamme gleicht. Halte ich einen kalten Porzellanteller hinein, so wird er wie von einer Kerzenflamme berußt. — Den Vorgang nennt man eine trockene Destillation, mein kleiner Apparat aber ist das Modell einer Gasanstalt. Die Gaserzeugung im großen stimmt im Prinzip vollkommen mit unserem Versuch überein, aber freilich der dafür dienende Apparat sieht ganz anders aus. Die Gasretorten be-

stehen nicht aus Glas, sondern aus feuerfestem Ton, sie sind von zylindrischer Form und es liegen immer mehrere, z. B. neun zusammen in einer Feuerung. In einer größeren Gasanstalt steht eine ganze Reihe solcher Öfen nebeneinander. Die aus den einzelnen Retorten entweichenden Gase werden nebst den Dämpfen des Teers und des Gaswassers von einem gemeinsamen Sammelkanal aufgenommen und weiter durch verschiedene Apparate geleitet, in denen Teer und Gaswasser zurückgehalten werden. Das diesen entströmende Rohgas darf aber noch nicht dem Gebrauch übergeben werden, weil es verschiedene schädliche Bestandteile enthält, die erst entfernt werden müssen. Unter ihnen nenne ich den Schwefelwasserstoff, H_2S , der von einem geringen Schwefelgehalt der Steinkohlen herrührt. Er würde in den Gasflammen zu Wasser und Schwefeldioxyd verbrennen und dadurch die Luft in geschlossenen Räumen verunreinigen. Zu seiner Beseitigung leitet man das Gas durch Kästen, welche eine im wesentlichen aus Eisenhydroxyd, FeH_3O_3 bestehende trockene Reinigungsmasse enthalten. Diese setzt sich mit dem Schwefelwasserstoff um unter Bildung von Schwefeleisen. Sobald sie mit Schwefel gesättigt ist, kann sie durch Ausbreiten an die Luft regeneriert und so noch mehrmals benutzt werden. Endlich muß man sie durch frische ersetzen. Die nicht mehr brauchbare Masse wird an chemische Fabriken abgegeben, in denen der darin enthaltene Schwefel auf Schwefelsäure verarbeitet wird. Sie enthält auch noch einige andere Verbindungen, welche gleichfalls verwertet werden können. — Der Schwefelwasserstoff kann und soll vollständig entfernt werden, aber das rohe Leuchtgas enthält außer ihm noch kleine Mengen flüchtiger Schwefelverbindungen, welche sich technisch nicht vollkommen beseitigen lassen. Infolgedessen ist auch das gereinigte Leuchtgas nicht völlig schwefelfrei. Das bei seiner Verbrennung entstehende Schwefeldioxyd dient natürlich nicht zur Verbesserung der Luft; es ist daran schuld, das in mit Gas beleuchteten Wohnräumen Blumen mangelhaft gedeihen.

Die Hauptbestandteile des gereinigten Steinkohlengases sind elementarer Wasserstoff und die einfachste Verbindung von Kohlenstoff und Wasserstoff, das Methan, CH_4 . Man nennt es auch Sumpfgas, weil es sich als Produkt der Vermoderung abgestorbener Pflanzen in Sümpfen entwickelt, oder auch Grubengas, weil es als Zersetzungsprodukt der Stein- und Braunkohlen

die Grubenwetter bildet, welche zuweilen bei ungenügender Wetterführung verhängnisvolle Explosionen herbeiführen. Außer diesen beiden Gasen enthält das Steinkohlengas stets Kohlenoxyd, CO und kleine Mengen anderer gasförmiger Kohlenwasserstoffe: Äthylen, C_2H_4 und Acetylen, C_2H_2 ; ferner Dämpfe von Benzol, C_6H_6 und Naphthalin, $C_{10}H_8$. Im Gegensatz zu dem spezifisch leichteren Methan faßt man sie wohl als schwere Kohlenwasserstoffe zusammen. — Die Zusammensetzung eines gereinigten Leuchtgases ist beispielsweise:

Wasserstoff	49 Vol.-Proz.	Schwere Kohlenwasserstoffe	4 Vol.-Proz.
Methan	34 „	Kohlensäure	1 „
Kohlenoxyd	8 „	Stickstoff	4 „

Das heißt also: 100 cbm Leuchtgas enthalten 49 cbm Wasserstoff usw.

Die Verwendung des Steinkohlengases zur Beleuchtung geschah früher, indem man es aus einem Schnittbrenner ausströmen ließ und entzündete. Hier habe ich einen solchen Brenner, er gibt eine flache, etwa dreieckige Flamme, welche in ihrem oberen Teile ein gelblich weißes Licht ausstrahlt, im unteren aber nur wenig leuchtet. Zugleich überzeugen wir uns durch Dahinterhalten irgend eines Gegenstandes, daß der untere Teil durchsichtig ist, der obere aber undurchsichtig. Halte ich in den leuchtenden Teil der Flamme einen kalten Teller, so wird er berußt wie von einer Kerzenflamme. Aus diesem Grunde eignet sich ein solcher Brenner nicht zum Heizen. Um das Leuchtgas auch hierfür zu benutzen, hat der berühmte Chemiker Bunsen in der Mitte des vorigen Jahrhunderts einen anderen Brenner konstruiert, der in den chemischen Laboratorien jetzt allgemein im Gebrauch ist. In ihm entströmt das Gas einer engen Öffnung. Entzünde ich es an dieser, so brennt es, wie das aus dem Schnittbrenner, mit einer leuchtenden und rußenden Flamme, die aber nicht flach ist, sondern kegelförmig wie eine Kerzenflamme. Für den Gebrauch zünden wir das Gas aber nicht direkt an der Ausströmungsöffnung an, sondern wir lassen es von dieser in eine weitere Röhre treten, welche an ihrem unteren Ende zwei seitliche Öffnungen hat. Zünden wir das Gas an ihrer oberen Mündung an, so erhalten wir eine bläuliche, schwach leuchtende, durchsichtige und nicht rußende Flamme. Ein solcher „Bunsenbrenner“ ist ein

vortrefflicher Heizkörper. Die jetzt allgemein gebrauchten Gaskocher sind nichts anderes als ihrem besonderen Zwecke angepaßte Bunsenbrenner.

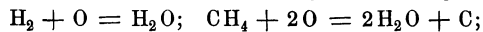
Fragen wir nun, warum das Gas an dem einen Brenner mit leuchtender Flamme brennt, am andern aber mit nicht oder kaum leuchtender Flamme, so drängt sich zuerst die Frage auf: Was ist überhaupt eine Flamme? Wir können sie zunächst dahin beantworten: die Flamme ist eine Begleiterscheinung der Verbrennung — aber nicht jeder Verbrennung. Wasserstoff und Leuchtgas brennen mit Flamme, Eisen dagegen brennt im Sauerstoff zwar mit lebhaftem Funkensprühen, aber ohne Flamme. Wir kommen also zu dem Schluß: Eine Flamme ist ein brennendes Gas. Dem scheint auf den ersten Blick zu widersprechen, daß auch Schwefel und Phosphor mit Flamme brennen. Nun sind freilich diese beiden Stoffe bei gewöhnlicher Temperatur fest, aber durch die bei ihrer Verbrennung erzeugte Wärme werden sie verdampft, und ihre Flammen sind brennender Schwefel- und Phosphordampf. Wir werden daher unseren Schluß erweitern und sagen: Eine Flamme ist ein brennendes Gas oder ein brennender Dampf. Brennendes Eisen dagegen bleibt auch während der Verbrennung fest, es verdampft nicht, und darum gibt es keine Flamme. — Wie steht es nun aber mit der Kerze? Hier liegt die Sache ähnlich wie beim Schwefel und Phosphor, aber doch nicht ganz ebenso, denn die Substanz der Kerze wird durch Erhitzen nicht einfach verdampft. Dagegen erfährt sie bei höherer Temperatur, ähnlich wie die Steinkohlen, eine trockene Destillation, deren Erfolg die Bildung brennbarer Gase ist, und diese brennen in der Kerzenflamme. Ich kann das durch einen sehr einfachen Versuch zeigen. In das Innere einer Kerzenflamme bringe ich das untere Ende einer kurzen, am oberen Ende zu einer Spitze ausgezogenen Glasröhre so, daß die Röhre schräg aufwärts gerichtet ist. Habe ich die Stellung richtig getroffen, was freilich nicht immer sogleich gelingt, dann kann ich an der Spitze der Röhre ein kleines Flämmchen anzünden, das sind die brennenden Gase der Kerzenflamme. Für die Beobachtung aus der Entfernung kann ich die Erscheinung dadurch noch deutlicher machen, daß ich an dem Flämmchen ein Stückchen Papier entzünde. Auch in der Flamme einer Öllampe brennen die gas- und dampfförmigen Zersetzungsprodukte des Öls; Petroleum dagegen ver-

dampft unzersetzt, und seine Flamme ist brennender Petroleumdampf.

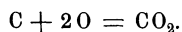
Nun erinnern wir uns, daß der Schwefel mit einer blauen, schwach leuchtenden Flamme brennt, die Phosphorflamme dagegen ein blendend weißes, sonnenähnliches Licht aussendet. Die Erklärung dieses Unterschiedes werden wir finden, wenn wir nicht nur die brennenden Stoffe selbst, sondern auch ihre Verbrennungsprodukte in Betracht ziehen. Diese aber sind beim Schwefel das gasförmige Schwefeldioxyd, beim Phosphor das feste Phosphor-pentoxyd. Falls sich diese Erfahrung in andern Fällen bestätigt, so kommen wir zu dem Schluß, daß ein Gas oder Dampf bei hoher Temperatur nur wenig Licht ausstrahlt, ein fester Körper dagegen unter denselben Umständen zu lebhaftem Glühen kommt. Und so ist es in der Tat. Ich kann mich hierfür auf Beobachtungen berufen, die wir bei früheren Gelegenheiten gemacht haben. Als ich eine Platindrahtspirale in die schwach leuchtende Flamme eines Bunsenbrenners brachte, sahen wir sie lebhaft erglühen, aber dieses Glühen verschwand sofort, als ich sie aus der Flamme entfernte. Es war also nur eine Folge der Erwärmung durch die Flamme und die Temperatur des Drahtes jedenfalls nicht höher als diejenige der Flamme. Das Platin ist eben ein fester Körper, und darum leuchtet es bei hoher Temperatur soviel stärker als das brennende Gas. — Ebenso ist es mit dem Drummondschen Kalklicht, das wir erhielten, als wir ein Kreidestäbchen in die wenig leuchtende Knallgasflamme brachten. — Wollte man daher von zwei Flammen die hellere stets auch für die heißere halten, so könnte man sich zuweilen bedeutend irren. Ich entzünde hier ein wenig Schwefel und bringe nun ein Stück Papier in die Flamme, die es sofort entzündet. Das würde brennender Phosphor nicht bewirken. Dieser ist so leicht brennbar, daß er sich unter günstigen Umständen an der Luft von selbst entzünden kann. Um das zu zeigen, benutze ich eine Auflösung von Phosphor in einer eigentümlichen Flüssigkeit, welche eine chemische Verbindung von Schwefel und Kohlenstoff ist, und deshalb den Namen Schwefelkohlenstoff führt. Mit dieser tränke ich einen Streifen Filtrierpapier und hänge ihn auf. Nach einigen Minuten ist der leicht flüchtige Schwefelkohlenstoff verdunstet und hinterläßt den Phosphor in feiner Verteilung, worauf dieser sich an der Luft entzündet. Durch seine Flamme wird das Papier nur

verkohlt, um es zu entzünden reicht die Temperatur des brennenden Phosphors nicht aus. Die blendend helle Phosphorflamme ist also nicht so heiß wie die schwach leuchtende Schwefelflamme. — Was in der Phosphorflamme so hell leuchtet, ist nicht der brennende Phosphordampf, sondern das durch ihn erhitzte feste Phosphorperoxyd.

Wenn nun das Leuchtgas je nach Umständen mit leuchtender oder nichtleuchtender Flamme brennt, so muß seine Flamme im einen Falle einen glühenden festen Körper enthalten, im andern nicht. Die Frage nach der Natur dieses Körpers beantwortet sich, wenn wir uns erinnern, daß die leuchtende Flamme ruß, der nichtleuchtenden aber diese Eigenschaft abgeht. Da nun Ruß nichts ist als elementarer Kohlenstoff, so kann nur die Anwesenheit dieses Körpers das Leuchten der Gasflamme verursachen. Bei einem einfachen Brenner findet im Innern der Flamme keine vollständige Verbrennung statt, da der hierzu erforderliche Sauerstoff von außen nur mangelhaften Zutritt hat. Es wird daher in erster Linie der am leichtesten brennbare Wasserstoff verbrennen, während der Kohlenstoff zunächst in fester Form ausgeschieden wird und zum Glühen kommt. Erst im äußeren Saume der Flamme wird auch er durch Berührung mit dem Sauerstoff der Luft verbrennen. Im Innern der Flamme werden sich also hauptsächlich die folgenden Vorgänge abspielen:



in der äußeren Flamme:



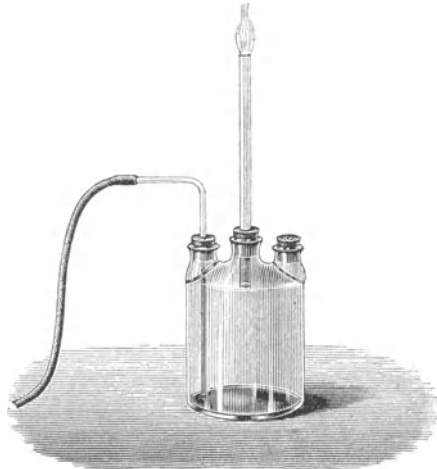
Im Bunsenbrenner liegen die Verhältnisse anders. Der in dem weiteren Brennerrohr aufsteigende Gasstrom saugt durch die seitlichen Öffnungen äußere Luft an, welche sich dem Gase beimischt, und so haben wir hier im Innern der Flamme Sauerstoff. Infolgedessen verbrennt der Kohlenstoff zugleich mit dem Wasserstoff und kommt nicht erst zur Ausscheidung. — Wir verstehen nun auch, warum die leuchtende Flamme undurchsichtig ist: sie ist erfüllt von zahllosen Kohlenstäubchen, welche sie trüben, ähnlich wie das durchsichtige Kalkwasser beim Einleiten von Kohlensäure durch Ausscheidung von kohlensaurem Calcium getrübt und dadurch undurchsichtig wird. In der nichtleuchtenden Bunsenflamme fehlen diese Kohlenteilchen, sie besteht nur aus Gasen, und diese sind immer durchsichtig.

Übrigens haben die verschiedenen Bestandteile des Leuchtgases einen sehr verschiedenen Anteil an dem Leuchteffekt. Vom Wasserstoff wissen wir schon, daß er mit kaum leuchtender Flamme brennt; auch die Kohlenoxydflamme gibt nur ein schwaches blaues Licht, wie wir später noch sehen werden. Die eigentlichen Lichtspender sind die Kohlenwasserstoffe, und zwar um so wirksamer, je mehr Kohlenstoff sie enthalten. Das sind vor allem die schweren Kohlenwasserstoffe, während das Methan am wenigsten Kohlenstoff enthält und daher auch am wenigsten leuchtet. Daß Acetylen mit sehr heller Flamme brennt, ist heute allgemein bekannt. Ähnlich ist es mit Benzol und Naphthalin, wie wir uns leicht überzeugen können, wenn wir von diesen Stoffen je eine Probe verbrennen. — Deshalb sind aber auch die wenig leuchtenden Anteile des Leuchtgases durchaus nicht überflüssig: Durch ihre Verbrennung erzeugen sie eine hohe Temperatur, welche notwendig ist, um den vorübergehend ausgeschiedenen Kohlenstoff zu lebhaftem Glühen zu bringen.

Seit etwa 30 Jahren hat sich allmählich eine andere Art der Gasbeleuchtung entwickelt, welche viel vorteilhafter ist als die frühere und diese jetzt wohl ganz verdrängt hat. Sie beruht auf einer Erfindung Auer v. Welsbachs und besteht darin, daß in der nichtleuchtenden Flamme eines Bunsenbrenners ein Glühkörper erhitzt wird, welcher aus den Oxyden gewisser wenig verbreiteter Metalle hergestellt wird. Sie haben die Eigenschaft, in der Hitze ein ganz besonders helles Licht auszustrahlen. Also auch in diesem Falle ist der Lichtspender ein fester Körper. Während früher die Leiter der Gasfabriken ihr Augenmerk darauf richteten, ein Gas von möglichst hoher Leuchtkraft zu erzielen, ist das jetzt kaum mehr nötig, das Gas ist nur noch der Wärmeerzeuger, durch dessen Verbrennung der Glühkörper zum Lichtspender wird. Auch dient heutzutage das Gas mehr und mehr zum Heizen und zum Betriebe von Gasmaschinen, und hierfür bedarf es überhaupt keiner Lichtentwicklung. Dagegen stellt man jetzt an die Heizkraft des Gases die höchsten Anforderungen. Während das Leuchtgas von seinem ursprünglichen Gebiet seit der Einführung der Metallfadenlampen mehr und mehr an die elektrische Beleuchtung abtreten mußte, ist seine Bedeutung als Heiz- und Treibmittel in fortwährendem Wachsen.

Neben seinen großen Vorzügen hat aber das Leuchtgas auch einige Schattenseiten. Da ist vor allem seine Explosionsfähigkeit, welche es mit allen brennbaren Gasen teilt, und die von Zeit zu Zeit böse Unglücksfälle herbeiführt. Freilich beruht gerade auf dieser Eigenschaft auch seine Anwendung zum Betriebe von Gasmotoren. Um sie Ihnen gefahrlos zu zeigen, habe ich hier eine dreihalsige Flasche von 1 bis 2 Litern Inhalt, in deren einen Tubulus eine Röhre mündet, welche bis auf den Boden der Flasche reicht, und deren anderes Ende mit der Gasleitung verbunden ist (Abb. 12). Der mittlere Tubulus trägt eine etwa $\frac{3}{4}$ m lange und etwa

Abb. 12.



$1\frac{1}{4}$ cm weite Röhre, welche oben und unten offen ist und kurz unter dem Flaschenhals mündet. Der dritte Tubulus ist zunächst durch einen Korkstöpsel verschlossen. Nun lasse ich das Gas einströmen, und sobald ich sicher bin, daß es die Luft in der Flasche verdrängt hat, zünde ich es an der oberen Mündung der mittleren Röhre an. Es brennt mit einer ziemlich langen leuchtenden Flamme. Dann entferne ich den

Stöpsel aus dem dritten Tubulus und lasse so in die Flasche Luft treten. Dadurch wird die Flamme zunächst wie in einem Bunsenbrenner entleuchtet, zugleich wird sie kleiner und tritt dann herunter in die Röhre. In dieser steigt sie abwärts und sobald sie den Innenraum der Flasche erreicht, erfolgt eine Explosion, durch welche das darin befindliche Gemisch von Leuchtgas und Luft mit einem mächtigen Knall verbrennt. Aus dem offenen Flaschenhals schlägt eine blaue Flamme heraus. Der ganze Vorgang läßt sich besonders gut im verdunkelten Zimmer beobachten. — Glücklicherweise macht sich ein Ausströmen unverbrannten Leuchtgases durch den Geruch bemerkbar, welcher die Gefahr anzeigt und uns warnt.

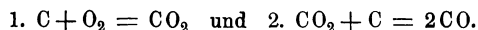
Ein anderer Nachteil des Leuchtgases ist seine Giftigkeit, sie wird hauptsächlich durch das in ihm enthaltene Kohlenoxyd verursacht, und auch von dieser Gefahr werden wir durch den Geruch benachrichtigt. — Die schädlichen Wirkungen der durch die Reinigung nicht ganz zu beseitigenden Schwefelverbindungen für die Pflanzen habe ich schon erwähnt. — Endlich hat wohl schon mancher von Ihnen erfahren, daß Gasleitungen sich verstopfen können. Dies rührt wohl meistens von dem im Leuchtgas enthaltenen Naphthalin her. Dieser Kohlenwasserstoff ist unter gewöhnlichen Umständen ein fester Körper, er verdampft aber leicht, und da er sich bei der trockenen Destillation der Steinkohlen bildet, so mischt sich sein Dampf dem Steinkohlengase bei, in dem er einer der Hauptlichtträger ist. Bei starker Kälte kann er sich aber als fester Körper in den Gasröhren absetzen und sie verstopfen. Auch der stets im Leuchtgas enthaltene Wasserdampf kann sich im Winter zu Eis verdichten und dann ebenfalls Verstopfung bewirken. Aus beiden Gründen muß man die zu den Häusern führenden Gasröhren möglichst tief in den Boden legen, um sie im Winter vor zu großer Abkühlung zu bewahren.

Die Nebenprodukte der Gaserzeugung, Teer und Ammoniakwasser, werden sorgfältig gesammelt und nutzbringend verwertet. Das Ammoniak wird größtenteils in Ammonsulfat übergeführt und dieses der Landwirtschaft als Stickstoffdünger überwiesen. Der Teer aber ist ein kompliziertes Gemenge einer großen Anzahl von Kohlenstoffverbindungen. Ich nenne nur die Kohlenwasserstoffe Benzol, C_6H_6 , Naphthalin, $C_{10}H_8$, Anthracen, $C_{14}H_{10}$ und die sauerstoffhaltige Carbonsäure C_6H_6O . Diese Körper sind die Ausgangsstoffe für die Industrie der künstlichen Farbstoffe und Heilmittel, für Sprengstoffe und zahlreiche andere chemische Produkte. Die Carbonsäure hat auch als Desinfektionsmittel eine große Wichtigkeit erlangt. Außerdem gewinnt man aus dem Teer beträchtliche Mengen von Ölen zum Imprägnieren von Eisenbahnschwellen, Pech für die Herstellung von Stein- und Braunkohlenbriketts, von Dachpappen usw. — Ein anderes Nebenprodukt ist der Koks, der in den Retorten zurückbleibt und wohl allgemein dem Verbrauch im kleinen zugeführt wird. Außerdem setzt sich in den Gasretorten die sogenannte Retortenkohle ab, welche

als positiver Pol in galvanischen Elementen, zu Elektroden in den elektrischen Bogenlampen und elektrolytischen Apparaten usw. benutzt wird. — Das Benzol hat neuerdings, neben dem Benzin aus Petroleum, auch eine große Bedeutung als Treibmittel für Kraftwagen erlangt.

Die Koksgewinnung ist heutzutage auch ein selbständiger Industriezweig von großem Gewicht geworden. Sie liefert der Metall-, vor allem der Eisenerzeugung einen unentbehrlichen Rohstoff. Früher erschmolz man Eisen aus seinen Erzen mittels Holzkohle. Das ungeheure Anwachsen des Eisenbedarfs im letzten Jahrhundert nötigte aber dazu, nach einem anderen Mittel zu suchen, wollte man nicht mit den klimatisch und wirtschaftlich so wertvollen Wäldern Raubbau treiben. Da griff man zu den Steinkohlen, aber sie konnten nicht als solche verwendet werden, sondern nur in Form von Koks. So entstanden bei den Steinkohlengruben mächtige Anlagen zur Koksgewinnung. Ihr Verfahren stimmt bis zu einem gewissen Grade mit dem der Leuchtgaserzeugung, aber die vorteilhaftesten Bedingungen der Koksgewinnung sind doch etwas andere als die der Gasbereitung, sowohl hinsichtlich der Beschaffenheit der Kohlen als in der Konstruktion der Apparate: den Koks gewinnt man nicht in Retorten, sondern in Öfen. Hierbei entstehen brennbare Gase als Nebenprodukt und werden hauptsächlich zur Beheizung der Koksöfen verwendet. Auch Teer und Ammoniak sind Nebenprodukte der Kokserzeugung, sie werden aber, wie wir sahen, bisher nur zum Teil gewonnen. Das in den Kokereigasen dampfförmig enthaltene Benzol wird aus ihnen durch Teeröle ausgewaschen und auch noch verwertet.

Ein anderes Heizgas ist das sogenannte Generator- oder Luftgas, welches durch unvollständige Verbrennung von Kohlenstoff mit Luft erzeugt wird. Dabei verbrennt zuerst ein Teil des Kohlenstoffs zu Kohlendioxyd, dieses aber wird dann durch die überschüssige glühende Kohle zu Kohlenoxyd reduziert. Es vollziehen sich nacheinander die beiden Prozesse:



Den ersten dieser beiden Vorgänge haben wir früher kennengelernt. Den zweiten möchte ich Ihnen durch einen Versuch vorführen. In diesem Gasofen liegt eine eiserne, mit Kohlen-

stückchen gefüllte Röhre. Ich erhitze sie, und sobald sie rotglühend geworden ist, leite ich aus einer Kohlensäurebombe einen langsamen Strom von Kohlendioxyd hindurch. Um etwa der Zersetzung entgangene Anteile dieses Gases zurückzuhalten, habe ich eine mit Natronlauge gefüllte Waschflasche angefügt. Das durch diese hindurchgehende Gas fange ich in einem Zylinder über Wasser auf, das ist das Kohlenoxydgas. Es ist farblos und, ich kann hinzufügen, auch geschmack- und geruchlos und es ist in Wasser nur wenig löslich. Aber neben diesen negativen Eigenschaften hat es die sehr positive der Brennbarkeit. Sobald der erste Zylinder mit dem Gase gefüllt ist, entzünde ich es und wir sehen, daß es mit einer nicht sehr hellen blauen Flamme brennt. Diese Flamme ist uns allen bekannt, wir können sie auf jedem Kohlenfeuer beobachten, wenn die obere Schicht der Kohle glüht. Das ist brennendes Kohlenoxydgas. — Eine andere Eigenschaft des Kohlenoxyds ist seine Giftigkeit, die ich schon beim Leuchtgas erwähnt habe. In früheren Zeiten sind zuweilen Krankheits- oder Todesfälle durch Einatmen kohlenoxydhaltiger Ofengase vorgekommen. Die Abzugsröhren der Öfen hatten vor dem Eintritt in den Schornstein eine Klappe, die man verschloß, sobald das Feuer ausgebrannt war, um Verlust an Brennstoff zu vermeiden. Wurde sie versehentlich zu früh geschlossen, so gelangten die kohlenoxydhaltigen Gase in die Wohnräume und konnten hier besonders in Schlafzimmern gefährlich werden. Man hat deshalb die Ofenklappe verboten und sie durch die luftdichte Ofentür ersetzt. Auch Kokskörbe, wie man sie vielfach auf Neubauten zum Austrocknen der Wände benutzt, können bei unrichtiger Behandlung Kohlenoxydunfälle veranlassen; man muß dafür sorgen, daß ihre obere Kohlschicht lebhaft glüht, damit entweichendes Kohlenoxyd so heiß an die Luft kommt, daß es sich sofort entzündet und zu Kohlendioxyd verbrennt. Daß dies der Fall ist, erkennt man an den blauen Kohlenoxydflammen über der glühenden Kohlschicht.

Nun können wir die Erzeugung des Luftgases wieder aufnehmen. Da die Verbrennung der Kohle mit gewöhnlicher Luft bewirkt wird, und diese neben Sauerstoff noch Stickstoff enthält, so muß auch das Luftgas stickstoffhaltig werden. Man kann leicht berechnen, daß ein aus Koks, also fast reinem Kohlenstoff

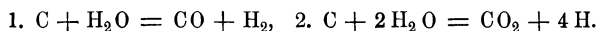
hergestelltes Luftgas aus ungefähr 1 Raumteil Kohlenoxyd und 2 Raumteilen Stickstoff bestehen sollte. Tatsächlich wird es meist etwas weniger Kohlenoxyd und mehr Stickstoff, auch etwas Kohlendioxyd enthalten. Benutzt man zur Vergasung statt Koks Steinkohlen, Braunkohlen oder Torf, so werden sich dem Luftgase noch die gasförmigen Destillationsprodukte dieser Rohstoffe beimischen. — Der „Generator“ muß so gebaut sein, daß das im unteren Teile erzeugte Kohlendioxydgas eine beträchtliche Schicht glühender Kohlen zu durchstreichen hat, damit es möglichst vollständig zu Kohlenoxyd reduziert wird.

Bei der Bildung des Luftgases wird eine große Menge Wärme entwickelt, es verläßt daher den Generator mit einer sehr hohen Temperatur. Deshalb wäre es nicht zweckmäßig, es auf große Entfernungen fortzuleiten oder es in Gasbehältern anzusammeln und aufzubewahren, wodurch die bei seiner Herstellung frei entwickelte Wärme nach außen abgegeben, also für Heizzwecke verloren gehen würde. Aus diesem Grunde stellt man den Generator immer dicht neben die Feuerstätte, in der das Gas verbrannt werden soll, z. B. einen Gas-, Porzellan-, Glas- oder Stahlofen. In diese wird das Gas und die zur vollständigen Verbrennung des Kohlenoxyds erforderliche Luft geleitet. Ein Überschuß an Luft, wie bei den festen Brennstoffen, ist hier nicht nötig, was eine beträchtliche Ersparnis an Brennstoff zur Folge hat. Das Verbrennungsgas, welches im wesentlichen nur aus Kohlendioxyd und Stickstoff besteht, hat eine sehr hohe Temperatur, die man noch zum Vorwärmen der Verbrennungsluft, zuweilen auch noch des Heizgases ausnutzt. Für diesen Zweck sind an den Ofen zwei Paar feuerfeste Kammern angebaut, welche mit feuerfesten Steinen gitterförmig ausgesetzt sind. Durch das eine Kammerpaar läßt man die abziehenden Feuergase hindurchstreichen, bevor sie in den Kamin entweichen. Sie geben ihre überschüssige Wärme an diese Kammern ab und halten nur so viel zurück, wie für den Zug im Ofen nötig ist. Sobald das erste Kammerpaar die Temperatur der Feuergase angenommen hat, werden durch Umstellung zweier Klappen die Feuergase durch das zweite Kammerpaar geleitet, die Verbrennungsluft und eventuell das Luftgas aber durch das erste. Infolgedessen gibt das erste Kammerpaar die vorher von den abziehenden Feuergasen aufgenommene Wärme an die vorzuwärmenden Gase ab und das

zweite Paar wird durch die abziehenden Feuergase erwärmt. So geht es abwechselnd weiter. Dieses sogenannte Regenerativsystem ist von Friedr. Siemens, dem Bruder des großen Elektrikers, in die Heiztechnik eingeführt worden und hat diese auf eine viel höhere Stufe gehoben.

Ähnlich dem Luftgas sind die Gase, welche bei der Eisengewinnung dem Hochofen entströmen; davon wird noch zu sprechen sein.

In den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts wurde von Amerika aus ein neues Heizgas in die Technik eingeführt, das Wassergas. Es sollte ursprünglich zur Beleuchtung dienen, ist aber im Laufe der Zeit zu einem sehr wichtigen Heizstoff geworden. Man erhält es durch Einwirkung von Wasserdampf auf glühende Kohlen. Diese verläuft je nach der Temperatur in zwei verschiedenen Richtungen: bei etwa 1000° im Sinne der Gleichung 1; bei niedriger Temperatur nach 2:



Das Wassergas wird nach 1., also bei höherer Temperatur bereitet; seine ideale Zusammensetzung ist 1 Raumteil Wasserstoff und 1 Raumteil Kohlenoxyd. Abweichend vom Luftgas sind also beide Bestandteile brennbar. Auch ist der Vorgang seiner Bildung ein wesentlich anderer. Während die Entstehung des Luftgases, wie wir sahen, mit erheblicher Wärmeentwicklung verbunden ist, erfordert die Erzeugung des Wassergases einen beträchtlichen Aufwand an Wärme. Damit sie in Gang kommt, müssen die Kohlen zu lebhaftem Glühen gebracht werden, was durch Verbrennung eines Teiles unter Einblasen von Luft bewirkt wird. In dieser Phase, welche man das „Heißblasen“ nennt, entweicht aus dem Ofen eine Art Luftgas, das zur Erzielung nicht allzu hoher Temperaturen verwendet werden kann. Sobald die Kohlen weißglühend sind, sperrt man die Luft ab und läßt nun Wasserdampf einströmen, wodurch die Wassergasbildung herbeigeführt wird. In dieser Phase kühlt sich die Kohle ab, man nennt sie deshalb das „Kaltblasen“, der Prozeß kommt zum Stillstand. Um ihn wieder in Gang zu bringen, muß von neuem heiß geblasen werden, und so geht es abwechselnd weiter. Das Heißblasen dauert etwa 10, das Kaltblasen 5 Minuten. — Der Umstand, daß bei der Entstehung des Wassergases Wärme gebunden wird, hat zur Folge,

daß es den Generator mit verhältnismäßig niedriger Temperatur verläßt. Im Gegensatz zum Luftgas kann man es daher ohne erheblichen Wärmeverlust aufbewahren und fortleiten. Die bei seiner Entstehung von ihm aufgenommene „latente“ Wärme wird bei der Verbrennung wieder frei, und es eignet sich besonders für die Erzeugung recht hoher Temperaturen, z. B. zum Schweißen von Eisenblechen. — Bei der eigentlichen Wassergasbereitung werden die in beiden Phasen entstehenden Gase getrennt aufgefangen. Handelt es sich um mäßige Temperaturen, so ist es vorteilhafter, sie zusammen zu verwenden; ein solches Gemisch von Wasser- und Luftgas wird nach seinem Erfinder Dowsongas, auch Mischgas oder Kraftgas genannt.

Wie erwähnt, war das Wassergas ursprünglich zur Beleuchtung bestimmt, wozu es auch, besonders als Gasglühlicht, technisch durchaus geeignet wäre; dasselbe gilt von dem Luft- und Mischgas. Die Verwendung der genannten Gase zu diesem Zwecke wäre aber nicht unbedenklich wegen ihres bedeutenden Gehaltes an Kohlenoxyd, welcher den des Leuchtgases um das Drei- bis Sechsfache übersteigt. Diese Gase sind deshalb noch viel giftiger als das Leuchtgas. Dazu sind sie nahezu geruchlos, so daß ein Ausströmen unverbrannten Gases sich kaum bemerkbar machen würde. Wollte man sie trotzdem zur Beleuchtung verwenden, so müßte man ihnen geradezu einen riechenden Dampf beimischen, um Explosions- und Vergiftungsgefahren anzuzeigen.

Zu den Heizstoffen gehört jetzt auch das Petroleum. Es findet sich vor allem in den Vereinigten Staaten von Nordamerika und am Kaspischen Meere in der Nähe der Stadt Baku. Beträchtliche Fundstätten besitzen auch Galizien, Kanada und Niederländisch-Indien, kleinere sind über andere Länder zerstreut. Die mächtige amerikanische Petroleumindustrie wurde um 1859 begründet, das schon im Altertum bekannte Erdöl von Baku wird erst seit 1872 regelmäßig ausgebeutet.

Die Erdölquellen werden durch Tiefbohrungen erschlossen und die Öle durch Pumpen heraufgebracht. Zuweilen schießen sie auch als mächtige Springbrunnen empor, welche aber nach einiger Zeit versiegen. Die rohen Erdöle sind mehr oder weniger dunkel gefärbte, meist übel riechende Flüssigkeiten, welche zum größten Teil aus Kohlenwasserstoffen bestehen. Sie werden zu-

nächst durch eine systematische Destillation in drei Bestandteile zerlegt: Rohbenzin, welches bis 150° siedet, von 150 bis 300° siedendes Leuchtöl und über 300° siedende Rückstände. Die weitere Reinigung erfolgt durch konzentrierte Schwefelsäure und Natronlauge, zuweilen auch durch nochmalige Destillation. Das Benzin wird schon lange als Fleckwasser verwendet und ist das in den chemischen Waschanstalten benutzte Reinigungsmittel. Seine Anwendung für diesen Zweck beruht auf seiner Fähigkeit, Fette zu lösen. Aus demselben Grunde dient es auch zur Entfettung von Knochen, Palmkernen und dergl. Als Leuchtmittel wurde es früher in kleinen Benzinlämpchen gebrannt, die aber, wie es scheint, jetzt ganz abgekommen sind. Neuerdings ist es als Motortreibmittel für Automobile besonders wichtig geworden. Es wird in dem Motor verdampft und der Dampf mit Luft durch Zündung zur Explosion gebracht, wodurch die erforderliche Triebkraft gewonnen wird. — Das Leuchtöl muß von leicht flüchtigen Bestandteilen so weit befreit sein, daß es im Ölbehälter der brennenden Lampe unter keinen Umständen explosive Mischungen mit Luft bilden kann. Für seine Prüfung in dieser Hinsicht ist im Deutschen Reiche der Abelsche Petroleumprober zur Bestimmung des Entflammungspunktes eingeführt. Dieser darf nicht unter 21° C liegen, d. h. unter dieser Temperatur dürfen sich über der Flüssigkeit keine entzündbaren Dämpfe bilden. Für das Bakuöl, welches etwas schwerer entzündlich ist als das amerikanische Petroleum, ist der gesetzliche Entflammungspunkt auf 28° C festgesetzt. — Die Petroleumrückstände dienen hauptsächlich als Maschinenschmieröle. Aus ihnen wird auch das Vaseline gewonnen, ein fettähnliches Produkt, welches aber nur aus Kohlenwasserstoffen besteht und nicht ranzig wird. Man benutzt es deshalb zum Einfetten von Maschinenteilen, um sie vor dem Rosten zu schützen, als Lederfett und medizinisch zur Herstellung von Salben. Vaseline wird auch durch Mischen von Erdwachs mit Bakuölen hergestellt. — Petroleumrückstände sind jetzt auch ein wichtiger Heizstoff, besonders für die Marine; die von Baku sind bekannt unter dem Namen „Masut“. Sie werden als Sprühregen in den Heizraum eingeführt und brennen mit geringem Luftüberschuß rauchfrei, ohne Asche und ohne Schlacken.

Die Entstehung des Erdöls glaubte man früher durch unorganische Reaktionen im Erdinnern erklären zu können.

Neuere Untersuchungen führen aber zu dem Schlusse, daß das Erdöl organischen Ursprungs ist. Der kürzlich in hohem Alter verstorbene Professor Engler hat aus Fett von Seetieren durch Destillation unter Druck ein „künstliches Petroleum“ erhalten und daraus geschlossen, daß das natürliche Erdöl unter entsprechenden Bedingungen aus den Fettüberresten von Lebewesen jeder Art entstanden ist. Inwieweit dabei tierische oder pflanzliche Überreste beteiligt sind, steht vorläufig noch dahin.

Im Anschluß an die Brennstoffe möge hier noch die Besprechung der Zündmittel folgen. Die Erzeugung des Feuers geschah in den ältesten Zeiten, und bei wilden Völkern zum Teil noch jetzt durch Aneinanderreiben von trockenen Holzstücken. Dann schlug man aus Feuerstein oder Pyrit, das ist Schwefelkies, ein sehr hartes Mineral, Funken, durch die man leicht brennbare Gegenstände, wie trockene Holzspäne oder getrocknetes Gras entzünden konnte. Diese Zündmittel wurden später durch Stein und Stahl einerseits, Feuerschwamm andererseits ersetzt.

Im vorigen Jahrhundert trat an die Stelle solcher mechanischer Zündung die Feuererzeugung auf chemischem Wege. Im Jahre 1812 hatte Chancel in Paris ein sogenanntes Tunkfeuerzeug erfunden, bei welchem Hölzchen verwendet wurden, deren Ende mit Schwefel überzogen war, und die ein chlorsaures Kalium enthaltendes Köpfchen trugen; ihre Zündung geschah durch Eintauchen in mit Schwefelsäure getränkten Asbest. — 1823 benutzte Doebereiner die von ihm entdeckte katalytische Entzündung des Wasserstoffs zur Herstellung eines Feuerzeugs. Die beiden ersten chemischen Feuerzeuge waren aber für den allgemeinen Gebrauch nicht geeignet und haben sich nicht eingebürgert. — 1832 kamen die ersten Reibzündhölzchen in den Handel, deren Zündmasse aus einer Mischung von chlorsaurem Kalium und dem brennbaren Schwefelantimon bestand; zur Zündung wurden sie auf Sandpapier gestrichen. — Ungefähr um dieselbe Zeit erfand Kammerer die an jeder Reibfläche entzündbaren Phosphorzündhölzer; sie wurden aber wegen ihrer zu leichten Entzündbarkeit damals verboten und kamen erst 1845 in den Handel. In ihrem Köpfchen enthielten sie etwas Phosphor nebst einem brennbaren Bindemittel wie Leim oder arabischen Gummi und Salpeter oder chlorsaures Kalium, welche den für die Verbrennung erforderlichen Sauerstoff

lieferten. Wie bei den Tunkfeuerzeugen, waren sie an ihrem Ende mit Schwefel überzogen, durch welchen die Verbrennung auf das weniger leicht entzündbare Holz übertragen wurde. Die Phosphorzündhölzer waren im Gebrauch sehr bequem, aber ihre allzu leichte Entzündbarkeit und noch mehr ihre Giftigkeit waren doch große Schattenseiten. Besonders die Arbeiter in den Zündholzfabriken waren, trotz aller gesetzlichen Schutzvorschriften, dauernd der Gefahr chronischer Phosphorvergiftung ausgesetzt, der sie meist früher oder später verfielen. Dagegen brachten die jetzt allgemein benutzten Sicherheitszündhölzer gründliche Abhilfe. Sie waren schon 1848 von Rudolf Böttger in Frankfurt a. M. erfunden worden, kamen aber erst viel später von Schweden her in den Handel und haben sich dann schnell eingebürgert. Die Herstellung der Phosphorzündhölzer wurde darauf gesetzlich verboten. Die „schwedischen“ Sicherheitszündhölzer enthalten in ihrem Kopf eine Mischung von chlorsaurem Kalium und Schwefelantimon, sie sind nur an einer für diesen Zweck eigens präparierten Reibfläche entzündbar. Diese enthält, neben etwas Glaspulver, das zur Erhöhung der Reibung dient, und Schwefelantimon, ein wenig roten Phosphor. Das ist eine andere Modifikation dieses Elements, die man daraus durch Erhitzen unter Luftabschluß erhält, und welche ungiftig und viel schwerer entzündlich ist als der gewöhnliche Phosphor. Beim Anstreichen der Zündhölzer wird jedesmal eine kleine Menge Phosphor losgerissen; sie fängt mit dem chlorsauren Kalium Feuer, wodurch dann die Masse des Köpfchens in Brand gesetzt wird. Um die Hölzchen leichter entzündlich zu machen, werden sie mit etwas Paraffin getränkt.

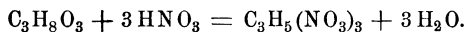
Seit etwa zehn Jahren ist man wieder auf das Funkenschlagen zurückgekommen, verwendet dazu aber nicht Feuerstein, sondern eine künstlich hergestellte, sehr harte Verbindung des Metalls Cerium mit Eisen. Durch Reiben an einer rauhen Stahlfläche springen davon sehr heiße Funken ab, durch die man Leuchtgas oder Benzindämpfe entzünden kann. Darauf beruhen die jetzt so beliebten Gaszünder und Benzinfeuerzeuge.

Die Vorräte unseres Planeten an Brennstoffen, vor allem die Steinkohlenlager sind sehr bedeutend, und besonders die letzteren werden, trotz des an ihnen begangenen Raubbaues, wohl noch

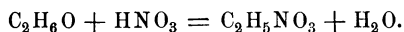
einige Jahrhunderte vorhalten. Einmal aber müssen zweifellos auch sie, ebenso wie schon jetzt die Salpeterlager Südamerikas, der Erschöpfung entgegengehen. Dann wird an unsere Nachkommen die dringende Frage nach einem ausreichenden Ersatz dieser lebenswichtigen Kraft- und Wärmespender herantreten. Da bieten sich zunächst die Wasserkräfte, die ja schon jetzt eine ausgiebige Verwendung finden. Aber wenn sie auch im Laufe der Zeit noch erheblich weiter ausgebaut werden, so können sie doch immer nur einen kleinen Teil der in den Steinkohlen aufgespeicherten Energie liefern. Ähnliches gilt von der Verwertung des Windes. Man hat auch schon Versuche gemacht, die Kraft nutzbar zu machen, welche sich durch den regelmäßigen Wechsel der Gezeiten darbietet, indem man das während der Flut ansteigende Wasser in Staubecken auffängt und es während der Ebbe abfließen und dabei Motoren treiben läßt; Erfolge sind dabei aber noch nicht erzielt worden. So bleibt für die fernere Zukunft der Menschheit vor allem die direkte Verwertung der Sonnenstrahlen. Waren auch Versuche, die man bisher in dieser Richtung gemacht hat, noch nicht von wirtschaftlichem Erfolg, so ist doch kein Zweifel, daß die späteren Generationen diese Aufgabe lösen müssen und lösen werden.

Fette, Seifen, Kerzen.

Wie wir schon beim Wasser sahen, sind die Seifen Salze der Fettsäuren. Diese sind in den Fetten mit Glycerin verbunden, einer organischen Verbindung $C_3H_8O_3$. Das Glycerin, das als Mittel zum Geschmeidigmachen der Haut und als Bestandteil der Glycerinseifen jetzt wohl allgemein bekannt ist, bildet eine zähe, farblose Flüssigkeit. Sein chemischer Charakter ist neutral, es reagiert weder sauer noch basisch. Gleichwohl zeigt es in seinem Verhalten zu Säuren eine gewisse Ähnlichkeit mit Basen. So setzt es sich mit der einbasischen Salpetersäure in folgendem Sinne um:

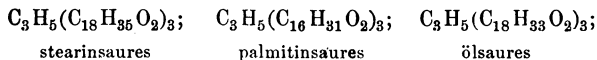


Das dadurch entstehende Produkt ist das sogenannte Nitroglycerin, welches heute einen wichtigen Rohstoff für die Darstellung von Sprengstoffen bildet; wir werden uns mit ihm noch zu beschäftigen haben. Seine Bildungsgleichung erinnert einigermaßen an diejenige der Salze, aber der Vorgang ist doch in mehrfacher Hinsicht ein wesentlich anderer. Während Säuren und Basen sich auch in starker Verdünnung mit Wasser vollständig neutralisieren, müssen für die Bildung des Nitroglycerins Salpetersäure und Glycerin in konzentriertem Zustand angewendet werden, ja man setzt noch Schwefelsäure dazu, um das bei der Reaktion gebildete Wasser zu binden. Und dann erfolgt bei der Bildung des Nitroglycerins keineswegs eine vollständige Neutralisation der Salpetersäure, vielmehr bedarf es dazu eines beträchtlichen Überschusses der Säure. Auch hat das Nitroglycerin in seinen Eigenschaften durchaus keine Ähnlichkeit mit den Salzen. — Dem Glycerin entsprechend verhält sich der Alkohol oder Weingeist. Er reagiert mit Salpetersäure im Sinne der Gleichung



Demnach ist das Glycerin eine Art Alkohol, und da es noch eine große Anzahl organischer Verbindungen gibt, welche sich in ihrem Verhalten beiden anschließen, so ist die Bezeichnung Alkohol in der Chemie, ähnlich wie das Wort Salz, zu einem Gattungsbegriff geworden. Die beiden obigen Gleichungen zeigen aber, neben ihrer Ähnlichkeit, doch einen wesentlichen Unterschied. Das Glycerin bedarf zu seiner Überführung in Nitroglycerin dreier Molekeln Salpetersäure, der gewöhnliche Alkohol dagegen für die entsprechende Umsetzung nur einer. Man bezeichnet deshalb diesen als einen einsäurigen, das Glycerin als einen dreisäurigen Alkohol, entsprechend den ein- und mehrsäurigen Basen.

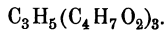
Die Fette sind Verbindungen des Glycerins mit organischen Säuren, von denen ich bei früherem Anlaß schon die Stearinsäure, $C_{18}H_{36}O_2$ genannt habe. Außer ihr sind in den Fetten besonders verbreitet Palmitinsäure, $C_{16}H_{32}O_2$ und Ölsäure, $C_{18}H_{34}O_2$. In einzelnen Fetten finden sich noch andere Säuren, so im Leinöl die Leinölsäure, $C_{18}H_{32}O_2$, im Ricinusöl die Ricinolsäure, $C_{18}H_{34}O_3$, in der Butter die Buttersäure, $C_4H_8O_2$. Alle diese Säuren sind einbasisch, ihre Verbindungen mit Glycerin daher von dem gleichen Typus wie das Nitroglycerin:



stearinsaures

palmitinsaures

ölsaures



butterensaures Glycerin usw.

Das sind sehr komplizierte Verbindungen; das stearinsaure Glycerin enthält nicht weniger als 57 Kohlenstoff-, 110 Wasserstoff- und 6 Sauerstoffatome, zusammen 173 Atome. — Solche Verbindungen von Alkoholen mit Säuren nennt man Ester. Stearinsaures Natrium ist ein Salz, stearinsaures Glycerin ein Ester.

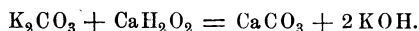
Abweichend von den Säuren, mit denen wir bisher bekannt wurden, sind die eben aufgeführten Säuren, mit Ausnahme der Buttersäure, in Wasser unlöslich. Palmitin- und Stearinsäure sind bei gewöhnlicher Temperatur fest, Ölsäure, Leinölsäure und Buttersäure flüssig. Die festen Fette, wie Rinds- und Hammeltalg, enthalten als Hauptbestandteile die Glycerinester der Stearin- und Palmitinsäure, in den flüssigen Fetten, den Ölen waltet dagegen das ölsaure Glycerin vor; doch ist dieses auch in den

festen Fetten enthalten, um so mehr, je weicher und je leichter schmelzbar sie sind. Andererseits finden sich auch in den Ölen die Glycerinester der festen Fettsäuren, was man zuweilen im Winter beobachten kann, da sie sich bei niedriger Temperatur in fester Form ausscheiden. — Das Ranzigwerden der Fette beruht darauf, daß aus den Glycerinestern kleine Mengen freier Fettsäuren austreten, aus der Butter freie Buttersäure, deren unangenehmer Geruch nach ranziger Butter sich dem im frischen Zustand so beliebten Butterfett mitteilt. Da die Buttersäure in Wasser löslich ist, kann man sie durch Auskneten der ranzigen Butter mit Wasser entfernen, noch gründlicher unter Zusatz von etwas doppeltkohlensaurem Natrium, welches sich mit der freien Buttersäure umsetzt unter Bildung von buttersaurem Natrium. Die ranzigen Fette enthalten auch noch andere organische Verbindungen, deren Kenntnis wir aber den Chemikern überlassen müssen. — Die Öle, welche die Glycerinester der Leinölsäure und ähnlicher Fettsäuren enthalten, haben die Eigenschaft, an der Luft unter Aufnahme von Sauerstoff zu einer harten Masse einzutrocknen, weshalb man sie trocknende Öle nennt. Das wichtigste von ihnen ist das Leinöl, welches aus den Samen der Flachspflanze gepreßt wird, und das dieser Eigenschaft seine Verwendung zur Herstellung von Ölfarben und Firnissen verdankt. Trocknende Öle sind ferner Hanföl, Mohnöl, Nußöl, Sonnenblumenöl. Aber auch andere Öle erhärten allmählich an der Luft, wenn auch langsamer und in geringerem Grade, sie „verharzen“. Wenn Uhren und Schlösser mit der Zeit ihren Dienst versagen, so daß sie gereinigt und neu geölt werden müssen, so beruht das zum Teil auf diesem Verharzen des Öles. Gut gereinigtes Knochenöl ist dem Verharzen und Ranzigwerden wenig ausgesetzt und dient deshalb als feines Schmiermittel. — Mineralöle bestehen aus Kohlenwasserstoffen und können weder verharzen noch ranzig werden. Sie sind deshalb, wie wir schon sahen, als Maschinenschmieröle allgemein im Gebrauch, müssen aber für diesen Zweck sorgfältig gereinigt sein, so daß sie frei sind von Säuren. Auch das fettähnliche Vaseline lernten wir schon als Gemisch von Kohlenwasserstoffen kennen. — Das sogenannte Wollfett oder Lanolin, welches ebenfalls kein wirkliches Fett ist, wird gleichfalls schwer ranzig und bildet deshalb eine sehr geschätzte Grundlage zur Herstellung von Salben.

Die wichtigste Verwendung der Fette besteht noch immer in ihrem Anteil an der Ernährung des Menschen. Wir haben ihren Wert hierfür schon eingehend gewürdigt und festgestellt, daß er nicht zum kleinsten Teil auf ihrer hohen Verbrennungswärme beruht. Das vornehmste unter den Speisefetten ist das Milchfett, die Butter. Wie früher angeführt, enthält die Kuhmilch durchschnittlich 87,5 Proz. Wasser, 4,4 Proz. Eiweißstoffe, 3,6 Proz. Fett, 4,8 Proz. Kohlenhydrate und 0,7 Proz. Salze. Unter den Eiweißstoffen nimmt die erste Stelle das Casein ein, welches die Grundlage der Käsebereitung bildet; das Kohlenhydrat der Milch ist eine besondere Zuckerart, die wegen dieses Vorkommens den Namen Milchzucker erhalten hat. Casein, Milchzucker und Salze sind in der frischen Milch gelöst; das Milchfett aber, welches wie alle Fette im Wasser unlöslich ist, schwebt darin in Millionen mikroskopisch kleiner Fettkügelchen, welche die Undurchsichtigkeit der Milch verursachen. Durch die Bewegung des Butterns werden sie zu einer zusammenhängenden Masse vereinigt, unter dem Mikroskop erkennt man aber noch ganz deutlich die einzelnen Kügelchen. — Andere Speisefette sind die tierischen Talg- und Schmalzarten, ferner die Pflanzenöle: Rüböl und in südlichen Ländern Olivenöl. In neuerer Zeit werden Fette tropischer Pflanzen vielfach für Speisewecke benutzt: Palmöl, Palmkernöl, Kokosfett. — Die tierischen Fette gewinnt man durch Ausschmelzen aus den fetthaltigen Geweben, die pflanzlichen durch Auspressen der fetthaltigen Samen oder Früchte, oder auch durch Ausziehen mit geeigneten Flüssigkeiten wie Benzin oder Schwefelkohlenstoff. Die Rückstände der Ölpresen, welche immer noch eine gewisse Menge Fett enthalten, werden von den Landwirten als Kraftfuttermittel geschätzt. Das rohe Kokosfett hat einen unangenehm süßlichen Geruch, von dem es vor seiner Verwendung als Speisefett durch Einblasen von Wasserdampf befreit wird. — Die heute zu einem wichtigen Nahrungsmittel gewordene Margarine stellte zuerst auf Veranlassung Napoleons III. im Jahre 1870 Mège-Mouriès aus dem leicht schmelzbaren Anteile des Rindertalgs durch Verbuttern mit Kuhmilch dar. Im großen und ganzen wird jetzt noch ebenso verfahren, aber es werden neben den tierischen auch pflanzliche Fette verwendet. Die Margarine hat denselben Nahrungswert wie die Butter, nur fehlen ihr die Vitamine, an denen die natür-

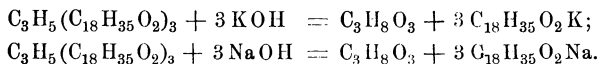
liche Butter reich ist. Da aber unsere sonstigen Nahrungsmittel keinen Mangel an Vitaminen haben, so liegt hierin kein Grund, die Margarine gering zu achten. — Der Lebertran ist ein medizinisch wertvolles Nahrungsmittel, vor allem für schwächliche Kinder; man ist jetzt geneigt, seine besonderen Wirkungen auf seinen hohen Vitamingehalt zurückzuführen.

Um aus Fetten Seifen zu bereiten, behandelt man sie bei höherer Temperatur mit starken Basen. Als solche benutzte man früher Kaliumhydroxyd, KOH. Zu dessen Darstellung diente die Holzasche, welche neben anderen Salzen reichliche Mengen kohlen-saures Kalium enthält. Durch Auslaugen mit Wasser brachte man ihre löslichen Bestandteile, zu denen auch das kohlen-saure Kalium gehört, in Lösung und setzte dieses durch Kochen mit gelöschtem Kalk in folgendem Sinne um:

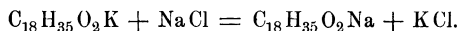


Da kohlen-saures Calcium in Wasser unlöslich ist, Kaliumhydroxyd aber sehr löslich, so sind beide leicht voneinander zu trennen. Das kohlen-saure Kalium wird jetzt von der chemischen Industrie aus anderen Rohstoffen hergestellt, es führt aber als technisches Produkt von seiner früheren Bereitung aus Holzasche her noch heute den Namen Pottasche. Das Kaliumhydroxyd ist dem Natriumhydroxyd ähnlich und wie dieses stark ätzend, es wird daher auch Ätzkali genannt.

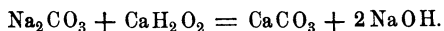
Werden die Fette mit der wässrigen Lösung dieser Basen — Kali- oder Natronlauge — erhitzt, so werden sie gespalten unter Bildung von fettsaurem Salz und freiem Glycerin, z. B.:



Die fettsauren Kalium- und Natriumsalze sind, wie wir schon früher sahen, wasserlösliche Seifen, während die Calcium- und Magnesiumseifen, wie wir gleichfalls erfahren haben, in Wasser unlöslich sind. Die Kaliumsalze bilden die salbenartigen Schmier-seifen, die Natriumsalze dagegen die festen Kernseifen. Früher, als man bei der Seifensiederei von der Holzasche ausging, erhielt man zuerst immer Schmierseifen, welche man nachträglich durch Zusatz von Kochsalz — „Aussalzen“ — in Kernseifen überführen mußte:



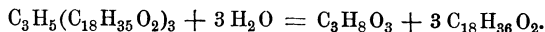
Bei dieser Operation scheiden sich die Natriumsalze aus, da sie in konzentrierter Salzlösung unlöslich sind. — Für die Herstellung von Kernseifen bedarf es jetzt nicht mehr des Umweges über die Schmierseifen, man verwendet direkt Natronlauge, welche man aus Soda ebenso durch Ätzendkochen mit Kalk gewinnt, wie die Kalilauge aus Pottasche:



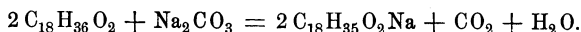
Wie wir schon sahen, enthalten auch die harten Kernseifen stets Wasser; bei längerem Lagern verlieren sie es zum Teil durch Verdunsten, aber auch gut getrocknete Kernseifen können noch etwa 25 Proz. Wasser und mehr enthalten. — Neben den Kernseifen werden auch jetzt noch Schmierseifen hergestellt, weil sie für die Wäsche von Fußböden u. dgl. wirksamer sind als die Kernseifen. — In jüngster Zeit ist es gelungen, feste Kaliseifen herzustellen. — Kokos- und Palmkernfett können mit konzentrierter Natronlauge kalt verseift werden. Man stellt mit diesen Fetten hauptsächlich die sehr wasserreichen Toilettenseifen her, welche mit wohlriechenden Stoffen „parfümiert“ und zum Teil noch mit Wasserglas, Soda u. dgl. „gefüllt“ werden. Sie können 70 Proz. und mehr Wasser enthalten. — Als Waschseifen werden vielfach sogenannte Harzseifen benutzt, welche außer fettsaurem Natrium auch die Natriumsalze gewisser im Fichtenharz vorkommenden „Harzsäuren“ enthalten. — Außer den Kali- und Natronseifen gibt auch das in der Seifenwurzel enthaltene „Saponin“ stark schäumende Lösungen. In allerjüngster Zeit hat man gewisse aus Naphthalin und anderen Teerbestandteilen darstellbare Säuren kennengelernt, deren Natriumsalze gleichfalls sehr stark schäumende Lösungen bilden und vielleicht in der Seifenindustrie eine Rolle spielen werden.

Die alten Verfahren der Seifensiederei ließen in mancher Hinsicht zu wünschen übrig. Einmal ging bei ihnen das Glycerin verloren; dann aber wußte man schon längst, daß die festen Fettsäuren ein viel geeigneteres Kerzenmaterial sind als der Talg. Nach langjährigen Bemühungen gelang es 1855 Ad. de Milly, ein von ihm erfundenes Verfahren so weit durchzuarbeiten, daß die praktischen Schwierigkeiten, welche sich seiner allgemeinen Einführung entgegenstellten, überwunden wurden. Es besteht darin, daß man die Fette in einem geschlossenen Kessel mit

Wasser, unter Zusatz von etwa 2 Proz. vom Gewicht des Fettes an Kalk, auf 170 bis 180° erhitzt. Bei dem hierdurch entstehenden Druck von 8 bis 10 Atmosphären werden die Fette zum größten Teil direkt in Glycerin und die freien Fettsäuren gespalten:



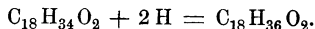
Die kleine Menge fettsaures Calcium, die sich naturgemäß dabei bildet, zersetzt man durch die eben nötige Menge Schwefelsäure, und erhält so auch die zunächst an Calcium gebundenen Fettsäuren im freien Zustand. — Einen Druckkessel, wie den hier benutzten, nennt man einen Autoklaven, daher wird das de Millysche Verfahren als Autoklavenverseifung bezeichnet. — Das im Wasser gelöste Glycerin wird aus diesem gewonnen und wandert, nach passender Reinigung, zum größten Teil in die Sprengstoffabriken. — Die freien Fettsäuren werden schon durch Sodalösung in Seifen umgewandelt:



Man braucht also bei diesem Verfahren die Soda nicht ätzend zu kochen.

Sollen die freien Fettsäuren zur Kerzenfabrikation dienen, so werden sie durch Destillation mit überhitztem Wasserdampf gereinigt und darauf in hydraulischen Pressen einem hohen Druck ausgesetzt, erst kalt, dann warm. Dabei läuft die flüssige Ölsäure ab, während die festen Säuren, Palmitin- und Stearinsäure, als harter Kuchen zurückbleiben. Sie sind das Material, aus dem die Stearinkerzen gegossen werden. — Die Ölsäure hält noch etwas feste Säuren gelöst, welche durch Abkühlung mittels Kältemaschinen zum Teil gewonnen werden können. Das zuletzt flüssig bleibende kann direkt durch Soda verseift werden.

In neuerer Zeit ist es gelungen, die Ölsäure in feste Stearinsäure überzuführen, indem man sie in Gegenwart eines Katalysators in einem Wasserstoffstrom erhitzt:



Als Katalysator ist für diesen Zweck besonders fein zerteiltes Nickel geeignet. — So werden jetzt auch neutrale flüssige Fette wie Fischtran und Pflanzenöle in feste Fette verwandelt, und diese Industrie der „Fetthärtung“ ist schnell zu großer Bedeutung gelangt.

Ein sehr gebräuchliches, billigeres Kerzenmaterial ist jetzt das Paraffin. Es besteht aus festen Kohlenwasserstoffen und wird durch trockene Destillation der sächsischen Schwelkohle gewonnen, einer in der Gegend von Zeitz und Weißenfels anstehenden besonderen Braunkohlenart. Dabei erhält man noch verschiedene andere Produkte: Schmieröle, ferner die Gasöle, durch deren Destillation das für die Beleuchtung der Eisenbahnwagen dienende Ölgas erhalten wird. — Der Rückstand von der Destillation der Schwelkohle bildet den sogenannten Grudekoks, welcher in den Haushaltungen besonders des nordwestlichen Deutschlands, unter Benutzung eigens dafür konstruierter Herde, jetzt Tag und Nacht in Brand ist. — Ähnliche Produkte gewinnt man in Schottland aus dort vorkommenden Schiefen. — Das Bienenwachs besteht im wesentlichen aus dem Palmitinsäureester des Myricylalkohols, $C_{80}H_{61}O \cdot C_{16}H_{31}O$ und freier Cerotinsäure, $C_{26}H_{52}O_2$. An seiner Stelle wird jetzt vielfach das natürlich vorkommende Erdwachs benutzt, welches aus Kohlenwasserstoffen besteht, aber trotz der großen Verschiedenheit in der Zusammensetzung dem Bienenwachs ähnlich ist. Außer zur Herstellung von Kerzen dient es als Bohnerwachs, zur Bereitung von Schuhcreme, von künstlichem Vaseline und dergleichen.

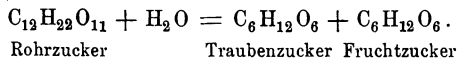
Zucker.

Der süße Geschmack der Obst- und Beerenfrüchte rührt her von ihrem Gehalt an Zucker. Außerdem kommt aber Zucker auch sonst vielfach im Pflanzenreiche vor: in der Mohrrübe, der Runkelrübe, im Saft des Zuckerrohrs, des Zuckerahorns usw. Im Tierreiche ist Zucker weniger verbreitet, doch ist der Honig der Bienen eine konzentrierte Zuckerlösung und die Milch der Säugtiere, einschließlich des Menschen, enthält Zucker als wesentlichen Bestandteil.

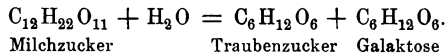
Die Untersuchung des Zuckers verschiedener Herkunft hat nun gezeigt, daß es nicht einen Zucker gibt, sondern eine ganze Reihe verschiedener Zuckerarten. Ihrer Zusammensetzung nach gehören sie alle zu den Kohlenhydraten, doch kann man in der Hauptsache zwei Gruppen unterscheiden: die Monosen von der Formel $C_6H_{12}O_6$ und die Biosen $C_{12}H_{22}O_{11}$. Jede dieser Gruppen umfaßt mehrere Glieder, welche bei gleicher Zusammensetzung verschiedene Eigenschaften haben. So findet sich in den süß schmeckenden Früchten eine Monose, der man wegen ihres reichlichen Vorkommens im Traubensaft den Namen Traubenzucker gegeben hat; in der Zuckerkrankheit scheidet der Körper durch den Urin beträchtliche Mengen Traubenzucker aus. In den süßen Früchten ist dieser Zucker meist von einer anderen Monose $C_6H_{12}O_6$, dem Fruchtzucker begleitet. Die Tatsache, daß es chemische Verbindungen von gleicher Zusammensetzung, aber verschiedenen Eigenschaften gibt, erscheint auffallend, sie ist aber zweifellos erwiesen, und man kennt jetzt eine sehr große Anzahl solcher Fälle. Verbindungen dieser Art nennt man isomer, die Erscheinung wird als Isomerie bezeichnet. — Auch unter den Biosen $C_{12}H_{22}O_{11}$ gibt es Fälle von Isomerie. Zu dieser Gruppe gehört der uns allen bekannteste Zucker. Er hat nach seinem Vorkommen im Zuckerrohr den Namen Rohrzucker erhalten, wird aber in Europa aus der Zuckerrübe gewonnen; Rohrzucker

und Rübenzucker sind chemisch ein und dasselbe. Mit ihm isomer ist der in der Milch enthaltene Milchzucker. — In den Pflanzen kommen auch Verbindungen von Zuckerarten $C_5H_{10}O_5$ vor; sie enthalten, wie die Formel zeigt, fünf Kohlenstoffatome und werden deshalb Pentosen (von penta, fünf) genannt, während die Zuckerarten $C_6H_{12}O_6$ auch unter dem Namen Hexosen zusammengefaßt werden (aus dem Griechischen hexa = sechs). — Übrigens kennt man jetzt auch Zuckerarten von noch anderer Zusammensetzung, die aber nur den Fachmann interessieren und hier übergangen werden müssen.

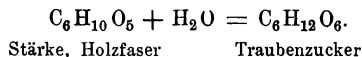
Zwischen den Monosen und Biosen besteht insofern ein Zusammenhang, als sich die Biosen in Monosen überführen lassen. Der Vorgang erfolgt unter Aufnahme der Elemente des Wassers, wie sich aus ihren Formeln ergibt. So zerfällt Rohrzucker in gleiche Teile Trauben- und Fruchtzucker:



Ebenso spaltet sich der Milchzucker in Traubenzucker und eine andere Monose, welche nach der Herkunft aus der Milch den Namen Galaktose erhalten hat (aus dem Griechischen gala, Milch):



Auch andere Kohlenhydrate lassen sich in Zucker überführen, so die Stärke und die Holzfaser, deren Zusammensetzung sich durch die einfache Formel $C_6H_{10}O_5$ ausdrücken läßt:



Die Verzuckerung der Stärke wird meist durch Einwirkung von Schwefelsäure oder Salzsäure herbeigeführt. Man gewinnt dadurch, je nach der Art des Arbeitens, festen Stärkezucker oder flüssigen Stärkesirup. Diese Produkte sind aber keineswegs reiner Traubenzucker, sondern enthalten noch andere Zeretzungsprodukte der Stärke. Sie werden teils zu technischen Zwecken, teils in der Nahrungsmittelindustrie verwendet. Auch der Kunsthonig besteht wesentlich aus Stärkezucker.

Der Rohrzucker wurde, wie sein Name sagt, früher ausschließlich aus dem Zuckerrohr gewonnen, welches aber nur in

Ländern warmen Klimas angebaut werden kann. Für Europa kommt nur die Runkelrübe in Betracht, deren Gehalt an Rohrzucker 1747 von dem Berliner Chemiker Marggraf entdeckt wurde. Die erste Rübenzuckerfabrik wurde 1799 durch Marggrafs Schüler Achard zu Kunern in Schlesien errichtet, aber ein nachhaltiger Aufschwung dieser Industrie datiert in Deutschland erst seit etwa 1840, also fast hundert Jahre nach der Entdeckung Marggrafs. — Die Rübenzuckerfabrikation ist ein ausgesprochen landwirtschaftliches Gewerbe. Durch ihre langen Wurzelfasern erschließt die Rübe tiefere Bodenschichten und macht sie dadurch auch anderen Kulturpflanzen zugänglich. Sie braucht einen kalireichen Boden und bei dem intensiven Anbau reichlichen Kalidünger. An dem großen Erfolge dieser Industrie ist, neben den technischen Fortschritten, in hervorragendem Grade die systematische Veredlung der Runkelrübe beteiligt. Während die ursprünglich verwendete Rübe nur 7 bis 8 Proz. Zucker enthielt, ist ihr Zuckergehalt durch die langjährige Zuchtwahl bis etwa 18 Proz. gesteigert worden. In der ersten Zeit durch Schutzzölle künstlich gefördert, wurde die Zuckerindustrie schließlich zu einer ergiebigen Steuerquelle und zu einem wichtigen Faktor nationalen Wohlstandes. Vor dem Weltkriege war die Produktion an Rohr- und Rübenzucker, soweit beide auf dem Weltmarkt erschienen, annähernd gleich groß. Damals stand Deutschland an der Spitze der Rübenzucker erzeugenden Länder, die Hälfte seiner Produktion führte es aus. Der Krieg mit seinen unheilvollen Folgen hat freilich auf dieses glänzende Bild tiefe Schatten geworfen.

Die Gewinnung des Zuckers aus der Rübe zerfällt in zwei wohl stets getrennte Betriebe: 1. die Erzeugung eines Zwischenprodukts, des Rohzuckers und 2. die Raffinerie, welche zu dem reinen Gebrauchszucker führt. In den Rohzuckerfabriken werden die Rüben erst durch Waschen von dem anhängenden Erdreich befreit, dann in Schnitzelmaschinen zerkleinert. Darauf werden die Schnitzel in der sogenannten Diffusionsbatterie einer systematischen Auslaugung mit warmem Wasser unterworfen und dadurch eine verdünnte Zuckerlösung, der „Dünnsaft“ gewonnen. Dieser enthält außer dem Zucker noch Salze, unter denen Kali- und Phosphorsäuresalze vorwalten, dann stickstoffhaltige und stickstofffreie organische Verbindungen. Die ausgelaugten Schnitzel werden durch Pressen von dem ihnen anhaftenden Wasser soweit

als möglich befreit und als Viehfutter verwendet. Zur Reinigung des Dünnsaftes erfolgt eine Behandlung mit Kalk und Kohlensäure, wodurch ein Niederschlag entsteht, der „Scheideschlamm“, welcher wegen seines Gehaltes an Phosphorsäure und Stickstoff ein vortreffliches Düngemittel abgibt. Die Kalisalze werden nicht mitgefällt. Die für die „Saturation“ erforderliche Kohlensäure gewinnt man durch Brennen von Kalk. Zur weiteren Reinigung gibt man noch eine Behandlung mit Schwefeldioxyd, wodurch der Dünnsaft etwas heller wird. — Um nun den Zucker in fester Form zu gewinnen, muß der größte Teil des im Dünnsaft enthaltenen Wassers durch Verdampfen entfernt werden. Dies geschieht in geschlossenen Apparaten unter vermindertem Luftdruck und infolgedessen bei niederer Temperatur. Dadurch wird an Zeit und Brennstoff gespart, und zugleich eine nicht ganz zu vermeidende Spaltung des Rohrzuckers in Trauben- und Fruchtzucker möglichst eingeschränkt. Das Eindampfen des Dünnsaftes führt man in zwei getrennten Operationen aus; die erste liefert den sogenannten Dicksaft, die zweite die „Füllmasse“, welche aus Zuckerkrystallen und der sie benetzenden Mutterlauge besteht. Nach dem Erkalten werden beide durch Schleudern in „Zentrifugen“ getrennt. Die zurückbleibenden, noch braungefärbten Kristalle bilden das sogenannte erste Produkt; der ablaufende Sirup liefert durch weiteres Verkochen noch „Nachprodukte“. Schließlich bleibt eine Mutterlauge, welche wegen der in ihr angehäuften „Nichtzuckerstoffe“ nicht weiter zur Kristallisation gebracht werden kann. Sie ist sehr dunkel gefärbt und heißt deshalb Melasse (aus dem Griechischen melas, schwarz). — Die Konstruktion und der Betrieb der Verdampfapparate hat einen kaum zu übertreffenden Grad der Vollkommenheit erreicht, die Wärmeökonomie in ihnen ist eine nahezu ideale. — Ein guter Rohrzucker enthält z. B. 96,5 Proz. Zucker, 1,2 Proz. organische Nichtzuckerstoffe, 0,8 Proz. Salze, 1,5 Proz. Wasser. Die Melasse ist ein dicker Sirup, welcher etwa 50 Proz. Zucker enthält, daneben außer Wasser noch Nichtzuckerstoffe, vor allem die Kaliumsalze des Rübensaftes. Aus ihr wird entweder auf chemischem Wege noch der Zucker gewonnen, oder sie wird durch Gärung auf Spiritus verarbeitet. Die letzten Rückstände werden eingedampft und geglüht und hinterlassen dadurch die sogenannte Schlempekohle. Sie enthält die Mineralstoffe der Melasse und

ist ein ausgezeichnete Rohstoff zur Darstellung von Pottasche. Zuweilen wird die Melasse auch gemischt mit getrockneten Rübenschnitzeln als Viehfutter verwendet. — Der Rohzucker geht zur Reinigung in die Zuckerraffinerien. Hier erfolgt die weitere Verarbeitung nach zwei wesentlich verschiedenen Methoden. Nach der einen wird der Rohzucker in Wasser gelöst, die Lösung durch Filtrieren über Knochenkohle entfärbt und darauf zur Kristallisation verkocht, wobei man, um ein ganz weißes Produkt zu erzielen, eine Spur Ultramarinblau zusetzt. Aus der Raffinadefüllmasse gewinnt man dann den festen Zucker in Hut- oder Würfelform. Die letzten dabei ablaufenden Sirupe gehen als Melasse in den Handel. — Nach dem anderen Verfahren wird der Rohzucker gar nicht erst wieder aufgelöst, sondern durch Waschen mit reiner Zuckerlösung von den anhaftenden Nichtzuckerstoffen befreit. Man erhält so den jetzt wohl am meisten benutzten Kristallzucker. — Kandiszucker besteht aus großen Kristallen, die durch sehr behutsames Kristallisieren konzentrierter Zuckerlösungen gewonnen werden. — Die Produkte der Zuckerraffinerien sind nahezu chemisch reiner Zucker. Wenn man zuweilen die Meinung aussprechen hört, der Kristallzucker süße weniger als Hut- und Würfelzucker, so ist das eine Täuschung, welche darauf beruht, daß die größeren Kristalle sich langsamer lösen.

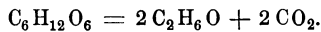
Der Zucker ist nicht nur ein Genußmittel, sondern auch ein Nahrungsmittel und ein Konservierungsmittel für eingemachte Früchte, kondensierte Milch und dergleichen. Die künstlichen Süßstoffe wie Saccharin und Dulcin ersetzen ihn wohl in seinem süßen Geschmack, nicht aber in seinen anderen Wirkungen. Sie waren in erster Linie für Zuckerkrankte bestimmt, deren Speisen nicht mit Zucker gesüßt werden dürfen. Während und nach dem Weltkriege haben sie auch sonst als Zuckerersatz eine gewisse Bedeutung erlangt; doch darf man nicht vergessen, daß ihr Nährwert gleich Null ist.

Gärung.

Der Anbau der Rebe und die Weinbereitung sind älter als die menschliche Geschichte; in der Bibel wird ja bekanntlich Noah als erster Weinbauer genannt. Das Verfahren ist im wesentlichen noch heute dasselbe wie zur Zeit Noahs: man preßt

die Trauben aus und überläßt den so gewonnenen Most zunächst sich selbst. Er gerät allmählich in Gärung, welche sich dadurch zu erkennen gibt, daß die ursprünglich ziemlich klare Flüssigkeit sich mehr und mehr trübt und zugleich schäumt. In dem Maße, wie die Gärung fortschreitet, verschwindet der süße Geschmack des Mostes und macht einem prickelnden Weingeschmack Platz. Sobald die Gärung in der Hauptsache beendet ist, und der Wein sich geklärt hat, bringt man ihn zum „Reifen“ auf Lagerfässer, und hier entwickelt sich sein edler Charakter, die „Blume“.

Ein Einblick in das Wesen dieses uralten Verfahrens war erst möglich auf Grund eingehender Forschungen, wie sie das Altertum noch nicht kannte. Sie lehrten zunächst die Natur des Traubensaftes kennen. Er enthält in Wasser gelöst den Traubenzucker $C_6H_{12}O_6$; daneben das saure Kaliumsalz einer zweibasischen organischen Säure, der Weinsteinsäure $C_4H_6O_6$. Ihr schwerlösliches saures Kaliumsalz $C_4H_5O_6K$ setzt sich in den Gärungs- und Lagerfässern in harten Krusten als Weinstein ab. Im übrigen sind die Bestandteile des Traubenmostes dieselben wie diejenigen anderer Pflanzensäfte: Eiweißkörper, phosphorsaure und andere Salze usw. — Der Erfolg der Gärung besteht der Hauptsache nach in einer Spaltung des Traubenzuckers in Alkohol und Kohlensäure:



Zugleich verlaufen aber untergeordnet noch andere Vorgänge, welche zur Bildung von Nebenprodukten führen. Daher enthält der Wein immer kleine Mengen von Glycerin $C_3H_8O_3$ und Bernsteinsäure $C_4H_6O_4$; ferner einige andere Alkohole, welche an der Bukettbildung beteiligt sind. Ein Teil des Zuckers entgeht der Gärung. Die deutschen und französischen Weine enthalten meist 9 bis 11 Proz. Alkohol, etwa $\frac{1}{2}$ Proz. Säure und ungefähr ebensoviel unvergorenen Zucker. Die südlichen Weine sind viel reicher an Alkohol und Zucker und erhalten oft einen Zusatz an diesen beiden Stoffen. Sie können bis 20 Proz. Alkohol und 11 Proz. Zucker enthalten. — Der Farbstoff der Rotweine stammt aus den Schalen der Trauben; außerdem ist für diese Weine ein im Vergleich mit Weißwein größerer Gehalt an Gerbstoff charakteristisch. — Die Schaumweine erzeugt man durch eine nachträgliche Gärung in dickwandigen verkorkten Flaschen

unter Zusatz von Zucker und Hefe. Die dabei gebildete Kohlensäure bleibt im Wein und bewirkt das Schäumen.

Die Frage nach der Ursache und dem Wesen der Gärung hat den Chemikern viel Mühe gekostet, es bedurfte der Arbeit von Jahrzehnten, um sie der Lösung zuzuführen. In dem während des Verlaufes der Gärung sich immer mehr trübenden Traubensaft bildet sich ein dicker Bodensatz: die Hefe. Das Mikroskop zeigt uns, daß sie organisiert ist: sie besteht aus lauter einzelnen Zellen, nieder organisierte Pilze, welche sich unter günstigen Bedingungen außerordentlich vermehren. Diese Bedingungen bietet der Traubensaft, da er die für die Ernährung der Hefepilze notwendigen Stoffe enthält: Kalium-, Phosphorsäure- und andere Salze, Eiweißkörper usw. Der große französische Chemiker Pasteur hat nun den Nachweis geführt, daß die Gärung an den Lebensprozeß der Hefezellen gebunden ist. Die Keime dieser Pilze, von den Botanikern Sporen genannt, sind allgemein verbreitet, sie schweben in der Luft und fallen ohne Zutun des Menschen in den Most, in dem sie sich zu den Hefepilzen entwickeln und als solche die Gärung bewirken. Tötet man sie durch Erhitzen und verhindert man den Zutritt neuer Hefezellen oder Sporen, so unterbleibt die Gärung, und wenn sie schon im Gange war, wird sie unterbrochen. Dieses Vorgehen nennt man Sterilisieren, es hat jetzt für die Konservierung von Nahrungsmitteln und für die Gesundheitspflege große praktische Bedeutung erlangt. — Im Jahre 1897 machte Ed. Buchner die wichtige Entdeckung, daß die alkoholische Gärung nicht, wie Pasteur noch meinte, eine direkte Wirkung der lebenden Hefezelle sei, sondern daß sie durch einen von dieser erzeugten Stoff hervorgerufen wird, welcher selbst dabei keine dauernde Veränderung erfährt. Er zerstörte die Hefezellen durch Reibung und gewann daraus einen „Preßsaft“, durch den er Zuckerlösungen auch ohne lebende Hefezellen in Gärung versetzen konnte. Den dabei wirksamen Stoff nannte er Zymase. Das ist also ein organischer Katalysator. Solche organische Katalysatoren kannte man schon früher, sie spielen im Leben der Tiere und Pflanzen eine wichtige Rolle, man bezeichnet sie allgemein als Fermente oder Enzyme. — Wie den Traubenmost kann man auch andere zuckerhaltige Pflanzensäfte gären lassen, wodurch man Apfelwein und ähnliche weinartige Getränke erzielt.

Ein wesentlich anderes Gärungsprodukt ist das Bier, dessen Rohstoff die Gerste ist. Das Gerstenkorn, wie es von der Ähre kommt, enthält keinen Zucker; dagegen ist es, wie alle Samenkörner, sehr reich an Stärke, und diese kann unter dem Einfluß eines Enzyms, der Diastase, in Zucker übergehen. Die Diastase entwickelt sich im Gerstenkorn während des Keimungsprozesses, sie verwandelt langsam die Stärke in Zucker und ermöglicht dadurch der jungen Pflanze den ersten Aufbau ihres Körpers bis zum Einsetzen der Assimilation. Diesen Vorgang macht sich die Industrie zunutze. Man läßt die Gerste erst in Wasser quellen, breitet sie dann in einem luftigen Raum, der Malztenne, aus und wendet sie von Zeit zu Zeit um, so daß die Luft immer Zutritt hat. Sie keimt nun wie im Erdboden und verwandelt sich in Malz. Dabei atmet sie und entwickelt merklich Wärme. In den großen Malzfabriken und Brauereien ist die Malztenne durch maschinelle Einrichtungen ersetzt. Sobald die Bildung der Diastase weit genug vorgeschritten ist, wird die Keimung durch Darren unterbrochen, für helle Biere bei mäßiger Temperatur, für dunkle bei höherer. Durch das Darren entwickelt sich außer der Farbe auch das Aroma des späteren Bieres. — Dann folgt weiter das „Maischen“. Man rührt das grob zerkleinerte, „geschrotene“ Malz mit warmem Wasser an und läßt dieses unter stetem Rühren längere Zeit einwirken, wobei man die Temperatur bis etwa 70° C steigert. Während dieser Operation wirkt die Diastase auf die Stärke des Malzes und verwandelt sie in den gärungsfähigen Malzzucker. Dieser ist vom Traubenzucker verschieden, er hat die Formel $C_{12}H_{22}O_{11}$, ist also isomer mit dem Rohr- und Milchzucker. Als Zwischenprodukte bilden sich noch gummiartige Stoffe, die man unter dem Namen Dextrin zusammenfaßt; sie haben dieselbe Zusammensetzung wie die Stärke, sind aber abweichend von dieser in Wasser löslich. Man läßt die Verzuckerung nicht zu Ende gehen, weil das Bier immer noch einen gewissen Anteil an Dextrin behalten soll. Die im Maischbottich hergestellte und von den Trebern, das sind die Hülsen der Weizenkörner, getrennte Würze kommt deshalb in die Braupfanne, in der sie eingekocht wird, bis sie die gewünschte Stärke erreicht hat. Dadurch wird die Diastase zerstört und damit die weitere Verzuckerung der Dextrine abgeschnitten. In der Braupfanne wird auch der Hopfen zugesetzt, der dem Bier

den angenehm bitteren Geschmack erteilt und seine Haltbarkeit begünstigt. Die eingebraute Würze wird nun gekühlt und kommt dann in die Gärungsbottiche. Abweichend von der Weinbereitung wartet man aber nicht ab, daß die Gärung von selbst eintritt, sondern bringt sie durch Zusatz von Hefe in Gang. Die Hefe, die sich im Verlauf der Gärung sehr stark vermehrt, wird in den Brauereien selbst gezogen. Von Zeit zu Zeit aber muß sie aufgefrischt werden, wofür jetzt den Brauereien das nötige Material von besonderen Instituten geliefert wird. Es gibt nämlich verschiedene Heferassen, deren Wirkung sehr ungleichwertig ist, und es ist deshalb wichtig, daß man jetzt über Methoden verfügt, durch welche die wertvollsten Rassen in „Reinzucht“ erhalten werden. Die Gärungsführung hängt wesentlich von der Art des zu brauenden Bieres ab. Man unterscheidet obergärige Biere, zu denen beispielsweise das Berliner Weißbier gehört, und untergärige Lagerbiere, wie bayerische und böhmische Biere, nach deren Typus jetzt in Deutschland die meisten Biere gebraut werden. Die Untergärung läßt man sich bei 5 bis 6° C vollziehen, weshalb die Gärungsräume durch Eis oder Kältemaschinen gekühlt werden. Sie verläuft ruhig und die Hefe sinkt bei ihr zu Boden. Für die Obergärung beginnt man mit etwa 15° C und läßt die Temperatur auf 22° und darüber steigen. Der Verlauf ist infolgedessen ein stürmischer, und die sich lebhaft entwickelnde Kohlensäure treibt die Hefe nach oben. — Während der Gärung geht der Malzzucker zum größten Teil in Alkohol und Kohlensäure über, wobei wahrscheinlich als Zwischenprodukt Traubenzucker entsteht. — Die Hauptgärung vollzieht sich in den Bottichen, sie dauert bei den untergärigen Bieren 10 bis 12 Tage, bei den obergärigen ist die Dauer kürzer, aber sehr verschieden. Darauf folgt eine Nachgärung in den Lagerfässern, welche bei den Lagerbieren etwa drei Monate dauert, dann ist das Bier reif zum Ausschank. Doch befindet es sich noch im letzten Stadium der Nachgärung; sein dadurch bedingter Reichtum an Kohlensäure ist sehr wesentlich für seinen frischen Geschmack. Das fertige Bier enthält, außer Wasser, Alkohol und Kohlensäure, noch unvergorenen Zucker, Dextrin, Glycerin, ein wenig Säure, Stickstoffsubstanz und andere, nicht näher bekannte Stoffe. Es ist nicht nur ein Genußmittel, sondern hat auch einen gewissen Nährwert. Wollte man es aber als wesentliches Nahrungsmittel verwerten,

so müßte man dem Körper so beträchtliche Mengen davon zuführen, daß der übermäßige Alkoholgenuß die Gesundheit untergraben würde; auch könnte der Organismus die großen Mengen Flüssigkeit nicht ohne dauernde Schädigung bewältigen. — Die Mengenverhältnisse der einzelnen Bestandteile zeigen bei den verschiedenen Biersorten beträchtliche Unterschiede. Der Alkoholgehalt ist bedeutend geringer als beim Wein. Er beträgt beim Berliner Weißbier beispielsweise 2,8 Proz., beim Münchener Spatenbräu 3,9 Proz., beim englischen Ale 5,7 Proz.; der Gehalt an festen Stoffen, welche als Extrakt zusammengefaßt werden, in derselben Reihenfolge 4,2, 6,7 und 10,8 Proz. — Außer den Gerstenbieren gibt es auch Gebräue aus anderen Getreidearten, besonders Weizenbiere; sie stehen aber den aus Gerstenmalz hergestellten an Bedeutung sehr nach und haben einen mehr lokalen Charakter. So dienen zur Herstellung des Berliner Weißbieres 3 Tle. Weizen- und 1 Tl. Gerstenmalz.

Die dritte Gruppe gegorener Getränke bilden die Trinkbranntweine. Vom Wein und Bier unterscheiden sie sich dadurch, daß sie nach der Gärung destilliert werden; sie enthalten daher nur Wasser und Alkohol, nebst kleinen Mengen anderer flüchtiger Stoffe, während nichtflüchtige Stoffe in der Destillierblase zurückbleiben. — Die Rohstoffe für die Branntweimbrennerei sind in den verschiedenen Ländern sehr verschieden. Sie können entweder den Alkohol schon fertig gebildet enthalten, oder Zucker oder Stärke, welche erst durch Gärung in Alkohol übergeführt werden müssen. In Frankreich stellt man den Kognak aus Weinbeerenschalen „Weintrester“ oder aus Weinhefe dar. Die Überreste von der Zuckergewinnung aus dem Zuckerrohr liefern auf Jamaika und Kuba den echten Rum; ähnlichen Ursprungs ist der Arrak, der auf Java erzeugt wird. Im Schwarzwald und in der Schweiz liefern die zuckerreichen Kirschen den Kirschenbranntwein; in Süddeutschland, Österreich, Ungarn, den Donauländern gewinnt man entsprechend den Zwetschenbranntwein. — In Norddeutschland ist der wichtigste Rohstoff für die Branntweimbrennerei der Roggen. Er wird geschrotet, darauf zusammen mit der für die Verzuckerung der Stärke erforderlichen Menge Malz eingemaischt, alsdann vergoren und schließlich destilliert. Die dabei zurückbleibende „Schlempe“ ist ein wertvolles Viehfutter, ja für viele landwirtschaftliche Brennereien ist ihre Gewinnung

der eigentliche Zweck des ganzen Betriebes, bei dem der Branntwein oder auch Spiritus als Nebenprodukt abfällt. — Bedeutende Mengen von Branntwein werden auch aus hochprozentigem reinem Spiritus durch Verdünnen mit Wasser hergestellt. — Der Gehalt der Trinkbranntweine an Alkohol ist sehr verschieden, er liegt zwischen 25 und 50 Proz. Außerdem enthalten sie kleine Mengen flüchtiger Verbindungen, welche, wie beim Wein, das besondere Aroma bedingen; manche erhalten auch noch Zusätze, z. B. Kümmel, die Liköre immer Zucker.

Das Ausgangsmaterial für die Spiritusbrennerei bildet bei uns in erster Linie die Kartoffel, welche etwa 20 Proz. Stärke enthält. Diese ist in Zellgewebe eingeschlossen und muß zunächst durch Dämpfen unter Druck aufgeschlossen werden, wodurch die Stärke verkleistert und die Zellen gesprengt werden. Nun wird mit Malz vermaischt und dadurch die Stärke verzuckert. Abweichend von der Bierbrauerei arbeitet man aber hier darauf hin, sie so vollständig wie irgend möglich in gärungsfähigen Zucker überzuführen. Es folgt die Gärung und schließlich die Destillation. Für diese benutzt man jetzt sogenannte Kolonnenapparate, welche ununterbrochen arbeiten und sogleich einen 80- bis 95proz. „Rohspiritus“ liefern. Dieser kann als Brennspiritus und für viele technische Zwecke ohne weiteres benutzt werden; zur Herstellung von Trinkbranntwein, sowie für wissenschaftliche und feinere technische Zwecke wird er noch einer Reinigung unterworfen. Bei der Gärung der verzuckerten Kartoffelstärke entstehen nämlich, neben dem eigentlichen Alkohol, noch andere Alkohole, sogenannte Fuselöle, deren Hauptbestandteil der Amylalkohol $C_5H_{12}O$ ist. Er riecht und schmeckt unangenehm und ist der Gesundheit schädlich. Um den Rohspiritus zu entfuseln, wird er mit Wasser verdünnt, über frisch ausgeglühte Holzkohle filtriert und nochmals destilliert. Neuerdings wird auch vielfach der Rohspiritus durch eine systematische Destillation, „Rektifikation“, in fuselfreien Feinsprit und fuselhaltigen Sekundasprit zerlegt.

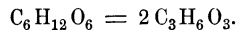
Eine nicht geringe Menge Spiritus wird jetzt auch aus der bei der Gewinnung des Rübenzuckers übrigbleibenden Melasse dargestellt. Wie wir sahen, ist diese eine sehr unreine, aber nahezu konzentrierte Zuckerlösung und kann nach passender Verdünnung auf Spiritus vergoren werden. Auch wird sie, vermischt

mit getrockneten Rübenschnitzeln, als Viehfutter benutzt. — Seit einer Reihe von Jahren bemüht man sich eifrig, Alkohol aus der Holzfaser zu gewinnen, welche sich durch Schwefelsäure in vergärbaren Zucker überführen läßt; durchschlagende Erfolge sind aber damit noch nicht erzielt worden. Dagegen werden seit kurzem auf einem indirekten Wege nicht ganz unbeträchtliche Mengen Alkohol aus Holz gewonnen. Dieses dient jetzt in bedeutendem Maße als Rohstoff für die Herstellung von gewöhnlichen Papiersorten. Für diesen Zweck unterliegt es einer später noch zu besprechenden chemischen Behandlung, und dabei hinterbleibt eine sehr unreine Lauge, deren unschädliche Beseitigung den Fabrikanten große Schwierigkeiten bereitet. Die Erkenntnis, daß sie gärungsfähige Bestandteile enthält und auf Spiritus verarbeitet werden kann, war daher eine wertvolle Entdeckung.

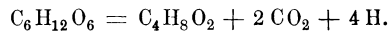
Noch auf einem ganz anderen Gebiete, wo man es am wenigsten vermuten sollte, spielt die alkoholische Gärung eine Rolle: in der Brotbäckerei! Hier handelt es sich darum, den aus Mehl und Wasser gekneteten Teig porös und dadurch leicht verdaulich zu machen. Zu diesem Zwecke bewirkt man in seinem Innern eine Gärung, welche Kohlensäure entwickelt und dadurch den Teig zum „Aufgehen“ bringt. Für die Herstellung des Roggenbrotes erreicht man das durch Zusatz von „Sauerteig“, eines bereits in Gärung befindlichen Teiges, den man von einer früheren Brotbereitung zurückbehalten hat. Sein säuerlicher Geschmack teilt sich dem Brotteig und schließlich dem fertigen Roggenbrote mit. — Für feineres Gebäck, Weißbrot, Kuchen usw. verwendet man statt des Sauerteigs Hefe. Im Backofen entweicht der Rest der Kohlensäure, auch der Alkohol als Dampf, wodurch das Brot noch weiter aufgelockert wird. — Da die Gärung auf Kosten des Mehles vor sich geht, so hat das einen nicht unbeträchtlichen Verlust zur Folge. Schon Liebig hat sich deshalb bemüht, die Auflockerung durch andere Mittel zu bewirken, ohne aber damit durchzudringen. Dagegen werden solche jetzt vielfach in der Kuchenbäckerei verwendet. Eins der bekanntesten besteht darin, dem Teig doppelkohlensaures Natrium und Weinstein (Cremor tartari) zuzusetzen, aus denen sich Kohlensäure entwickelt; ein anderes ist das sogenannte Hirschhornsalz oder kohlensaures Ammonium. Bei der Temperatur des Backofens zerfällt es vollständig in seine gasförmigen Bestandteile

Kohlensäure und Ammoniak, welche während des Backens ohne Rückstand entweichen.

Die Alkoholgärung ist nicht der einzige Vorgang dieser Art und die Hefe nicht der einzige Gärungserreger. So ist das Sauerwerden der Milch die Folge einer Gärung unter dem Einfluß mikroskopischer Lebewesen, welche noch erheblich kleiner sind als die Hefezellen; man nennt sie Bazillen oder Bakterien. Gegenstand dieser Gärung ist der in der Milch enthaltene Milchezucker $C_{12}H_{22}O_{11}$, er zerfällt zunächst in die beiden Hexosen Traubenzucker und Galaktose $C_6H_{12}O_6$, und diese dann weiter in eine Säure $C_3H_6O_3$, welche wegen dieses Ursprungs den Namen Milchsäure erhalten hat:

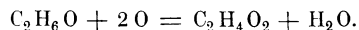


Die Milchsäure schlägt das in der frischen Milch gelöste Casein gallertartig nieder, so daß die Milch infolge des Sauerwerdens gerinnt. — Auch die Säure des Sauerteigs, welche durch dieselbe Gärung entsteht, ist hauptsächlich Milchsäure; desgleichen die Säure des Sauerkohls und die im Bier enthaltene Säure. Nach der Aufnahme kohlenhydratreicher Nahrungsmittel enthält der Magensaft Milchsäure. — Durch andere Bakterien wird Zucker in Buttersäure, Kohlensäure und Wasserstoff gespalten:



Die Milch- und Buttersäuregärung verlaufen untergeordnet neben der Alkoholgärung und beeinträchtigen die Ausbeute an Alkohol. Da sie durch Bakterien hervorgerufen werden, so arbeitet man dem durch Verwendung möglichst reiner Hefen entgegen.

Endlich erfolgt auch der Übergang des Alkohols in Essig durch Bakterien. Er ist aber, abweichend von den bisher besprochenen Gärungsvorgängen, ein Oxydationsprozeß und setzt deshalb den Zutritt der Luft voraus. Die Essigsäure hat die Formel $C_2H_4O_2$; ihre Bildung aus Alkohol entspricht der Gleichung



Dieser Vorgang vollzieht sich beim Sauerwerden des Weines und Bieres; man bezeichnet ihn als Essiggärung, obwohl er von ganz anderer Art ist als die übrigen Gärungsprozesse, durch

welche kompliziertere Verbindungen in einfachere gespalten werden. — Für die fabrikmäßige Bereitung des Essigs geht man von verdünntem Alkohol aus. Man läßt ihn, unter Zusatz von etwas fertigem Essig und Bier, durch aufrechtstehende, mit doppeltem Siebboden versehene und mit Buchenholzspänen gefüllte Fässer, „Essigbilder“ tropfen, und ihm entgegen Luft hinzutreten. Der abfließende Essig enthält 4 bis 6 Proz. Essigsäure; seine Herstellung ist aber infolge von Verdunstung mit einem nicht unerheblichen Verlust verbunden. Der Betrieb ist ein fortlaufender. — Aus Wein erhält man durch Oxydation des darin enthaltenen Alkohols den Weinessig. — Auf einem ganz anderen Wege wird jetzt Essig auch durch trockene Destillation des Holzes gewonnen. Der rohe Holzessig enthält, außer Essigsäure und Wasser, noch verschiedene andere Stoffe; er hat einen brenzlichen Geruch und Geschmack, wird jetzt aber so gut gereinigt, daß er auch als Speiseessig verwendet werden kann.

Faserstoffe.

Die Gespinste und Gewebe, mit denen wir unseren Körper bekleiden, unsere Bett- und Tischwäsche, Möbelstoffe und schließlich das Papier werden aus Faserstoffen hergestellt, welche teils dem Pflanzen-, teils dem Tierreiche entstammen. Die wichtigsten pflanzlichen Faserstoffe sind die Baumwoll- und Leinenfaser; für grobe Leinwand, für Seile und Bindfaden kommt dazu noch die Hanffaser, für Säcke, Vorhänge, Tischdecken usw. die Jute-faser, und in der Papierfabrikation hat jetzt auch die Holzfaser große Bedeutung erlangt. Früher wurde auch die Nesselfaser zur Herstellung von Geweben benutzt, und während des Krieges veranlaßte der Mangel an Baumwolle in Deutschland Versuche, diese ausgestorbene Industrie wieder ins Leben zu rufen, ohne daß aber damit dauernde Erfolge erzielt worden wären. — Dem Tierreiche entstammt vor allem die Schafwolle und Seide, an die sich noch einige andere tierische Fasern für besondere Zwecke anschließen, wie Kamelhaare, Mohär von der Angoraziege, Alpaka, Kaschmir usw. — Die jetzt so wichtig gewordene Kunstseide besteht aus Fäden, welche aus Pflanzenfasern nach Zerstörung ihrer Struktur künstlich hergestellt werden.

Pflanzenfasern, Baumwolle. Die Baumwollpflanzen sind verschiedene Malvenarten, welche am besten in feuchtwarmem Klima gedeihen und besonders in den Südstaaten Nordamerikas, in Ostindien, in Japan, China und Ägypten angebaut werden. Ihre Früchte sind Kapseln, in denen die Samen, umgeben von einer watteartigen Fasermasse, eingebettet sind. Ich zeige Ihnen hier einige solche Kapseln. Die Samenhaare bilden die rohe Baumwolle. Zur Zeit der Reife werden sie eingesammelt und von den Samen getrennt. Diese enthalten das wertvolle Baumwollkernöl, welches durch Auspressen gewonnen und nach passender Reinigung als Speiseöl oder in der Seifenfabrikation

verwendet wird. — Die Baumwollfaser erscheint unter dem Mikroskop als ein flaches, an den Rändern wulstig verdicktes Band, welches stellenweise korkzieherartig gewunden ist. Sie besteht wesentlich aus der die Wandungen der Pflanzenzellen bildenden Cellulose $C_6H_{10}O_5$, welche zu den Kohlenhydraten gehört und mit der Stärke isomer ist. Von der Pflanze her ist sie begleitet von kleinen Mengen fettiger, harziger und färbender Stoffe. Versponnen und verwebt wird sie in diesem rohen Zustand, so daß den Gespinsten und Geweben die Fremdkörper noch anhaften. Weitere Beimengungen kommen teils unbeabsichtigt im Laufe der Verarbeitung hinzu, teils werden sie absichtlich angebracht, weil sie von den technischen Operationen erfordert werden. So die Schlichte, welche aus Stärke, Leim und dergleichen Klebstoffen besteht, und die dem versponnenen Faden die für den Webstuhl nötige Steifheit gibt. — Diese begleitenden Stoffe müssen aus Garnen und Geweben entfernt werden, was durch den Bleichprozeß erreicht wird. Derselbe zerfällt in zwei Phasen: 1. Entfernung der Harz-, Fett- und Schmutzstoffe; 2. Zerstörung der farbigen Beimengungen, welche den rohen Baumwollerzeugnissen eine hellbräunliche Farbe erteilen. Der erste Zweck wird wesentlich durch „Bäuchen“, das ist Kochen mit alkalischen Stoffen erreicht: Kalkmilch, Sodalösung, zuweilen unter Zusatz von gemahlenem Kolophonium, wodurch Harzseife entsteht, welche ein sehr wirksames Reinigungsmittel ist. Das Bäuchen geschah früher in offenen Gefäßen, jetzt allgemein unter Druck und daher bei höherer Temperatur, wodurch man schneller zum Ziele kommt. Neuerdings wird diese erste Phase der Reinigung auch durch das noch energischer wirkende Ätznatron herbeigeführt. — Es folgt dann eine sehr gründliche Waschung, und darauf das Bleichen im engeren Sinne, die Zerstörung des Farbstoffs. Diese bewirkte man früher durch die Rasenbleiche, welche in einer Oxydation durch den Sauerstoff der Luft unter dem Einfluß des Sonnenlichts besteht. Sie erfordert aber viel Zeit, dazu hängt sie sehr von der Witterung ab und ist jetzt ganz durch die Anwendung von Chlorkalk ersetzt. Bei sachgemäßer Behandlung hat die einmalige Benutzung dieses kräftigen Oxydationsmittels kein Bedenken; das ändert aber nichts daran, daß seine wiederholte und nicht immer hinreichend sorgfältige Anwendung in der Hauswäsche durchaus unstatthaft ist. Andere oxydierend wirkende Waschmittel, welche

seit längerer Zeit im Handel sind, scheinen nach den bisherigen Erfahrungen die Faser nicht zu schädigen, doch herrscht darüber unter den Sachverständigen noch keine volle Übereinstimmung. — Im Fabrikbetriebe folgt auf die Chlorkalkbleiche noch eine Behandlung mit Salzsäure, wodurch einerseits die Wirkung des Chlorkalks noch verstärkt wird, andererseits etwaige Reste davon, welche schädlich auf die Festigkeit der Faser einwirken würden, entfernt werden. Eine gründliche Waschung bildet auch hier den Schluß, und damit das Ende des ganzen Bleichprozesses. — Sollen die Garne oder Gewebe dunkel gefärbt werden, so kann die Behandlung mit Chlorkalk fortbleiben. — Die Baumwollbleiche ist jetzt eine Großindustrie, welche allgemein mit Maschinenbetrieb arbeitet.

Die Leinenfaser ist die Bastfaser der Flachspflanze. Ihre Verarbeitung beginnt mit dem Abstreifen der etwa erbsengroßen kugelförmigen Früchte, aus deren Samen das für die Herstellung von Ölfarben und Firnissen dienende Leinöl gepreßt wird. Um dann den Bast von den anhängenden holzigen Teilen zu befreien, wird er einem Fäulnisprozeß unterworfen, welcher als Tauröste an der Luft, oder jetzt wohl meist als Wasserröste unter Wasser vor sich geht. Dadurch wird der Pflanzenleim, welcher die Bast- und Holzfasern verkittet, zerstört, worauf die Trennung durch mechanische Operationen, das Klopfen, Brechen, Schwingen, Hecheln vollendet wird und auch die einzelnen Bastfasern voneinander isoliert werden. — Die Leinenfaser zeigt unter dem Mikroskop das Bild eines dünnen Zylinders, der an beiden Enden zugespitzt und durch Scheidewände in Abteilungen geteilt ist. Die rohe Leinenfaser, wie sie versponnen und verwebt wird, ist von farbigen, harzigen und fettigen Stoffen begleitet, von denen sie durch die Bleiche befreit werden muß. Diese wird ähnlich ausgeführt wie bei der Baumwolle, erfordert aber noch größere Vorsicht, weil einerseits größere Mengen von Fremdkörpern zu entfernen sind, andererseits die Leinenfaser gegen chemische Eingriffe empfindlicher ist. Zur Zerstörung des anhaftenden Farbstoffs ist hier noch immer die Rasenbleiche das unbedenklichste Mittel.

Holzfaser. Die Wandungen der Holzzellen werden, wie die aller Pflanzenzellen, aus Cellulose $C_6H_{10}O_5$ gebildet. Sie ist

aber im Holze eng verbunden mit den sogenannten inkrustierenden oder Ligninsubstanzen, die dem Holze seine Festigkeit geben. Wer hätte nun früher daran gedacht, daß man aus Holz Papier machen könnte? Und doch hat das ungeheure Wachstum des Papierbedürfnisses, wie es sich besonders durch die Entwicklung des Zeitungswesens gestaltet hat, dazu gedrängt. Man stellte das Papier bis in die neuere Zeit fast nur aus baumwollenen und leinenen Lumpen, Hadern her; um die Mitte des vorigen Jahrhunderts aber gab es zur Deckung des gesteigerten Bedarfs nicht mehr genug Lumpen in der Welt! Da mußte man nach Ersatzstoffen suchen, und man fand sie vor allem im Holz und Stroh. Die Verarbeitung des Holzes ist entweder eine mechanische oder eine chemische. Die erste besteht in einem Zermahlen oder Schleifen in fließendem Wasser. Holzschleifereien findet man wohl in allen wald- und wasserreichen Gebirgen, so im Harz in großer Zahl. Ihr Erzeugnis, der Holzschliff wird für gewöhnlichere Papiere den zerkleinerten Hadern in ziemlich beträchtlicher Menge zugesetzt. Da aber die inkrustierenden Substanzen die Holzfaser spröde machen, so ist das holzschliffhaltige Papier brüchig, auch vergilbt es bald und wird mit der Zeit mürbe. Es war deshalb ein großer Fortschritt, als es gelang, die inkrustierenden Stoffe auf chemischem Wege zu entfernen. Dies geschieht durch verschiedene Verfahren. Das eine und wohl das wichtigste besteht darin, daß das entrindete und grob zerkleinerte Holz in geschlossenem Kessel unter Druck mit einer konzentrierten Lösung von Calciumbisulfid, das ist saures schwefligsaures Calcium, gekocht wird. Dadurch werden die Inkrusten, welche die Holzfasern verkitten, zerstört und die Fasern freigelegt. Man erhält so den Sulfitzellstoff, welcher ein viel wertvollerer Rohstoff für die Papierfabrikation ist als der Holzschliff. Eine Unbequemlichkeit bietet nur die gebrauchte, sehr unreine Bisulfidlauge, welche die Zersetzungsprodukte der inkrustierenden Substanzen enthält und nicht ohne weiteres den Wasserläufen zugeführt werden darf. Da sie vergärbaren Zucker enthält, wird jetzt, wie schon erwähnt, daraus Spiritus gewonnen. — Einen Natronzellstoff erzeugt man hauptsächlich durch Kochen von Stroh mit Natronlauge; das Verfahren ist aber dadurch kostspielig, daß die gebrauchte Lauge regeneriert werden muß um sie von neuem zu benutzen. Man verwendet deshalb

statt des Ätznatrons auch das billigere schwefelsaure Natrium, welches im Verlaufe der Operationen in Schwefelnatrium übergeht. Das dadurch erzeugte Produkt ist der sogenannte Sulfatzellstoff. — Besonders dauerhaftes Papier, wie es z. B. für Banknoten, wichtige Akten, Staatsverträge und dergleichen gebraucht wird, darf nur aus Hadern hergestellt werden. Dagegen besteht Zeitungspapier ganz aus Holzschliff mit einem kleinen Zusatz von Sulfitzellstoff. Die Masse für weißes Papier wird mit Chlor gebleicht. — Das Papier entsteht durch eine sehr innige Verfilzung der zu seiner Herstellung dienenden Fasern. Kommt nichts weiter dazu, so ist es Fließ- oder Löschpapier. Soll es zum Schreiben dienen, so muß ihm die poröse Beschaffenheit genommen werden, was früher durch Zusatz von Leim zur Papiermasse bewirkt wurde. Jetzt geschieht das „Leimen“ dadurch, daß man in der Masse einen Niederschlag von harzsaurem Aluminium erzeugt, welcher sich zwischen die Fasern lagert und das Papier undurchlässig macht.

Tierische Fasern. Von den zur Herstellung von Gespinsten und Geweben dienenden tierischen Fasern ist weitaus am wichtigsten die Schafwolle. Sie besteht aus zylindrischen Fasern, welche unter dem Mikroskop eine eigentümliche schuppige Struktur zeigen, ist sehr elastisch und ausgezeichnet durch ihre Kräuselung. Ihrer chemischen Zusammensetzung nach ist sie ganz anderer Art wie die Pflanzenfasern, sie gleicht darin den Eiweißkörpern und enthält wie diese, neben Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, noch Stickstoff und etwas Schwefel. — Die rohe Wolle ist von Schmutzstoffen begleitet, und ferner von dem sogenannten Wollschweiß, welcher bei der Verdunstung des im Schweiß des Tieres enthaltenen Wassers zurückbleibt. Er hat eine fettähnliche Beschaffenheit, ist aber kein wirkliches Fett und enthält noch Salze einer ganzen Anzahl organischer Säuren. Schon auf dem Rücken des Schafes wird eine vorläufige Wäsche vorgenommen, die eigentliche Wäsche erfolgt aber nach der Schur, zuerst mit bloßem Wasser, wodurch die löslichen Salze entfernt werden. Es sind größtenteils wertvolle Kaliumsalze, deshalb werden die Waschwässer eingedampft, der Rückstand zur Zerstörung der organischen Säuren geglüht und auf Pottasche verarbeitet. Das „Wollfett“ löst sich in Wasser nicht auf, es muß durch schwach alkalische Mittel, welche ähnlich wie Seife wirken, entfernt werden. Früher

benutzte man dazu gefaulten Urin, dessen wirksamer Bestandteil kohlsaures Ammonium ist; appetitlicher verwendet man jetzt das reine Produkt. Das gereinigte Wollfett bildet das Lanolin, welches als Grundlage von Salben viel benutzt wird. — Die gewaschene Wolle hat noch einen bräunlichen oder gelblichen Stich. Soll sie weiß werden oder eine zarte Farbe erhalten, so muß sie noch gebleicht werden. Dies geschah früher allgemein mit schwefliger Säure, jetzt vielfach mit Wasserstoff- oder auch Natriumsuperoxyd.

Die Seide ist das Gespinst der Seidenraupe. Der echte Seidenspinner ist ein Schmetterling, der in mäßig warmen Ländern gezüchtet und mit Maulbeerblättern ernährt wird. Nach der Paarung legt das Weibchen etwa 400 Eier, worauf die Eltern sterben. Aus den Eiern kriechen die Raupen aus. Sie sondern in zwei Drüsen den honigdicken Seidenstoff ab und lassen ihn aus zwei Öffnungen am Kopfe austreten, worauf er sofort hart wird. Es entsteht also immer ein Doppelfaden. Durch Bewegungen des Kopfes verspinnt die Raupe den Faden zu einem „Kokon“, das ist ein ovaler Hohlkörper, mit dem sie sich umgibt, und von dem ich Ihnen hier einige Exemplare zeige. Innerhalb dieses Kokons verpuppt sie sich, und in seinem Innern wird auch die Puppe zum Schmetterling. Ist dieser vollständig entwickelt, so beißt er in den Kokon eine Öffnung, durch die er ausschlüpft. Nach erfolgter Fortpflanzung ist das Leben der Generation zum Abschluß gekommen. Vollständig läßt man aber diesen Generationswechsel sich nur so weit vollziehen, als man die Eier zur Fortpflanzung braucht, da das Durchbeißen des Kokons den Faden an vielen Stellen unterbricht und dadurch seinen Wert vermindert. Um das zu vermeiden, wird die Mehrzahl der Tiere vorher durch Hitze getötet. Der Kokon wird dann abgehaspelt und durch Vereinigung mehrerer Kokonfäden die rohe Seide erhalten. Der einzelne Faden ist seiner Entstehung gemäß strukturlos. Er besteht aus zwei Schichten, die innere bildet den eigentlichen Seidenfaden, die äußere den Seidenleim oder Bast. Ersterer beträgt etwa $\frac{2}{3}$, letzterer $\frac{1}{3}$ vom Gewicht der Rohseide. — Der Seidenfaden besteht aus Fibroin, einem eiweißähnlichen Stoff, der jedoch, abweichend von den eigentlichen Eiweißkörpern und auch von der Wolle, keinen Schwefel enthält. Der Seidenleim hat eine ähnliche Zusammensetzung, ist aber etwas sauerstoff-

reicher, offenbar infolge einer Oxydation durch den Sauerstoff der Luft. Er steht in seinem chemischen Verhalten dem gewöhnlichen Leim nahe. — Rohe Seide ist hart und ohne Glanz, sie wird trotzdem als Bastseide zu Kleiderstoffen und dergleichen verarbeitet. Um die an der Seide besonders geschätzten Eigenschaften Glanz und Weichheit zu entwickeln, wird sie „entschält“, d. h. von der sie bedeckenden Bastseide ganz oder teilweise befreit. Dies geschieht durch Kochen mit Seifenlösungen; die leimhaltigen Bastseifenbäder sind ein wertvolles Hilfsmittel für die Seidenfärberei. — Die entschälte Seide ist immer mehr oder weniger gefärbt. Wie bei Wolle und Baumwolle hängt die weitere Verarbeitung von ihrer Bestimmung ab. Soll sie weiß werden, so wird sie mit schwefliger Säure oder Wasserstoffsperoxyd gebleicht. Ferner wird sie noch beschwert, zu welchem Zwecke Zinn- oder Eisenverbindungen auf ihr niedergeschlagen werden. Dadurch kann das Gewicht auf das Doppelte vermehrt werden — ein Unfug, der aber, wie es scheint, nicht zu beseitigen ist. — Außer der echten Seide des Maulbeerspinners gibt es noch sogenannte wilde Seiden. Sie rühren von anderen Schmetterlingen her, stehen aber der echten Seide in ihren Eigenschaften nach.

Kunstseide. Das Ausgangsmaterial für die Darstellung der Kunstseide ist Baumwolle oder Zellstoff. Es führen dazu mehrere ganz verschiedene Wege. Der erste beginnt mit der Bereitung der Kollodiumwolle durch gemäßigte Nitrierung, d. h. Einwirkung einer Mischung von Salpetersäure und Schwefelsäure, wie wir sie schon bei der Überführung des Glycerins in Nitroglycerin kennengelernt haben. Stärkere Nitrierung liefert die später zu besprechende Schießbaumwolle. Die Kollodiumwolle, welche annähernd die Zusammensetzung $C_6H_8O_3(NO_3)_2$ hat, quillt in einer Mischung von Alkohol und Äther zu einer zähen Flüssigkeit auf, das ist das Kollodium. Es wird zum Schließen kleiner Wunden benutzt, welche es nach dem Verdunsten der leicht flüchtigen Lösungsmittel mit einem dünnen Häutchen von Kollodiumwolle bedeckt. Früher diente das Kollodium auch zur Herstellung von photographischen Naßplatten, welche aber jetzt durch die in der Anwendung viel bequemeren Trockenplatten ersetzt sind. — Für die Erzeugung der Kunstseide wird das zähflüssige Kollodium durch eine feine Öffnung gepreßt, aus welcher es in

Gestalt eines Fadens hervorgeht. Die Lösungsmittel werden dann entweder durch Verdunsten an der Luft oder durch Wasser entfernt. Die Kollodiumwolle ist zwar nicht so explosiv wie die Schießbaumwolle, aber doch auch sehr brennbar. Um ihr die Feuergefährlichkeit zu nehmen, muß sie deshalb „denitriert“, d. h. die sauerstoffreichen Nitrogruppen NO_2 müssen entfernt werden, was auf chemischem Wege bewirkt wird. — Das zweite Verfahren gründet sich darauf, daß Zellstoff in der Lösung einer Verbindung von Kupferoxyd mit Ammoniak aufquillt und sich dann in derselben Weise „verspinnen“ läßt wie die Kollodiumwolle. Das Produkt ist der sogenannte Glanzstoff. — Drittens stellt man eine „Viskoseseide“ her durch Behandeln von Zellstoff mit Natronlauge und Schwefelkohlenstoff. Das Produkt gibt mit Wasser eine sehr zähflüssige Lösung, welche gleichfalls versponnen wird.

Die wertvollste, aber auch teuerste Kunstseide ist die sogenannte Acetatseide. Zu ihrer Darstellung benutzt man das Essigsäureanhydrid, welches man aus Essigsäure durch indirekte Entziehung von Wasser erhält. Mit Cellulose gibt es eine Verbindung, die sich in Chloroform zu einer sirupdicken, verspinnbaren Flüssigkeit auflöst. Die so erhaltene Acetatseide hat eine andere Zusammensetzung als die anderen Kunstseiden; doch liegen die Verhältnisse hier noch komplizierter, so daß ich mich auf diese Andeutungen beschränken muß. — Da Glanzstoff, Viskose- und Acetatseide keine Nitrogruppen enthalten, so fällt bei ihrer Darstellung die Denitrierung fort. — Die Verspinnung der Kunstseide ist, wie leicht ersichtlich, der Tätigkeit des Seidenspinners nachgebildet. Der Faden ist, wie der der natürlichen Seide, strukturlos, er hat lebhafteren Glanz als diese, ist aber weniger biegsam und weniger fest; doch ist die Kunstseide für viele Zwecke ein billigerer und brauchbarer Ersatzstoff für Naturseide geworden.

Durch Zusammenpressen von Kollodiumwolle mit Campher erzeugt man das jetzt so wichtig gewordene Celluloid. Seine vielfachen Anwendungen als Ersatz für Elfenbein, Schildpatt, Bernstein, Hartgummi usw. sind allgemein bekannt. Große Bedeutung hat es jetzt auch erlangt zur Herstellung von photographischen Platten und Filmbändern, wofür es durch seine Elastizität und Biegsamkeit, sein geringes Gewicht und seine Un-

zerbrechlichkeit besonders geeignet ist. — Für die Herstellung von Films dient jetzt auch die Acetatseide. Sie wird für diesen Zweck nicht versponnen, sondern fein ausgewalzt.

Der chemische Charakter der Faserstoffe ist in engster Beziehung zu ihrer Herkunft. Die pflanzlichen Fasern bestehen alle im wesentlichen aus Cellulose; Wolle und Seide dagegen stehen den Eiweiß- und Leimkörpern nahe. Innerhalb jeder dieser Gruppen verhalten sich daher die einzelnen Fasern in der Hauptsache ungefähr gleich; zwischen beiden Gruppen aber zeigen sich sehr bedeutende Unterschiede. Hier habe ich zwei ungefähr gleich große Stränge von gebleichtem Baumwoll- und Wollengarn. Beide benetze ich mit Wasser und drücke sie dann kräftig aus, um die eingeschlossene Luft zu entfernen. Darauf tauche ich sie zusammen in ein schon vorher erwärmtes Bad einer mit Wasser verdünnten, ungefähr 10 Proz. H_2SO_4 enthaltenden Schwefelsäure, in dem ich sie unter fortgesetztem Erhitzen im Wasserbade und Umziehen 10 bis 15 Minuten lasse. Nun nehme ich sie aus dem Bade und wasche mit Wasser die anhängende Säure aus. Beide Stränge erscheinen äußerlich unverändert, in Wahrheit trifft das aber nur für die Wolle zu. Durch Zupfen und Reißen überzeugen wir uns, daß ihre Festigkeit nicht merklich gelitten hat. Dagegen ist die Baumwolle so mürbe geworden, daß wir den Strang im ganzen ohne nennenswerte Anstrengung in kleine Stücke zerreißen können. — Nun machen wir einen entsprechenden Versuch mit einem Bade von Natronlauge, welches etwa 8 Proz. $NaHO$ enthält. In diesem löst sich sehr bald der Wollstrang vollständig auf; der Baumwollstrang bleibt erhalten, und wenn wir ihn herausnehmen und waschen, so gelingt es nicht, ihn im ganzen zu zerreißen. Ja, genaue Messungen haben ergeben, daß durch Behandlung mit Natronlauge die Festigkeit der Baumwollfaser sogar erhöht wird. Für die Praxis ergibt sich hieraus die Notwendigkeit, bei der Behandlung der Baumwolle mit Säure und der Wolle mit Alkali große Vorsicht walten zu lassen. — Auch gegenüber den Farbstoffen verhalten sich pflanzliche und tierische Fasern ganz verschieden. Ich bringe einen Baumwoll- und einen Wollstrang nach dem Benetzen mit Wasser und Ausdrücken in ein Bad von Säurefuchsin, dem ich einige Tropfen Schwefelsäure zugesetzt habe, und lasse sie unter Erwärmen und Umziehen 10 bis 15 Minuten darin. Nach dem Auswaschen sehen wir, daß die

Baumwolle weiß geblieben, die Wolle aber dunkelrot gefärbt ist. Besonders deutlich wird das von weitem zu beobachten sein, wenn ich beide Stränge in ein größeres Glas mit Wasser werfe. Ähnliche Unterschiede zeigen sich gegenüber vielen anderen Farbstoffen. Manche von ihnen — nicht alle — kann man auch auf der Baumwolle fixieren, doch bedarf es dazu gewisser Hilfsstoffe, sogenannter Beizen, die aber auch für manche Wollfärbungen erforderlich sind. Andererseits verfügt der Färber jetzt auch über Farbstoffe, welche die Baumwollfaser direkt anfärben.

Halogene.

Wir lernten schon das Kochsalz als eine Verbindung von Natrium und Chlor kennen. Das Chlor gehört einer Gruppe von vier nichtmetallischen Elementen an, welche unter dem Namen Halogene, oder deutsch Salzbildner zusammengefaßt werden, weil sie mit Metallen ohne Mitwirkung des Sauerstoffs Salze bilden. Außer dem Chlor gehören dieser Gruppe noch an Fluor, Brom und Jod; ihre Atomzeichen und Atomgewichte sind:

F = 19	Cl = 35,46	Br = 79,92	J = 126,92
Fluor	Chlor	Brom	Jod

Alle vier sind durch ein sehr energisches Bestreben ausgezeichnet, sich mit anderen Elementen, besonders Wasserstoff und Metallen zu verbinden; sie finden sich deshalb in der Natur nirgends als freie Elemente, sondern immer nur in chemischen Verbindungen. Die weiteste Verbreitung und daher auch die größte praktische Bedeutung hat von ihnen das

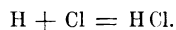
Chlor. Es ist vor allem ein Bestandteil des Kochsalzes oder Chlornatriums, NaCl. Dieses kommt vor als kristallisiertes Steinsalz, welches bergmännisch gewonnen wird; ferner gelöst im Meerwasser und in den salzigen Quellen oder Salzsolen. Aus diesen wird es in den Salinen durch Abdampfen gewonnen. Manche dieser Salzquellen sind nahezu gesättigte Lösungen, wie die Sole von Reichenhall, welche 23 Proz. Salz enthält, die meisten aber sind schwächer. Ist der Salzgehalt zu gering, so daß sie noch nicht „siedewürdig“ sind, so müssen sie erst durch freiwillige Verdunstung angereichert werden. Zu diesem Zwecke pumpt man sie auf „Gradierwerke“, lange, im Freien stehende Wände aus Schlehndorn, und läßt sie darüber herabrieseln, wodurch sie in einzelne Tropfen zerstäubt werden, und der größte Teil des Wassers verdampft. Nötigenfalls muß das Gradieren ein- oder mehrmals wiederholt werden. — Beim Eindampfen der Sole scheidet sich das Salz kristallinisch aus. Die übrigbleiben-

den „Mutterlaugen“ enthalten außer Kochsalz noch andere Salze und werden vielfach zum Baden verwendet, z. B. die Kreuznacher Mutterlauge. — In warmen Ländern, besonders an den Küsten des Mittelländischen Meeres, gewinnt man Salz durch freiwillige Verdunstung des Meerwassers.

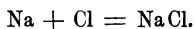
Ein sehr mächtiges und ausgiebiges Steinsalzlager befindet sich in der norddeutschen Tiefebene, es wurde im Jahre 1839 von dem Städtchen Staßfurt aus erbohrt; die Förderung konnte aber erst 1856 beginnen. Hier ist das Steinsalz überdeckt von einer Schicht sogenannter Abraumsalze, welche man anfangs für wertlos hielt. Die chemische Untersuchung ergab aber, daß sie beträchtliche Mengen von Kalisalzen enthalten, und dadurch sind sie von außerordentlicher Bedeutung für die Landwirtschaft geworden. Die praktisch wichtigsten dieser Kalimineralien sind der Carnallit, ein wasserhaltiges Doppelsalz von Chlorkalium und Chlormagnesium, $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ und der Kainit, der aus Chlorkalium, Magnesiumsulfat und Wasser besteht: $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$. Der Carnallit darf nicht als solcher auf die Felder gebracht werden, weil das Chlormagnesium den Pflanzen schädlich ist; er wird deshalb in chemischen Fabriken auf reines Chlorkalium verarbeitet, welches ein wertvolles, sehr konzentriertes Düngesalz darstellt. Dabei bleiben die sogenannten Kaliendlaugen zurück, welche das Chlormagnesium des Carnallits enthalten. Sie bereiten den Chlorkaliumfabriken beträchtliche Schwierigkeiten, da sie den Flußläufen nicht unbeschränkt zugeführt werden dürfen, und in jedem Falle deren bleibende Härte erhöhen. Dagegen wird der Kainit nur gemahlen und ohne weiteres ausgestreut. — Vor einer Reihe von Jahren wurden auch im Elsaß Kalisalzlager entdeckt, welche ja durch den Versailler Vertrag für Deutschland verlorengegangen sind. — Vor dem Weltkriege versorgte die deutsche Kaliindustrie die ganze Welt mit ihren Produkten. Während und nach dem Kriege machte man im Auslande, besonders in Amerika, viele Versuche zur Erschließung weiterer Kaliquellen, sie scheinen aber bisher keinen durchgreifenden Erfolg gehabt zu haben. Wenn aber in einer späteren Zeit die Kalisalzlager bis auf kleine Reste abgebaut sind, wird die Not dazu zwingen, diesen Weg zu gehen. Kalisalze sind wesentliche Bestandteile vieler, zum Teil sehr weit verbreiteter Gesteine, von denen ich hier nur Granit und Gneis nennen will. Aber ihre

Abscheidung aus diesen macht bedeutende Schwierigkeiten und ist unter den jetzigen Verhältnissen wirtschaftlich nicht durchführbar. Einmal wird man aber auf solche Rohstoffe zurückgreifen müssen, und dann wird die Chemie, die schon so viele Schwierigkeiten siegreich überwunden hat, auch für dieses Problem die Lösung finden.

Um Chlor im freien, elementaren Zustande darzustellen, ging man bis vor kurzem immer von der Salzsäure aus, und so ist es auch jetzt noch für die Darstellung im kleinen Maßstabe am bequemsten. Die Salzsäure hat, wie wir wissen, die einfache Formel HCl ; sie wird deshalb in der Chemie auch Chlorwasserstoffsäure genannt. Ihre Lösung in Wasser wird von der Industrie fabrikmäßig dargestellt und ist daher leicht zugänglich. Um aus ihr das Chlor in Freiheit zu setzen, lassen wir eine Sauerstoffverbindung darauf einwirken, welche leicht Sauerstoff abgibt und dadurch den Wasserstoff der Salzsäure zu Wasser oxydiert. Unter verschiedenen dazu brauchbaren Körpern wählen wir den uns von der Sauerstoffdarstellung aus chlorsaurem Kalium und der katalytischen Zersetzung des Wasserstoffsuperoxyds bekannten Braunstein. Er ist eine Verbindung des dem Eisen ähnlichen Metalles Mangan von der Formel MnO_2 . Wegen seines Sauerstoffreichtums nennt man ihn auch Mangansuperoxyd. In diesem Kolben habe ich etwas Braunstein in groben Stücken und gieße nun wässrige Salzsäure darauf. Alsbald beginnt eine mäßige Gasentwicklung, die ich durch gelindes Erwärmen unterstütze. Das Gas hat eine blaß gelblichgrüne Farbe und einen durchdringenden unangenehmen Geruch. Man muß sich sehr hüten, es in größerer Menge einzusatmen, da es die Atmungsorgane heftig angreift und dadurch der Gesundheit sehr schädlich werden kann. Auf viele Körper wirkt es energisch ein. Leite ich es in eine Indigolösung, so wird durch wenige Blasen der blaue Farbstoff zerstört. In Wasser ist das Chlorgas ziemlich leicht löslich. Gieße ich eine solche Lösung Chlorwasser in die Indigolösung, so wird deren blaue Farbe gleichfalls zerstört. Viele brennbare Körper brennen im Chlorgas ähnlich wie im Sauerstoff, ja manche noch energischer als in diesem. Hier habe ich eine Wasserstoffflamme; bringe ich sie in einen mit Chlorgas gefüllten Zylinder, so brennt sie darin fort unter Bildung von Chlorwasserstoffsäure:



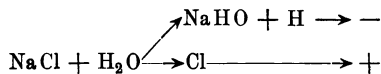
Natrium verbrennt darin mit gelber Flamme zu Chlornatrium:



Einen anderen Weg zur Abscheidung des Chlors aus der Salzsäure bietet die Elektrolyse. Hier habe ich eine rechtwinklig gebogene Röhre, deren einer Schenkel zugeschmolzen ist; in ihn ist ein Platindraht eingeschmolzen, an dessen inneres Ende ein Platinblech angelötet ist, während das äußere zu einer Öse gebogen ist. Der geschlossene und ein Teil des offenen Schenkels ist mit starker wässriger Salzsäure gefüllt, die ich mit etwas Indigolösung dunkelblau gefärbt habe. Nun tauche ich auch in den offenen Schenkel einen am Ende mit einem Platinblech verlöteten Platindraht und verbinde ihn mit dem positiven Pol einer galvanischen Batterie, den anderen mit dem negativen Pol. Als bald sehen wir am negativen Pol sich ein Gas entwickeln, welches die Flüssigkeit mehr und mehr aus dem geschlossenen in den offenen Schenkel drängt; am positiven Pol wird die blaue Farbe der Indigolösung zerstört, zum Zeichen, daß sich hier freies Chlor entwickelt, welches sich im Wasser der Salzsäure auflöst. Nachdem sich in dem geschlossenen Schenkel eine genügende Menge Gas angesammelt hat, unterbreche ich den Versuch, und wir überzeugen uns durch Entzünden des Gases, daß es nichts anderes ist als Wasserstoff. Die Elektrolyse verläuft also in folgendem Sinne:



Die technische Darstellung des Chlors bewirkte man bis vor kurzem stets durch Oxydation der Salzsäure mittels Braunstein oder auch durch den Sauerstoff der Luft. Neuerdings wird viel Chlor elektrolytisch dargestellt, aber nicht aus Salzsäure, sondern aus konzentrierten Lösungen von Chlorkalium oder Chlornatrium. Dabei erhält man, wie bei unserem Versuch, am positiven Pol das Chlor, am negativen je nachdem Kalium- oder Natriumhydroxyd und Wasserstoff:



Natrium- und Kaliumhydroxyd werden von der chemischen Industrie oder von den Seifenfabriken aufgenommen; der Wasserstoff wird in Bomben gefüllt und in der Luftschiffahrt, für autogene Schweißung usw. verwendet.

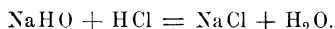
Die Salzsäure erhält man durch Erhitzen von Chlornatrium und Schwefelsäure, es entsteht schwefelsaures Natrium und gasförmiger Chlorwasserstoff:



Dieser Vorgang war bis in unsere Zeit der einzige Weg zur technischen Darstellung der Salzsäure. Jetzt werden große Mengen dieser Säure gewonnen durch Verbrennung elektrolytischen Chlors mit Wasserstoff, wie wir es eben sahen. Während also früher die Salzsäure das Ausgangsmaterial zur Darstellung des freien Chlors war, haben sich die Verhältnisse jetzt umgekehrt.

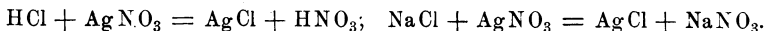
Das Salzsäuregas ist in Wasser ganz außerordentlich löslich, wie wir uns durch Einleiten in Wasser überzeugen. Es ist eine der stärksten Säuren; lasse ich nur wenige Blasen davon durch eine blaue Lackmuslösung streichen, so wird diese sofort lebhaft rot gefärbt. Beide Eigenschaften kann ich noch mittels desselben Apparats veranschaulichen, den wir schon benutzt haben, um die große Löslichkeit und die basische Natur des Ammoniaks zu beobachten; nur ist diesmal das Wasser in der unteren Schale durch Lackmuslösung nicht rot, sondern blau gefärbt. Wie damals erhalten wir einen Springbrunnen, aber das blau gefärbte Wasser färbt sich jetzt beim Zusammentreffen mit dem Chlorwasserstoffgas rot. — Lasse ich Chlorwasserstoffgas in Luft treten, so raucht es. Auch diese Erscheinung ist eine Folge seiner großen Löslichkeit in Wasser: trifft es auf den in der Luft enthaltenen Wasserdampf, so verdichtet es sich mit diesem zu feinen Tröpfchen und diese bilden den sichtbaren Nebel. Auch die konzentrierte wässrige Salzsäure raucht an der Luft, weil aus ihr, wenn sie sich nicht im geschlossenen Gefäße befindet, langsam Chlorwasserstoffgas entweicht. Diese starke Lösung nennt man deshalb auch rauchende Salzsäure. — Man verwendet die Salzsäure, wenn es angeht, stets in der wässrigen Lösung, was natürlich viel bequemer ist als das Arbeiten mit dem Gase.

Wir haben früher die Bildung von Chlornatrium aus Natriumhydroxyd und Salzsäure beobachtet. Die Gleichung dieses Vorgangs wiederhole ich noch einmal, sie lautet:



Ähnliche Salze wie mit Natrium bildet die Salzsäure auch mit anderen Metallen, z. B. Chlorkalium KCl, Chlorsilber AgCl, Chlor-

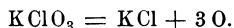
calcium CaCl_2 . Das Chlorsilber ist in Wasser so gut wie unlöslich; man erhält es als einen weißen käsigen Niederschlag, wenn man Salzsäure oder eins ihrer wasserlöslichen Salze mit einem löslichen Silbersalze zusammenbringt:



Im Gegensatz zu den sauerstoffhaltigen Säuren und Salzen enthalten also die Salzsäure und ihre Salze keinen Sauerstoff. Wie wir gleich sehen werden, bilden die anderen Halogene entsprechende Säuren und Salze. Man nennt diese besondere Klasse chemischer Verbindungen Haloidsäuren und Haloidsalze.

Noch habe ich des natürlichen Vorkommens der freien Salzsäure zu gedenken: sie strömt gasförmig mit anderen Gasen aus den Kratern tätiger Vulkane aus. Der Magensaft des Menschen enthält regelmäßig 0,3 bis 0,5 Proz. Chlorwasserstoff gelöst, der des Hundes noch beträchtlich mehr. Die Salzsäure des Magensaftes ist am Verdauungsprozesse beteiligt und auch dadurch für das Leben wichtig, daß sie die Bakterien, welche die Erkrankung an Typhus, Cholera, Ruhr bewirken, tötet und den Organismus vor diesen Krankheiten schützt. Deshalb ist es bei solchen Epidemien besonders wichtig, den Magen durch mäßige und vernünftige Lebensweise leistungsfähig zu erhalten.

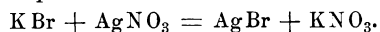
Von anderen Verbindungen des Chlors nenne ich noch das chlorsaure Kalium, das wir schon als Mittel der Sauerstoffdarstellung kennengelernt haben. Es hat die Formel KClO_3 ; bei genügend starkem Erhitzen gibt es seinen ganzen Gehalt an Sauerstoff ab und geht in Chlorkalium über:



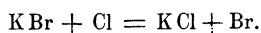
Es ist daher bei hoher Temperatur ein sehr kräftiges Oxydationsmittel, wie wir noch sehen werden. — Das chlorsaure Kalium wird jetzt meist elektrolytisch aus Chlorkalium dargestellt, wobei man den Prozeß so leitet, daß die zuerst entstehenden Produkte Chlor und Kaliumhydroxyd unter Bildung von chlorsaurem Kalium aufeinander einwirken. Die Hauptverwendung dieses Salzes ist jetzt die Herstellung der Sicherheitszündhölzer, deren Kopf, außer einem Klebemittel, chlorsaures Kalium und einen brennbaren Körper enthält. Davon war schon die Rede. Außerdem dient es zur Herstellung von Sprengstoffen und Feuerwerksätzen.

Ein anderes praktisch sehr wichtiges Produkt ist der Chlorkalk. Er wird fabrikmäßig durch Einwirkung von gasförmigem Chlor auf trocken gelöschten Kalk hergestellt und enthält als wesentlichen Bestandteil eine Verbindung CaCl_2O . Diese gibt ihren Sauerstoff leicht ab und ist daher ein kräftiges Oxydationsmittel. Infolgedessen zerstört der Chlorkalk Farbstoffe, ähnlich wie freies Chlor z. B. diese Indigolösung; so dient er auch seit mehr als 100 Jahren in der Bleicherei baumwollener Gespinste und Gewebe, er ist aber keineswegs ein harmloses Mittel, da er bei unvorsichtiger Behandlung auch die Faser angreift und schwächt; seine Verwendung in der Hauswäsche ist deshalb unbedingt zu verwerfen. — Auch die desinfizierenden Wirkungen des Chlorkalks beruhen auf seinem Oxydationsvermögen: er zerstört die Fäulnis und Krankheit erregenden Bakterien; seit einiger Zeit macht man sogar Versuche, ihn zur Reinigung nicht einwandfreien Trinkwassers zu benutzen.

Brom. Kleine Mengen von Bromverbindungen finden sich im Meerwasser und in den Kalisalzmineralien. Bei der Verarbeitung des Carnallits auf Chlorkalium bleibt, wie wir schon sahen, eine „Endlauge“ übrig, welche eine konzentrierte Lösung von Chlormagnesium darstellt, und deren Beseitigung den Fabrikanten beträchtliche Schwierigkeiten verursacht. Sie ist aber dadurch wertvoll, daß sich in ihr die kleinen Mengen von Brom ansammeln, die dem Carnallit beigemischt sind. Daher ist diese Kaliendlauge jetzt eine wichtige Quelle zur Darstellung des Broms geworden. Man gewinnt es daraus entweder auf rein chemischem Wege oder durch Elektrolyse, ähnlich dem freien Chlor. Abweichend von diesem ist das Brom eine tief dunkelbraune Flüssigkeit, welche aber, wie wir sehen, schon bei gewöhnlicher Temperatur braune Dämpfe bildet. Seine Verbindungen entsprechen denen des Chlors: Bromwasserstoff HBr , Bromkalium KBr , Bromsilber AgBr . Letzteres ist, ebenso wie Chlorsilber, in Wasser kaum löslich, wir erhalten es daher auch durch Umsetzung von Bromkalium mit salpetersaurem Silber:



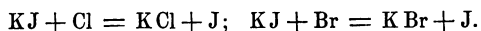
Die Verbindungen des Broms mit Wasserstoff und Metallen sind aber weniger fest als die des Chlors, so daß das Brom aus ihnen durch Chlor verdrängt wird:



Das Brom hat zahlreiche Anwendungen in der chemischen Industrie, insbesondere zur Darstellung von Farbstoffen und künstlichen Heilmitteln; seine Alkali- und Ammoniumsalsze werden medizinisch als Nervenberuhigungsmittel verwendet.

Jod. Wie Brom, so enthält das Meerwasser auch Jod, seine Menge ist hier aber noch viel geringer als die des Broms. Aus dem Meerwasser geht es in den Körper von im Meere lebenden Pflanzen und Tieren über, welche es aufspeichern, so daß ihre Asche weit reicher an diesem Elemente ist. Zu den besonders jodhaltigen Seetieren gehört z. B. der Badeschwamm. Sehr kleine Mengen von Jodverbindungen enthalten aber auch die Landpflanzen, und so gelangt dieses Element mit den Nahrungsmitteln in den menschlichen Körper, in dessen Schilddrüse es sich anreichert. Hier spielt es, wie jetzt feststeht, eine lebenswichtige Rolle: man ist der Meinung, daß Jodmangel im Trinkwasser Kropfbildung, unter Umständen Kretinismus hervorruft. Auch manche Mineralquellen enthalten Jod, was für ihre medizinische Verwendung von Bedeutung ist. — Verhältnismäßig reich an Jod ist der Chilisalpeter, er enthält davon bis 0,1 Proz. Die Mutterlaugen von der Kristallisation des salpetersauren Natriums sind jetzt die wichtigste Quelle für die Gewinnung von Jod und Jodverbindungen.

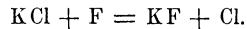
Das freie Jod ist bei gewöhnlicher Temperatur ein fester kristallinischer Körper von grauer Farbe und einem an Graphit erinnernden Glanz. Erwärmt man es, so verwandelt es sich in einen tief violetten Dampf. Besonders charakteristisch für das freie, unverbundene Jod ist, daß es Stärke und Stärkekleister dunkelblau färbt, wodurch es sich vom Chlor und Brom unterscheidet. Die Verbindungen des Jods gleichen weitgehend denen des Chlors und Broms: Jodwasserstoff HJ, Jodkalium KJ, Jodsilber AgJ. Das Jodsilber ist wie Chlor- und Bromsilber in Wasser praktisch unlöslich, aber abweichend von jenen hellgelb gefärbt. — Aus seinen Verbindungen mit Wasserstoff und Metallen wird es sowohl durch Chlor wie durch Brom verdrängt:



Die chemische Verwandtschaft des Jods zum Wasserstoff und zu den Metallen ist also schwächer als die des Chlors und des Broms.

Außer den jodhaltigen Heilquellen werden auch künstliche Jodpräparate medizinisch verwendet; die bekannte zum Einreiben benutzte Jodtinktur ist eine Auflösung von freiem Jod in Alkohol. Sie wirkt stark ätzend und darf durchaus nur äußerlich verwendet werden. — Die Silberverbindungen des Chlors, Broms und Jods sind lichtempfindlich; auf der Verwertung dieser Eigenschaft beruht die Photographie. Chlorsilber ist der wirksame Bestandteil der photographischen Kopierpapiere; die früher üblichen nassen Kollodiumplatten für negative Bilder enthielten Jodsilber; sie sind längst durch die viel bequemeren, Bromsilbergelatine enthaltenden Trockenplatten ersetzt.

Das Fluor ist ein Bestandteil verschiedener Mineralien; vor allem findet es sich im Flußspat, welcher aus Fluorcalcium CaF_2 besteht und im grönländischen Kryolith, einem Doppelsalz von Fluornatriumaluminium Na_3AlF_6 . Kleine Mengen von Fluor enthalten die Phosphorite, ferner die Knochen, besonders der Schmelz der Zähne. — Das freie Fluor konnte man früher nicht darstellen, erst 1886 gelang dies dem Franzosen Henri Moissan. Es ist ein schwach gelbgrünes, dem Chlor ähnliches Gas. Seine Neigung, sich mit Wasserstoff und Metallen zu verbinden, ist noch größer als die des Chlors, so daß es dieses aus seinen Haloidsalzen verdrängt:



Von den Halogenen hat also Fluor die größte Verwandtschaft zum Wasserstoff und zu den Metallen. Das ist der Grund, weshalb das Fluor seiner Isolierung im freien Zustand solange widerstanden hat. — Andererseits kennt man bisher keine Verbindung des Fluors mit Sauerstoff.

Läßt man auf ein Haloidsalz des Fluors, z. B. Fluorcalcium, Schwefelsäure einwirken, so entwickeln sich Dämpfe von Fluorwasserstoffsäure:



Sie greifen die Atmungsorgane heftig an, weshalb man sich beim Arbeiten damit sehr in acht nehmen muß. Auf Glas und viele Mineralien wirken sie ätzend, worauf eine Anwendung der Fluorwasserstoffsäure für wissenschaftliche und kunstgewerbliche Zwecke beruht. Ich habe hier eine mit einer dünnen Wachsschicht überzogene Glasplatte, in das Wachs kratze ich mit einem spitzen Eisen das Datum des heutigen Tages ein. Zur Entwicklung der

Fluorwasserstoffsäure benutze ich einen Platintiegel, da Platin von Fluorwasserstoffsäure nicht angegriffen wird. Darin habe ich Flußspatpulver, welches ich nun mit konz. Schwefelsäure mische. Die sich entwickelnden Fluorwasserstoffdämpfe lasse ich auf die mit Wachs überzogene Seite der Glasplatte wirken, wobei ich so gelinde erwärme, daß das Wachs nicht schmilzt. Wo ich das Wachs durch Kratzen entfernt habe, wirkt die Säure ätzend auf das Glas, während sie Wachs nicht angreift. Nach etwa zehn Minuten kann ich die Operation unterbrechen. Entferne ich nun die überschüssige Fluorwasserstoffsäure durch Waschen mit Wasser, darauf das Wachs durch Abkratzen und schließlich mit Benzin, so finden wir die Schriftzüge matt auf dem durchsichtigen Grunde des Glases. Man kann auch die Fluorwasserstoffsäure als wässrige Lösung benutzen. Diese wässrige Fluorwasserstoffsäure bewahrt man am besten in Flaschen aus Guttapercha auf. — Wie man sieht, nimmt das Fluor unter den Halogenen eine etwas besondere Stellung ein. So ist das Fluorsilber, abweichend vom Chlor-, Brom- und Jodsilber, in Wasser sehr leicht löslich.

Zu den Haloidsäuren und Haloidsalzen gehören auch die Blausäure HCN und ihre Salze Cyankalium KCN, Cyannatrium NaCN usw. Sie gehören zu den furchtbarsten Giften, die wir kennen. Wenn jetzt mehrfach vorgeschlagen wird, Blausäuredämpfe zur Vertilgung von Ungeziefer zu verwenden, so ist das, in Rücksicht auf die große damit verbundene Gefahr, nur zu billigen, wenn dabei mit der vollkommensten Sachkenntnis verfahren wird. Unter keinen Umständen dürfen solche Operationen von Unbefugten vorgenommen werden. — Andererseits wird schon seit Jahren Cyankalium, und neuerdings das wohlfeilere Cyannatrium mit großem Erfolg zur Gewinnung von Gold verwendet. — Kleine Mengen von Blausäure enthalten die bitteren Mandeln und die Kerne der Steinobstfrüchte Kirschen, Zwetschen, Pfirsiche, Aprikosen.

Alkalimetalle.

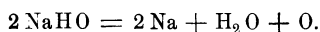
Wir sind dem Natrium als einem weitverbreiteten Metall von sehr merkwürdigen Eigenschaften schon mehrfach begegnet. Wie das Chlor, so gehört auch das Natrium einer natürlichen Gruppe von Elementen an, welche durch die Ähnlichkeit ihres chemischen Verhaltens miteinander verknüpft sind. Ein Glied dieser Gruppe ist auch das Kalium, dessen große Bedeutung für die Ernährung der Pflanzen uns schon beschäftigt hat. Außerdem enthält diese Gruppe noch drei andere Metalle, das Lithium, Rubidium und Cäsium; man faßt diese fünf Metalle unter dem Namen Alkalimetalle zusammen. Ihre Atomzeichen und Atomgewichte sind:

Li = 6,94, Na = 23,00, K = 39,10, Rb = 85,5, Cs = 132,8.

Lithium, Rubidium und Cäsium sind auf der Erde weit verbreitet, überall aber in so kleiner Menge, daß wir sie nicht weiter zu berücksichtigen brauchen.

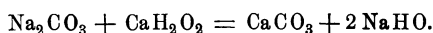
Das Vorkommen des Natriums als Chlornatrium und die Gewinnung dieses Salzes habe ich schon beim Chlor besprochen. Von anderen natürlichen Vorkommnissen erwähne ich das kohlen-saure Natrium Na_2CO_3 , die Soda. Dieses Salz ist in manchen Binnenseen gelöst und findet sich als Auswitterung in ihrer Umgebung, z. B. in Ägypten. Ähnlich ist es mit dem schwefel-sauren Natrium Na_2SO_4 . Weit verbreitet ist ferner das Natrium in zahlreichen gesteinsbildenden Mineralien, unter denen ich nur den Albit oder Natronfeldspat nenne, ein Doppelsalz von kiesel-saurem Natrium und Aluminium.

Das metallische Natrium stellt man dar durch Elektrolyse von geschmolzenem Ätznatron. Das Natrium geht an den negativen Pol, während sich am positiven Sauerstoff entwickelt:



Die merkwürdigen Eigenschaften des metallischen Natriums, vor allem seine Umsetzung mit Wasser zu Natriumhydroxyd und

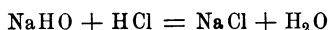
Wasserstoff haben wir früher kennengelernt. Eine Folge dieses Verhaltens ist es, daß Natrium in der Natur als freies Element nicht vorkommen kann. — Ätznatron, Natriumhydroxyd, NaHO wurde bis vor kurzem ausschließlich durch Umsetzung von kohlensaurem Natrium mit gelöschtem Kalk bereitet, wie wir schon früher sahen:



Neuerdings werden beträchtliche Mengen durch Elektrolyse konzentrierter Chlornatriumlösungen hergestellt. Dabei tritt Natriumhydroxyd und Wasserstoff am negativen Pol auf, während sich am positiven Pol freies Chlor entwickelt:

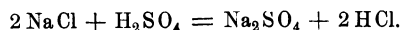


Das Natriumhydroxyd hat stark ätzende Eigenschaften; es gehört zu den stärksten Basen, die wir kennen. Die große Energie seiner Umsetzung mit Salzsäure unter Bildung von Chlornatrium:

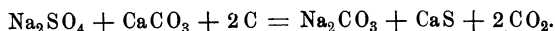


ist Ihnen gewiß erinnerlich.

Von den Salzen des Natriums ist nächst dem Chlornatrium das praktisch wichtigste das kohlensaure Natrium, Na_2CO_3 , Soda. Man gewann sie in früheren Zeiten durch Auslaugung der sodahaltigen Auswitterungen, später aus der Asche von Seepflanzen. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts arbeitete der Franzose Nicolas Leblanc ein Verfahren zur Darstellung künstlicher Soda aus, welches bald zu großer Bedeutung gelangte. Danach wird zunächst Chlornatrium durch Erhitzen mit Schwefelsäure in schwefelsaures Natrium übergeführt, wobei als Nebenprodukt Salzsäure gewonnen wird:

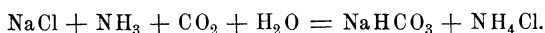


Wir haben diesen Vorgang bei der Besprechung der Salzsäure beobachtet. Das schwefelsaure Natrium wird dann durch Schmelzen mit kohlensaurem Calcium und Kohle in Soda und Schwefelcalcium übergeführt:

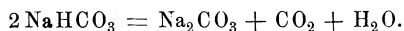


Gegen Ende der Operation wird neben Kohlendioxyd auch Kohlenoxydgas entwickelt. Da kohlensaures Natrium in Wasser leicht löslich ist, Schwefelcalcium aber unlöslich, so sind sie leicht zu trennen. — Seit den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts hat sich noch ein anderes Verfahren der Sodabereitung eingeführt.

Es rührt von dem Belgier Ernest Solvay her und beruht auf der an sich schon früher bekannten Umsetzung einer Kochsalzlösung mit Kohlensäure und Ammoniak. Dabei scheidet sich schwerlösliches Natriumbicarbonat NaHCO_3 ab, während Salmiak NH_4Cl in Lösung geht:



Das Natriumbicarbonat zerfällt schon bei gelindem Erwärmen in Soda, Kohlensäure und Wasser:



Die entweichende Kohlensäure wird bei der nächsten Operation wieder verwendet, der Salmiak durch Erhitzen mit Kalk auf Ammoniak verarbeitet, welches gleichfalls in den Prozeß zurückgeführt wird. Das „Ammoniak-Sodaverfahren“ hat große Vorzüge vor dem „Leblanc-Prozeß“ und hat diesen allmählich fast vollständig verdrängt.

Die Soda wird in zwei verschiedenen Formen verwendet, entweder als kalzinierte Soda Na_2CO_3 oder als wasserhaltige Kristallsoda $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. In letzterem Zustande ist sie besonders rein, aber viel weniger wirksam, da sie fast 63 Proz. Wasser enthält.

Natriumbicarbonat oder doppeltkohlensaures Natrium, wie es auch genannt wird, und Soda reagieren beide auf Lackmus wie schwache Basen, obwohl das Bicarbonat seiner Zusammensetzung nach ein saures Salz ist, die Soda ein neutrales. Die Kohlensäure vermag also starke Basen nicht vollständig zu neutralisieren, sie ist eine schwache Säure.

Von den Anwendungen der Soda ist uns die in der Seifensiederei schon bekannt: sie dient zur Herstellung der Kernseifen. Eine wichtige Rolle spielte sie früher in der Glasfabrikation, in welcher sie aber jetzt wohl vollständig durch das billigere schwefelsaure Natrium ersetzt ist. Die Benutzung der Soda zur Enthärtung des Wassers und als Bleichmittel habe ich schon besprochen; sie ist auch ein Bestandteil von Waschmitteln. Außerdem dient sie bekanntlich zum Waschen von Fußböden, zum Weichkochen der Gemüse usw. — Die Verwendung des Natriumbicarbonats als Backpulver hat uns auch schon beschäftigt; es wird ferner benutzt zur Neutralisation überschüssiger Magensäure, wobei man von seinen schwach basischen Eigenschaften Gebrauch macht.

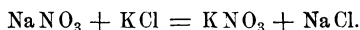
Das salpetersaure Natrium NaNO_3 haben wir als Chilisalpeter kennengelernt; das schwefelsaure Natrium Na_2SO_4 als Zwischenprodukt für den Leblanc-Sodaprozeß und Abfallstoff bei der Gewinnung der Salzsäure. Kristallisiertes schwefelsaures Natrium $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ist das bekannte Glaubersalz.

Kalium. Das Vorkommen dieses Elements in den Staßfurter Salzmineralien habe ich bereits besprochen; wie das Natrium ist es auch ein Bestandteil gesteinsbildender Mineralien, z. B. des Kalifeldspats oder Orthoklases, eines Doppelsalzes von kiesel-saurem Kalium und Aluminium. Der Kalifeldspat ist z. B. ein Gemengteil des Granits.

In seinem chemischen Verhalten ist das Kalium dem Natrium sehr ähnlich, aber sein Bestreben, sich mit anderen Elementen zu verbinden, ist noch energischer. Es kommt daher in der Natur ebensowenig frei vor wie Natrium, und wie dieses, so bewahrt man auch das metallische Kalium unter Petroleum auf. Werfe ich ein Stückchen davon auf Wasser, so verhält es sich in der Hauptsache wie Natrium, die Temperatur steigt dabei aber so bedeutend, daß der sich entwickelnde Wasserstoff sich sofort entzündet und infolge der Verflüchtigung kleiner Mengen von Kalium mit schön rotvioletter Flamme brennt. — Von den Salzen des Kaliums erwähne ich noch die Pottasche, kohlen-saures Kalium, K_2CO_3 . Dieses ist ein Bestandteil der Pflanzenaschen und wurde früher aus Holz-asche dargestellt. Jetzt dient dafür entweder Staßfurter Chlorkalium oder noch andere Rohstoffe, die wir schon kennengelernt haben: die Schlempekohle der Melassebrennereien und der Wollschweiß des Schafes; beide enthalten reichliche Mengen von Kaliumsalzen. — Wie Soda, so zeigt auch die Pottasche gegen Lackmuslösung basische Reaktion. — Ätzkali, KHO stellte man früher durch Umsetzen von Pottasche mit gelöschtem Kalk dar; jetzt wird es meistens durch Elektrolyse konzentrierter Chlorkaliumlösungen gewonnen. Wie wir sahen, dient es zur Herstellung von Schmierseife.

Ein anderes wichtiges Kaliumsalz ist der gewöhnliche Salpeter KNO_3 , zum Unterschied vom Chilisalpeter auch Kalisalpeter genannt. Er ist ein Bestandteil des alten Schießpulvers, welches eine Mischung von Salpeter, Kohle und Schwefel ist, aber jetzt fast ganz durch das rauchlose Pulver verdrängt wurde. Die Bedingungen für die Bildung salpetersaurer Salze sind immer da

gegeben, wo stickstoffhaltige organische Substanzen in Gegenwart der kohlen-sauren Salze von Kalium, Natrium oder Calcium sich in Verwesung befinden. Die als Mauersalpeter bekannten Auswitterungen, welche man vielfach an Viehställen, Senkgruben und dergleichen antrifft, sind dadurch entstanden, sie bestehen der Hauptsache nach aus salpetersaurem Calcium, dessen Calciumgehalt aus dem kohlen-sauren Calcium des Mörtels und des Putzes stammt. Darauf gründete sich auch die Darstellung des Kalisal-peters in den sogenannten Salpeterplantagen. Man mengte lockere Erde mit Asche, Kalkschutt und vermoderten Pflanzen, breitete sie aus, begoß sie mit Harn oder Jauche, wendete oft um, damit der Sauerstoff der Luft hinreichenden Zutritt erhielt. Sobald die Salpeterbildung nach ein bis zwei Jahren ihren Höhepunkt erreicht hatte, laugte man die Masse aus und gewann dann durch Eindampfen einen Rohsalpeter, welcher in den Salpeter-raffinerien durch Umkristallisieren gereinigt wurde. — Später fand man es vorteilhafter, den Kalisalpeter durch Umsetzung von Chilisalpeter mit Chlorkalium herzustellen:



Da der Kalisalpeter bei gewöhnlicher Temperatur in Wasser schwer löslich ist, so kristallisiert er aus und läßt sich von dem in Lösung bleibenden Chlornatrium leicht trennen. — Seit der Einführung des rauchlosen Pulvers ist der Bedarf an Kalisalpeter sehr zurückgegangen; wegen seiner fäulniswidrigen Eigenschaften wird er in kleiner Menge der zum Einpökeln des Fleisches dienenden Salzlösung zugesetzt. — Erhitze ich den Salpeter, so schmilzt er, und bei weiterer Temperaturerhöhung entwickelt er langsam Sauerstoff. Werfe ich dann kleine Stückchen Kohle darauf, so verbrennen sie mit lebhaftem Glanze, noch lebhafter als in freiem Sauerstoff. Erhitze ich eine Mischung von Salpeter und Schwefelpulver, so schmelzen zuerst beide Stoffe, bei weiterem Erhitzen verbrennt dann plötzlich der Schwefel mit blendend weißem Lichte. Der Sauerstoff übt also im Augenblick des Freiwerdens aus einer chemischen Verbindung kräftigere Oxydationswirkungen aus als der schon vorher freie. Das ist eine ganz allgemeine Erfahrung, die sich auch auf andere Elemente erstreckt. Man spricht deshalb von einem besonderen Entstehungs-zustand, einem status nascendi der Elemente. So verhält

sich auch der aus chlorsaurem Kalium entweichende Sauerstoff. Ich schmelze hier ein wenig von diesem Salz in einem Proberröhrchen und erhitze es dann bis zur beginnenden Sauerstoffentwicklung. Werfe ich nun ein Stückchen Kohle darauf, so verbrennt es unter lebhafter Licht- und Wärmeentwicklung. Diese ist so stark, daß auch ohne weitere Wärmezufuhr von außen noch mehrere Kohlestückchen in derselben Weise verbrannt werden können, bis der ganze Sauerstoff des chlorsauren Kaliums verbraucht ist. — Hier habe ich eine dunkelrote Lösung von übermangansaurem Kalium; ich setze dazu verdünnte Schwefelsäure und Sorge durch Umrühren für eine gleichmäßige Mischung der beiden Stoffe. Darauf teile ich die Flüssigkeit in zwei Teile und leite in den einen gasförmigen Wasserstoff. Wie wir sehen, bleibt die rote Farbe der Lösung auch nach längerem Einleiten unverändert bestehen. Andererseits habe ich hier Zink in feiner Verteilung, sogenannten Zinkstaub, der, wie wir uns leicht überzeugen können, mit verdünnter Schwefelsäure lebhaft Wasserstoff entwickelt. Werfe ich von diesem etwas in die andere Hälfte der angesäuerten Lösung des übermangansauren Kaliums und rühre um, so verschwindet die rote Farbe fast augenblicklich. Das übermangansaurer Kalium ist eine sauerstoffreiche Verbindung, welche durch die reduzierende Wirkung des naszierenden Wasserstoffs in eine sauerstoffärmere farblose Verbindung übergeführt wird. Der vorher entwickelte freie Wasserstoff übt unter denselben Umständen diese Wirkung nicht aus.

Alkalische Erdmetalle.

Den Alkalimetallen nahe steht die Gruppe der alkalischen Erdmetalle, welche vier Metalle umfaßt: Magnesium, Calcium, Strontium, Barium mit den Atomgewichten

$$\text{Mg} = 24,32, \quad \text{Ca} = 40,07, \quad \text{Sr} = 87,6, \quad \text{Ba} = 137,4.$$

Von ihnen ist das Calcium am weitesten verbreitet, demnächst Magnesium, während Strontium und Barium dagegen sehr zurücktreten. Im freien Zustande kommen alle vier ebensowenig vor wie die Alkalimetalle.

Unter den Calcium-Mineralien steht obenan das kohlen-saure Calcium, CaCO_3 . Es tritt gesteinsbildend auf als Kalkstein, in dessen reinsten Form als Marmor, und ferner in der

Kreide; welche z. B. auf Rügen mächtige Felsen bildet. Seine Anwesenheit in hartem Wasser und seine Abscheidung daraus als Kalktuff, Tropfstein, Kesselstein haben wir früher kennengelernt. Kohlensaures Calcium ist ferner der Hauptbestandteil der Eier- und Muschelschalen, Schneckenhäuser und Korallen. Kleinere Mengen davon enthalten auch die Knochen des Menschen und der Wirbeltiere. Es spielt also auch in der Lebewelt eine Rolle. Die Kreide besteht aus den Kalkschalen mikroskopisch kleiner Tiere, nach deren Absterben und Verwesung sie übriggeblieben sind. Dann kommt auch Calcium, wie Kalium und Natrium, in kieselsauren Salzen vor, und ferner als Gips, das ist wasserhaltiges schwefelsaures Calcium, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Durch Erwärmen verliert es das Wasser ganz oder teilweise; der gebrannte Gips hat aber die Fähigkeit, das Wasser wieder aufzunehmen und dadurch zu erhärten; darauf beruht seine Anwendung zur Herstellung von Gipsabgüssen und Stuckarbeiten, zum Eingipsen von Haken u. dgl. — Das phosphorsaure Calcium, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ist, wie wir schon sahen, ein Hauptbestandteil der Knochen und bleibt beim Verbrennen derselben als Knochenasche zurück. Auch die mineralischen Phosphorite sind in der Hauptsache phosphorsaures Calcium. — Das Brennen und Löschen des Kalks, seine Verwendung zur Herstellung des Mörtels und dessen Erhärtung habe ich früher besprochen. Zement wird erhalten durch Brennen von tonhaltigem Kalk. Der Ton ist ein wasserhaltiges kieselsaures Aluminium. Solche Gemische bilden den sogenannten Mergel. Man unterscheidet fetten oder tonreichen und mageren oder tonarmen Mergel. Manche Mergel enthalten die beiden Bestandteile in dem für die Zementbildung geeigneten Verhältnis, dann können sie ohne weiteres gebrannt werden; meist wird das aber nicht der Fall sein, dann muß man das Fehlende durch Zusatz von Kalk oder Ton ergänzen. Nach dem Brennen wird der Zement fein gemahlen und dient dann zur Herstellung von hydraulischen Mörteln, welche im Wasser erhärten.

Auf das Calciumcarbid und seine Verwendung zur Herstellung von Acetylen und Kalkstickstoff verweise ich noch einmal.

Auch das Magnesium tritt gesteinsbildend auf, so in verschiedenen kieselsauren Salzen, von denen ich als die bekanntesten

nur Serpentin, Speckstein, Meerschaum und Asbest nenne; ferner als kohlen-saures Magnesium, $MgCO_3$, vor allem verbunden mit kohlen-saurem Calcium als Dolomit. Dieses Mineral ist für eine Gruppe der Südalpen so charakteristisch, daß diese davon den Namen „Dolomiten“ erhalten hat. — Das metallische Magnesium stellt man durch Elektrolyse von Chlormagnesium dar. Es ist an der Luft haltbar, so daß man es nicht unter Petroleum aufzubewahren braucht. Wir haben gesehen, wie leicht es sich entzünden läßt und dann mit blendend weißem Licht verbrennt. Magnesiumpulver dient deshalb in der Photographie zur Erzeugung von Blitzlicht. Das weiße pulverige Verbrennungsprodukt ist Magnesiumoxyd, MgO . Diese Verbindung ist auch die gebrannte Magnesia, die man, wie das doppelt kohlen-saure Natrium, zum Abstumpfen überschüssiger Magensäure und auch für andere Zwecke benutzt. Man erhält sie durch Glühen von kohlen-saurem Magnesium. — Von anderen Magnesiumsalzen haben wir schon den Carnallit und Kainit kennengelernt; ich nenne noch das Bittersalz, schwefelsaures Magnesium, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, welches den wirksamen Bestandteil der Bitterwässer ausmacht. — Von den beiden anderen Metallen der Gruppe erwähne ich nur, daß salpetersaures Strontium, $Sr(NO_3)_2$ Flammen intensiv rot färbt, weshalb es zur Herstellung von Feuerwerksätzen für bengalische Flammen verwendet wird.

Spektralanalyse.

Weißes Licht macht auf den unbefangenen Beobachter den Eindruck des Einfachen. Der große englische Physiker Isaac Newton (1643 bis 1727) hat aber gezeigt, daß es in Wahrheit ganz anders beschaffen ist. Er leitete ein dünnes Bündel weißer Lichtstrahlen durch ein Glasprisma und breitete es dadurch zu einem farbigen Bande aus. Dieses sogenannte Spektrum ist am einen Ende rot und geht dann durch Orange, Gelb, Grün, Blau in Violett über. Das sind die Farben des Regenbogens. Zwischen den einzelnen Farben sind aber keineswegs bestimmte Grenzen, vielmehr gehen sie ganz allmählich ineinander über. Das Spektrum des weißen Lichtes besteht also aus einer unendlich großen Anzahl verschieden farbiger Bilder, und aus diesen unendlich vielen farbigen Bestandteilen setzt sich das weiße Licht zusammen. Newton hat es in diese zerlegt, und er konnte es aus ihnen auch wieder zusammensetzen. Man ist zuweilen auch ohne besondere physikalische Hilfsmittel in der Lage, ein solches, freilich weniger vollkommenes Spektrum zu beobachten, z. B. wenn helles Sonnenlicht auf die geschliffene Kante eines gläsernen Bilderrahmens oder dergleichen fällt, was gewiß jeder von Ihnen schon erfahren hat. Auch der Regenbogen ist nichts anderes als ein Sonnenspektrum, hervorgerufen durch die Regentropfen, welche hier die Rolle von Newtons Glasprisma spielen.

Später fand man, daß das farbige Lichtband des Sonnenspektrums durch eine Anzahl dunkler Linien unterbrochen ist, deren jede sich an einer ganz bestimmten Stelle befindet. Sie wurden von dem Münchener Optiker Fraunhofer entdeckt und nach ihm Fraunhofersche Linien genannt. Mit der Vervollkommnung der Spektralapparate fand man immer mehr solcher dunkler Linien im Sonnenspektrum, deren Zahl heute eine außer-

ordentlich große ist. Eine Ursache für ihre Entstehung ließ sich zunächst nicht erkennen. Diese ergab sich erst in Verbindung mit einer anderen, nicht weniger wichtigen Entdeckung. Man wußte, daß Metalle und Metallverbindungen eine schwach leuchtende Flamme oder den elektrischen Funken in charakteristischer Weise färben: Natrium gelb, Kalium violett, Calcium und Strontium rot, Barium gelblichgrün. Wir können uns davon überzeugen, indem ich von diesen Metallen kleine Proben einer geeigneten Verbindung an einem Platindraht in die Flamme eines Bunsenbrenners bringe. Im Jahre 1860 begannen die beiden Heidelberger Professoren Bunsen und Kirchhoff eine eingehende Untersuchung über die Spektren dieser gefärbten Flammen; sie erwiesen sich vom Spektrum des weißen Lichtes völlig verschieden. Abweichend von diesem bilden sie nicht ein zusammenhängendes Farbenband, vielmehr bestehen sie aus einzelnen, voneinander scharf getrennten farbigen Linien: das Spektrum des Natriums aus einer gelben Linie, die sich bei starker Vergrößerung als doppelt erweist; das Kaliumspektrum enthält zwei rote und eine violette Linie; das Strontiumspektrum eine Anzahl roter und gelber und eine blaue Linie usw. Wir können diese Linienspektren bequem mittels eines kleinen Handspektroskops beobachten. Die nähere Untersuchung hat nun gezeigt, daß eine jede Spektrallinie eine ganz bestimmte Lage im Spektralapparat hat, und was das Merkwürdigste ist: eine jede von ihnen stimmt darin genau mit einer Fraunhoferschen Linie des Sonnenspektrums überein. Bunsen und Kirchhoff erkannten sogleich die große Bedeutung dieser Tatsachen. Denn die Linienspektren sind nicht nur im höchsten Maße charakteristisch für die verschiedenen Metalle, sie sind auch von einer geradezu fabelhaften Empfindlichkeit, so daß sie das Vorhandensein der kleinsten Spuren eines Metalles sicher erkennen lassen. Bunsen und Kirchhoff gründeten darauf eine neue Methode der chemischen Analyse, welche seitdem als Spektralanalyse große Bedeutung erlangt hat. Mit ihrer Hilfe entdeckte Bunsen sogleich die beiden, damals noch unbekanntten Alkalimetalle Cäsium und Rubidium; später wurde noch eine ganze Anzahl anderer Elemente auf spektralanalytischem Wege entdeckt. — Ich habe früher darauf aufmerksam gemacht, daß in der schwach bläulichen Flamme des Bunsenbrenners fortdauernd ein kurzes gelbes Auf-

leuchten beobachtet wird. Ein Blick in den Spektralapparat läßt erkennen, daß es von Natrium herrührt: Die Bunsenflamme zeigt fast ununterbrochen eine nicht sehr helle aber deutliche Natriumlinie. Die Erscheinung rührt daher, daß durch den Wellenschlag und die Brandung des Meeres fortdauernd Tropfen von Meerwasser in die Luft geschleudert werden, deren jeder nach der Verdunstung des Wassers ein winziges Salzstäubchen hinterläßt. Dieser Salzstaub wird von den Winden überall in der Luft verbreitet.

Auch Gase zeigen entsprechende Linienspektren, wenn man sie durch elektrische Entladungen zum Leuchten bringt. Ich habe hier mehrere sogenannte Geisslersche Röhren, in welche Platindrähte eingeschmolzen sind, und die sehr verdünnte Gase enthalten, eine Wasserstoff, die zweite Sauerstoff, die dritte Stickstoff. Lasse ich den Wechselstrom eines Induktionsapparates hindurchgehen, so leuchtet jede mit einer bestimmten Farbe, was man am besten im verdunkelten Zimmer beobachten kann. Betrachten wir sie nun durch den Spektralapparat, so erblicken wir sehr charakteristische Linienspektren, die denen der Metalle ganz ähnlich sind. Das Wasserstoffspektrum besteht aus einer roten, einer blauen und zwei wenig hellen violetten Linien, das Spektrum des Sauerstoffs aus einer einzigen gelbroten, das des Stickstoffs dagegen aus zahlreichen roten, gelben, grünen, blauen und violetten Linien.

Richten wir das Spektroskop auf einen hell glühenden festen Körper, z. B. den Kreidestift des Drummondschen Kalklichts, so zeigt sich ein ganz anderes Bild: keine hellen Linien, sondern ein zusammenhängendes Farbenband gleich dem Sonnenspektrum, aber ohne dunkle Linien. Alle festen und auch alle flüssigen Körper verhalten sich ebenso, wenn sie zu heller Glut gebracht werden; in den gefärbten Flammen aber und im elektrischen Funken befinden sich die Metalle in Form von Dämpfen.

Die zunächst ganz rätselhaften Fraunhoferschen Linien des Sonnenspektrums fanden durch Kirchhoff eine überraschende Erklärung. Er zeigte, daß jeder glühende Körper dasjenige Licht, welches er selbst ausstrahlt, am kräftigsten zurückhält. Leitet man z. B. das Licht einer kleinen, nicht zu heißen Natriumflamme durch eine größere, sehr hell leuchtende Natriumflamme, so erscheint erstere dunkel auf hellem Grunde. Das Spektrum der

Sonne führte nun zu dem Schlusse, daß sie ein fester oder flüssiger Körper ist, umgeben von einer Hülle gas- und dampfförmiger Stoffe. Die mit der Natriumlinie übereinstimmende dunkle Fraunhofersche Linie ist durch die Anwesenheit von Natriumdämpfen in dieser glühenden Sonnenatmosphäre verursacht, und Entsprechendes gilt von den übrigen dunklen Linien. Der Sonnenball ist also, wie die Erde, von einer Dunsthülle umgeben, welche aber die Dämpfe von Metallen enthält, die auf der viel kälteren Erde nur im festen Zustande vorkommen. So ließ sich die Anwesenheit zahlreicher irdischer Elemente in der Sonnenatmosphäre nachweisen. Daß diese Eisen als Dampf enthält, mag uns eine Vorstellung von der ungeheuer hohen, dort herrschenden Temperatur geben, die in der Tat auf etwa 6000°C geschätzt wird. Die spektroskopische Untersuchung der Sonnenatmosphäre während der kurzen Zeit einer totalen Sonnenfinsternis zeigte dann weiter das Vorhandensein von Massen glühenden Wasserstoffs, die gleich ungeheuren Flammen emporlodern; man nennt sie Protuberanzen. Auch sonst spielen sich auf der Sonne Vorgänge von einer für uns unerhörten Heftigkeit ab. In ihrer Atmosphäre toben Wirbelstürme, deren dunkles Zentrum im Fernrohr als Sonnenfleck sichtbar ist. — Neuere Untersuchungen haben dieses Bild in einem Punkte etwas verändert. Es zeigte sich nämlich, daß bei sehr hohem Druck nicht nur feste und flüssige Körper, sondern auch Gase ein fortlaufendes Spektrum geben, und es ist wahrscheinlich, daß der innere Sonnenkern, in dem ein ungeheuer hoher Druck herrscht, gasförmig ist.

So hat die Spektralanalyse nicht nur unsere Kenntnis der irdischen Elemente bereichert, sondern uns auch Einblicke in die physische Beschaffenheit der Sonne gewährt, wie sie früher die kühnste Phantasie nicht ahnen konnte. Hinsichtlich der Planeten und Monde war sie weniger erfolgreich, was aber nicht überraschen kann, da diese Himmelskörper kein eigenes Licht haben, sondern uns nur durch das auf sie fallende und von ihnen zurückgeworfene Sonnenlicht sichtbar sind. Sie zeigen daher im wesentlichen das Sonnenspektrum. Andererseits erstrecken sich aber die spektralanalytischen Forschungen weit über die Grenzen unseres Planetensystems. Die Spektren der Fixsterne erweisen sich von ähnlichem Charakter wie dasjenige der Sonne, woraus auf eine

dieser ähnliche Beschaffenheit geschlossen werden mußte. Unterschiede zeigen sich nur insofern, als die einzelnen Fixsterne sich durch ihre Temperatur unterscheiden, was sich in ihrer Farbe und daher auch in ihren Spektren zu erkennen gibt. Die roten Sterne sind „kälter“ als die Sonne, ihre Temperatur wird auf 2500 bis 3700° C geschätzt; viel heißer als die Sonne sind die weißen Fixsterne, z. B. der Sirius, deren Licht auf Temperaturen von etwa 12000° C hinweist. Man hat aus diesen Bestimmungen auf ein verschiedenes Alter dieser Himmelskörper geschlossen. — Auch über die Bewegungen der Fixsterne hat die Spektralanalyse wichtige Aufschlüsse gebracht, doch können wir diesen interessanten Gegenstand hier nicht weiter verfolgen. — Die Entfernung der Fixsterne von unserem Planetensystem konnte erst in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts für eine Anzahl derselben ermittelt werden. Sie erwies sich so über alle Vorstellung groß, daß man es zweckmäßig fand, dafür einen besonderen Maßstab einzuführen. Als solchen wählte man die Strecke, welche das Licht, das in einer Sekunde nicht weniger als 300000 km durchmißt, in einem Jahre zurücklegt, und nannte sie ein Lichtjahr. Die Entfernung unseres nächsten Nachbarn unter den Fixsternen ergab sich zu 4,5, die des Sirius zu 8,8 Lichtjahren, bei anderen Fixsternen ist sie noch beträchtlich größer. Das Licht, durch das uns der Sirius sichtbar ist, wurde von ihm vor 8,8 Jahren ausgestrahlt, und wenn er heute verlöschen sollte, so würden wir davon erst in fast neun Jahren Kenntnis erhalten. — Die Erkenntnis, daß nicht nur unsere Sonne, sondern auch die so unendlich fernen Fixsterne sich aus denselben chemischen Elementen aufbauen, die wir auf der von uns bewohnten Erde antreffen, verdanken wir nur der Spektralanalyse, sie ist der Mittler, welcher uns die Sprache des einzigen Boten verdolmetscht, den diese Himmelskörper in dem von ihnen ausgestrahlten Lichte zu uns entsenden.

Noch viel weiter entfernt als die Fixsterne sind die sogenannten Nebelflecke, lichtschwache, wolkenähnliche Gebilde am Sternenhimmel. Einige von ihnen lassen sich durch die stärksten Teleskope zu Fixsternhaufen, ähnlich unserer Milchstraße, auflösen, bei anderen aber gelang das nicht, und erst die Spektralanalyse brachte auch hier Aufklärung. Das Spektrum solcher unauflösbarer Nebelflecke besteht aus einzelnen hellen Linien, unter

denen man die Linien des Wasserstoffs und eines anderen Gases erkannte, welches zuerst in der Sonnenatmosphäre auf spektroskopischem Wege aufgefunden wurde, und deshalb den Namen Helium erhalten hat. Die unauflösbaren Nebelflecke sind also glühende Gasmassen — aller Wahrscheinlichkeit nach im Entstehen begriffene Welten, deren Entwicklung aber viele Millionen Jahre erfordern wird.

Bei der Besprechung der atmosphärischen Luft erwähnte ich, daß sie, neben ihren Hauptbestandteilen Sauerstoff und Stickstoff, noch sehr kleine Mengen einiger anderer, dem Stickstoff ähnlicher Gase enthält. Sie wurden in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts im Verfolg einer Beobachtung Lord Rayleighs durch William Ramsay entdeckt. Zu ihnen gehört das eben erwähnte Helium; ferner Argon, Krypton, Xenon, Neon. Ramsay gibt für den Gehalt der Luft an diesen Gasen die folgenden Zahlen an:

Argon	1,3	Gew.-Proz.
Krypton	0,028	" "
Xenon	0,005	" "
Neon	0,00086	" "
Helium	0,000056	" "

Alle geben charakteristische Linienspektren; die des Argons und Heliums kann ich Ihnen hier an zwei mit diesen Gasen gefüllten Geisslerschen Röhren zeigen. — Die chemische Indifferenz dieser fünf Gase ist noch weit größer als die des Stickstoffs: sie gehen überhaupt keine chemischen Verbindungen ein¹⁾. Deshalb und wegen ihres spärlichen Vorkommens werden sie jetzt unter dem Namen Edelgase zusammengefaßt.

Helium und Neon hat man neuerdings in dem Erdreich entströmenden Gasen aufgefunden, aus denen sie gewonnen werden können, besonders in Amerika. Da die Dichte des Heliums nur doppelt so groß ist als die des Wasserstoffs und $\frac{1}{7}$ von der der Luft, so hat man versucht, es mit Wasserstoff gemischt zur Ballonfüllung zu benutzen. Hierzu bestimmte seine Unverbrennlichkeit, welche die Feuergefährlichkeit der reinen Wasserstoff-

¹⁾ Nach allerjüngsten Mitteilungen wäre es gelungen, Helium mit Quecksilber, vielleicht auch mit Jod, Schwefel und Phosphor zu verbinden. Näheres darüber ist abzuwarten.

füllung beseitigt. — Auch zur Füllung elektrischer Glühlampen haben die Edelgase eine gewisse Verwendung gefunden.

Im Spektrum des Nordlichts hat man die Linien von Wasserstoff, Helium, Neon, Argon und Stickstoff beobachtet. Der norwegische Physiker Vegard hat aber kürzlich auf Grund seiner Forschungen die Ansicht vertreten, das Nordlichtspektrum weise auf die Anwesenheit von elektrisch geladenen Stickstoffkriställchen in den oberen Schichten der Atmosphäre hin. Dieser Ansicht ist von anderer Seite widersprochen worden, die Frage bedarf also wohl noch weiterer Klärung.

Radioaktivität.

Im Jahre 1896 machte der französische Physiker Henri Becquerel die Beobachtung, daß von den Salzen eines weniger verbreiteten Metalles, des Urans, eigentümliche Strahlen ausgehen, welche durch undurchsichtiges Papier hindurch auf die photographische Platte wirken und einen in der Nähe befindlichen elektrisch geladenen Körper entladen. Als das Haupturanmineral, die Pechblende, in dieser Hinsicht untersucht wurde, ergab sich die auffallende Tatsache, daß ihr Strahlungsvermögen dasjenige des Urans etwa um das 4,5fache übertraf. Man mußte hieraus schließen, daß die Pechblende außer dem Uran noch einen unbekanntem Bestandteil von besonders hohem Strahlungsvermögen enthält. Die eingehende Untersuchung des Minerals durch das Ehepaar Curie führte dann zur Entdeckung zweier neuer Elemente: das dem Wismut gleichende Polonium und das Radium, welches die größte Ähnlichkeit mit dem Barium hat. Dem Geschick und der Ausdauer der Frau Curie ist es gelungen, das Radium in reinem Zustande zu gewinnen, und es besonders von dem in der Pechblende gleichfalls enthaltenen Barium zu trennen. Dabei leistete wieder das Spektroskop wertvolle Dienste, da das Spektrum des Radiums von dem des Bariums ganz verschieden ist. Die Menge des vorhandenen Radiums ist so gering, daß aus 2000 kg Rückständen von der technischen Verarbeitung der Pechblende nicht mehr als 0,2 g Bromradium gewonnen wurden.

Seitdem haben sich Physiker und Chemiker sehr eingehend mit diesen neuen Erscheinungen beschäftigt, wobei höchst merkwürdige und ganz unerwartete Ergebnisse zutage traten. Ich muß mich hier darauf beschränken, einige davon zu berühren, soweit sie auch den Nichtfachmann interessieren dürften. Zunächst zeigte sich, daß die Radiumstrahlen mancherlei Ähnlichkeit mit den Röntgenstrahlen haben, daß sie nicht nur Papier, sondern auch Metallbleche durchdringen, und daß sie eine Ablenkung

durch den Magneten erfahren. Die von den Radiumpräparaten ausgesandten Strahlen sind aber nicht einheitlich, sondern bestehen aus drei verschiedenen Arten, deren Durchdringungsvermögen und magnetische Ablenkung verschieden ist. Ferner entwickeln sie fortdauernd Wärme und veranlassen chemische Umsetzungen, z. B. die Zerlegung des Wassers in Wasserstoff und Sauerstoff. Eine andere Eigenschaft der radioaktiven Stoffe besteht darin, daß von ihnen eine Ausströmung, eine sogenannte Emanation ausgeht, deren nähere Untersuchung sie als ein Gas vom Typus der Argon-Heliumgruppe erkennen ließ; das Merkwürdigste ist aber, daß dieses Gas sich allmählich in wirkliches Helium verwandelt! Und weiter fand man, daß die Umwandlungen noch viel mannigfaltiger sind. So ließ sich feststellen, daß sich Uran über verschiedene Zwischenstufen in Radium verwandelt, und man wurde ferner zu dem Schlusse genötigt, daß das in den Uranmineralien enthaltene Radium aus dem Uran selbst entstanden ist. — Die Umwandlungen des Radiums führten zu einer Reihe von Stoffen, deren Endglied die Eigenschaften des gewöhnlichen Bleis besitzt — bis auf eine kleine Abweichung im Atomgewicht. Ähnliches zeigte sich später auch bei anderen Elementen, und man wurde dadurch zu dem verblüffenden Schluß geführt, daß es Elemente gibt, die bei fast völlig gleichen Eigenschaften etwas abweichende Atomgewichte besitzen. Die radioaktiven Stoffe sind also in einer fortdauernden Umwandlung begriffen, beispielsweise sind Helium und Blei die Endglieder einer solchen Umwandlung. Diese Vorgänge vollziehen sich bei den verschiedenen radioaktiven Elementen mit sehr verschiedener Geschwindigkeit. Nach den bisherigen Erfahrungen sind sie nicht umkehrbar und lassen sich weder beschleunigen noch verzögern, wir können sie nur als Zuschauer beobachten, ohne ihren Verlauf in irgend einer Weise zu beeinflussen. Sie sind darin von allen anderen uns bekannten chemischen Prozessen durchaus verschieden; auch ist ersichtlich, daß die bisherige Ansicht von der Unveränderlichkeit der chemischen Elemente durch diese Tatsachen eine wesentliche Einschränkung erfährt.

Die Radioaktivität ist aber nicht an einige wenige Mineralien gebunden, vielmehr hat sich gezeigt, daß radioaktive Stoffe überall auf der Erdoberfläche und im Innern der Erde verbreitet sind, nur in weit geringerem Grade. Unter der Voraussetzung, daß

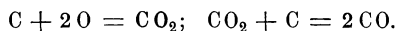
auf der Sonne ähnliche Verhältnisse herrschen, hat man berechnet, daß die durch den Zerfall radioaktiver Stoffe entwickelte Wärme einen Teil des Wärmeverlustes deckt, den die Sonne durch ihre fortdauernde Ausstrahlung erleidet. Aber nur einen Teil. Ein anderer Teil wird dadurch ersetzt, daß die Sonne, welche sich vor ungezählten Millionen von Jahren aus einer unendlich ausgedehnten Nebelmasse allmählich zu ihrem jetzigen Umfang zusammengezogen hat, sich noch weiter zusammenzieht und dabei immer von neuem Wärme entwickelt. Genaue Berechnungen ergeben aber, daß beide Vorgänge nicht genügen, um ein Gleichgewicht in der Wärmeökonomie der Sonne herbeizuführen. Auch die durch das fortdauernde Hineinstürzen ungeheurer Meteor-massen in die Sonne entwickelte Wärme ändert daran nichts. Unsere Kenntnis von den Quellen der Sonnenwärme ist also noch recht unvollständig.

Die radioaktiven Stoffe wirken auch auf den menschlichen Körper. Viele Mineralwässer, die seit langer Zeit als Heilquellen geschätzt sind, ohne daß man in ihnen bestimmte medizinisch wirksame Stoffe nachweisen konnte, erwiesen sich als radioaktiv. Dasselbe gilt von gewissen Ablagerungen, wie dem medizinisch wertvollen Fangoschlamm. Da man besonders der von den radioaktiven Stoffen ausgehenden Emanation die medizinischen Wirkungen zuschreibt, so hat man neuerdings Inhalatorien eingerichtet, in denen rheumatische, gichtische usw. Kranke der Einwirkung der Emanation ausgesetzt werden. Für die Behandlung der Krebskrankheiten hat man sich von der Einwirkung der Radiumstrahlen Erfolg versprochen, und nach den Erfahrungen der jüngsten Zeit scheint diese Hoffnung nicht unbegründet zu sein. — Andererseits bewirkt dauernde Beschäftigung mit Radiumpräparaten zuweilen entzündliche, nicht unbedenkliche Zustände.

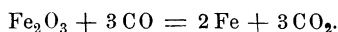
Metallgewinnung.

Eisen. Es findet sich gediegen, als unverbundenes Eisen in der Natur nur spärlich, und dann meist als Meteoreisen, welches aus dem Weltraum auf die Erde gefallen ist. Das Eisen muß deshalb aus seinen Erzen gewonnen werden, welche durchweg Sauerstoffverbindungen sind. Ich zeige Ihnen hier Proben davon: Roteisenstein, Fe_2O_3 , Magneteisen, Fe_3O_4 , Braun- und Raseneisenerz, $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, Spateisenstein, FeCO_3 . Der weitverbreitete Schwefelkies, FeS_2 ist als Eisenerz nur auf indirektem Wege zu verwerten.

Zur Abscheidung des Eisens aus seinen Erzen werden diese mit Kohle verschmolzen. Dazu dienen die sogenannten Hochöfen, mächtige Schachtöfen von 20 bis 30 m Höhe, welche nach oben etwas konisch verjüngt und innen mit feuerfesten Steinen ausgemauert sind. Sie werden von ihrer oberen Öffnung, der „Gicht“, schichtweise mit Erz, einem schlackebildenden Zuschlag und Koks beschickt und bleiben, wenn keine Störung eintritt, mehrere Jahre in ununterbrochenem Betrieb. Um den Ofen in Gang zu bringen, wird in seinem unteren Teile Feuer gemacht und dann fortdauernd durch mächtige Gebläsemaschinen ein kräftiger Luftstrom eingeblasen. Dadurch verbrennen zunächst die unteren Kohlschichten zu Kohlendioxyd, welches dann weiter oben durch die glühenden Kohlen zu Kohlenoxyd reduziert wird. Dieses ist das Reduktionsmittel, durch welches das Eisen aus den oxydischen Erzen abgeschieden wird. Es spielen sich also im Hochofen zunächst die beiden uns bereits bekannten Vorgänge ab:



Und weiter die Reduktion z. B. des Roteisensteins:



Die durch den letzteren Prozeß gebildete Kohlensäure wird dann durch die darüberlagernden glühenden Kohlen wieder zu Kohlen-

oxyd reduziert, und dieses entweicht mit dem Stickstoff der ein-geblasenen Luft durch die Gicht. Früher ließ man es verloren-gehen, und da die Gichtgase den Ofen noch mit einer hohen Temperatur verlassen, so entzündete sich das Kohlenoxyd beim Zusammentreffen mit der äußeren Luft. Aus der Gicht brannte eine mächtige Flamme heraus, was besonders des Nachts einen wundervollen Anblick gewährte. In wirtschaftlicher Hinsicht war aber dieses Schauspiel teuer erkauft, denn es blieb dabei nicht nur die hohe Temperatur der Gichtgase, sondern auch der Brennwert des in ihnen enthaltenen Kohlenoxyds ungenutzt. Die Gichtgase haben aber den Charakter des früher besprochenen Luftgases. Man fängt sie deshalb jetzt ab und benutzt sie zunächst zum Vorwärmen der Gebläseluft, was eine beträchtliche Kokersparnis zur Folge hat. Dazu dienen besondere Apparate, die sogenannten Cowperschen Winderhitzer. Nachdem die Gichtgase in diesen ihre überschüssige Wärme abgegeben haben, werden sie zum Betriebe der Gebläsemaschinen benutzt, und da dann immer noch unverbranntes Kohlenoxyd übrig ist, so verwendet man sie noch weiter in Gaskraftmaschinen zur Erzeugung elektrischer Energie, welche von Kraftzentralen auf beträchtliche Entfernungen fortgeleitet werden kann. So wird jetzt das ganze große Walzwerk in Peine durch die Gichtgase seiner 6,6 km entfernten Hochöfen elektrisch betrieben.

Das Produkt des Hochofens ist nun aber keineswegs reines Eisen, vielmehr nimmt dieses durch die Berührung mit den glühenden Kohlen 3 bis 4 Proz. Kohlenstoff auf. Das ist aber keine Verunreinigung, sondern es gehört zum wesentlichen Bestande des Roheisens. Der Schmelzpunkt des Roheisens liegt je nach der Zusammensetzung bei 1050 bis 1200° C. Man unterscheidet weißes Roheisen, in welchem der Kohlenstoff an das Eisen chemisch gebunden ist, und graues Roheisen, in dem er vorzugsweise in Gestalt kleiner Graphitblättchen eingesprengt ist. Enthalten die Eisenerze Mangan, so geht auch dieses in das Roheisen über, welches dadurch ein grobkörniges Gefüge mit glänzenden Kristallflächen annimmt und deshalb als Spiegeleisen bezeichnet wird. Andere Beimengungen nimmt das Roheisen aus den die Erze begleitenden Mineralien auf. Zu ihnen gehören Silicium, Schwefel und Phosphor. Um es von der die Erze begleitenden „Gangart“ zu befreien, gibt man die schon erwähnten

„schlackebildenden Zuschläge“. Ihre Zusammensetzung hängt von derjenigen der Gangart ab. Die geschmolzene Schlacke besteht aus kieselsauren Salzen, sie schwimmt auf dem gleichfalls geschmolzenen Roheisen und schützt es vor dem Zusammentreffen mit der Gebläseluft, wodurch es verbrennen würde. Roheisen und Schlacke läßt man von Zeit zu Zeit aus dem unteren Teil des Ofens abfließen, was bei ihrer hellen Glühhitze einen prächtigen Anblick gewährt.

Das graue Roheisen kann meist unmittelbar als Gußeisen verwendet werden. Um es in schmiedbares Eisen oder Stahl überzuführen, muß man ihm einen Teil seines Kohlenstoffgehalts durch Verbrennung entziehen, was jetzt allgemein nach dem von dem Engländer Bessemer 1855 erfundenen Verfahren geschieht. Man bringt das flüssige Roheisen in ein birnförmiges, mit einem feuerfesten Futter ausgekleidetes Gefäß, die „Bessemerbirne“, und bläst durch Öffnungen im Boden Luft ein. Durch die Verbrennung von Kohlenstoff, Silicium, Phosphor und Mangan wird so viel Wärme entwickelt, daß der Inhalt flüssig bleibt. Sobald der Prozeß beendet ist, wird die Birne, die in einem Zapfenlager drehbar ist, durch Kippen entleert. Der so gewonnene Stahl enthält noch etwa 1,5 Proz. Kohlenstoff, er schmilzt bei 1300 bis 1400°. Durch Erhitzen und rasches Abkühlen, „Abschrecken“, wird er gehärtet. Gußstahl wird in Tiegeln geschmolzen, neuerdings auch in elektrischen Öfen. — Läßt man den Kohlenstoffgehalt auf 0,05 bis 0,06 Proz. heruntergehen, so erhält man das bei 1450 bis 1500° schmelzende Schmiedeeisen. — Man teilt die technisch hergestellten Eisensorten jetzt wohl etwas anders ein; die alte Einteilung in Roheisen, Stahl und Schmiedeeisen ist aber einfacher und genügt für unseren Zweck.

Von den das Eisen begleitenden Bestandteilen des Roheisens wirken Schwefel und Phosphor nachteilig auf die Eigenschaften der erzielten Produkte. Schwefel macht das Eisen „rotbrüchig“, d. h. es ist bei Glühhitze spröde, so daß es nicht ausgeschmiedet werden kann; Gußeisen dagegen verträgt einen mäßigen Schwefelgehalt. Noch schädlicher wirkt der Phosphor, durch den das Eisen „kaltbrüchig“ und daher auch für Gußwaren nicht verwendbar wird. Erze mit einem etwas größeren Gehalt an Phosphorverbindungen konnten deshalb früher gar nicht verschmolzen werden. Im Jahre 1878 gelang es aber den Engländern Thomas

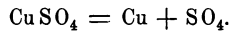
und Gilchrist dem abzuhelfen, indem sie die Bessemerbirne mit einem „basischen Futter“ von Kalk und Dolomit auskleideten. Unter diesen Umständen kann das Roheisen bis 3 Proz. Phosphor enthalten, welcher vollständig verbrennt und sich mit dem Kalk des Futters zu einem basischen phosphorsauren Calcium verbindet. Man erhält so die Thomasschlacke, welche gemahlen als Thomasmehl ein so wertvolles Düngemittel geworden ist. — Für ein anderes Verfahren der Stahlgewinnung dient der sogenannte Siemens-Martin-Ofen, in welchem kohlenstoffarme Eisenabfälle mit Roheisen zusammengeschmolzen werden. — Außer dem gewöhnlichen Stahl werden jetzt auch für Zwecke, welche noch höhere Härtegrade erfordern, wie die Herstellung von Panzerplatten, von Werkzeugen zur Stahlbearbeitung und dergleichen, Spezialstähle erzeugt. Ihre besonderen Eigenschaften sind durch den Gehalt an anderen Metallen: Nickel, Wolfram, Chrom, Mangan usw. bedingt.

Kupfer. Auch das Kupfer kommt gediegen vor, aber nur an einzelnen Stellen der Erde, in größter Menge am Oberen See in Nordamerika. Weitaus der größte Teil des Kupfers muß aber, wie das Eisen, aus Erzen erschmolzen werden. Diese sind zum Teil Sauerstoffverbindungen: Rotkupfererz, Kupferoxydul, Cu_2O , Malachit und Kupferlasur, zwei basische Salze des Kupfers und der Kohlensäure, $\text{CuCO}_3 \cdot \text{CuH}_2\text{O}_2$ und $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{CuH}_2\text{O}_2$; aber auch diese Erze sind nicht weit verbreitet. Die wichtigsten Kupfererze sind, im Gegensatz zu den Eisenerzen, Schwefelverbindungen des Kupfers, vor allem der Kupferkies, CuFeS_2 , dann Buntkupfererz, Cu_3FeS_3 und Kupferglanz, Cu_2S . Ferner finden sich in Spanien und Portugal große Lager von Schwefelkiesen, welche 2 bis 4 Proz. Kupfer enthalten. Sie dienen zur Darstellung der Schwefelsäure, und aus den Rückständen wird das in ihnen enthaltene Kupfer noch gewonnen. — Im Altertum wurde viel Kupfer von der Insel Cyprien geholt, die Römer nannten es daher aes cyprium, cyprisches Erz, oder einfach cyprium, woraus später der Name cuprum, deutsch Kupfer wurde.

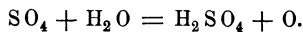
Die Verhüttung der Sauerstoffverbindungen ist eine sehr einfache, sie brauchen nur mit Kohle verschmolzen zu werden, wobei ihnen durch das zuerst gebildete Kohlenoxyd, wie bei den Eisenerzen, der Sauerstoff entzogen wird. Dagegen gestaltet sich

die Verarbeitung der Schwefelverbindungen viel komplizierter. Sie werden zuerst geröstet, d. h. bei Zutritt der Luft erhitzt, wodurch ein Teil des Schwefels verbrennt. Dies geschah früher in offenen Haufen, das Schwefeldioxyd entwich in die Luft, was sich durch seinen erstickenden Geruch unangenehm bemerkbar machte, vor allem aber die Vegetation in der Umgebung der Hütten fast völlig vernichtete, und der in dem entweichenden Schwefeldioxyd enthaltene Schwefel ging verloren. Jetzt röstet man in Öfen und verarbeitet das Schwefeldioxyd auf Schwefelsäure. Durch Niederschmelzen des Röstgutes mit Kohle und schlackebildenden Zuschlägen erhält man zunächst einen wesentlich aus Schwefelkupfer, Cu_2S bestehenden „Kupferstein“, während das Eisen größtenteils in die Schlacke geht. Durch Wiederholung des Röstens und Niederschmelzens wird dann noch ein reinerer „Konzentrationsstein“ gewonnen, welcher durch weitere Röst- und Schmelzprozesse in das etwa 90 Proz. metallisches Kupfer enthaltende „Schwarzkupfer“ übergeführt wird. Dieses muß noch einer Raffination unterworfen werden, welche durch oxydierendes und darauffolgendes reduzierendes Schmelzen mit Kohle herbeigeführt wird. Dadurch werden die das Schwarzkupfer noch begleitenden Beimengungen oxydiert und zum Teil verflüchtigt. Das so gewonnene „Raffinatkupfer“ enthält bis 99,5 Proz. Kupfer und kann für die meisten Zwecke ohne weiteres verwendet werden. Nur für die Elektrotechnik ist es noch nicht rein genug, da sein Leitungsvermögen für den elektrischen Strom durch den kleinen Rest ihm noch anhaftender Verunreinigungen herabgesetzt wird. Eine weitergehende Reinigung erreicht man durch Elektrolyse. Um Ihnen das Prinzip dieser Methode vorzuführen, habe ich hier eine mit einer Lösung von schwefelsaurem Kupfer (Kupfervitriol) gefüllte Glaswanne, in welche zwei Platinbleche tauchen. Verbinde ich das eine mit dem positiven, das andere mit dem negativen Pol einer galvanischen Batterie, so zeigt sich sogleich am positiven Pol eine Gasentwicklung; würden wir das Gas auffangen, so könnten wir uns leicht überzeugen, daß es nichts anderes ist als Sauerstoff. Am negativen Pol scheidet sich kein Gas ab; nehme ich aber das negative Blech heraus, so sehen wir, daß es an der dem positiven Bleche zugewandten Seite mit rotem metallischem Kupfer überzogen ist. Tauche ich das negative Blech wieder ein und kehre die Stromrichtung um, so wandert das

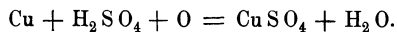
Kupfer von seinem vorherigen Platze nach dem anderen, jetzt negativen Blech herüber. Der Vorgang besteht darin, daß durch den Strom das schwefelsaure Kupfer zerlegt wird im Sinne der Gleichung



Das Kupfer geht an den negativen Pol, die „Kathode“, die Gruppe SO_4 an den positiven, die „Anode“, wo sie sich mit Wasser zu Schwefelsäure und Sauerstoff umsetzt:



In der Praxis verwendet man als Anode eine dicke Platte aus Raffinatkupfer, als Kathode ein dünnes Blech aus vorher schon elektrolytisch gereinigtem Kupfer. Auch hier wandert das Kupfer von der Anode zur Kathode, die erstere wird immer dünner, die andere immer dicker. In diesem Falle wirken Schwefelsäure und Sauerstoff auf das Anodenkupfer im Sinne:



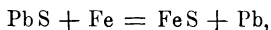
Der im Bade enthaltene Kupfervitriol wird also in dem Maße, wie er durch den Strom zersetzt wird, immer wieder neu gebildet, so daß die Konzentration des Bades unverändert bleibt. — Die Begleiter des Raffinatkupfers fallen als ein Schlamm zu Boden, welcher u. a. kleine Mengen von Silber und Gold enthält, die aus ihm noch gewonnen werden. — Das erhaltene „Elektrolytkupfer“ ist so gut wie chemisch rein, es enthält z. B. 99,994 Proz. Kupfer, also nur 0,006 Proz. fremde Beimengungen.

Auf die Verwendungen des metallischen Kupfers zur Herstellung der verschiedensten Gebrauchsgegenstände brauche ich nicht näher einzugehen. Vor dem Eisen hat es den Vorzug, nicht zu rosten, doch bedeckt es sich an feuchter Luft mit einem Überzug von Grünspan, das ist ein basisch kohlen-saures Kupfer von der Zusammensetzung des Malachits; auf Kunstwerken aus getriebenem Kupfer, die im Freien stehen, bildet er die geschätzte Patina. — Da Kupferverbindungen giftig sind, muß man auf ihre Bildung in Kochgefäßen aus Kupfer und Messing Rücksicht nehmen. Saure Speisen darf man ungestraft in ihnen kochen, doch soll man sie nicht längere Zeit in ihnen stehenlassen. Während des Kochens hält der aufsteigende Wasserdampf die Luft ab, ohne dieses aber würde der Sauerstoff der Luft in Verbindung mit der Säure der Speise das Kupfer angreifen.

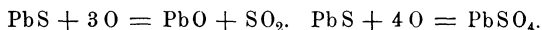
Unsere silbernen Gerätschaften enthalten stets Kupfer, weshalb Entsprechendes auch für diese gilt.

Das Kupfer dient auch zur Herstellung von Legierungen, welche durch Zusammenschmelzen mit anderen Metallen erhalten werden. Die gewöhnlichste ist das Messing, welches 20 bis 50 Proz. Zink enthält; die Bronzen sind im wesentlichen Legierungen von Kupfer mit 4 bis 25 Proz. Zinn, man gießt aus ihnen Glocken, Geschützrohre und Kunstgegenstände. Die Phosphorbronzen für besonders zähfeste Maschinenteile erhalten bei der Herstellung einen Zusatz von Phosphor, welcher kleine Mengen Kupferoxydul und Zinnoxid reduziert und dadurch die Festigkeit und Härte erhöht. — Aluminiumbronzen enthalten, neben Kupfer, 5 bis 10 Proz. Aluminium.

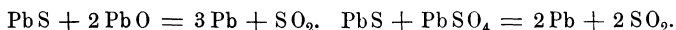
Blei. Das Hauptbleierz ist der Bleiglanz, Schwefelblei, PbS. Wie Sie sehen, ist es ein bleigraues, fast schon wie metallisches Blei aussehendes Mineral, das aber als solches nicht verwendet werden kann, weil es spröde ist, sich weder hämmern, noch zu Platten auswalzen oder zu Röhren ziehen läßt. Zuweilen findet es sich in schönen Kristallen. Um aus dem Bleiglanz das Blei abzuscheiden, wird er entweder mit Eisen verschmolzen, wobei Schwefeleisen und metallisches Blei entsteht:



oder — das ist das wichtigere Verfahren — er wird geröstet und dann in Schachtöfen niedergeschmolzen. Durch das Rösten wird Bleioxyd, schwefelsaures Blei und Schwefeldioxyd gebildet:



Im Schachtöfen wirken dann Bleioxyd, schwefelsaures Blei und unverändertes Schwefelblei aufeinander ein:



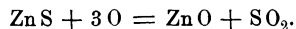
Wie der Kupferkies, so enthält auch der Bleiglanz immer ein wenig Silber und sehr kleine Mengen Gold. Beide edle Metalle gehen in das metallische Blei über und werden aus diesem noch gewonnen. Dies geschieht durch die sogenannte Treibarbeit, bei welcher das silber- und goldhaltige Blei auf dem „Treibherd“ geschmolzen und dann in einem Luftstrom erhitzt wird. Dadurch verbrennt das Blei zu Bleiglätte, das ist Bleioxyd, PbO, während das goldhaltige flüssige Silber zurückbleibt. Der Augenblick, in dem das geschieht, wird von den Hüttenleuten als Silberblick

bezeichnet. Die Bleiglätte wird darauf wieder durch Kohle zu metallischem Blei reduziert. — Das direkt aus dem Bleiglanz erschmolzene „Werkblei“ ist meist zu silberarm, um es ohne weiteres auf den Treibherd zu bringen, es enthält gewöhnlich 0,05 bis 0,5 Proz. Silber. In diesem Falle muß es erst angereichert werden, was früher durch das sogenannte Pattinsonieren geschah, jetzt wohl allgemein durch die Zinkentsilberung. Diese beruht darauf, daß Zink aus geschmolzenem Blei, nebst einem Teil des Bleies, das Silber aufnimmt. — Aus dem vom Treibherd kommenden Silber muß noch das darin enthaltene Gold gewonnen werden. Davon später.

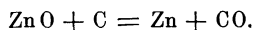
Von den Anwendungen des Bleies ist wohl am bekanntesten die zur Herstellung von Wasserleitungsröhren. Sie eignen sich nicht für weiches Wasser, da dieses in Verbindung mit dem im Wasser gelösten Sauerstoff und Kohlendioxyd das Blei ein wenig angreift, wodurch geringe Mengen von Bleiverbindungen in das Wasser gelangen würden. Da aber Bleiverbindungen giftig sind, so würde das eine Schädigung der Gesundheit durch das Trinkwasser zur Folge haben. Glücklicherweise bewahren uns davor die im Wasserleitungswasser fast immer enthaltenen Calcium- und Magnesiumsalze, sie bilden einen dünnen Überzug, welcher das Innere der Röhren vor dem Angriff des Wassers schützt. Ist das Wasser aber sehr weich, so soll man innen verzinnete Eisen- oder Bleirohre verwenden. — Im allgemeinen ist das Blei sehr widerstandsfähig gegen chemische Eingriffe, weshalb es in der chemischen Industrie vielfach zur Herstellung chemischer Apparate benutzt wird. In dieser Hinsicht erinnere ich an die Bleikammern der Schwefelsäurefabriken (S. 43f.). — Von den Legierungen des Bleies ist besonders wichtig das Letternmetall oder Hartblei, welches 15 bis 20 Proz. Antimon enthält. Die Schriftsetzer sind durch ihren Beruf dauernd von einer chronischen Bleivergiftung bedroht, welcher nur durch die peinlichste Sauberkeit und sorgfältige Beachtung der ersten Anzeichen begegnet werden kann. — Das Schrotblei enthält 0,3 Proz. Arsen. — Von Bleiverbindungen erwähne ich die Mennige, ein sauerstoffreicheres Oxyd, Pb_3O_4 , sie dient mit Leinöl als rostschützender Anstrich und zum Herstellen von Kitten. — Das Bleiweiß, ein basisches kohlen-saures Blei, ist die wirksamste weiße Deckfarbe. Wegen seiner Giftigkeit ist auch bei

ihm die größte Vorsicht geboten; ganz besonders muß man sich vor Einatmen seines Staubes hüten.

Zink. Das Hauptzinkerz ist die Zinkblende, Schwefelzink, ZnS. Es wird erst durch Rösten in Zinkoxyd übergeführt:

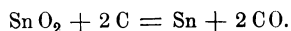


Das dabei entweichende Schwefeldioxyd wird auf Schwefelsäure verarbeitet, und das Zinkoxyd durch Kohle reduziert:



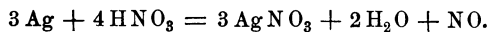
Im Gegensatz zum Eisen kann das aber nicht in einem Schacht-ofen geschehen, weil das Zink bei Glühhitze verdampft; deshalb wird die Reduktion in einer Tonretorte vorgenommen. — Weitere Erze sind der edle Galmei, kohlenaures Zink und Kieselzinkerz oder Kieselgalmei, das ist wasserhaltiges kiesel-saures Zink. Sie werden gebrannt, um Wasser und Kohlensäure auszutreiben und dann mit Kohle reduziert. — Zink wird zu Blech ausgewalzt, dann auch verwendet als Zinkguß für Geräte, Ornamente, galvanische Elemente. Das Zink ist an der Luft ziemlich haltbar, es überzieht sich bald mit einer dünnen Oxydschicht, die es vor weiterem Angriff schützt. Deshalb dient es auch zum Verzinken von Eisendraht und dergleichen. — Als Bestandteil des Messings habe ich das Zink schon beim Kupfer erwähnt.

Zinn. Für dieses Metall kommt als Erz nur der Zinnstein, Zinnoxid, SnO₂, in Betracht. Seine Verhüttung ist sehr einfach:

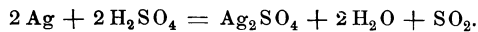


Das Zinn dient, außer für Teller, Löffel und dergleichen, in größter Menge zur Herstellung des Weißblechs, das ist mit geschmolzenem Zinn überzogenes Eisenblech. Dieses wird dadurch vor dem Rosten und dem Angriff von nicht zu starken Säuren geschützt. Aus Weißblechabfällen wird das Zinn elektrolytisch oder auf chemischem Wege wiedergewonnen. Auch Kupfer- und Messinggefäße werden verzinkt, um sie gegen saure Speisen widerstandsfähig zu machen und so die Aufnahme von Kupfer durch diese zu verhindern. — Wie wir schon sahen, ist Zinn ein Bestandteil der Bronzen. Das niedrig schmelzende Schnellot mit 40 bis 70 Proz. Zinn und 30 bis 60 Proz. Blei dient zum Löten von Metallen. — Zinnoxid, SnO₂ ist ein Bestandteil des Milchglases und der undurchsichtigen Emaillen.

Die edlen Metalle Gold, Silber, Platin. Das Gold kommt meist gediegen vor und kann, wenn es nicht zu fein verteilt ist, durch mechanische Operationen, Auswaschen usw. gewonnen werden; ist es aber mit anderen Mineralien zu eng verwachsen, so müssen chemische Trennungsmethoden angewandt werden, auf die ich hier nicht eingehen kann. — Auch das Silber findet sich hier und da im freien metallischen Zustande, hauptsächlich aber, wie wir schon sahen, als Bestandteil von Kupfer- und Bleierzen, aus denen es durch die besprochenen Methoden gewonnen wird. Das so erhaltene Silber enthält stets ein wenig Gold, das daraus noch abgeschieden werden muß. Dies geschah bis zu Anfang des vorigen Jahrhunderts durch Salpetersäure, welche Gold nicht angreift, das Silber aber unter Bildung von salpetersaurem Silber und Stickoxydgas auflöst. Der Vorgang entspricht der früher besprochenen Einwirkung von Salpetersäure auf Kupfer, er vollzieht sich im Sinne der Gleichung



Die Salpetersäure wird deshalb noch jetzt zuweilen Scheidewasser genannt. — Später fand man es vorteilhafter, die Scheidung mittels heißer konz. Schwefelsäure zu bewirken, welche ebenfalls das Gold unverändert läßt, Silber aber, unter Entwicklung von Schwefeldioxyd, in schwefelsaures Silber überführt:

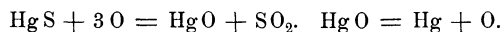


Jetzt wird die Silberscheidung auch elektrolytisch bewirkt, entsprechend der Kupferscheidung.

Silber ist auch noch in anderen Erzen enthalten, aus denen es durch komplizierte hüttenmännische Prozesse gewonnen wird; auf diese näher einzugehen, würde uns zu weit führen. — Das Platin findet sich zusammen mit mehreren ihm ähnlichen „Platinmetallen“ in gleichfalls metallischem Zustande; die wichtigsten Lagerstätten sind im Ural, aber auch Amerika und andere Länder besitzen Ablagerungen von Platinerzen. Die Gewinnung des Platins muß stets auf chemischem Wege bewirkt werden, da es sich um Trennung von einer Anzahl anderer Metalle handelt. — Das Platin ist ein wichtiger Rohstoff für viele wissenschaftliche Geräte; in neuerer Zeit beansprucht die Elektrotechnik beträchtliche Mengen davon, wodurch sein Preis weit über den des Goldes gestiegen ist.

Die edlen Metalle sind durch ihre geringe Verwandtschaft zum Sauerstoff ausgezeichnet, so daß sie auch bei starkem Erhitzen an der Luft und in reinem Sauerstoff nicht verbrennen; vom Platin haben wir das zu Beginn dieser Vorträge selbst beobachtet. Umgekehrt zerfallen ihre Oxyde, die man auf Umwegen darstellen kann, bei höherer Temperatur in Sauerstoff und die freien Metalle. Aus demselben Grunde sind sie, im Gegensatz zu den unedlen Metallen, an der Luft haltbar und bewahren ihren schönen Glanz unbegrenzt. Gerade deshalb sind Gold und Silber geschätzt als Rohstoffe für Schmuck und kunstgewerbliche Gegenstände, vor allem als Münzmetalle. Doch verarbeitet man sie für solche Zwecke nicht unvermischt, da sie an sich sehr weich sind und sich zu rasch abnutzen würden. So enthalten die deutschen Silbermünzen auf 900 Tle. Feinsilber 100 Tle. Kupfer, die deutschen Goldmünzen auf 900 Tle. Feingold gleichfalls 100 Tle. Kupfer. Hellere Goldlegierungen, wie sie vielfach für Schmucksachen verwendet werden, enthalten neben Gold und Kupfer noch Silber. — Das Gold ist außerordentlich dehnbar, es läßt sich zu sehr dünnem Blattgold ausschlagen, welches mit grünlichem Lichte durchsichtig ist. Man sagte früher, mit einem Dukaten kann man einen Reiter mit samt seinem Pferde mit Gold überziehen. Das Blattgold dient zum Vergolden von Bilder- und Spiegelrahmen, von Buchtiteln, von Äpfeln und Nüssen für den Weihnachtsbaum usw. Unechtes Blattgold ist ausgeschlagenes Messing. — Die Vergoldung und Versilberung anderer Metalle geschieht auf elektrolytischem Wege.

Quecksilber. Das wichtigste Quecksilbererz ist der Zinnober, Schwefelquecksilber, HgS. Er wird durch Rösten in Quecksilberoxyd übergeführt, welches gleich in der uns bekannten Weise zerfällt:



Da das Quecksilber gegen 360° C siedet, so destilliert es über und muß in geeigneten Vorlagen aufgefangen werden. — Das metallische Quecksilber dient zum Füllen von Thermometern und Barometern; für den Chemiker und Physiker ist es ein unentbehrliches Mittel zum Aufbau der verschiedensten Apparate. — Seinem chemischen Verhalten nach steht das Quecksilber auf der Grenze zwischen den edlen und unedlen Metallen: sein Oxyd zerfällt,

wie wir wissen, bei hoher Temperatur in Sauerstoff und das Metall; umgekehrt wird aber Quecksilber bei längerem Kochen in Berührung mit Luft oder reinem Sauerstoff in Quecksilberoxyd verwandelt. Man kann es daher als ein halbedles Metall bezeichnen. — Der rote Zinnober ist eine geschätzte Malerfarbe. Auch medizinisch wird Quecksilber und seine Verbindungen viel benutzt. Die bekannte graue Salbe enthält metallisches Quecksilber in sehr feiner Verteilung. Mit Chlor bildet Quecksilber zwei Verbindungen: Quecksilberchlorür, Kalomel, HgCl und Quecksilberchlorid, Sublimat, HgCl_2 . Dieses ist ein sehr wirksames Desinfektionsmittel, das in Lösungen von der Stärke 1:1000 oder 1:2000 Tln. Wasser angewendet wird. Die löslichen Quecksilbersalze sind sehr giftig, ganz besonders das eben erwähnte Sublimat, mit dem man daher sehr vorsichtig umgehen muß. — Die Legierungen des Quecksilbers mit anderen Metallen nennt man Amalgame. Ein Zinnamalgam benutzte man früher zum Belegen der Glasspiegel. Da aber die Einatmung von Quecksilberdämpfen sehr schädlich wirkt, und die Arbeiter in Spiegel Fabriken oft von einer langsamen Quecksilbervergiftung befallen wurden, so hat man jetzt die Amalgamspiegel durch versilberte Glasspiegel ersetzt. — Beträchtliche Mengen von Quecksilber werden auch in manchen Ländern — so in Kalifornien, Mexiko, Transvaal — zur Gewinnung von Gold und Silber durch Amalgamation gebraucht. Die Erze werden nach geeigneter Vorbereitung mit Quecksilber behandelt, wodurch die edlen Metalle in Amalgame übergeführt werden, aus denen das Quecksilber durch Destillation, unter Zurücklassung von Gold und Silber, entfernt wird.

Aluminium. Dieses Metall kommt in der Natur nicht frei vor, aber in chemischen Verbindungen ist es weit verbreitet und bildet einen Bestandteil zahlreicher gesteinsbildender Mineralien. Unter diesen nenne ich nur den Kalifeldspat, KAlSi_3O_8 , der hier und da für sich allein vorkommt, vor allem aber als Gemengteil gemischter Gesteine; so ist der Granit ein Gemenge von Feldspat, Quarz und Glimmer. Durch Verwitterung wird der Feldspat zersetzt, Kali und Kieselsäure werden vom Wasser fortgeführt und wasserhaltiges kieselsaures Aluminium, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ bleibt zurück. Dieses ist der Ton, im reinen Zustande die weiße Porzellanerde oder Kaolin, wenn mit Eisenhydroxyd ver-

mischt, bildet er den gelben Lehm. — Ferner findet sich Aluminiumoxyd, Al_2O_3 als Korund, welcher wegen seiner Härte als Schmirgel zum Schleifen und Polieren benutzt wird. Sehr reiner Korund bildet, durch kleine Mengen von Metalloxyden gefärbt, geschätzte Edelsteine, z. B. mit 0,2 bis 0,3 Proz. Chromoxyd den Rubin. — Bauxit ist ein Gemenge von Aluminium- und Eisenhydroxyd, der grönländische Kryolith ein Doppelsalz von Fluornatrium-Aluminium, Na_3AlF_6 .

Metallisches Aluminium wurde zuerst im Jahre 1827 durch Friedrich Wöhler dargestellt, aber erst in neuerer Zeit ist es Gegenstand einer erfolgreichen Industrie geworden. Man erhält es durch Elektrolyse einer Lösung von Aluminiumoxyd in geschmolzenem Kryolith. Dazu bedarf es eines großen Aufwandes an elektrischer Energie, welche entweder durch starke Wasserkräfte wie die des Rheinfalles und des Niagarafalles, oder durch Verbrennung billiger Braunkohlen beschafft wird. — Die Anwendung von Aluminiumgeräten im Haushalt ist jetzt allgemein. Sehr bedeutende Mengen des Metalles verbraucht ferner die Eisenindustrie, da schon ein ganz geringer Zusatz zu geschmolzenem Eisen kleine darin enthaltene Oxydmengen reduziert und dadurch Blasenbildung verhindert. — Die außerordentliche Verwandtschaft des Aluminiums zum Sauerstoff verwertete Hans Goldschmidt für sein Thermitverfahren zum Verschweißen von Eisenteilen. Ein Gemisch von Hammerschlag und Aluminiumpulver wird um die Schweißstelle gelegt und entzündet. In wenigen Augenblicken wird das Eisenoxyduloxyd, Fe_3O_4 durch das Aluminium reduziert, es entsteht Aluminiumoxyd, Al_2O_3 und metallisches Eisen. Der Prozeß entwickelt eine solche Menge Wärme, daß dadurch die zu verschweißenden Eisenteile fest verbunden werden. Beim Erkalten erstarrt das geschmolzene Aluminiumoxyd zu Korund, welcher gemahlen und wie natürlicher Schmirgel als Schleifmittel benutzt wird. — Die Kupfer-Aluminiumbronzen habe ich schon erwähnt.

Nickel. Mit dem Namen Nickel und Kobalt (Kobold) bezeichneten die Bergleute früher Erze, aus denen keine nutzbaren Metalle zu gewinnen waren. Für das Kobalt änderte sich das, da man lernte, es zur Herstellung einer schönen blauen Malerfarbe, der Smalte und des blauen Kobaltglases zu verwenden. Daneben erhielt man dann durch komplizierte Prozesse das

metallische Nickel, welches als Bestandteil des Neusilbers, einer Legierung von Kupfer, Zink und Nickel verwertet wurde. Diese Industrie war besonders im sächsischen Erzgebirge heimisch. In neuerer Zeit wurden in Neukaledonien und Kanada reichhaltigere Nickelerze entdeckt, und seitdem hat die Nickelindustrie einen viel größeren Umfang angenommen. Die Verwendung des Nickels zur Herstellung besonders harten Stahls habe ich schon erwähnt. Außerdem dient es für Gefäße und andere Gerätschaften des Haushalts, wobei aber zu beachten ist, daß es von Säuren angegriffen wird. Es verhält sich damit ungefähr wie mit Kupfer und Messing. Wichtig ist auch die galvanische Vernickelung des Eisens, da Nickel auch an feuchter Luft haltbar ist. — Die deutschen Nickelmünzen wurden aus einer Legierung von 75 Proz. Kupfer und 25 Proz. Nickel geprägt.

Wie Kohlen und die leicht zu verwertenden Kalisalze, so werden auch die Eisenerze der Menschheit nicht für alle Zeiten zur Verfügung stehen. Aber Eisen ist, außer in den reichen Erzen, ähnlich wie die Kaliumsalze, weit verbreitet auf der Erde. Nur enthalten die meisten Mineralien dieses unentbehrliche Metall in solcher Verdünnung, daß seine Gewinnung aus ihnen unter den jetzigen Verhältnissen nicht in Betracht kommt. Wenn es aber keine Eisenerze in unserem Sinne mehr gibt, so wird die Chemie auch dieses Problem zu lösen wissen. — Anders liegt die Sache bei den übrigen nutzbaren Metallen: Kupfer, Zink, Zinn, Blei usw. Diese wird man versuchen müssen, durch die in unerschöpflicher Menge zur Verfügung stehenden Leichtmetalle Aluminium und Magnesium zu ersetzen; sie können in geeignete Legierungen übergeführt werden, deren mechanische und chemische Eigenschaften sie für technische Verwendung geeignet machen. Auf diesem Wege sind schon jetzt gewisse Erfolge erzielt worden. Beispielsweise kann der aus Kupfer, Zink und Zinn bestehende Rotguß durch eine Legierung von Aluminium und Silicium ersetzt werden. Ja selbst die alkalischen Erdmetalle Calcium und Barium hat man zur Herstellung von Legierungen benutzt, die technische Verwendung finden sollen.

Tonwaren.

Im Anschluß an das Aluminium wollen wir uns gleich mit den Tonwaren beschäftigen. Wie der Name sagt, werden sie aus Ton hergestellt, dieser aber ist, wie wir sahen, ein wasserhaltiges, kieselsaures Aluminium, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Das edelste Tonerzeugnis ist das weiße Porzellan, an das sich die gewöhnlicheren Tonwaren anschließen: Steinzeug, Steingut (Fayence), glasierte Töpfergeschirre, Ziegel, Blumentöpfe usw. Ihrer Beschaffenheit nach unterscheidet man Tonwaren mit verglastem, nicht porösem und solche mit porösem Scherben. Zu den ersteren gehören Porzellan und Steinzeug, zu den letzteren die übrigen. — Rohstoff für Porzellan ist der reinste Ton, Kaolin, aus dem allein man aber kein Porzellan machen kann, weil er zu streng flüssig ist, so daß der Scherben im Feuer des Porzellanofens nicht zusammenfritten und daher porös bleiben würde. Man muß deshalb sogenannte Flußmittel hinzusetzen, als welche besonders Feldspat, KAlSi_3O_8 und Quarz, SiO_2 verwendet werden. — Mit Wasser bildet der Ton einen zähen, plastischen Teig, der auf der Töpferscheibe oder aus freier Hand verarbeitet, oder auch in Formen gepreßt wird. Seine Bildsamkeit wird erhöht durch die Anwesenheit von Pflanzenstoffen, die man längere Zeit „faulen“ läßt. Die geformten Gegenstände werden zuerst an der Luft getrocknet und darauf bei etwa 900°C porös gebrannt. Dann werden sie mit der in Wasser aufgeschlämmten Glasurmasse übergossen. Diese besteht aus Feldspatpulver mit Beimengungen von Marmor, Gips u. dgl. Nach abermaligem Trocknen folgt dann der „Garbrand“ im Scharffeuer des Porzellanofens bei 1430 bis 1490°C . Bei dieser hohen Temperatur verliert der Ton das chemisch gebundene Wasser, die Masse beginnt zu sintern und verliert die Porosität; zugleich schmilzt die Glasurmischung zu einem Glasflusse, welcher die

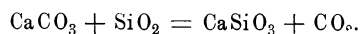
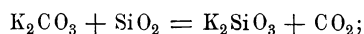
Porzellangegegenstände vollständig überzieht. — Durch den Brand erfahren die Gegenstände eine Verkleinerung, sie „schwinden“, worauf beim Formen Rücksicht genommen werden muß. Die Schwindung beträgt durchschnittlich 13 Proz., wovon etwa $\frac{1}{4}$ auf den Rohbrand, $\frac{3}{4}$ auf den Garbrand kommen. Für die Porzellanmalerei und Verzierung werden Metalloxyde benutzt, welche aufgebrannt werden und dann mit der Glasur zu farbigen Glasflüssen verschmelzen. Man unterscheidet Unterglasur- und Muffel- oder Schmelzfarben. Die Unterglasurfarben sind die beständigeren, ihre Zahl ist aber nur gering, am bekanntesten ist das Kobaltblau, welches beispielsweise für das Meißener Zwiebelmuster den Rohstoff bildet. Die Schmelzfarben sind gefärbte Bleigläser aus Mennige, Pb_3O_4 , Quarz, SiO_2 , zuweilen unter Zusatz von Borax, $Na_2B_4O_7$. Sie werden nach dem Garbrand auf der Glasur aufgetragen und dann bei mäßiger Wärme eingebrannt. — Biskuit, welches ein schönes Material für die Vielfältigung von Bildwerken darstellt, ist unglasiertes Porzellan. Es läßt die Formen schärfer hervortreten als das glasierte. — Steinzeug ist eine Art Porzellan, das infolge geringerer Reinheit des verwendeten Rohstoffs meist grau, gelb oder braun gefärbt ist und bei 1230 bis 1330° C gebrannt wird. Es ist sehr hart und widerstandsfähig gegen chemische Eingriffe, weshalb es jetzt in weitem Umfange zur Herstellung von Apparaten für die chemische Industrie verwendet wird. Ferner wird es auf Röhren für die Kanalisation und auf Fußbodenfliesen verarbeitet. Auch Bierkrüge und ähnliche Gefäße bestehen gewöhnlich aus Steinzeug.

Die Tonwaren mit porösem Scherben werden aus weniger reinem und daher weniger feuerbeständigem Ton gebrannt, sie tragen daher nur niedere Brenntemperaturen und bleiben porös. Gefäße aus solchem Material müssen deshalb mit einer für Flüssigkeiten undurchlässigen Glasur versehen werden. Dahin gehören Steingut oder Fayence, Majolika und gewöhnliches Töpfergeschirr. Die Glasur ist in der Regel ein Bleiglas, welches bei sachgemäßer Herstellung auch von sauren Speisen nicht angegriffen wird, und dann unbedenklich ist. — Zu den Tonwaren mit porösem Scherben gehören, wie bemerkt, auch die Ziegel. Zu ihrem Brande dienen sogenannte Ringöfen mit fortlaufendem Betriebe.

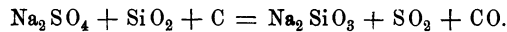
Glas.

Die gewöhnlichen Gläser sind Verbindungen von Kieselsäure mit Kalium oder Natrium und Calcium. Die Zusammensetzung der besten Gläser entspricht ungefähr der Formel $K_2O \cdot CaO \cdot 6SiO_2$ bzw. $Na_2O \cdot CaO \cdot 6SiO_2$, sie sind aber keine einheitlichen Verbindungen, sondern Gemenge, deren nähere Bestandteile nicht genau bekannt sind. Vielfach stellt man auch gemischte Kali-Natrongläser dar, deren Zusammensetzung man annähernd durch die Formel $\frac{1}{2}K_2O \cdot \frac{1}{2}Na_2O \cdot 6SiO_2$ wiedergeben kann. — Gläser zur Herstellung von Linsen für Fernrohre, Operngläser, Mikroskope, von Prismen für Spektralapparate usw. müssen ein besonders starkes Lichtbrechungsvermögen haben; man erreicht das, indem man das Calcium ganz oder teilweise durch Blei ersetzt, so daß ein optisches Glas in seiner Zusammensetzung ungefähr der Formel $K_2O \cdot PbO \cdot 6SiO_2$ entspricht. Auch das Kristallglas für fein geschliffene Gläser, Schalen u. dgl. enthält an Stelle des Calciums Blei. — In neuerer Zeit werden für wissenschaftliche Zwecke noch Gläser sehr verschiedener Zusammensetzung hergestellt. Auf diesem Gebiete hat sich die Firma Schott & Genossen in Jena einen Weltruf erworben. — Gefärbte Gläser verdanken ihre Farbe der Anwesenheit von Metalloxyden, wie wir noch sehen werden; die grüne Farbe des gewöhnlichen Flaschenglases wird durch einen Gehalt an Eisenoxydul verursacht, der von den verwendeten Rohstoffen herkommt.

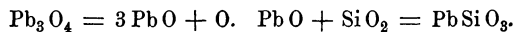
Von den Rohstoffen wird die Kieselsäure als Quarz oder Quarzsand, SiO_2 angewandt, die Alkalimetalle früher ausschließlich als Soda, Na_2CO_3 und Pottasche, K_2CO_3 , in neuerer Zeit wurde aber die Soda durch das viel billigere schwefelsaure Natrium, „Sulfat“, Na_2SO_4 ersetzt; das Calcium als kohlensaures Calcium, $CaCO_3$. Beim Zusammenschmelzen bilden sich aus Kieselsäure und den kohlensauen Salzen unter Entweichen der Kohlensäure die kieselsauren Salze, „Silikate“:



Um das Sulfat in Silikat überzuführen, setzt man der Schmelze Kohlenpulver zu, wodurch Schwefeldioxyd und Kohlenoxyd gebildet werden, welche gasförmig entweichen:



Das Blei für Kristallglas und optische Gläser wird gewöhnlich als Mennige, Pb_3O_4 angewendet; sie geht beim Erhitzen unter Entwicklung von Sauerstoff in Bleioxyd über, welches sich dann mit Kieselsäure zu kieselsaurem Blei verbindet:



Der Vergleich mit den oben angegebenen Näherungsformeln der Gläser zeigt aber, daß diese einen bedeutenden Überschuß an Kieselsäure enthalten, sie sind saure Silikate. — Um durch Eisen grün gefärbtes Glas zu entfärben, setzt man seit alten Zeiten der Schmelze Braunstein, MnO_2 zu, welcher in der Hitze Sauerstoff entwickelt und dadurch das grün färbende Eisenoxydul, FeO in das viel schwächer gelb färbende Eisenoxyd, Fe_2O_3 überführt. Gewöhnliches Fensterglas ist aber immer noch schwach grün, was man freilich bei der geringen Dicke der Scheiben nicht bemerkt; blickt man aber durch die hohe Kante, also durch eine dicke Schicht, so wird die grüne Farbe wohl immer sichtbar werden. Neuerdings benutzt man auch andere Entfärbungsmittel.

Das Verschmelzen der Glasmasse geschah früher ausschließlich in Häfen aus feuerfestem Ton; in den Riesenglashütten der heutigen Zeit sind an ihre Stelle mächtige Wannöfen getreten, welche durch Gasfeuerungen nach Siemenschem Regenerativsystem geheizt werden. Die Verarbeitung des Glases zu gewöhnlichen Fensterscheiben, Flaschen und anderen Hohlkörpern, Röhren usw. beruht auf dem eigentümlichen Verhalten des Glases bei erhöhter Temperatur. Werden kristallinische Körper wie Schwefel oder Chlornatrium erhitzt, so schmelzen sie bei einer ganz bestimmten Temperatur, und läßt man sie dann erkalten, so werden sie bei derselben Temperatur wieder fest. Sie haben also einen ganz bestimmten Schmelzpunkt, welcher mit ihrem Erstarrungspunkt übereinstimmt; der des Schwefels liegt bei $114,4^\circ\text{C}$, der des Chlornatriums bei $804,1^\circ\text{C}$. Das Glas ist unkristallinisch, „amorph“, und es teilt mit anderen amorphen Stoffen die Eigenschaft, nicht bei einer bestimmten Temperatur zu schmelzen, sondern beim Erwärmen ganz allmählich durch

einen zähflüssigen Zustand hindurch in den dünnflüssigen Zustand überzugehen. Beim Erkalten durchläuft es dann dieselbe Umwandlung in umgekehrtem Sinne. Man betrachtet es jetzt im festen Zustande als eine Flüssigkeit mit sehr großer Zähigkeit. Um Ihnen dieses Verhalten vorzuführen, bringe ich ein Stück Glasrohr in die Flamme eines Bunsenbrenners und erhitze es in der Mitte unter fortwährendem Drehen bis zum beginnenden Glühen. Ich kann es dann zu einem dünnen Glasfaden ausziehen, der einen hohen Grad von Elastizität besitzt. Schmelze ich ihn in der Flamme ab, so ist die eine Hälfte des Rohres verschlossen. Durch längeres Erhitzen unter Drehen wird der Verschluss dickwandig, und nun kann ich die Schlußfläche, solange sie noch heiß ist, zu einer ziemlich großen dünnwandigen Kugel aufblasen. — Der Glasarbeiter nimmt mittels einer eisernen Röhre, „Pfeife“, die für den herzustellenden Gegenstand erforderliche Menge flüssigen Glases aus dem Hafen oder der Wanne, bläst sie zu einem hohlen Körper auf und bringt diesen durch Hin- und Herschwingen unter mehrfachem Wiedererwärmen in die gewünschte Form; Flaschen werden jetzt wohl meist in gußeiserne Formen geblasen. Fensterscheiben werden zu einem ganz dünnwandigen Zylinder aufgeblasen; nach dem Erkalten werden die an beiden Enden befindlichen Kuppen mit einem glühenden Eisen abgesprengt und die Walzen ihrer ganzen Länge nach aufgesprengt. Darauf kommen sie in den Streckofen, in welchem sie bei mäßiger Temperatur erweicht und zu einer ebenen Platte ausgebreitet werden. Alle Gegenstände werden in besonderen Öfen langsam abgekühlt; bei zu schneller Abkühlung würden sich in ihnen Spannungen bilden, infolge deren sie später bei Temperaturveränderungen leicht springen würden. — Die Arbeit des Glasbläfers erfordert viel Übung und große Gewandtheit, sie ist auch sehr anstrengend und die Arbeiter leiden unter der starken Wärmeausstrahlung des Ofens; man sieht sie deshalb stets mit entblößtem Oberkörper, und der rastlose Betrieb einer Glashütte mit ihrem Feuerschein vor jeder Arbeitsöffnung gewährt einen fast abenteuerlichen Anblick. Leider wirkt die Arbeit auch nachteilig auf die Gesundheit, man hat sie aber bisher nur für besondere Zwecke durch Maschinenarbeit ersetzen können. So werden Biergläser, Glasteller, Glasstöpsel u. dgl. jetzt meist mittels komprimierter Luft in Formen gepreßt. Dicke Spiegelglasscheiben

werden überhaupt nicht geblasen, sondern das geschmolzene Glas wird im zähflüssigen Zustand auf eine gußeiserne Platte gegossen, glatt gewalzt und nach dem Erkalten auf beiden Seiten geschliffen und poliert.

Wie schon bemerkt, rührt die grüne Farbe des gewöhnlichen Flaschenglases von Eisenoxydul her; die braunen Rheinweinflaschen färbt man durch viel Braunstein und Eisenoxyd; dunkelblau durch Kobaltoxyd, ein sattes Grün durch Chromoxyd, dunkelrot durch Kupferoxydul; das zarte rosafarbene Rubinglas durch sehr geringe Mengen von metallischem Gold. Um durchscheinendes Milchglas für Lampenglocken, Thermometerskalen u. dgl. herzustellen, löst man in dem geschmolzenen Glase Stoffe auf, die sich beim Erkalten ganz oder teilweise wieder ausscheiden. Als solche benutzte man früher vorzugsweise Knochenasche, jetzt meist Kryolith, Feldspat, Zinnoxid u. dgl. — Durch gemeinsames Verblasen eines farblosen Glases mit einer darübergelagerten Schicht gefärbten Glases erhält man sogenanntes Überfangglas. Ätzt oder schleift man in dessen obere Schicht Zeichnungen oder Schriftzüge ein, so erscheinen sie weiß auf farbigem Grunde. — Wie ich schon beim Quecksilber erwähnte, stellte man Glasspiegel früher durch Belegen der Glasscheiben mit Zinnamalgam her, doch wurde dieses Verfahren wegen der Giftigkeit der Quecksilberdämpfe jetzt wohl allgemein durch Versilberung ersetzt. Die erforderliche Silberschicht ist so dünn, daß auch für ganz gewöhnliche Spiegel der Preis kein Hindernis ist.

Emaillen sind durchsichtige oder undurchsichtige Glasflüsse, welche z. B. aus Kieselsäure, Bleioxyd, Borax, Kali und einem färbenden Metalloxyd hergestellt werden. Der Überzug emaillierter Kochgefäße, welche jetzt so große Bedeutung haben, muß bleifrei sein; er wird z. B. aus Feldspat, Quarz, Borax, Soda, Zinnoxid u. dgl. erschmolzen.

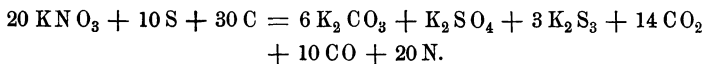
Explosivstoffe.

Ihrem Zwecke nach hat man drei verschiedene Arten von Explosivstoffen zu unterscheiden: 1. Geschosstreibmittel, welche dazu bestimmt sind, Geschosse aus dem Laufe der Feuerwaffen herauszutreiben, so daß sie mit großer Geschwindigkeit fortgeschleudert werden. 2. Sprengstoffe, mit deren Hilfe Felsen, Mauerwerke und andere harte Massen auseinandergetrieben werden; sie gehören zu den Werkzeugen des Krieges, im Frieden aber leisten sie dem Bauingenieur die wertvollsten Dienste beim Bau von Straßen, Eisenbahnen, Tunneln, bei der Regulierung von Flußläufen und bei ähnlichen Kulturaufgaben; ein unentbehrliches Hilfsmittel sind sie für den Bergbau. 3. Initialzündmittel, welche nicht selbst zum Schießen oder Sprengen dienen. Sie werden durch Schlag zur Explosion gebracht, die dadurch herbeigeführte heftige Erschütterung überträgt sich in Gestalt einer Art Wellenbewegung auf die beiden anderen Arten der Explosivstoffe und bringt diese dadurch zur Entzündung. Durch die plötzliche Verbrennung der letzteren wird in kürzester Zeit eine große Menge von Gasen entwickelt, deren Ausdehnungsvermögen die gewaltigen mechanischen Wirkungen zur Folge hat. Die starke Wärmeentwicklung erhöht noch diese Ausdehnung und dadurch die Wirkungen der Explosion.

Der am längsten bekannte und bis vor wenigen Jahrzehnten wichtigste Explosivstoff ist das Schwarzpulver, eine innige, gekörnte Mischung von Kalisalpeter, Kohle und Schwefel. Das preußische Militärpulver vom Jahre 1880 bestand aus 74 Proz. Salpeter, 16 Proz. Kohle und 10 Proz. Schwefel. Durch das rauchlose Pulver ist das Schwarzpulver als Kriegsmittel nahezu verdrängt worden, es wird aber in beschränkterem Maße und besonders als Sprengstoff noch immer gebraucht. Die zu seiner

Herstellung dienende Kohle wird durch Erhitzen von weichem, harzfreiem Holz bei Abschluß der Luft in Meilern oder Retorten gewonnen; sie enthält, außer den geringen Mineralbestandteilen des Holzes, noch kleine Mengen von Wasserstoff und Sauerstoff. Zu ihrer Darstellung benutzt man das Holz von Faulbaum, Erlen, Linden, Pappeln usw. Bei der Verkohlung in Meilern gehen die flüchtigen Destillationsprodukte verloren, während die Retortenverkohlung Holzessig, Holzgeist usw. als Nebenprodukte liefert. Salpeter und Schwefel müssen chemisch rein sein; der Kalisalpeter kann nicht durch den billigeren Natronsalpeter ersetzt werden, weil dieser an der Luft Feuchtigkeit anzieht, wodurch auch das Pulver feucht werden würde.

Kohle und Schwefel sind die brennbaren Bestandteile des Schwarzpulvers, während der Salpeter den für die Verbrennung erforderlichen Sauerstoff liefert. Der Verbrennungsvorgang ist aber kompliziert, er wird durch die folgende Gleichung jedenfalls nur annähernd wiedergegeben:

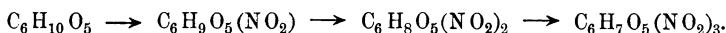


Die geschosstreibenden Gase sind also Kohlensäure, Kohlenoxyd und Stickstoff. Die Bildung von Kohlenoxyd zeigt, daß die Verbrennung keine vollständige ist. Kohlensaures Kalium, schwefelsaures Kalium und Schwefelkalium bilden den festen Pulverrückstand, welcher zum größten Teil im Laufe bleibt und die Reinigung der Waffe nach dem Gebrauch erforderlich macht; er ist durch eine kleine Menge unverbrannter Kohle schwarz oder grau gefärbt. Ein kleiner Teil dieser festen Stoffe wird mit den Verbrennungsgasen herausgeschleudert und bildet fein zerstäubt den Pulverrauch. Der eigentümliche Geruch beim Abbrennen des Pulvers rührt her von einer Spur Schwefelwasserstoff, der sich aus Schwefel und dem Wasserstoff der Kohle bildet, und für den unsere Nase sehr empfindlich ist.

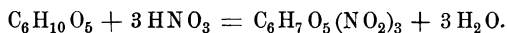
Die Zündung des Pulvers geschah früher durch Luntten, in den Steinschlössern durch Funken, welche durch das Aufschlagen von Feuerstein auf Stahl erzeugt wurden; die Perkussions- und Zündnadelwaffen erhielten dann Zündhütchen und Zündkapseln. In diesen befindet sich eine kleine Menge eines Initialzündstoffs, welcher durch das Aufschlagen des Hahnes oder den Stoß der

Zündnadel zur Explosion gebracht wird. Als solcher dient Knallquecksilber, eine Verbindung $\text{HgC}_2\text{O}_2\text{N}_2$, welche man aus Quecksilber, Salpetersäure und Alkohol darstellt. In jüngster Zeit wurde auch Bleiazid, PbN_6 als Initialzündstoff eingeführt, welches noch wirksamer ist als Knallquecksilber.

Das rauchlose, richtiger rauchschwache Pulver stellt man mittels der 1846 von Schönbein entdeckten Schießbaumwolle dar. Diese entsteht durch Einwirkung einer Mischung von Salpetersäure und Schwefelsäure auf Baumwolle. Wie wir schon sahen, besteht die Baumwolle in der Hauptsache aus Cellulose, deren Zusammensetzung durch die Formel $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ wiedergegeben werden kann. Die Einwirkung der Salpetersäure, „Nitrierung“, besteht in einem Ersatz von Wasserstoff durch die Atomgruppe NO_2 ; sie erfolgt in drei Stufen:



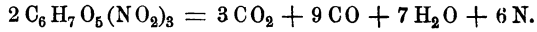
Das erste Produkt, Cellulosemononitrat hat keine praktische Bedeutung; das zweite, Cellulosedinitrat ist die Kollodiumwolle, die wir als Rohstoff für die Herstellung der Kunstseide und des Celluloids kennenlernten; das dritte, Cellulosetrinitrat ist die Schießbaumwolle. Ihre Bildung erfolgt nach der Gleichung



Der Vorgang wird nicht ganz korrekt als Nitrierung bezeichnet. Die Schwefelsäure im Nitriergemisch hat nur den Zweck, das bei der Reaktion gebildete Wasser zu binden und dadurch eine zu schnelle Abschwächung der Salpetersäure zu verhindern.

Die Schießbaumwolle ist außerordentlich leicht brennbar, viel leichter als die nicht nitrierte Baumwolle, weil sie viel sauerstoffreicher ist. Ich bringe hier einen Bausch Watte, das ist gewöhnliche Baumwolle, mittels einer Tiegelzange einen Augenblick in die Flamme eines Bunsenbrenners; sie brennt langsam und ruhig ab. Jetzt mache ich dasselbe mit einem ganz gleichen Bausche Schießbaumwolle, welche äußerlich von der Watte nicht zu unterscheiden ist. Ihre Verbrennung erfolgt plötzlich in einem ganz kurzen Augenblick und mit einer deutlich hörbaren Verpuffung. Wegen ihres beträchtlichen Sauerstoffgehaltes kann man sie auch

im verschlossenen Raume verbrennen; der Vorgang vollzieht sich dann in folgendem Sinne:



Auch hier ist, wie beim Schwarzpulver, die Verbrennung nicht vollständig; aber die Verbrennungsprodukte sind sämtlich gas- oder dampfförmig, es bleibt kein fester Rückstand, und wird daher kein oder nur ganz wenig Rauch entwickelt.

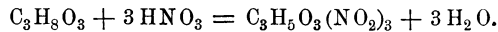
Die Erwartung, die Schießbaumwolle als Geschosstreibmittel zu verwenden, hat sich zunächst nicht erfüllt. Ihre Wirkung ist zu heftig, so daß die Läufe darunter litten, auch erwies sie sich nicht gleichmäßig genug, um ein sicheres Treffen zu gewährleisten. Da machte 1886 der Franzose Vieille die Entdeckung, daß die Schießbaumwolle in gewissen organischen Flüssigkeiten aufquillt und nach dem Verdunsten des Quellungsmittels als eine dichte Masse hinterbleibt, welche ein gut regulierbares und sehr leistungsfähiges Geschosstreibmittel darstellt. Dies führte zur Erzeugung von rauchschwachen Pulvern in allen Kulturländern, wodurch die Schießtechnik von Grund aus umgestaltet wurde. — Als Rohstoff dient jetzt wohl meistens nicht mehr Baumwolle, sondern Zellstoff. Das fertige Produkt muß sehr sorgfältig von den geringsten Spuren anhaftender Säure befreit werden, weil es sich sonst allmählich zersetzt und dann durch Selbstentzündung Veranlassung zu gefährlichen Explosionen geben kann. — Ich habe hier auf einem Platinblech etwas Schwarzpulver, auf einem anderen ein rauchschwaches Militärpulver. Beide erhitze ich gleichzeitig und möglichst gleichmäßig mit einer kleinen Bunsenflamme. Zuerst entzündet sich das rauchschwache Pulver und verbrennt mit lebhafter Flamme, aber fast ohne Rauch. Was man sieht, ist wohl gar kein eigentlicher Rauch, sondern der bei der Verbrennung gebildete Wasserdampf, der sich in der Luft vorübergehend zu einem Nebel verdichtet und dadurch sichtbar wird. — Das Schwarzpulver entzündet sich später und stößt bei der Verbrennung eine dichte Rauchwolke aus.

Auch die Kollodiumwolle hat in neuerer Zeit wichtige praktische Anwendungen gefunden: sie dient, wie wir schon sahen, zur Herstellung von Celluloid, von Kunstseide, photographischen Platten und Filmbändern.

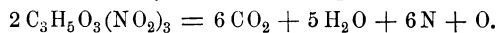
Sprengstoffe. Auch der älteste Sprengstoff ist das Schwarzpulver. In seiner Zusammensetzung weicht das zum

Sprengen benutzte Produkt ein wenig vom Schießpulver ab, z. B. 69 Proz. Salpeter, 21 Proz. Kohle, 10 Proz. Schwefel.

Von großer Wichtigkeit ist in neuerer Zeit das Nitroglycerin geworden, das man richtiger Glycerinnitrat nennen sollte. Es entsteht in analoger Weise wie die Schießbaumwolle durch Einwirkung einer Mischung von Salpetersäure und Schwefelsäure auf Glycerin:



Das Nitroglycerin ist eine ölige Flüssigkeit; durch Schlag und Stoß explodiert es mit solcher Heftigkeit, daß seine direkte Verwendung als Sprengstoff sich verbietet; besonders gefährlich ist es im gefrorenen Zustand. Aber im Jahre 1867 fand der Schwede Alfred Nobel den Weg zur gefahrlosen Handhabung dieses so außerordentlich wirksamen Sprengstoffs. Sein Mittel besteht darin, das ölige Nitroglycerin in einem porösen Stoffe aufzusaugen. Als solcher erwies sich die in der Lüneburger Heide in einem ausgedehnten Lager vorkommende Infusorienerde, auch Kieselgur genannt, besonders brauchbar. Das so hergestellte Sprengmittel hat den Namen Dynamit erhalten. Es enthält 75 Proz. Nitroglycerin und 25 Proz. Kieselgur. Seine Explosion erfolgt durch Initialzündung. Das Dynamit ist bald der wichtigste aller Sprengstoffe geworden. — Die Verbrennung des Nitroglycerins kann man durch die folgende Gleichung darstellen:



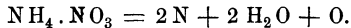
Im Gegensatz zu dem Schwarzpulver und der Schießbaumwolle ist, wie hieraus ersichtlich, die Verbrennung des Nitroglycerins nicht nur vollständig, sondern sie hinterläßt sogar noch einen kleinen Überschuß an Sauerstoff. — Zum Sprengen unter Wasser stellt man nach dem Vorgang von Nobel die sogenannte Sprenggelatine dar, indem man unter mäßigem Erwärmen Kollodiumwolle in Nitroglycerin auflöst, worauf beim Erkalten die Masse zu einer durchscheinenden Gallerte erstarrt. Die Sprenggelatine enthält auf 91 bis 93 Proz. Nitroglycerin 7 bis 9 Proz. Kollodiumwolle; der überschüssige Sauerstoff des Nitroglycerins wirkt auf vollständigere Verbrennung der Kollodiumwolle und verstärkt dadurch die Explosion.

Während des Weltkrieges bereitete die Gewinnung der für die Darstellung des Nitroglycerins erforderlichen großen Mengen von Glycerin ernstliche Schwierigkeiten, weil die dazu verwendeten

Fette ihrem Zwecke, der Volksernährung, entzogen werden mußten. Es war deshalb von großer Wichtigkeit, daß es der Chemie gelang, Glycerin durch eine besondere Gärung des Zuckers herzustellen.

Die Verwendung der flüssigen Luft für Sprengzwecke habe ich schon früher besprochen; ihre Mischungen mit Brennstoffen werden als Oxyliquit bezeichnet.

Für den Bergbau ist es von Wichtigkeit, über Sprengstoffe zu verfügen, welche bei der Explosion etwa vorhandene schlagende Wetter nicht entzünden. Solche Sicherheits Sprengstoffe sind meist Gemische von salpetersaurem Ammonium (Ammonitrat) mit brennbaren Stoffen. Das salpetersaure Ammonium zerfällt bei der Explosion wesentlich in folgendem Sinne:



Die Ammonitrat Sprengstoffe haben sich ausgezeichnet bewährt; doch hat das große Unglück von Oppau im Jahre 1922 gezeigt, daß es Umstände gibt, unter denen sich das salpetersaure Ammonium für sich allein unter furchtbarer Explosionswirkung zersetzen kann.

Sprengstoffe für besondere Zwecke sind noch Pikrinsäure, $\text{C}_6\text{H}_3\text{O}(\text{NO}_2)_3$, welche man durch Nitrierung der Carbonsäure erhält, und Trinitrotoluol, $\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$; beide dienen zum Füllen der Granaten.

Vergleicht man die verschiedenen Explosivstoffe ihrer chemischen Zusammensetzung nach, so kann man in dieser Hinsicht zwei Gruppen unterscheiden. Die verschiedenen Schwarzpulver und die Sicherheits Sprengstoffe sind Mischungen von brennbaren Stoffen mit einem Bestandteil, der den zu ihrer Verbrennung nötigen Sauerstoff liefert; im Oxyliquit ist das der flüssige Sauerstoff selbst. Dagegen enthalten Schießbaumwolle, Nitroglycerin, Pikrinsäure und Trinitrotoluol beide Bestandteile in einer und derselben chemischen Verbindung. Die Geschwindigkeit ihrer Verbrennung und infolgedessen ihre zerschmetternde Kraft, die man auch als Brisanz bezeichnet, ist daher besonders groß.

Man hat die durch die Verbrennung der Explosivstoffe entwickelten Wärmemengen bestimmt. Durch Multiplikation mit dem mechanischen Wärmeäquivalent von 425 kgm erhält man die Arbeit, welche durch vollständige Umsetzung dieser Wärme

in Arbeit geleistet werden würde. Für je 1 kg der einzelnen Explosivstoffe ergibt sich so:

	Kal	kgm
Sprenggelatine	1520	631 300
Nitroglycerin	1450	616 300
Gurdynamit	1090	463 300
Schießbaumwolle	1050	446 250
Pikrinsäure	800	340 000
Schwarzpulver	600—700	255 000—297 500
Knallquecksilber	400	170 000

Die tatsächlich geleistete Arbeit bleibt aber hinter diesen Zahlen zurück, weil, wie wir wissen, Wärme sich niemals vollständig in Arbeit umsetzt. — Bedenkt man, daß 1 kg Kohlenstoff bei der Verbrennung 8140 Kal entwickelt, 1 kg Petroleum sogar 11 000 Kal, so erscheinen die Arbeitsleistungen der Explosivstoffe recht mäßig. Ihre besonderen Wirkungen beruhen auf der großen Geschwindigkeit ihrer Verbrennung, welche sich in einem für die gewöhnliche Beobachtung unmerklich kurzen Augenblick vollzieht.

Kolloidchemie.

Was ist ein Kolloid? Kolloid heißt auf deutsch leimähnlich, also ist ein Kolloid offenbar ein Körper, der in seinem Verhalten irgendwie Ähnlichkeit mit dem Leim hat. Da entsteht nun die Frage: Was hat der Leim für besondere, charakteristische Eigenschaften? Sie werden sagen: Er klebt. Gut, aber um ihn zum Kleben zu benutzen, müssen wir ihn erst in Wasser auflösen, und hier zeigt sich ein abweichendes Verhalten gegenüber anderen in Wasser löslichen Stoffen. Bringen wir Zucker oder Salz in Wasser, so sehen wir, wenn wir nur ein wenig umrühren, wie die beiden festen Stoffe sich allmählich lösen, und bald haben wir statt ihrer klares Zucker- oder Salzwasser. Bringen wir dagegen eine Leimtafel in Wasser — wir wollen Gelatine nehmen, das ist ein besonders reiner Leim —, so beobachten wir etwas ganz anderes: die Tafel quillt im Wasser auf, sie wird größer und dicker und von einer Auflösung ist zunächst kaum etwas zu bemerken. Allmählich kommt es doch dazu, worüber freilich mehrere Tage vergehen können. Wenn wir aber durch Erwärmen nachhelfen, so erhalten wir auch in diesem Falle eine freilich ein wenig getrübe Lösung. Das ist nun gewiß nichts Neues, und diese, wie manche ähnliche Erscheinungen sind seit langer Zeit bekannt, ohne daß man ihnen aber wissenschaftlich nähergetreten wäre. Diesen Schritt tat zu Anfang der sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts Professor Thomas Graham in Glasgow. Er untersuchte das Verhalten verschiedener wässriger Lösungen gegen poröse Scheidewände wie Schweinsblase oder Pergamentpapier und fand, daß eine Salz- oder Zuckerlösung ungehindert durch eine solche hindurchgeht, eine Leimlösung aber nicht. Ebenso wie die Leimlösung verhalten sich Lösungen von Eiweiß, Stärke, Gummi und viele andere.

Solche Stoffe bezeichnete Graham, wegen der Ähnlichkeit ihres Verhaltens mit dem des Leims, als Kolloide, die anderen aber, wegen ihrer ausgesprochenen Kristallisationsfähigkeit, als Kristalloide. Das Hindurchgehen durch poröse Scheidewände nennt man Diffusion. Kristalloide diffundieren, Kolloide diffundieren nicht. Die Diffusion ist ein ausgezeichnetes Mittel zur Trennung von Kristalloiden und Kolloiden; die früher besprochene Gewinnung des Zuckersaftes beruht auf Diffusion. — Übrigens haben neuere Untersuchungen gezeigt, daß der Gegensatz zwischen Kolloiden und Kristalloiden kein absoluter ist: Kolloide zeigen ein freilich nur schwaches Diffusionsvermögen und sind auch zuweilen kristallinisch.

Ein weiterer Unterschied zwischen den beiden Arten von Lösungen zeigt sich in ihrem Verhalten gegen das Licht. Lassen wir mittels einer Linse, z. B. einer Lupe einen Kegel Sonnenlicht auf die Wand eines Glasgefäßes fallen, welches eine reine und vollkommen klare Salzlösung enthält, so bemerken wir nichts Auffallendes. Fällt aber derselbe Lichtkegel auf ein mit einer Gelatinelösung gefülltes Glas, so erblicken wir eine merkwürdige Erscheinung: da, wo das Licht in die Flüssigkeit eintritt, zeigt sich ein heller Kreis und im Innern wird die Flüssigkeit durchleuchtet, so daß der Lichtkegel sichtbar ist. Die Erscheinung wird nach dem englischen Physiker Tyndall als Tyndalleffekt bezeichnet. Sie erinnert in auffallender Weise an die uns allen bekannte Erscheinung der Sonnenstäubchen. Das Licht an sich können wir nicht sehen, was wir sehen, sind vom Lichte getroffene Gegenstände. So wird uns der Weg eines in das Zimmer eintretenden Bündels Lichtstrahlen dadurch sichtbar, daß auch in scheinbar staubfreier Luft zahllose Stäubchen schweben; sie sind so klein, daß sie sich für gewöhnlich der Wahrnehmung entziehen und erst bei scharfer Beleuchtung sichtbar werden. Die vollkommene Ähnlichkeit beider Erscheinungen weist auf eine gemeinsame Ursache. Sie führt zu dem Schlusse, daß eine Gelatinelösung nicht wie reines Wasser oder Salzwasser den von ihr eingenommenen Raum überall gleichmäßig erfüllt, sondern daß die Gelatineteilchen voneinander getrennt im Wasser schweben wie die Sonnenstäubchen in der Luft.

Da haben wir also zwei Arten von Flüssigkeiten, beide sind durchsichtig, und auch das stärkste Mikroskop läßt in ihnen keine

verschiedenartigen Bestandteile erkennen. Aber der Tyndallkegel überzeugt uns, daß in den kolloiden Lösungen gleichwohl solche vorhanden sind; sie entziehen sich nur durch ihre Kleinheit der direkten Beobachtung.

Nun gibt es aber noch eine dritte Art von Flüssigkeiten, welche sich von den bisher besprochenen schon durch ihre Undurchsichtigkeit unterscheiden. Ein Beispiel dafür ist die Milch. Zwar ihre Betrachtung mit dem bloßen Auge oder selbst mit einer Lupe läßt uns noch keine verschiedenartigen Bestandteile erkennen; unter dem Mikroskop aber sehen wir in einer klaren wässerigen Flüssigkeit, dem Serum, zahllose Fetttröpfchen schwimmen. Solche Aufschwemmung zweier Flüssigkeiten nennt man eine Emulsion, bei einer Flüssigkeit und einem festen Körper eine Suspension. Ein ähnliches Bild wie die Milch zeigt der Milchsaff mancher Pflanzen, wie der Wolfsmilch und der Kautschuk liefernden Pflanzen. Zu den Suspensionen gehört das Blut des Menschen und der höheren Tiere, welches aus einem farblosen Serum besteht, in dem Millionen mikroskopischer roter, neben einer kleineren Anzahl farbloser Blutkörperchen schwimmen.

Wir haben also zu unterscheiden: Suspensionen und Emulsionen, kolloidale Lösungen und echte oder wahre Lösungen. Die Suspensionen und Emulsionen lassen unter dem Mikroskop die Anwesenheit getrennter Teilchen erkennen; bei den kolloidalen Lösungen konnte auf solche nur indirekt aus dem Tyndalleffekt geschlossen werden.

Im Jahre 1903 gelang es R. Zsigmondy in Verbindung mit H. Siedentopf, diese Lücke auszufüllen, indem sie die unter dem Mikroskop zu untersuchende Lösung von der Seite grell beleuchteten, wodurch die fraglichen Teilchen in der Tat nach Art der Sonnenstäubchen sichtbar wurden. Es entstehen dadurch sogenannte Beugungsbilder, welche zwar die Gestalt der einzelnen Teilchen nicht genau wiedergeben, aber ihre Anwesenheit deutlich erkennen lassen. Diese zeigen meist lebhafte Farben und eine zitternde Bewegung, die zuerst der englische Botaniker Brown an sehr feinen Suspensionen beobachtet hat, und die nach ihm als Brownsche Bewegung bezeichnet wird. Zsigmondy und Siedentopf haben durch das von ihnen erfundene Ultramikroskop die Grenze noch sichtbarer Teilchen

von etwa 500 Millionstel Millimeter auf etwa 10 Millionstel Millimeter hinausgerückt.

Kolloidale Lösungen zeigen aber noch andere Eigentümlichkeiten. Lösen wir einen kristallisierbaren Stoff in Wasser auf, so machen wir in der Regel die Erfahrung, daß dieses bei höherer Temperatur mehr davon aufnimmt, als bei niederer. Der gewöhnliche Salpeter zeigt diesen Unterschied besonders stark. Machen wir uns davon eine heiß gesättigte Lösung und lassen sie erkalten, so scheidet sich, wie wir das schon früher beobachteten, der größte Teil des Salpeters wieder aus, und zwar in deutlichen Kristallen. — Eine heiß gesättigte Gelatinelösung zeigt beim Erkalten ein ganz anderes Verhalten: sie kristallisiert nicht, sondern sie erstarrt zu einer durchsichtigen oder durchscheinenden Gallerte. Darauf beruht bekanntlich die Anwendung der Gelatine in der Küche.

Der kolloidale Zustand ist aber nicht auf flüssige Körper beschränkt. Nebel und Wolken sind kolloidale Gebilde aus Luft und sehr feinen Wassertröpfchen, Rauch eine Vereinigung von Luft mit ebenso feinen Teilchen fester Stoffe. Und von gewissen gefärbten Mineralien weiß man schon lange, daß sie an sich farblos sind und ihre schöne Färbung nur der Anwesenheit sehr kleiner Mengen von Metalloxyden verdanken. So ist der als Edelstein geschätzte Rubin, wie ich schon früher erwähnte, Aluminiumoxyd mit 0,2 bis 0,3 Proz. Chromoxyd. Das an sich farblose Steinsalz ist zuweilen tief blau gefärbt, und es konnte der Nachweis geführt werden, daß es die blaue Farbe der Anwesenheit sehr kleiner Mengen metallischen Natriums verdankt. Glasflüsse lösen fein verteiltes Gold auf und geben damit bei geeigneter Behandlung das zarte, durchsichtige Goldrubinglas. 1 Tl. Gold auf 100 000 Tle. Glas gibt noch ein schönes Rosa. Das Ultramikroskop aber erweist Rubinglas zweifellos als kolloide Lösung von metallischem Gold in Glas. — Die eben angeführten Beispiele zeigen, daß kolloidale Lösungen zuweilen lebhaft und charakteristisch gefärbt sind. Auch die roten und gelben Töne des Abend- und Morgenhimmels und sogar die blaue Farbe des klaren Tageshimmels erklärt man jetzt auf entsprechende Weise.

Ich bemerke noch, daß zwischen Suspensionen und Emulsionen, kolloidalen und echten Lösungen keine scharfen Grenzen

bestehen. Und dann soll man eigentlich nicht von kolloiden Körpern sprechen, sondern von kolloiden Zuständen. Wie ein und derselbe Körper den festen, flüssigen oder gasförmigen Zustand annehmen kann, so kann auch ein und derselbe Körper je nach den Umständen kolloid sein oder nicht.

Wir gingen bei unserer Betrachtung vom Leim aus, und ich sagte Ihnen, daß Lösungen von Eiweiß, Stärke, Gummi usw. in ihren kolloidalen Eigenschaften sich den Leimlösungen anschließen. Diese Stoffe sind nun die wichtigsten Bestandteile der tierischen und pflanzlichen Lebewesen, und so kommt es, daß alle Vorgänge des organischen Lebens sich in kolloidalen Lösungen abspielen. Die Erkenntnis der Gesetze dieser Lösungen bahnt daher den Weg zu einem tieferen Eindringen in die Rätsel des Lebens. Daß kosmische, irdische Erscheinungen und selbst technische Prozesse durch sie eine deutlichere Beleuchtung gefunden haben, auch dafür sind uns bereits Beispiele begegnet. Auf technischem Gebiet ist die Ausbeute besonders reich, die Dinge liegen aber hier meist ziemlich kompliziert, und ich muß mich auf Andeutungen beschränken. Um mit dem uns am nächsten Liegenden zu beginnen, erwähne ich, daß bei der Herstellung unserer Nahrungs- und Genußmittel überall kolloidchemische Vorgänge eine Rolle spielen. So beruht das Backen und Altwerden des Brotes auf dem kolloidalen Verhalten der Mehlbestandteile; und Kaffee, Tee, Bier, Wein sind zweifellos kolloidale Lösungen. Dasselbe gilt von den Seifelösungen: die Ursache ihres Waschvermögens war Jahrzehnte hindurch ein Rätsel ohne befriedigende Lösung, bis diese in der Erkenntnis ihres kolloidalen Verhaltens gefunden wurde.

Die Herstellung von Celluloid, von Kunstseide und rauchlosem Pulver beruht ganz auf der Quellbarkeit von Cellulose, von nitrierten Cellulosen und ähnlichen Verbindungen in organischen Lösungsmitteln. — Die Verarbeitung von Lehm und Ton zu Ziegeln, Ton- und Porzellanwaren beruht auf ihrer Bildsamkeit, und diese ist wieder eine Folge ihrer kolloidalen Beschaffenheit. Die Erkenntnis dieses Verhältnisses hat in neuester Zeit zu wichtigen technischen Fortschritten geführt. Auch beim Erhärten des Zements spielen neben chemischen Prozessen, wie man jetzt weiß, die kolloidalen Eigenschaften des Zementmörtels eine wesentliche Rolle.

Ferner werden jetzt die verschiedenen technischen Eisen- und Stahlsorten, sowie die Abhängigkeit ihrer Eigenschaften von der Korngröße und von der Bindung des Kohlenstoffs kolloidchemisch betrachtet.

Durchaus in das Gebiet der Kolloidchemie gehören ferner die Färberei und Gerberei, sowie die Tinten; auch die Emulsionen der photographischen Platten und die Druckfarben für graphische Vervielfältigung sind kolloidale Gebilde. — Ein Stoff, bei dessen Gewinnung und Verarbeitung seine kolloiden Eigenschaften eine besonders wichtige Rolle spielen, ist endlich der Kautschuk.

Namen- und Sachverzeichnis.

- Acetatseide 149.
Acetylen 86, 104, 108, 168.
Achard 130.
Ätherische Öle 65.
Äthylen 104.
Ätzkali 124, 165.
Ätznatron 45, 163.
Aggregatzustände 27.
Albit 162.
Alkalimetalle 162.
Alkalische Erdmetalle 167.
Alkaloide 65.
Alkohol 74, 133.
Alkohol aus Holzfaser 139.
Alpaka 142.
Aluminium 191 ff.
Aluminiumbronzen 186.
Amalgamation 191.
Amalgame 191.
Ammoniak 84 ff.
Ammoniak aus den Elementen 89.
Ammoniak-Sodaverfahren 164.
Ammoniakwasser 110.
Ammonium, schwefelsaures 81.
Ammonsulfat 81, 84, 110.
Amylalkohol 138.
Angoraziege 142.
Anthracen 110.
Apfelwein 134.
Argon 175.
Arrak 137.
Assimilation 64.
Atmungsprozeß 31.
Atmosphärische Luft 54 ff., 60.
Atomgewichte 39.
Atomtheorie 38.
Auer von Welsbach 108.
Autogenes Schweißen und Zerschneiden 23.
Autoklavenverseifung 126.
Bad. Anilin- und Sodafabrik 87, 90 f.
Bakterien 140.
Barium 167, 193.
Basen 45 ff.
Basen, ein- und mehrsaurige 51.
Baumwolle 142 ff.
Baumwollkernöl 142.
Bauxit 192.
Bazillen 140.
Becquerel, Henri 177.
Bernsteinsäure 133.
Benzin 116.
Benzol 104, 108, 110 f.
Berzelius 39.
Bessemer 182.
Bessemerbirne 182.
Bienenwachs 127.
Bier 135 ff.
Biere, obergärige 136.
—, untergärige 136.
Biosen 128.
Birkeland, Christ. 87.
Bittersalz 169.
Blausäure 161.
Blei 186.
Bleiazid 202.
Bleiglanz 4, 186.
Bleikammerprozeß 44.
Bleichprozeß 143.
Bleiweiß 187.
Blut, arterielles 63
—, Kreislauf 63.
—, venöses 63.

Böttger, Rudolf 118.
 Bosch, K. 90.
 Braunstein 12, 35, 197, 199.
 Brauneisenstein 4.
 Braunkohlenbriketts 110.
 Brennstoffe 101 ff.
 Brisanz 205.
 Brom 152, 158.
 Bronzen 186, 188.
 Brown 209.
 Brownsche Bewegung 209.
 Brotbäckerei 139.
 Buchner, Ed. 134.
 Bunsen 104, 171.
 Bunsenbrenner 104.
 Butter 123.
 Buttersäure 121 f., 140.
 Buttersäuregärung 140.
Cäsium 162, 171.
 Calcium 167, 193.
 Calciumcarbid 86, 168.
 Calciumcarbonat 52, 95.
 Calciumcyanamid 86.
 Calciumhydroxyd 47.
 Calcium, schwefelsaures 95, 168.
 Calciumsulfat 52.
 Carbonsäure 110.
 Carbonate 52.
 Carnallit 153, 169.
 Caro, Nic. 86.
 Casein 123.
 Cavendish, Henry 87.
 Celluloid 149, 203, 211.
 Cellulose 65, 143 ff., 202.
 Cellulosenitrate 202.
 Cerium 118.
 Chancel 117.
 Chemische Elemente 32.
 — Formeln 39.
 — Gleichungen 39.
 — Verwandtschaft 23.
 Chilisalpeter 80 ff.
 Chlor 48, 152 ff.
 Chlorkalcium 19, 51.
 Chlorkalk 158.
 Chlornatrium 49, 153.
 Chlorsaures Kalium 11, 157.
 Claude 91.
 Cowpersche Winderhitzer 181.
 Curie 177.
 Cyankalium 161.
 Cyannatrium 161.

Dalton 38.
 Dachpappe 110.
 Destillation 94.
 —, trockene 81, 102.
 Dewarsche Gefäße 57.
 Dextrin 135.
 Diastase 135.
 Dichte der Gase 9, 14.
 Diffusion 130, 208.
 Doebereiner 117.
 Dolomit 169.
 Doppelt kohlensaures Natrium 139,
 164.
 Dowsongas 115.
 Drummondsches Kalklicht 23, 106.
 Dulcin 132.
 Düngemittel, künstliche 77 f.
 Dynamit 204.
Edelgase 175 f.
 Eierschalen 168.
 Eisen 118, 180 ff.
 —, Verbrennung 18.
 Eisenerze 180.
 Eiweißkörper 65, 72, 75.
 Elektrolytkupfer 185.
 Elemente, ein- und mehrwertige 50.
 Emaillen 188, 199.
 Emanation 178.
 Emulsion 209.
 Engler 117.
 Entflammungspunkt 116.
 Entstehungszustand 166 f.
 Enzyme 134.
 Erdöl, Entstehung 116.
 Erdwachs 127.
 Erhaltung der Energie 67.
 — des Stoffes 34.
 Erze 4.
 Essig 140 f.
 Essigsäure 140.
 Ester 121.
 Experiment 4.
 Explosivstoffe 200 ff.
 Eyde, Sam. 87.
Fangoschlamm 179.
 Färberei 212.
 Farbenfabr., vorm. Friedr. Bayer
 & Co. 92.
 Farbstoffe, künstliche 110.
 Faserstoffe 142 ff.

- Faserstoffe, chemischer Charakter 150.
 —, Verhalten zu den Farbstoffen 150f.
 Fayence 194f.
 Fermente 134.
 Fette 65, 71, 120ff.
 Fetthärtung 126.
 Fette, Ranzigwerden 122.
 Fettsäuren 99, 120ff.
 Feuerstein 117.
 Fibroin 147.
 Fick 74.
 Fixsterne, Entfernung 174.
 —, Spektrum 173f.
 —, Temperatur 174.
 Flamme, Ursache des Leuchtens 105ff.
 —, Wesen der 105.
 Flüchtige Öle 65.
 Flüssige Luft 56ff., 205.
 Fluor 152, 160.
 Fluorwasserstoffsäure 160f.
 Flußspat 160.
 Frank, Ad. 86.
 Fraunhofer 170.
 Fraunhofersche Linien 170, 172f.
 Fruchtzucker 128f.
 Fuselöle 138.
- G**ärung 132ff.
 —, zellfreie 134.
 Galaktose 129, 140.
 Gasbomben 15.
 Gase, Eigenschaften 56.
 Gasexplosionen 109.
 Gasglühlicht 108.
 Gasöle 127.
 Gaswasser 102.
 Geisslersche Röhren 172, 175.
 Generatorgas 91, 111.
 Gerberei 212.
 Geschößtreibmittel 200.
 Gilchrist 183.
 Gips 49, 53, 95, 163.
 Glanzstoff 149.
 Glas 196ff.
 Glaubersalz 49, 52, 165.
 Glycerin 120, 133.
 Glycerinnitrat 204.
 Gold 189f.
 Goldrubinglas 210.
 Goldschmidt, Hans 192.
 Graham, Thomas 207f.
 Grubengas 103.
- Grudekoks 127.
 Grünspan 185.
 Guano 77, 80.
 Gußstahl 182.
 Guye, Phil. 88.
- H**aber, Fr. 89f.
 Härte des Wassers 94.
 —, bleibende 96.
 —, vorübergehende 96.
 Halogene 152f.
 Haloidsäuren 157.
 Haloidsalze 157.
 Hanffaser 142.
 Hanföl 122.
 Harnsäure 75.
 Harnstoff 75.
 Hartblei 187.
 Harzseifen 125.
 Hecheln 144f.
 Hefe 134, 136.
 Heilmittel, künstliche 110.
 Helium 175.
 Hellriegel 79.
 Helmholtz, Hermann 67.
 Hexosen 129.
 Hirschhornsalz 85, 139.
 Hochofen 180.
 Holzessig 141.
 Holzfaser 142, 144.
 Holzschliff 145.
 Hopfen 135.
 Hydrogenium 10.
- I**mprägnieröle 110.
 Infusorienerde 204.
 Initialzündmittel 200.
 Inkrustierende Substanzen 145.
 Isomerie 128.
- J**od 152, 159.
 Joule 69.
 Jutefaser 142.
- K**ainit 153, 169.
 Kältemischung 28.
 Kalifeldspat 165, 191, 194.
 Kalisalpeter 165.
 Kalisalze 78, 153.
 Kalium 47, 165ff.
 Kalk, Löschen 3.
 Kalkstein 167.

- Kalkstickstoff 86f., 168.
 Kalktuff 96, 168.
 Kalomel 191.
 Kalorie 68.
 Kamelhaare 142.
 Kammerer 117.
 Kaolin 191, 194.
 Kaschmir 142.
 Katalysatoren 90.
 Katalyse 90.
 Katalytische Prozesse 44.
 Kautschuk 212.
 Kernseifen 124.
 Kerzenfabrikation 126.
 Kesselstein 96f., 168.
 Kieselgur 204.
 Kippischer Apparat 13, 19, 25, 89.
 Kirchhoff 171f.
 Kirschbranntwein 137.
 Knallgas 22.
 Knallquecksilber 202.
 Knochenasche 77.
 Knochen, Bestandteile 78.
 Knorpelsubstanz 78.
 Kobalt 192.
 Kochsalz 49, 72.
 Kognak 137.
 Kohle, Verbrennung 24.
 Kohlendioxyd 44.
 Kohlenhydrate 71.
 Kohlenoxyd 86, 104, 110 ff.
 Kohlensäure 25ff., 44, 55.
 —, flüssige 27.
 —, feste 28.
 Kohlensaures Calcium 167, 196.
 — Kalium 165.
 — Magnesium 169.
 — Natrium 162ff.
 Kohlenstoff 29.
 Kohlen, Vergasung 102ff.
 Kohlenwasserstoffe, schwere 104, 108.
 Koks 102, 110.
 Kokosfett 123.
 Koksgewinning 111.
 Kolloidumwolle 148, 202.
 Kolloidchemie 207ff.
 Kolloide 208.
 Komplettime 73.
 Konstante Proportionen 35.
 Kontaktverfahren 44.
 Konzentrationsstein 184.
 Korallen 168.
 Korund 192.
 Kraftgas 115.
 Kreide 168.
 Kristalle 52.
 Kristallisation 52.
 Kristalloide 208.
 Kristallwasser 53.
 Kritischer Druck 56.
 Kritische Temperatur 56.
 Kryolith 160, 192.
 Krypton 175.
 Kunsthonig 129.
 Kunstseide 142, 148, 203, 211.
 Kupfer 183ff.
 Kupfererze 183.
 Kupferkies 4, 183.
 Kupferoxyd 24.
 Kupferoxydul 36.
 Kupferstein 184.
 Kupfervitriol 53.
Lackmus 17.
 Lagerbiere, untergärige 136.
 Lanolin 122, 147.
 Lebertran 124.
 Leblanc, Nicolas 163.
 — - Prozeß 164.
 Lehm 192.
 Leimen des Papiers 146.
 Leinenfaser 142, 144.
 Leinöl 122, 144.
 Leinölsäure 121.
 Leistungen der Explosivstoffe 206.
 — des Organismus 66ff.
 Letternmetall 187.
 Leuchtgas 102ff.
 —, Explosionsfähigkeit 109.
 —, Giftigkeit 110.
 Leuchtöl 116.
 Liebig, Justus 74, 77, 80.
 Ligninsubstanzen 145.
 Liköre 138.
 Linde, Carl 56.
 Lithium 162.
 Löslichkeit 52.
 Luftgas 91, 111f.
 Luftverbrennung 87ff.
Magnesia, gebrannte 169.
 Magnesium 167, 168f., 193.
 Magnesiumbicarbonat 95.
 Magnesiumoxyd 169.

- Magnesium, Verbrennung 2.
 Majolika 195.
 Malz 135.
 Malzzucker 135
 Margarine 123.
 Marggraf 130.
 Marmor 167.
 Maschinenschmieröle 116.
 Masut 116.
 Mauersalpeter 166.
 Mayer, Robert 67.
 Mechanisches Wärmeäquivalent 69.
 Meerwasser, Salzgehalt 93.
 Mège-Mouriès 123.
 Melasse 131, 138.
 Mennige 187, 197.
 Mergel 168.
 Messing 186.
 Metallgewinnung 180.
 Methan 103f., 108.
 Milch 123, 140, 209.
 —, Sauerwerden 140.
 Milchglas 188, 199.
 Milchsäure 140.
 Milchsäuregärung 140.
 Milchzucker 123, 129, 140.
 de Milly, Ad. 125.
 Mineralöle 122.
 Mineralstoffe, Bedarf der Lebewesen
 an 76:
 Mineralwasser 94.
 Mischgas 115.
 Mohär 142.
 Mohnöl 122.
 Moissan, Henri 160.
 Molekel 49.
 Molekül 49.
 Monosen 128.
 Multiple Proportionen 37.
 Muschelschalen 168.

Nahrungsmittel 71f.
 Nahrungsstoffe, stickstofffreie 71.
 —, stickstoffhaltige 72.
 Nahrungsstoffe, Verbrennungswärmen
 74.
 Naphthalin 104, 108, 110.
 Natrium 45, 162ff.
 —, neutrales schwefelsaures 50.
 —, saures schwefelsaures 50.
 Natriumbicarbonat 164.

 Natriumhydroxyd 47, 163.
 Natriumnitrat 52.
 Natron 30, 45.
 Natronfeldspat 162.
 Natronlauge 45.
 Natronzellstoff 145.
 Napoleon III. 123.
 Naturgeschichte 1.
 Naturlehre 2.
 Nebelflecke 174.
 Neon 175.
 Nernst 88f.
 Nesselfaser 142.
 Neusilber 193.
 Newton, Isaac 170.
 Nickel 192f.
 Nickelmünzen 193.
 Nitrate 51.
 Nitroglycerin 120, 204.
 Noah 132.
 Nobel, Alfred 204.
 Nordlicht, Spektrum 176.
 Norgesalpeter 89.
 Nußöl 122.

Öle 65, 121f.
 —, trocknende 122.
 Ölgas 127.
 Ölsäure 121, 126.
 Olivenöl 123.
 Organische Verbindungen 63.
 Orthoklas 165.
 Ostwald, Wilh. 92.
 Oxydation 23, 63.
 Oxygenium 8.
 Oxyliquit 205.

Palmitinsäure 121.
 Palmkernöl 123.
 Palmöl 123.
 Paraffin 127.
 Pasteur 134.
 Patina 185.
 Pattinsonieren 187.
 Pech 110.
 Pechblende 177.
 Pentosen 129.
 Permanente Gase 56.
 Permutitverfahren 98.
 Petroleum 115f.

- Petroleumrückstände 116.
 Pettenkofer, Max v. 61, 74.
 Pflanzenbasen 65.
 Pflanzenfasern 142.
 Pflanzensäuren 65.
 Physik 2.
 Phosphor, Verbrennung 17.
 Phosphorbronzen 186.
 Phosphorite 78.
 Phosphorsäure 44.
 Phosphorsaures Calcium 77, 168.
 Pikrinsäure 205.
 Platin 2, 189f.
 Polonium 177.
 Porzellan 194f.
 Porzellanerde 191.
 Pottasche 124, 146, 165, 196.
 Protuberanzen 173.
 Pyrit 117.
- Q**uartz 194, 196.
 Quecksilber 190f.
 Quecksilberoxyd 8, 36.
 Quecksilberoxydul 36.
- R**adioaktivität 177f.
 Radium 177.
 Raffinatkupfer 184.
 Raffinerie 130.
 Ramsay, William 175.
 Rauchschwaches Pulver 202, 211.
 Rayleigh 175.
 Reduktion 24.
 Regenerativsystem 114.
 Retortenkohle 110.
 Ricinolsäure 121.
 Ringöfen 195.
 Roheisen, graues 181.
 —, weißes 181.
 Rohrzucker 128f.
 Rohrzucker 130.
 Rossignol, Le 89f.
 Rubidium 162, 171.
 Rubin 192, 210.
 Rübenzucker 130ff.
 Rüböl 123.
- S**accharin 132.
 Säuren 42.
 —, ein- und mehrbasische 49.
- Salmiak 84.
 Salpeter 165.
 Salpeterplantagen 166.
 Salpetersäure 50, 82ff.
 — aus Ammoniak 92.
 Salpetersaures Strontium 169.
 Saponin 125.
 Salzbildung 48.
 Salze 49.
 Salzsäure 47, 156.
 Salzsäure im Magensaft 79.
 Salzsolen 94.
 Sauerstoff 8.
 Schafwolle 142, 146.
 Scheidewasser 189.
 Schießbaumwolle 202.
 Schlempe 137.
 Schlempekohle 131, 165.
 Schmalzarten 123.
 Schmiedeeisen 182.
 Schmieröle 127.
 Schmierseifen 124.
 Schmirgel 192.
 Schneckenhäuser 168.
 Schönbein 202.
 Schönherr, Otto 88.
 Schott und Genossen 196.
 Schrotblei 187.
 Schwarzkupfer 184.
 Schwarzpulver 200f., 203.
 Schwefel, Verbrennung 16.
 Schwefelkupfer 5.
 Schwefelsäure 42.
 —, rauchende 44.
 Schwefelsaures Calcium 49.
 — Natrium 49, 162, 165.
 — Zink 51.
 Schwefelwasserstoff 103.
 Schweflige Säure 42.
 Schwelkohle 127.
 Schwefelsaures Magnesium 169.
 Seide 142, 147.
 Seidenleim 147.
 Seifen 124.
 Serpentin 169.
 Sicherheitssprengstoffe 205.
 Sicherheitszündhölzer 118.
 Siedentopf, H. 209.
 Siemens, Friedr. 114.
 Siemens-Martin-Ofen 183.
 Siemens, Werner 14.
 Silber 189f.

- Silberblick 186.
 Silicium 193.
 Smalte 192.
 Soda 163 f.
 Solvay, Ernest 164.
 Sonnenblumenöl 122.
 Sonne, physische Beschaffenheit 173.
 Speckstein 169.
 Spektralanalyse 170 ff.
 Spiegeleisen 181.
 Spiritusbrennerei 138.
 Sprengstoffe 110, 200, 203 ff.
 Stärke 65.
 Stärkesirup 129.
 Stärkezucker 129.
 Stahl 182.
 Stalldünger 80.
 Status nascendi 166 f.
 Stearinkerze, Verbrennung 29.
 Stearinsäure 99, 121, 126.
 Steingut 194 f.
 Steinkohlenbriketts 110.
 Steinsalz, blaues 210.
 Steinzeug 194.
 Sterilisieren 134.
 Stickoxydgas 83.
 Stickstoff 55.
 —, Kreislauf 79 f.
 —, Verwertung des atmosphärischen 86.
 Stickstoffdioxid 83.
 Stoffwechsel 66.
 Strontium 167.
 Sublimat 191.
 Süßstoffe, künstliche 132.
 Sulfat 196.
 Sulfate 51.
 Sulfatzellstoff 146.
 Sulfite 51.
 Sulfitzellstoff 145.
 Sumpfgas 103 f.
 Superphosphat 78.
 Suspension 209.
 Synthese 21.
- T**algarten 123.
Tauröste 144.
Teer 102, 110.
Thermitverfahren 192.
Thomas 182.
Thomasmehl 78, 183.
Thomaschlacke 78, 183.
- Töpfergeschirr 194 f.
 Ton 191, 194.
 Tonwaren 194 f., 211.
 Traubenzucker 128 f., 133, 140.
 Treibherd 186.
 Trinitrotoluol 205.
 Trinkbranntweine 137.
 Tropfstein 96, 168.
 Tyndall 208.
 Tyndalleffekt 208.
- Ü**berfangglas 199.
 Ultramikroskop 209.
 Uran 177.
- V**aselin 116, 122.
 Vegard 176.
 Ventilation 62.
 Verbindungsprozesse 5.
 Verdorbene Luft 61.
 Vertretungsprozesse 11.
 Verwesung 80.
 Vieille 203.
 Viskoseseide 149.
 Vitamine 73.
 Voit 74.
- W**ärmeeinheit 68.
 Wasser, destilliertes 94.
 —, hartes 94.
 —, weiches 94.
 —, Elektrolyse 10.
 —, Enteisung 100.
 —, Enthärtung 97 f.
 —, Kreislauf 93.
 — und Seife 99.
 — durch Verbrennung von Wasserstoff 19.
 Wassergas 91, 114.
 Wasserröste 144.
 Wasserstoff 10, 19.
 — im Leuchtgas 103 f.
 Wasserstoffsperoxyd 35.
 Wein 132.
 Weinessig 141.
 Weinstein 139.
 Weinsteinensäure 133.
 Werkblei 187.
 Wilde Seiden 148.
 Wislicenus 74.

Wöhler, Friedr. 86, 192.

Wollfett 122, 146.

Wollschweiß 146, 165.

Xenon 175.

Zement 168.

Zeolithe 98.

Zersetzungsprozesse 8.

Ziegel 194f.

Zink 188.

—, schwefelsaures 13.

Zinkblende 4, 188.

Zinkentsilberung 187.

Zinkerze 188.

Zinkvitriol 51.

Zinn 188.

Zinnober 190f.

Zinnstein 188.

Zsigmondy, R. 209.

Zucker 65, 128ff.

Zündmittel 117.

Zwetschenbranntwein 137.

Zymase 134.

Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn, Akt.-Ges., Braunschweig

Prof. Dr. A. Bernthsen:
**Kurzes Lehrbuch
der organischen Chemie**

16. Auflage / XV, 700 Seiten. 8° / 1924
M 10.—, gebunden M 12.—

Prof. Dr. Ferdinand Henrich:
**Theorien
der organischen Chemie**

Fünfte weitgehend umgearbeitete Auflage
Mit 29 Abbildungen / VIII, 515 Seiten. gr. 8° / 1924
M 17.50, gebunden M 19.50

Prof. Dr. Werner Mecklenburg:
Kurzes Lehrbuch der Chemie

Zweite Auflage
Zugleich 13. Auflage von Roscoe-Schorlemmers
Kurzem Lehrbuch der Chemie / Mit 100 Abbild.
XVI, 793 Seiten. gr. 8° / 1924
M 20.—, gebunden M 23.—