WYŻSZEJ SZKO
Nr inw.

Poske-Bavink

Unterstufe der Physik

ag von Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges.
Braunschweig

V7:396227
XX005045926

Biblioteka Gł AWF w Krakowie

1800069350

53960

BIBLIOTEKA
WYŻSZEJ SZKOŁY WYCHOWANIA FIZYCZNEGO
w KRAKOWIE
Nr inw. ——

Unterstufe der Physik

nach A. Höflers Naturlehre für die höheren Lehranstalten in sieben Auflagen bearbeitet von

Friedrich Poske †

In achter Auflage bearbeitet

von

Prof. Dr. Bernhard Bavink

Studienrat in Bielefeld

(erweitert durch einen Anhang: Chemische Erscheinungen)

Mit 371 Abbildungen

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

Braunschweig 1926

1339

Alle Rechte vorbehalten

53(075.8)(076)

Vorwort.

Die vorliegende achte Auflage der altbekannten und bewährten Unterstufe des Höfler-Poskeschen Lehrbuchs, deren Erscheinen alsbald nach Fertigstellung der neuen Oberstufe nötig wurde, ist nicht, wie diese letztere, eine völlige Neubearbeitung, sondern hat in der Hauptsache den alten Text bewahrt. Mit Rücksicht auf die Unterrichtsreform erwies es sich jedoch als nötig, vieles umzustellen, manches etwas zu kürzen oder zu erweitern und alles in allem das Buch noch etwas mehr den Anforderungen des „Arbeitsunterrichts" anzupassen. Wenn im Vorwort der Oberstufe der Bearbeiter den Satz vertreten hat, daß man die systematische Darstellung des physikalischen Lehrgebäudes der Oberstufe nicht mit der Methodik der Schülerübungen belasten sollte, diese vielmehr ihre eigene Darstellung in geeigneten Büchern oder Heften finden sollten, so liegt die Sache bei der Unterstufe etwas anders, wie auch die Lehrpläne in richtiger Erkenntnis der Sachlage deutlich durchschimmern lassen, insofern sie die „eingebaute" Schülerübung nur für die Unterstufe ausdrücklich vorschreiben. Hier soll der Schüler in der Tat, soweit es eben geht, auf Grund eigener Tätigkeit und eigener Anschauung die notwendigen Grundbegriffe erst erarbeiten. Ich habe deshalb die „Übungen", von denen schon der alte Poskesche Text eine ganze Anzahl hatte, die ich dann in der Ausgabe C bereits wesentlich erweitert hatte, worauf Poske in den letzten Auflagen wiederum von hier eine Reihe übernahm, nochmals wesentlich erweitert und sorgfältiger verteilt, so daß man überall reichlich genug Stoff für die Selbstbetätigung der Schüler finden wird (Hinweis durch *, auch innerhalb des Textes). Das Lehrbuch auch noch mit der ausgeführten Methode der Schülerübung zu belasten, erschien mir aber auch hier nicht richtig, einmal, weil der Lehrer dadurch unnötig gebunden wird, zum anderen, weil der Umfang des Textes dadurch stark angeschwollen wäre (weshalb manche neueren

Lehrbücher zur Teilung übergegangen sind. Diese halte ich mit Rücksicht auf die Möglichkeit, später einmal wieder etwas nachzusehen oder zu ergänzen, für ganz verfehlt).

Die in den früheren Ausgaben stehenden „Denkaufgaben" sind bis auf einige wenige erhalten geblieben, jedoch unter die betreffenden Paragraphen zu den „Übungen" gestellt, so daß diese sowohl theoretisches wie praktisches Aufgabenmaterial enthalten.

Ich habe ferner lange geschwankt, ob ich das von Hahn und anderen befürwortete und eingeschlagene Verfahren der Stoffgruppierung — nicht systematische Ordnung, sondern Gruppierung um bestimmte „Konzentrationspunkte" — auch wählen sollte, was dann natürlich eine viel radikalere Umgestaltung bedingt hätte, habe mich jedoch schließlich entschlossen, es zu unterlassen, denn so vieles auch dafür spricht, im praktischen Unterricht diese Methodik zu befolgen: es wird ja kein Lehrer gehindert, auch an der Hand eines systematisch geordneten Lehrbuchs durch geeignete Auswahl der Paragraphen seinen Unterricht so zu gestalten (was natürlich wiederum nur bei ungeteiltem Text möglich ist), und er wird dann andererseits nicht an die vom Lehrbuchverfasser eingeschlagene Anordnung gebunden. Auch mit dem vorliegenden Buche mag also der Lehrer z. B. zuerst die Eigenschaften der festen Körper in der Reihenfolge: Volumenmessung, Ausdehnung durch die Wärme, Elastizität usw. durchnehmen, wenn er das für richtig hält. Der Text wird ihn daran nicht behindern. Im übrigen ist der Text Poskes, wie mir ein Kollege mit Recht schrieb, an vielen Stellen bereits geradezu klassisch geworden, ich mochte ihn deshalb nicht unnötig ändern, habe jedoch an vielen Stellen den bereits von mir redigierten der Ausgabe C übernommen, insbesondere die Elektrizitätslehre stammt fast ganz daher, und die Mechanik der Gase ist ganz neu bearbeitet.

Leider erwies es sich wiederum als außerordentlich schwer, die Bedürfnisse der Vollanstalten mit denen der Nichtvollanstalten zu vereinigen. Die letzteren wollen manches noch im Lehrbuch vorfinden, was die ersteren unbedingt der Oberstufe vorbehalten wollen. Einen großen Teil dieses strittigen Stoffes habe ich in eine Anzahl Anhänge verwiesen, von denen in der Ausgabe B der Anhang „Chemische Erscheinungen" weggelassen worden ist. Alles ließ sich natürlich so nicht aufteilen, sondern manches mußte in den Text übernommen werden, was an sich an einer Vollanstalt besser auch der Oberstufe

vorbehalten bleibt. In einem Punkte schien mir und vielen anderen Freunden des Lehrbuchs die Poskesche Textgestaltung zu radikal beschnitten zu sein: eine kurze Darstellung der Dispersion und der Grundlagen der Spektralanalyse sollte meines Erachtens auch in keiner Unterstufe fehlen, ich habe den Text der Ausgabe C deshalb hier eingefügt. — Die vier physikalischen Anhänge behandeln die Grundbegriffe der Astronomie, die grundlegenden quantitativen Stromgesetze (Ohm und Joule), die einfachsten Erscheinungen der Korpuskularstrahlung und das Radiowesen in einer ganz elementaren Darstellung. Ihnen gesellt sich als fünfter der chemische Anhang zu, den beizubehalten richtig schien, weil nach wie vor eine große Zahl von Anstalten, nämlich außer den Nichtvollanstalten auch die Gymnasien, nur einen einzigen Halbjahrskursus Chemie im Lehrplan haben, und diese Anstalten erfahrungsgemäß ungern ein besonderes chemisches Lehrbuch hierfür anschaffen. Ich habe diesen Anhang unter ausgiebiger Benutzung des von mir verfaßten Textes der Ausgabe C ganz neu gestaltet und hoffe, daß er ebenso wie der letztere den Beifall der Fachgenossen finden wird. Die (möglichst einfache) Schülerübung bildet auch hier einen wesentlichen Bestandteil des neuen Textes.

So möge denn auch diese neue Ausgabe die alten Freunde befriedigen und neue hinzugewinnen.

Bielefeld, im Herbst 1926.

B. Bavink.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Einleitung 1
I. Naturerscheinungen 1
II. Naturlehre 1

I. Mechanik. (Erster Teil.)

A. Körper und Stoffe.

§ 1. Die drei Formarten (Aggregatzustände) 2
§ 2. Längen-, Flächen- und Raummaße 5
§ 3. Bestimmung des Volumens 5

B. Einige Erscheinungen der Schwere.

§ 4. Gewicht und Fallbewegung 6
§ 5. Absolutes und spezifisches Gewicht 8
§ 6. Gewicht der Luft 10

C. Von der Bewegung. (Erster Teil.)

§ 7. Bewegung und Ruhe der Körper 11
§ 8. Zeitmessung 11
§ 9. Geschwindigkeit. Gleichförmige Bewegung 12

D. Von den Kräften.

§ 10. Die beiden Hauptwirkungen der Kräfte 13
§ 11. Trägheits- und Beharrungsgesetz 14
§ 12. Bewegungshindernisse 16
§ 13. Messung der Kräfte 16

E. Einfache Maschinen.

§ 14. Rolle und Flaschenzug 18
§ 15. Mechanische Arbeit 20
§ 16. Der Hebel 21
§ 17. Das Wellrad 23
§ 18. Gleichgewicht und Arbeit auf der schiefen Ebene 24
§ 19. Der Keil 26
§ 20. Die Schraube 26
§ 21. Arbeit und Leistung. Das Energiegesetz 28
§ 22. Zusammengesetzte Maschinen 29

F. Schwerpunkt. Gleichgewichtslagen. Standfestigkeit.

Seite

§ 23. Schwerpunkt 30
§ 24. Gleichgewichtslagen schwerer Körper 31
§ 25. Standfestigkeit 32
§ 26. Die gleicharmige Wage 33
§ 27. Die Schnellwage 35

G. Der mechanische Zusammenhang der Körper.

§ 28. Elastizität 35
§ 29. Festigkeit und Härte 36
§ 30. Kohäsion 36
§ 31. Adhäsion 36
§ 32. Mischen und Lösen 37
§ 33. Moleküle und Molekularkräfte 38
§ 34. Diffusion und Osmose 39
§ 35. Die Oberflächenspannung 40

H. Bewegungslehre. (Zweiter Teil.)

§ 36. Ungleichförmige Bewegung. Beschleunigung 41
§ 37. Bewegung auf der schiefen Ebene 41
§ 38. Der freie Fall 43
§ 39. Zusammensetzung von Bewegungen 45
§ 40. Der Wurf 46
§ 41. Das Kräfteparallelogramm 48
§ 42. Zerlegung von Kräften 49
§ 43. Erklärung der Gesetze der schiefen Ebene 51
§ 44. Das Pendel 51
§ 45. Bewegungsenergie und Energie der Lage 54
§ 46. Kreisbewegung. Zentrifugalkraft 54

J. Flüssigkeiten.

§ 47. Oberfläche 57
§ 48. Druck 57
§ 49. Bodendruck. Hydrostatisches Paradoxon 59
§ 50. Seitendruck 60
§ 51. Gleichmäßige Druckfortpflanzung 62
§ 52. Die hydraulische Presse 63
§ 53. Kommunizierende Gefäße 64
§ 54. Archimedisches Gesetz 65
§ 55. Das Schwimmen der Körper 67
§ 56. Die Bestimmung des spezifischen Gewichts 69
§ 57. Wasserkraftmaschinen 70

Mechanik der luftförmigen Körper (Aeromechanik).

§ 58. Grundeigenschaften der Gase 72
§ 59. Der Luftdruck 72
§ 60. Das Barometer 74
§ 61. Die Spannkraft der Gase 76
§ 62. Wasserpumpen 78
§ 63. Die Luftpumpe 79
§ 64. Weitere Anwendungen des Gasdrucks und Luftdrucks 83
§ 65. Die Anwendung des Archimedischen Gesetzes auf die Gase 85

II. Von der Wärme.

Seite

§ 66. Wärmeempfindung, Wärmezustand 86

A. Wärmegrad und Wärmemenge.

§ 67. Thermometer 87
§ 68. Wärmemenge 89

B. Änderung des Volumens durch die Wärme.

§ 69. Ausdehnung fester Körper 90
§ 70. Ausdehnung flüssiger und gasförmiger Körper 92

C. Änderung des Aggregatzustandes durch die Wärme.

§ 71. Die Aggregationsregel 94
§ 72. Schmelzen 95
§ 73. Verdampfen, Sieden, Verdunsten 96
§ 74. Die Dampfmaschine 99
§ 75. Die Luftfeuchtigkeit 101

D. Ausbreitung der Wärme.

§ 76. Die drei Arten des Überganges 102
§ 77. Wärmeleitung 103
§ 78. Strömung 103
§ 79. Wärmestrahlung 105

E. Die Quellen der Wärme.

§ 80. Die Sonnenwärme 106

III. Schallerscheinungen.

§ 81. Schall 108

A. Die Erregung des Schalles.

§ 82. Entstehung der Klänge 108
§ 83. Tonleiter 110
§ 84. Konsonanz und Dissonanz 112
§ 85. Schwingungen tönender Saiten, Stäbe und Platten 112
§ 86. Die Pfeifen. Das menschliche Stimmorgan 114

B. Die Ausbreitung des Schalles.

§ 87. Schalleiter 116
§ 88. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles 117
§ 89. Erklärung der Ausbreitung des Schalles 117
§ 90. Reflexion des Schalles 118
§ 91. Resonanz und Mittönen 118

C. Die Wahrnehmung des Schalles.

§ 92. Bau des Ohres 120
§ 93. Funktion des Ohres 120

IV. Lichterscheinungen.

Seite

§ 94. Licht 121
§ 95. Einteilung der Körper nach ihrem Verhältnis zum Lichte 121

A. Ausbreitung des Lichtes in einem Mittel.

§ 96. Die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes 122
§ 97. Die Dunkelkammer ohne Linse 123
§ 98. Schatten 124
§ 99. Beleuchtungsstärke 125

B. Die Reflexion des Lichtes.

§ 100. Das Reflexionsgesetz 126
§ 101. Spiegel. Optische Bilder 127
§ 102. Hohlspiegel. Reelle Bilder 129
§ 103. Unregelmäßige Reflexion 131

C. Die Brechung des Lichtes.

§ 104. Das Brechungsgesetz 131
§ 105. Totalreflexion 133
§ 106. Durchgang des Lichtes durch Platten und Prismen 133
§ 107. Linsen 134
§ 108. Bilder an Sammellinsen 136
§ 109. Bilder an Zerstreuungslinsen 137
§ 110. Anwendungen einfacher Sammellinsen 138
§ 111. Anwendungen von Linsensystemen 139

D. Die Wahrnehmung des Lichtes.

§ 112. Der Bau des Auges 140
§ 113. Die Erzeugung des Bildes im Auge. Akkommodation 141
§ 114. Subjektive Bedingungen des Sehens. Optische Täuschungen 142

E. Die Dispersion (Farbenzerstreuung) des Lichtes.

§ 115. Zerlegung des weißen Lichtes durch ein Prisma 144
§ 116. Mischfarben und Komplementärfarben 145
§ 117. Die Körperfarben 146
§ 118. Spektralanalyse 146

V. Magnetische Erscheinungen.

§ 119. Magnetische Körper 147

A. Grundgesetze der magnetischen Erscheinungen.

§ 120. Die Magnetpole 149
§ 121. Magnetisierung durch Verteilung (Influenz) 151
§ 122. Molekularmagnete 152
§ 123. Magnetisches Feld, magnetische Kraftlinien 154

B. Die Erde als Magnet.

§ 124. Kompaß 155
§ 125. Das Kraftfeld der Erde 156

VI. Elektrische Erscheinungen.

Erscheinungen der ruhenden Elektrizität (Elektrostatik).

Seite

§ 126. Elektrische Körper 157
§ 127. Übertragung der elektrischen Ladung. Gute und schlechte Leiter . . . 158
§ 128. Positiv und negativ elektrische Körper 159
§ 129. Elektrischer Ausgleich. Elektrizitätsgrad und Ladungsmenge 162
§ 130. Sitz der Ladung an der Oberfläche guter Leiter. Elektrische Dichte . 165
§ 131. Elektrisierung durch Verteilung 167
§ 132. Die Saugwirkung der Spitzen 170
§ 133. Die Leidener Flasche 170
§ 134. Elektrisiermaschinen 172
§ 135. Wirkungen der Entladung 175
§ 136. Die elektrischen Erscheinungen in der Atmosphäre 176

VII. Erscheinungen des elektrischen Stromes (Galvanismus).

§ 137. Berührungselektrizität 178
§ 138. Galvanische Batterien 179
§ 139. Elektrischer Strom. — Die Stromenergie 180
§ 140. Magnetische Wirkungen I. — Galvanoskop und Galvanometer 182

a) Wirkungen innerhalb der Stromleitung.

§ 141. Wärme- und Lichtwirkungen 184
§ 142. Physiologische Wirkungen 185
§ 143. Chemische Wirkungen 186
§ 144. Anwendungen der Elektrolyse 188

b) Wirkungen außerhalb der Stromleitung.

§ 145. Magnetische Wirkungen II. Das Kraftfeld eines Stromes 191
§ 146. Elektromagnetismus 192
§ 147. Das elektrische Läutewerk 194
§ 148. Der Morse-Telegraph 195
§ 149. Mikrophon und Telephon 196
§ 150. Die Induktion 197
§ 151. Die Dynamomaschine 199

Anhang I: Die Bewegungen der Himmelskörper.

§ 152. Die scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper 201
§ 153. Kugelgestalt und Achsendrehung der Erde 202
§ 154. Das geozentrische und das heliozentrische Weltsystem 203
§ 155. Das Planetensystem 204

Anhang II: Strommessung. — Ohmsches und Joulesches Gesetz.

§ 156. Das Ohmsche Gesetz 206
§ 157. Das Joulesche Gesetz 207

Anhang III: Elektrische Entladungen in Gasen. — Radium.

§ 158. Die Entladung in verdünnter Luft 208
§ 159. Röntgenstrahlen 209
§ 160. Radium 210

Anhang IV: Drahtlose Telegraphie und Telephonie (Radiowesen).

§ 161. Selbstinduktion 211
§ 162. Elektrische Schwingungen 211
§ 163. Resonanz 213
§ 164. Detektoren 214
§ 165. Der Rundfunk 216
§ 166. Elektrische Wellen 217

Anhang V: Chemische Erscheinungen.

A. Der Schwefel und die Metalle.

Seite
§ 167. Der Schwefel 217
§ 168. Schwefel und Metalle. Chemische Verbindung 218
§ 169. Chemische Zerlegung. Schwefelmetalle als Mineralien 219
§ 170. Chemische Elemente, Stoffe und Stoffgemische 220
§ 171. Die Metalle 221

B. Die Bestandteile der atmosphärischen Luft.

§ 172. Verbrennung von Metallen. Der Stickstoff 224
§ 173. Der Sauerstoff 227
§ 174. Versuche mit Sauerstoff. Die Verbrennung 228
§ 175. Metalloxyde als Mineralien, Metallgewinnung 229

C. Wasser und Wasserstoff.

§ 176. Das Wasser 231
§ 177. Zusammensetzung des Wassers. Wasserstoff 232
§ 178. Quantitative Zusammensetzung des Wassers. Umkehrbare Reaktionen. Reduktion 235
§ 179. Wasserstoffsuperoxyd. Katalyse 238

D. Gesetze der chemischen Verbindungen.

§ 180. Das Gesetz der konstanten Proportionen 239
§ 181. Das Gesetz der einfachen Raumverhältnisse (Gasvolumina) 239
§ 182. Das Gesetz der multiplen Proportionen 240
§ 183. Die Atomlehre. Chemische Zeichensprache 241

E. Kochsalz, Salzsäure, Chlor. — Säuren, Basen und Salze. — Elektrolyse.

§ 184. Das Kochsalz 243
§ 185. Salzsäure 243
§ 186. Chlor 245
§ 187. Elektrolyse des Kochsalzes. Ätznatron, Basen 247
§ 188. Kalium und Natrium 248
§ 189. Kalisalze 250
§ 190 Halogene 250
§ 191. Säuren, Basen und Salze 251

F. Verbindungen des Schwefels mit Sauerstoff und Wasserstoff.

§ 192. Schwefeldioxyd, SO_2 252
§ 193. Schwefeltrioxyd, SO_3, und Schwefelsäure, H_2SO_4 253
§ 194. Einige wichtige Sulfate. Doppelsalze 254
§ 195. Schwefelwasserstoff 255

G. Verbindungen des Stickstoffs.

§ 196. Luftstickstoff. Edelgase 257
§ 197. Ammoniak, NH_3 258
§ 198. Stickstoff und Sauerstoff. Salpetersäure 261
§ 199. Niedere Stickstoffoxyde. Stickoxyd, NO, und Stickstoffdioxyd, NO_2 . . 263
§ 200. Der Kreislauf des Stickstoffs in der organischen Natur 264

H. Phosphor und Phosphorsäure.

Seite
§ 201. Phosphor 265
§ 202. Phosphorsäure und Phosphate 266

J. Der Kohlenstoff und seine Verbindungen.

a) Kohlendioxyd und Kohlensäure. Carbonate.

§ 203. Der Kohlenstoff 266
§ 204. Kohlenoxyd 267
§ 205. Kohlendioxyd (Kohlensäureanhydrid), CO_2 268
§ 206. Die Kohlensäure und ihre Salze 269

b) Kohlenstoff und Wasserstoff.

§ 207. Leuchtgas 272
§ 208. Methan, CH_4. — Äthylen, C_2H_4. — Acetylen, C_2H_2 273
§ 209. Die Flamme 274

c) Organische Verbindungen des Kohlenstoffs.

§ 210. Wertigkeit 276
§ 211. Organische Kohlenstoffverbindungen 277
§ 212. Die Assimilation der Pflanzen 278
§ 213. Mineralische Nährstoffe der Pflanzen 279
§ 214. Kohlehydrate, Fette und Eiweißstoffe 279

K. Silicium, Kieselsäure und Silikate.

§ 215. Silicium 281
§ 216. Siliciumdioxyd oder Kieselsäureanhydrid, SiO_2 281
§ 217. Glas 281
§ 218. Natürliche Silikate 282
§ 219. Bor (B = 11) 284

Sachverzeichnis 285

Sachverzeichnis zum Anhang „Chemische Erscheinungen“ 292

Einleitung.

I. Naturerscheinungen. Wir nennen das Leuchten der Sonne, das Blau des Himmels, die Bildung von Wolken, Sturm, Blitz, Donner, Regen, den Regenbogen, das Untergehen der Sonne **Naturerscheinungen.** Zu diesen zählen wir aber nicht nur derartige Vorgänge der „Natur“ im großen, sondern auch unscheinbare, wie z. B. das Gefrieren von Wassertröpfchen zu zierlichen Schneeflocken (Abb. 1); ferner Erscheinungen, die wir künstlich hervorrufen können, so z. B. daß eine geriebene Siegellackstange leichte Körperchen anzieht, daß ein Sonnenstrahl, der durch einen Wassertropfen oder durch ein geschliffenes Glas fällt, Farben zeigt, ähnlich denen des Regenbogens; daß ein Zündhölzchen durch Reiben oder bei Berührung mit einem heißen Körper sich entzündet. [**Versuche*[1]).]

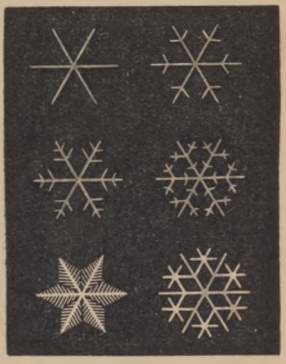


Abb. 1.

Nenne weitere Beispiele von Naturerscheinungen im großen und kleinen! Welche von diesen treten ohne, welche durch Zutun des Menschen auf?

II. Naturlehre. Hast du schon einmal einen Regenbogen so genau betrachtet und dir sein Bild so lebhaft eingeprägt, daß du anzugeben vermagst, welche Farben und in welcher Reihenfolge er sie zeigt? (Die rotgelben Farben bilden die äußere Seite des Bogens. Dies mochten die alten Germanen haben schildern wollen, wenn sie die Götter über eine „flammende Brücke“ in Walhall einziehen ließen.) In welcher Himmelsgegend sahst du den Bogen, während die Sonne im Westen unterging? — Hast du beachtet, wieviel Zeit zwischen dem Sehen des Blitzes und dem Hören des Donners verstreicht, wenn jener in größerer oder geringerer Entfernung von dir „einschlägt“? Hast du schon einmal die Ecken eines Schneekristalles gezählt und die Größe der Winkel beachtet, unter denen sich die Eisnadeln kreuzen?

Ferner: Hast du schon darüber nachgedacht, wie ein Blitz, ein Regenbogen, die zierlichen Schneekristalle usw. entstehen mögen und

[1]) Durch ein * sind Versuche bezeichnet, welche vom Schüler selbst zu Hause oder im Schülerpraktikum mit einfachen Mitteln ausgeführt werden können.

warum z. B. bei einem Regenbogen gerade das Rot außen, das Violett innen liegt, warum wohl bei jenen Kristallen sich immer wieder die Winkel von 60° (die sechsstrahlige Symmetrie) finden? Die Fragen der ersten Art betreffen die Beschreibung, die der letzten Art die Erklärung der Naturerscheinungen. Genauer und vollständiger als die Erfahrungen des täglichen Lebens gibt uns die Antwort auf beiderlei Fragen die **Naturwissenschaft.**

Übungen: Beobachte bei der nächsten günstigen Gelegenheit einen Regenbogen, Schneekristalle usw. auf ihre Eigenschaften hin. — Stelle **Versuche* mit einer geriebenen Siegellackstange und Papierstückchen an. Bleiben diese an der Stange haften? — Wie verhält sich ein Magnet zu den von ihm angezogenen Eisenstückchen? — Wie verlaufen diese beiden Erscheinungen, wennn du zwischen den anziehenden und den angezogenen Körper ein Blatt Papier oder eine Glasplatte bringst?

Durch Beobachtungen und Versuche, d. h. absichtlich herbeigeführte Beobachtungen unter willkürlich veränderten Bedingungen, sucht der Naturforscher festzustellen, wie sich die Dinge der Außenwelt in bestimmten Fällen verhalten, z. B. wie und unter welchen Bedingungen Wasser gefriert oder siedet, Wachs schmilzt, Eisen magnetisch wird usw. Jede solche Erfahrung wird ausgesprochen in einem **Naturgesetz.** Dabei kommt es aber nicht nur darauf an, festzustellen, daß ein Vorgang überhaupt so oder so verläuft, z. B. daß Wasser bei fortgesetztem Erhitzen schließlich siedet, oder daß kurze Pendel rascher schwingen als lange, sondern vor allem auf eine quantitative, d. h. zahlenmäßige Festlegung der Ergebnisse, z. B. daß Wasser bei 100°, Spiritus dagegen schon bei 78° siedet, oder daß ein Pendel von 1 m Länge etwa 2 Sekunden, ein solches von $^1/_4$ m Länge dagegen etwa 1 Sekunde zu einer Schwingung gebraucht usw.

I. Mechanik. (Erster Teil.)

A. Körper und Stoffe.

§ 1. Die drei Formarten (Aggregatzustände). Ein Stück Eisen oder Zucker, das Wasser, den Spiritus in einem Glase usf. können wir durch unsere Sinne (Gesichts-, Tastsinn, Geschmacks- und Geruchssinn) wahrnehmen. Wir nennen die ersteren, die der tastenden Hand einen merklichen Widerstand entgegensetzen und sich ohne Anwendung von Gewalt nicht aus ihrer Form bringen lassen, **feste Körper,** diejenigen Körper dagegen, welche wie Wasser, Spiritus, Öl usw. sich leicht jeder beliebigen Form anpassen, **flüssige Körper** oder kurz **Flüssigkeiten.** Diese nehmen in größeren Mengen deshalb stets die Gestalt des Gefäßes an, in dem sie sich befinden; in kleineren Mengen bilden sie dagegen „Tropfen", daher nennt man sie auch wohl „tropfbare" Körper.

Es gibt noch eine dritte Art von Körpern, die unseren Sinnen vielfach nicht so unmittelbar sich kundtun; die **luftförmigen** Körper oder **Gase.** Zu ihnen gehört unsere atmosphärische Luft, das Leuchtgas, die Kohlensäure u. a. m. Leuchtgas und auch Kohlensäure sind leicht durch den Geruch wahrzunehmen. (* Öffne eine Seltersflasche!)



Abb. 2.

Die Körperlichkeit der Luft zeigen u. a. folgende

**Versuche:* a) Ist die Röhre (Abb. 2) mit Luft oder Leuchtgas gefüllt, so reicht keine noch so große Kraft aus, einen „luftdicht" passenden Kolben bis an den Boden der Röhre zu schieben.

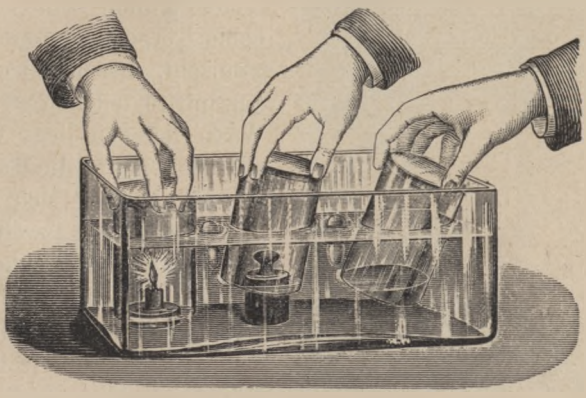


Abb. 3. Abb. 4. Abb. 5.

b) Taucht man eine unten offene, oben mit dem Finger verschlossene Röhre in Wasser, so steigt das Wasser nicht hinein; dies geschieht erst, sobald man den Finger lüftet. (Schon Heron von Alexandrien, um 100 n. Chr., sah hierin einen Beweis für die Körperlichkeit der Luft.)

Mache die **Versuche* nach Abb. 3, 4, 5; beschreibe und erkläre sie! Vergleiche mit ihnen die Verwendung der Taucherglocke (Abb. 6)! Taucheranzüge. — **Versuch:* Verschließe eine Flasche mit einem doppelt durchbohrten Kork, stecke durch die eine Öffnung einen Trichter, durch die andere ein Glasrohr mit angesetztem Gummischlauch, der durch einen Quetschhahn verschlossen ist; gieße dann Wasser in den Trichter in einem Strahl, der dicker als der Querschnitt der Trichterröhre ist. Das Wasser fließt (bis auf eine geringe Menge) nicht in die Flasche, wohl aber, sobald man den Quetschhahn öffnet. — **Versuch*: Bestimme die Menge der bei einmaligem Ausatmen aus den Lungen entweichenden Luft unter Benutzung eines mit Wasser gefüllten, in die „pneumatische Wanne" (Abb. 3 bis 5) eintauchenden Gefäßes. — „Windpfeifen" an Gußformen. — Auch durch den Widerstand, den die Luft der rasch bewegten Hand entgegensetzt, durch den Stoß, den bewegte Luft auf Windmühlenflügel, aufsteigende Papierdrachen ... ausübt, verrät sie ihre Körperlichkeit.

Feste und flüssige Körper haben einen bestimmten Rauminhalt, der sich nur durch Anwendung sehr starker Drucke ein wenig verkleinern läßt. Wo ein fester oder flüssiger Körper ist, kann nicht gleichzeitig ein zweiter sich befinden, sie können sich nur gegenseitig verdrängen oder mehr oder weniger innig vermischen. **Versuche:* Schwamm und Kreide in Wasser **(Porosität!)**. Zucker in Wasser. Mischung von Spiritus und Wasser. Auch in den letzten Fällen können wir annehmen, beide Körper seien zwar aufs innigste gemischt, aber doch so, daß da, wo z. B. ein Spiritusteilchen sich befindet, kein Wasserteilchen liegt und umgekehrt.

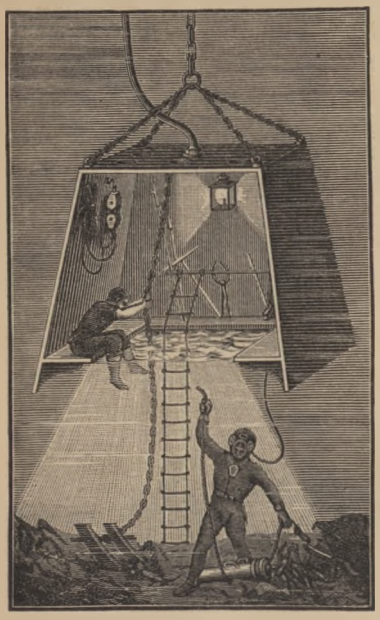


Abb. 6.

Man nennt die Tatsache, daß da, wo ein Körper sich befindet, nicht gleichzeitig ein zweiter sein kann, die **Undurchdringlichkeit** der Körper. Warum ist der Ausdruck nicht gerade glücklich gewählt?

Anders als die festen und flüssigen Körper verhalten sich die Gase. — Sie haben weder selbständige Gestalt, noch selbständigen Rauminhalt. Ausgeströmtes Leuchtgas oder andere stark riechende Gase riecht man nach kurzer Zeit im ganzen Zimmer. Alle Gase erfüllen jeden ihnen zur Verfügung stehenden Raum und mischen sich dabei vollständig. Mit den Flüssigkeiten teilen die Gase die leichte Verschiebbarkeit ihrer Teile gegeneinander.

Indem man jeden Körper als eine Anhäufung [Aggregat][1]) von kleinen Teilen ansieht, spricht man von den **drei Aggregatzuständen** oder **Formarten.** Wir haben somit folgende Übersicht über

die charakteristischen Eigenschaften der Aggregatzustände:

Teilchen schwer gegeneinander verschiebbar:	Teilchen leicht gegeneinander verschiebbar	
	schwer zusammendrückbar:	leicht zusammendrückbar,
fest	**tropfbar (flüssig)**	sich von selbst ausdehnend: **gasförmig**

[1]) *aggregare* = zusammenhäufen (lat.).

Ein und derselbe Stoff kann bei verschiedenen Temperaturen alle drei Aggregatzustände annehmen. * *Versuche* mit Wasser, Schwefel, Jod.

§ 2. Längen-, Flächen- und Raummaße. Der von einem Körper eingenommene Raum wird auch sein Volumen[1]) genannt. Er wird gemessen durch Vergleichen mit einem als Volumeneinheit (Raumeinheit) festgesetzten Körper. Diese Festsetzung könnte an sich willkürlich erfolgen, es ist aber weitaus am zweckmäßigsten, die Raummessung wie auch die Flächenmessung auf die Längenmessung zurückzuführen.

Längeneinheit ist das Meter (m). Es sollte ursprünglich der 40 millionste Teil eines Erdmeridians sein, dieser ist aber damals (1800) etwas zu klein bestimmt worden, so daß der Erdmeridian das in Paris aufbewahrte und in allen Kulturstaaten heute als Normalmaß geltende „Urmeter" (aus Platin) in Wirklichkeit 40 003 424 mal enthält.

$$1\,\text{m} = 10\,\text{dm} = 100\,\text{cm} = 1000\,\text{mm}. \qquad 1000\,\text{m} = 1\,\text{km}.$$

Flächeneinheit ist das Quadrat, dessen Seite = 1 m (cm, mm) ist. Statt 1 qm schreibt man zweckmäßiger 1 m^2, ebenso 1 cm^2, 1 mm^2.

$$1\,\text{m}^2 = 10^2\,\text{dm}^2 = 100^2\,\text{cm}^2 = 1000^2\,\text{mm}^2.$$

Raumeinheit ist der Würfel, dessen Kante = 1 m (cm, mm) ist. Statt 1 cbm schreibt man besser 1 m^3, ebenso 1 cm^3, 1 mm^3.

$$1\,\text{m}^3 = 10^3\,\text{dm}^3 = 100^3\,\text{cm}^3 = 1000^3\,\text{mm}^3.$$

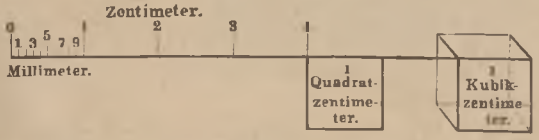


Abb. 7.

1 dm^3 heißt auch ein Liter. 100 l = 1 hl.

Wieviel hl hat daher 1 m^3? Wieviel mm^3 hat 1 l?

* *Übungen:* 1. Bestimmung der Dicke von Platten, Drähten usw. mittels der Schublehre, des Schraubenmikrometers, Sphärometers; der Länge von Stangen, Drähten usw. mit dem Spiegelmaßstab. 2. Messung von Flächen durch Auszählen, durch Auswiegen, s. auch § 5, Üb. 8.

§ 3. Bestimmung des Volumens. a) Bei Körpern von gesetzmäßiger geometrischer Form kann man den Rauminhalt nach Messung bestimmter Längen **berechnen.**

---

[1]) Vom lateinischen *volvere* = wälzen; *volumen* = Schriftrolle, Band (eines Werkes), übertragen: Teil eines größeren Ganzen überhaupt.

Die betreffenden Formeln werden in der Mathematik abgeleitet. Es ist insbesondere der Inhalt eines **Quaders** (Abb. 8) $V = a \cdot b \cdot c$, der eines **Würfels** $= a^3$, der eines **Zylinders** $r^2 \pi h$ ($\pi = 3{,}1416 \approx 3\,^1/_7$), eines **Kegels** $^1/_3 r^2 \pi h$, einer **Kugel** $^4/_3 \pi r^3$.

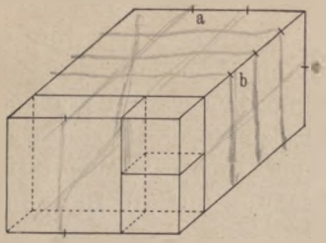


Abb. 8.

Übung: Berechne den Rauminhalt des Schulzimmers, eines rechteckigen Kastens u. a. Wieviel Sandkörner würde eine ganz aus Sand bestehende Erdkugel enthalten, den Erdradius zu 6370 km, das Volumen des Sandkornes zu 1 mm³ angenommen? Wieviel Sandkörner gehen in einen Fingerhut (etwa 1 cm³)?

b) Bei Körpern von unregelmäßiger Gestalt kann man das Volumen am einfachsten durch das Verdrängungsverfahren **experimentell bestimmen.**


Abb. 9 a.


Abb. 9 b.

* *Versuche*[1]*:* In ein nach cm³ geteiltes Gefäß (Meßgefäß, Mensur, Abb. 9 a) wird ein Stein, ein Stück Metall u. a. gesenkt. Beobachte, um wieviel das Wasser steigt.

In ein bis zur Ausflußöffnung gefülltes Gefäß (Überlaufgefäß, Abb. 9 b) wird ein Körper eingesenkt und das ausgelaufene Wasser in der Mensur gemessen.

Bei was für Körpern ist dieses Verfahren so nicht anwendbar? Wie könnte man sich z. B. bei Steinsalz zu helfen versuchen?

B. Einige Erscheinungen der Schwere.

§ 4. Gewicht und Fallbewegung. 1. Ein auf meiner Hand liegender Stein drückt auf diese; halte ich ihn von oben mit der Hand, unmittelbar oder an einem Faden, so zieht er sie nach abwärts: den ausgeübten Druck oder Zug nennen wir das **Gewicht** des Körpers.

2. Lasse ich den Stein los, so bewegt er sich **frei fallend** („im freien Falle") nach abwärts, und zwar mit zunehmender Geschwindigkeit („in beschleunigter Bewegung").

---

[1]) Ein sehr einfaches Überlaufgefäß konstruiert man sich selbst, indem man an einem passenden Gefäß einen Saugheber (§ 64) mit dem kurzen Schenkel nach außen fest anbringt und in die äußere Öffnung desselben einen Bausch Watte oder Glaswolle schiebt. Der angesaugte Heber entleert dann das Gefäß bis zur Höhe der Ausflußöffnung; ein Zurückfließen wird durch die Watte verhindert.

Die Richtung des ausgeübten Zuges wird genau angegeben durch das **Lot** (Abb. 10); dieses besteht aus einer Schnur, an deren einem Ende ein „schwerer" Körper befestigt ist.

Versuche:* a) Hält man die Schnur am anderen Ende und läßt den Körper durch sein Gewicht ziehen, so wird die Schnur geradlinig gespannt; ihre Richtung heißt **lotrecht oder vertikal. — b) Läßt man dicht neben der gespannten Schnur einen Körper fallen, so erkennt man, daß auch die Fallbewegung in gerader Linie und in lotrechter Richtung, und zwar nach abwärts (also stets zur Erde hin) erfolgt. — c) Hält man das Lot so, daß es bis dicht an eine ruhige Wasser- oder Quecksilberoberfläche reicht, so zeigt sich durch Anlegen eines Winkelhakens, daß jede Gerade, die in der Flüssigkeitsoberfläche durch den unteren Endpunkt des Lotes geht, mit dem Lote einen rechten Winkel bildet. — Man nennt jede Gerade und jede Ebene, die auf einer lotrechten Geraden senkrecht steht, **wagerecht** oder horizontal [1]).



Abb. 10.

Schrotwage, Wasserwage. — Um beim Bestimmen einer wagerechten Geraden oder Ebene nicht immer die zwei Vorrichtungen Lot- und Winkelhaken getrennt benutzen zu müssen, hat man sie verbunden zur sogenannten Schrotwage (Abb. 11). Erkläre deren Anwendung! Zu gleichem Zwecke dient die Wasserwage (Libelle, Abb. 12). Sie besteht aus einer sehr wenig



Abb. 11.

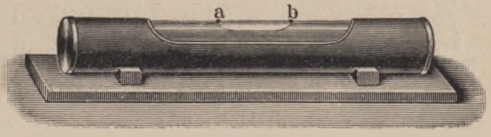


Abb. 12.

gekrümmten Glasröhre (in einer Messingfassung), die bis auf einen kleinen Raum, worin sich Luft befindet, mit Weingeist gefüllt ist. Wie nun in einer Flasche, die bis auf einen kleinen Raum mit Flüssigkeit gefüllt und hierauf zugepfropft wurde, die Luftblase bei jeder beliebigen Neigung der Flasche deren obersten Raum einnimmt (**Versuch*), so geschieht dies auch in der Libelle; und nur wenn die Blase (*ab*) in der Mitte der Libelle steht, ist deren Unterseite wagerecht. — Von einer Ebene wissen wir erst dann, daß sie wagerecht ist, wenn wir die Schrotwage oder die Libelle in mindestens zwei verschiedenen Richtungen aufgesetzt und einspielen gesehen haben; warum?

Errichtet man an zwei nahen Punkten der Erdoberfläche Lotrechte, so laufen sie einander parallel. Die Lotrechten entfernter Orte sind nicht mehr

[1]) Die Ausdrücke **lotrecht** = vertikal („scheitelrecht") und **wagerecht** = horizontal sind hier in physikalischem Sinne, dagegen ist **senkrecht** = normal in geometrischem Sinne von zwei beliebigen Geraden gebraucht, die miteinander einen Winkel von 90^0 bilden.

parallel, denn da **die Erde annähernd eine Kugel** (von 40000000 m Umfang) ist, so schneiden sich alle Lotrechten in deren Mittelpunkt. — Desgleichen kann man zwar z. B. die Wasserspiegel in einem Teiche, einem Trinkglase ... als Ebenen betrachten, genau genommen aber gehören sie einer Kugelfläche an (§ 47).

Da sich alle Körper sowohl hinsichtlich ihres Gewichtes wie ihrer Fallbewegung nach der Erde richten, so führen wir beiderlei Erscheinungen auf eine gemeinschaftliche Ursache zurück — auf die Anziehungskraft der Erde oder **die Schwerkraft.**

* *Übungen:* 1. Untersuche mittels einer Libelle einen Tisch, eine Fensterbank u. a. darauf hin, ob ihre Oberfläche horizontal liegt oder gar gekrümmt ist.

2. Stelle mittels eines aus Pappe angefertigten Winkelmessers (Transporteurs), in dessen Mittelpunkt ein Senkel befestigt ist, den Erhebungswinkel der Visierlinie nach einer Turmspitze oder dgl. fest.

3. Warum „fallen" unsere Antipoden nicht „von der Erde herunter"? — Hat es einen inneren Grund oder ist es eine Sache des Herkommens, daß auf Karten der Norden immer „oben" ist?

§ 5. Absolutes und spezifisches Gewicht. Der Druck, den 1 cm^3 Wasser (bei 4° C) auf eine wagerechte Unterlage (oder der Zug, den es auf einen vertikalen Faden in der Richtung abwärts) ausübt, wird ein **Gewicht von 1 Gramm** genannt. Dieses Gewicht dient als Gewichtseinheit und wird mit 1 g bezeichnet.

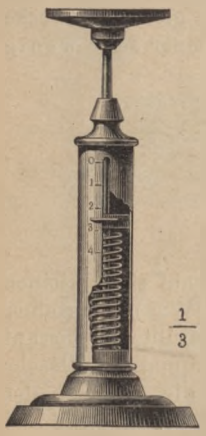


Abb. 13.

$$1\,g = 10\,dg = 100\,cg = 1000\,mg;$$
$$10\,g = 1\,dkg; \quad 1000\,g = 1\,kg.$$

Welche Wasservolumina haben somit 1 kg, 1 dg, 1 mg Gewicht?

Das Gewicht eines beliebigen anderen Körpers wird durch Vergleich mit dem Grammgewicht bestimmt. — Ein Körper hat das Gewicht p Gramm, wenn er auf seine Unterlage bzw. seinen Aufhängepunkt denselben Druck oder Zug ausübt wie p ccm Wasser. Dieses Gewicht nennt man, im Gegensatz zu dem nachher zu erklärenden spezifischen Gewicht, auch das **absolute Gewicht** des Körpers.

Praktisch geschieht die Bestimmung des Gewichtes mittels einer Wage — Balkenwage (Abb. 49) — und eines „Gewichtssatzes" oder mittels einer Federwage (Abb. 13). Ein Gewichtssatz enthält in der Regel folgende Gewichtsstücke:

... 100, 50, 20, 20, 10, 5, 2, 2, 1, 0,5, 0,2, 0,2, 0,1 Gramm ...

Welchen Zweck hat diese Auswahl?

**Versuche:* a) Wägung eines Stückes Eisen, Kupfer usw. Kontrolle einer Haushaltswage. Wie kann man eine Federwage eichen? (Vgl. § 28.)

b) Das zum vorigen Versuch benutzte Stück Kupfer (Eisen usw.) wird einer Volumenmessung (s. § 3) unterworfen. Hat es nun beispielsweise ein Volumen von 8 cm³ und wiegt 72 g, so wiegt 1 cm³ Kupfer $\frac{72}{8} = 9$ g.

Bestimme in derselben Weise, wieviel 1 cm³ Eisen, Blei usw. wiegt. Wie hilft man sich bei einem Holzstück?

Die ermittelte Zahl, die das Gewicht von 1 cm³ eines Stoffes angibt, heißt sein **spezifisches Gewicht.** Um Verwechslungen zu verhüten, nennt man das Gewicht des ganzen Körpers das **absolute Gewicht.**

Die obigen Versuche zeigen, wie man das spezifische Gewicht eines Stoffes bestimmen kann, auch ohne daß man gerade 1 cm³ davon abteilt. Als allgemeine Regel ergibt sich daraus:

Hat der Körper das Volumen v cm³ und das absolute Gewicht p Gramm, so ist sein spezifisches Gewicht

$$s = \frac{p}{v}.$$

Wie heißen die Umkehrungen hiervon? Formuliere sie in Worten! Man sagt kurz: Spez. Gew. $= \frac{\text{Gewicht}}{\text{Volumen}}$ usf. Was wird in Wahrheit hier, wie in allen derartigen Fällen, dividiert bzw. bei der Umkehrung multipliziert?

Eine andere ebenfalls gebräuchliche Erklärung des spezifischen Gewichts lautet: Das spezifische Gewicht gibt an, wievielmal ein Quantum des betreffenden Stoffes schwerer ist, als das gleiche Volumen Wasser. Beweise, daß dies zahlenmäßig auf dasselbe hinauskommt, wie die obige Erklärung und die Gleichung $s = \frac{p}{v}$.

Das spezifische Gewicht ist wie Farbe, Härte, Elastizität u. a. m. eine der betreffenden Stoffart (Substanz) eigentümliche [1]) Eigenschaft, die von der Menge unabhängig ist.

Tabelle einiger spezifischer Gewichte fester und flüssiger Stoffe:

Korkholz	0,12 bis 0,24	Silber	10,5
Altes Buchenholz	0,59	Blei	11,4
Frisches Buchenholz	0,98	Gold	19,3
Altes Eichenholz	1,17	Platin	21,5
Aluminium	2,7	Reiner Alkohol	0,79
Kalkstein	2,7	Petroleum	0,83
Bergkristall	2,7	Eis bei 0°	0,917
Diamant	3,5	Wasser bei 0°	0,99987
Gußeisen	7,2	Engl. Schwefelsäure	1,84
Schmiedeeisen	7,8	Quecksilber	13,6

[1]) Daher der Name „spezifisches Gewicht" von *specificus* = eigentümlich.

Übungen: 1. Ein Stein sehe dem Diamant ähnlich, habe aber das spezifische Gewicht 2,7, kann er hiernach Diamant sein? Muß er Bergkristall sein?

2. Ein Fläschchen wiegt mit Wasser gefüllt 100 g mehr als leer (es faßt also 100 ccm^3; warum?). Mit Quecksilber gefüllt, wiegt es 1360 g mehr als leer. Wie groß ist hiernach das spezifische Gewicht des Quecksilbers? —

3. Wievielmal schwerer ist Eisen als (eine gleiche Raummenge) Buchenholz?

4. Wieviel wiegt eine Korkkugel von 1 dm Durchmesser? [Berechne das Volumen nach der Formel $v = {}^4/_3 \pi r^3$, indem du annähernd $\pi = 3$, das spezifische Gewicht von Kork $= {}^1/_4$ nimmst.]

*5. Welchen Raum nimmt ein Würfel aus Kork, Wasser, Quecksilber, Blei, Gold von 1 g, 1 kg Gewicht ein? Wie kann man den Rauminhalt eines Gefäßes (z. B. des Ballons Abb. 14) mittelbar durch Wägung finden? —

*6. Bestimme die spezifischen Gewichte einiger Flüssigkeiten.

*7. Wie hilft man sich bei der Volumenbestimmung eines festen Körpers, wenn man kein Meßgefäß zur Verfügung hat?

*8. Bestimme die Dicke eines Stanniolblatts durch Wiegen eines Stückes von bekanntem Flächeninhalt, danach umgekehrt die Größe einer Fläche durch Wiegen des entsprechenden Stanniolstückes (spez. Gew. des Zinns 7,3, des Aluminiums 2,6).

§ 6. Gewicht der Luft. *Versuche:* *Eine Flasche, die durch einen Hahn verschließbar ist, wird auf der Wage tariert. Bläst man Luft hinein und verschließt den Hahn sofort, so zeigt sich eine Gewichtszunahme; saugt man Luft heraus, eine Gewichtsabnahme (Galilei 1638). — Man kann die Flasche auch erwärmen und den entweichenden Teil der Luft über Wasser in einem Meßgefäß auffangen; man findet so das Volumen der entwichenen Luft, während ihr Gewicht sich aus der Gewichtsabnahme der Flasche ergibt (Galilei). — Ein Glasballon (Abb. 14), dessen Innenraum man durch einen Hahn mit der äußeren Luft in Verbindung setzen oder von ihr absperren kann, wird bei geöffnetem Hahn gewogen. Ist hierauf mittels einer „Luftpumpe“ (§ 63) der größte Teil der Luft aus dem Ballon entfernt worden, so zeigt er kleineres Gewicht; wird dann, während er noch an der Wage hängt, wieder Luft zugelassen, so zeigt er wieder das ursprüngliche Gewicht. (Otto von Guericke, um 1650.) — Also: auch **die Luft besitzt absolutes Gewicht,** hat aber ein viel kleineres spezifisches Gewicht als die festen und tropfbaren Körper. — Durch genaue Versuche hat man gefunden:



Abb. 14.

1 Liter Luft wiegt [1]) 1,293 g.

[1]) Bei dem Barometerstand von 76 cm und der Temperatur von 0^0C; vgl. § 61 u. 70.

Füllt man beim letzten Versuch den Glasballon nach dem Auspumpen mit einem anderen Gase als Luft (z. B. Kohlensäure, Leuchtgas), so zeigt er im allgemeinen ein größeres oder kleineres Gewicht, als wenn er mit Luft gefüllt ist; sein Gewicht ist aber stets größer als im „luftleeren" Zustand. Hieraus folgt: **Auch die anderen Gase besitzen absolutes Gewicht.**

* *Übungen:* Bestimme das spezifische Gewicht der Luft, indem du nach einem der vorhergehenden Versuche Wasser in den luftverdünnten Raum treten läßt und dessen Menge durch Umfüllen in ein Meßglas ermittelst.

Zeige, daß das spezifische Gewicht der Luft nur $^1/_{773}$ oder 0,001 293 von dem des Wassers ist. Da das spezifische Gewicht auch der anderen Gase sehr gering ist, so gibt man in der Regel ihr relatives Gewicht im Vergleich mit Luft an. So ist das relative Gewicht (und auch die relative Dichte) des Leuchtgases 0,63, der Kohlensäure 1,52, des Wasserstoffgases 0,0692, des Sauerstoffgases 1,1056.

Aufgaben: 1. Wieviel Kilogramm Luft faßt das Schulzimmer, dein Schlafzimmer? — 2. Wieviel wiegt 1 Liter Leuchtgas, Kohlensäure, Wasserstoff, Sauerstoff? — 3. Wieviel Kilogramm Wasserstoff enthält ein mit diesem Gase zu $^7/_8$ gefüllter kugelförmiger Luftballon von 10 m Durchmesser? Vgl. § 5, Aufg. 4.

C. Von der Bewegung. (Erster Teil.)

§ 7. Bewegung und Ruhe der Körper. Wenn wir die Körper um uns her betrachten, so bemerken wir, daß viele von ihnen ihre gegenseitige Lage ändern, andere dieselbe beibehalten; von den ersteren sagt man, sie seien in bezug aufeinander **in Bewegung**, von letzteren, sie seien in bezug aufeinander **in Ruhe.**

Meistens wird von Körpern kurzweg gesagt, daß sie sich in Bewegung oder in Ruhe befinden, ohne hinzuzufügen, in bezug auf welchen anderen Körper dies gilt. In Wahrheit wird stillschweigend immer ein solcher „Bezugskörper" mitgedacht. Zeige dies an den Beispielen: Fußgänger, Eisenbahnzug, Erdbewegung. Täuschungen entstehen oft dadurch, daß wir irrtümlich einen anderen Körper (in bezug auf die Erde) für bewegt halten, als den, der sich wirklich bewegt. (Ruhender Eisenbahnzug vom fahrenden aus gesehen und umgekehrt. Wasser unter einer Brücke.)

Kurz drückt man diese Einsicht so aus: Wir nehmen nur relative Bewegungen wahr.

§ 8. Zeitmessung. Alle Bewegungen erfordern Zeit. Umgekehrt kann man bestimmte Bewegungen benutzen, um Zeiten genau zu messen. Als **Uhr** kann jede Vorrichtung dienen, an der sich die gleiche Bewegung immer in gleicher Weise wiederholt.

In Wahrheit ist dies stets nur mit größerer oder geringerer Annäherung erreichbar. Im Altertum und Mittelalter benutzte man Sand- und Wasseruhren. Erkläre sie an Hand der bekannten Eieruhren. — Seit GALILEI und HUYGHENS haben wir exaktere Zeitmesser in den Pendeluhren (s. § 44).

Der gleichmäßigste uns bekannte Vorgang ist die Erdrotation, d. i. die Drehung der Erde um ihre Achse. Die dafür gebrauchte Zeit dient deshalb als Zeiteinheit. Alle Uhren werden praktisch letzten Endes hiernach geeicht:

1 Tag = 24 Stunden = 1440 Minuten = 86400 Sekunden.

**Übung:* Bestimmung der Zeit mittels des Gnomons, s. Anhang I.

§ 9. Geschwindigkeit. Gleichförmige Bewegung. Ein Eisenbahnzug, ein Radfahrer, ein Fußgänger, eine Schnecke bewegen sich mit sehr verschiedener Geschwindigkeit. Um für diesen jedermann geläufigen Begriff genaue Maßangaben zu ermöglichen, ist man in der Physik übereingekommen, die Geschwindigkeit durch den in 1 Sekunde zurückgelegten Weg zu messen. Man sagt von einem Körper, daß er die **Einheit der Geschwindigkeit** (die Geschwindigkeit 1) besitzt, wenn er den Weg 1 m in 1 Sekunde zurücklegt. Legt nun ein Körper in 1 Sekunde z. B. 6 m zurück, so wird man sagen, daß er 6 Geschwindigkeitseinheiten besitze. Also:

1. **Die Maßzahl der Geschwindigkeit ist gleich der Maßzahl des in einer Sekunde zurückgelegten Weges.**

Legt ein anderer Körper jene 6 m in 3 Sekunden zurück, so legt er in 1 Sekunde nur 6 m : 3 = 2 m zurück, oder er besitzt nur 2 Geschwindigkeitseinheiten. Also:

2. **Man findet die Maßzahl der Geschwindigkeit eines sich bewegenden Körpers, wenn man die Zahl der von ihm zurückgelegten Wegeinheiten durch die Zahl der dazu gebrauchten Sekunden dividiert.**

Diese Regel wird in Buchstaben so ausgedrückt:

$c = s/t$, woraus folgt $s = c.t$, in Worten?, $t = s/c$, in Worten?

Hierbei ist c die Maßzahl der Geschwindigkeit (*celeritas*), s die Maßzahl des Weges (*spatium*), t die Maßzahl der Zeit (*tempus*).

Dem Gedächtnis kann man die Regeln 1 und 2 in der abgekürzten Form einprägen: 1. **Geschwindigkeit ist der Weg in der Zeit 1.** — 2. **Geschwindigkeit ist Weg dividiert durch Zeit.** — Man darf aber nie vergessen, daß nur die Maßzahlen von Weg, Zeit und Geschwindigkeit gemeint sind, da es ja bekanntlich an sich keinen Sinn hat, ungleich benannte Größen, wie z. B. einen Weg und eine Zeit, durcheinander zu dividieren.

Man pflegt der Maßzahl der Geschwindigkeit die Benennung m/sec (zu lesen: „Meter in der Sekunde") oder cm/sec usw. hinzuzufügen, um anzudeuten, welche Einheiten des Weges und der Zeit zugrunde gelegt sind.

3. **Eine Bewegung heißt gleichförmig,** wenn ihre Geschwindigkeit immer die gleiche bleibt, d. h. **wenn in** (beliebig klein gewählten) **gleichen**

Zeiten gleiche Wege zurückgelegt werden. — Alle übrigen Bewegungen (deren Geschwindigkeit veränderlich ist) heißen **ungleichförmig.**

Bisher waren stillschweigend gleichförmige Bewegungen vorausgesetzt. In den meisten Fällen läßt sich aber nur die **mittlere Geschwindigkeit** während einer bestimmten Zeit angeben. Legt z. B. ein Eisenbahnzug in einer Stunde 72 km zurück, so ist seine mittlere Geschwindigkeit 20 m/sec. Ähnlich sind folgende Angaben zu verstehen:

Fußgänger . . .	0,8 bis 1,6 m/sec	Zeppelinluftschiff . . .	28 m/sec
Rennpferd . . .	10 „ 12 „	Heftiger Sturm . .	35 bis 40 „
Eisenbahnzug . .	8 „ 25 „	Infanteriegeschoß . . .	875 „

Trage Strecken auf, die diesen Geschwindigkeiten proportional sind.

Übungen: 1. Der Fern-D-Zug fährt von Berlin bis München (655 km) in 9 Stunden 25 Minuten; wie groß ist seine (mittlere) Geschwindigkeit? — Welchen Weg legt er durchschnittlich in je einer Minute, in je einer Stunde zurück?

2. Wenn ein tüchtiger Fußgänger von Köln bis Rüdesheim (155 km) gehen wollte, wieviel Stunden müßte er gehen? Wieviel Tage wäre er unterwegs, wenn er an jedem Tage 8 Stunden marschierte?

3. Wieviel Meter legt ein Punkt des Äquators infolge der täglichen Drehung der Erde in 1 Sekunde zurück? Wieviel die Erde auf ihrer jährlichen Bahn um die Sonne? (Erdumfang = 40000 km, Entfernung Sonne—Erde 149 Mill. km.)

*4. Bestimmung der Geschwindigkeit eines Läufers, Wagens, Radfahrers, Autos mittels der Stoppuhr.

5. Wenn eine Straßenbahnlinie im ganzen eine Fahrtdauer von 30 Minuten hat, und alle 5 Minuten ein Wagen gleichzeitig von beiden Endpunkten abfährt, wie vielen Wagen begegnet dann jeder Wagen unterwegs und in welchen Zeitabständen?

Weiteres über die Bewegung in § 35.

D. Von den Kräften.

§ 10. Die beiden Hauptwirkungen der Kräfte. Die Erfahrung lehrt, daß kein (lebloser) Körper von selbst in Bewegung gerät. Es ist vielmehr dazu erforderlich, daß andere Körper auf ihn einwirken. So wird beispielsweise die Flintenkugel aus dem Rohr nur dann geschleudert, wenn das Pulver hinter ihr abbrennt, der Kolben im Zylinder der Dampfmaschine wird durch den einströmenden Wasserdampf vorwärts getrieben; ein Eisenstückchen von einem Magnet angezogen; ein Steinchen kann durch eine gespannte Gummischnur fortgeschleudert werden usw. Da in allen diesen Fällen (vgl. auch § 4, Schluß) die Wirkungen ganz ähnliche sind, wie wir sie auch durch unsere Muskelkraft erzeugen können, so sprechen wir auch bei ihnen

im übertragenen Sinne von der **Kraft,** die auf den einen Körper durch den oder die anderen ausgeübt wird.

Die Bewegung tritt jedoch nur dann ein, wenn der Körper, auf den die Kraft wirkt, dieser frei folgen kann. Wird er daran gehindert, so äußert sich die Kraft nur als Druck oder Zug an den Hindernissen.

Versuche: 1. Wir lassen an einem kleinen auf Schienen laufenden Wagen (Abb. 15) mittels einer Schnur, die über eine Rolle geführt ist, ein Gewicht ziehen. Der Wagen setzt sich in Bewegung. (Was für eine Art von Bewegung tritt ein?)

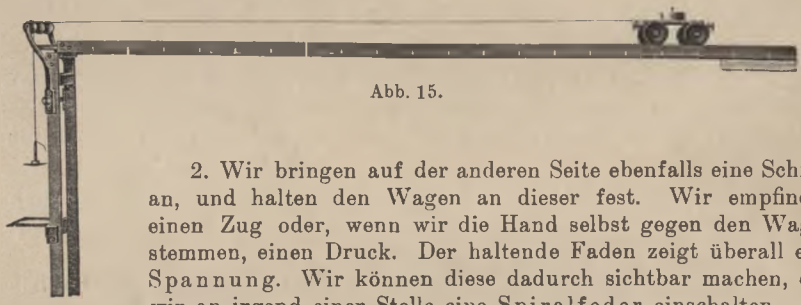


Abb. 15.

2. Wir bringen auf der anderen Seite ebenfalls eine Schnur an, und halten den Wagen an dieser fest. Wir empfinden einen Zug oder, wenn wir die Hand selbst gegen den Wagen stemmen, einen Druck. Der haltende Faden zeigt überall eine Spannung. Wir können diese dadurch sichtbar machen, daß wir an irgend einer Stelle eine Spiralfeder einschalten.

3. Wir können schließlich die haltende Hand durch ein Gewicht, das nach der anderen Seite zieht, ersetzen. Der Versuch ergibt — was auch jedermann von vornherein erwarten wird —, daß dieses ebenso groß sein muß, wie das erste (treibende) Gewicht, wenn keine Bewegung eintreten soll.

Wie in diesem Beispiel haben wir allgemein zwei Hauptwirkungen der Kräfte zu unterscheiden: 1. **Bewegungswirkungen,** 2. **Zug-** und **Druckwirkungen** (Spannungen).

Die Bewegungswirkungen zweier (oder mehrerer) Kräfte **können sich gegenseitig aufheben,** so daß der Körper, auf den sie wirken, in Ruhe bleibt. Man sagt dann: **Die Kräfte halten sich das Gleichgewicht.**

Wird an den beiden Enden eines Seiles mit gleichen Kräften nach entgegengesetzten Richtungen gezogen, so kann die Spannung so groß werden, daß das Seil reißt, d. h. daß nicht Zug, sondern Bewegung eintritt. In anderen Fällen werden die Körper zerdrückt oder zerbrochen. Vgl. § 29.

Was geschieht nun, wenn eine Kraft aufhört, auf einen in Bewegung gesetzten Körper zu wirken? Wir sehen auf Bahnhöfen manchmal einen Wagen oder auch einen ganzen Zug ohne ziehende oder schiebende Lokomotive sich annähernd gleichförmig auf den wagerechten Schienen bewegen. Wir ahmen diesen Vorgang nach durch den im folgenden Paragraphen beschriebenen Versuch.

§ 11. Trägheits- oder Beharrungsgesetz. *Versuch:* Halten wir das Gewicht, das in den vorhergehenden Versuchen (Abb. 15) den Wagen zieht, nachdem es diesen in Bewegung gesetzt hat, durch die Hand

oder ein entgegenstehendes Plättchen auf, so läuft der Wagen mit der bis dahin erlangten Geschwindigkeit weiter.

Die Erfahrung lehrt freilich, daß in allen solchen Fällen die Bewegung sich allmählich verlangsamt und endlich zum Stillstand kommt. Aber man beobachtet auch, daß die Bewegung um so länger andauert, je weniger der Körper durch Reibung und andere Umstände gehindert wird. (Schlitten auf glatter Eisfläche, Billardkugel auf Marmorplatte.) GALILEI (1564 bis 1642) hat zuerst erkannt, daß nur diese „Bewegungshindernisse" es sind, die die Bewegung verlangsamen, daß also ohne sie die Bewegung mit unveränderter Geschwindigkeit fortdauern würde, und daß auch die Richtung der Bewegung dieselbe bleibt. Wir sprechen das „Gesetz" in folgender Form aus:

Ein bewegter Körper, auf den keine Kraft wirkt, behält sowohl seine Geschwindigkeit als auch die Richtung seiner Bewegung unverändert bei.

Die Ruhe ist hier als besonderer Fall (Geschwindigkeit 0) schon mit eingeschlossen.

Zur Übertragung der Bewegung von einem Körper auf einen anderen ist überdies eine gewisse meßbare Zeit erforderlich. Diese Zeit ist manchmal sehr klein, z. B. bei der Wirkung der Pulvergase auf ein Geschoß, beim Stoß einer Billardkugel auf eine andere. **Versuche:* Man lege auf ein Trinkglas ein Blatt Papier und darauf eine Münze. Bei raschem Fortschnellen des Papierblattes fällt die Münze in das Glas. Man entferne durch raschen Schlag den untersten Stein aus einer Säule von Damenbrettsteinen. Man lege einen längeren dünnen Holzstab mit seinen beiden Enden auf zwei mit Wasser gefüllte Weingläser oder hänge ihn in zwei Papierschleifen auf. Führt man mit einem Spazierstock einen kräftigen Schlag gegen die Stabmitte, so zerbricht er, ohne die Unterstützung in Mitleidenschaft zu ziehen. — Ähnlich Abbrechen eines über dem Tisch herausragenden, mit einer Zeitung bedeckten dünnen Brettes.

Übungen: 1. Erkläre auf Grund des Trägheitsgesetzes folgende Erscheinungen: a) Ein Laufender kann nicht plötzlich stille stehen. b) Steht man in einem schnell fahrenden Wagen, der unerwartet rasch haltmacht, so fällt man leicht um (Umkehrung der hiernach erwarteten Wirkung beim Anhalten eines Eisenbahnzuges). c) Ausspritzen einer Feder, Ausschwenken nasser Tücher, Befestigung eines Hammers am Stiele. d) Spritzen der Wagen- und Fahrräder. — In welcher Richtung fliegt der Schmutz?

2. Warum kippt ein rasch fahrender Wagen (Auto) bei scharfen Biegungen leicht um?

3. Warum fällt ein laufender Reifen nicht um? — Beachte die pendelnden Schwankungen, wenn er langsamer läuft. Etwas verwickelter ist der Vorgang bei einem Zweirad, s. § 22, Üb. 3.

4. Kann man aus einem krummen Kanonenrohr um die Ecke schießen? Warum gelingt es mittels des Bumerangs?

5. Wird beim „Eierpicken" eher das festgehaltene oder das bewegte Ei zertrümmert? Ist beim Eisenbahnzusammenstoß der stehende oder der fahrende Zug mehr gefährdet?

6. Bedarf eine Pferdebremse, welche eine Zeitlang auf dem Pferde eines fahrenden Gespannes gesessen hat, wenn sie nach dem Abfliegen das Pferd

verfolgt, eigener Muskelkraft oder wird sie infolge des Beharrungsvermögens mitgenommen? Wie verhält es sich mit einer Fliege, die a) im geschlossenen, b) im offenen Wagen an derselben Stelle bleiben soll?

Geschichtliches: Im Altertum wußte man von der Trägheit und Beharrung der Körper nur, daß ein ruhender Körper nicht von selbst in Bewegung übergeht. — Von den bewegten Körpern aber glaubte man, daß alle Körper ein Bestreben haben, nach einiger Zeit „von selbst" in Ruhe überzugehen. Das wahre von GALILEI entdeckte Gesetz wurde von NEWTON (1687) in folgender Form ausgesprochen: **Jeder Körper beharrt in dem Zustand der Ruhe oder der gleichförmig geradlinigen Bewegung, solange er nicht von äußeren Kräften gezwungen wird, diesen Zustand zu ändern.**

§ 12. Bewegungshindernisse. I. **Reibung** findet an den Berührungsstellen zweier Körper statt, deren einer längs des anderen gleitet oder rollt (Reibung beim Gleiten, beim Rollen). — Der hemmende Einfluß der Reibung rührt her a) von der Adhäsion (§ 31), b) von den Unebenheiten, die auch die bestpolierten Oberflächen zeigen. Da diese Wirkungen bei einer rollenden Bewegung gering sind, so ist auch im allgemeinen die **Reibung beim Rollen kleiner als die beim Gleiten.**

Welche Mittel werden zu Verminderung der Reibung angewendet? — Wo benutzen wir aber umgekehrt die Reibung, und wodurch suchen wir sie in solchen Fällen zu vergrößern? — Warum schmiert man Eisenbahnräder viel sorgfältiger als Wagenräder? (Vgl. die Reibung an der Achse und an der Fahrbahn!)

II. **Der Widerstand des „Mittels"**, d. h. der tropfbaren oder gasförmigen Flüssigkeit (Wasser, Luft), in der sich die Körper bewegen, rührt namentlich her von der Trägheit der Flüssigkeitsteilchen, indem diese durch den Körper selbst erst in Bewegung gesetzt und beiseite geschoben werden müssen. (Bei zähflüssigen Körpern kommt auch deren Kohäsion, § 30, in Betracht.)

**Übungen:* Wie sucht man den Widerstand des Mittels bei Schiffen, Flugzeugen, Geschossen, Luftschiffen zu vermindern? —

Bei welchen Einrichtungen und Vorgängen wird der Widerstand des Mittels praktisch ausgenutzt? (Rudern, Schwimmen usw.) —

Stelle **Versuche* an, indem du ein Blatt Papier, ein Brett, einen aufgespannten Regenschirm u. dgl. in verschiedener Weise durch die Luft bzw. durch Wasser bewegst.

§ 13. Messung der Kräfte. Ziehen wir an einem Baumast, so daß er sich um ein bestimmtes Stück herabbiegt, so werden wir dazu eine bestimmte Kraft aufwenden müssen. Hängen wir statt dessen so viel Gewichte an dieselbe Stelle, bis er ebenso weit gebogen ist, so werden wir sagen, daß die Kraft dieses Gewichtes gleich der vorher von uns ausgeübten Kraft sei. Stemmen wir uns endlich gegen den durch die

Gewichte herabgezogenen Ast, oder ziehen mittels einer Schnur ihn wieder nach oben in seine alte Lage, so werden wir dazu dieselbe Kraft wie vorher anwenden müssen. Wir setzen daher fest:

Zwei Kräfte heißen gleich, wenn sie sich in ihren Zug- und Druckwirkungen gegenseitig ersetzen oder sich das Gleichgewicht halten können. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit, alle Kräfte verschiedener Art durch Vergleich mit Kräften einer bestimmten Art, die leicht meßbar sind, zu messen. Als solche bieten sich die Gewichte dar:

Einheit der Kraft ist das kg-Gewicht. Eine Kraft hat die Größe p kg, wenn sie diesem Gewicht das Gleichgewicht hält oder durch dies Gewicht ersetzbar ist.

Zur praktischen Messung von Kräften dienen die **Kraftmesser** oder **Dynamometer** [1]). Sie bestehen entweder aus federnden Stahlstreifen (Fig. 16) oder aus Spiralfedern (Abb. 17) und werden in diesem Falle auch Federwagen genannt; sie tragen in der Regel einen Zeiger, der vor einer nach Gramm oder Kilogramm geeichten Skala [2]) spielt. Der Zug, den z. B. ein Pferd auf einen Wagen ausübt, wird gemessen, indem man zwischen Pferd und Wagen ein solches Dynamometer einschaltet.



Abb. 16.

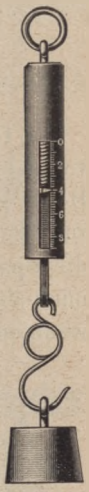


Abb. 17.

Wie ist ein auf Druck zu beanspruchendes Dynamometer einzurichten?

Anmerkung. Kräfte lassen sich durch Strecken veranschaulichen („graphisch darstellen"). Solche Strecken stellen unmittelbar dar: 1. den Angriffspunkt und 2. die Richtung der Kraft. 3. Die Größe der Kraft kann nicht unmittelbar durch die Größe einer Linie, wohl aber kann mittelbar die verhältnismäßige Größe zweier oder mehrerer Kräfte durch das Verhältnis der Längen von Strecken dargestellt werden; ist z. B. festgesetzt worden, daß in Fig. 18 die Strecke P 2 kg darstellen soll, so stellt Q 4 kg dar.



Abb. 18.

**Übungen:* 1. Überzeuge dich, daß die Dehnung einer Spiralfeder bei nicht zu großer Belastung proportional mit dieser wächst; stelle den Zusammenhang zwischen Dehnung und Belastung durch ein „Diagramm" dar.

2. Prüfe durch Anhängen von Gewichtsstücken, ob eine Federwage richtig geeicht ist.

3. Wenn jemand an einer Reckstange ein Dynamometer anbringt und daran mit voller Kraft — aber freistehend und ohne Ruck! — senkrecht

[1]) *Dýnamis* (gr.), Kraft; *metrein* (gr.), messen.
[2]) *Scala*, Leiter, Treppe.

nach unten zieht, kann das Dynamometer dann mehr als das Körpergewicht anzeigen? —

4. Kann jemand, in einem Wagen oder Schlitten ruhig sitzend, durch Stemmen gegen die Vorderwand diesen in Bewegung bringen? Was kann er höchstens erreichen? Wie wäre es, wenn man, im Schlitten sitzend, an einer Stange einen recht kräftigen Magnet vor den Schlitten hielte und an dem Schlitten selbst vorn einen „Anker" aus Eisen anbrächte?

5. Inwiefern kann man sagen, daß ein Floh, der seine eigene Länge um das mehr als 100 fache überspringt, größere Muskelkraft habe als der Mensch?

E. Einfache Maschinen.

§ 14. Rolle und Flaschenzug. Soll ein Gewichtsstück (eine „Last") von 5 kg durch eine „Kraft" (z. B. die Muskelkraft des Armes) in die Höhe gehoben werden, so kann man, statt die Last unmittelbar anzufassen, sie auch durch Vermittlung eines Seiles emporheben. Durch die Spannung des Seiles (§ 10) wird der Zug der Last von dem einen nach dem anderen Ende übertragen. Hierin ändert sich auch nichts, wenn man das Seil gleitend um ein festes Hindernis (die Tischkante) herum oder durch einen Ring hindurchführt und die dabei auftretende Reibung möglichst vermindert. Zur Verminderung der Reibung besonders geeignet ist die Rolle.

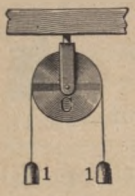


Abb. 19.

Die **Rolle** besteht aus einer um eine Achse drehbaren kreisrunden Scheibe (Abb. 19), deren Umfang eine Rinne (Nut) hat, in die ein Seil gelegt ist. Je nachdem die Achse, welche in einer „Schere" drehbar ist, samt dieser selbst in fortschreitende Bewegung kommen kann oder nicht, heißt die Rolle **beweglich** (Abb. 21, B) oder **fest** (Abb. 19, 20). Hängt man an das eine Ende eines Seiles, das um eine feste Rolle geführt ist, eine Last, so muß man an das andere Ende einen Körper von gleichem Gewicht hängen oder (Abb. 19) eine Zugkraft von gleicher Stärke (Abb. 20) wirken lassen, wenn das Seil in Ruhe bleiben soll. Oder:

An einer festen Rolle findet Gleichgewicht statt, wenn die Kraft gleich der Last ist ($P = Q$).

Die Größe des Halbmessers der Rolle ist ohne Einfluß. Die Last kann natürlich erst wirklich gehoben werden, wenn die am anderen Ende angreifende Kraft etwas größer als die Last ist. — Die Versuche Abb. 19 und 20 zeigen, daß gleiche Kräfte, die bei einer festen Rolle an den beiden Seilenden wirken, sich aufheben. Beachte aber den Zug an der Schere!

Die feste Rolle dient dazu, die Richtung einer Kraft zu ändern.

Anwendung z. B. bei Aufzügen, Türen mit Selbstverschluß, Hängelampen zum Heben und Senken (vgl. auch die Apparate in Abb. 15, 77).

Die **bewegliche Rolle** wird meist in Verbindung mit einer festen Rolle angewandt (Abb. 21). Das eine Ende des Seiles, an dem die bewegliche Rolle B hängt, ist an einem Haken n befestigt, das andere ist über die feste Rolle A geführt. An der Schere der beweglichen Rolle B hängt die Last Q. Da der Zug der Last sich auf zwei Seilstücke (a, b) verteilt, so wird jedes von diesen nur die Hälfte der durch Q hervorgebrachten Spannung erfahren. Daher wird auch eine am freien Ende (c) des Seiles wirkende Kraft nur die Hälfte des Widerstandes der Last zu überwinden haben:

An einer beweglichen Rolle findet Gleichgewicht statt, wenn die Kraft gleich der Hälfte der Last ist ($P = {}^1/_2\, Q$).



Abb. 20.

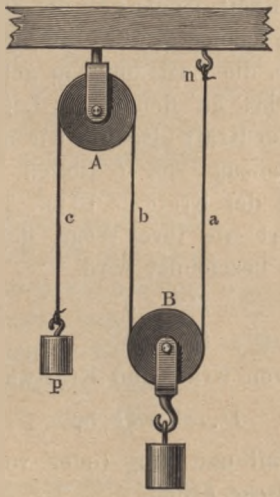


Abb. 21.



Abb. 22.

Der * *Versuch* zeigt, daß keine Bewegung erfolgt, wenn diese Bedingung erfüllt ist. Dagegen wird die Last Q gehoben, wenn die Last P etwas größer als ${}^1/_2\, Q$ ist.

Was ist zur Last mit hinzuzurechnen?

Der Flaschenzug (Abb. 22) besteht aus zwei Scheren, in deren einer ebensoviel feste als in der anderen bewegliche Rollen eingelagert sind; an der oberen Schere ist ein Seil befestigt, welches von je einer beweglichen zu einer festen Rolle läuft. Die Last greift an der unteren Schere, die Kraft am freien Seilende an. Ist z. B. das Seil über $2 \cdot 3 = 6$ Rollen geführt, so verteilt sich die Spannung auf sechs Seile, von denen daher jedes einzelne nur ${}^1/_6$ der Last zu tragen hat. Daher ist die zur

Überwindung des Widerstandes erforderliche Kraft auch nur gleich $^1/_6$ der Last. Allgemein:

Beim Flaschenzug von n Rollen findet Gleichgewicht statt, wenn die Kraft gleich $1/n$ der Last ist.

Der **Versuch* bestätigt auch hier das Ergebnis der Überlegung. Soll die Last gehoben werden, so muß die Kraft etwas größer als $1/n$ der Last sein, und eine weitere Vermehrung der Kraft ist erforderlich, um die nicht unerhebliche Reibung zu überwinden. Was ist aber auch hier zur Last hinzuzurechnen?

Übung: Bei einem Flaschenzug mit drei Paar Rollen betrage das Gewicht der beweglichen Schere nebst Rollen 12 kg. Welche Kraft ist nötig, um einer Last von 240 kg das Gleichgewicht zu halten? (42 kg.)

§ 15. Mechanische Arbeit. Bei der beweglichen Rolle und dem Flaschenzug ist zwar die Kraft geringer als die Last, dafür aber ist der Weg der Kraft entsprechend größer als der Weg der Last. Soll bei der beweglichen Rolle die Last um 3 m gehoben werden, so muß jedes der beiden Seilstücke, an denen die Last hängt, um 3 m verkürzt, der Angriffspunkt der Kraft also um 6 m abwärts bewegt werden. Ebenso ist beim Flaschenzug von 6 Rollen, wenn der Weg der Last = 3 m ist, der Weg der Kraft = 18 m. Es verhalten sich also Kraft und Last umgekehrt wie ihre Wege, d. h. wenn der Kraftweg mit a, der Lastweg mit b bezeichnet wird,

$$\frac{P}{Q} = \frac{b}{a},$$

oder es ist das Produkt von Kraft und Kraftweg gleich dem Produkt von Last und Lastweg: $P.a = Q.b.$

Das **Produkt von Kraft und Weg** (oder von Last und Weg) bezeichnet man als **mechanische Arbeit.**

Wenn jemand ein Gewichtsstück von 1 kg um 1 m emporhebt, so sagt man, er leistet eine (mechanische) **Arbeit** von 1 Meterkilogramm (1 mkg). Hat ein Arbeiter 20 kg fünf Stockwerke hoch emporgeschafft, so hat er die gleiche Arbeit geleistet, wie wenn er 100 kg um ein Stockwerk hoch geschafft hätte. So **kostet es auch weder mehr noch weniger Arbeit,** 6 kg 1 m hoch oder 1 kg 6 m hoch zu heben. Es besteht also ein „Gesetz der Erhaltung der Arbeit" zunächst für die bisher betrachteten „Seilmaschinen". Gleichwohl ist die Anwendung des Flaschenzuges vorteilhaft, weil man durch ihn „Kraft erspart" und überdies die Kraft in einer bequemeren Richtung wirken lassen kann. — Wir fassen Rolle, Flaschenzug und ähnliche Vorrichtungen zusammen unter dem Namen einfache Maschinen[1]):

Maschine heißt jede Vorrichtung, die dazu dient, eine Kraft zum Zwecke der Arbeitsleistung von einer Stelle an eine

[1]) *machina*, Vorrichtung zum Bewegen von Lasten.

andere zu übertragen, wobei im allgemeinen sowohl die Größe der Kraft als auch ihre Richtung und ihr Angriffspunkt verändert werden.

§ 16. Der Hebel. Wenn ein Schlüssel sich schwer im Schlosse dreht, so versuchen wir wohl mittels einer durch die Öse gesteckten Stange ihn zu drehen. Um einen herauszuziehenden Nagel recht fest anfassen zu können, benutzen wir die Kneifzange. In diesen und ähnlichen Fällen übertragen wir Kraft von unseren Muskeln auf den anzugreifenden Punkt mit Hilfe einer festen drehbaren Stange. Weil man insbesondere diese Vorrichtung auch anwendet, um schwere Lasten von der Stelle zu heben, bezeichnet man sie als Hebel.

Um die Wirkungsweise des Hebels klarer zu erkennen, betrachten wir zunächst einen möglichst vereinfacht gedachten Fall: eine gerade Stange, welche um eine durch den Mittelpunkt gehende Achse drehbar ist (Abb. 23). Wir sehen dabei von dem eigenen Gewicht dieser Stange ab, und wollen auch voraussetzen, daß die daran anzubringenden Kräfte zunächst alle senkrecht nach oben oder unten gerichtet sind, während der Hebel selbst horizontal liegt. Die Entfernung des Angriffspunktes einer Kraft von der Drehungsachse bezeichnen wir als den Hebelarm dieser Kraft (Kraftarm).

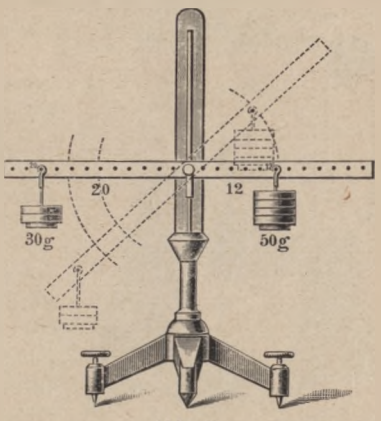


Abb. 23.

**Versuche:* a) Gleiche Gewichte zu beiden Seiten in gleichem Abstand angebracht, halten sich das Gleichgewicht.

b) Wir bringen das eine der beiden sich nach a) das Gleichgewicht haltenden Gewichte nacheinander in die doppelte, dreifache, ... Entfernung von der Achse. Um das Gleichgewicht zu erhalten, müssen wir dann das in der Entfernung 1 auf der anderen Seite gebliebene Gewicht verdoppeln, verdreifachen usw. Hieraus folgt:

Die Drehwirkung einer Kraft wächst in gleichem Verhältnis wie ihr Abstand von der Achse.

Da sie andererseits natürlich mit der Größe der Kraft zunimmt, so wird man allgemein das Produkt aus Kraft und Hebelarm als Maß für die Drehwirkung ansehen können. Dieses Produkt führt den Namen **Drehmoment**[1]) der Kraft.

[1]) *momentum* (*movimentum*), das Bewegende.

Der **Hebel** wird daher allgemein **im Gleichgewicht sein, wenn die Drehmomente beiderseits gleich sind,** d. h. wenn

$$P \cdot p = Q \cdot q$$

ist, unter P und Q die beiden Kräfte (Abb. 24a), unter p und q ihre Arme verstanden.

Statt dieser Gleichung kann man, indem man beiderseits durch $Q \cdot p$ dividiert, auch schreiben $\frac{P}{Q} = \frac{q}{p}$, in Worten: Die Kräfte müssen sich, damit Gleichgewicht besteht, umgekehrt verhalten wie die Hebelarme.

„Hebelgesetz", schon im Altertum bekannt (ARISTOTELES; genauer untersucht von ARCHIMEDES, 287 bis 212 v. Chr.).

Das Hebelgesetz gilt ebensowohl, wenn, wie in Abb. 24 und 24a, beide Kräfte in gleicher Richtung, aber auf verschiedenen Seiten der Achse wirken, wie wenn sie in entgegengesetzten Richtungen auf derselben Seite der Achse wirken (Abb. 24b). Im ersteren Falle heißt der Hebel zweiseitig, im letzteren einseitig. (Die gebräuchlichere Bezeichnung „einarmig", „zweiarmig" ist nicht einwandfrei; warum nicht?)

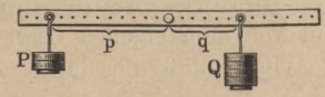


Abb. 24a.

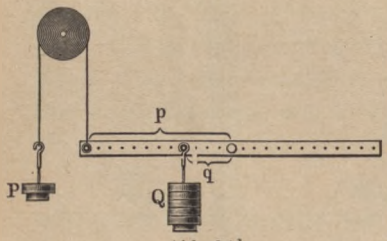


Abb. 24b.

Wirken beiderseits mehrere Kräfte, so besteht Gleichgewicht, wenn die Summe aller Drehmomente in der einen Richtung gleich der in der entgegengesetzten Richtung ist.

Bestätigung durch **Versuche.*

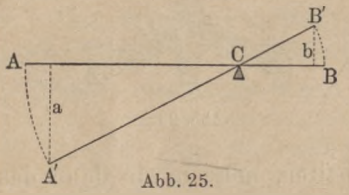


Abb. 25.

Auch für den Hebel gilt das Gesetz von der Erhaltung der Arbeit. Wenn wir eine Last im Punkte B des Hebels (Abb. 25) heben wollen, bis B', so daß sie im ganzen um das vertikale Stück b aufwärts bewegt wird, so gebrauchen wir in A, wenn der Hebelarm AC etwa dreimal so lang ist als BC, nach dem Hebelgesetz nur (etwas mehr als) den dritten Teil des Gewichtes der Last, d. h. wir ersparen Kraft. Dafür müssen wir aber mit der Kraft den Weg AA', senkrecht nach unten also die Strecke a beschreiben. Diese ist dann, wie rein geometrisch leicht zu beweisen ist, auch dreimal so groß als b, also der Kraftweg ebensovielmal größer als der Lastweg, wie die Last größer ist als die Kraft, oder es ist, wie bei der Rolle und dem Flaschenzug,

$$P \cdot a = Q \cdot b,$$

d. h. die Arbeit der Kraft ist gleich der Arbeit der Last.

In Wahrheit ist natürlich die verbrauchte Arbeit ($P \cdot a$) noch ein wenig größer als die gewonnene ($Q \cdot b$), da die Reibung überwunden werden muß.

Der Hebel dient, wie die Rolle und der Flaschenzug, als einfache Maschine zur Veränderung der Wirkungsweise einer Kraft. (Verlegung des Angriffspunktes, Veränderung der Richtung, Kraftersparnis auf Kosten des Weges oder umgekehrt.)

Erläutere unter diesen Gesichtspunkten folgende *Anwendungen* des Hebels: Wage, Schnellwage, Hebebaum, Brechstange, Spaten, Wippschaukel, Schlagbaum, Pumpenschwengel, Türklinke, Ruder, Hammer beim Ausziehen von Nägeln benutzt (Abb. 26); Trittbrett bei der Nähmaschine, dem Spinnrad, Schiebkarre, Unterkiefer, Unterarm und andere Knochen usw. Zwei Hebel zugleich wirken bei der Kneifzange, der Schere, dem Nußknacker, der Kartoffelpresse u. a. Gib bei allen diesen Beispielen an, ob die Hebel einseitig oder zweiseitig (oder auf beide Weisen) verwendet werden.

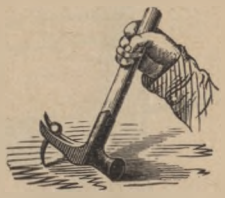


Abb. 26.

Weitere *Übungen:* 1. Wie groß muß am Hebelarm 5 dm eine Kraft sein, damit sie einer Last von 100 kg am Hebelarm 1 dm das Gleichgewicht hält?

2. Wie muß man 40 g auf zwei Hebelarme von 3 cm und 7 cm Länge verteilen, damit der Hebel im Gleichgewicht ist?

3. An die Enden eines Meterstabes hängt man Gewichte von 70 bzw. 130 g. An welcher Stelle der Teilung muß man den Stab unterstützen, damit er im Gleichgewicht ist?

4. Kann man mittels eines über die Schulter gelegten Stockes eine Last so tragen, daß die Belastung der Schulter nicht größer als das Gewicht der Last ist? — Wann wird der Druck am kleinsten und das Halten am bequemsten?

5. Warum wird es immer schwieriger, ein Zündhölzchen in immer kürzere Stücke zu zerbrechen?

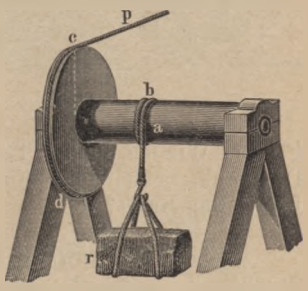


Abb. 27.

6. Was mag ARCHIMEDES mit dem Satze gemeint haben: „Δός μοι ποῦ στῶ, καί τὴν γῆν κινήσω“ (Gib mir einen festen Punkt und ich will die Erde aus den Angeln heben)? Antw.: Nach der gewöhnlichen Annahme einen Hebel, nach einigen einen Flaschenzug. — Zeige, daß es eigentlich je zweier „fester Punkte“ (wozu?) bedürfte. — Gesetzt, der Mond wäre „Drehpunkt“ eines Hebels, die Sonne Standpunkt des ARCHIMEDES — wie weit müßte hier das Hebelende bewegt werden, damit die Erde einen Schritt weit verschoben würde? Gälte die Zahl nur, wenn Sonne, Mond und Erde in einer Geraden stehen?

§ 17. Das Wellrad. Die einfachste Form des **Wellrades** zeigt Abb. 27. — Ist dabei der Radius (bzw. der Umfang) des größeren

Rades n mal so groß als der Radius (Umfang) des kleineren Rades (oder der Achse selbst in Abb. 27), so ist offenbar der Kraftweg bei einer beliebigen durch Anziehen des Seiles c hervorgebrachten Drehung n mal so groß als der Lastweg. Wenn daher auch hier das Gesetz von der Erhaltung der Arbeit zutrifft, so wird gelten:

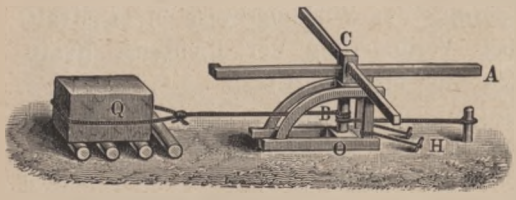


Abb. 28.

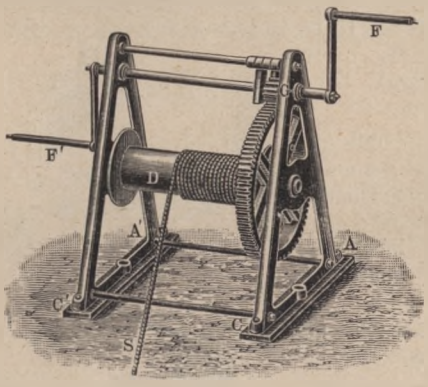


Abb. 29.

Am Wellrade herrscht Gleichgewicht, wenn die am Rande angreifende Kraft sich zu der an der Welle angreifenden Last verhält, wie der Radius der Welle zu dem des Rades.

$$(P:Q = r:R$$

oder

$$PR = Q.r.)$$

Bestätigung des Satzes durch *Versuche.* — Anwendungen des Wellrades siehe Abb. 28 und 29. Wodurch ist hier das Rad ersetzt? **Kurbel!**

Ferner: Winden, Räder (Transmissionen), Göpel, Zahnräder, Haspel, Spinnrad, Drehbank, Schleifstein, Kaffeemühle, Schlüssel. — Was ist dabei jedesmal Last, was Kraft?

§ 18. Gleichgewicht und Arbeit auf der schiefen Ebene. Eine ebene Straße, die gegen die wagerechte Richtung unter einem spitzen Winkel, dem Neigungswinkel, ansteigt (ein ebenso geneigtes Brett, eine Rinne, längs welcher eine Kugel herabrollt, das Bett eines Baches, in gewissem Sinne auch eine Stiege, eine schiefe Leiter), stellen **schiefe** Ebenen dar. Grenzen wir eine beliebige „Länge" $AB = l$ (Abb. 30) an der schiefen Ebene ab und ziehen von A die wagerechte „Basis" $AC = b$, von B die lotrechte „Höhe" $BC = h$, so bildet das Verhältnis $h:b$ ein Maß der „Steigung" (der Neigung) oder des „Gefälles" der schiefen Ebene.

Was heißt z. B.: Die Eisenbahn hat an einer Stelle die Steigung 1 : 100, an einer anderen 1 : 45? — Zahnradbahnen haben Steigungen bis 48 : 100 (Pilatusbahn), die steilsten Gebirgsstraßen, Rampen ... nicht mehr als 1 : 24. — Zeige, daß, wenn der Neigungswinkel 45° ist, die Steigung 1 : 1 ist; ferner,

daß der wagerechten Ebene die Steigung $0:1 = 0$, der lotrechten $1:0 = \infty$ entspricht. — Wie erkennt man auf einer Landkarte aus der größeren oder geringeren Annäherung der „Schichtenlinien", ob das Gefälle von Bergabhängen größer oder kleiner ist? Was lehren in dieser Hinsicht die Richtungen der fließenden Gewässer?

Die Erfahrung lehrt, daß eine Last leichter auf einer schiefen Ebene als in senkrechter Richtung in die Höhe gezogen wird. Dasselbe zeigen *Versuche* an dem Modell einer schiefen Ebene (Abb. 31). Auf der schiefen Ebene liege ein Körper vom Gewicht Q, und um ihn festzuhalten, sei eine Kraft P erforderlich. Die Versuche ergeben:

Eine parallel zur schiefen Ebene aufwärts wirkende Kraft hält einer auf dieser liegenden Last das Gleichgewicht, wenn sich die Kraft zur Last verhält, wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge.

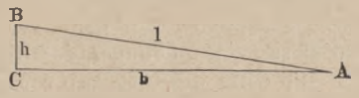


Abb. 30.

Dies Ergebnis entspricht wiederum dem Satze von der Erhaltung der Arbeit. Denn aus $P:Q = h:l$ folgt

$$P.l = Q.h.$$

Die rechte Seite stellt die eigentlich zu leistende Hubarbeit, die linke Seite die tatsächlich von der Kraft P geleistete Arbeit vor.

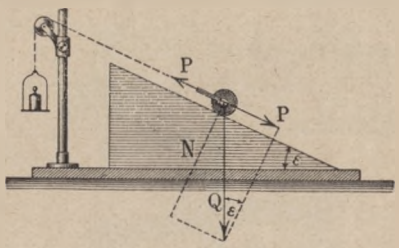
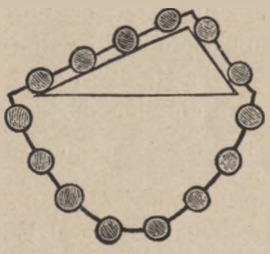


Abb. 31.

Auch die schiefe Ebene können wir also als Maschine betrachten: Ist z. B. die Länge einer schiefen Ebene 5 m, ihre Höhe 1 m, so kann eine Last von 100 kg dadurch um 1 m gehoben werden, daß man die Kraft von 20 kg längs der schiefen Ebene auf dem Wege von 5 m wirken läßt.

Auch an der schiefen Ebene wird Arbeit weder gewonnen noch verloren, sondern nur in eine andere Form umgewandelt.


Abb. 32.

Anwendung schiefer Ebenen („Schrotleitern") beim Aufladen, beim Bau, z. B. der ägyptischen Pyramiden; Stiegen, Bergstraßen (worin besteht der Nutzen der „Serpentinen"?). Zeige, daß hier immer Kraft erspart wird.

Übungen: 1. Ein Pferd zieht einen Wagen, der mit Ladung 600 kg schwer ist, auf einer Straße, für welche $h/l = 1/20$ ist, in die Höhe. Wieviel Kilogramm würde ein zwischen Pferd und Wagen eingeschaltetes Dynamometer anzeigen, wenn die Reibung zu 5 Proz. der Last veranschlagt wird? Wieviel

Arbeit leistet das Pferd an dem Wagen, wenn die Straße 500 m lang ist? Welche Arbeit hat es noch überdies zu leisten?

2. Der holländische Deichinspektor STEVIN (1548 — 1620) leitete den Satz vom Gleichgewicht an der schiefen Ebene an vorstehender Abbildung 32 ab, in der die Kugeln eine um des Dreieck gelegte Kette versinnbildlichen sollen. Wie verläuft der Beweis? „Wonder, en is gheen wonder" schreibt STEVIN dazu.

Eine weitere (theoretische) Begründung des Satzes von der schiefen Ebene s. in § 43.

Als Anwendungen der schiefen Ebene werden gewöhnlich auch der Keil und die Schraube betrachtet, doch seien dieselben hier ohne Rücksicht darauf behandelt.

§ 19. Der Keil wird gleichfalls meist als einfache „Maschine" bezeichnet, obgleich er in der Regel weniger zur Arbeitsübertragung als zur Befestigung von Gegenständen mit Hilfe der Reibung dient. Doch sind Meißel, Schere und Messer Anwendungen des Keiles in der ersteren Art.

Mit Hilfe des Gesetzes von der Erhaltung der Arbeit sieht man leicht ein, daß in diesem Falle die auf den „Rücken" des Keiles auszuübende Druckkraft sich zu der auf die „Seiten" wirkenden „Last" (Kohäsion der Körper) verhalten muß, wie der Rücken zur Seite (Abb. 33).

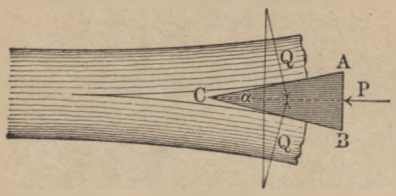


Abb. 33.

Bestätigung durch *Versuche* an einem geeigneten Apparat.

Suche Beispiele für die verschiedenen Verwendungsarten des Keiles auf.

§ 20. Die Schraube (auch Schraubenspindel genannt) ist ein zylindrischer Körper (Abb. 34), auf dessen Mantelfläche längs einer Schraubenlinie[1]) eine Furche eingeschnitten ist. Als Führung für die Schraubenspindel dient in der Regel eine Schraubenmutter (Abb. 35), das ist ein Hohlkörper, in den die Schraubenspindel so vollkommen paßt, daß sie sich darin unter Drehung verschieben läßt.

Eine Schraubenspindel (Abb. 36) werde durch eine Kraft P, die an dem Umfang einer um die Schraubenspindel gelegten Schnurscheibe angreift, aufwärts gedreht und dadurch eine Last Q gehoben. Wenn die Spindel gerade eine Umdrehung gemacht hat, so hat die Kraft einen Weg zurückgelegt, der gleich dem Umfang u der Schnurscheibe ist. Die Last Q dagegen ist um die Höhe h eines Schraubenganges gehoben worden. Angenommen, das Gesetz der Erhaltung der Arbeit gelte auch für die Schraube, so muß auch an

[1]) Man erhält eine Schraubenlinie, wenn man um den Mantel eines Zylinders, dessen Umfang $= u$ ist, ein rechtwinkliges Dreieck, dessen eine Kathete $b = u$ ist, herumwickelt; die Hypotenuse bildet dann einen Gang der Schraubenlinie, b ihren Umfang, die andere Kathete h ihre Höhe. Eine Schraubenlinie besteht in der Regel aus mehreren solchen aneinander anschließenden Schraubengängen.

dieser das Produkt von Kraft × Kraftweg gleich dem Produkt von Last × Lastweg sein, oder es muß sich die Kraft zur Last verhalten wie die Ganghöhe zum Umfang des Kreises, der von dem Angriffspunkt der Kraft beschrieben wird: $P : Q = h : u$. — Wie wird das Gesetz lauten, wenn die Kraft am Umfang der Schraube selbst angreift? — Daß dieses Gesetz in



Abb. 34.

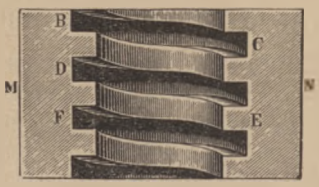


Abb. 35.

Wirklichkeit gilt, läßt sich durch *Versuche* bestätigen, wenn die auftretenden Kräfte groß sind im Vergleich mit der Reibung zwischen Schraubenmutter und Spindel.

Anwendungen: 1. Zur Hebung großer Lasten, z. B. von Dachstühlen (vgl. die Schraubenwinde, Abb. 36, bei der das ziehende Gewicht P durch eine Kraft, die an einem Hebelarm senkrecht zur Spindelachse wirkt, ersetzt zu denken ist), und zum Vorwärtsschieben großer Massen, z. B. die Schiffs-

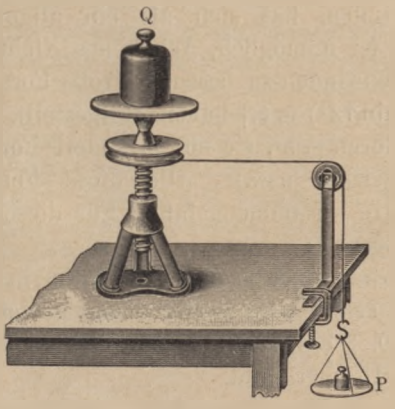


Abb. 36.

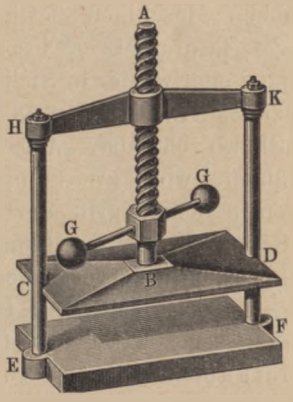


Abb. 37.

schraube, bei der das Wasser die Schraubenmutter darstellt. — 2. Zum Pressen, z. B. bei der Kopierpresse (Abb. 37), Traubenpresse, Papierpresse, Bohrer. Die Last wird hier durch den Widerstand der Kohäsionskräfte gebildet, sie greift in der Regel am fortschreitenden, die Kraft am drehenden Teil an (umgekehrt jedoch beim Drillbohrer). — 3. Zur Befestigung (Holz und Metallschrauben); hier wird nur beim Hineindrehen Arbeit geleistet, das Festsitzen des angeschraubten Gegenstandes wird alsdann durch die sehr starke Reibung bewirkt. — Bei den Meß- und Teil-

schrauben (Mikrometerschrauben) kommen nur die geometrischen, nicht die physikalischen Eigenschaften der Schrauben in Betracht.

§ 21. Arbeit und Leistung. Das Energiegesetz. Wie bereits in § 15 angegeben, wird die Arbeit durch das Produkt von Kraft und Weg gemessen. Als Einheit der Arbeit dient 1 Meterkilogramm (mkg oder kgm), das ist die Arbeit, die geleistet wird, wenn man 1 kg 1 m hoch hebt.

Im praktischen Leben kommt es meist auch darauf an, in welcher Zeit eine Arbeit geleistet wird. Die pro Sekunde geleistete Arbeit nennt man kurz **Leistung** oder **Effekt;** man findet sie, indem man die in einer gewissen Zeit geleistete Arbeit durch die Anzahl der Sekunden dividiert. Die Leistung von 75 mkg pro Sekunde nennt man Pferdestärke (PS). Doch vermag ein kräftiges Pferd dauernd nicht mehr als $^1/_2$ PS zu leisten, ein kräftiger Arbeiter höchstens $^1/_7$ PS. Große Dampfmaschinen und Dynamomaschinen leisten Tausende von Pferdestärken.

Eine neuere Einheit der Leistung ist das Watt, das ist die Leistung von etwa $^1/_{10}$ kgm, genauer $^1/_{9,81}$ kgm pro Sekunde. Ein Kilowatt ist = 1000 Watt, also annähernd 100 kgm pro Sekunde. Diese Einheit wird namentlich bei elektrischen Messungen angewandt. — Eine Pferdestärke beträgt 736 Watt.

Das Gesetz von der Erhaltung der Arbeit, das wir bei den einfachen Maschinen bestätigt fanden, hat sich als ein allgemein gültiges Naturgesetz erwiesen. Es ist unmöglich, Arbeit aus Nichts zu erzeugen oder wieder in Nichts verschwinden zu lassen. Große Forscher [Robert Mayer[1]), H. von Helmholtz[2]) u. a.] haben festgestellt, daß überall, wo scheinbar „Arbeit" verloren geht, sie nur in andere Formen verwandelt wird (Wärme, Elektrizität usw.). Alle diese Formen werden in dem Begriff der Energie zusammengefaßt. Für diese gilt das **Gesetz von der Erhaltung der Energie:**

Bei allen Naturvorgängen wird nur Energie aus einer Form in eine andere umgewandelt. An Energie selbst wird weder etwas gewonnen noch verloren. Vgl. § 45, § 52, § 80, § 134, § 151. Damit ist auch ein Perpetuum mobile[3]) als unmöglich erkannt.

Mayer berechnete auch zuerst aus hier nicht näher darzulegenden, damals nur ungenau bekannten Zahlenangaben, wieviel mechanische Arbeit mit einer Kalorie (Wärmemengeneinheit) gleichwertig oder „äquivalent" sei.

---

[1]) Robert Mayer (1814 bis 1878), Arzt in Heilbronn. Seine große Entdeckung machte er gelegentlich einer Reise in die Tropen, wo ihm auffiel, daß das venöse Blut dort viel heller, dem arteriellen ähnlicher ist als in Europa. Sein Leben wurde verbittert durch Mangel an Verständnis und Anerkennung seitens seiner Zeitgenossen.

[2]) Hermann von Helmholtz (1821 bis 1894), zuerst Militärarzt, dann Professor der Physiologie in Königsberg und Heidelberg, seit 1871 Professor der Physik in Berlin, machte bedeutende Entdeckungen auf fast allen Gebieten der Physik.

[3]) *perpetuus*, immerwährend; *mobilis*, *mobile*, beweglich.

Nach späteren besseren Bestimmungen, die zuerst von JOULE[1]) ausgeführt wurden, ergibt sich für das sogenannte **mechanische Wärmeäquivalent** der Wert

1 kcal = 424 mkg (s. § 80).

**Versuch* mit einer mit Schrotkugeln gefüllten Pappröhre oder mit einer Äther enthaltenden Metallröhre, die durch rasche Umdrehung gegen starke Reibung so heiß wird, daß der Äther siedet.

§ 22. Zusammengesetzte Maschinen. Die in der Praxis gebräuchlichen „Maschinen" sind durchweg sehr verwickelt gebaute Apparate. Man unterscheidet **Triebmaschinen,** d. h. solche Maschinen, die eine uns von der Natur gelieferte Energiequelle (Muskelkraft, chemische Energie, Wasserfälle, Wind usw.) in nutzbare mechanische Energie (meist in drehende Bewegung) umsetzen, und **Arbeitsmaschinen,** welche die aus den Triebmaschinen mit Hilfe von Riemen, Zahnrädern u. dgl. zugeführte Energie in zweckmäßiger Weise zu bestimmten Vorgängen ausnutzen. (Über elektrische Übertragung der Energie s. § 151.)

Triebmaschinen sind z. B. Dampfmaschinen, Gas- und Benzinmotoren, Mühlräder, Windmühlen, Turbinen u. a. m.

Arbeitsmaschinen u. a. Nähmaschinen, Drehbänke, Spinn-, Strick-, Webmaschinen usw., auch das Fahrrad kann hierin gerechnet werden. — Stelle weitere Beispiele zusammen!

Die wesentlichste Einrichtung der (1846 von ELIAS HOWE erfundenen) **Nähmaschine** ist der sogenannte Doppelstich. Die Nadel (Abb. 38) trägt an ihrer Spitze ein Öhr, durch das der Faden hindurchgeht, der weiter oben durch allerlei Widerstände straff gespannt wird. Hat die Nadel ein Stück Stoff nach unten gehend durchstoßen und wird wieder zurückgezogen, so gleitet durch die gebildete Öse das Schiffchen mit dem zweiten darin aufgespulten Faden hindurch. Beim weiteren Hinaufgehen der Nadel zieht diese dann den Schiffchenfaden mit an, so daß eine von beiden Seiten gleiche Doppelschlinge entsteht.

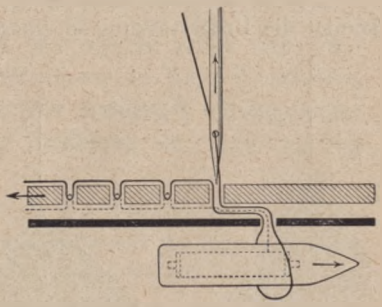


Abb. 38.

Übungen: 1. Welche Vorrichtungen dienen als „Zwischenmaschinen" zur Energieübertragung, insonderheit, wenn die Energiequelle die Muskeln sind?

2. Woher stammen die Energien unserer Triebmaschinen sowie die unserer Muskeln letzten Endes? — Erläutere insbesondere näher die chemische Energie.

3. Erläutere die Funktion der einzelnen Teile eines Fahrrades. — Erkläre die Erhaltung des Gleichgewichtes beim Fahren mit Hilfe der Steuerung,

[1]) JAMES PRESCOTT JOULE (1818 bis 1889), Brauereibesitzer und zugleich Naturforscher zu Salford (Manchester) in England

indem du berücksichtigst, daß ein fahrendes Rad nach links überkippen muß, wenn man nach rechts steuert und umgekehrt. (Warum? **Versuche.*) Wie kommt es ferner, daß bei einem „frei fahrenden" Rade (auch ohne Radler) die zur Wiederherstellung des Gleichgewichtes nötige Drehung der Lenkstange immer von selbst eintritt? (Form der Gabel des Vorderrades!) — Warum fährt ein geübter Zweiradfahrer mit einem Dreirad auf einer Straße, die in der Mitte erhöht ist, die ersten Male gegen seinen Willen in den Graben?

4. Welche einfachen Maschinen kommen an der Nähmaschine vor? Welchen Zweck hat das obere Rad?

F. Schwerpunkt. Gleichgewichtslagen. Standfestigkeit.

§ 23. Schwerpunkt. Der ungleicharmige und dementsprechend unsymmetrisch belastete Hebel (s. a. § 16, Übung 3) zeigt, daß es auch bei einem solchen Körper, bei dem das Gewicht unregelmäßig verteilt ist, möglich ist, eine **Unterstützung** zu finden, bei der er im Gleichgewicht ist. Diese Unterstützung erfolgte bei unseren Hebelversuchen stets in einer **Achse,** d. h. einer durch den Körper gelegten geraden Linie. Man kann sich aber einen Körper auch in nur einem **Punkte** unterstützt denken, z. B. an einem Faden aufgehängt oder auf einer Nadelspitze balancierend (**Versuch* mit zwei Gabeln oder Messern und einem Korkstopfen); endlich kann der Körper auch in einer ganzen Ebene unterstützt sein **(Unterstützungsfläche),** in diesem Falle ist er im allgemeinen festgelegt, d. h. nicht mehr frei beweglich.

Da zwei Punkte eine Gerade, drei Punkte eine Ebene bestimmen, so kommt die Unterstützung in einer Achse auf eine in zwei Punkten, die in einer Fläche auf eine solche in mindestens drei Punkten hinaus.



Abb. 39a.

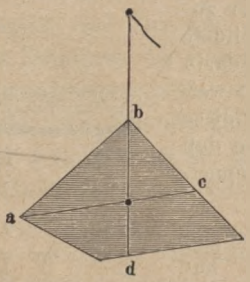


Abb. 39b.

Wir untersuchen zunächst die Fälle, daß ein Körper in einem Punkte oder einer Achse unterstützt und um diese frei beweglich ist.

**Versuche,* z. B. mit einer beliebig gestalteten Pappscheibe (Abb. 39a, b), zeigen: Wird ein Körper in einem beliebigen Punkte aufgehängt, so geht die von diesem Punkte aus gezogene Vertikallinie stets durch denselben Punkt im Körper. (Der Versuch ist mit flachen Pappscheiben leicht, mit dicken Körpern, etwa Ton- oder Wachsklumpen, etwas schwieriger auszuführen. Warum beweist aber nur ein Versuch der letzteren Art den obigen Satz allgemein?)

Der in Rede stehende Schnittpunkt wird **Schwerpunkt** des Körpers genannt. Man kann dann das Versuchsergebnis auch so aussprechen: Der Schwerpunkt eines in einem Punkte unterstützten Körpers stellt sich stets senkrecht unter den Unterstützungspunkt. Ganz dasselbe gilt nun auch, wenn der Körper nicht in einem Punkte, sondern in einer Achse unterstützt ist; der Schwerpunkt stellt sich stets senkrecht unter die Achse.

**Versuche* wie oben, mit einer Stricknadel, die als Achse hindurch gesteckt wird.

§ 24. Gleichgewichtslagen schwerer Körper. a) Wird ein Körper im Schwerpunkt selbst, oder einer durch ihn hindurchgehenden Achse unterstützt, so wird er, da jetzt der Schwerpunkt sich nicht tiefer stellen kann, in jeder beliebigen Lage stehen bleiben (Abb. 41).

b) Wird er senkrecht oberhalb des Schwerpunktes unterstützt, so bleibt der Körper in dieser Lage stehen und kehrt, wenn man ihn bewegt, wieder in sie zurück (Abb. 40).

c) Wird er senkrecht unter dem Schwerpunkt unterstützt, so bleibt er ebenfalls stehen, kippt aber bei dem leisesten Anstoß in die Lage b) um (Abb. 42).

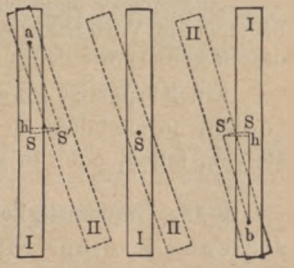


Abb. 40. Abb. 41. Abb. 42.

In jedem anderen Falle bewegt sich der Körper unter dem Einfluß der Schwerkraft so, daß er schließlich immer die Lage b) erreicht. Wir sagen, der Körper sei in dieser Lage im **stabilen**[1]) **Gleichgewicht.** Im Falle c) dagegen sprechen wir von **labilem**[1]), im Falle a) von **indifferentem**[1]) Gleichgewicht.

Beachte, daß hier „Gleichgewicht" sich auf die Wirkung einer ganz bestimmten Art von Kräften, nämlich der Schwerkräfte auf die einzelnen Teile des Körpers bezieht und vergleiche damit den allgemeineren Gebrauch des Wortes nach § 10.

Zu beachten ist ferner, daß die einfache Unterscheidung dieser drei Fälle lediglich dann zutrifft, wenn der Körper in einem oder zwei festen Punkten (oder statt der letzteren einer Achse) so unterstützt ist, daß bei jeder möglichen Bewegung dieser Punkt bzw. diese Achse an Ort und Stelle bleibt. Vgl. hiermit den Fall, daß eine Kugel auf einer ebenen Platte liegt, oder ein Kegel auf der Seite (Abb. 44), eine Kugel in einer Schale, ein Baumstamm im Wasser schwimmend u. a. m. In vielen solchen Fällen kann man überhaupt

[1]) *stábilis* = beständig (von *stare* = stehen), *labilis*, Neubildung (von *labi* = fallen), *indifferens* = gleichgültig (von *differre* = sich unterscheiden).

nicht einfach sagen, der Körper befinde sich im stabilen, labilen, oder indifferenten Gleichgewicht, sondern muß hinzufügen, in bezug auf welche mögliche Bewegung das eine oder das andere vorliegt. In welchem Gleichgewicht ist danach z. B. ein in Wasser liegender Baumstamm a) gegenüber einer Drehung

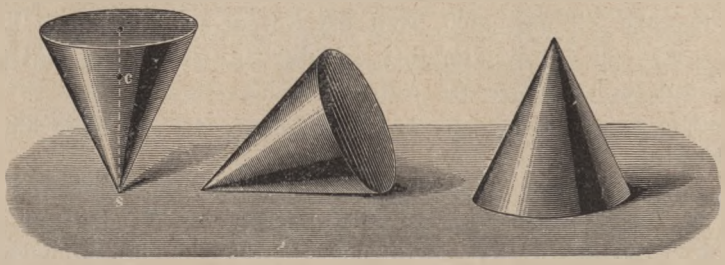


Abb. 43. Abb. 44. Abb. 45.

um seine Achse, b) gegenüber einer Kippbewegung? Wie verhält sich das bei einem im Wasser aufrecht stehenden Baumstamm? Unter Berücksichtigung dessen können wir daher sagen:

Ein Körper ist im stabilen, labilen oder indifferenten Gleichgewicht, je nachdem ob bei einer möglichen Bewegung der **Schwerpunkt steigen, fallen,** oder **in gleicher Höhe** liegen bleiben würde.

§ 25. Standfestigkeit. Wir haben nun noch den Fall der Unterstützung in einer Fläche zu untersuchen. Die vorher gebrauchten drei Ausdrücke haben hier keinen eigentlichen Sinn mehr. Nichtdestoweniger pflegt man auch hier zu sagen, der Körper sei im **Gleichgewicht,** und zwar dann, **wenn die vom Schwerpunkt aus gezogene Lotrechte die Unterstützungsfläche trifft** (Abb. 46). Ist der Körper in drei oder mehr Punkten (etwa Stellschrauben) unterstützt, so ist als Unterstützungsfläche das durch diese Punkte bestimmte Vieleck zu betrachten.

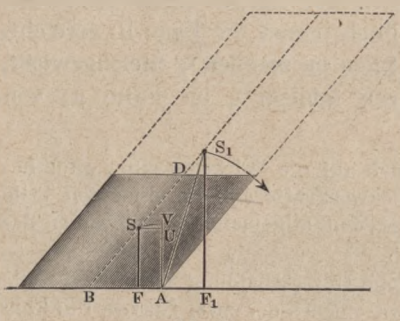


Abb. 46.

Ein in dieser Art unterstützter Körper fällt bei einer Kippbewegung um, sobald das genannte Lot außerhalb der Unterstützungsfläche den Boden trifft. Als Maß für die Standfestigkeit des Körpers ist die Kraft anzusehen, die man anwenden muß, um ihn gerade bis zu der Kippgrenze (ins labile Gleichgewicht) zu bringen. Diese Kraft wird um so größer, 1. je breiter die Unterstützungsfläche ist, und 2. je tiefer der Schwerpunkt liegt.

Erkläre hiernach, warum man Füße von Lampen u. dgl. mit Blei ausgießt, warum man Tintenfässer gern mit einem recht breiten Untergestell fest verbindet u. a. m. — Erkläre ferner, warum ein schiefer Turm (Pisa), ein schief stehender Wagen u. dgl. noch nicht sogleich umfällt, warum die Menschen, die schwere Lasten zu tragen haben (Abb. 47), ihre Körperhaltung verändern (der Schwerpunkt des menschlichen Körpers liegt in der Hüftengegend), warum der Seiltänzer eine Balancierstange benutzt, warum man eine Stange u. dgl. auf der Hand balancieren kann usw.



Abb. 47

Beachte: Es ist nicht nur im täglichen Leben, sondern auch in physikalischen Werken gelegentlich gebräuchlich, Standfestigkeit mit „Stabilität" gleichbedeutend anzuwenden, und daher auch zu sagen, ein Körper sei „um so stabiler", je schwerer er umzuwerfen ist. Im Gegensatz dazu nennt man dann auch wohl Körper, die — nach unseren Begriffen — sehr leicht umzuwerfen sind, z. B. einen auf dem stumpfen Ende stehenden Bleistift, „labil" (oder „sehr labil"). Schon daran, daß hier die Wörter stabil und labil gesteigert werden, erkennt man, daß sie anders gebraucht sind wie oben (§ 24). Besser ist es deshalb, sie hierbei zu vermeiden.

Übungen: *1. Bestimme die Lage des Schwerpunktes von beliebig gestalteten Platten.

*2. Lege einen Stab mit den Enden auf beide Zeigefinger, verschiebe diese langsam unter ihm, bis sie zusammentreffen. Warum kommen sie von selbst, ohne daß der Stab kippt, unter dem Schwerpunkt zusammen?

3. Gib an, in welcher Gleichgewichtslage die in Abb. 43 bis 45 abgebildeten drei Kegel sich befinden.

4. Desgleichen ein stehender oder liegender Zylinder, ein liegendes und ein auf der Spitze stehendes Ei (Kolumbus!) ein aufgehängtes Bild, ein Rad auf der Achse (Rolle), ein belasteter und ein unbelasteter Hebel u. a. m.

5. Warum schließt (öffnet) sich eine Tür, deren Angeln nicht lotrecht übereinanderliegen, „von selbst"? [„Versuch mit einem entsprechend gehaltenen Buche!" — Beachte die Hebung und Senkung des Schwerpunktes.] Unter welcher Bedingung „pendelt" eine solche Tür?

*6. „Hinauflaufen" einer Billardkugel längs zweier auf dem genau wagerechten Billardbrett liegenden Queues von deren dünnen zu den dicken Enden, falls diese entsprechend weiter voneinander abstehen als jene (berganlaufender Doppelkegel). — Ließe sich durch eine geschlossene Folge solcher Stäbe ein Perpetuum mobile herstellen?

*7. Warum gelingt es nicht, die Erscheinung des schiefen Turmes (Pisa, Bologna) durch eine ebenso schiefe Säule von gleichen Münzen nachzuahmen?

§ 26. Die gleicharmige Wage. Ein Stab sei, wie Abb. 48 zeigt, mit zwei Durchbohrungen *a* und *b* versehen, von denen die eine (*a*) durch

den Schwerpunkt geht. Wird der Stab auf eine Achse gesteckt, die durch *a* geht, so ist er in indifferentem Gleichgewicht; wird aber auf der einen Seite ein kleines Übergewicht angebracht, so stellt er sich lotrecht. Wird dagegen die Achse oberhalb des Schwerpunktes durch *b* gesteckt, so befindet sich der Stab im stabilen Gleichgewicht, und ein Übergewicht kann ihn nur um einen bestimmten Winkel aus dieser Lage ablenken. Wie weit? — Auf diesen Umstand gründet sich die gleicharmige Wage (Abb. 49); ihr wesentlicher Teil ist ein oberhalb seines Schwerpunktes unterstützter gleicharmiger Hebel, der Wagebalken. Dieser ruht mit einer aus Stahl gefertigten Schneide auf einem Lager, das ebenfalls aus Stahl oder aus anderem harten Material besteht. An den Enden des Wagebalkens sind die beiden Schalen angebracht. Die lotrechte Stellung der Zunge zeigt die horizontale Lage des Wagebalkens und damit die Gleichheit der auf die Schalen gelegten Gewichte (bzw. Massen) an.

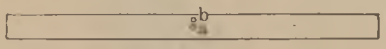


Abb. 48.

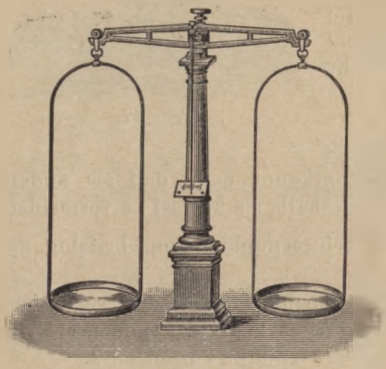


Abb. 49.

Eine gute Wage muß 1. richtig und 2. empfindlich sein.

1. Eine Wage nennt man **richtig, wenn sie sich nur bei wirklich gleicher Belastung der Balken horizontal stellt.** — Damit diese Bedingung stets erfüllt sei, ist es notwendig, daß die beiden Hebelarme 1. genau gleiche Länge und 2. gleiches Gewicht besitzen, 3. daß ihre Schwerpunkte gleiche Abstände von der Schneide, und daß 4. die Schalen gleiches Gewicht haben. (Eine Verlängerung des einen Hebelarmes auf Kosten seines Gewichtes ist mit Rücksicht auf Temperaturveränderungen nicht zulässig; warum? Der Wagebalken soll eisenfrei sein; vgl. § 125.)

Praktische Probe für die Richtigkeit einer Wage: 1. Wegnehmen, 2. Vertauschen der Schalen. — Richtiges Wägen mit einer unrichtigen Wage nach der Tariermethode.

2. Eine Wage nennt man **empfindlich, wenn schon bei einer kleinen Ungleichheit der Belastung** (Übergewicht) **der Balken aus der horizontalen Lage merkbar abweicht.** Je stärker eine Wage schon belastet ist, um so weniger empfindlich zeigt sie sich. Die feinsten („Präzisions"-) Wagen geben bei der größten zulässigen Belastung von etwa 1 kg noch auf 1 mg, ja auf 0,1 mg Übergewicht einen merklichen Ausschlag. Die (hier meist nach abwärts gerichtete) Zunge spielt vor einer Skala, die Wagebalken sind durchbrochen, die Schalen in aufwärts gerichteten Schneiden aufgehängt; zu welchen Zwecken?

§ 27. Die Schnellwage (Abb. 50) ist ein **ungleicharmiger** Hebel, an dessen kürzerem Arme CA ein Haken angebracht, und an dessen längerem Hebelarm CB ein „Laufgewicht“ Q längs einer Einteilung verschiebbar ist. Hält der Arm CB samt dem auf D stehenden Laufgewicht dem Arme CA samt dem Haken das Gleichgewicht, so zeigt die Stellung des Laufgewichtes z. B. bei Teilstrich 3 an, daß die an dem Haken hängende Last das dreifache Gewicht des Laufgewichtes hat.

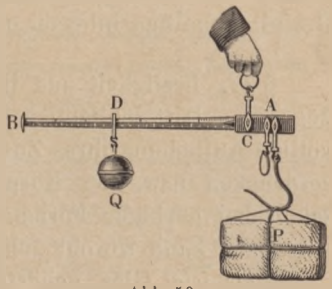


Abb. 50.

Rechenaufgaben! Warum darf auch bei der Schnellwage der Aufhängepunkt nicht der Schwerpunkt des Wagebalkens sein? — Auch die Brückenwagen (Dezimalwagen) beruhen auf der Anwendung ungleicharmiger Hebel.

G. Der mechanische Zusammenhang der Körper.

§ 28. Elastizität. **Versuche:* a) Kautschukschläuche, Stahlstangen, Spiralfedern, Elfenbeingegenstände von länglicher Form u. dgl. werden gebogen, gedreht, zusammengedrückt usw. Sie nehmen nach dem Aufhören der äußeren Einwirkung sofort ihre frühere Form wieder an.

Körper, die nach dem Aufhören einer ihre Gestalt verändernden Kraft wieder ihre ursprüngliche Form annehmen, heißen elastisch.

b) An einen Kautschukzylinder (Abb. 51) oder eine Spiralfeder (Abb. 52) werden Gewichte von veränderlicher Größe gehängt und die Ausdehnung gemessen (*Sch.-Übg.*). Es ergibt sich:

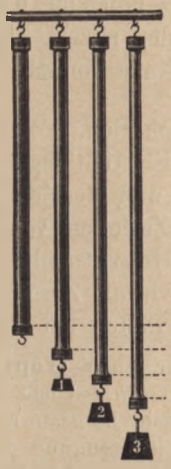


Abb. 51.


Abb. 52.

Die Dehnung eines elastischen Körpers ist der Belastung proportional Elastizitätsgesetz von HOOKE, 1678). Das Gesetz gilt für alle Arten elastischer Formänderungen (Dehnung, Biegung, Drillung usw.). **Versuche.*

Anwendungen elastischer Stoffe: Billardbälle, Stahlklingen, Stoßfedern, Fischbeinstäbe, Rohrstäbe, Bogenschießen, Kautschukwaren, Roßhaar- und Seegraspolster, Strohpackungen.

Warum wird bei gleicher Belastung eine Spiralfeder viel stärker gedehnt, als ein gleich langer gerader Draht aus gleichem Material?

c) Ein eingeklemmtes Stahllineal, eine belastete Feder u. a. werden gebogen und dann losgelassen. Es erfolgen hin und her gehende (schwingende) Bewegungen.

Elastische Körper kehren bei freier Beweglichkeit in ihre normale Form unter Schwingungen zurück.

Anwendungen: Unruhe der Taschenuhren. Tonerreger s. § 82.

Ganz unelastisch ist kein fester Stoff. Man nennt solche Stoffe, welche, wie z. B. Wachs oder Blei, nach einer Formänderung die neue Gestalt behalten, bildsam oder **plastisch.**

§ 29. Festigkeit und Härte. Zu starken formändernden Kräften gegenüber tritt schließlich bei allen festen Körpern eine Lockerung oder völlige Aufhebung ihres Zusammenhanges ein; sie zerreißen, zerbrechen, zerdrücken usw. den Körper. Körper, bei welchen dies Verhalten schon bei geringer Formänderung auftritt, heißen **spröde;** der Gegensatz dazu kann sowohl „elastisch" wie „plastisch" sein (inwiefern?).

Beispiele: Glas, gehärteter Stahl, Zink über 200°, Bologneser Glastränen!

Ebenholz läßt sich nur schwer, Lindenholz leicht mit dem Messer schneiden oder ritzen. Ersteres heißt deshalb **hart,** letzteres **weich.**

Härteskala von Mohr. **Versuche.*

§ 30. Kohäsion. Während wir die Teilchen eines Körpers innerhalb seiner Elastizitätsgrenze oder über dieselbe hinaus gegeneinander verschieben, und desgleichen wenn wir eines der „mechanischen" Mittel zum Zerteilen von festen Körpern anwenden (§ 3), empfinden wir einen Widerstand von seiten des Körpers. Diesen Widerstand bezeichnen wir als Zusammenhangskraft oder **Kohäsion**[1]). Sie ist bei weitem am größten bei festen Körpern.

Daß aber auch tropfbare Flüssigkeiten Kohäsion besitzen, zeigen folgende **Versuche:* Gießt man Wasser, Öl, geschmolzenes Blei ... aus einem Gefäß sehr langsam aus, so trennen sich nur von Zeit zu Zeit einzelne Tropfen los (Erzeugung des Bleischrotes). Honig, Teer ... bilden beim Ausgießen Fäden, und wenn ein Tropfen sich abgetrennt hat, zieht sich der übrige Teil des Fadens nach aufwärts zusammen. Die letzteren Körper heißen zähflüssig. — Die Häutchen der Seifenblasen, des Bierschaumes zeigen eine gewisse Widerstandsfähigkeit. — Gewisse feine Versuche weisen sogar in Gasen Kohäsion nach.

§ 31. Adhäsion. 1. Beim Schreiben, Zeichnen, Malen haften Graphit, Kreide, Farbe an dem Papier, dem Holze, der Leinwand. An Messing, Kupfer ... hält eine Schicht von Silber oder Gold (Versilberung, Vergoldung durch „Plattieren" und „Galvanisieren"); an Spiegelglas haftet Silberfolie (Spiegelbelegung). — 2. Taucht man den

[1]) *cohaerere,* zusammenhängen.

Finger, einen Holz- oder Glasstab in Wasser, so wird er naß, d. h. es bleibt Wasser an ihm hängen. Auch Öl bleibt am Finger hängen, nicht aber Quecksilber; dagegen haftet letzteres an Gold, Silber, Zink, Zinn. — Wasser setzt bei längerem Stehen Gasbläschen an den Gefäßwänden ab.

Die Kraft, mit der **zwei einander berührende Körper** aus gleichen oder verschiedenen Stoffen **aneinanderhaften,** nennt man **Adhäsion**[1]).

Steine, Ziegel, Holz, Metalle werden durch Mörtel, Kleister, Leim, Kitt, Lot miteinander verbunden. Wieso kommt dabei außer der Adhäsion auch die Kohäsion in Betracht? — Mit feinen Fettschichten überzogene Gegenstände werden vom Wasser nicht benetzt, so die Federn von Wasservögeln; deshalb werden auch Gefäße an Stellen, wo man Flüssigkeiten ausgießt, mit Fett bestrichen. — Bei Versuch 2 ist die Adhäsion zwischen Finger und Wasser größer, zwischen Finger und Quecksilber kleiner als die Kohäsion zwischen den Teilen der Flüssigkeiten.

Übungen: 1. Warum legt man Balken, die starken Druck auszuhalten haben, „auf die hohe Kante"?

2. Warum kann man einen längeren Draht wohl in senkrechter, nicht aber in wagerechter Richtung zu einer ganz geraden Linie ausspannen?

3. Ein Gefäß, in dem einmal stark riechende Substanzen, wie z. B. Pfefferminzöl oder Rosenöl, aufbewahrt wurden, ist nur äußerst schwer ganz von diesem Geruch zu befreien. Wie erklärt sich das? (Beachte auch die Art der angewendeten Reinigungsmittel.)

4. Wie kann man Wasser aus einem Glas, Tee und Kaffee aus einer Tasse in ein anderes Gefäß gießen, ohne daß die Flüssigkeit an dem ersteren herabfließt? — Welche Einrichtung an vielen zum Ausgießen bestimmten Gefäßen erklärt sich im Zusammenhang hiermit?

5. Wenn man zwei Holzstücke mit gutem Tischlerleim zusammengeleimt hat, so zerbricht bei starker Belastung in der Regel eher eines der Hölzer, als die Leimstelle selbst. Was folgt daraus für die in Frage kommenden Adhäsions- und Kohäsionskräfte?

§ 32. Mischen und Lösen. **Versuche:* 1. Kienruß und feines Mehl (oder Zinkweiß) geben, zu einem möglichst gleichartigen Pulver verrieben, ein **Gemisch („mechanisches Gemenge"),** das durch dunkleres oder helleres Grau und die übrigen Eigenschaften um so ähnlicher dem einen oder dem anderen Bestandteil ist, in je größerer Menge derselbe in die Mischung aufgenommen ist. — Mischungen von Malerfarben, von Milch und Kaffee, von Leuchtgas und Luft.

2. Quecksilber und Wasser, Wasser und Öl schichten sich gemäß ihrem spezifischen Gewicht übereinander, und selbst durcheinander geschüttelt, trennen sie sich nach einiger Zeit wieder in jene Schichten. Hieraus folgt: Es gibt **mischbare** und **nicht mischbare** (Paare von) Flüssigkeiten.

3. Hält man ein Stück Zucker in Wasser (oder in schwarzen Kaffee), so wird es von Flüssigkeit durchtränkt, zerfällt allmählich, und nach einiger Zeit findet man kein festes Stück Zucker mehr vor, sondern eine auch unter dem

---

[1]) *adhaerere,* anhängen, anhaften.

Mikroskop überall gleichartig erscheinende Flüssigkeit, an deren Eigenschaften man aber doch noch sowohl den Zucker als auch das Wasser erkennt. Man sagt: der Zucker hat sich im Wasser **gelöst.** Die Flüssigkeit, in der sich ein Körper löst, nennt man sein **Lösungsmittel,** das Ergebnis des Lösens **Lösung** [1]). Kochsalz, Zucker werden von Wasser — Harze, Campher von Weingeist gelöst.

Hat eine Flüssigkeit so viel von einem Körper gelöst, daß sie davon bei der herrschenden Temperatur nichts mehr aufzunehmen vermag, z. B. Wasser 37 Proz. Kochsalz, so nennt man die Lösung **gesättigt.**

Auf das Lösen hat Einfluß: 1. die mehr oder weniger innige Berührung zwischen den Teilchen der Flüssigkeit und denen des festen Körpers, 2. die Temperatur. Es wird befördert durch feines Zerteilen, durch Umrühren, durch Einbringen des festen Körpers von oben und meist durch Erwärmen. — *Stelle Kupfervitriollösungen unter so veränderten Umständen her!

**Versuch:* Ein kleiner Kristall von Kaliumpermanganat oder ein Säckchen mit Kupfervitriol wird in einem großen Glase Wasser an einem Faden oder Glasstäbchen aufgehängt (Schlierenbildung). Erkläre die Erscheinung.

Eine winzige Menge Kaliumpermanganat vermag eine sehr große Menge Wasser noch deutlich zu färben. Andere Beispiele? Beim Lösen muß also eine weitgehende Zerteilung des gelösten Stoffes stattfinden. Dies führt uns auf die

§ 33. Moleküle und Molekularkräfte. 1. Je kleiner die Teilchen sind, bis zu denen das mechanische Zerteilen der Körper bereits vorgeschritten ist, um so schwieriger wird im allgemeinen die weitere Teilung (Beispiele!). Wieweit mag sich nun die mechanische Teilbarkeit überhaupt erstrecken?

Die Erfahrung zeigt, daß sie bei manchen Stoffen sehr weit geht. So kann Moschus wiederholt ein großes Zimmer mit dem bekannten Geruch erfüllen, ohne daß man eine Veränderung des Gewichtes bemerkt. Gold und Silber können in so dünnen Schichten erhalten werden, daß diese durchsichtig sind. (Man hat Nickel- und Goldblättchen bis zur Dicke von 0,00001 mm $= 10\,\mu\mu$ hergestellt.) Feinstes Kreidepulver zeigt sich unter dem Mikroskop als aus Panzern von Infusionstierchen zusammengesetzt, die noch deutlich unterscheidbare Teile haben. — Aus mancherlei Gründen haben es die meisten Physiker schon längst für sehr wahrscheinlich gehalten, daß die mechanische Teilbarkeit der Stoffe zwar weit hinausgehe über die Grenzen aller wirklichen Teilung durch unsere Instrumente (Messer, Reibschalen usw.), daß aber diese Teilbarkeit doch nicht unbegrenzt sei. In der Tat ändern sich bei einer Kleinheitsgrenze von etwa 0,000001 mm $= 1\,\mu\mu$ die Eigenschaften ziemlich unvermittelt. Durch eine ganze Reihe von Untersuchungen ist der folgende Satz als erwiesen anzusehen:

2. **Alle Körper bestehen aus kleinsten Teilchen oder Molekülen** [2]**), die durch mechanische Mittel nicht weiter teilbar sind.** Durch chemische

---

[1]) Das Wort „Lösung" wird nicht nur für das **Ergebnis,** sondern auch für den **Vorgang** des Lösens verwendet. (Durch „Lösung" entsteht eine „Lösung".) Ähnlich ist es mit „Mischung", „Verbindung" und anderen Wörtern auf „ung".

[2]) *molecula,* von moles (lat.) = Masse.

Einwirkungen sind die Moleküle aber noch zerlegbar in Atome[1]), die kleinsten Teile der chemischen Elemente.

Diese Lehre ist früher als Molekular- und Atomhypothese[2]) bezeichnet worden. Die Größe der Moleküle ist nicht viel kleiner als die vorher angegebene, nämlich etwa 0,00000001 mm. Doch macht sich natürlich schon bei etwas dickeren Schichten bemerkbar, daß man es mit dem Einfluß der Einzelmoleküle zu tun hat. (Vergleich mit einer dünnen Sandsteinplatte.) Die Moleküle befinden sich in Abständen voneinander, die so klein sind, daß sie auch mit dem schärfsten Mikroskop nicht bemerkt werden können, die aber doch noch sehr groß sind im Vergleich zu den Molekülen selbst. Die Anzahl der Moleküle eines Gases (z. B. der Luft) in 1 cm^3 beträgt etwa $27 . 10^{18}$ (LOSCHMIDTsche Zahl).

Hiernach müssen wir uns die Kohäsion und Adhäsion als Gesamtwirkung der Anziehungen zwischen den Molekülen eines Körpers, bzw. den an den Berührungsflächen zweier Körper liegenden Molekülen erklären. Auf wie kleine Abstände diese Kräfte nur wirken, geht z. B. daraus hervor, daß die zwei Teile eines zerbrochenen Glases, noch so fest aneinandergepaßt, nicht mehr einen Körper bilden. (Dagegen *Versuch über die Adhäsion der zwei Hälften einer frisch zerschnittenen Bleikugel.)

Übungen: 1. Wie hat man sich die Auflösung von Zucker in Wasser, die Mischung von Spiritus und Wasser, die Bildung von Kristallen aus Lösungen vorzustellen? — 2. Wie hat man sich die Zusammendrückbarkeit und die Ausdehnung der Körper durch die Wärme zu denken? — 3. Welche Gründe lassen sich dafür anführen, daß nicht nur die von uns durch den Geruchssinn wahrzunehmenden festen Stoffe und Flüssigkeiten, wie Campher, Alkohol u. dgl., sondern auch zahlreiche andere „geruchlose" (Zucker, Wasser usw.), gasförmige Teilchen in die Umgebung entsenden?

§ 34. Diffusion und Osmose. **Versuche:* a) Ein Standzylinder (*Reagenzglas) wird halb mit konzentrierter Lösung von Kupfervitriol gefüllt und vorsichtig reines Wasser darüber geschichtet. — Nach einigen Stunden erkennt man deutlich auch in dem oberen Teile Blaufärbung. — Genauerer Nachweis des Kupfers mittels einer blanken Messerklinge. Im Laufe einiger Wochen tritt schließlich vollständige Mischung ein.

b) In einem mit einer Glasplatte bedeckten Standzylinder bringt man durch Umschwenken einige Tropfen Brom zur Verdampfung, setzt einen mit Luft gefüllten zweiten Zylinder umgekehrt darauf und zieht die Platte weg. Sehr bald sieht man die Gelbfärbung auch oben auftreten, obwohl Bromdampf bedeutend schwerer ist als Luft. (*Nachweis.*)

c) Umgekehrter **Versuch* mit Leuchtgas. — Ränder einfetten! (Nachweis durch Entzündung.)

Bei mischbaren **Flüssigkeiten und bei allen Gasen tritt von selbst eine Mischung ein, sogar entgegen dem spezifischen Gewicht, sobald sie in demselben Raume sich befinden.** Dieser Vorgang heißt **Diffusion.**

---

[1]) *átomos* (griech.) = unteilbar.
[2]) *hypóthesis* (griech.) = Annahme.

Bedeutung der Diffusion der Gase für die „Ventilation“ der Zimmer, die Atmung u. a.

Erfolgt die Diffusion durch „halbdurchlässige Wände“ hindurch, wie z. B. poröse Tongefäße, tierische Häute (Lungenbläschen) und dergleichen, so nennt man sie meist **Osmose.** Hierbei treten eigentümliche Druckwirkungen auf. (**Osmotischer Druck.** — *Versuche.* — „Turgor“ der Pflanzen.)

§ 35. Die Oberflächenspannung. **Versuche:* a) Legt man eine etwas eingefettete Nadel horizontal auf eine Wasserfläche, so bleibt sie trotz ihres großen spezifischen Gewichtes (7,5) liegen; ebenso eine Blechscheibe, ein dünnes Stück Seife u. a. — Drückt man jedoch das eine Ende unter Wasser, so gleiten die Körper in das Wasser hinein.

Eine Flüssigkeitsoberfläche verhält sich ähnlich wie eine gespannte Haut. Diese Spannung nennt man Oberflächenspannung. Sie ist noch deutlicher an Versuchen mit Seifenblasen zu erkennen.

b) An einem Ringe von Draht ist eine Fadenschlinge befestigt (Abb. 53a). Taucht man das Ganze in Seifenwasser, und stößt dann die Blase innerhalb

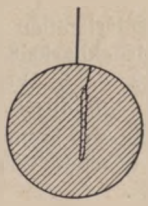


Abb. 53a.

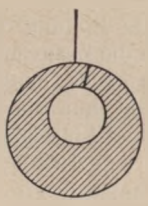


Abb. 53b.

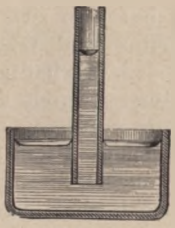


Abb. 54.

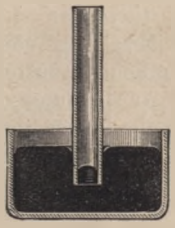


Abb. 55.

der Schlinge durch, so weitet sich diese zu einem Ringe auf (Abb. 53b), weil die äußere Seifenwasserhaut sich so weit als möglich zusammenzieht. (Weitere **Versuche.*)

An freien Flüssigkeitsoberflächen besteht eine Oberflächenspannung, welche die Oberfläche zu verkleinern strebt. Sie ist auch die Ursache der Kugelform frei schwebender Tropfen, da die Kugel bei gegebenem Volumen die kleinste Oberfläche hat.

Zu den Folgen der Oberflächenspannung gehören neben vielen anderen Erscheinungen insbesondere auch die sogenannten **Kapillarwirkungen** (= Haarröhrchenwirkungen). **Versuche* mit Wasser und Quecksilber s. Abb. 54 und 55. Achtet man dabei auf die Form der Flüssigkeitsoberfläche im Röhrchen, und auf die Höhe derselben, so findet man:

Die Oberfläche einer Flüssigkeit wird in einer engen Röhre hinaufgezogen oder herabgedrückt und ist dementsprechend konkav oder konvex, je nachdem die Flüssigkeit die Wand der Röhre benetzt oder nicht. Die Wirkung ist um so stärker, je enger die Röhre ist.

Wirkung der Löschblätter, Wischtücher und Lampendochte. Haargefäßsysteme im menschlichen Körper. Feuchte Mauern. — „Überkriechen" von Flüssigkeiten aus Gefäßen.

**Übungen:* 1. Wie erklärt es sich, daß stark riechende Substanzen (Moschus usw.) sehr bald im ganzen Zimmer zu riechen sind? (Mehrere Ursachen!)

2. Könnte man nicht ein Perpetuum mobile konstruieren, indem man Wasser mittels eines Dochtes in die Höhe saugte und von oben wieder herabtropfen ließe?

3. Warum saugt sich das Gefieder der Wasservögel nicht voll Wasser?

4. Lasse Sodalösung einige Tage in einem Einmacheglas stehen. Beobachtung? Erklärung?

5. Stelle einen in ein Haarröhrchen auslaufenden Heber her und bringe ihn zum Laufen. Er hört damit auf, ehe das Niveau im Gefäß mit der Ausflußöffnung gleich hoch liegt. Stellt man jetzt ein Schälchen mit Äther unter die Öffnung, so fängt er wieder an zu laufen.

H. Bewegungslehre. (Zweiter Teil.)

§ 36. Ungleichförmige Bewegung. Beschleunigung. In § 8 ist bereits die ungleichförmige Bewegung von der gleichförmigen unterschieden worden. Eine ungleichförmige Bewegung heißt beschleunigt oder verzögert, je nachdem die Geschwindigkeit mit der Zeit wächst oder abnimmt, d. h. je nachdem **in aufeinanderfolgenden gleichen Zeiten immer größere,** oder **immer kleinere Wege zurückgelegt werden.**

Die weitaus größte Zahl der in Wirklichkeit vorkommenden Bewegungen ist ungleichförmig. Z. B. die Bewegung eines Eisenbahnzuges ist beschleunigt (beim Ausfahren aus der Station), dann mit mehr oder weniger Annäherung wirklich gleichförmig, dann verzögert (beim Einfahren in eine Station), hierauf wird die Geschwindigkeit eine Zeitlang Null (der Zug steht still) usf. Weitere Beispiele aus der täglichen Erfahrung?

§ 37. Bewegung auf der schiefen Ebene. Ein Wagen, ein Schlitten auf einer geneigten glatten Bahn nimmt eine beschleunigte Bewegung nach abwärts an, die man „Fall auf der schiefen Ebene" nennt Wir ermitteln die Gesetze dieser Bewegung durch folgende

Versuche[1]): a) Wir geben den Schienen (Abb. 56) eine solche Neigung, daß ein leichter Wagen während der ersten Sekunde den Weg 5 *cm* („Fallstrecke der ersten Sekunde") zurücklegt; er legt dann bei derselben Neigung zufolge weiterer Versuche

während	1,	2,	3,	4	... Sekunden
	5,	20,	45,	80	... Zentimeter zurück.

[1]) Statt des Wägelchens auf der Schienenbahn kann man auch eine Kugel auf einer möglichst glatten „Fallrinne" herabrollen lassen. Die Sekunden werden am besten mittels des in der Figur dargestellten Metronoms gemessen.

Da $5:20:45:80 = 1:4:9:16 = 1^2:2^2:3^2:4^2$ ist, so ergibt sich das Gesetz:

I. **Die ganzen Fallstrecken wachsen wie die Quadrate der ganzen Fallzeiten.**

Allgemein: Bewegt sich der Wagen t Sekunden lang, so legt er einen Weg $s = 5\,cm \cdot t^2$ zurück. — Wie groß wird hiernach s für $t = 5, 6, 7 \ldots sec$, für $^1/_2$, $^1/_{10} \ldots sec$?

Durch Subtraktion der einzelnen Fallstrecken voneinander ergibt sich leicht:

II. **Die Fallstrecken in den einzelnen aufeinander folgenden Sekunden wachsen wie die ungeraden[1]) Zahlen.**

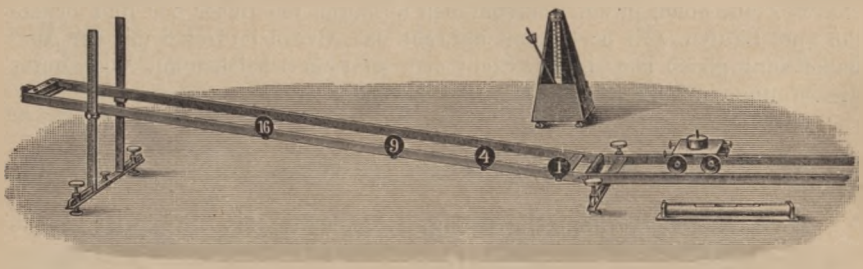


Abb. 56.

Versuche: b) Um zu finden, wie groß die Geschwindigkeiten des Wagens am Ende der einzelnen Sekunden sind, läßt man ihn nach 1, 2, 3, 4 Sekunden von der schiefen Ebene auf eine wagerechte Bahn (Abb. 56) übergehen. Die Bewegung auf dieser ist eine nahezu gleichförmige, die Geschwindigkeit kann also durch den in 1 Sekunde zurückgelegten Weg gemessen werden, und es ergibt sich, daß die Geschwindigkeit in jeder Sekunde um gleich viel zunimmt, oder:

III. **Die Geschwindigkeiten am Ende der einzelnen Sekunden wachsen wie die Fallzeiten.**

Eine Bewegung, bei der die Geschwindigkeit in gleichen Zeiten um gleich viel zunimmt, heißt eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung. Die Zunahme der Geschwindigkeit pro Sekunde heißt die **Beschleunigung.** Sie kann durch die Geschwindigkeit am Ende der 1. Sekunde gemessen werden.

Bei den vorher angestellten Versuchen ist die Geschwindigkeit am Ende der 1. Sekunde 10 cm/sec und nimmt in jeder folgenden Sekunde um ebensoviel zu. Sie läßt sich also durch die Formel $v = 10\,t$ darstellen. Die Zunahme

---

[1]) Daß man wirklich allgemein durch Subtrahieren je zweier aufeinander folgender Quadratzahlen die Reihe der ungeraden Zahlen erhält, ersieht man leicht aus Abb. 57 (vgl. mit ihr Abb. 58 — welchen Satz über die Flächen der Dreiecke beweist sie?). Erkläre zu gleichem Zwecke die Gleichung: $n^2 - (n-1)^2 = 2n - 1$.



Abb. 57.

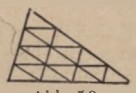


Abb. 58.

ist stets doppelt so groß wie die Maßzahl des in der 1. Sekunde zurückgelegten Weges.

Versuche: c) Behält man noch dieselbe Neigung der schiefen Ebene wie bei den Versuchen a), legt aber in den Wagen Körper von verschiedenen Stoffen (Messing-, Blei- ... Stücke) und verschiedenem Gewicht, so erkennt man:

IV. **Die gefundenen Gesetze für die Fallstrecken und die Geschwindigkeiten gelten unabhängig von Stoff und Gewicht des fallenden Körpers.**

Dagegen ist die Größe der Fallstrecken und der Geschwindigkeiten nicht in allen Fällen genau dieselbe, da je nach Gestalt und Größe des bewegten Körpers sich die Bewegungshindernisse (Reibung und Lufwiderstand, § 12) in verschiedenem Maße bemerkbar machen. Bei den vorigen und den folgenden Versuchen denken wir uns diese so klein wie möglich gemacht.

Versuche: d) Wir geben endlich der schiefen Ebene verschiedene Neigungen, indem wir bei gleicher Länge die Höhen 2-, 3-, 4- ... mal so groß machen wie bei den Versuchen a). Es ergibt sich:

V. **Die Fallstrecken** und ebenso auch **die Beschleunigungen wachsen** mit der **Neigung** der schiefen Ebene, und zwar bei gleicher Länge der schiefen Ebene ungefähr proportional mit ihrer Höhe.

Die letzte Beziehung wird am stärksten durch die Bewegungshindernisse beeinflußt und gilt deshalb nur angenähert. Die Gesetze I bis III bleiben aber bei jeder Neigung bestehen. Danach ist zu erwarten, daß sie auch noch gültig sein werden, wenn die schiefe Ebene in eine lotrechte übergeht; der Körper bewegt sich dann längs der Ebene im freien Fall.



Abb. 59.

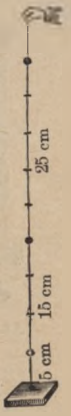


Abb. 60.

§ 38. Der freie Fall. **Versuche:* 1. Läßt man einen Stein oder eine Metallkugel aus 5 m Höhe herabfallen, so ist dazu die Zeit von 1 Sekunde erforderlich; beträgt die Fallstrecke 20 m, so ist die erforderliche Zeit 2 Sekunden. (Könnte man noch größere Fallhöhen benutzen, so würde man finden, daß die Fallstrecke in 3 Sekunden 45 m, in 4 Sekunden 80 m beträgt usf.)

**Versuche:* 2. Man halte Stein und Metallkugel nebeneinander in gleicher, möglichst großer Höhe über dem Boden. Läßt man beide zugleich los, so sieht und hört man auch beide zugleich auf den Boden aufschlagen. — Man wiederhole den Versuch mit verschiedenen Münzen. Aus genaueren Versuchen derselben Art haben sich, wie im vorigen Paragraphen, die Gesetze des freien Falles ergeben:

I. **Die Fallstrecken wachsen wie die Quadrate der Fallzeiten.** (Vgl. Abb. 59.)

II. Die Geschwindigkeiten wachsen in demselben Verhältnis wie die Fallzeiten.

Die Bewegung eines frei fallenden Körpers ist also **gleichmäßig beschleunigt.** Die Fallstrecke der ersten Sekunde ist **5 m** (genauer 4,9 m), die Beschleunigung, d. h. die Zunahme der Geschwindigkeit während jeder Sekunde, ist **10 m** (genauer 9,8 m) pro Sekunde.

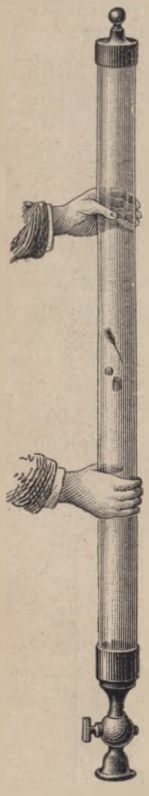


Abb. 61.

Bezeichnet man den letzteren Betrag mit g, so werden die beiden Gesetze dargestellt durch die Formeln

$$v = gt \quad \text{und} \quad s = \frac{1}{2} g t^2.$$

III. Die Fallstrecken und die Geschwindigkeiten sind unabhängig von dem Stoff und dem Gewicht des fallenden Körpers.

Eine bequeme Bestätigung des Gesetzes I liefert **Versuch* 1 a): Wir befestigen an dem Ende einer Schnur eine Kugel und 5, 20, 45 ... cm von diesem Ende entfernt ebensolche Kugeln. Halten wir dann (Abb. 60) die Schnur lotrecht gespannt, so daß jene erste Kugel den Boden berührt, und lassen die Schnur los, so schlagen die Kugeln in gleichen Zeitabschnitten auf den Boden auf; warum?

Das Gesetz III scheint „Ausnahmen" zu zeigen: denn lassen wir neben einer Münze ein Papierblatt fallen, so bleibt letzteres weit hinter der ersteren zurück. — Daß aber in Wirklichkeit nur der Luftwiderstand schuld an diesem Ergebnis ist, läßt sich durch einen Versuch mit der in Abb. 61 dargestellten, leergepumpten Fallröhre zeigen, einfacher noch durch folgenden

**Versuch* 3): Man lege auf eine Münze ein Papierblättchen, so daß dieses nirgends über den Rand der Münze vorragt, und lasse beides fallen. Ferner zuerst Münze und Papierblatt nebeneinander, dann letzteres zusammengeknüllt neben der Münze.

Man kann das Gesetz III daher auch in folgender Form aussprechen: **Im luftleeren Raum fallen alle Körper gleich schnell.**

Geschichtliches: Die merkwürdigen Gesetze über die Bewegung frei fallender Körper waren dem Altertum und Mittelalter gänzlich unbekannt. So meinte man z. B., daß ein Körper von 10 mal so großem Gewicht auch 10 mal so schnell falle. — GALILEI (geb. 1564 zu Pisa, gest. 1642 in Florenz) hat das unsterbliche Verdienst, zuerst durch Versuche an der „Fallrinne" und durch scharfsinnige Überlegungen die Gesetze der Fallbewegung gefunden zu haben.

Übungen: 1. Wie weit entfernt sich ein Körper auf einer schiefen Ebene während der ersten 1, 2, 3, 4 ... Sekunden von seinem Anfangspunkt, wenn dabei $h:l = {}^1/_{100}, {}^1/_{10}, {}^1/_2, 0{,}9, 1$ ist.

Welche Strecken legt er dabei in der 3., in der 5...Sekunde zurück?

2. Wie tief ist ein Brunnen, in dem ein Stein 5 sec lang fällt, bis er auf das Wasser schlägt? Wie lange dauert es, bis man das Aufschlagen hört? (§ 88.)

3. Ein Stein wurde von einem Turm fallen gelassen und mit der Stoppuhr die Zeit festgestellt, die bis zum Hören des Aufschlagens verging. Diese betrug $4^1/_4$ sec. Wie hoch war der Turm? (Rechne $g = 10$ m sec^2, die Schallgeschwindigkeit $= 320$ m sec, gemischt quadratische Gleichung!)

4. Wie lange Zeit würde ein Stein zum Durchfallen einer Höhe von 60 m gebrauchen?

5. Ein Radfahrer läßt sein Rad eine Straße von 250 m Länge, die ein Gefälle von 1 : 25 hat, frei hinabgleiten, ohne die Pedale festzuhalten. Mit welcher Geschwindigkeit kommt er unten an?

§ 39. Zusammensetzung von Bewegungen. Wenn ein Schiff (Abb. 62) zugleich der Einwirkung des Windes und der Strömung unterliegt, und von *a* aus in einer gewissen Zeit infolge der ersten Einwirkung allein quer über den Strom nach *c*, infolge der zweiten allein nach *b* getrieben würde, so kommt es, wie vielfache Beobachtungen zeigen, in Wirklichkeit nach *d*, d. h. nach dem vierten Eckpunkt eines aus den drei Punkten *a*, *b*, *c* konstruierten

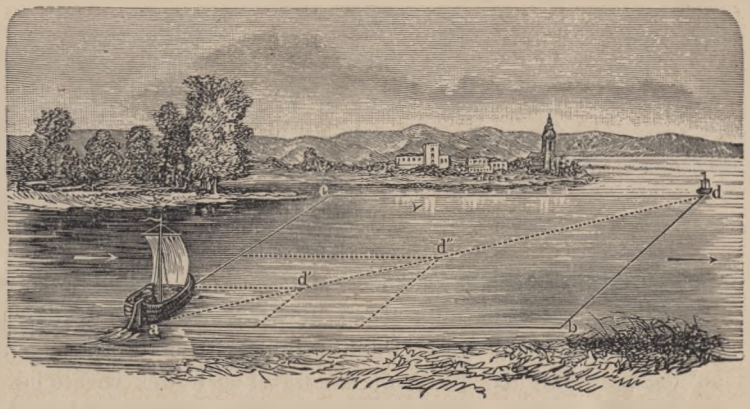


Abb 62.

Parallelogramms. Es würde eben dahin auch kommen, wenn es zuerst die betr. Zeit hindurch nur der Einwirkung des Stromes (*a b*) und dann ebenso lange der des Windes (*b d*) unterläge oder umgekehrt. Ähnliche Erfahrungen können wir in vielen anderen Fällen machen. Durch **Versuche* mit Lineal und Kreide an der Wandtafel läßt sich der Sachverhalt noch weiter veranschaulichen. Es ergibt sich so der

Satz vom Parallelogramm der Bewegungen: Führt ein Körper gleichzeitig zwei Bewegungen aus, so kommt er dahin, wohin er auch kommen würde, wenn er beide eine gleiche Zeit hindurch hintereinander ausführte,

nämlich nach der gegenüberliegenden Ecke des aus den beiden Einzelbewegungen bestimmten Parallelogramms.

Dieser Satz gilt in jedem Falle, gleichgültig, welcher Art die beiden Einzelbewegungen sind. Es ist jedoch nicht gesagt, daß der Körper stets die Diagonale des Bewegungsparallelogramms durchlaufen müßte (wie in der Abb. 62 zunächst angenommen ist). Dies ist vielmehr nur dann der Fall, wenn beide Bewegungen von gleicher Art, z. B. beide gleichförmig oder beide gleichmäßig beschleunigt sind. (Begründung gemäß Abb. 63 und 64.)

Man nennt den Satz auch wohl das Unabhängigkeitsprinzip, weil er ausspricht, daß die eine Bewegung die andere in keiner Weise beeinflußt.

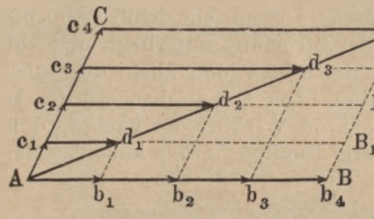


Abb. 63.

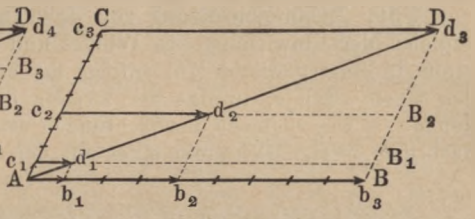


Abb. 64.

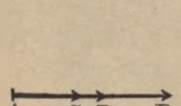


Abb. 65.

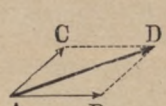


Abb. 66.

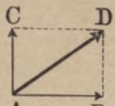


Abb. 67.

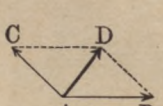


Abb. 68.

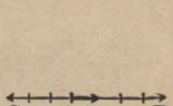


Abb. 69.

Grenzfälle des Parallelogrammgesetzes: Fallen beide Einzelbewegungen in die gleiche Richtung, so ist die Gesamtbewegung gleich der Summe der Einzelbewegungen (Dampferfahrt stromabwärts). Fallen sie in entgegengesetzte Richtungen, so ergibt sich der wirkliche Weg durch Subtraktion der Einzelwege (Fahrt stromaufwärts). Die Abbildungen 65 bis 69 zeigen den Übergang von einem Grenzfall zum anderen. Erkläre sie näher!

§ 40. Der Wurf. Das einfachste Beispiel für die Zusammensetzung einer gleichförmigen mit einer ungleichförmigen (gleichmäßig beschleunigten) Bewegung erhalten wir, wenn wir einen Körper horizontal werfen. Er macht dann (abgesehen vom Luftwiderstand) in horizontaler Richtung eine gleichförmige Bewegung infolge der Trägheit, zugleich aber senkrecht nach unten einen freien Fall, d. h. eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung. Setzt man beide nach dem

Parallelogrammsatz zusammen, so erhält man als Wurfbahn die in Abb 70 dargestellte Parabel. (Beweis mittels der Formeln in § 9 und 38.)

**Versuche:* a) Darstellung der Parabel durch einen Wasserstrahl.

b) Daß wirklich der freie Fall unabhängig von der Horizontalbewegung vor sich geht, zeigt man mittels der in Abb. 71 dargestellten einfachen Vorrichtung. Die horizontal geschleuderte Kugel kommt im selben Augenblick unten an, wie die frei fallende.

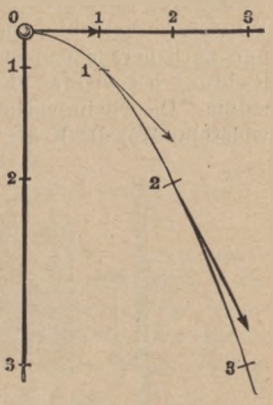


Abb. 70.

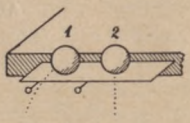


Abb. 71.

Werfen wir den Körper nicht horizontal, sondern schräg aufwärts, so ergibt die in Abb. 72 dargestellte Konstruktion wiederum eine Parabel. (Der Beweis ist etwas umständlicher.)

**Versuche*: Darstellung der Parabeln durch Wasserstrahlen. Erreichung eines gegebenen Punktes mittels zweier Stellungen des Rohres. Flachschuß und Bogenschuß.

Übungen: 1. Gegen welchen Punkt des jenseitigen Ufers müßte das Schiff in Abb. 62 steuern, wenn es nach *c* kommen wollte?

2. Wo fällt ein Gegenstand nieder, der von der Spitze des Mastbaumes eines fahrenden Schiffes, von der Decke eines fahrenden Eisenbahnabteils fallen gelassen wird? Wie verläuft der Vorgang, wenn man die Krümmung der Erde und ihre Achsendrehung berücksichtigt? (BENZENBERG scher Fallversuch im Hamburger Michaelisturm 1802.)

3. Wie müßte man von draußen eine Kugel abschießen, wenn man genau durch die Mitte der beiden gegenüberliegenden Fensterscheiben in einem fahrenden Eisenbahnabteil treffen wollte? Wie muß man eine längere Röhre während einer Fahrt, z. B. auf einem Auto, halten, wenn der Regen durch sie

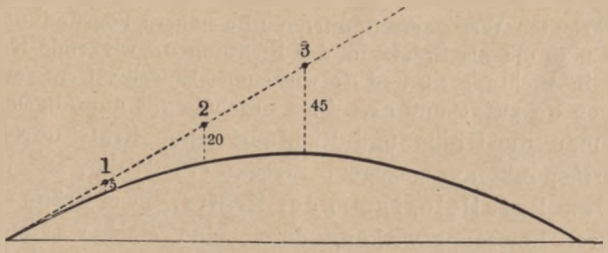


Abb. 72.

hindurchfallen soll, Windstille vorausgesetzt? (Aberration des Fixsternlichts).

4. Wie sieht der in 2. erwähnte Fall innerhalb des Eisenbahnabteils vom Standpunkt eines auf dem Bahndamm Stehenden aus? Umgekehrt?

5. Könnte man nicht von Europa nach Amerika gelangen, indem man sich im Luftballon erhöbe und die Erde sich unter diesem wegdrehen ließe?

6. Wie erklärt sich, daß der Schütze um so weniger über das Ziel zu halten braucht, je näher dieses ist und je rascher das Geschoß fliegt?

7. Warum ist bei raschem Eislauf die Gefahr des Einbrechens verringert?

§ 41. Das Kräfteparallelogramm. Die Bewegung des Schiffes in § 39 wird durch zwei gleichzeitig wirkende Kräfte, die des Stromes und die des Windes, verursacht. Die wirkliche Bewegung längs der Diagonale ad würde nun auch herauskommen, wenn statt dieser beiden Kräfte nur eine in der Richtung ad wirkte. Es fragt sich jedoch wie groß diese Ersatzkraft sein müßte. Da wir im vorliegenden Falle (Überwindung des sehr starken Wasserwiderstandes) die Kraft durch den unter ihrem Einfluß in einer bestimmten

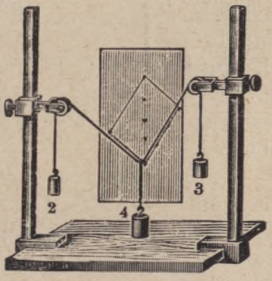


Abb. 73.

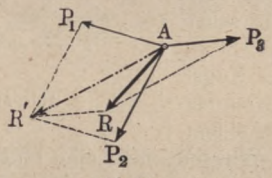


Abb. 75.

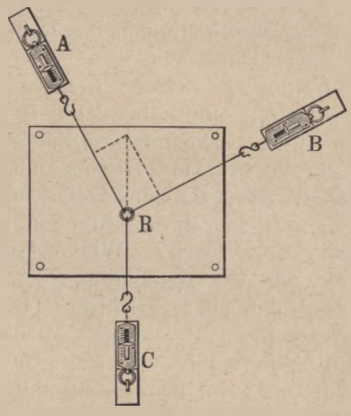


Abb. 74.

Zeit zurückgelegten Weg messen dürfen (die nähere Begründung führt hier zu weit), so muß die als Ersatz in der Richtung ad wirkende Kraft sich zu den beiden in Richtung ab und ac wirkenden Einzelkräften verhalten, wie die Länge von ad zu ab und ac. Dies Ergebnis gilt nun allgemein:

Stellt man die Größe und Richtung einer Kraft durch eine von ihrem Angriffspunkt aus gezogene Strecke (Pfeil) dar, so gilt der

Satz vom Parallelogramm der Kräfte: Zwei Kräfte können hinsichtlich ihrer Bewegungswirkung durch eine einzige ersetzt werden, welche nach Richtung und Größe durch die Diagonale des aus den beiden Einzelkräften konstruierten Parallelogramms bestimmt ist.

Man nennt die beiden Einzelkräfte die **Komponenten** oder Seitenkräfte, die Ersatzkraft **Resultierende** oder Resultante (auch wohl Mittelkraft).

**Versuche* zum Nachweis des Parallelogrammsatzes für Kräfte mittels der in Abb. 73 dargestellten Anordnung. Das mittlere Gewicht hält der senkrecht nach oben gerichteten Resultierenden der beiden anderen schräg aufwärtsziehenden Kräfte das Gleichgewicht. (Miß den Winkel, konstruiere danach aus den beiden Seitenkräften und dem Winkel das Parallelogramm und vergleiche die Diagonale mit dem mittleren Gewicht, oder konstruiere umgekehrt das Parallelogramm aus den drei Strecken und vergleiche den Winkel.)

Ein anderer Apparat zum Nachweis des Satzes ist in Abb. 74 dargestellt: Der Ring *R* schwebt frei über einem Reißbrett oder der Tafel. Die drei Federwagen (Dynamometer) können auch durch Rollen mit Gewichten ersetzt sein.

Übungen: 1. Warum können zwei Kräfte nur dann im Gleichgewicht sein, wenn sie entgegengesetzt gleich sind?

2. Unter welcher Bedingung bilden die beiden Seile in Abb. 73 einen rechten Winkel?

3. Die Resultierende von mehr als zwei in einem Punkte angreifenden Kräften erhält man, indem man den Satz vom Parallelogramm wiederholt anwendet (Abb. 75). Beweise, daß das Ergebnis von der Reihenfolge unabhängig ist! Unter welcher Bedingung halten sich drei Kräfte das Gleichgewicht? (Vgl. Abb. 73 und 74.) Wie hat man zu verfahren, wenn die drei zusammenzusetzenden Kräfte nicht in einer Ebene liegen?

§ 42. Zerlegung von Kräften. Wie der durch zwei Kräfte eintretende Bewegungserfolg auch durch eine einzige Kraft, die Resultierende, erreicht werden kann, so kann man umgekehrt natürlich auch eine bestimmte bewegende Kraft durch zwei andere ersetzt denken, deren Resultierende die gegebene Kraft sein würde. Freilich braucht dann die Wirkung dieser zwei „Komponenten" keineswegs allein auf die betreffende Bewegung beschränkt zu sein, es können vielmehr daneben noch andere Wirkungen (Spannungen, Drucke usw.) auftreten, welche der ursprünglichen Kraft allein nicht zukommen. (Beispiele?) Die Gleichwertigkeit der Resultierenden mit den Komponenten bezieht sich also nur auf den Bewegungserfolg. — Im folgenden soll nur der wichtigste Fall der „Zerlegung in Komponenten" betrachtet werden.

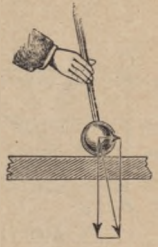


Abb. 76.

Versuche: a) Suchen wir durch die Kraft der Hand (Abb. 76) eine glatte, harte Kugel gegen ein glattes, hartes Brett zu drücken, so können wir den ausgeübten Druck in **zwei Komponenten** zerlegt denken, von denen **eine senkrecht** und **eine parallel** zum Brette gerichtet ist. Die erste erzeugt nur eine Druckwirkung, die gegen das unbewegliche Brett gerichtet ist, die zweite dagegen eine Bewegungswirkung. Man nennt letztere Komponente die „bewegende" und sagt von der anderen, daß sie durch die Festigkeit des Brettes „aufgehoben" werde.

b) An einer vertikalen Schiene (Abb. 77) gleitet mittels zweier Rollen ein kleiner Wagen, und an diesem ist eine über eine Rolle geführte Schnur (oder ein sehr dünner Draht) befestigt. Hat der Wagen das Gewicht von 100 g und wirkt an dem freien Ende der Schnur eine Zugkraft von z. B. 200 g, so wird der Wagen nur so weit in die Höhe gezogen, bis die vertikale Länge AC

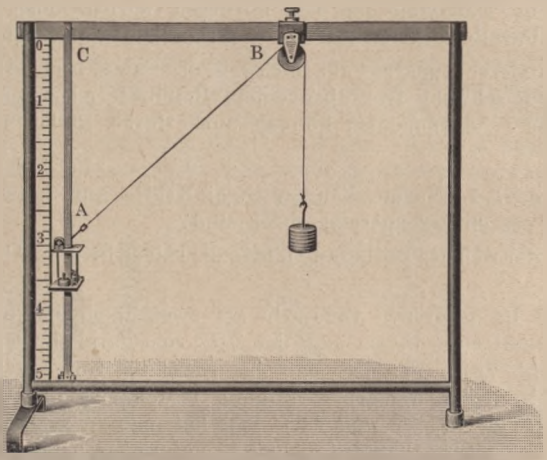


Abb. 77.

sich zur Fadenlänge AB wie 1 : 2 verhält. Es wirkt dann auf den Wagen eine Komponente, die dem Gewicht des Wagens gleich ist, also sich zur Zugkraft auch wie 1 : 2 verhält. Stellt man die Zugkraft nach Größe und Richtung durch die Fadenlänge AB (Abb. 77a) dar, so wird ihre in die Richtung der Bahn fallende Komponente durch AC angegeben. Entsprechende Ergebnisse erhält man bei anderer Größe der Zugkraft.

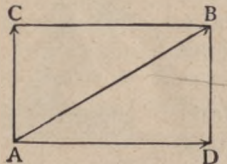


Abb. 77a.



Abb. 78.

Eine Bewegung, wie die des Wagens in Abb. 77, der nicht von den Schienen herunter kann, nennt man eine zwangläufige Bewegung. Der Versuch zeigt die Gültigkeit des allgemeinen Gesetzes:

Bei zwangläufiger Bewegung stellt die Projektion der wirkenden Kraft auf die Bahnrichtung die bewegende Komponente dar, dagegen die dazu senkrechte Komponente den auf die Bahn ausgeübten Druck.

Übungen: 1. Konstruiere die bewegende Komponente einer Kraft, die auf einen Eisenbahnwagen horizontal unter einem Winkel von 0°, 30°, 60°, 90° gegen die Schienenrichtung wirkt.

2. Wie mußt du bei Glatteis den Fuß auf den Boden setzen, um nicht auszugleiten? — Warum ist ein Anschlag auf Klaviertasten in schräger Richtung unzweckmäßig?

*3. Stelle dir eine Papierschlange (Abb. 78) her, und lasse sie über einem warmen Ofen, einer Lampe sich drehen. Erklärung?

4. Wie wirkt der Wind auf einen Papierdrachen, einen Vogel, einen Windmühlenflügel, die Tragfläche eines Flugzeugs, der Strom auf eine „fliegende Fähre"?

5. Warum bleibt eine glatte Kugel, wenn bloß die Schwere auf sie wirkt, nur auf horizontaler Ebene in Ruhe? (§ 43.)

§ 43. Erklärung der Gesetze der schiefen Ebene (§ 18 und 37). Als zwangläufige Bewegung kann auch die Bewegung auf der schiefen Ebene betrachtet werden. Zerlegt man dementsprechend das Gewicht Q des auf der schiefen Ebene liegenden Körpers (Abb. 79) in eine zur schiefen Ebene (l) parallele und eine dazu senkrechte Komponente, so kommt für die Bewegung nur die erstere (P) in Betracht, und man beweist (aus der Ähnlichkeit der Dreiecke) leicht, daß $P : Q = h : l$, also $P = Q \frac{h}{l}$ ist. Eine ebenso große Kraft P' muß man dann natürlich nach oben (in der Richtung der schiefen Ebene) anbringen, um der Last das Gleichgewicht zu halten (§ 18).

Zeige, daß dabei die Resultierende aus Q und P' auf l senkrecht steht (Abb. 80).

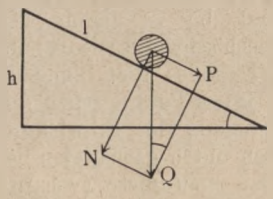


Abb. 79.

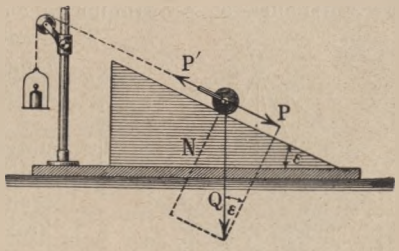


Abb. 80.

Da ferner die bewegende Komponente $P = \frac{h}{l} Q$ ist, so wird der Körper, wenn man ihn losläßt, eine Bewegung ausführen, die dem freien Fall vollkommen gleicht, nur daß die Beschleunigung g, welche der Körper durch sein eigenes Gewicht Q erhält, ebenfalls im Verhältnis $h : l$ verkleinert ist. Man erhält für die Beschleunigung auf der schiefen Ebene also $g' = g \frac{h}{l}$.

§ 44. Das Pendel[1]. Ein an einem feinen Faden oder Draht aufgehängter kleiner schwerer Körper (z. B. ein Bleikügelchen) heißt ein **Fadenpendel.** Denkt man sich den Faden gewichtslos, die Masse des Körpers in seinem Schwerpunkt vereinigt, so nennt man das Pendel ein **mathematisches Pendel** und bezeichnet als **Pendellänge** l den Abstand des Schwerpunktes

[1]) *pendere* (lat.) = aufhängen.

vom Aufhängepunkt. Jedes wirkliche oder **physische Pendel** kann man durch ein mathematisches ersetzt denken. Die nachfolgend angeführten Gesetze beziehen sich auf das letztere, gelten aber angenähert auch für physische Fadenpendel.

* *Versuche* mit nicht zu kurzen Fadenpendeln, die aus ihrer „Ruhelage" herausgebracht und ohne seitlichen Anstoß losgelassen werden, ergeben zunächst, daß **die Schwingungsebene des Pendels unverändert dieselbe bleibt.**

Bezeichnet man ferner als **Schwingungsweite oder Amplitude** die größte Abweichung des Pendels aus seiner Ruhelage (durch den Winkel oder Bogen gemessen), sowie als **Schwingungsdauer** (T) die Zeit, welche das Pendel zu einem Hin- und Hergang gebraucht, so erhält man durch weitere * *Versuche* folgende **Gesetze der Pendelbewegung:**

I. Die Schwingungsdauer eines Pendels ist von der Schwingungsweite nahezu unabhängig [das Pendel schwingt „isochron"] [1]).

II. Die Schwingungsdauer eines Pendels ist vom Stoffe und Gewicht des schwingenden Körpers unabhängig.

III. Die Schwingungsdauer zweier ungleich langer Pendel verhalten sich wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen $T_1 : T_2 = \sqrt{l_1} : \sqrt{l_2}$.

(Das letztere Ergebnis findet man durch Abzählen der etwa in einer Minute stattfindenden Schwingungen, oder durch gleichzeitige Schwingungen zweier Pendel, von denen man das eine so lange verkürzt, bis es gerade $1\frac{1}{2}$ mal, 2 mal ... so rasch schwingt wie das andere.)

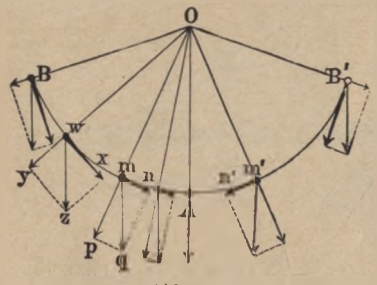


Abb. 81.

Zur Erklärung: Der Pendelkörper unterliegt an jedem Punkte seiner (zwangläufigen) Bewegung der Einwirkung der senkrecht nach unten gerichteten Schwerkraft. Zerlegt man diese (wie in § 43) in eine zur Bahn parallele und eine zu ihr senkrechte Komponente (Abb. 81), so kommt nur die letztere als bewegende Kraft zur Geltung; sie erteilt dem Pendelkörper an jeder Stelle verschieden große Beschleunigungen. Es ist leicht einzusehen, daß infolge davon der Pendelkörper, dessen Geschwindigkeit im Umkehrpunkt B offenbar einen Augenblick $= 0$ ist, sich mit zunehmender Geschwindigkeit bis zur Mittellage A bewegen muß. Dann fliegt er, vermöge der erlangten Geschwindigkeit, die hier ihren größten Wert erreicht hat, darüber hinaus, nunmehr durch die Schwerkraftkomponente verzögert, bis auf der anderen Seite in B' die Geschwindigkeit wieder Null geworden ist. Dann wiederholt sich derselbe Vorgang in umgekehrter Richtung.

Das Gesetz I läßt sich ohne mathematische Betrachtungen nicht genauer begründen. Doch ist es wohl einleuchtend, daß bei größerer anfänglicher „Hubhöhe" auch die Beschleunigung gleich zu Anfang größer ist, und daß

[1]) *isos* (griech.) = gleich, *chronos* (griech.) = Zeit.

daher die für den Bogen BA gebrauchte Zeit ($^1/_2\,T$) doch nicht größer ist, als wenn die Anfangsentfernung kleiner genommen wird.

Gesetz II folgt aus dem schon in § 38 mitgeteilten Satze, daß die Schwerbeschleunigung (g) für alle Körper gleich groß ist.

Gesetz III kann man an beistehender Abb. 82 als Folgerung aus dem S. 42 angegebenen Satze erkennen, daß auf der schiefen Ebene die Fallstrecken proportional dem Quadrat der Fallzeiten sind (Bogen $B'A$ und $B'A'$ als schiefe Ebenen von gleicher Neigung betrachtet). Führe den Beweis!

Die Erhaltung der Schwingungsebene eines Punktes bietet Anlaß zu einem direkten experimentellen Beweis für die Drehung der Erde um ihre Achse (**Foucaultscher Pendelversuch** 1850 in Paris).

Sekundenpendel nennt man ein Pendel, dessen halbe Schwingungsdauer eine Sekunde beträgt. Seine Länge in Berlin ist 0,9943 m — Vergleich eines selbst hergestellten Sekundenpendels mit einer gut gehenden Uhr.

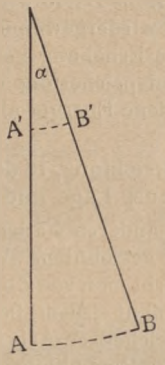


Abb. 82.

Das Pendel als Zeitmesser ist bereits in § 8 erwähnt. Abb. 83 zeigt das Modell einer **Pendeluhr.** Das Zahnrad wird durch das Triebgewicht I' in Umdrehung versetzt, es kann aber nur jedesmal um einen Zahn vorrücken, wenn der mit dem Pendel verbundene Haken bei A oder B den Zahn frei gibt. Wieviel Zähne muß das Zahnrad haben, wenn das Pendel ein Sekundenpendel ist und der Sekundenzeiger auf der Achse des Zahnrades sitzt? Wie muß die „Übertragung" für den Minutenzeiger, wie die für den Stundenzeiger eingerichtet sein? — Wodurch ist die Verstellbarkeit der Zeiger ermöglicht (bei einer „amerikanischen Weckuhr" gut zu sehen)? — Sowohl an Stelle des treibenden Gewichtes wie des Pendels können Federn treten (Triebfeder bzw. „Unruhe"). Wie verhält sich das bei den einzelnen Arten von Uhren (Hausuhren, Wanduhren, Regulatoren, Taschenuhren, Weckuhren usw.)?

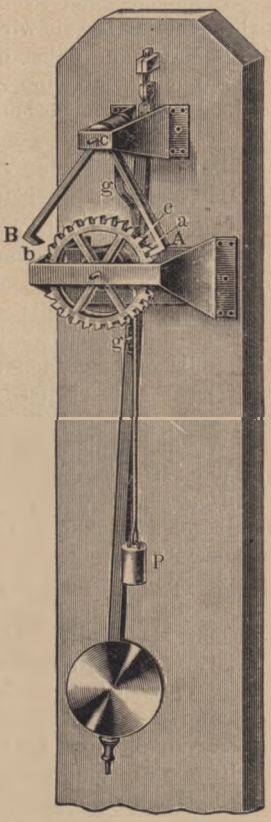


Abb. 83.

Geschichtliches: Die Pendeluhr ist von Galilei, der auch die Pendelgesetze fand, gegen Ende seines Lebens erfunden, wurde jedoch wieder vergessen, bis Huygens[1]) sie unabhängig von Galilei von neuem erfand (1656). Vordem benutzte man Wasser- und Sanduhren.

[1]) Christian Huygens, geb. 1626 im Haag, gest. daselbst 1695, neben Galilei, Newton und Leibniz einer der Hauptbegründer der wissenschaftlichen Mechanik (Pendel, Wellenlehre, Energiegesetz der Mechanik, Kreisbewegung).

§ 45. Bewegungsenergie und Energie der Lage. Wenn wir den Pendelkörper (Abb. 81) aus der Ruhelage A nach B bringen, so leisten wir eine Arbeit, die gemessen wird durch das Produkt aus dem Gewicht des Pendelkörpers und der Hubhöhe. Lassen wir ihn dann los, so kommt er mit einer gewissen Geschwindigkeit in A an und steigt vermöge dieser Geschwindigkeit auf der anderen Seite wieder ebenso hoch (bis B'), d. h. er leistet eine ebenso große Arbeit wie die, die wir vorher beim Heben geleistet haben. Der bewegte Körper besitzt also eine Arbeitsfähigkeit oder Energie, die man als **Bewegungsenergie** (auch als Wucht oder lebendige Kraft) bezeichnet.

Steigt das Pendel von A bis B', so wird diese Bewegungsenergie allmählich verbraucht. Aber sie wird wiedergewonnen, wenn der Körper nach A zurückfällt. Man kann daher die Erhebung von A nach B', ebenso wie vorher die von A nach B, als eine Aufspeicherung von Energie ansehen und bezeichnet die in dieser Form vorhandene Energie als **Energie der Lage** oder **Zustandsenergie.**

Das Pendel ist eine Vorrichtung, in der abwechselnd (periodisch) Energie der Bewegung in Energie der Lage und umgekehrt verwandelt wird.

Auch in zahlreichen anderen Fällen, z. B. bei einer gespannten Feder, einem Magnet mit davon getrenntem Anker, zwei entgegengesetzten elektrischen Ladungen usw. spricht man von Zustandsenergie (oder potentieller Energie). Anderseits wohnt jedem bewegten Körper eine Bewegungsenergie inne, vermöge welcher er Arbeit leisten kann, so namentlich beim Stoß. Beispiele: Hammer, Rammklotz, Eisenbahnzusammenstoß, Wirkung der Geschosse, Arbeitsleistung durch bewegtes Wasser und bewegte Luft, Verheerungen durch Hagel, durch Stürme.

Wo bleibt die Energie, die beim Stoße eines unelastischen Körpers gegen eine unelastische Wand scheinbar verschwindet?

Übungen: *1. Herstellung von Pendeln aus Zwirnsfäden und kleinen Metall- oder Glaskugeln (mit Siegellack zu befestigen). Bestätigung der oben angegebenen Gesetze.

*2. Spanne quer durch den Türrahmen einen Bindfaden, hänge zwei gleich lange Pendel daran (in je $^1/_3$ Abstand), bringe das eine zum Schwingen. Beobachte das andere (Energieübertragung). Mache eines der Pendel kürzer (Erklärung der „Resonanz“ s. § 91).

3. Warum hat die Jahreszeit Einfluß auf den Gang der Uhren? — Regulierung?

4. Wie konnte Richer (1673 auf einer Reise von Paris nach Cayenne) mit Hilfe des Pendels die Veränderlichkeit von g auf der Erde feststellen?

*5. Hemme plötzlich den Faden eines schwingenden Pendels durch einen in den Weg gestellten Nagel od. dgl. Beobachtung? Erklärung?

*6. Wird die Schwingungsdauer einer Schaukel („bifilares“ Pendel) dadurch vergrößert oder verkleinert, daß sich statt eines zwei Kinder hineinsetzen?

§ 46. Kreisbewegung. Zentrifugalkraft. Aus dem Trägheitsprinzip (§ 11) ergibt sich, daß ein Körper, der einem einmal erhaltenen Bewegungsantrieb frei folgen kann, sich geradlinig weiterbewegt. Ist

die Bahn aber eine zwangläufige (z. B. bei einem auf Schienen laufenden Wagen), so sucht doch der Körper an jeder Stelle die Richtung beizubehalten, die er in dem betreffenden Zeitpunkt gerade hat, d. h. er würde, wenn er freigelassen würde, in Richtung der Tangente der Bahn weiterfliegen.

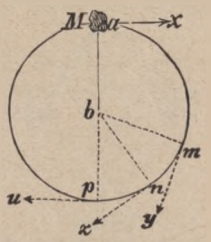


Abb. 84.

* *Versuch*: Wird ein schwerer Körper (Abb. 84) im Kreise an einer Schnur umhergeschwungen (Vorsicht!) und diese losgelassen, wenn sich der Körper gerade in *a* (*m*, *n* ...) befindet, so fliegt er in der Richtung der Tangente fort. — In derselben Weise erklärt sich das Spritzen des Schmutzes von rasch fahrenden Rädern (Schutzblech beim Fahrrad!) u. a.

Wird der Körper am Verlassen der krummlinigen Bahn gehindert, so übt er selbst auf diese eine Druck- oder Zugwirkung aus, die man **Fliehkraft** oder **Zentrifugalkraft**[1]) nennt. Diese hängt außer von der Krümmung der Bahn von der Geschwindigkeit und der Masse des Körpers ab. Der einfachste Fall dieser Art tritt bei jeder gleichförmigen Drehung eines Körpers ein, dessen Teile

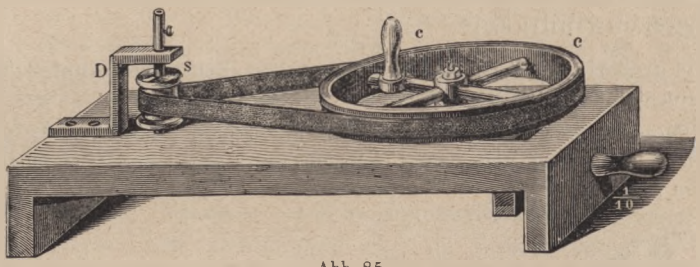


Abb. 85.

dann alle zwangläufig Kreise beschreiben. Die hierbei auftretenden Fliehkräfte werden am besten an der **Schwungmaschine** (Abb. 85) gezeigt. Erkläre die Einrichtung.

Versuche: Herausschleudern von Kugeln von einer mit Vertiefungen versehenen Scheibe. Der Zentrifugalregulator (Abb. 86). Flüssigkeiten in einem seitlich ausgebauchten Gefäß. — Erdabplattungsmodell (Abb. 87) u. a. m.

Anwendungen: Schleifenfahrt (Abb. 88). Zentrifugaltrockenmaschine: Die nassen Stoffe werden in ein Gefäß mit durchlöcherten Wänden gelegt und dieses in schnelle Umdrehung versetzt. — Milchzentrifugen: Bei rascher Umdrehung wird die schwerere Magermilch nach außen getrieben, der leichtere Rahm (Fett) nach innen abgeschieden. Ähnlich die Reinigung des aus Rüben gewonnenen Zuckersaftes, das „Ausschleudern" von Honig u. a.

Bei jeder zwangläufigen krummlinigen Bewegung übt die Befestigung (die Schienen, der Faden usw.) ihrerseits einen Gegendruck

[1]) *centrum* (lat.) = Mittelpunkt, *fugere* (lat.) = fliehen.

oder -zug auf den umlaufenden Körper aus. Man spürt diesen als Zug, den man selbst ausübt, wenn man den zuerst angegebenen Versuch macht. Dieser nach dem Krümmungsmittelpunkt hin gerichtete Zug oder Druck, der der Fliehkraft entgegengesetzt gleich ist, heißt **Zentripetalkraft**[1]).

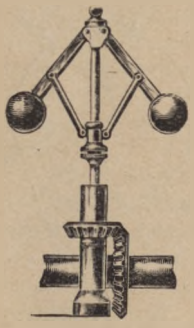


Abb. 86.

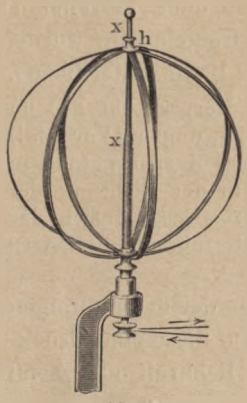


Abb. 87.

Die wirkliche Bewegung eines auf krummliniger Bahn laufenden Körpers kann deshalb auch aufgefaßt werden als hervorgehend aus der Zusammensetzung der in jedem Moment gerade vorhandenen Tangentialgeschwindigkeit mit der durch die Zentripetalkraft den Zug des Fadens usw.) hervorgebrachten Zusatzgeschwindigkeit.

Das großartigste Beispiel einer derartigen „Zentralbewegung" bietet die Bewegung der Planeten um die Sonne. Siehe Anhang I.

* *Übungen:* 1. Warum schlingt sich der Faden eines Pendels um einen plötzlich in den Weg gehaltenen (horizontalen) Stab, eine Peitschenschnur um einen Stab?

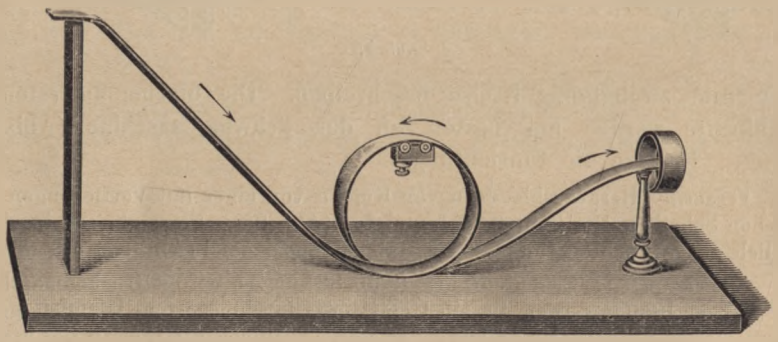


Abb. 88.

2. Warum erhöht man die äußeren Schienen bei einer Eisenbahnkurve? — Welches Gefühl haben die Fahrenden, wenn der Zug die Kurve rasch durchfährt? — Ähnlich: Reiter im Zirkus. Wie groß muß die Neigung sein?

---

[1]) *petere* (lat.) = bitten, erstreben.

*3. Stelle ein krumm gebogenes Stück Pappe auf den Tisch und stoße eine Kugel (Ball) so, daß sie an dieser Wand entlang laufen muß. Welche Richtung nimmt sie beim Verlassen der Wand?

*4. Schwinge einen gut befestigten, nicht zu leichten Körper an einem Gummiband herum. Dehnung. Inwiefern erkennt man an diesem Versuch Zentrifugal- und Zentripetalkraft zugleich?

5. Wie kommt es, daß eiserne Schwungräder gelegentlich zerspringen?

*6. Schwinge Wasser in einem kleinen Eimer an einem Bindfaden im Kreise herum. Warum läuft nichts heraus?

J. Flüssigkeiten.

§ 47. Oberfläche. Unter dem Einfluß der Schwerkraft füllt eine ruhende Flüssigkeit das Gefäß, in dem sie sich befindet, stets so aus, daß der Schwerpunkt der ganzen Masse die tiefste mögliche Lage annimmt. Dabei bildet **die Oberfläche** dann **eine horizontale Ebene,** den „Flüssigkeitsspiegel" oder das „Niveau" der Flüssigkeit.

Das letztere gilt nicht mehr, wenn die Flüssigkeitsoberfläche hinreichend groß ist, da dann die Flüssigkeitsoberfläche (annähernd) einer Kugelfläche angehört, auf der die Richtung der Schwerkraft überall senkrecht steht. Noch andere Abweichungen treten in beiden Fällen ein, sobald die Flüssigkeit nicht allein der Schwerkraft unterliegt, sondern auch noch anderen Kräften (vgl. § 35 und 46), sowie, wenn die Flüssigkeit in Bewegung ist. Wie ist z. B. die Oberfläche eines Flusses, wie die eines rasch fließenden Baches beschaffen?

§ 48. Druck. **Versuche:* a) Eine beiderseits offene Glasröhre wird mit dem Finger oben verschlossen und in Wasser getaucht. Beim Loslassen des Fingers steigt das Wasser bis zum Niveau empor.

b) Zieht man an das untere Ende einer beiderseits offenen, gut abgeschliffenen Röhre mittels eines Fadens eine Platte heran und taucht dieses Ende in Wasser, so kann man den Faden loslassen, ohne daß die Platte abfällt (Abb. 89).

c) Versuch mit durchbohrter Platte (Abb. 90).

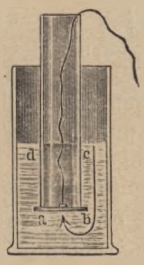


Abb. 89.


Abb. 90.

Aus diesen Versuchen folgt, daß das Wasser gegen das untere Ende der Röhre (bzw. die Verschlußplatte) eine nach oben gerichtete Kraft (Aufdruck) ausübt, der im ersten Falle durch die Elastizität der

eingesperrten Luft, im zweiten durch die Festigkeit der Platte und der Gefäßwände das Gleichgewicht gehalten wird. Wie groß diese Kraft ist, zeigt ein vierter *Versuch.*

d) Gießt man in die Röhre bei Versuch b) vorsichtig Wasser, so kann man es bis fast zur Höhe des äußeren Niveaus einfüllen, ehe die Platte abfällt. Der Aufdruck ist also gleich dem Gewicht der über der Druckfläche stehenden, bis zum Niveau reichenden Flüssigkeitssäule.



Abb. 91.

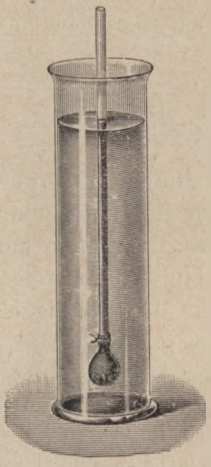


Abb. 92.

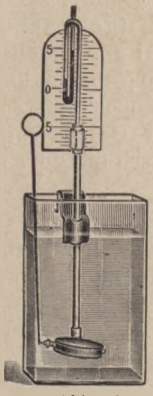


Abb. 93.

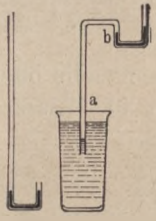


Abb. 94a u. 94b.

**Versuche:* e) Statt der geraden Röhre bei Versuch a) wird eine unten einmal oder zweimal umgebogene Röhre benutzt (Abb. 91). Der Erfolg ist derselbe wie bei a).

f) Die beiderseits offene Röhre wird unten mit einer Tierblase oder einem Gummiball verschlossen und mit angefärbtem Wasser gefüllt. Beim Eintauchen steigt zunächst die Flüssigkeit ein wenig im Rohr, bis das äußere und innere Niveau gleich hoch sind. Von da an bleiben beide auch bei weiterem Eintauchen gleich hoch (Abb. 92).

Weitere *Versuche* mit der **Hartl**schen Druckdose (Abb. 93). — Aus allen diesen Versuchen folgt:

In einer Flüssigkeit herrscht überall im Innern ein mit der Tiefe zunehmender Druck, der gegen jedes die Flüssigkeit begrenzende Flächenstück senkrecht wirkt und, unabhängig von der Richtung dieser Druckfläche, stets gleich ist dem Gewicht der über der Druckfläche als Grundfläche bis zur Höhe des Flüssigkeitsspiegels konstruierten Wassersäule.

Dieser Innendruck ist eine Folge der Schwere der Flüssigkeit. Er macht sich an der Begrenzung der Flüssigkeit als Bodendruck, Seitendruck oder Aufdruck bemerkbar. Besonders wichtig sind noch zwei besondere Folgerungen hieraus für den Bodendruck und Seitendruck (s. folg. §).

Übungen: *1. Bringe in ein Glasrohr der in Abb. 94a dargestellten Form etwas Quecksilber und tauche den kürzeren Schenkel in Wasser. Verfolge an der Höhendifferenz der Quecksilberkuppen die Zunahme des Druckes nach unten.

*2. Biege ein Rohr in der beistehenden Form (Abb. 94b) und tauche das längere Ende in Wasser. Verfolge an dem in das Knie gefüllten Quecksilber (oder Wasser) ebenfalls die Druckänderung. Wodurch wird hier der Druck von *a* nach *b* hin übertragen?

3. Mit welcher Kraft wird 1 cm^2 Fläche in einer Tiefe von 300 m unter dem Meeresspiegel gedrückt? Wie groß wäre daher in dieser Tiefe die gesamte Belastung auf die Körperoberfläche eines Menschen, die etwa $1^1/_2$ m^2 beträgt?

4. Zeige, daß 2000 m unter dem Meeresniveau der Druck 200 kg auf 1 cm^2 betragen würde. Bei diesem Druck würde eine Wassermenge, die oben 1 Liter einnahm, ein um etwa 10 cm^3 keineres Volumen einnehmen. Wie groß ist hiernach die Volumenverminderung bei Erhöhung des Druckes um 1 kg pro cm^2?

5. Berechne den Druck auf den untersten Rand eines 8 m tief in das Wasser tauchenden Schleusentores.

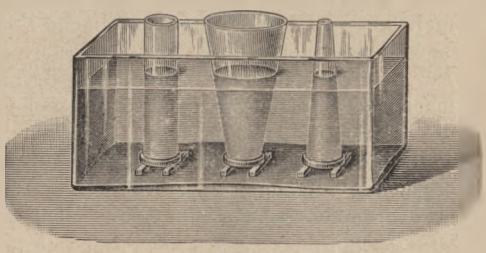


Abb. 95a, b, c.

§ 49. Bodendruck. Hydrostatisches Paradoxon. *Versuche:* a) Drei Gefäße ohne Boden, mit gleicher unterer Öffnung, aber von verschiedener Gestalt (Pascalsche Gefäße) werden nebeneinander gleich tief in eine mit Wasser gefüllte Glaswanne gesenkt (Abb. 95). Das Wasser steigt in allen dreien bis zur Höhe des Niveaus. — Hieraus folgt: Da an der Bodenöffnung aller drei Gefäße ein gleich großer hydrostatischer Druck nach oben herrscht, so muß auch andererseits der Druck des in den Gefäßen enthaltenen Wassers auf die Bodenöffnung bei allen gleich groß sein. Dies wird bestätigt durch den Versuch mit dem Pascalschen Apparat (Abb. 96).

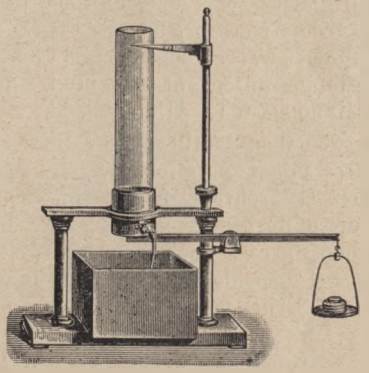


Abb. 96.

b) Die in Versuch a) benutzten Gefäße können auf ein kurzes Rohr (Abb. 96) aufgeschraubt werden, gegen dessen untere Öffnung eine dicht schließende Platte angedrückt werden kann. Dies geschieht dadurch, daß der Platte das eine Ende eines Hebels anliegt, während das andere Ende durch eine Wagschale mit Gewichten belastet ist. Werden die Gefäße mit Wasser gefüllt, so zeigt sich, daß bei gleicher

Belastung des freien Hebelendes das Wasser in allen dreien auf gleicher Höhe stehen bleibt. Ist der Hebel gleicharmig, so ist die Größe der Belastung in allen drei Fällen gleich dem Gewicht der über der Platte in dem zylindrischen Gefäß (*a*) stehenden Flüssigkeit, jedoch kleiner als das Gewicht des in *b* und größer als das Gewicht des in *c* befindlichen Wassers. Hieraus folgt:

Der Bodendruck ist unabhängig von der Gestalt der Seitenwände des Gefäßes und gleich dem Gewicht einer Flüssigkeitssäule, deren Grundfläche die gedrückte Fläche, und deren Höhe der Abstand dieser Fläche vom Flüssigkeitsspiegel (die „Druckhöhe") ist.

Wegen seines auf den ersten Blick widersinnig scheinenden Inhalts nennt man diesen Satz das **„hydrostatische Paradoxon"**[1]). (Gefunden von Stevin — s. S. 26 —, ist dieser Satz erst durch Pascal allgemein bekannt geworden.) Für den Fall b) verschwindet das Befremdende leicht, wenn man sich klar macht, daß die schräg nach außen geneigten Teile der Seitenwand einen Teil des Gewichtes gewissermaßen mittragen. Auch würde, wenn dies nicht der Fall wäre, sich die noch viel widersinnigere Folgerung ergeben, daß z. B. in einem halbkugeligen oder trichterförmigen Gefäß der tiefste Punkt das ganze Gewicht allein zu tragen hätte. Über den Fall c) vgl. § 51.

Übungen: 1. Wenn man die Pascalschen Gefäße unten verschlösse, zu gleicher Höhe mit Wasser füllte und sie so auf eine Wage setzte, würde diese dann gleiches oder verschiedenes Gewicht anzeigen? (Die Gefäße seien gleich schwer.) Widerspricht das Ergebnis nicht dem oben dargelegten Versuchsergebnis? Worin liegt der sehr wesentliche Unterschied? — Denke dir ferner die Gefäße unten mit der Hand zugehalten oder aber dicht anschließend auf die Hand gestellt. Unterschied?

*2. Jemand füllte eine zylindrische Flasche von 100 cm² Bodenfläche und 1 Liter Inhalt ganz mit Wasser, setzte einen durchbohrten Stopfen mit einer langen Glasröhre auf, die einen Querschnitt von 0,25 cm² hatte, und füllte in diese noch 50 g Wasser. Er wunderte sich, daß die Flasche, die einen kleinen Sprung im Boden hatte, aber unbeschadet dessen schon oft gefüllt war, bei dem kleinen Mehrgewicht zersprang. Woran hatte er nicht gedacht? Wieviel Druck hatte der Boden auszuhalten?

§ 50. Seitendruck. Auch auf ein Flächenstück der Seitenwand eines mit Flüssigkeit gefüllten Gefäßes übt die Flüssigkeit vermöge ihrer Schwere einen Druck aus, der um so größer ist, je tiefer die Druckfläche unter dem Niveau liegt. Als Druckhöhe ist dabei der Abstand vom Mittelpunkt der Fläche bis zum Niveau zu rechnen. (Warum?) — Ähnlich wie beim Bodendruck kommt es auch hier nicht auf die Weite der drückenden Flüssigkeitssäule an.

Versuche: a) Bringt man in einem mit Flüssigkeit gefüllten Gefäß seitlich mehrere Öffnungen an, so strömt das Wasser aus der

[1]) *paradoxa* (griech.) = gegen; *doxa* (griech.) = Meinung.

untersten mit der größten Geschwindigkeit hervor, wie man an der Gestalt der Strahlen (Wurfparabeln) leicht erkennt (Abb. 97).

b) Macht man einen Trichter um eine Achse drehbar und läßt, wie in Abb. 98, das Wasser unten seitlich ausströmen, so weicht die Röhre während des Strömens aus der senkrechten Lage ab, und zwar bewegt sich das untere Ende entgegengesetzt dem Wasserstrahl. Diese Erscheinung heißt **Rückstoß.** Sie ist eine Folge davon, daß der Seitendruck auf dasjenige Flächenstück, das der Öffnung gerade gegenüber liegt, nicht aufgehoben wird, während alle anderen Seitendrucke einander paarweise aufheben. Durch diesen Reaktionsdruck erklären sich die Bewegungen des SEGNERschen Wasserrades, der Reaktionsturbinen, ferner auch bei Gasen entsprechende Erscheinungen, wie z. B. der „Rücklauf" der Kanonen u. a. m.

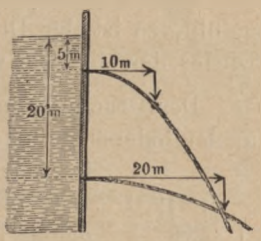
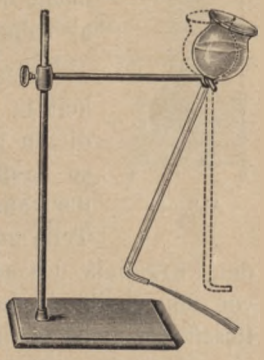


Abb. 97.


Abb. 98.

Allgemein ergibt sich für die Kraft, die von einer Flüssigkeitssäule mit der Höhe h und dem spezifischen Gewicht s auf ein Flächenstück q ausgeübt wird (Bodendruck, Seitendruck oder Auftdruck), die Formel:

$$P = q \,.\, h \,.\, s \text{ (Gramm).}$$

In der Wissenschaft ist es üblich, zwischen Kraft und Druck streng zu unterscheiden. Was diese Formel angibt, ist die wirklich auf die betreffende Fläche ausgeübte Kraft. Auf 1 cm² derselben Fläche kommt dann $\frac{P}{q} = h \,.\, s$ Gramm. Nur diese Größe, also die **Kraft pro Flächeneinheit** $\left(\frac{P}{q} = p\right)$ sollte man, strenggenommen, als **Druck** bezeichnen. Der Druck ist eine den Zustand der Flüssigkeit an der betreffenden Stelle charakterisierende Größe (also eine Größe ähnlicher Art wie spezifisches Gewicht, Temperatur u. dgl.). Die wirklich ausgeübte Kraft P hängt dann außer von dem herrschenden Drucke noch von der Größe des beweglich gemachten Flächenstückes ab ($P = p \,.\, q$). Vgl. die folgenden Paragraphen.

* *Übung.* Mache ein trockenes Reagenzglas an einer Stelle der Seitenwand nahe dem Boden mittels der Bunsenflamme weich, blase hinein, so daß ein Loch an dieser Stelle entsteht, hänge das abgekühlte Glas an einer Fadenschlinge in senkrechter Lage auf und fülle Wasser hinein. Beobachtung vgl. Abb. 98.

§ 51. Gleichmäßige Druckfortpflanzung. *Versuch:* Auf den PASCALschen Apparat (Abb. 96) wird zunächst wieder das Gefäß *a* aufgeschraubt, gefüllt und der Druck bestimmt. Hierauf wird das Gefäß durch ein anderes von der beistehenden Form (Abb. 99) ersetzt, das im oberen Teil nur $^1/_3$ des Durchmessers, also $^1/_9$ des Querschnittes von *a* hat. Wird dieses nun bis zu gleicher Höhe wie vorher *a* mit Wasser gefüllt, so ist der Druck trotz der viel geringeren Wassermenge doch wieder derselbe wie vorher. Hieraus folgt:

Der Druck des im oberen engeren Teile enthaltenen Wassers kommt an der Bodenfläche um sovielmal vervielfältigt zur Wirkung, wie die Fläche *rs* in der Fläche *ef* enthalten ist. Anders ausgedrückt: Der auf die Fläche *rs* seitens des oberen Wassers ausgeübte Druck pflanzt sich durch die Flüssigkeit des unteren Gefäßes so fort, daß jedes mit *rs* gleiche Stück der Bodenfläche denselben Druck wie *rs* erfährt. (Die ganze Fläche *ef* also das Neunfache.)

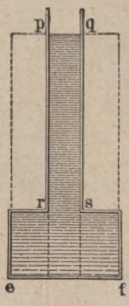


Abb. 99.

Denkt man sich statt des oberen Teiles der Flüssigkeit in dem engeren Rohre einen Kolben angebracht und diesen mit einer entsprechenden Kraft gegen *rs* gedrückt, so muß sich dieselbe Wirkung ergeben. Es wird aber der ausgeübte Druck ebenso auch gegen die anderen Teile der Gefäßwand fortgepflanzt, und wir erkennen so in dem Ergebnis des scheinbar so überraschenden Versuches das zuerst von dem holländischen Deichinspektor STEVIN (1585) ausgesprochene **Gesetz der gleichmäßigen Druckfortpflanzung:**

Ein auf eine Flüssigkeit ausgeübter Druck pflanzt sich nach allen Seiten in gleicher Stärke fort, d. h. so, daß jedes Quadratzentimeter der Begrenzung den gleichen Druck erfährt, wie 1 qcm der gedrückten Fläche.

**Versuch* mit einem durchlöcherten Gummiball.

Von diesem von außen ausgeübten Druck ist wohl zu unterscheiden der Druck, den die Flüssigkeit infolge ihrer eigenen Schwere ausübt und der natürlich von oben nach unten zunimmt.

Denkt man sich die Flüssigkeit in lauter Schichten etwa von 1 cm Höhe geteilt, so übt jede dieser Schichten auf ihre Grundfläche einen gewissen Schweredruck aus. Für eine tiefer gelegene Schicht setzt sich dann der Druck auf ihre Grundfläche zusammen aus ihrem eigenen Schweredruck und dem auf sie in gleicher Stärke fortgepflanzten Druck der oberen Schichten. — So erklärt es sich, warum hierbei die Breite der oberen Schichten ganz gleichgültig ist. [Fall c) des hydrostatischen Paradoxons.]

§ 52. Die hydraulische Presse. Denken wir uns einen beliebig geformten Kasten (Abb. 100) mit Flüssigkeit gefüllt und die Wände unbeweglich bis auf zwei Kolben a) von gleichem Querschnitt f und f_1, so wird, wenn der eine Kolben f mit einer bestimmten Kraft hineingedrückt wird, es einer gleich großen Kraft bedürfen, um das Zurückweichen des Kolbens f_1 zu verhindern, also das Gleichgewicht herzustellen. Sind zwei solcher Kolben f_1 da, so muß jeder mit der gleichen Kraft belastet werden usw. Ist statt dessen b) ein größerer, etwa viermal so großer Kolben F vorhanden, so kann man sich diesen aus entsprechend vielen (vier) der ersten Art zusammengesetzt denken. Es ergibt sich also, daß dieser mit der vierfachen Kraft belastet werden muß wie der Kolben f, wenn Gleichgewicht

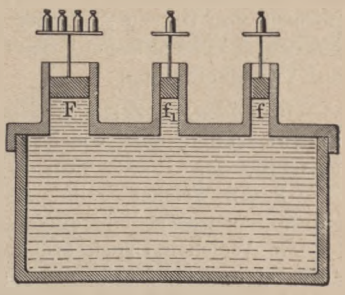


Abb. 100.

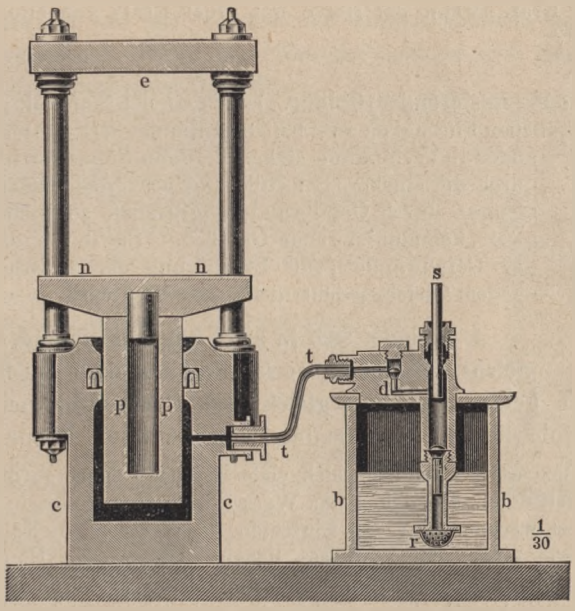


Abb. 101.

herrschen soll. — Der auf f ausgeübte Druck kommt somit auf F in demselben Maße vergrößert zur Wirkung, wie F größer ist als f. Auf dieser Folgerung aus dem Gesetz der Druckfortpflanzung beruht die

hydraulische Presse (Abb. 101), bei der die Wirkung durch einen an der Druckpumpe bei *s* angreifenden Hebel nochmals verstärkt wird.

Anwendung findet sie zum Pressen, z. B. von Heu, Wolle, Tuch, Auspressen von Öl; zu Aufzügen von Personen und Lasten, bei eisernen Vorhängen, „Versenkungen" in Theatern; zur Prüfung von allerlei Materialien auf Festigkeit u. a. m.

Übungen: 1. Zeige, daß bei der hydraulischen Presse sich Kraftweg und Lastweg umgekehrt wie Kraft und Last verhalten, d. h. daß auch für diese Maschine das Gesetz von der Erhaltung der Arbeit gilt.

2. An welcher Stelle zerspringt ein mit Wasser gefülltes Gefäß, in das ein Kolben wasserdicht eingepreßt wird?

3. Welchen Druck erleidet eine Flasche, wenn sie ganz mit Wasser gefüllt ist und ein Kork von 2 cm^2 Querschnitt mit der Kraft von 10 kg hineingetrieben wird?

*4. Muß man, um einen Wasserleitungsausfluß bei geöffnetem Hahn mit der Hand zuzuhalten, eine um so größere Kraft aufwenden, je weiter die Öffnung ist, oder immer die gleiche?

5. Bei einer hydraulischen Presse hat der Druckkolben einen Durchmesser von 1,5 cm, der Preßkolben einen solchen von 45 cm. Die beiden Hebelarme verhalten sich wie 1 : 5. Wie groß ist die von dem Preßkolben ausgeführte Kraft, wenn der Hebel mit einer Kraft von 50 kg abwärts getrieben wird?

§ 53. Kommunizierende[1]) Gefäße. Denkt man sich innerhalb einer im Gleichgewicht befindlichen Flüssigkeit zwei beliebige Räume, deren untere Teile miteinander in Verbindung stehen (z. B. den Raum der in der Abb 102 durch die stärkere Schraffierung hervorgehobenen Flüssigkeitsmenge), durch Gefäßwände abgegrenzt, so bilden jene Räume zwei „kommunizierende Gefäße". Da durch die Anbringung der Gefäßwände (und Beseitigung der äußeren Flüssigkeit) an dem Gleichgewicht nichts geändert wird, so gilt das Gesetz:



Abb. 102.

I. Befindet sich in zwei kommunizierenden Gefäßen die gleiche Flüssigkeit, so ist diese nur dann im Gleichgewicht, wenn sie in beiden Schenkeln gleich hoch steht, d. h. wenn die beiden Flüssigkeitsoberflächen in derselben wagerechten Ebene liegen.

Aus dem Gesetz I erklären sich viele Erscheinungen: so die Einrichtung von Wasserleitungen, bei denen das Wasser über Hügel oder in höhere Stockwerke geleitet werden soll; das Eintreten des Wassers in Keller, die tiefer als der Spiegel eines nahen Flusses liegen. Ferner das Emporsteigen des Wassers in Springbrunnen (vgl. § 48), ähnlich in artesischen Brunnen und in vielen natürlichen Quellen: denkt man sich den aufsteigenden Strahl von einer Röhre umgeben, so stellt diese das zweite Kommunikationsgefäß dar. — Anwendungen: Wasserstandzeiger an Dampfkesseln; Kanalwage zur Bestimmung der horizontalen Richtung (Abb. 103).

[1]) *communicare*, in Verbindung stehen.

Versuch: Man gießt in ein U-förmig gebogenes Rohr (Abb. 104) zuerst Quecksilber und merkt seinen Stand in beiden Schenkeln an; man muß sodann in den längeren Schenkel noch 13,6 cm hoch Wasser gießen, damit im kürzeren Schenkel das Quecksilber 1 cm hoch über der Trennungsfläche von Wasser und Quecksilber zu stehen kommt (Abb. 105).

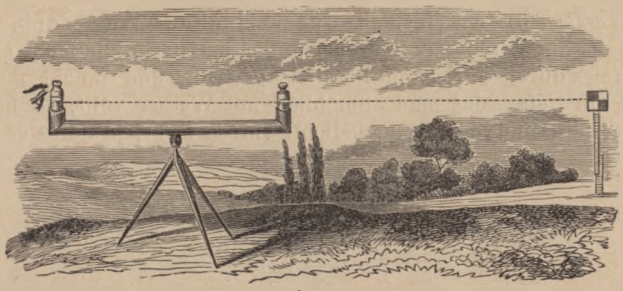


Abb. 103.

II. Befinden sich in zwei kommunizierenden Gefäßen verschiedene (sich nicht mischende) Flüssigkeiten, so sind diese nur dann im Gleichgewicht, wenn die von der wagerechten Trennungsfläche beider Flüssigkeiten an gemessenen Höhen der Flüssigkeitssäulen sich umgekehrt verhalten wie deren spezifische Gewichte.

Erklärung: Der Teil der schwereren Flüssigkeit, der unterhalb der Grenzfläche (in Abb. 105 unterhalb der gestrichelten Linie) liegt, läßt sich als ein beweglicher Kolben betrachten, auf den von links die Wassersäule, von rechts die Quecksilbersäule drückt. Nach den früheren Sätzen (§ 50) verhalten sich diese Drucke wie die spezifischen Gewichte.

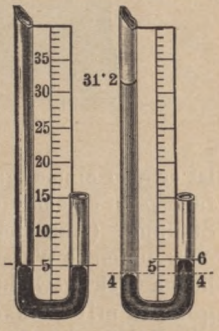


Abb. 104. Abb. 105.

Übungen: 1. Worauf kommt es bei dem Gesetz der kommunizierenden Röhren demnach nicht an?

2. Was würde sich ergeben, wenn die Röhren geneigt würden?

3. Inwiefern ist Gesetz I nur ein besonderer Fall von II?

*4. Wie muß man den Versuch abändern, um z. B. das spezifische Gewicht von Alkohol oder sonst einer mit Wasser mischbaren Flüssigkeit zu ermitteln?

Auffallende Abweichungen von obigen Gesetzen I und II machen sich bemerkbar, sobald nicht nur, wie bisher vorausgesetzt, die Schwerkraft, sondern auch Molekularkräfte, insbesondere die Adhäsion zwischen Flüssigkeit und Gefäßwand in Betracht gezogen werden (s. § 31).

§ 54. Archimedisches Gesetz. *Versuch* a): Senkt man mittels einer Schnur einen Stein in Wasser, so bemerkt man, daß der Stein scheinbar

leichter wird. Eine in Wasser befindliche Person kann einen größeren Stein ohne Mühe bis zum Wasserspiegel, aber nur mit Mühe über diesen emporheben; dasselbe beobachtet man an gefüllten Fischnetzen.

Ein in eine Flüssigkeit eingetauchter Körper erleidet in ihr einen (scheinbaren) Gewichtsverlust.

Wir bestimmen nun die Größe des Gewichtsverlustes genauer durch folgenden *Versuch* b): An einer „hydrostatischen" Wage (Abb. 106) hängt ein hohler Messingzylinder *c*, in welchen der massive Zylinder *p* genau paßt. War die Wage durch Tarierung im Gleichgewicht, und taucht man den Zylinder *p* in ein Gefäß, das man allmählich mit Wasser füllt, so hebt er sich (samt der Schale und dem Wagebalken) um so mehr, je tiefer er eintaucht;

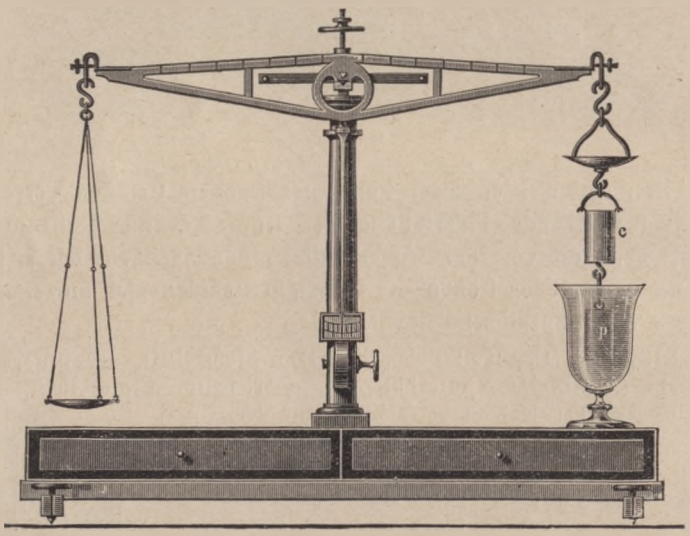


Abb. 106.

ist er aber einmal ganz unter Wasser (gleichgültig, ob mehr oder weniger tief, falls *p* an einem dünnen Draht hängt), so behält der Wagebalken seine schiefe Stellung. (Man stelle auch den Betrag der Gewichtsverminderung fest.) Füllt man nunmehr Wasser in *c*, so nähert sich der Wagebalken wieder der ursprünglichen Gleichgewichtsstellung; er erreicht diese genau, wenn der Zylinder *c* gerade mit Wasser gefüllt ist. Man kann den Versuch auch mit anderen Flüssigkeiten (z. B. Alkohol, Glycerin) anstellen. Aus solchen Versuchen ergibt sich das Gesetz des ARCHIMEDES [1]) (auch oft archimedisches Prinzip genannt):

Ein in eine Flüssigkeit eingetauchter Körper verliert ebensoviel an Gewicht, wie ein gleich großes Volumen der Flüssigkeit wiegt. (Oder: **Der**

[1]) Geb. 287 v. Chr., gest. 212 v. Chr. bei der Eroberung von Syrakus durch die Römer, der bedeutendste Mathematiker und Physiker des Altertums. Er berechnete zuerst Kreisumfang und -inhalt, Kugel, Kegel, Zylinder, Schwerpunkte verschiedener Körper, erklärte das Hebelgesetz, konstruierte Kriegsmaschinen u. a. m.

Gewichtsverlust eines eingetauchten Körpers ist gleich dem Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeit.)

Erklärung: Denken wir uns anstatt des eingetauchten Körpers *abcd* (Abb. 107, 108) einen gleich großen Flüssigkeitskörper, so wird dieser durch die umgebende Flüssigkeit getragen. Dasselbe wird auch noch stattfinden, wenn der Flüssigkeitskörper durch einen anderen ebenso großen von demselben spezifischen Gewicht wie die Flüssigkeit ersetzt wird. Ist das spezifische Gewicht des Körpers größer als das der Flüssigkeit, so wird das Gewicht des Körpers um das der verdrängten Flüssigkeit vermindert werden. [Dasselbe ergibt sich auch durch eine genaue Berechnung der Drucke unter Benutzung der in Abb. 108 angebrachten Bezeichnungen. Eine Abweichung davon würde außerdem einen Widerspruch gegen das Energiegesetz bedeuten (§ 21), weil dann nur infolge gedachter Abgrenzungen dauernde Bewegungen in der Flüssigkeit entstehen würden.]



Abb. 107.

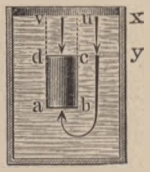


Abb. 108.

**Übung:* Bestimme den Gewichtsverlust eines in Wasser ganz eingetauchten schweren Körpers (z. B. eines Steines) sowie sein Volumen (nach § 2) und vergleiche die gefundenen Zahlen miteinander.

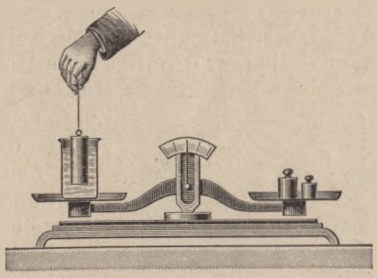


Abb. 109.

**Versuch* c): Ein mit Wasser gefülltes Gefäß wird auf einer Tafelwage durch Gewichte ins Gleichgewicht gebracht (Abb. 109). Darauf wird der an einem Faden aufgehängte Messingzylinder *p* vom vorigen Versuch b) in das Wasser eingesenkt. Die Gewichtszunahme des Gefäßes ist gleich der beim vorigen Versuch festgestellten Gewichtsverminderung des Messingkörpers. Erklärung nach § 51.

§ 55. Das Schwimmen der Körper. Beträgt der Aufdruck eines in Wasser eingetauchten Körpers weniger als das eigene (absolute) Gewicht desselben, so wird er im Wasser immer noch untersinken, im entgegengesetzten Falle aber nach oben steigen, also schwimmen, und wenn endlich Aufdruck und Gewicht gleich sind, so wird er in jeder Lage im Wasser im (indifferenten) Gleichgewicht sein.

Nun ist der Aufdruck gleich dem Gewicht des verdrängten Wassers. Das Verhältnis des Körpergewichts zu dem Gewicht des gleichen Volumens Wasser ist aber (§ 5) das „spezifische Gewicht". Also folgt:

Ein Körper schwimmt auf Wasser, wenn sein spezifisches Gewicht kleiner als 1 ist, er geht unter, wenn es größer als 1 ist, und er schwebt frei im Wasser, wenn es gleich 1 ist.

Für eine beliebige Flüssigkeit ist an Stelle von 1 das spezifische Gewicht der betreffenden Flüssigkeit zu setzen. (Warum?)

**Versuche* zum Nachweis: Kork, Buchenholz, Öl, Luftblasen ... schwimmen auf Wasser; altes Eichenholz, Kupfer, Eisen, Blei aber nicht. Alle genannten Körper schwimmen dagegen auf Quecksilber, Platin aber nicht. — Öltropfen kann man in einer Mischung von Wasser und Alkohol zum Schweben bringen. (Kugelform! siehe § 47.)

Steigt der Körper in der Flüssigkeit empor, so wird er so weit über die Oberfläche hinausgetrieben, daß der noch vorhandene Auftrieb gleich dem Gewicht des Körpers ist:

Ein im Gleichgewicht schwimmender Körper taucht so tief ein, daß das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit gleich dem Gesamtgewicht des Körpers ist.

Dieser Satz gilt auch für Körper, die aus verschiedenen Stoffen zusammengesetzt sind, z. B. luftgefüllte Hohlkugeln, eiserne Schiffe, Korkscheiben mit Münzen u. a. (**Versuche*, insonderheit mit solchen Zusammenstellungen, die gerade schweben. — Kartesianischer Taucher.)



Abb. 110.

**Übungen:* 1. Welche der oben angegebenen Ableitungen des archimedischen Satzes ist ohne weiteres allgemeingültig, welche nicht?

2. Stellt man ein gut abgeschliffenes leeres Glas umgekehrt in eine Wanne, auf deren Boden es dicht anschließt, so steigt es trotz der Luft im Innern nicht hoch, wenn man Wasser in die Wanne gießt. Erklärung?

3. Erkläre Abb. 110. Das spezifische Gewicht des Eises ist 0,92.

4. Wie groß muß nach bekannten Erfahrungen beim Schwimmen das spezifische Gewicht des menschlichen Körpers ungefähr sein? Warum soll man in der Gefahr des Ertrinkens nicht unnötig schreien und nicht die Arme aus dem Wasser strecken? Warum sinkt der Körper eines Ertrunkenen zuerst auf den Grund, warum steigt er, wenn sich im Körper Gase entwickeln, wieder an die Oberfläche? Wie erklärt sich die Wirkung der Schwimmgürtel, Rettungsringe u. dgl.?

5. Wenn ein Schiff aus dem Meerwasser in Flußwasser übergeht, sinkt es dann tiefer oder weniger tief ein?

6. Verfertige einen „kartesianischen Taucher“ und erkläre sein Verhalten. (Vgl. damit die Schwimmblase der Fische.)

*7. Bringe ein Ei, das in Wasser untergeht, in eine mehr oder weniger konzentrierte Salzlösung.

*8. Mache *Versuche* über das Schweben von Öl in einer Mischung von Wasser und Alkohol, einer Mischung von Zinnober und Wachs, Kork und Siegellack in Wasser.

Viele Körper (Schiffe, Aräometer [§ 56]) müssen „stabil schwimmen“, d. h. sie müssen, wenn sie in eine schiefe Lage gebracht werden, wieder in ihre frühere Lage zurückkehren. Die Stabilität ist im allgemeinen um so

größer, je tiefer der Schwerpunkt liegt. Deshalb werden die untersten Teile der Schiffe mit Körpern von großem spezifischen Gewicht beladen, die Aräometer mit Blei oder Quecksilber beschwert.

§ 56. Die Bestimmung des spezifischen Gewichts. A. Mittels der **hydrostatischen Wage.** 1. Feste Körper. Man bestimmt von dem zu untersuchenden Körper, z. B. einem Stück Blei, zunächst das absolute Gewicht, sodann das Gewicht des Körpers, während er in Wasser taucht. Die Differenz, der Gewichtsverlust, ist nach dem archimedischen Prinzip gleich dem Gewicht des verdrängten Wassers; demnach ist das spezifische Gewicht der Quotient aus dem absoluten Gewicht und dem Gewichtsverlust (§ 5).

Man kann die Bestimmung des Gewichtsverlustes auch als eine indirekte Bestimmung des Volumens ansehen. Denn da 1 cm^3 Wasser 1 gr wiegt, so ist das Gewicht des verdrängten Wassers maßzahlengleich mit seinem Volumen, d. h. auch mit dem Volumen des Körpers. Dann ist $s = \frac{p}{v}$ (§ 5).

Diese Art der Volumenbestimmung ist bei weitem genauer, als die in § 3 angegebenen Methoden.

Wie verfährt man bei festen Körpern, die in Wasser löslich sind (Zucker, Steinsalz)?

2. Flüssigkeiten. Von einem leicht zu reinigenden Körper, z. B. einer Glaskugel, habe man ein für allemal den Gewichtsverlust in Wasser bestimmt, er betrage z. B. 20 gr. Erfährt nun diese Kugel z. B. in Alkohol einen Gewichtsverlust von 16 gr, so ist das spezifische Gewicht des Alkohols $= \frac{16}{20} = 0{,}8$.

B. Mittels des **Aräometers**[1]) (nur für Flüssigkeiten brauchbar).

**Versuch:* Man senke ein mit Schrot oder Sand belastetes Reagenzgläschen nacheinander in verschiedene Flüssigkeiten, z. B. konzentrierte Schwefelsäure, Kochsalzlösung, reines Wasser, Spiritus. Es sinkt um so tiefer ein, je geringer das spezifische Gewicht der Flüssigkeit ist.



Abb. 111.

Eine Anwendung hiervon stellt das in Abb. 111 abgebildete Aräometer dar. (Einrichtung?) Die im oberen Teile enthaltene Skala ist entweder auf das spezifische Gewicht der Flüssigkeit geeicht oder direkt auf die Eigenschaft derselben, die nach dem spezifischen Gewicht beurteilt werden soll (so z. B. Fettgehalt der Milch, Alkoholgehalt von Spiritus, Säuregehalt von Salzsäure, Schwefelsäure u. dgl.). — Jedes Aräometer

[1]) *araiós* (griech.) = dünn.

ist ferner auf eine bestimmte Temperatur (meist 15° C) geeicht; warum ist dieser Zusatz nötig?

Es ist zu beachten, daß die im praktischen Leben gebräuchlichen „Milchprüfer" u. dgl. keine absolute Sicherheit für das Vorhandensein der gewünschten Eigenschaft bieten. Warum nicht?

Übungen: *1. Verfertige dir selbst aus einem weiteren Reagenzglas mit angesetzter längerer Glasröhre, Schrot und einem Streifen Papier ein Aräometer, z. B. für Alkohol. Eiche dasselbe mit Hilfe anderweitiger Bestimmung des spezifischen Gewichtes.

*2. Stelle dir eine „Senkwage" her, indem du an einem etwa 20 cm langen und 2 cm dicken Holzstab unten ein Stückchen Eisen (z. B. eine Schraubenmutter) von passender Größe befestigt. Das Gewicht muß so groß sein, daß der oben mit einem Blechtellerchen versehene Stab noch ein Stück aus dem Wasser ragt, in dem er aufrecht schwimmt. Eiche die Wage, die z. B. als Briefwage brauchbar ist, mit Hilfe von Gewichtsstücken.

3. Wie groß ist das durchschnittliche spezifische Gewicht eines Körpers, der aus v_1 cm³ einer Substanz vom spezifischen Gewicht s_1 und v_2 cm³ vom spezifischen Gewicht s_2 zusammengesetzt ist?

*4. Auf einer Silbermünze (spez. Gew. 10,3) soll eine Korkscheibe von gleichem Durchmesser befestigt werden, so daß das Ganze im Wasser schwebt. Wie dick muß die Korkscheibe sein, wenn der Kork das spez. Gew. 0,18 hat?

*5. Dieselbe Silbermünze, die in Luft 18,51 gr wog, wog in Alkohol 17,09 gr. Wie groß ist das spezifische Gewicht des letzteren?

*6. Aus Kupferblech von 1 mm Dicke wird ein quadratischer, oben offener Kasten von 20 cm Breite und Länge und 5 cm Höhe angefertigt. Wie tief sinkt derselbe beim Schwimmen auf Wasser ein, wenn das spezifische Gewicht des Kupfers 8,9 beträgt?

7. ARCHIMEDES soll das nach ihm benannte Gesetz entdeckt haben („heureka"), als ihm die Aufgabe gestellt wurde, festzustellen, ob die Krone des Königs Hiero von Syrakus wirklich aus echtem Golde hergestellt sei oder der Goldschmied Gold unterschlagen habe. Wie konnte er die Aufgabe lösen?

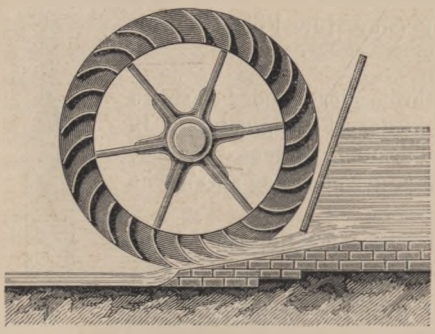


Abb. 112.

§ 57. Wasserkraftmaschinen.

Die Bewegungsenergie strömenden Wassers wird seit alter Zeit in den **Wasserrädern** und neuerdings in **Turbinen** ausgenutzt.

Wenn eine Wasserkraft in der Sekunde 15 kg bei einem Gefälle von 5 m liefert, so ergibt dies eine theoretische Arbeitsleistung von 75 kgm pro Sekunde oder 1 Pferdestärke (1 PS). Von der so verfügbaren Energiemenge vermag man jedoch durch die Wasserkraftmaschinen immer nur einen Teil nutzbar zu machen. Dieser Bruchteil wird als Wirkungsgrad oder Nutzeffekt bezeichnet.

Die Wasserräder werden als unterschlächtige (Abb. 112), mittel- und oberschlächtige (Abb. 113) unterschieden. Ihr Wirkungsgrad beträgt in der

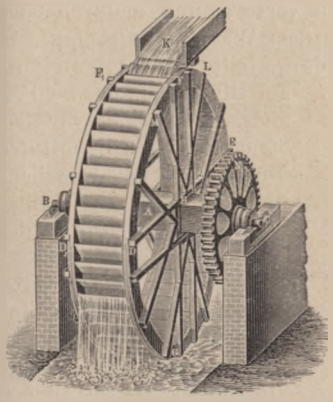


Abb. 113.

Regel nicht mehr als 40 bis 60 Proz. Größer ist der Nutzeffekt der Turbinen (Abb. 114), bei denen das Wasser zwischen schief gestellten unbeweglichen Schaufeln des „Leitrades“ so auf die ebenfalls schief gestellten Schaufeln eines in horizontaler Ebene drehbaren Rades, des „Laufrades“, ausströmt, daß eine möglichst große Komponente in wagerechter Richtung wirksam wird. Zu den Turbinen gehört auch das Peltonrad (Abb. 115), ein Rad mit freistehenden radialen Schaufeln besonderer Form, gegen deren tiefststehende das Wasser aus engen Röhren (Düsen) strömt. Bei den besten Turbinen beträgt der Wirkungsgrad 75 bis 80 Proz. An den Niagarafällen werden durch Turbinen von 5000 bis 10000 PS über 400000 PS gewonnen, wozu den Fällen mehr als 2000 cbm Wasser pro Sekunde entzogen werden.

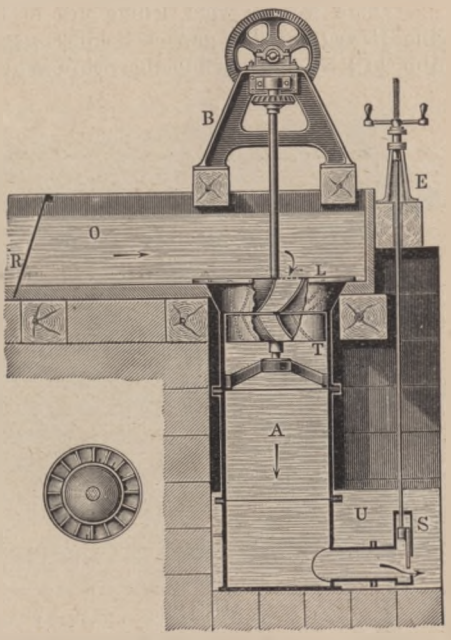


Abb. 114.

O Oberwasser. — *R* Fangrechen für grobe Verunreinigungen. — *L* Leitrad. — *T* Turbinenrad (Laufrad). — *A* Abfallrohr. — *U* Unterwasser. — *S* Schütze. — *E* Einstellvorrichtung für die Schütze. — *B* Bock mit oberem Turbinenlager und Zahnradbetrieb für die Transmission.

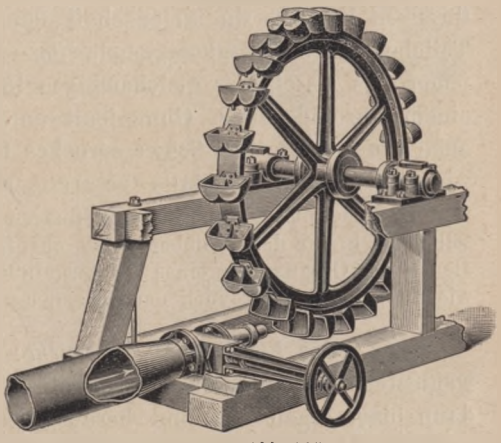


Abb. 115.

Eine Umkehrung der Vorgänge an Mühlrädern und Turbinen bilden die Vorgänge an

den **Schaufelrädern,** deren sich schon die Römer zur Fortbewegung von Schiffen bedienten, und an den **Schrauben** der Schiffe (Ressel 1829).

Diese werden vom Schiffe her in Rotation versetzt und dadurch wird eine Bewegung des ganzen Schiffes gegenüber dem Wasser eingeleitet. In Abb. 116 ist eine vierflügelige Schiffsschraube *S* dargestellt. Sie hat ihren Platz am Hinterende des Schiffskiels, unmittelbar vor dem Steuerruder *R*; die mit den Flügeln *a*, *b*, *c*, *d* versehene Nabe *N* ist am Ende einer Welle befestigt, die in der Längsrichtung des Schiffes gelagert ist und am hinteren Teile desselben durch eine Stopfbüchse (bei *B*) wasserdicht hervortritt. Die Welle wird durch die im Innern des Schiffes befindliche Dampfmaschine in Umdrehung versetzt. —

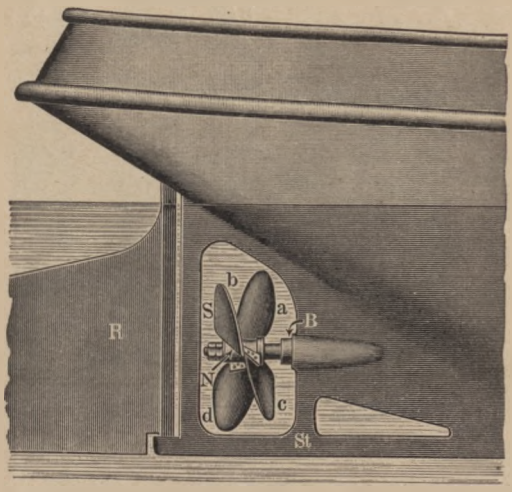


Abb. 116.

Eine Umkehrung der Turbinen stellen auch die in Gehäuse eingebauten Zentrifugalpumpen dar, die zur Hebung von Wasser auf größere Höhen dienen.

Über den Widerstand der Flüssigkeiten s. § 45. — Warum geht bei Dampfern wohl die Schraube, aber nicht das Schaufelrad ganz unter Wasser?

Mechanik der luftförmigen Körper (Aeromechanik).

§ 58. Grundeigenschaften der Gase. Die Gase haben mit den flüssigen Körpern die Eigenschaft der leichten Verschiebbarkeit ihrer Teilchen gegeneinander gemeinsam. Es gilt daher für sie wie bei jenen das **Gesetz der gleichmäßigen Druckfortpflanzung** (**Versuch* mit einem durchlöcherten Gummiball unter Wasser) und ebenso müssen auch die Gesetze des **Schweredruckes** für sie gelten, da die Gase, wie wir in § 6 sahen, ebenfalls Gewicht besitzen.

Da unsere Erde von einem Luftmeer umgeben ist, so muß am Boden desselben, d. h. an der Erdoberfläche, ebenfalls dieser Schweredruck (wie am Boden des Ozeans oder eines Wassergefäßes) vorhanden sein. Es fragt sich, wie man diesen Luftdruck nachweisen und messen kann.

§ 59. Der Luftdruck. **Versuche:* a) Eine nicht zu weite oder wenigstens unten verengte Glasröhre wird ganz in Wasser getaucht, dann oben zugehalten und herausgezogen. Das Wasser bleibt in ihr, es fließt dagegen sofort aus, wenn man den Finger lüftet.

Auch aus einem umgekehrten Trinkglas fließt das Wasser nicht aus, wenn man ein Blatt Papier darüberlegt und dieses während des Umkehrens zunächst andrückt.

Kautschukscheiben haften fest an glatten Oberflächen (Glasscheiben), ebenso z. B. Wasserkaraffen, die unten ganz eben sind, auf Marmorplatten, besonders wenn die Karaffen unten etwas benetzt sind. Heurekapfeile.

Diese Versuche, sowie viele andere bekannte Erscheinungen (welche?) zeigen, daß zwei Körper, die an sich gegeneinander beweglich sind, aneinanderhaften, wenn durch ihre Trennung zwischen ihnen ein luftleerer Raum entstehen würde.

Daß nicht die geringe Adhäsion die Ursache ist, läßt sich leicht dadurch nachweisen, daß man der Luft einen kleinen Zugang in den Zwischenraum gestattet (*Versuch* 1). Dann hört das Haften sofort auf.

Bis zu GALILEIs Zeit hielt man die angeführten und entsprechende andere Erscheinungen für die Wirkungen eines in der Natur bestehenden „horror vacui“ [(lat.) = Scheu vor dem leeren Raume]. GALILEI erkannte, daß in Wirklichkeit der äußere Luftdruck das Haften bewirkt. Sobald dieser von beiden Seiten wirken kann, hört die Wirkung auf.

Es fragt sich, wie groß dieser Druck ist. Man könnte versuchen, diese Frage zu beantworten, indem man feststellte, wie lang das Rohr bei *Versuch* 1 sein kann, eine wie hohe Wassersäule der Luftdruck also tragen kann. Ein Schüler GALILEIs, TORRICELLI, erkannte, daß man bequemer statt dessen eine schwerere Flüssigkeit zu dem Versuch benutzt, er machte (1643) den folgenden Versuch:

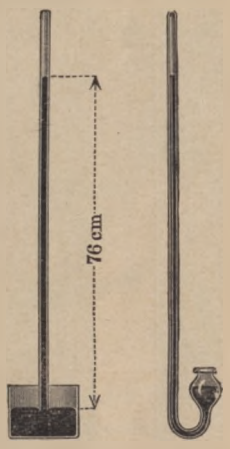


Abb. 117. Abb. 118.

b) **Der Torricellische Versuch:** Man füllt eine 80 bis 90 cm lange Glasröhre (Abb. 117), die an dem einen Ende offen, an dem anderen zugeschmolzen ist, mit Quecksilber, so daß keine Luftblasen in der Röhre zurückbleiben. Wird das offene Ende mit dem Finger verschlossen, nach Umkehrung der Röhre in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß getaucht und dann wieder der Finger weggezogen, so fließt nur so viel Quecksilber aus der Röhre, daß in ihr noch eine Säule von annähernd 76 cm = 760 mm über der Quecksilberoberfläche im Gefäß zurückbleibt. Der Raum oberhalb des Quecksilbers ist nahezu luftleer („TORRICELLIsche Leere“); doch bedarf es besonderer Vorkehrungen, ihn völlig von Luft zu befreien, auch enthält er dann immer noch eine Spur von Quecksilberdämpfen.

Der Versuch läßt sich auch nach Abb. 118 anstellen.

Aus diesem Versuch folgt, daß **der Druck der Atmosphäre einer Quecksilbersäule von rund 76 cm Höhe das Gleichgewicht halten kann.** Da 76 cm Quecksilber 76 . 13,6 cm = 1033,6 cm = 10,336 m Wasserhöhe entsprechen, eine Wassersäule von 1 cm² Grundfläche und der angegebenen Höhe aber 1033,6 gr oder rund 1 kg wiegt, so ergibt sich:

Die Atmosphäre drückt auf 1 cm² Erdoberfläche mit einer Kraft von rund 1 kg.



Abb. 119.

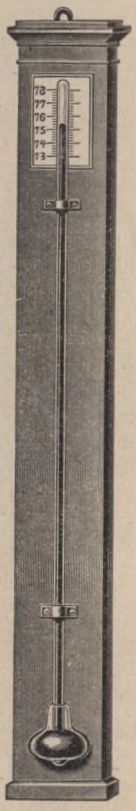


Abb. 120.

Man nennt deshalb den Druck von 1 kg/cm² gewöhnlich 1 Atmosphäre, obwohl der wahre Atmosphärendruck ein wenig größer ist.

§ 60. Das Barometer. Die durchschlagendste Bestätigung der neuen Erkenntnis ergab sich aus den Beobachtungen, die man bald darauf über die Veränderlichkeit des Luftdrucks machte.

a) Zu verschiedenen Zeiten beobachtet man an demselben Orte verschiedene Höhen der Quecksilbersäule beim TORRICELLI schen Versuch. Der angegebene und als Normalmaß festgesetzte Wert 76 cm (= 1,034 kg/cm²) ist nur ein Durchschnittswert (und zwar auf Meeresniveau). Mit einem Maßstab versehen, kann also der TORRICELLI sche Apparat dazu dienen, die Schwankungen des Luftdrucks zu verfolgen. Man nennt ihn, so angewendet, **Barometer**[1]. Abb. 119 und 120 zeigen zwei verschiedene Formen des Barometers (Heber- und Gefäßbarometer). Erkläre den Gebrauch.

b) Zur gleichen Zeit zeigt das Barometer in verschiedener Höhe am gleichen Orte verschiedenen Luftdruck an. — Beim Emporsteigen nimmt der Luftdruck anfänglich bei je etwa 11 m Erhebung um 1 mm ab. *Versuch* mit einem guten Quecksilberbarometer im Schulgebäude. Größere Differenzen wurden beim Besteigen von Bergen zuerst 1648 am Puy de Dome auf Veranlassung PASCALS von seinem Schwager PÉRIER festgestellt. Doch nimmt der Luftdruck aber, je höher man schon gestiegen ist, desto langsamer ab. (Erklärung s. § 61.) — *Anwendung* zur **barometrischen Höhenmessung.**

[1]) *barys* (griech.) = schwer.

c) Auch wenn man zu gleicher Zeit in gleicher Höhe über der Erdoberfläche an verschiedenen Stellen Messungen des Luftdrucks vornimmt, erhält man verschiedene Ergebnisse. Der Luftdruck ist also auf der Erdoberfläche in jedem Augenblick ungleichmäßig verteilt, und diese Verteilung wechselt [nach a)] im Laufe der Zeit fortwährend.

Auf Grund der Kenntnis der augenblicklichen Luftdruckverteilung, welche durch die meteorologischen[1]) Stationen vermittelt wird, kann man mit mehr oder minder großer Sicherheit den wahrscheinlichen Verlauf des Wetters in der nächsten Zeit, etwa auf 1 bis 2 Tage vorhersagen. Jedoch hängt das Wetter außer von der Luftdruckverteilung auch noch von sehr vielerlei anderen Faktoren ab. Am wenigsten kann man befriedigende Ergebnisse der Voraussagen erwarten, wenn man, wie das seitens der Nichtfachleute meist geschieht, lediglich das Fallen oder Steigen des Barometers am Beobachtungsort als Anzeichen kommenden schlechten oder guten Wetters deutet.

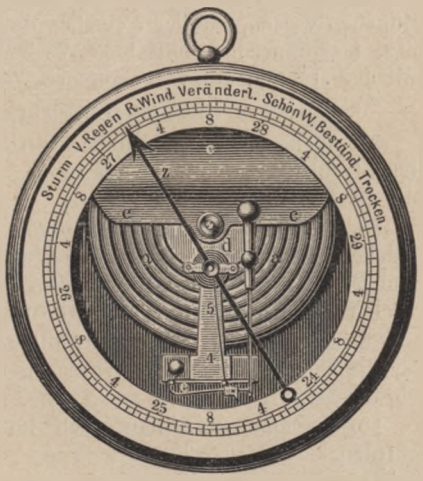


Abb. 121.

Da die Quecksilberbarometer nicht nur ziemlich unhandlich sind, sondern auch leicht der Gefahr des Zerbrechens und Verschüttens von Quecksilber ausgesetzt sind, so hat man für den praktischen Gebrauch sogenannte **Aneroid[2])-Barometer** konstruiert. Abb. 121 zeigt ein solches, das Vidi sche Barometer. Ein fast luftleer gepumptes Metallgefäß ist mit einer dünnen wellig gebogenen Vorderwand versehen, die sich bei stärkerem Luftdruck nach innen, bei schwächerem nach außen biegt. Hierdurch wird mittels Hebelwerkes ein Zeiger bewegt, und dieser gibt an einer nach dem Quecksilberbarometer geeichten Skala den Luftdruck an.

Eine andere Art, das Bourdon sche Metallbarometer, enthält statt der Metalldose eine spiralig gewundene, ebenfalls luftleer gemachte Metallröhre, die sich bei stärkerem Luftdruck zusammenrollt, bei schwächerem mehr abrollt. — Apparate dieser Art, die mit einer selbsttätigen Vorrichtung zum Aufzeichnen einer „Luftdruckkurve“ versehen sind, heißen Barographen.

---

[1]) *meteōra* = Erscheinungen in der Höhe (Luft-, Himmelserscheinungen).

[2]) Von *nerós* = feucht, a — = dem deutschen „un—“.

Übungen: 1. Um ein luftfreies Barometer herzustellen, muß das Quecksilber im Rohre ausgekocht werden. Wenn noch Luft im Rohre ist, hört man beim Neigen des Barometers das Quecksilber nicht kräftig an das obere Ende anschlagen. Warum nicht?

2. Was geschieht, wenn man ein TORRICELLI sches Rohr unten mit dem Finger verschließt und dann aus der Quecksilberwanne in eine Wasserwanne hebt? (*Versuch.*)

3. Wieviel beträgt der gesamte Luftdruck auf die Oberfläche des menschlichen Körpers (vgl. § 48, Übung 3)?

4. Bei sorgfältiger Ausführung des TORRICELLI schen Versuchs geschieht es meist, daß das Quecksilber beim Öffnen der Röhre nicht sogleich, sondern erst nach einigem Klopfen oder Schütteln auf die erwartete Höhe herabsinkt. Wie kommt das? (Vgl. Frage 1.)

5. Jemand besaß ein Aneroidbarometer. Als er von Hamburg nach München verzog, wunderte er sich, daß das Barometer an seinem neuen Wohnsitze fast dauernd „schlechtes Wetter" anzeigte. Welche Veränderung hätte mit dem Instrument vorgenommen werden müssen?

6. Inwiefern trägt der Luftdruck unsere Arme und Beine?

*7. Wenn man eine Münze kräftig anhaucht und dann gegen die Stirn drückt, bleibt sie hängen, warum? Ähnlich: Heureka-Pistole, Lederscheibe mit Bindfaden u. a.

*8. Fülle ein weiteres Reagenzröhrchen etwa zu drei Vierteln mit Wasser, drücke ein engeres so weit hinein, daß das Wasser in dem Zwischenraum bis zum Rande emporsteigt und kehre, das äußere festhaltend, die Vorrichtung rasch um. Beobachtung? Erklärung?

*9. Zwei Trinkgläser passen mit den Rändern annähernd aneinander, und der Raum beider ist mit Wasser gefüllt. Wie mag die Füllung vollzogen worden sein?

10. Warum kann man auch im geschlossenen Zimmer die Größe des Luftdrucks ermitteln?

*11. Wie verhält sich eine in der Ebene verkorkte leere Flasche, wenn sie auf einen hohen Berg gebracht wird? Wie umgekehrt?

§ 61. Die Spannkraft der Gase. **Versuche:* a) Wir wiederholen den Versuch 1 von § 59, jedoch jetzt so, daß wir aus der ziemlich langen Röhre zuerst einen Teil (etwa die Hälfte oder ein Drittel) des Wassers ausfließen lassen, dann die Röhre unten zuhalten, den Finger oben einen Augenblick lüften und dann die untere Öffnung wieder frei geben. Es fließt dann wieder ein kleines Quantum Wasser aus, wobei sich die im oberen Teil eingeschlossene Luft auf einen etwas größeren Raum ausdehnt.

Eine nicht zu kurze Röhre wird in ein hohes Gefäß mit Quecksilber getaucht, so daß oben ein Teil herausragt. Wird sie dann oben mit dem Finger oder mit einem Hahn verschlossen und herausgehoben, so dehnt sich die im oberen Teil enthaltene Luft um so mehr aus, je

weiter man die Röhre herauszieht und je höher dementsprechend auch die in dem unteren Teil stehende Quecksilbersäule geworden ist.

In beiden Fällen muß bei dem schließlich eintretenden Gleichgewichtszustand der äußere Luftdruck gleich der Summe aus dem Druck der Flüssigkeit und dem der eingeschlossenen Luftmenge sein. Letzterer ist also gleich dem Atmosphärendruck minus dem der Flüssigkeitssäule, und da die Luft bei diesen Versuchen sich ausgedehnt hat, so müssen wir schließen:

Der von einer abgeschlossenen Luftmenge ausgeübte Druck sinkt, wenn sich ihr Rauminhalt vergrößert. Er wird also auch umgekehrt steigen, wenn man die Luftmenge zusammendrückt. Das zeigen in der Tat eine große Reihe bekannter Erscheinungen (Fahrradpumpe, Gummiball, Windbüchse usw.).

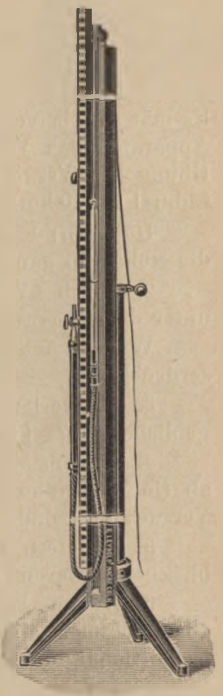


Abb. 122.

Um nun beide Veränderungen genauer zu bestimmen, bedienen wir uns des in Abb. 122 dargestellten Apparats:

b) In dem einen (linken) Schenkel des unten durch einen starken Gummischlauch gebildeten U-Rohres wird ein beliebiges Luftquantum (z. B. 12 cm Länge) mittels Quecksilber abgesperrt. Dann wird der bewegliche Schenkel (rechts) gehoben oder gesenkt, und es wird einerseits die jetzt vorhandene Länge der Luftsäule, andererseits der Unterschied der beiden Quecksilberspiegel an der Skala abgelesen. Es ergibt sich folgendes:

Damit z. B. das anfängliche Luftvolumen von 12 Einheiten sich auf 24 Einheiten ausdehnt, muß das Quecksilber rechts um so viel gesenkt werden, daß es dort 38 cm tiefer steht als links. Dann beträgt demnach der von links nach rechts wirkende Quecksilberdruck $^1/_2$ Atm., demnach der Druck der eingeschlossenen (24 Teile) Luft ebenfalls noch $^1/_2$ Atm.

Damit umgekehrt das Luftvolumen von 12 auf 6 Teile zurückgeht, muß das Quecksilber rechts 76 cm höher stehen als links. Der von rechts nach links wirkende Druck beträgt in diesem Falle 2 Atm. (Außenluft + 76 cm).

Wir erkennen aus diesen Versuchen

Das Boylesche Gesetz: Der von einer eingeschlossenen Luft- (Gas-) Menge ausgeübte Druck ist dem von ihr eingenommenen Raume umgekehrt proportional.

Es folgt hieraus, daß auch im verdünntesten Zustand ein Gasquantum immer noch einen Druck ausübt. Die Gase besitzen also eine Spannkraft, vermöge deren sie sich immer auszudehnen streben, soweit der verfügbare Raum es ihnen gestattet.

Dem eben Gesagten scheint die „ansaugende“ Wirkung luftverdünnter Räume (*Beispiele, *Versuche*) zu widersprechen. In Wirklichkeit handelt es sich dabei aber stets nur um den Überdruck der Außenluft über die Innenluft.

Man könnte ferner gegen den Satz von der unbeschränkten Ausdehnung der Gase einwenden, daß ja dann die Erdatmosphäre sich längst in den Weltraum hinein verflüchtigt haben müßte. Der Grund, warum sie das nicht tut, ist die Schwere der Luft (§ 6). Es besteht in der ganzen Atmosphäre ein Gleichgewichtszustand zwischen dem Ausdehnungsbestreben einerseits und der Schwerkraft (Gewicht) andererseits. Da der Schweredruck nach oben hin abnimmt, so ist die Luft oben dünner als unten (Vergleich mit dem Wasser im Meere), und eine scharfe Grenze besitzt die Atmosphäre deshalb überhaupt nicht. Ihre Dichtigkeit wird in großen Höhen schließlich unmerklich gering. Es läßt sich berechnen, daß schon bei etwa 100 km Höhe mit unseren feinsten Apparaten das Vorhandensein von Gas kaum mehr nachweisbar wäre (vgl. Übung 4). Vergleiche die Dicke der (merkbaren) Luftschicht mit dem Erdradius! (6370 km).

Übungen: 1. Um wieviel wird das Wasser bei Versuch a), 1. sinken, wenn die Röhre im ganzen 50 cm lang ist und zur Hälfte gefüllt war.

2. Welches Volumen würde die Luft in einer Taucherglocke 10 m, 20 m... unter dem Meeresspiegel einnehmen?

Wie kommt es, daß der Luftdruck die zarten Lungenbläschen nicht zerdrückt?

3. Wie verläuft der TORRICELLI sche Versuch, wenn ein Luftrest zurückgeblieben ist? (*Versuch:* Hineinbringen einer Luftblase in die Leere.)

4. Warum nimmt der Luftdruck mit zunehmender Höhe immer rascher ab (in der Nähe der Erdoberfläche je 1 mm auf etwa 10,5 m Erhebung — Versuch im Schulgebäude, — in Montblanchöhe 1 mm auf 19,1 m Erhebung).

5. Inwiefern ergibt sich bei Versuch b) eine Bestimmung des augenblicklichen Barometerstandes? Warum ist diese aber sehr ungenau?

6. Warum kann man das BOYLE sche Gesetz auch so aussprechen, daß „das Volumen einer Gasmenge dem auf sie ausgeübten Drucke umgekehrt proportional, die Dichte des Gases dagegen diesem Drucke direkt proportional ist“?

7. Jemand bestimmte bei einer chemischen Analyse in einer pneumatischen Wanne ein Stickstoffvolumen von 30 cm. Dabei stand aber das Wasser im Rohre 20 cm höher als in der Wanne und der Barometerstand betrug an dem Tage nur 74,5 cm Quecksilber. Welches Volumen würde der Stickstoff bei normalem Druck eingenommen haben?

*8. Warum wird ein geschältes, hartgekochtes Ei in eine Flasche hineingedrückt, wenn man die Luft in dieser zunächst durch Hineinwerfen eines brennenden Papiers erwärmt und dann das Ei auf die Flaschenmündung setzt?

§ 62. Wasserpumpen. Als Pumpe bezeichnet man jeden Apparat, der zur Fortbewegung von Flüssigkeiten oder Gasen in einem System von Röhren oder sonstigen Gefäßen dient. Hauptteil der gebräuchlichsten derselben, der sogenannten Kolbenpumpen, ist ein in einem Rohre, dem **Stiefel,** beweglicher, aber dicht anschließender **Kolben**

(Abb. 123, 124). An jeder Pumpe befinden sich ferner **Ventile,** d. h. Vorrichtungen, welche der Flüssigkeit bzw. dem Gas den Durchtritt nur in einer Richtung gestatten. Man unterscheidet Klappenventile, Kegelventile, Taschenventile u. a. Eine der einfachsten Gaspumpen ist der gewöhnliche Blasebalg, ferner das für Brenn- und Inhalierapparate benutzte Gummigebläse (wo sitzen in beiden Vorrichtungen die Ventile?). Für Flüssigkeiten benutzt man hauptsächlich die Saughubpumpe und die Druckpumpe.

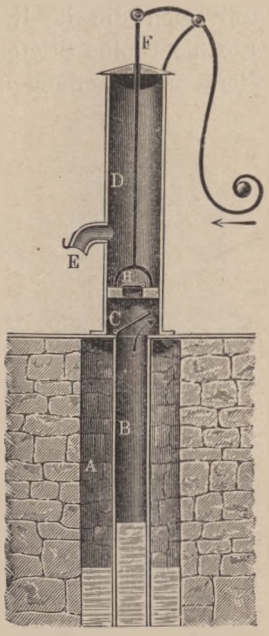


Abb. 123.

1. **Die Saughubpumpe** (Abb. 123). Sie besteht aus einem Stiefel mit Kolben und zwei Ansatzröhren, deren eines, das Saugrohr *B*, in das Wasser *A* hinabführt, während durch das andere *E* seitlich das Wasser abfließt. An der Ansatzstelle des Saugrohres sowie im Kolben befindet sich je ein sich nach oben öffnendes Ventil. Beim Emporziehen des Kolbens schließt sich das obere Ventil *H*, das untere *C* öffnet sich, und das Wasser wird aus der Brunnentiefe „angesaugt" (Erklärung s. § 58 und § 64, Übung 6). Beim darauf folgenden Niederdrücken schließt sich *C*, während *H* sich öffnet und zunächst der unter dem Kolben befindlichen Luft, später dem Wasser den Durchtritt gestattet. Bei mehrmaliger Wiederholung des Vorganges wird das Wasser schließlich im Stiefel so hoch gehoben, daß es bei *E* abfließt.

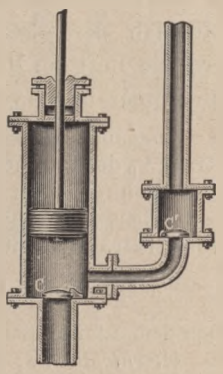


Abb. 124.

2. **Die Druckpumpe** (Abb. 124) hat einen nicht durchbohrten Kolben und neben dem Saugrohr am unteren Ende des Stiefels ein Steigrohr. Die weitere Einrichtung ist aus der Abbildung ersichtlich. Saugventil *C*, Druckventil *C'*.

§ 63. Die Luftpumpe. In einem Stiefel *A* (Abb. 125) ist ein massiver Kolben beweglich. Der Stiefel ist unten durch einen sogenannten Zweiwegehahn abgeschlossen, mittels dessen das Innere des Stiefels entweder in Verbindung mit der Außenluft (Stellung *b*) oder in Verbindung mit dem Ansatzrohr bei *B* (Stellung *a*) gesetzt werden kann. Das

Rohr B führt zu einer Öffnung in einem Teller D, auf den ein größeres Gefäß, der sogenannte Rezipient luftdicht aufgesetzt werden kann. Zieht man in der Stellung a des Hahnes den Kolben heraus, so verteilt sich die im Rezipienten befindliche Luft auf den Gesamtraum: Rezipient plus Stiefel, wird also dabei verdünnt. Jetzt legt man den Hahn um (Stellung b), drückt den Kolben wieder in den Stiefel hinein

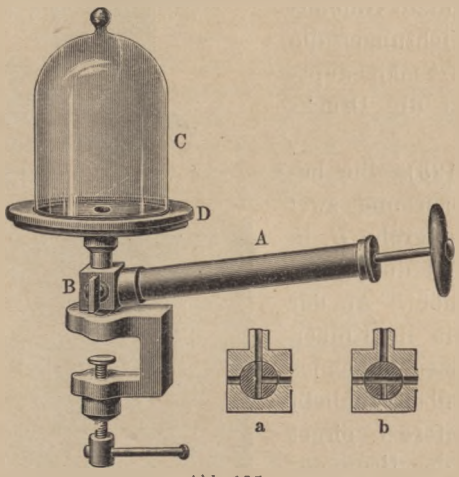


Abb. 125.

und treibt damit die in ihm befindliche Luft nach außen. Nach abermaligem Umlegen des Hahnes wiederholt sich der gleiche Vorgang. So wird die Luft im Rezipienten allmählich immer mehr verdünnt.

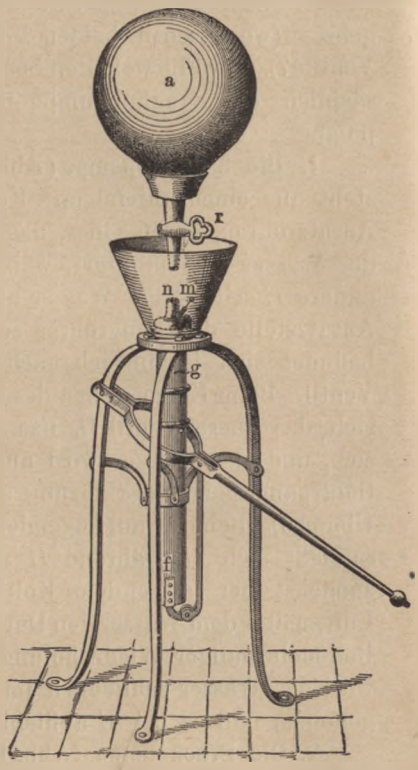


Abb. 126.

Angenommen, das Stiefelvolumen betrage $^1/_9$ des Rezipientenvolumens, dann dehnt sich die Luft beim Emporziehen des Kolbens im Verhältnis 9 : 10 aus, ihr Druck beträgt somit nur noch $^9/_{10}$ Atm. Beim zweiten Kolbenhub sinkt der Druck wieder auf $^9/_{10}$ des vorigen, also auf $\frac{9}{10} \cdot \frac{9}{10} = {}^{81}/_{100}$ Atm. usw. Nach dem n-ten Kolbenhub beträgt der Druck $(^9/_{10})^n$ Atm. (Geometrische Reihe).

Geschichtliches: Die Luftpumpe ist erfunden von OTTO VON GUERICKE[1]), der entgegen der Meinung seiner Zeitgenossen betreffs des horror vacui

[1]) O. v. GUERICKE, geb in Magdeburg 1602, bei der Zerstörung seiner Vaterstadt durch Tilly (1631) verarmt, daher erst in schwedische, dann in sächsische Kriegsdienste getreten, wurde 1642 vierter Bürgermeister von Magdeburg, vertrat die Stadt auf verschiedenen Reichstagen, so auch beim Friedensschluß in Osnabrück; gestorben 1686 in Hamburg.

(vgl. § 59) sich vorgenommen hatte, einen leeren Raum wirklich zu erzeugen. Eine seiner ursprünglichen Luftpumpen ist in Abb. 126 wiedergegeben. g ist der Stiefel, f der Kolben, nm die Ventileinrichtung, a der Rezipient. GUERICKE glaubte zuerst, die in a enthaltene Luft werde durch ihre Schwere nach g



Abb. 127.

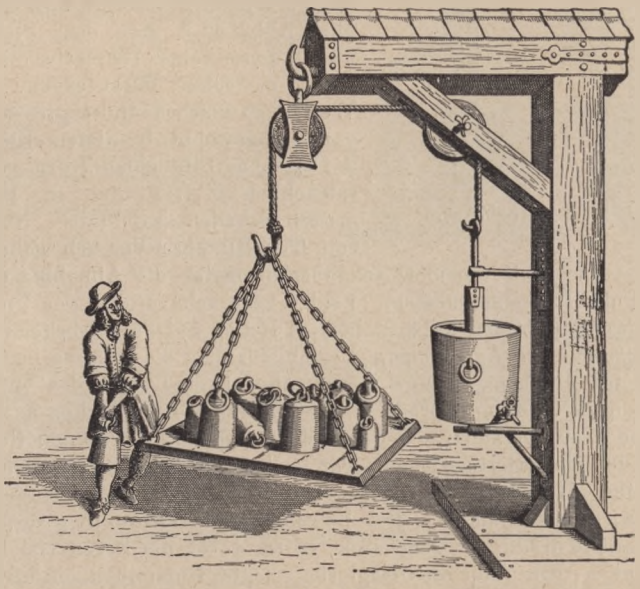


Abb. 128.

hinuntersinken, er merkte erst später, daß es auf die Lage von g gar nicht ankommt, vielmehr die Luft zufolge ihrer Spannkraft sich stets gleichmäßig auf $r + g$ verteilt. Auf dem Reichstag zu Regensburg 1654 zeigte GUERICKE durch den berühmten Versuch mit den „Magdeburger Halbkugeln“ (Abb. 127) die erstaunliche Größe des Luftdrucks (berechne ihn für ein paar Halbkugeln von 10 cm Radius bei völliger Luftleere, Kugeloberfläche $4\,r^2\,\pi$!

GUERICKEs Halbkugeln besaßen eine „Elle“ Durchmesser). Einer seiner Zeitgenossen schrieb darüber: „Ich stehe nicht an, aufrichtig zu bekennen und es keck herauszusagen, daß ich niemals in dieser Art etwas Wunderbareres gesehen, gehört, gelesen oder gedacht habe; ja ich glaube, daß seit der Weltschöpfung die Sonne nichts Ähnliches, geschweige denn Wunderbareres beschienen hat.“

GUERICKE suchte ferner die Größe des Luftdrucks genauer zu bestimmen, indem er durch angehängte Gewichte den beweglichen Kolben eines leergepumpten Gefäßes entgegen dem Luftdruck herauszog (Abb. 128). Diese Messung wird an Genauigkeit aber weit durch den TORRICELLI schen Versuch übertroffen. Auch auf diesen letzteren Versuch kam GUERICKE unabhängig ein paar Jahre später als TORRICELLI. Er pumpte mittels einer Luftpumpe Wasser in einem sehr langen Steigrohr in die Höhe und stellte fest, daß es bei etwa 10 m Höhe stehen blieb (Abb. 129). (Entsprechender *Versuch* mit Quecksilber nach Abb. 130.) Aus dem Steigen und Fallen dieses seines Wasserbarometers verstand er schon Voraussagen über das Wetter zu machen und sagte so aus dem ganz ungewöhnlich tiefen Stande am 6. Dezember 1660 einen Sturm voraus, der tatsächlich eintraf und in Magdeburg großen Schaden anrichtete. Nachdem er von TORRICELLIs Versuch gehört hatte, versuchte er auch mit einem Quecksilberbarometer die Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe zu messen. Leider zerbrach infolge der Ungeschicklichkeit eines Dieners der Apparat beim Aufstieg auf den Brocken.

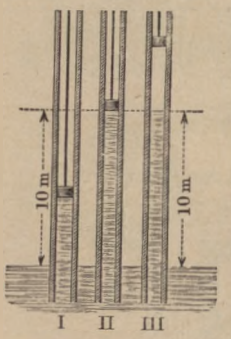


Abb. 129.



Abb. 130.

Versuche mit der Luftpumpe: Verschließt man die Öffnung im Teller zunächst mit dem Daumen, so wird dieser sofort beim Beginn des Auspumpens kräftig gegen die Öffnung gepreßt. — Der Rezipient haftet schon nach einigen Kolbenzügen fest am Teller. — Der Kolben geht bei fortgeschrittener Verdünnung nach dem Herausziehen „von selbst“ in den Stiefel zurück. Ein auf den Teller luftdicht aufgesetztes, oben mit einer Tierblase zugebundenes Glasgefäß wird ausgepumpt. Bei hinreichender Verdünnung zerplatzt die Blase mit lautem Knall. — Quecksilber wird durch die Poren von Holz hindurchgesaugt. — Ein unter die Glasglocke gelegter Gummiball, ein unverletzter Apfel und dergleichen blähen sich beim Auspumpen stark auf. Aus einem an einer Seite angebohrten Ei wird der Inhalt herausgetrieben (wodurch?). Bringt man ein Barometer in der in Abb. 131 dargestellten Weise innerhalb des Rezipienten an, so zeigt das Sinken der Quecksilbersäule den fallenden Druck an. Barometerprobe! — Ein Heronsball (s. u.) beginnt unter dem Rezipienten von selber zu springen.

Alle diese Versuche sind nur neue Bestätigungen der Gesetze der Spannkraft und des Atmosphärendrucks. Man zeigt ferner noch mittels der Luft-

pumpe leicht das gleich schnelle Fallen aller Körper im luftleeren Raum (§ 38), die Unentbehrlichkeit der Luft für die Schallfortpflanzung (§ 87) und das Sinken des Siedepunktes von Flüssigkeiten mit sinkendem Luftdruck (§ 73).

Außer der hier allein beschriebenen Kolbenluftpumpe werden auch andere Vorrichtungen zum Auspumpen der Luft benutzt: Wasserstrahlpumpe, Quecksilberluftpumpe, Kapselpumpe u. a. s. Oberstufe.

Anwendung finden die Luftpumpen u. a. bei der Rohrpost, dem Staubsauger (Vakuumreiniger), der Vakuumdestillation (Zuckerfabriken), den Kältemaschinen (Erzeugung von Verdunstungskälte, *Versuche*).



Abb. 131.

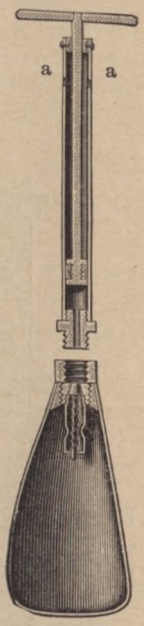


Abb. 132.

§ 64. Weitere Anwendungen des Gasdrucks und Luftdrucks. a) **Die Verdichtungsluftpumpe** ist eine Art Umkehrung der im vorigen Paragraphen erörterten Vakuumpumpe. Sie wird gewöhnlich in der Weise, wie Abb. 132 zeigt, eingerichtet. Der Stiefel ist unten durch ein nach außen sich öffnendes Ventil verschlossen, in der Stiefelwand befindet sich oben eine kleine Öffnung.

Erkläre den Gebrauch der Fahrradpumpe. Vgl. auch die oben angeführten Apparate.

b) **Der Heronsball** (Abb. 133) besteht aus einer teilweise mit Wasser gefüllten Flasche, durch deren Stopfen luftdicht ein Rohr bis auf den Boden reicht. Bläst man Luft hinein, so treibt diese durch ihren Überdruck das Wasser in einem Strahl heraus.

Anwendungen des Heronsballs sind der **Windkessel** der Feuerspritze (Abb. 134) und der Heronsbrunnen. Ferner die Spritzflaschen (Syphons) und Handfeuerlöschapparate.



Abb. 133.

c) **Stechheber und Saugheber.** Der Stechheber (Abb. 135) stellt eine Anwendung der Vorgänge bei Versuch a), 1 des § 61 vor. Er dient zur Entnahme von Flüssigkeitsproben, sowie als Pipette in der Wissenschaft zum Abmessen von Flüssigkeitsmengen.

Der Saug- oder besser Winkelheber besteht aus einem gebogenen Rohr, dessen einer Schenkel in ein Gefäß mit Flüssigkeit taucht. Liegt

die Öffnung des anderen Schenkels tiefer als der Flüssigkeitsspiegel und saugt man an dieser, bis der Heber gefüllt ist, so läuft er weiter, solange die Flüssigkeit noch höher steht als die Ausflußöffnung.

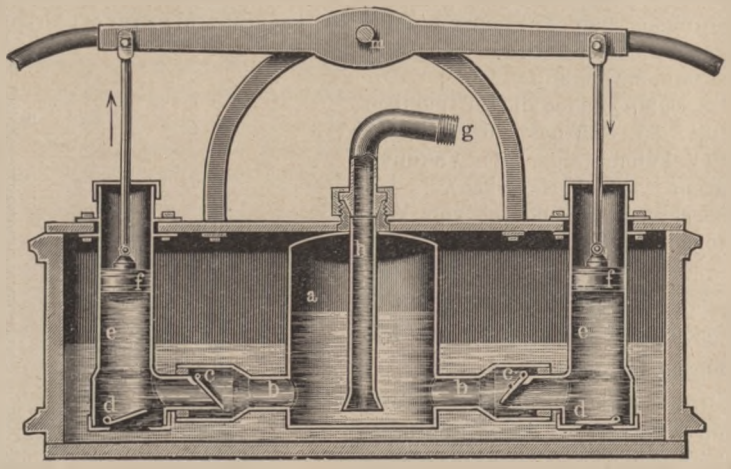


Abb. 134.

Erklärung an Hand von Abb. 136. Was würde geschehen, wenn der äußere Luftdruck während des Laufens plötzlich aufhörte? Bei giftigen oder schlecht schmeckenden Flüssigkeiten benutzt man den Abb. 137 dargestellten sogenannten Giftheber. Wie kann man, auch ohne im Besitz eines solchen zu sein, sich bei einem einfachen Heber helfen? (**Versuche.*)



Abb. 135.

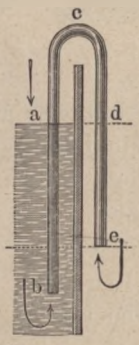


Abb. 136.

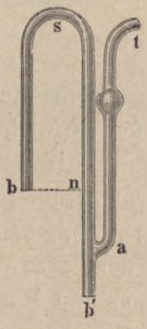


Abb. 137.

Übungen:* *1. Wie kommt es, daß der Druck in einer Gasleitung trotz des riesigen Gewichtes der eisernen Gasometerglocken nur etwa 10 bis 15 cm Wasser beträgt? (Versuch.*)

*2. Warum spritzt das Bier (Selterwasser) aus einem fast leeren Syphon wieder stärker, wenn man umgeschüttelt hat?

*3. Wie kann man einen Heronsball zum Spritzen veranlassen, ohne Luft hineinzublasen oder den Außendruck zu vermindern?

*4. Warum kann man aus einer umgekehrten gefüllten Flasche die Flüssigkeit nicht ohne abzusetzen heraussaugen? Wie kann man bei einer Kindersaugflasche das Zusammendrücken des Gummisaugers durch den äußeren Luftdruck verhindern?

*5. Stelle dir selbst einen Heronsbrunnen aus zwei größeren Flaschen, einem möglichst geräumigen Trichter und einigen Glasröhren und Gummischläuchen zusammen.

6. Wie erklärt sich die zuerst in Florenz gemachte Beobachtung, daß man mittels einer Saugpumpe Wasser nicht höher als etwa 10 m emporsaugen kann? (Abb. 129, s. oben.)

7. Wie kann man zwei Gefäße zu „kommunizierenden" machen, ohne in deren Wand Rohre anzubringen? (**Versuch:* „Brüderliche Liebe".)

8. Erkläre weiter folgende Anwendungen der Gesetze der Spannkraft und des Luftdrucks: Gebrauch der pneumatischen Wanne. Aufsaugen von Flüssigkeiten z. B. durch Strohhalme. Haftscheiben mancher Tiere (Geckos, Laubfrösche). Schröpfköpfe. Füllung eines Quecksilberthermometers. Gasometer. Windbüchse. Die Einrichtung des menschlichen Brustkorbes (Atmung).

§ 65. Die Anwendung des Archimedischen Gesetzes auf die Gase ergibt, daß auch in Gasen die Körper so viel an Gewicht verlieren, wie die von ihnen verdrängte Gasmenge wiegt.

Nachweis des Aufdrucks in der Luft mit dem sogenannten Dasymeter[1]), Abb. 138. — **Versuche:* Gummi- und Kollodiumballons oder Seifenblasen, gefüllt mit H, CO_2 oder Leuchtgas. Auch unten offene Papier- oder Seidenballons, die mit erwärmter Luft gefüllt sind, steigen in der Luft auf.

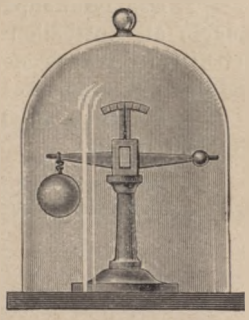


Abb. 138.

Bei genauen Wägungen für wissenschaftliche Zwecke muß der Aufdruck in der Luft berücksichtigt werden.

Geschichtliches über die **Luftschiffahrt:** Die Gebrüder MONTGOLFIER füllten 1782 Ballons mit erwärmter Luft. CHARLES verwandte (1783) zuerst den Wasserstoff. Seit GREEN (1836) benutzt man vielfach auch Leuchtgas. Die erste Fahrt in einer „Montgolfiere" unternahm 1783 PILÂTRE DE ROZIER in Paris, der bei einer späteren Fahrt mit noch einem Genossen als erstes Opfer der Luftschiffahrt den Tod fand. — Erst im ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts ermöglichte die ungeahnte Entwicklung des Benzinmotors in der Automobilindustrie die Lenkbarkeit des Ballons. Nach manchen Vorläufern erzielte Graf **Zeppelin** einen ersten durchschlagenden Erfolg am 1. Juli 1908 mit einer mehr als 12stündigen Fahrt vom Bodensee nach Luzern und zurück. Neben seinem „starren System" (Aluminiumgerippe) haben sich auch „halbstarre" und „unstarre" Luftschiffe für manche Zwecke als brauchbar erwiesen. — Der Freiballon und der Fesselballon spielen auch heute noch neben dem Lenkballon eine Rolle für Sport- und militärische Zwecke, sowie für die wissenschaftliche Erforschung der Atmosphäre (unbemannte Registrierballons sind bis 29 500 m Höhe gekommen).

Der nutzbare Auftrieb eines Ballons ist gleich dem Gewicht der verdrängten Luft, vermindert um das Gewicht des im Ballon enthaltenen Gases. Zeige, daß die Tragfähigkeiten von Wasserstoff- und Leuchtgasballons sich wie $^{13}/_{14} : {}^{1}/_{2}$ verhalten. Warum hat es keinen Zweck,

[1]) *dasys* (griech.) = dicht.

nach einem noch leichteren Ballongase als Wasserstoff zu suchen? Das doppelt so schwere Helium, das nur leider viel zu selten ist, ist vielmehr wegen seiner Nichtbrennbarkeit viel geeigneter.

Die **Flugmaschine** hat mit dem Lenkballon nur das Fortbewegungsmittel, den Benzinmotor, gemeinsam, im übrigen beruht sie auf der bekannten Wirkung des Luftwiderstandes, die auch beim Drachen zur Geltung kommt. Sie fällt herab, sobald die horizontale Vorwärtsbewegung aufhört, doch kann wegen des Luftwiderstandes auf die breiten Tragflächen der Fahrer einen Gleitflug ausführen (**Versuche*). Außerdem kann auch der Wind als Triebkraft ausgenutzt und so der Segelflug ermöglicht werden (s. Oberstufe). Begründer der Kunst des Vogelfluges ist der 1896 verunglückte OTTO LILIENTHAL. Auf seinen Versuchen bauten die Gebrüder WRIGHT weiter (bis 1908). Unabhängig von diesen begründeten gleichzeitig in Frankreich SANTOS DUMONT, FARMAN, DELAGRANGE u. a. die Flugkunst. Erst später begann man auch in Deutschland sich mit der Flugmaschine zu beschäftigen.

Übungen: 1. ARISTOTELES wollte das Gewicht der Luft bestimmen, indem er eine Blase erst zusammendrückt, dann mit Luft aufgeblasen wog. Warum mußte dieser Versuch mißlingen?

2. Der Jesuitenpater LANA schlug vor (1670), luftleer gepumpte Kupferkugeln als Luftballon steigen zu lassen. Woran wäre die Ausführung gescheitert? Warum geht es aber mit der doch auch mit „verdünnter" Luft gefüllten Montgolfiere?

3. Berechne die Tragkraft eines mit Wasserstoff gefüllten Ballons von 6000 m^3 Inhalt.

*4. Bestimme das spezifische Gewicht von Kohlendioxyd mittels des Auftriebs einer verschlossenen Flasche, die mit Luft gefüllt ist.

II. Von der Wärme.

§ 66. Wärmeempfindung, Wärmezustand. **Versuch:* Ein mit zerstoßenem Eis gefülltes Gefäß werde über die Flamme eines Spiritus- oder Gasbrenners gestellt. Bringen wir den Finger in die Nähe des Eises oder berühren wir es, so haben wir die Empfindung der **Kälte,** bei Annäherung an die Flamme die der **Hitze.** — Allmählich schmilzt das Eis, später verdampft das Wasser; dazwischen sind Gefäß und Wasser der Reihe nach **kalt, kühl, lau, warm, heiß.**

An der ganzen Oberfläche unseres Körper können wir die Empfindungen der Kälte, Kühle, Lauheit, Wärme, Hitze haben. Wiewohl hierbei Kälte und Kühle einerseits — Wärme und Hitze andererseits in der Empfindung einen Gegensatz aufweisen (ähnlich wie weiß, hellgrau — dunkelgrau, schwarz; hohe und tiefe Töne u. dgl.), fassen wir doch alle jene Empfindungen unter dem einen Namen „Wärmeempfindungen" zusammen. — Je nach den verschiedenen Wärmeempfindungen, die uns ein Körper erweckt, schreiben wir

ihm verschiedene **Wärmezustände** oder **Temperaturen**[1]) zu, so der Flamme eine viel höhere Temperatur als dem Eis.

Doch ist eine solche Beurteilung des Wärmezustandes nach der Wärmeempfindung nicht immer verläßlich. Wird z. B. ein vorher kaltes Zimmer geheizt, so merken wir erst nach längerer Zeit eine Erhöhung der Temperatur, obgleich diese allmählich eingetreten sein muß. Ähnliches zeigt noch auffälliger der folgende

**Versuch*: Hält man die eine Hand in kaltes, die andere in heißes und dann beide gleichzeitig in laues Wasser, so erregt dieses in der einen (in welcher?) Hand die Empfindung der Wärme, in der anderen die der Kühle.

Um den Wärmezustand eines Körpers unabhängig von unserer Wärmeempfindung zu beurteilen (z. B. bei einem Bade für Kranke), bedienen wir uns des Thermometers. (Kältetemperatur im Sommer und im Winter!)



Abb. 139.

A. Wärmegrad und Wärmemenge.

§ 67. Thermometer[2]). Das Quecksilberthermometer (Abb. 139) ist eine enge Glasröhre, die an einem Ende zu einem kugelförmigen oder zylindrischen Gefäß erweitert, am anderen Ende zugeschmolzen ist. Im Innern befindet sich Quecksilber, das bei gewöhnlicher Temperatur das Gefäß und einen Teil der Röhre erfüllt, während der übrige Teil luftleer ist. An dem Thermometer oder hinter ihm ist eine Teilung oder **Skala** angebracht, an der man die Temperatur in Graden ablesen kann[3]).

Versuch*: Wir stellen das Thermometer in ein Gefäß mit Eis (Abb. 140) und beobachten, daß sich das Quecksilber bis zu dem mit 0 bezeichneten Punkt zusammenzieht. Dieser Punkt heißt der **Eispunkt (*E*). Während das Eis schmilzt, bleibt das Quecksilber beständig an diesem Punkt stehen. Ist das Eis geschmolzen, so steigt das Quecksilber; es steigt noch weiter, wenn das Thermometer in einen Kolben mit Wasser gesenkt und dieses erwärmt wird (Abb. 141); es bleibt endlich, wenn das Wasser siedet, bei einem anderen Punkte stehen, der mit 100 bezeichnet ist und **Siedepunkt** (*S*) genannt wird.

Die beiden Punkte *E* und *S* heißen die **Fundamentalpunkte** des Thermometers, ihr Abstand der **Fundamentalabstand.** Dieser ist bei den Thermometern nach Celsius in 100 gleiche Teile geteilt, und jeder Teil wird 1 Grad (1°) genannt. Solche Teile werden auch unter 0° und über 100° hinaus in gleicher Größe abgetragen. Die Grade unter 0° werden mit -1^0, -2^0 ... bezeichnet und Kältegrade genannt.

Bei der Skala nach RÉAUMUR wird der Abstand *ES* in 80 gleiche Teile geteilt und *E* mit 0°, *S* mit 80° bezeichnet. Es sind also $100^0\,C = 80^0\,R$ oder $5^0\,C = 4^0\,R$, daher z. B. $30^0\,C = (30 - 30/5)^0\,R = 24^0\,R$.

---

[1]) *temperare* = mäßigen; *temperatura* = gehörige Mischung.
[2]) *thermós* (griech.) = warm; *metrein* (griech.) = messen.
[3]) *scala* = Leiter; *gradus* = Schritt.

In England und Amerika ist noch die Skala nach FAHRENHEIT [1]) im Gebrauch. Bei dieser ist der Fundamentalabstand in 180 Teile geteilt, der Eispunkt ist mit 32°, der Siedepunkt mit 212° bezeichnet. Der Nullpunkt liegt also um 32° Fahrenheit tiefer als der Eispunkt.

Zeichne die drei Skalen nebeneinander auf.

Die Anfertigung eines Quecksilberthermometers erfordert folgende Verrichtungen: Man bläst an das eine Ende der Röhre eine Erweiterung an, treibt einen Teil der Luft durch Erwärmen aus, füllt darauf das Thermometergefäß zum Teil mit Quecksilber mit Hilfe des Luftdrucks, bringt das Quecksilber zum Kochen, so daß sämtliche Luft ausgetrieben wird, und läßt darauf von neuem Quecksilber eintreten, schmilzt die Röhre zu, während das Quecksilber wenig über 100° erwärmt ist, bestimmt nacheinander den Eispunkt und den Siedepunkt und bringt endlich die den Fundamentalpunkten entsprechende Skala an.

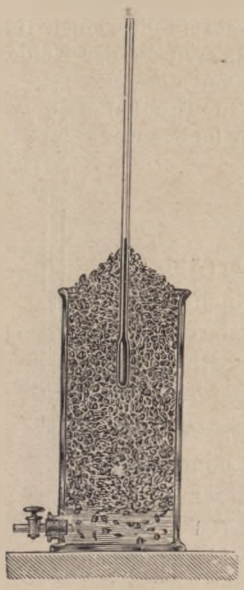


Abb. 140.



Abb. 141.

Die Alkoholthermometer sind statt mit Quecksilber mit wasserfreiem, gefärbtem Alkohol gefüllt, der bei Temperaturen weit unter 0° nicht gefriert (während Quecksilber bei — 39° fest wird). — Die bis jetzt an irdischen Körpern ermittelten Temperaturgrenzen sind gegen — 270° C und gegen + 6000° C.

Übungen: *1. Graduierung eines Thermometers, das noch keine Skala besitzt.

2 Warum nimmt man bei Thermometern die Wand der Kugel sehr dünn, die der Röhre sehr dick? — Warum wird bei Thermometern, die sehr empfindlich sein sollen, das Gefäß nicht kugelförmig gemacht? [Eine Kugel hat bei größtem Inhalt die kleinste Oberfläche.]

[1]) Der Däne OLAF RÖMER (1702) hat zuerst die Fundamentalpunkte vorgeschlagen, FAHRENHEIT in Danzig (1724) stellte die ersten Thermometer mit zuverlässiger Skala her; RÉAUMUR in Paris (1730) teilte die Skala in 80 Teile, CELSIUS in Upsala bezeichnete (1742) den Gefrierpunkt mit 100°, den Siedepunkt mit 0°, etwas später kehrte LINNÉ die Bezeichnung um. Die uns merkwürdig und willkürlich erscheinende Skala von FAHRENHEIT erklärt sich dadurch, daß FAHRENHEIT als Nullpunkt die tiefste von ihm erreichbare Temperatur, nämlich die einer Mischung von Schnee und Salmiak (s. § 72), welche etwa — 18° beträgt, und als oberen Fixpunkt, den er mit 100° bezeichnete, die Körpertemperatur des Menschen (37,5° C) wählte.

§ 68. Wärmemenge. **Versuche:* 1. a) Über einer Gas- oder Spiritusflamme wird eine kleine Menge Wasser (etwa 200 g) eine bestimmte Zeit, z. B. drei Minuten lang, erhitzt und die Temperaturzunahme festgestellt. — b) Hierauf wird der Versuch mit der doppelten, dreifachen ... Menge Wasser von derselben Anfangstemperatur wiederholt und die Zeit bestimmt, die für die gleiche Temperaturerhöhung erforderlich ist. Es ergibt sich, daß sie ungefähr doppelt, dreimal ... so groß ist wie im ersten Falle. — Da wir annehmen können, daß die Flamme in gleichen Zeiten gleich viel Wärme an das Gefäß abliefert, so werden wir sagen dürfen, daß bei den Versuchen 1, b) die doppelte, dreifache ... **Wärmemenge** von der Flamme an das Wasser abgegeben worden ist. (Woher kommt es, daß der Versuch kein genaues Resultat liefert?)

2. Über einer Flamme wird wieder ein Quantum Wasser erwärmt und nach je einer Minute die Temperatur abgelesen. Diese nimmt ziemlich genau in jeder Minute um gleich viel zu. — Wir können aus diesem und dem vorigen Versuch schließen, daß die zur Erwärmung um eine gewisse Zahl von Graden erforderliche Wärmemenge proportional der Menge des Wassers und auch der Zahl der Grade zunimmt.

Die Wärmemenge, die erforderlich ist, um 1 g Wasser von 0^0 bis 1^0 zu erwärmen, heißt Wärmeeinheit oder Kalorie[1]) (Grammkalorie = cal). Zur Messung größerer Wärmemengen hat man die Kilogrammkalorie (k cal) = 1000 cal eingeführt.

Es ist nicht selbstverständlich, daß zur Erwärmung von 1 kg Wasser um 1^0 an beliebigen anderen Stellen der Temperaturskala (z. B. von 50^0 auf 51^0) ebenfalls eine Kalorie erforderlich ist. Die Erfahrung (vgl. Versuch 2) hat jedoch gezeigt, daß dies mit sehr großer Annäherung zutrifft. Zum Erwärmen von 1 g Wasser von 0^0 auf 20^0 braucht man daher 20 Kalorien, zum Erwärmen von 0^0 bis 60^0 sind 60 Kalorien nötig usf. Zur Erwärmung von 30 g Wasser um 5^0 braucht man 150 cal; allgemein: zur Erwärmung von m g Wasser von $t_1{}^0$ auf $t_2{}^0$ sind erforderlich $m(t_2 - t_1)$ Kalorien.

3. **Mischungsversuche:* a) Mischt man 200 g Wasser von 10^0 mit 200 g Wasser von 30^0, so erhält man eine Mischungstemperatur von 20^0.

b) Mischt man 200 g Wasser von 50^0 mit 300 g Wasser von 20^0, so ist die Mischungstemperatur 32^0.

Im letzteren Falle hat das wärmere Wasser 200 (50 — 32) = 3600 cal abgegeben, dagegen das kältere Wasser 300 (32 — 20) = 3600 cal aufgenommen. Beide Wärmemengen sind gleich groß.

Man kann daher die Mischungstemperatur vorausberechnen, indem man die Regel benutzt, daß die abgegebene Wärmemenge = der aufgenommenen Wärmemenge ist (RICHMANNsche Regel, 1750).

[1]) *calor*, Wärme.

4. **Versuche* über spezifische Wärme: Mischt man gleiche Gewichtsmengen (z. B. je 1 kg) Wasser von 100° und von 0°, so nimmt die Mischung die Temperatur 50° an. Mischt man aber 1 kg Quecksilber von 100° mit ebensoviel Wasser von 0°, so steigt die Temperatur der Mischung nur auf ungefähr 3°. Quecksilber von 100° enthält also eine viel geringere Wärmemenge als eine gleich schwere Wassermasse von 100°. Ebenso steigt beim Vermischen von 100 g Kupferspänen von 100° mit 100 g Wasser von 16° die Temperatur des Wassers auf etwa 23° (statt 58°). Die zum Erwärmen der Gewichtseinheit erforderliche Wärmemenge ist im allgemeinen bei verschiedenen Stoffen verschieden, am größten beim Wasser.

Die Wärmemenge, die erforderlich ist, um die Temperatur von 1 g eines Stoffes um 1° zu erhöhen, heißt seine spezifische Wärme.

So ist die spezifische Wärme von Quecksilber 0,03, Blei 0,03, Kupfer 0,09, Eisen 0,11, Glas 0,19. — Die Zu- bzw. Abfuhr einer bestimmten Wärmemenge erzeugt im Erdboden etwa viermal so große Unterschiede des Wärmegrades als im Wasser. Bei gleicher Bestrahlung durch die Sonne erwärmt sich deshalb das Meer langsamer als der feste Boden, kühlt sich aber bei Nacht und im Winter auch langsamer ab; daher herrschen auf Inseln überhaupt kleinere Temperaturschwankungen als auf dem Festlande (Seeklima, Festlandsklima).

Übungen: 1. Begründe im einzelnen die oben angegebenen Verrichtungen bei der Herstellung eines Quecksilberthermometers. Welche Anforderung muß an die Röhre vor allem gestellt werden? Wie kontrolliert man, ob diese Forderung erfüllt ist?

2. Wieviel Grad Celsius entsprechen 20° R, 28° R, 95° F? Bei wieviel Grad R siedet der Alkohol (80° C)?

*3. Bei einem Mischungsversuch schüttete jemand 500 g Wasser von 60° zu 300 g von 20°. Wie groß war die Mischungstemperatur?

4. Desgleichen beim Vermischen von 400 g Quecksilber (spezifische Wärme 0,03) von 100° mit 300 g Wasser von 12°.

*5. 100 g Blei wurden auf 100° erwärmt und in 50 g Wasser von 10° geschüttet. Als Mischungstemperatur ergab sich 15,2°. Wie groß wäre danach die spezifische Wärme des Bleis?

*6. Bestimme durch Mischungsversuche die spezifische Wärme von Terpentinöl, Alkohol, Olivenöl und anderen Flüssigkeiten. Vorsicht beim Erwärmen!

7. Wie erklärt es sich, daß beim Erwärmen eines Quantums Wasser die bei der Temperatursteigerung von 20° bis 30° verstrichene Zeit kleiner ist als die etwa von 90° bis 100° verstreichende? (2 Ursachen.)

B. Änderung des Volumens durch die Wärme.

§ 69. Ausdehnung fester Körper. *Versuche:* 1. a) Der Durchmesser der Metallkugel des Apparats (Abb. 142) ist etwas kleiner als der innere Durchmesser des Ringes *a*, etwas größer als der von *b*. Wird die Kugel hinreichend erwärmt, so bleibt sie in *a* stecken und

fällt erst hindurch, wenn die Temperaturen von Kugel und Ring annähernd gleich geworden sind. — b) Nachdem der Ring *b* hinreichend erwärmt worden ist, läßt er die nicht erwärmte Kugel durch. Er erweitert sich also durch das Erwärmen.

Zur Erklärung: Denke dir dieselbe Stange im kalten und warmen Zustand zu einem Ringe zusammengebogen. — Ebenso erweitert sich auch der Innenraum von Gefäßen und Röhren.

*2. Eine Messingröhre von 1 m Länge (Abb. 143) ist an dem einen Ende befestigt, das andere Ende liegt auf einer Walze auf, deren Drehung durch einen Zeiger an einer Winkelteilung gemessen werden kann. Leitet man Dämpfe von siedendem Wasser durch die Röhre, so wird sie auf 100° erwärmt und gibt ihre Verlängerung durch die Drehung des Zeigers zu erkennen. Aus der Größe der Drehung und dem Durchmesser der Walze läßt sich die Verlängerung berechnen. Sie beträgt beim Erwärmen von 20° bis 100° 0,152 cm. Hieraus ergibt sich die (mittlere) Verlängerung beim Erwärmen um 1° zu 0,0019 cm oder 0,000019 m. Ein Messingstab von 1 m Länge dehnt sich also, wenn er um 1° erwärmt wird, um 0,000019 m aus. Dieser kleine Bruch heißt der **Ausdehnungskoeffizient** des Messings für das Temperaturintervall 20° bis 100°.



Abb. 142.

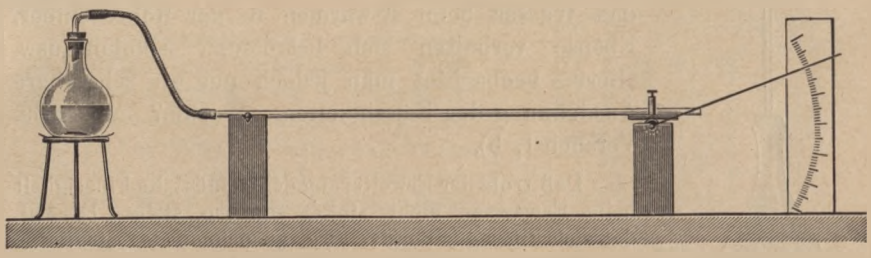


Abb. 143.

Gewöhnlich gibt man den mittleren Ausdehnungskoeffizienten (α) für das Intervall 0° bis 100° an. So ist α für Eisen 0,000012, Zink 0,000029, Aluminium 0,000024, Glas 0,000008.

Erkläre folgende Erfahrungen: Eisenbahnschienen dürfen nicht mit ihren Enden eng aneinander stoßen und nicht mit den Holzschwellen fest verbunden werden. Die Platten von Metalldächern werden nicht aufeinander

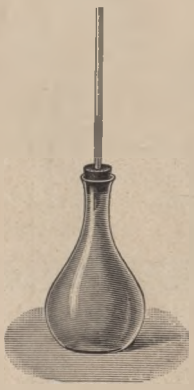
genagelt, sondern nur übereinander geschoben. Von Trinkgläsern springt der Boden ab, wenn man sie auf den heißen Ofen stellt; Zerspringen der Lampenzylinder, Gebrauch der Sprengkohle. Wie lockert man festsitzende Glasstopfen? — Die Verkleinerung des Volumens beim Abkühlen der Körper benutzt man z. B., um den Reifen am Kranze des Rades zu befestigen. Sogar auseinander gewichene Mauern hat man durch erhitzte Eisenstangen, die sich beim Abkühlen zusammengezogen, wieder in ihre frühere Lage gebracht. — Diese Beispiele zeigen auch, daß die Kraft der Ausdehnung und Zusammenziehung sehr groß ist (*Versuch*).



Abb. 144.

Auf der verschieden großen Ausdehnung verschiedener Körper beruht es, daß ein aus Messing und Eisen zusammengenieteter Stab sich beim Erhitzen krümmt (nach welcher Seite?), weil Messing sich stärker als Eisen ausdehnt (Abb. 144). Anwendung beim Metallthermometer und beim Kompensationspendel. — Wägt man die Kugel (Abb. 142) im kalten und im heißen Zustand, so zeigt sie beidemal dasselbe absolute Gewicht. Wegen der Volumenänderung aber erhalten die meisten Körper durch Erwärmen kleineres, durch Abkühlen größeres spezifisches Gewicht. — Scheinbare Ausnahmen vom Ausdehnungsgesetz machen gewisse wasserhaltige feste Körper, wie z. B. Ton, Holz, Pappdeckel u. a. Sie ziehen sich bei Erwärmung zusammen. Warum? — **Versuche.* „Werfen" der Reißbretter, Türen usf.

§ 70. Ausdehnung flüssiger und gasförmiger Körper. **Versuche:* 1. Wird ein Kochfläschchen mit Wasser bis an den Hals gefüllt und erwärmt, so steigt das Wasser in den Hals des Kolbens hinein. Setzt man auf das Kochfläschchen einen Kork, durch den eine Glasröhre gesteckt ist (Abb. 145), so steigt das Wasser beim Erwärmen in der Röhre empor. Ebenso verhalten sich Petroleum, Alkohol usw. Hierbei beobachtet man jedoch nur die scheinbare Ausdehnung der Flüssigkeiten. Warum? Vgl. § 69, Versuch 1, b).


Abb. 145.

Daß trotz der Erweiterung des Gefäßes die Flüssigkeit beim Erwärmen nicht sinkt, sondern steigt, beweist, daß sich Flüssigkeiten stärker ausdehnen als feste Stoffe.

Genaue Messungen ergeben als wahre Ausdehnung zwischen 0° und 100° für Alkohol 0,080 (8 Hundertstel), Wasser 0,043 (∼ 4 Hundertstel), Quecksilber 0,018 (∼ 2 Hundertstel): Ein Liter Wasser nimmt demnach zwischen 0° und 100° um 43 ccm zu.

2. a) Ein mit Luft gefülltes weites Reagenzgläschen (Abb. 146) wird mit einem zweimal umgebogenen in ein Wasserglas tauchenden Rohre versehen und in ein mit siedendem Wasser gefülltes Gefäß gesenkt.

Ein Teil der Luft entweicht in Blasen. Taucht man dann das Reagenzgläschen in eiskaltes Wasser, so füllt sich etwa der vierte Teil des Raumes mit Wasser, während drei Viertel mit Luft gefüllt bleiben.

Um wieviel vergrößert sich also das Volumen der Luft beim Erwärmen von 0^0 bis 100^0? (Um etwa $^1/_3$.)

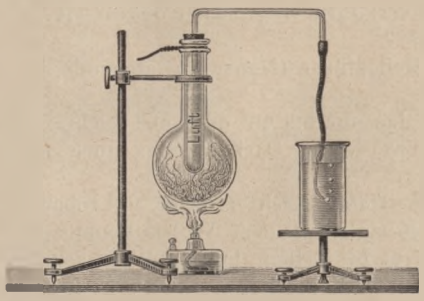


Abb. 146.

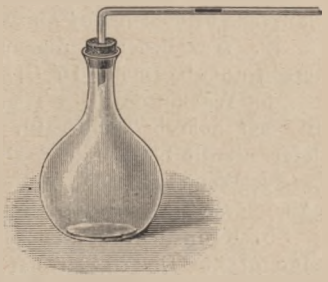


Abb. 147.

b) Schließt man in einem Kochfläschchen Luft, Kohlensäure oder ein anderes Gas mit einem Kork ab und steckt durch diesen eine wagerecht umgebogene enge Röhre, in der sich ein Quecksilbertropfen befindet (Abb. 147), so kann man an dem Vorrücken des Tropfens bei gleich starkem Erwärmen der Röhre erkennen, daß sich alle Gase gleich stark ausdehnen, und zwar ist ihre Ausdehnung viel beträchtlicher als die der Flüssigkeiten.

Genaue Versuche haben ergeben, daß sich die Gase beim Erwärmen um 1^0 um $^1/_{273}$ (oder 0,003665) des von ihnen bei 0^0 eingenommenen Volumens ausdehnen.

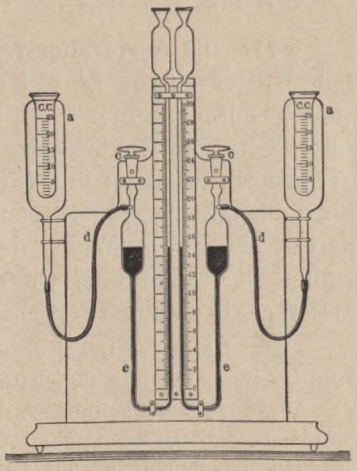


Abb. 148.

Das Luftthermoskop besteht aus einem mit Luft gefüllten, thermometerähnlichen Gefäß, dessen unteres offenes Ende in eine (gefärbte) Flüssigkeit taucht; es macht nur die Änderungen im Wärmezustand sichtbar, hat aber entweder keine oder eine nur willkürliche Skala. Seine Angaben hängen auch vom Luftdruck ab (daher Thermobaroskop). Das älteste Instrument dieser Art war das gewöhnlich dem GALILEI zugeschriebene Thermoskop. Ein modernes Instrument dieser Art ist das zu manchen Demonstrationen sehr geeignete LOOSERsche Doppelthermoskop (Abb. 148).

Zusammenfassend kann man nunmehr die Regel aufstellen:

Mit zunehmender Temperatur nimmt auch das Volumen der Körper zu.

Eine wirkliche Ausnahme von dieser Regel bildet (nebst einigen anderen Stoffen) das Wasser, indem es sich beim Erwärmen von 0° bis 4° C nicht ausdehnt, sondern zusammenzieht. Flüssiges Wasser von 0° hat nahezu dasselbe Volumen wie bei 8°. — Folgen dieses Verhaltens des Wassers im Haushalt der Natur vgl. auch § 74.

Übungen: 1. Manche Flüssigkeiten, wie z. B. Spiritus, Essig usw., werden vielfach nach Maß, nicht nach Gewicht verkauft. In welcher Jahreszeit steht man sich beim Einkauf am schlechtesten?

2. Was bedeutet die auf vielen Meßgefäßen (Mensuren) stehende Temperaturangabe (meist 15° C)?

3. Warum darf ein Thermometer, das nur bis 40° oder 50° reicht, nicht in noch höhere Temperatur gebracht werden? Darf man es auch nicht tiefer, als die Skala reicht, abkühlen?

*4. Wenn man bei dem Versuch 1 das Gefäß rasch erwärmt, so beobachtet man zuerst ein geringes Sinken der Flüssigkeitssäule. Woher kommt das?

*5. Kann man mit demselben Apparat feststellen, daß das Wasser bei 4° seine größte Dichtigkeit hat? — Stelle den Versuch an, und beobachte, bei welcher Temperatur das Wasser am tiefsten steht! Welche Größe muß man kennen, um durch Rechnung diesen Fehler wegschaffen zu können?

*6. Stelle einen Cartesianischen Taucher her (§ 55), der im kalten Wasser gerade oben schwimmt, und bringe ihn in heißes Wasser.

C. Änderung des Aggregatzustandes durch die Wärme.

§ 71. Die Aggregationsregel. In den Versuchen des § 67 zeigte sich Wasser unter 0° fest, zwischen 0° und 100° tropfbar, über 100° gasförmig. Die Umwandlung aus dem I. in den II. Aggregatzustand nennen wir **Schmelzen,** die aus dem II. in den III. nennen wir **Verdampfen** (Sieden); die Wärmegrade bei denen diese Umwandlungen stattfinden, heißen **Schmelzpunkt** und **Siedepunkt.** — Umgekehrt **kondensiert**[1]) sich z. B. im Winter der aus einer Lokomotive strömende Dampf infolge der Abkühlung zu Tröpfchen, diese **erstarren** (gefrieren) bei weiterer Abkühlung zu Eisnadeln.

Dabei ist in der Regel der Schmelzpunkt zugleich auch **Erstarrungspunkt,** der Siedepunkt zugleich **Kondensationspunkt.**

Wie das Wasser kennen wir noch viele andere Stoffe in allen drei Aggregatzuständen (es ist also nicht genau, Wasser kurzweg einen flüssigen, Schwefel einen festen Stoff zu nenen; gemeint ist: „bei gewöhnlicher Temperatur"). Die Schmelz- bzw. Siedepunkte sind z. B. für Schwefeldioxyd — 76°, — 10°; für Quecksilber — 39°, + 357°; für Schwefel + 111°, + 445°; für Zink + 420°, + 918°. Soweit man Stoffe durch Wärmezufuhr oder -abfuhr in den I., II., III. Aggregatzustand bringen konnte, bewährte sich die Aggregationsregel:

Durch Erhöhung der Temperatur werden die Körper in einen höheren Aggregatzustand übergeführt.

[1]) *condensare* = verdichten.

Kohle schmilzt und verdampft erst bei der Temperatur des elektrischen Lichtbogens (gegen 4000°). — Die Regel findet keine Anwendung auf Stoffe, die sich beim Erhitzen chemisch verändern (Holz, Schießpulver, Eiweiß). — Scheinbare Ausnahmen bilden Stoffe, die Wasser abgeben (Lehmbrei, Kuchenteig). — Campher, Jod, Eis u. a. können unmittelbar aus dem I. in den III. Aggregatzustand übergehen: **Verflüchtigen.** Gerüche von Metallen. Andererseits geht Schwefeldampf beim **„Sublimieren“**[1]) durch hinreichend rasche Abkühlung unmittelbar in feste „Schwefelblumen“ über (§ 167).

§ 72. Schmelzen. **Versuche:* a) Prüft man in einem Gemenge von Eis und Wasser (Abb. 140) den Wärmegrad der festen und der flüssigen Teile (nach Abgießen des Wassers) besonders, so findet man ihn bei beiden 0° C. — Wenn dem Gemenge noch eine bestimmte Wärmemenge zugeführt wird (z. B. durch Stehenlassen in warmer Luft, die sich hierbei abkühlt, oder durch eine untergestellte Flamme), so schmilzt eine entsprechende Menge Eis, die Temperatur bleibt aber 0°, bis fast alles Eis geschmolzen ist (gut umrühren!). Diese Versuche (und ähnliche z. B. mit Paraffin, welches bei etwa 50° C schmilzt) lehren uns, daß **die einem Körper zugeführte Wärmemenge bei der Schmelztemperatur nur zur Veränderung des Aggregatzustandes,** nicht zur Erhöhung des Wärmegrades verbraucht wird (Konstanz des Schmelzpunktes).

Wie darf man also die Sätze „Eis schmilzt bei 0°“, „Wasser friert bei 0°“ nicht auffassen?

b) Stellt man das Gefäß mit Wasser an einem sehr kalten Tage ins Freie oder umgibt es mit einer „Kältemischung“ (s. u.), so erstarrt mit der Zeit immer mehr Wasser. Aber auch hierbei bleibt der gemeinsame Wärmegrad von Eis und Wasser 0° C, bis alles Wasser in Eis verwandelt ist. — Hieraus folgt, daß für das Entziehen der Wärme ein entsprechendes Gesetz gilt, wie für die Zuführung. Wie lautet es? — Konstanz des Gefrierpunktes. Eine Ausnahme hiervon lehrt folgender

Versuch: c) Wenn man luftfreies Wasser vor jeder Erschütterung bewahrt, kann man es sogar bis — 10° abkühlen, ohne daß es gefriert („Unterkalten“): erschüttert man dann das Gefäß, so gefriert ein Teil des Wassers, das Thermometer steigt aber hierbei wieder auf 0°. — Der **Versuch* gelingt sicherer mit gewissen Salzen (Natriumacetat, Natriumthiosulfat), sowie unter Kalilauge geschmolzenem Phosphor.

Einige weitere Schmelzpunkte: Talg 45°, Paraffin 50°, Wachse 68°, Zinn 232°, Blei 327°, Silber 960°, Gold 1060°, Schmiedeeisen 1600°, Platin 1750°.

Durch genaue **Versuche* findet man, daß, um 1 kg Eis von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln, ebensoviel Wärme nötig ist, wie um

[1]) *sublimare* = emportreiben.

1 kg Wasser von 0° auf 80° zu erwärmen. **Die Schmelzwärme des Eises beträgt also 80 Kalorien** (**Mischungsversuch*).

Wärme wird auch verbraucht, wenn ein fester Körper in einer Flüssigkeit gelöst wird. Durch rasches Lösen von fein gepulvertem Salmiak in Wasser, durch Mischen von Schnee oder Eis mit Kochsalz (Kältemischungen) kann man bedeutende Temperaturerniedrigungen hervorbringen. * *Versuche.*

Beim Schmelzen (und entsprechend beim Erstarren) findet in der Regel eine Volumenänderung statt. Wasser dehnt sich beim Gefrieren um $^1/_9$ seines Volumens aus, weshalb Eisschollen schwimmen (vgl. Abb. 110). Gefäße zerspringen, Felsenspalten erweitern sich beim Gefrieren des in ihnen befindlichen Wassers; Bedeutung dieser Erscheinung für die Verwitterung der Gesteine. Erst bei weiterer Abkühlung auf — 1°, — 2° . . . zieht sich das Eis dem allgemeinen Gesetz gemäß zusammen.

* *Übungen:* 1. Warum stellt man bei starkem Frost in Obst- und Gemüsekellern Wasser in großen Schalen auf?

2. Bringe etwas Wachs oder Stearin in einem Gläschen oder Schälchen zum Schmelzen und beobachte das Erstarren. Was lehrt dich das Einsinken in der Mitte? Vergleich mit Wasser.

3. Bei starkem Schneefall oder Glatteis streut man Kochsalz auf die Schienen der Straßenbahn. Was hat das für einen Sinn?

4. Wieviel Eis muß man in 1 Liter kochenden Wassers werfen, um seine Temperatur bis auf 20° abzukühlen?

5. Welche Temperatur entsteht beim Vermischen von a) 1 kg Wasser von 100° mit 1 kg Schnee von 0°? b) 1 kg Wasser von 100° mit 2 kg Schnee von 0°? c) 2 kg Wasser von 100° mit 3 kg Schnee von 0°?

6. Bestimme den Gefrierpunkt einer Salzlösung, indem du sie in einem weiten Reagenzglase in eine Kältemischung stellst. Löse zuerst 1 g, dann 2 g, 3 g Salz in je 62 g Wasser auf.

§ 73. Verdampfen, Sieden, Verdunsten. **Versuche:* a) Wird ein Glasgefäß mit kaltem Wasser, in das ein Thermometer eingetaucht ist, über eine Flamme gestellt, so treten der Reihe nach folgende Erscheinungen ein: 1. Das Gefäß „beschlägt" von außen. 2. Bei weiterem Erwärmen verschwindet der Beschlag. 3. An der Innenseite der Gefäßwand zeigen sich Luftbläschen, die im Wasser allmählich sich vergrößernd, bis zur Oberfläche emporsteigen. 4. Ebenso bilden sich später Dampfbläschen, die anfangs, bevor sie die Oberfläche erreichen, sich verkleinern und verschwinden (bei etwa 90° C hört man das „Singen" als Vorboten des Siedens). 5. Die Dampfblasen bilden sich in allen Teilen der Flüssigkeit, steigen auf und platzen an der Oberfläche, so daß die ganze Flüssigkeit wallt: sie **siedet** (kocht).

Während der Vorgänge 1 bis 4 steigt die Temperatur fortwährend; **während des Siedens bleibt die Temperatur 100°.** Wird das Thermometer aus dem Wasser emporgehoben, so daß es ganz von Dämpfen umgeben ist (vgl. Abb. 141), so zeigt es gleichfalls 100°.

b) Man leite bei dem vorigen Versuch den Wasserdampf in ein leeres Reagenzgläschen, das von kaltem Wasser umgeben ist. In dem Glase sammelt sich allmählich das kondensierte Wasser, während das umgebende Wasser sich beträchtlich erwärmt. Wasserdampf geht durch Abkühlung wieder in flüssiges Wasser über.

Wird die Flamme vergrößert, d. h. dem Wasser in derselben Zeit eine größere Wärmemenge zugeführt, so geht das Verdampfen nur rascher vor sich, aber es erweist sich als unmöglich, den Wärmegrad von Wasser und Dampf hierdurch zu erhöhen. Es wird also auch hier **die ganze zugeführte Wärme zur Änderung des Aggregatzustandes** verbraucht. (Konstanz des Siedepunktes.)

Kann man Wasser in einem Bade siedenden Wassers selbst zum Sieden bringen? (**Versuch.*) Erklärung?

Genaue Versuche haben gelehrt, daß die **Verdampfungswärme des Wassers ~ 540 Wärmeeinheiten** beträgt, d. h. die Wärmemenge, welche erforderlich ist, 1 kg Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln, wäre notwendig und ausreichend, 540 kg Wasser von 0° auf 1° (oder 54 kg auf 10°, 5,4 kg auf 100°) zu erwärmen.

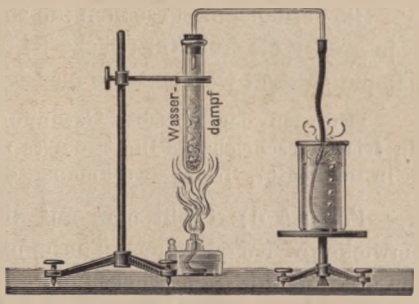


Abb. 149.

Umgekehrt wird, wenn man Dampf (Abb. 149) durch kaltes Wasser streichen läßt, dieses sehr rasch erwärmt (durch die „Kondensationswärme", deren Betrag gleich ist dem der Verdampfungswärme). Bei „Destillierapparaten" braucht man deshalb große Mengen „Kühlwasser" — Vorteil der Dampfheizungen, z. B. in Eisenbahnwagen.

Bei der Verwandlung des Wassers in Dampf findet eine sehr beträchtliche Volumenvergrößerung statt. **1 Liter Wasser entwickelt ungefähr 1700 Liter Wasserdampf.** — **Versuch:* In einer Kochflasche werde Wasser so lange im Sieden erhalten, bis es vollständig verdampft ist. Taucht man nun die Öffnung der Flasche oder einer mit ihr verbundenen Röhre in Wasser, so steigt dieses sehr rasch in die Flasche und füllt sie fast vollständig an. (Erklärung?)

Der Siedepunkt ist vom Luftdruck abhängig, daher muß die Bestimmung des oberen Fundamentalpunktes (100°) der Thermometer bei dem Normalluftdruck von 76 cm ausgeführt werden. Er wird durch Auflösen fester Körper (Salze, Zucker) erhöht. (**Versuch.*)

Einige Siedepunkte: Äther 35°, Alkohol 78°, Leinöl 316°, Quecksilber 357°.

Bei dem Versuch a) steigen von der Oberfläche des Wassers, lange bevor es siedet, Dämpfe auf. Aber auch bei tieferen Temperaturen kann man an Flüssigkeiten, die in offenen Gefäßen stehen, eine Verminderung ihrer Menge (durch Wägen) nachweisen. Man nennt diesen

Vorgang **Verdunsten.** Wasser verdunstet selbst in festem Zustand (verflüchtigt sich) bei und unter 0°.

Der scharfe Unterschied zwischen Sieden und Verdunsten besteht darin, daß jenes unter Bildung von Dampfblasen, dieses ohne solche erfolgt. Das Wort „Verdampfen" wird von beiden Vorgängen gebraucht, und der Physiker nennt das gasförmige (unsichtbare) Wasser in beiden Fällen „Wasserdampf". (Als Dunst bezeichnet man im gewöhnlichen Sprachgebrauch häufiger die schon kondensierten „Nebel" als das reine Gas.) — Wovon im einzelnen das Verdunsten abhängt, zeigen folgende Versuche:

**Versuch* c): In gleiche Schalen werden gleiche Mengen Wasser, Weingeist, Äther gegossen, die Schalen in die Sonne und in den Schatten, in „Luftzug" und in ruhige Luft gestellt, die Flüssigkeiten in flachere Schalen, auf Leinenläppchen ... ausgegossen. Beachtet man die Zeit (einige Minuten oder aber Stunden, selbst Tage), bis keine Flüssigkeit mehr sichtbar ist, so ergibt sich:

Die Verdunstung geschieht um so rascher, 1. je höher die Temperatur, 2. je größer die freie Oberfläche ist, 3. je rascher die bereits entwickelten Dämpfe entfernt werden, 4. je niedriger der Siedepunkt der Flüssigkeit liegt.

Trocknen der Wäsche, Gewinnung des Meersalzes. Warum hält man ein frisch geschriebenes Blatt, um es zu trocknen, an den Ofen oder schwenkt es in der Luft? Ist es zweckmäßig, das Blatt anzuhauchen?

Versuch d): Gießt man auf die Hand oder auf die mit etwas Gaze umwickelte Kugel eines Thermometers Äther, so gibt sich für die Empfindung und am Thermometer eine Abkühlung kund; diese wird um so stärker, je mehr man das Verdunsten des Äthers beschleunigt.

Diese **„Verdunstungskälte"** entsteht dadurch, daß die zur Dampfbildung erforderliche Wärme dem verdunstenden Körper und seiner Umgebung entzogen wird. So erklärt sich das Frösteln nach einem Bade, die angenehme Abkühlung der Luft nach einem Regen oder in einem reichlich gesprengten Garten, die schädliche Abkühlung, die man im Schweiße oder in nassen Kleidern erfährt, wenn man sich einem Luftzug aussetzt. — Um im Sommer im Freien kaltes Wasser zu haben, umgibt man den Krug mit einem nassen Tuche; in warmen Ländern benutzt man poröse Tongefäße (Alkarazzas).

**Versuch:* Bringt man in ein sehr dünnwandiges Kupferschälchen Äther und entfernt mittels eines Blasebalges fortwährend die Dämpfe dieser Flüssigkeit, so kühlt sich das Schälchen so ab, daß es auf einem nassen Brette anfriert. — In den Eismaschinen wird der Wärmeverbrauch bei der Verdampfung von verflüssigtem Ammoniak zur Herstellung von „Kunsteis" benutzt.

**Übungen:* 1. Beschreibe und erkläre die bei dem Versuch Abb. 79 auftretenden Nebenerscheinungen.

2. Erhitze ein Gemisch von Spiritus und Wasser und beobachte mit dem Thermometer den Siedepunkt längere Zeit hindurch (s. Chemie, § 176). Für was für Stoffe gilt also nur das „Gesetz von der Konstanz des Siedepunktes"?

3. Umwickle ein kleineres Reagenzgläschen mit Watte oder Gaze, fülle etwas Wasser hinein, gieße Äther auf die Umhüllung, blase mit dem Blasebalg (nicht mit dem Munde) unter öfterem Nachgießen von Äther darauf und bringe so das Wasser zum Gefrieren. (Will man den erhaltenen kleinen Eiszylinder herausnehmen, so muß man vorher in das Wasser einen Draht mit Öse oder Haken legen und das Glas nach dem Frieren etwas mit der Hand anwärmen.)

4. Versuche nach Abb. 148 eine ungefähre Bestimmung der Verdampfungswärme des Wassers, indem du zuerst das Wasser im Kondensationsgefäß wägst, und seine Temperatur mißt, dann den Dampf eine Zeitlang einleitest, abermals die Temperatur feststellst und von neuem wägst.

5. Warum wird auf hohen Bergen das Gemüse, Fleisch usw. durch Kochen nicht gar? Wie hilft man sich? (PAPIN scher Topf!) Welches Instrument könnte durch ein empfindliches Thermometer ersetzt werden?

6. Ist es richtig, von „Dampfwolken" zu sprechen?

7. Was beweist die Tatsache, daß auch gefrorene Wäsche bei trockenem Wetter ziemlich rasch trocknet?

§ 74. Die Dampfmaschine. *Versuche* (†): 1. In den zylindrischen Hals eines Kochgefäßes (Abb. 150) ist ein Kolben dicht schließend, aber beweglich, eingesetzt. Beim Sieden des Wasser wird der Kolben durch den entwickelten Dampf in die Höhe getrieben. Übergießt man das Gefäß mit kaltem Wasser, so bewegt sich der Kolben wieder abwärts. (Erklärung?) — 2. Man verschließe ein zum Teil mit Wasser gefülltes metallenes Kochgefäß mit einem Kork und erhitze das Wasser bis zum Sieden. Der Kork wird nach kurzer Zeit mit ziemlicher Gewalt herausgeschleudert. Ein fest verschlossenes Gefäß kann durch den Dampf zersprengt werden (Vergleich mit § 63).



Abb. 150.

Diese Versuche zeigen, daß der beim Sieden entwickelte Wasserdampf auf die Wände des Gefäßes, in das er eingeschlossen ist, einen Druck ausübt, der wie bei den Gasen (§ 61) als **Spannkraft** bezeichnet wird. Je mehr Wärme dem Wasserdampf zugeführt wird, desto mehr nimmt seine Spannkraft zu.

Die Spannkraft des Wasserdampfes wird als bewegende Kraft in der Dampfmaschine benutzt, deren Einrichtung in ihren wesentlichsten Teilen von JAMES WATT herrührt. Die ersten Lokomotiven wurden von TREVITHIK (1804) und von GEORGE STEPHENSON (1812) erbaut. In Deutschland wurde die erste Eisenbahn 1835 zwischen Nürnberg und Fürth in Betrieb gesetzt.

In dem Dampfzylinder mit Schiebersteuerung (Abb. 151 u. 152) wirken die Wasserdämpfe abwechselnd auf die eine oder die andere Seite

eines Kolbens und versetzen diesen dadurch in eine hin und her gehende Bewegung. Die jedesmal vor dem Kolben befindlichen Dämpfe entweichen durch eine Öffnung *a* in die freie Luft oder in einen Raum, wo sie kondensiert werden (Kondensator). Dies wird durch den Schieber vermittelt, der von der selbsttätigen (automatischen) Steuerung hin und her geführt wird.

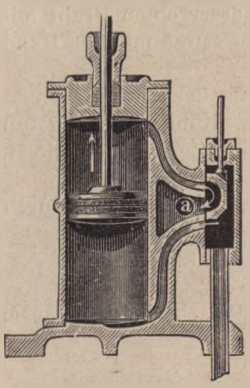


Abb. 151.

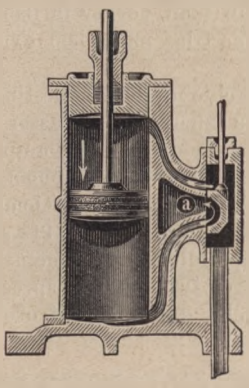


Abb. 152.

In Abb. 153 ist eine Lokomotive älterer Form dargestellt. Aus dem Feuerungsraum *A* strömen die Verbrennungsgase durch eine große Zahl kupferner Heizrohre nach dem Schornstein und erhitzen das im Kessel *B* befindliche Wasser, das die Heizrohre umgibt. Die erzeugten Wasserdämpfe sammeln sich im oberen Teile des Kessels, namentlich in dem Dampfdom *C*, und gelangen von da durch ein Rohr *cc* und die Dampfkammer in den Dampf-

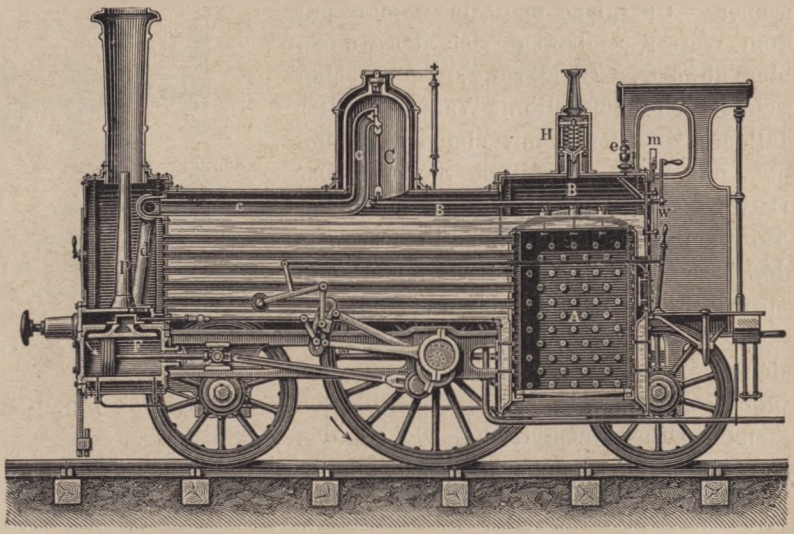


Abb. 153.

zylinder *F*. Nachdem die Dämpfe auf den Kolben gewirkt haben, entweichen sie stoßweise durch das Rohr *P* in den Schornstein und von da in die freie Luft. Bei *H* befindet sich ein Sicherheitsventil, das bei zu groß werdender Spannkraft des Dampfes diesem das Ausströmen gestattet.

Die Bewegung der mit dem Kolben verbundenen Kolbenstange wird durch die „Pleuelstange“ mittels eines „Kurbelzapfens“ in die drehende Bewegung des Triebrades umgesetzt. Zwei auf der Achse des Triebrades sitzende Exzenterscheiben dienen zur Bewegung der Schiebersteuerung; durch ein Hebelwerk kann der Maschinist die eine oder die andere dieser Scheiben mit der Steuerung in Verbindung bringen und dadurch, daß der Dampf bei gegegebener Stellung der Pleuelstange von der einen oder anderen Seite gegen den Kolben drückt, das Vorwärts- oder Rückwärtsgehen der Lokomotive bewirken. Am Maschinistenstand befinden sich ferner noch das Manometer *m*, die Dampfpfeife *e* und der Wasserstandszeiger *w*.

Bei den Lokomotiven muß der Dampfdruck den vollen Druck der Atmosphäre überwinden, er beträgt sogar das 5- bis 18fache des Atmosphärendrucks (Hochdruckmaschinen). Bei anderen Maschinen wird der benutzte Dampf im Kondensator so weit abgekühlt, daß er den größten Teil seiner Spannkraft verliert und der Kolben nur geringen Gegendruck zu überwinden hat (Niederdruckmaschinen, Kesseldruck bis zu 3 Atm.).

Bei den Explosionsmotoren wird ein Gemisch von brennbarem Gas (oder Dampf, z. B. von Benzin) mit Luft zur Entzündung gebracht. Die dadurch hervorgerufene Explosion setzt den Kolben in Bewegung, worauf die Verbrennungsprodukte durch den „Auspuff“ in die Luft entweichen.

§ 75. Die Luftfeuchtigkeit. **Versuche*: Haucht man gegen die kalte Fensterscheibe, so „beschlägt“ sie mit feinen Wassertröpfchen, die sich später zu größeren Tropfen vereinigen. — Öffnet man an einem kalten Wintertage das Fenster des Schulzimmers, so zeigen sich in der Nähe des Fensters Nebel, die aus Kügelchen tropfbaren Wassers bestehen. Der gasförmige Wasserdampf, der der warmen Luft des Zimmers beigemischt gewesen war, ist durch die Abkühlung verdichtet **(kondensiert)** worden:

Der fast immer in der atmosphärischen Luft enthaltene Wasserdampf wird bei hinreichender Abkühlung in flüssiger Form abgeschieden.

Kondensationserscheinungen im großen sind die „atmosphärischen Niederschläge“: **Tau, Reif; Nebel, Wolken; Regen, Schnee; Hagel.**

Tau und Reif entstehen an einem von feuchter Luft umgebenen Körper, z. B. einer Flasche mit kaltem Wasser, wenn seine Temperatur hinreichend niedrig ist: die niedergeschlagene Feuchtigkeit legt sich an den Körper an, entweder in Form von kleinen Tröpfchen (Tau) oder, wenn die Temperatur unter 0° C ist, in Form von Eisnadeln (Reif).

Wenn die atmosphärische Luft selbst hinreichend abgekühlt wird, so bilden die in ihr enthaltenen Wasserdämpfe, wenn sie sich nächst der Erdoberfläche vorfinden, den Nebel und in höheren Luftschichten die Wolken; man unterscheidet Feder- (Lämmer-) Wolken, Haufwolken, Schichtwolken und Regenwolken. — Wenn die Wasserkügelchen zu größeren Tropfen zusammenfließen, so entsteht Regen. — Der Schnee bildet sich, wenn der Wasserdunst

mit Luftschichten unter 0° in Berührung kommt (Schneekristalle, Abb. 1). — Die Bildung des Hagels ist noch nicht völlig erklärt.

Übungen: 1. Warum beschlagen Weinflaschen u. dgl., die man aus dem Keller heraufholt? Woher kommt es, daß im Winter bei strenger Kälte die nach außen liegenden Zimmerwände oft an der Innenseite naß werden, ebenso bei eintretendem Tauwetter oft alle Wände in Hauseingängen, Fluren und Treppenhäusern?

2. Wenn Schnee bei klarem Frostwetter lange liegt, so erkennt man oft deutlich, daß er abnimmt. Woher mag das rühren? Vgl. Übung 7, § 73.

*3. Darmsaiten, Haare und andere Gegenstände ändern ihre Form bei wechselnder Luftfeuchtigkeit. Sie können daher als „Hygrometer" dienen. Erkläre hiernach die Einrichtung eines „Wetterhäuschens".

4. Warum trocknet bei Regenwetter die Wäsche nicht oder sehr langsam, über den warmen Ofen dagegen sehr rasch? Warum schwitzt man bei bevorstehendem Gewitter? Was ist also unter „schwüler" Luft zu verstehen?

5. Wie mag es kommen, daß sich im Hochgebirge nach noch so klarem Morgen gegen Mittag häufig binnen kurzem (insbesondere über den einzelnen Bergesgipfeln) Wolken bilden, die man von keiner Seite herzufliegen sah; und daß Wölkchen am Himmel verschwinden, ohne daß man sieht, wohin sie gekommen sind?

D. Ausbreitung der Wärme.

§ 76. Die drei Arten des Überganges. Wird in einem Zimmer ein Ofen geheizt, so geht bekanntlich die Wärme von ihm auf die kälteren Gegenstände im Zimmer über. — **Versuche*:* 1. Stellt man einen eisernen Topf auf den heißen Ofen, so wird dieser nach kurzer Zeit warm, und zwar früher und stärker am Boden als an den vom Ofen entfernten Teilen; ein irdener Topf braucht hierzu viel längere Zeit. — 2. Durch die Bewegung einer Flaumfeder, einer Kerzenflamme u. dgl. kann man erkennen, daß Luft zum Ofen hin- und andere von ihm wegströmt; ein Thermometer zeigt, daß die Luftschicht, die tiefer liegt als die Feuerstelle, kalt bleibt, während der aufsteigende Luftstrom erwärmt ist. — 3. Halten wir das Gesicht, die Hand in die Nähe des Ofens, so empfinden wir starke Hitze; bringen wir aber einen Schirm zwischen uns und den Ofen, so hört augenblicklich die Empfindung der Hitze auf, und es zeigt sich, daß die uns umgebende Luft selbst eine Temperatur besitzt, die viel niedriger ist, als wir sie vorher empfunden hatten. — Im ersten Versuch geht die Wärme von der Flamme auf den Topf und von einem Teile des Topfes auf den anderen durch **Wärmeleitung** über, im zweiten Versuch findet Fortführung erwärmter Teilchen in Form einer (Luft-) **Strömung**, im dritten findet **Wärmestrahlung** statt.

Bei allen drei Arten des Überganges, der immer **von Stellen höheren zu solchen niedrigeren Wärmegrades** stattfindet, erfolgt die Abgabe der Wärmemengen („Mitteilung" der Wärme) um so rascher, je größer der Unterschied zwischen den Wärmegraden beider Stellen war.

§ 77. Wärmeleitung. **Versuch*: Eine Siegellackstange kann man dicht neben der Stelle, wo sie brennt, in der Hand halten, eine Metallstange dagegen erst ziemlich weit von einer erhitzten Stelle.

Gute Wärmeleiter heißen die Stoffe, die **die Wärme schnell aus Körpern höherer Temperatur aufnehmen und überall in sich verbreiten, aber auch schnell an Körper niedrigerer Temperatur abgeben.** Stoffe, die diese beiden Eigenschaften nur in geringem Grade besitzen, heißen **schlechte Wärmeleiter.**

Am besten leiten die Metalle, am schlechtesten Glas, Eis, Schnee, trockene Luft, Pelzwerk, Wollstoffe, Stroh; Holz ist ein Halbleiter. Eiserne Öfen und Töpfe erwärmen sich viel rascher, kühlen aber auch viel rascher aus als tönerne. Von der geleiteten Wärme entweicht immer ein Teil durch die Seitenflächen des Körpers. Bei schlechten Wärmeleitern kommt der Ersatz so langsam nach, daß sie **auf einige Entfernung hin gar keine Temperaturerhöhung** mehr zeigen.

Von schlechten Wärmeleitern macht man Gebrauch, um a) die **Zuleitung**, b) die **Ableitung** von Wärme zu hindern. Beispiele zu a): Man bedeckt das Eis in Eiskellern mit Matten u. dgl.; Holzgriffe an Feuerhaken, Teekannen usw.; feuerfeste Kassen haben Hohlwände, die mit Asche ausgefüllt sind. Zu b): Steinböden bedeckt man im Winter mit Holz, Holzböden mit Teppichen. Inwiefern tragen wir im Winter „wärmere" Kleider? Manche Tiere haben im Winter dichteres Pelzwerk als im Sommer. Gegen Kälte empfindliche Pflanzen, Brunnenröhren werden in Stroh, Dampfrohre in besondere Wärmeschutzmasse gehüllt. Kochkiste und Thermophor.

§ 78. Strömung. **Versuche*: 1. Ein mit Wasser gefülltes Reagenzglas kann man an seinem unteren Ende in der Hand halten, wenn das Wasser im oberen Teil bereits bis zum Sieden erhitzt ist. Bringt man ein Stückchen Eis auf den Boden des Glases und hält es dort durch einen schwereren Körper fest, so schmilzt es noch nicht, während das Wasser oben ins Sieden gerät. — 2. Erwärmt man dagegen das untere Ende des Reagenzglases, während man das obere Ende in der Hand hält, so wird dieses bald unerträglich heiß. — 3. Mengt man dem Wasser, das in einem weiten Glasgefäß von einer engbegrenzten Stelle aus erwärmt wird, Sägespäne bei, so zeigen diese deutlich eine aufwärts und eine abwärts gehende Strömung des Wassers an (Abb. 154).



Abb. 154.

Obwohl (wie auch Versuch 1 zeigt) die meisten tropfbaren und gasförmigen Stoffe schlechte Wärmeleiter sind, so verbreiten sie doch

Wärme, die ihnen von unten zugeführt wird, schnell durch ihre ganze Masse, indem (§ 54) die zunächst erwärmten Teilchen spezifisch leichter werden und aufsteigen, während die kälteren Teile zur Erwärmungsstelle herabsinken. Diese **Ausbreitung der Wärme durch Strömung** unterscheidet sich von der einfachen Leitung dadurch, daß die erwärmten Stoffteile selbst in fortschreitender Bewegung sich befinden.

**Versuch:* Wird eine Tür zwischen zwei Zimmern von ungleicher Temperatur geöffnet (Abb. 155), so strömt die wärmere Luft oben in das kältere, die kältere unten in das wärmere Zimmer. Warum wird die Luft an der Decke früher warm als am Fußboden; und warum bleibt sie auch später dort wärmer? — Auslüften der Zimmer. Zug in Lampenzylindern und Schorn-

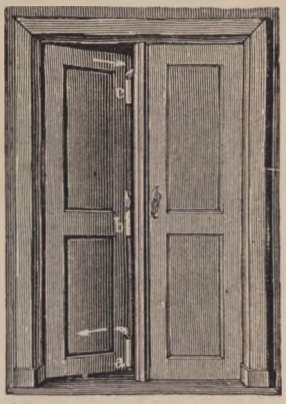


Abb. 155.

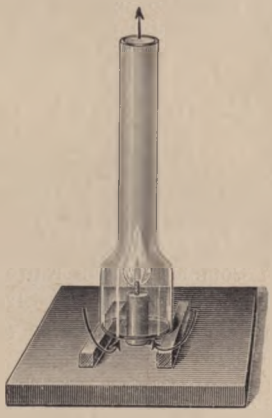


Abb. 156.

steinen (**Versuch* nach Abb. 156). — Ist die Luft über verschiedenen Stellen der Erdoberfläche verschieden stark erwärmt, so entstehen Luftströmungen (Winde); unter diesen sind besonders bemerkenswert die Land- und Seewinde an der Meeresküste, die Passatwinde in den Tropen, die Wirbelwinde oder Zyklonen. — Auch im Meere bilden sich aus ähnlichen Ursachen Strömungen, die bekannteste von ihnen ist der Golfstrom, dem die Westküste von Europa ihr mildes Klima verdankt.

Die Verschiedenheit der Wärmeausbreitung durch Leitung und durch Strömung spielt bei dem Gefrieren der Gewässer im Winter eine bemerkenswerte Rolle. Indem die abgekühlten Schichten wegen ihres größeren spezifischen Gewichts von der Oberfläche in die Tiefe sinken, kühlt sich das ganze Wasser eines Teiches zunächst sehr bald auf 4° ab. Bei weiterer Abkühlung aber sinkt das an der Oberfläche befindliche Wasser, da es nun spezifisch leichter wird, nicht mehr nach unten, sondern kühlt sich weiter bis 0° ab und verwandelt sich in Eis. Dieses schützt als schlechter Wärmeleiter das darunter befindliche Wasser vor rascher weiterer Abkühlung, und andererseits können auch die tieferen Schichten des Wassers ihre Wärme nur noch durch Leitung,

also sehr langsam, an die oberen Schichten abgeben. Daher schreitet die Abkühlung des Wassers nach unten hin nur sehr langsam weiter vor. — Bedeutung dieses Vorganges für das tierische Leben.

Übungen: 1. Warum bekommt man im Winter so leicht kalte Füße? Warum soll man nicht, um im Winter zu lüften, besonders wenn kleine Kinder im Zimmer sind, die Tür halb aufsperren? Warum „zieht" ein frisch angeheizter Ofen oft zuerst nicht recht?

2. Um Fruchteis u. dgl. im Sommer zu halten, wickelt man das Gefäß zweckmäßig in dicke wollene Decken. Ist das nicht unsinnig?

3. Warum sind Stroh, Wolle u. dgl. eigentlich schlechte „Wärmeleiter"? Kann man sie mit Siegellack, Glas usw. also wirklich auf eine Stufe stellen?

4. Der Landmann wünscht sich für seine Felder eine Schneedecke, damit die Saaten nicht erfrieren. Aber Schnee ist doch selbst schon kalt?

5. Warum würde es nicht denselben Schutz gegen die Winterkälte gewähren, wenn man statt „Doppelfenstern" Fenster aus doppelt so dickem Glase benutzen wollte?

6. Warum brennen zähflüssige Speisen, wie z. B. Reisbrei, und feste, wie Fleisch, leichter an als Suppen oder Getränke?

7. Warum springt die Glasur in emaillierten Kochtöpfen bei trockener Erhitzung leicht ab, bei Wasserfüllung aber nicht? — Was soll das Einstellen silberner Löffel in Kaffee- oder Teegläser beim Eingießen heißer Flüssigkeit bezwecken? Warum kann es nicht viel nützen? Warum benutzt man in der Chemie Drahtnetze, Asbestpappen, Sandbäder?

*8. Berühren wir ein Metall- und ein Holzstück von gleicher Temperatur, so erscheint uns das Metall wärmer oder kälter als das Holz, je nachdem jene Temperatur höher oder niederer als die der Hand ist. Warum?

§ 79. Wärmestrahlung. Beobachtung: Wenn jemand sich auf einem hohen Berge den Sonnenstrahlen aussetzt, so empfindet er sehr große Hitze; sobald aber eine Wolke zwischen ihn und die Sonne tritt, oder wenn er sich in den Schatten eines Felsens stellt, fühlt er sofort, daß die ihn umgebende Luft sehr kalt ist.

**Versuch:* Mit dem Gesicht empfindet man die Wärmestrahlung eines Ofens auch aus größerer Entfernung: Ein zwischen Gesicht und Ofen gebrachter Schirm schützt das Gesicht vor der strahlenden Wärme; man bemerkt dann, daß die zwischenliegende Luft nicht merklich erwärmt worden ist.

Die Wärme kann sich also auch von einem Körper höherer zu einem von niedrigerer Temperatur fortpflanzen, **ohne** dabei **die zwischenliegenden Körper zu erwärmen, ja sogar durch den** (nicht mit Luft erfüllten) **Weltraum hindurch.**

Bei der Ermittelung der wirklichen Lufttemperatur muß das Thermometer vor der direkten Strahlung der Sonne (wie auch des Erdbodens, der benachbarten Wände) geschützt sein.

Je schiefer die Wärmestrahlen auf eine Fläche auffallen, um so weniger wird diese erwärmt (Abb. 157 u. 158). — Man halte die Hand in die Nähe eines Ofens und neige ihre Fläche gegen die von ihm kommenden Strahlen. — Warum legt man Weinberge am liebsten an Südabhängen, Treibhäuser mit schiefen, gegen Süden gewendeten Fenstern an?

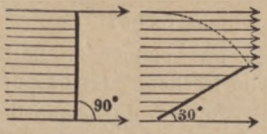


Abb. 157. Abb. 158.

**Versuch*: Von zwei gleichen Thermometern wird die Kugel des einen mit Stanniol, die des anderen mit schwarzem Papier umwickelt und beide in die Nähe eines warmen Ofens oder sonst einer Wärmestrahlungsquelle gebracht. Ergebnis:

Die Wärmestrahlung wird analog der Lichtstrahlung von glänzenden hellen Flächen **zurückgeworfen (reflektiert)**, von dunklen matten dagegen **verschluckt (absorbiert)**.

Übungen: *1. Stecke die Hand in eine innen blanke Blechbüchse, ohne die Wand zu berühren. Woher erklärt sich das Wärmegefühl? — Ebenso Finger in einer Stanniolkapsel.

2. Erkläre, warum man Eiskeller und Eisschränke weiß anstreicht, warum es unter einem schwarzen Holzdach bei Sonnenschein leicht sehr heiß wird, warum man im Sommer helle Kleider trägt.

3. Müssen wir, um die Kälteempfindung beim Annähern der Hand an ein Stück Eis zu erklären, eine Kältestrahlung annehmen? Warum spüren wir Wärme, wenn wir die Handflächen einander nahe bringen?

4. Warum pflegen wolkenlose Tage eine Erwärmung, wolkenlose Nächte eine Abkühlung des Bodens nach sich zu ziehen? [Fröste selbst in der Sahara; Eisbereitung in Indien.]

5. Warum besteht die Gefahr der Reifbildung nur in klaren Herbst- und Frühlingsnächten; warum nicht bei bewölktem Himmel? Vergrößert klarer Mondschein diese Gefahr?

E. Die Quellen der Wärme.

§ 80. Die Sonnenwärme bildet für die Erde die weitaus ergiebigste Wärmequelle. Verschiedene Teile der Erdoberfläche empfangen aber verschieden viel von der Sonnenwärme, und zwar je nach der Tages- und Jahreszeit.

Erklärung aus a) der verschiedenen Neigung der einzelnen Teile der Erdoberfläche gegen die Sonnenstrahlen, b) der Dauer der Bestrahlung.

Während die Erwärmung durch die Sonne so erfolgt, daß bereits vorhandene Wärme auf Körper niedrigerer Temperatur nur übertragen wird, findet bei den folgenden Vorgängen eine **Erzeugung von Wärme** statt:

A. **Durch mechanische Arbeit.** *Versuche:* 1. *Reibe deine Hände kräftig gegeneinander, eine Münze an einem Brette; lasse dir eine Stange, ein Seil rasch durch die Hände gleiten.

2. Stößt man in die Röhre des „pneumatischen Feuerzeuges" (Abb. 2, S. 3) rasch den Stempel, an dem ein Feuerschwamm befestigt ist, hinein, so wird dieser glimmend.

Sind an einem Wagen die Achsen weniger geschmiert, so kostet es einen größeren Aufwand an mechanischer Kraft (also auch mehr „Arbeit") ihn zu bewegen, als bei gut geschmierten Achsen, und dieser Mehraufwand ist für die Bewegung verloren; in demselben Maße aber erhitzen sich die Achsen: es wird Wärme gewonnen. So können wir auch bei den angeführten Versuchen sagen, daß **Wärme auf Kosten „mechanischer Arbeit" erzeugt** wird oder daß mechanische Arbeit in Wärme umgewandelt wird. — Wende diesen Satz noch auf folgende Erscheinungen an:

Münzen werden beim Prägen stark erwärmt. Bei Schießversuchen auf Panzerplatten wurden im Augenklick des Anpralles Kugel und Platte glühend. Beim Feuerschlagen werden die vom Feuerstein losgerissenen Stahlteilchen glühend. Bohrer, Zapfen an Maschinen werden heiß: Graf RUMFORD (1797) in München brachte durch die beim Kanonenbohren auftretende Wärme Wasser zum Sieden. *Versuch*: Man kann Äther in einem Messingrohr auf der Schwungmaschine bis zum Sieden erhitzen. Wodurch? — Ein Holzstück, welches man in einer Drehbank schnell herumdreht, kann man durch ein zweites, welches an das erste angedrückt wird, entzünden; manche Wilde machen dadurch Feuer, daß sie zwei Holzstücke aneinander reiben. — Streichhölzchen. — Zündhütchen.

Durch sorgfältige Versuche hat man ermittelt, daß ein Arbeitsaufwand von 427 Meterkilogramm erforderlich ist, um die Wärmemenge von 1 Kilogramm-Kalorie (k cal) zu erzeugen. Man nennt diese Arbeitsmenge das **mechanische Wärmeäquivalent** (Arbeitswert der Wärmeeinheit).

B. **Wärmeerzeugung durch chemische Vorgänge** findet statt beim Verbrennen von Holz, Kohle, Öl usw. (§ 174), mittels dessen wir uns die zum täglichen Gebrauch benötigte Wärme verschaffen, desgleichen beim Lebensprozeß (§ 212), dem Menschen und Tiere ihre Körperwärme verdanken. Hierbei wird chemische Arbeit (chemische „Energie") in Wärme umgewandelt. — Genaue Messungen haben gelehrt, daß 1 g Buchenholz beim Verbrennen etwa 3000 cal, 1 g Steinkohle 6000 bis 8000 cal, 1 g Petroleum etwa 11 000 cal erzeugt.

C. Bekannte Fälle von **Wärmeerzeugung durch elektrische Vorgänge** sind das Glühendmachen von Drähten mittels elektrischer Ströme, von Kohle- oder Metallfäden in den elektrischen Glühlampen (§ 141) und das Zünden der Blitzschläge (§ 135). Hierbei wird elektrische Arbeit (elektrische „Energie") in Wärme umgewandelt.

III. Schallerscheinungen.

§ 81. Schall. Wir hören mittels des Ohres mannigfaltige **Geräusche** (z. B. Sausen, Rauschen, Rollen, Rasseln) und **Klänge** (z. B. die einer Singstimme, Geige, Trompete, Harfe, eines Klaviers). Alles Hörbare, auch Worte und Musik, fassen wir zusammen unter dem Namen **Schall.**

Sowohl Geräusche wie Klänge können 1. längere oder kürzere **Dauer,** 2. verschiedene **Stärke** haben, d. h. lauter oder leiser sein. — An den Klängen unterscheiden wir überdies 3. die **Tonhöhe** (z. B. tiefe Töne einer Baß-, hohe einer Sopranstimme), 4. die **Klangfarbe** (der Geige, Trompete ...).

Beobachtungen: Beim Abfeuern einer Kanone erzittern nahe gelegene Fenster, sie können sogar dabei zertrümmert werden, ebenso geschieht dies oft bei größeren Explosionen. Befindet man sich dabei in der Nähe eines solchen Fensters, so hört man den Knall im selben Augenblick, wo das Fenster erzittert. Da sich nun in unserem Ohre eine dünne gespannte Haut, das Trommelfell, befindet, so werden wir annehmen können, daß auch diese durch den Schall in Erschütterung versetzt wird (*Versuch* dazu mit einer Knallbüchse und SCHELLBACHs „Künstlichem Trommelfell", einer vor die engere Öffnung eines Schalltrichters gespannten dünnen Haut, an der ein leichtes Kügelchen hängt). Diese Erschütterungen müssen von dem Schallerreger (der Kanone) verursacht und irgendwie auf das Ohr (bzw. die Fensterscheibe) übertragen sein. Es läßt sich beweisen (s. § 87), daß die Luft die Erschütterungen vermittelt.

Zum Zustandekommen einer Schallwahrnehmung ist somit erforderlich: 1. der **Schallerreger,** 2. der **Schalleiter,** 3. das **Gehörorgan.**

Die Physik hat es nur mit den ersteren beiden zu tun. Gegenstand der physikalischen Lehre vom Schall [Akustik][1]) ist nur A. die **Erregung,** B. die **Ausbreitung** des Schalles, während die Untersuchung C. der **Wahrnehmung** des Schalles eigentlich in die Physiologie, d. h. die Lehre von den Funktionen des lebenden Körpers, gehört. Sie wird hier anhangsweise der Vollständigkeit halber kurz behandelt. Die physikalische Akustik ist strenggenommen nur eine Unterabteilung der Mechanik. Warum?

Fragen: Gehört das Ohrensausen eines Fieberkranken auch in die physikalische Akustik? Kann man den elektrischen Strom deshalb einen „Schallerreger" nennen, weil er, durchs Ohr geleitet, „ein donnerähnliches Geräusch hervorruft"? Wie ist der letztere Ausdruck zu verstehen?

A. Die Erregung des Schalles.

§ 82. Entstehung der Klänge. **Versuche:* a) Man versetze einen an dem einen Ende befestigten langen Stab (Abb. 159), der am freien Ende noch durch ein Gewicht beschwert werden kann, durch Biegen

[1]) *akúein* (griech.) = hören.

und Loslassen in schwingende Bewegungen. Erfolgen diese hinreichend langsam, so kann man sie mit dem Auge verfolgen. Verkürzt man den Stab, oder verkleinert das beschwerende Gewicht, so sieht man schließlich die Bewegungen nicht mehr, dafür tritt dann aber bald ein tiefer brummender Ton auf. Hängt man ein an einem Faden hängendes leichtes Kügelchen an den Stab, so wird es heftig fortgeschleudert.

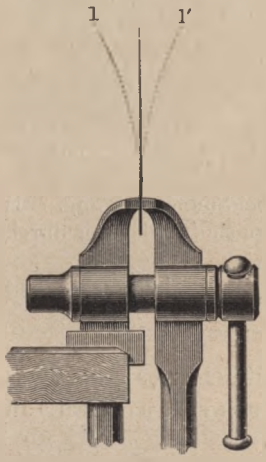


Abb. 159.

Ähnlich kann man zeigen, daß eine angeschlagene Glocke, eine gestrichene Saite, eine tönende Stimmgabel, die bei oberflächlichem Anschauen in Ruhe zu sein scheinen, in Wirklichkeit in schwingender Bewegung sich befinden, solange


Abb. 160.

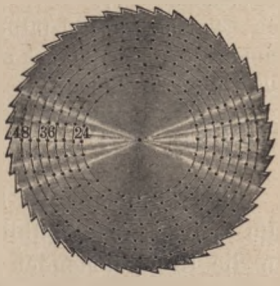


Abb. 161.

das Tönen andauert. Man fühlt diese Bewegungen auch deutlich beim leisen Berühren mit der Hand und überzeugt sich zugleich, daß umgekehrt der Ton aufhört, sobald die Bewegung, sei es durch die natürlichen Widerstände, sei es durch das gewaltsame Anhalten mit der Hand, zum Stillstand gebracht ist. Aus dem allem folgt:

Ein Klang entsteht durch regelmäßige, hinreichend rasch aufeinander folgende Bewegungen (Schwingungen) des Schallerregers.

Daß es hierbei in Wahrheit nur auf die durch solche Bewegungen verursachten regelmäßigen Erschütterungen der Luft ankommt, zeigen *Versuche* mit einer Lochsirene (Abb. 161), bei der durch das Anblasen lediglich eine rasche Folge von Luftstößen bewirkt wird.

Durch weitere

**Versuche:* b) mit der Lochsirene, der Zahnradsirene (Abb. 160) oder auch einer Anzahl von Stimmgabeln findet man:

1. Die **Stärke** eines Klanges ist um so größer, je stärker die Bewegung des Schallerregers ist.

2. Die **Dauer** des Klanges ist gleich der Dauer der Bewegung.

3. Der Ton ist um so **höher,** je rascher die Stöße aufeinander folgen. Die Zahl der in einer Sekunde erfolgenden Stöße wird die **Schwingungszahl** des betreffenden Tones genannt.

4. Die **Klangfarbe** hängt von der Art des Schallerregers ab (Saite, Pfeife usw.).

Geräusche entstehen durch **unregelmäßige** Folgen von Bewegungen, ein **Knall** durch eine **einzige** sehr starke Erschütterung (Beispiele?). — In Geräuschen sind nebenher oft bestimmte Tonhöhen erkennbar (Stäbchen, auf den Tisch geworfen. — Heulen des Windes, der Wogen u. a. m.).

**Übungen:* 1. Herstellung einer Lochsirene aus einer Pappscheibe. Bringe je eine Reihe mit 12, 15, 18, 24 Löchern an. Beim Anblasen ertönt ein Dur-Akkord (s. § 84).

2. Inwiefern zeigt schon Versuch a), daß die Tonhöhe mit der Schwingungszahl wächst?

3. Ziehe durch das Loch eines Lineals eine Schnur, quirle diese fest zusammen und schwinge daran das Lineal durch die Luft. Woher kommt der entstehende Ton?

4. Die Kolossalstatue des Jupiter Ammon tönte bei Sonnenaufgang. Als einmal ihre vielen Risse ausgebessert waren, verstummte sie (Erklärung durch die Luftströmungen).

5. Wie werden in der Musik Stärke, Dauer, Höhe und Klangfarbe eines Tones bezeichnet?

§ 83. Tonleiter. **Versuch* a): Dreht man während des Anblasens die Lochsirene allmählich rascher, so hört man einen sich allmählich in die Höhe ziehenden (heulenden) Ton.

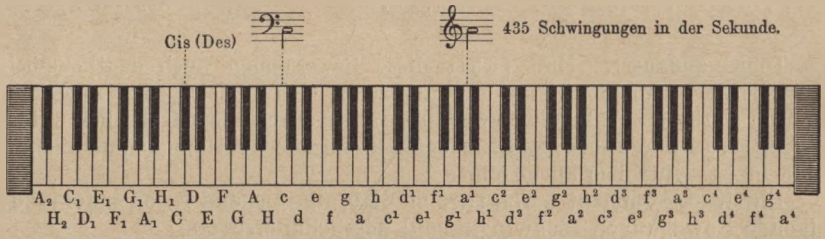


Abb. 162.

Die Töne bilden eine stetige Reihe. In der Musik werden jedoch nur Töne in bestimmten Abständen voneinander oder **„Intervallen"** benutzt. Die Grundlage unserer heutigen Musik ist die **Dur-Tonleiter.** Den als „Grundton" derselben (beliebig) gewählten Ton nennt man auch die **Prime,** die folgenden **Sekunde, Terz, Quarte, Quinte, Sexte, Septime** und **Oktave.**

Die Musiker benutzen ferner einen bestimmten Ton als Ausgangspunkt für die übrigen und bezeichnen ihn mit *C.* Die dazu gehörige ***C*-Dur-Tonleiter** heißt: *C, D, E, F, G, A, H, c*; die auf *c* folgende Tonleiter *c, d, e, f, g, a, h, c*¹ klingt der vorigen überaus ähnlich, ebenso die folgenden, und ebenso auch bei allen anderen Tonleitern mit anderen Ausgangstönen. („Einstimmiger" Männer- und Frauengesang!)

Um von allen zwischen C und c liegenden Tönen wieder eine Dur-Tonleiter ausgehen lassen zu können, muß man noch fünf Töne[1]) (die schwarzen Tasten des Klaviers) zwischenschalten, die *Cis* (*Des*), *Dis* (*Es*), *Fis* (*Ges*), *Gis* (*As*), *Aïs* (*B*) genannt werden (Bezeichnung durch ♯ oder ♭) (Abb. 162).

Für den Physiker entstehen nun wieder bezüglich der Erregung dieser verschiedenen Töne die besonderen Fragen:

1. Welche **Schwingungszahlen** entsprechen gegebenen **Tonhöhen?** — D. h.: Wieviel Stöße in je einer Sekunde muß ein tönender Körper auf die umgebende Luft ausüben, damit er einen Klang von bestimmter Tonhöhe, z. B. a^1, hervorruft?

2. Welcher Zusammenhang besteht zwischen den **Schwingungszahlen,** die gegebenen **Intervallen,** z. B. denen einer Dur-Tonleiter, entsprechen?

**Versuch* b): Wir drehen eine Sirene so schnell, daß wir durch das Anblasen einer Lochreihe einen Ton erhalten, der die gleiche Höhe hat wie eine auf a^1 gestimmte Stimmgabel[2]). Indem wir die Zahl der Löcher der Reihe mit der Zahl der Umdrehungen in einer Sekunde multiplizieren (warum?), finden wir:

Dem Tone a^1 entspricht die Schwingungszahl 435 (pro Sekunde).

Man kann auch die Schwingungszahl der a^1-Stimmgabel selbst bestimmen, indem man an der einen Zinke eine feine Spitze anbringt und diese während des Schwingens der Stimmgabel auf einer berußten Glasplatte entlang führt. Die Spitze zeichnet eine Wellenlinie auf, mit deren Hilfe man die Anzahl der Schwingungen in 1 Sekunde ermitteln kann. Genaue Versuche ergeben ebenfalls die Zahl 435. Überhaupt zeigt sich, daß die Schwingungszahl eines Tones immer die gleiche ist, unabhängig davon, auf welchem Instrument der Ton hervorgerufen wird.

**Versuch* c): Blasen wir bei gleichbleibender (im übrigen beliebiger) Umdrehungsgeschwindigkeit zuerst die innerste, dann die nächste usf. bis zur äußersten Reihe der Scheibe an, so hören wir die Dur-Tonleiter dann und nur dann, wenn sich die Lochzahlen verhalten wie:

$$24 : 27 : 30 : 32 : 36 : 40 : 45 : 48$$

oder wie $\mathbf{1} : \frac{9}{8} : \frac{5}{4} : \frac{4}{3} : \frac{3}{2} : \frac{5}{3} : \frac{15}{8} : \mathbf{2}$

Prime Sekunde Terz Quarte Quinte Sexte Septime Oktave

Berechne hiernach die Schwingungszahlen bestimmter Töne aus $a' = 435$, z. B. von c', c, von dem höchsten und tiefsten Tone des Klaviers usw. — Welches Schwingungszahlverhältnis entspricht der „Duodezime“ ($C — g$)? Die Grenzen der Hörbarkeit liegen ungefähr bei 16 bis 20 bzw. 20 bis 40 000 Schwingungen, sind aber individuell stark verschieden.

---

[1]) Genau genommen noch viel mehr, da z. B. *dis* nicht genau = *es* ist. Reine und „temperierte“ Stimmung (siehe Oberstufe).

[2]) Noch besser geeignet für diesen Versuch ist die mit Zählwerk versehene Sirene von Cagniard Latour (Oberstufe).

§ 84. Konsonanz und Dissonanz. Läßt man gleichzeitig mit dem Grundton (z. B. *c*) die Oktave, Quinte, Quarte, Terz oder Sexte (*c'*, *g*, *f*, *e*, *a*) erklingen, so entsteht ein angenehmer Eindruck: Wohlklang, Konsonanz. Prime und Sekunde (*c* und *d*), noch mehr aber Prime und (große) Septime (*c* — *h*) dissonieren. Durch Vergleich mit der obigen Reihe der Schwingungszahlverhältnisse ergibt sich das merkwürdige Gesetz: **Nur Töne, deren Schwingungszahlen im Verhältnis kleiner ganzer Zahlen** (1 bis 6) **stehen, konsonieren.** Ist das Verhältnis nur durch größere Zahlen (8 : 9, 8 : 15) ausdrückbar, so dissonieren die Töne.

Die Grundlage der musikalischen Harmonie bildet der **Dur-Dreiklang,** d. i. die Tonreihe: Prime, Terz, Quinte (z. B. *c*, *e*, *g* oder *g*, *h*, *d*) mit dem Schwingungszahlenverhältnis 4 : 5 : 6 (zeige das!) (sowie der **Moll-Dreiklang:** Prime, kleine Terz, Quinte, z. B. *e*, *g*, *h*). — **Akkorde.**

Übungen: 1. Welches Schwingungszahlverhältnis (Intervall) besteht zwischen Quinte und Quarte desselben Grundtones (z. B. *g* : *f*)? Ebenso *a* : *g*, *d* : *c*, *e* : *d*. Sind diese Intervalle alle gleich? — zeige, daß *c'* die Quinte von *f*, *h* die von *e*, *a* nahezu die von *d* ist. — Vergleiche die Intervalle *f* : *d*, *g* : *e*, *c'* : *a*.

2. Warum ist der Ton eines vorbeifahrenden Autos, einer Lokomotive bei der Entfernung tiefer als bei der Annäherung (Doppler-Effekt 1842)? — **Versuche* mit einer im Kreise geschwungenen Stimmgabel oder Pfeife.

§ 85. Schwingungen tönender Saiten, Stäbe und Platten. **Versuche* a): Über einen aus elastischen Brettchen verfertigten „Resonanzkasten" sind eine, zwei oder mehr Saiten gelegt und mittels Gewichten (oder durch Wirbel) gespannt; sie können durch einen längs einer Skala verschiebbaren Steg beliebig verkürzt werden (Abb. 163). Durch Beachtung der Tonhöhen an diesem „Monochord" findet man:

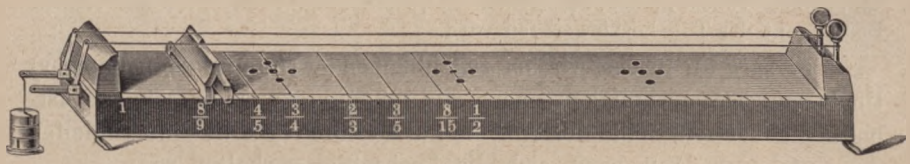


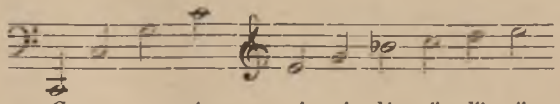
Abb. 163.

I. Die Schwingungszahl einer gespannten Saite wird 2-, 3-, 4- ... mal so groß, wenn sie bei gleichbleibender Spannung auf $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ ihrer Länge verkürzt wird, d. h. **die Schwingungszahlen zweier Saiten verhalten sich** (unter übrigens gleichen Umständen) **umgekehrt wie ihre Längen.**

II. **Bei größerer Spannung der Saite wird der Ton höher.**

Überdies ist (unter übrigens gleichen Umständen) der Ton höher, wenn III. die Saite dünner oder IV. das spezifische Gewicht des Stoffes der Saite kleiner ist. Wie macht man namentlich von den Gesetzen I und II bei der Einrichtung, dem Stimmen und Spielen des Klaviers, der Violine, Baßgeige, Harfe, Zither ... Gebrauch? — Wodurch kann bei Saiteninstrumenten außer durch Lockerung der Wirbel die Tonhöhe sich allmählich ändern?

Versuch* b): Man berühre die Saite, während man sie anstreicht, in der Mitte oder in $^1/_3$, $^1/_4$ ... ihrer Länge leicht mit dem Finger; man erhält dann höhere Töne, die man die **Obertöne der Saite (in der Musik: Flageolettöne) nennt. Dieselben sind in Notenschrift (wenn der Grundton *C* mitgeschrieben wird):



ihre Schwingungszahlen verhalten sich, wie leicht nachzurechnen, wie 1 : 2 : 3 : 4 : 5 ... Die Saite schwingt dabei in Abteilungen, wie die Abb. 164 zeigt. Die in Ruhe bleibenden Punkte nennt man Knoten, die dazwischenliegenden Bäuche der Schwingung. *Nachweis* der Knoten durch Reiterchen aus Papier.

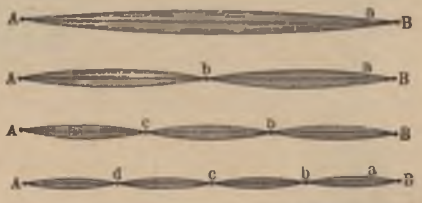


Abb. 164.

Bei Stäben und Platten sind die Schwingungsformen bedeutend verwickelter und sollen hier deshalb nicht näher behandelt werden. — Holz- und Stahlharmonika (Xylophon), Triangel, Stimmgabeln, Glocken, Gläser, Becken, Trommeln, tönende Platten (CHLADNIsche Figuren) usw. gehören hierher. — In Stäben können auch Längsschwingungen (Longitudinaltöne) erzeugt werden (**Versuche*).

Geschichtliches: PYTHAGORAS (um 500 v. Chr.) fand durch Versuche mit dem Monochord das Gesetz, daß die bekannten harmonischen (wohlklingenden) Intervalle bei Saitenlängen auftreten, die sich wie kleine ganze Zahlen verhalten. Auch wußte man schon im Altertum, daß Schwingungen der Schallerreger die Ursache des Tönens bilden. Aber erst GALILEI (1638) entdeckte, daß das Schwingungszahlverhältnis das eigentlich Wesentliche für das Intervall ist, und daß die von PYTHAGORAS gefundene Beziehung nur indirekt deshalb gilt, weil bei Saiten die Schwingungszahl der Saitenlänge umgekehrt proportional ist. An den weiteren Untersuchungen hierüber haben sich besonders MERSENNE und NEWTON beteiligt. Die Erklärung der Klangfarbe blieb jedoch ein ungelöstes Problem, bis H. v. HELMHOLTZ (1821 bis 1894) zeigte, daß dieselbe in erster Linie auf dem Mitklingen der Obertöne beruht. — Warum ist im übrigen die Entwicklung der Musik von der Entwicklung der Akustik ziemlich unabhängig (abgesehen von der Herstellung der Musikinstrumente)?

Übungen: *1. Anfertigung eines Monochords. Wie ändert sich die Tonhöhe mit der Belastung der Saite?

2. Wodurch wird bei Saiteninstrumenten der Ton außer durch die Lockerung der Wirbel allmählich geändert?

*3. Schneide eine Anzahl von Holzstäbchen so zu, daß sie beim Aufwerfen eine Tonleiter ergeben.

*4. Streiche ein mit Wasser gefülltes Weinglas mit dem Geigenbogen. Achte auf die Wasseroberfläche (Knotenlinien). Fahre mit dem angefeuchteten Finger auf dem Rande entlang und achte auf die Mitbewegung der Knotenlinien.

*5. Stimme eine Anzahl von Weingläsern durch Eingießen von Wasser so ab, daß sie beim Anschlagen die Töne einer Tonleiter geben. Wie ändert sich der Ton mit der Menge des Wassers? Was schwingt hier also? (Siehe den folgenden Paragraphen.)

§ 86. Die Pfeifen. Das menschliche Stimmorgan. *Versuch* a): Bläst man gegen den Rand eines leeren Glaszylinders oder einer Flasche (am besten mittels einer Anblasespalte aus Metall), so hört man einen

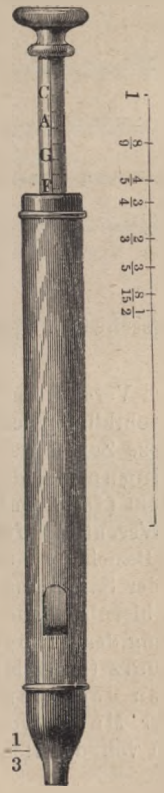


Abb. 165.

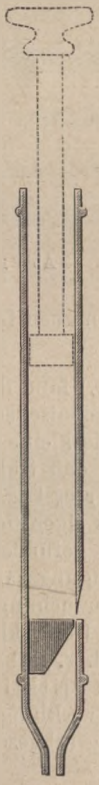


Abb. 166.

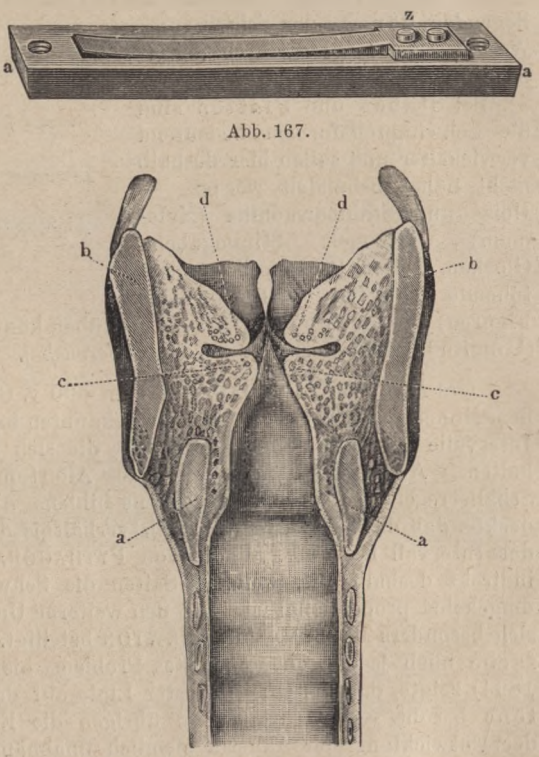


Abb. 167.

a a Ringknorpel, *b b* Schildknorpel, *c c* und *d d* untere und obere Stimmbänder.

Abb. 168.

kräftigen Ton (Eigenton des Gefäßes). Die Höhe des Tones ist je nach der Größe des Gefäßes verschieden. Nach dem Eingießen von Wasser ist der Ton höher.

Daß nicht die Gefäßwand, sondern die eingeschlossene Luft es ist, welche tönt, erkennt man daraus, daß das Tönen nicht durch Berühren oder Festhalten der Röhre gehemmt wird. — Ähnliche Töne entstehen durch Anblasen von hohlen Schlüsseln, Papierrollen, „Panspfeifen“ usf.

Die **Lippenpfeife** (Abb. 165 und 166) besteht aus einer Röhre (deren Länge man als „Länge der Pfeife“ bezeichnet), an deren einem Ende sich die „Lippe“ befindet, eine scharfkantige Platte, gegen die durch eine schmale Spalte ein Luftstrom getrieben wird. Am anderen Ende kann die Pfeife „offen“ oder „gedeckt“ sein.

Versuche b): 1. Wir verschieben einen Kolben so in der Röhre, daß wir beim Anblasen die Töne einer Dur-Tonleiter hören, und messen hierauf die Längen dieser geschlossenen (gedeckten) Pfeife von der Lippe bis zum Kolben. — 2. Wir blasen eine offene Pfeife an und vergleichen den Ton mit dem einer gedeckten Pfeife von gleicher Länge wie in Versuch 1. Es ergibt sich:

I. Die Schwingungszahlen der Töne von Pfeifen verhalten sich umgekehrt wie deren Längen. II. Eine gedeckte Pfeife gibt die tiefere Oktave des Tones einer offenen von gleicher Länge.

Bei der **Zungenpfeife** wird der eingeblasene Luftstrom (ähnlich wie bei einer Sirene) durch einen elastischen Streifen, die „Zunge“, unterbrochen, deren Länge und Dicke so bemessen ist, daß ihre Schwingungszahl zu dem Eigenton des Luftraumes der Pfeife paßt.

Zungen allein, ohne angesetzte Pfeifen, tönen in der Mundharmonika und im Harmonium (Abb. 167). — Bei den Trompeten und Hörnern unterbrechen die in Schwingung geratenden Lippen des Bläsers den Luftstrom. Holzblättchen im Mundstück der Oboen.

Auch an Pfeifen lassen sich durch entsprechend stärkeres Blasen Obertöne hervorrufen. Hieraus erklärt es sich, warum man einem Waldhorn ohne Klappen verschiedene Töne entlocken kann. Bei Blasinstrumenten mit Klappen (Flöte, Klarinette, Trompete) kann die schwingende Luftsäule durch Öffnen der Klappen verändert werden. Was ist hier die jeweilige „Länge der Pfeife“?

Das menschliche Stimmorgan besteht aus der Luftröhre, dem Kehlkopf (Abb. 168), an dem sich zwei Paar elastischer Bänder (Stimmbänder) befinden, welche die Luftröhre bis auf eine kleine Spalte (Stimmritze) schließen, und dem Kehldeckel, der die Stimmritze schützt. Durch Muskeln werden die Stimmbänder mehr oder weniger gespannt, und durch die aus der Lunge ausströmende Luft in Schwingungen versetzt, ähnlich wie die Zunge bei den Zungenpfeifen.

Bei Frauen und Kindern ist der Kehlkopf kleiner und die Stimmbänder kürzer als bei Männern. — Mutieren (Stimmwechseln). — Der tiefste Ton einer tiefen Baßstimme ist in der Regel $C = 65$, der höchste eines hohen Soprans $c^3 = 1044$ und noch höher.

Übungen: *1. Stimme eine Anzahl von gleichen Flaschen durch Eingießen von Wasser auf eine Tonleiter ab und versuche, wenn du musikalisch bist, darauf eine einfache Melodie zu blasen. — Ähnlich die „Panspfeife".

2. Eine Flöte gibt den tiefsten Ton (gewöhnlich d'), wenn alle Löcher verschlossen sind und vorsichtig angeblasen wird. Erkläre das.

*3. Anfertigung einer einfachen Pfeife aus Holunderrohr. Wo müssen die Löcher angebracht werden, wenn man eine Dur-Tonleiter darauf blasen will?

4. Erklärung der Einrichtungen einer Orgel, desgl. eines Harmoniums. Saug- und Druckluftsystem (amerikanisches und deutsches Harmonium).

5. Stelle noch einmal zusammen, in welche der besprochenen Kategorien von Tonerregern die gebräuchlichen Musikinstrumente zu rechnen sind. Welche haben festliegende Töne, bei welchen wird der Ton erst durch eine Tätigkeit des Spielers festgelegt? Bei welchen werden die Obertöne mit benutzt?

6. Als was werden die sogenannten „Fisteltöne" beim Singen („Kopfstimme") anzusehen sein?

7. Wie erzeugt man beim Pfeifen mit dem Munde die verschiedenen Tonhöhen?

8. Wie kann man mittels eines Grammophons ein von einer Sopranistin gesungenes Lied als Tenorstück hören?

B. Die Ausbreitung des Schalles.

§ 87. Schalleiter (Schallmittel oder Medium) ist in der Regel die Luft, die sich z. B. zwischen einer Glocke, die wir klingen hören, und unserem Ohre befindet.

Daß aber auch tropfbare und feste Stoffe den Schall leiten (ihn „fortpflanzen"), und sogar oft besser als Luft, zeigen folgende

Beobachtungen und *Versuche:* a) Man hört den in der Luft erregten Schall, wenn man unter Wasser schwimmt; ebenso wird das Zusammenschlagen zweier Steine unter Wasser sowohl im Wasser wie in der Luft gehört. Durch Türen, Fenster, Mauern hört man, was jenseits derselben gesprochen wird. Legt man das Ohr auf die Eisenbahnschienen, so kann man das Rollen des noch fernen Zuges vernehmen; *das Ticken einer Uhr hört man durch einen langen Holz- (oder Metall-) Stab, wenn man das Ohr an den Stab legt oder ihn mit den Zähnen faßt. *Hängt man eine Ofenzange, einen Eßlöffel oder dergleichen an Fäden, die um die in die Ohren gesteckten Finger geschlungen sind, so hört man beim Anschlagen das Metall volltönend klingen. — *Wie kann man sich ein Fadentelephon herstellen? — Warum hört man beim Gebrauch eines Fadentelephons den Schall doppelt?

Daß zur Ausbreitung des Schalles ein diesen übertragender Stoff, in der Regel die Luft, erforderlich ist, zeigt

Versuch b): Bringt man unter den Rezipienten einer Luftpumpe ein Läutewerk (eine Glocke), so wird der Schall mit zunehmender Verdünnung der Luft immer schwächer und endlich kaum hörbar (OTTO VON GUERICKE). Wir schließen daraus:

Der Schall pflanzt sich nicht durch den leeren Raum fort.

So würden wir die größten Explosionen, die außer der Erdatmosphäre stattfinden, nicht hören — warum? — Wenn der Versuch b) gelingen soll, muß sich zwischen dem Läutewerk und dem Teller der Luftpumpe Tuch, Kautschuk ... befinden. Es gibt demnach gute und schlechte Schallleiter. Zu den letzteren gehören insonderheit alle porösen Stoffe und lockeren Anhäufungen kleinerer Körper, wie Sand, Wolle u. a. Anwendungen zur Herstellung möglichst schalldichter Wände. Warum tönen bei Schneefall die Glocken, bei starkem Regen der Donner schwächer? Warum „erstickt" man den Schrei mit einer Federdecke?

§ 88. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles. Es ist bekannt, daß man den Schall entfernt stattfindender Ereignisse erst einige Zeit später hört, als man das Ereignis sieht (Beispiele?). — Durch besondere Versuche läßt sich leicht zeigen, daß das Licht für die in Betracht kommenden kleineren Entfernungen (selbst einige Kilometer) eine so unmerklich kleine Zeit gebraucht, daß diese gegenüber der Zeit, die der Schall gebraucht, nicht in Betracht kommt. (Wie kann man solche Versuche anstellen?) — Die zwischen dem Sehen und Hören eines Ereignisses verstreichende Zeit kann daher ohne merklichen Fehler als die Zeit angesehen werden, die der Schall gebraucht, um von dort zum Ohre zu kommen. Vielfach angestellte Versuche haben ergeben:

Der Schall legt in der Luft (bei 0°) 330 m in der Sekunde zurück. Die Schallgeschwindigkeit ist unabhängig von der Art des Schalles, insonderheit der Stärke und der Tonhöhe (woraus geht das hervor?), jedoch abhängig von der Beschaffenheit der Luft (Druck, Temperatur, Feuchtigkeitsgehalt). Sie ist in anderen Stoffen eine andere, in festen und flüssigen Körpern im allgemeinen größer als in Gasen, z. B. im Holz 10- bis 18 mal, im Gußeisen 10 mal, im Wasser 4 mal so groß als in Luft. — In bewegter Luft setzt sich die Schallgeschwindigkeit mit der der Luft zusammen.

§ 89. Erklärung der Ausbreitung des Schalles. Daß bei der Ausbreitung des Schalles die Teilchen des Schalleiters **sich nicht selbst fortbewegen,** ist bei festen und flüssigen Schalleitern ohne weiteres klar. Aber auch bei Gasen kann es sich nur um **Schwingungen der Teilchen um ihre Normallage, nicht** um **Fortbewegung derselben in der Schallrichtung** handeln, wie man z. B. daran erkennt, daß beim Abfeuern einer Kanone der Rauch sich nur allmählich vom Rohre entfernt, während der Schall sich fast so rasch wie die abgefeuerte Kugel bewegt.

**Versuch:* 6 bis 8 Schüler(innen) stellen sich in eine Reihe hintereinander, jeder legt dem vorhergehenden die Hände auf die Schultern. Stößt nun der letzte den vorletzten an, so empfinden alle den Ruck, aber nur der erste fällt nach vorn, und zwar so kurze Zeit nach dem Stoße, daß der letzte unmöglich

in dieser Zeit hätte bis zu ihm laufen können. Ähnliches ist an einer Reihe aufgehängter Kugeln zu beobachten (Abb. 169).

Übungen: *1. Bestimmung der Schallgeschwindigkeit. Man beobachte auf eine längere Entfernung hin einen Vorgang, der zugleich sichtbar und hörbar ist (Axtschlag od. dgl.), stelle mittels einer guten Karte die Entfernung und mit der Stoppuhr die Zeit fest, die zwischen Sehen und Hören vergeht.

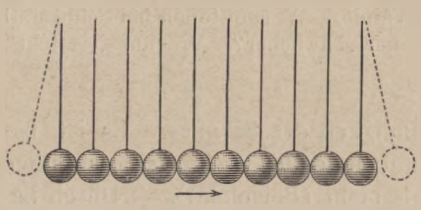


Abb. 169.

2. Wieviel Zeit gebraucht der Schall, um von einem 1400 m entfernten Punkte zu uns zu kommen, wenn ein Wind von 10 m/sec von dort auf den Beobachter zu weht?

3. Sieht man aus hinreichender Entfernung dem Baumfällen zu, so scheint es, als ob nicht das Einschlagen, sondern das Herausziehen der Axt das Geräusch machte. Warum? Wie würde sich die Erscheinung ändern, wenn man in die 2-, 3...fache Entfernung ginge?

4. Kann jemand durch den Knall eines auf ihn abgegebenen Schusses noch gewarnt werden? Durch den Lichtblitz?

5. Warum hört der „Lauscher an der Wand" besser, als wenn er frei im Zimmer steht?

§ 90. Reflexion des Schalles. Aus der bekannten Erscheinung des **Echos** (Widerhalls) an Felsen, Waldrändern u. dgl. schließen wir, daß **der Schall, wenn er aus einem „Mittel" auf ein anderes trifft, an der Grenze zum Teil in das alte Mittel zurückgeworfen (reflektiert) wird.**

**Versuch:* Legt man auf den Boden einer nicht zu dünnen, aufrecht stehenden Pappröhre Watte und darauf eine Taschenuhr, so hört man seitwärts das Ticken schon in ziemlich kleiner Entfernung nicht mehr; es wird aber wieder deutlich hörbar, sobald man oberhalb der Röhre mittels eines schräg gehaltenen Brettes den Schall nach dem Ohre hin reflektiert.

Das Ohr nimmt zwei Schallempfindungen nur dann getrennt auf, wenn dazwischen mindestens $^1/_9$ Sekunde Zeit verflossen ist. Wie weit muß also eine Wand mindestens entfernt sein, damit ein deutliches Echo entstehen kann? Bei kleinerer Entfernung entsteht nur der sogenannte Nachhall. — Wann nennt man Säle, Kirchen, Theater „gut akustisch"? Was ist ein mehrsilbiges, was ein mehrfaches Echo? Wie erklärt sich die schlechte Schallleitung in porösen Körpern (Glocken bei Schneefall)?

§ 91. Resonanz und Mittönen. **Versuche:* a) Eine angeschlagene Stimmgabel tönt in der Hand nur schwach, kräftig dagegen, sobald man sie mit dem Stiel auf den Tisch oder einen hohlen Kasten setzt. — Dasselbe zeigen frei ausgespannte oder auf einem Monochord oder der Violine befestigte Saiten.

b) Stellt man zwei gleichgestimmte Stimmgabeln nebeneinander auf, bringt die eine zum Tönen und hält sie dann an, so hört man die andere weiter tönen.

c) Über einen Standzylinder hält man eine tönende Stimmgabel und gießt dann langsam Wasser ein (Abb. 170), bis ein voller Ton hörbar wird. Bläst man den Zylinder jetzt an, so hört man den Stimmgabelton. (Andere Ausführung des Versuches mit einem beiderseits offenen in Wasser tauchenden Glasrohr oder zwei ineinander verschiebbaren Pappröhren.)

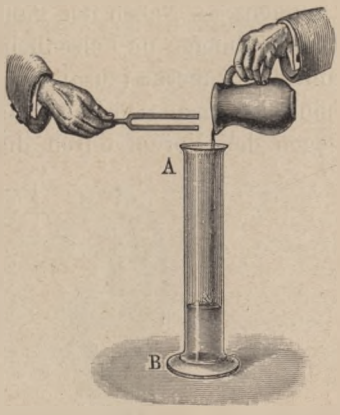


Abb. 170.

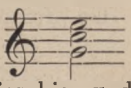
Ein tönender Körper bringt andere in seiner Nähe befindliche Körper zum Mittönen (Resonanz).

Wodurch unterscheidet sich Fall a) wesentlich von Fall b) und c)? In der Physik versteht man unter „Resonanz" zumeist den zweiten (engeren) Begriff, daß der mittönende Körper dieselben „Eigenschwingungen" macht wie der Tonerreger.

Erklärung des Mittönens durch die Summation kleiner Anstöße in passenden Zeitabschnitten.

Versuche mit einem Resonanzkreisel, *mit einem im richtigen Tempo angeblasenen Pendel u. a.

**Resonanzversuche am Klavier:* Hineinsingen bei aufgehobenem Pedal. (Vokale *a, e, i, o, u.*) Drücke die Taste *C* herunter ohne anzuschlagen (bei nicht gehobenem Pedal), schlage dann kräftig *c, g, c' e' g' b' c''* an (die Obertöne).

Umkehrung des Versuchs. Was beweist die im ersten, was die im zweiten Falle eintretende Resonanz? — Drücke ferner *c* ohne anzuschlagen und gib dann kräftig den Dreiklang *g' c'' e''* =  an. Er tönt auf der *c*-Saite deutlich nach. (Wie weist man dies hier und bei den vorigen Versuchen nach?)

Übungen: 1. Warum wird durch Resonanz zwar die Stärke eines Tones erhöht, aber die Dauer verkürzt?

2. Erkläre, warum man beim Singen oder Pfeifen in einem (möglichst leeren) Zimmer vielfach einen bestimmten Ton ganz besonders sehr stark hört.

3. Was bedeutet die Mundhöhle für die Tongebung der menschlichen Stimme? — Stellung der Zunge und des Gaumens bei den verschiedenen Vokalen.

C. Die Wahrnehmung des Schalles.

§ 92. Bau des Ohres [Abb. 171][1]). Von der Ohrmuschel aus führt die Reihe der drei Höhlungen der Schädelwandung: **Gehörgang** (*gg*), **Paukenhöhle** (*ph*), **Eustachische Röhre** (*ot*) bis zum hinteren Teile des Gaumens. — Neben der Paukenhöhle befindet sich eine weitere Gruppe von Höhlungen im Felsenbein: der **Vorhof** (*vh*), die drei **Bogengänge** (*bg*) und die **Schnecke** (zusammen das Labyrinth genannt). — Die Paukenhöhle ist gegen den Gehörgang abgeschlossen durch das **Trommelfell** (*tf*), gegen den Vorhof durch die das **ovale,** gegen die Schnecke durch die

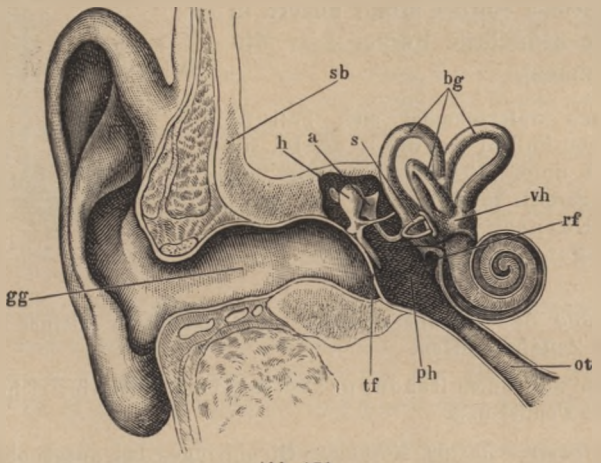


Abb. 171.

das **runde Fenster** (*rf*) überziehende Membran. — Vom Trommelfell erstreckt sich in der Paukenhöhle die Kette der Gehörknöchelchen: **Hammer, Amboß, Steigbügel** (*h*, *a*, *s*) bis an die Membran des ovalen Fensters. — In der Schnecke sind die Endfasern des **Gehörnerven** ausgebreitet.

Im übrigen sind Paukenhöhle, Gehörgang und Eustachische Röhre von Luft, Schnecke, Vorhof und Bogengänge von Gehörwasser erfüllt.

§ 93. Funktion des Ohres. Durch die Erschütterungen der Luft gerät zunächst das Trommelfell, durch dieses die Gehörknöchelchen in Bewegung. Die Schwingungen des Steigbügeltrittes teilen sich durch das ovale Fenster der Labyrinthflüssigkeit mit und werden so

[1]) Zu Abb. 171. Der Maßstab in dieser Abbildung für das innere Ohr ist ein anderer als der für das äußere Ohr. In Wirklichkeit ist das Labyrinth etwa halb so groß.

auf die in der Schnecke ausgebreiteten Endfasern des Gehörnerven übertragen. Damit die Flüssigkeit den Schwingungen frei nachgeben kann, ist noch als zweite nachgiebige Stelle der Labyrinthwand das runde Fenster vorhanden.

Der Gehörnerv leitet den Reiz (nicht etwa die Schwingungen) zum Gehirn fort, wo auf eine uns unerklärliche Weise dann aus körperlichen Vorgängen in den Gehirnzellen, die wahrscheinlich elektrisch-chemischer Natur sind, ein Seelisches, die Schallwahrnehmung, wird.

Es ist bemerkenswert, daß das Ohr imstande ist, von zahlreichen, gleichzeitig ankommenden Tönen jeden einzelnen herauszuhören.

Die Bogengänge stellen keinen Teil des Gehörorgans, sondern ein Gleichgewichtsorgan vor.

Verletzungen und Erkrankungen des Ohres sind sehr häufig, am häufigsten Katarrhe des Mittelohres, die durch die Eustachische Röhre von der Nase aus dahin übertragen werden. Taubheit kann ihren Grund in sehr verschiedenen Fehlern haben (z. B. Verstopfung des Gehörganges, Verdickung des Trommelfells, Zerstörung oder Festwachsen der Gehörknöchelchen, Erkrankung des Labyrinths u. a. m.). — Ohrenleiden sind, auch abgesehen von den lästigen Folgen der Taubheit, leicht gefahrdrohend wegen der Nähe des Gehirns, des Gesichtsnerven u. a. Man soll daher bei jeder Erkrankung des Ohres unverzüglich einen Arzt zu Rate ziehen.

Übungen: 1. Welche Erkrankungen des Ohres bedingen einen vollständigen und unwiederbringlichen Verlust des Gehörs?

2. Auf welche Weise könnte jemand, der durch eine Mittelohreiterung auf beiden Ohren die Gehörknöchelchen verloren hat und dadurch „vollständig taub“ geworden ist, doch noch z. B. das Ticken einer Taschenuhr hören?

3. Warum wird dem Artilleristen empfohlen, beim Abfeuern des Geschützes den Mund aufzumachen?

4. Erkläre, warum man bei kräftigem Schneuzen manchmal einen plötzlichen Ruck im Ohr und ein Klingen hört?

IV. Lichterscheinungen.

§ 94. Licht. Bringen wir in ein vorher finsteres Zimmer eine Kerzenflamme, so sehen wir sowohl an dieser wie an den übrigen Gegenständen des Zimmers Farben, Helligkeit, Gestalt. Was hierbei unser Auge erregt, nennen wir **Licht.**

Nenne verschiedene Farben, Helligkeitsgrade, Gestalten! — Welcher Eindrücke ist ein Blinder beraubt? Worin findet er hierfür teilweisen Ersatz?

§ 95. Einteilung der Körper nach ihrem Verhältnis zum Lichte. 1. Die Kerzenflamme nennen wir **selbstleuchtend,** ebenso andere glühende oder brennende Körper, die Sonne und die Fixsterne; dagegen nennen wir **beleuchtet** solche Körper, welche erst durch andere die Fähigkeit

erhalten haben, das Auge zum Sehen zu erregen. — Körper, die weder selbstleuchtend noch beleuchtet sind, nennen wir **dunkel.**

Beispiele: Die selbstleuchtende Sonne beleuchtet die Planeten und den Mond, diese wieder die Erde. — Weitere Beispiele!

2. Blickt man durch Luft, Wasser oder Glas auf einen selbstleuchtenden oder beleuchteten Körper, so nimmt man ihn ganz deutlich, durch Milchglas und Seidenpapier nur verschwommen, durch Holz und Mauern gar nicht wahr. Man unterscheidet nach der Fähigkeit, Licht durchzulassen, **durchsichtige, durchscheinende** und **undurchsichtige Körper.**

In sehr dünnen Schichten ist selbst Gold (grün) durchscheinend, in sehr dicken Schichten ist Wasser undurchsichtig. — **Versuch:* Befettetes Papier läßt mehr Licht durch als unbefettetes. Warum erscheint ein Fettfleck auf Papier, von der Seite des auffallenden Lichtes betrachtet, dunkler, von der anderen Seite heller als die übrige Papierfläche? (Anwendung s. § 99.)

Übungen: 1. Sind die das Abendrot erzeugenden Wolken selbstleuchtend? Ist „Alpenglühen" ein ganz zutreffender Ausdruck? — 2. Gibt es Körper, die selbst leuchten, ohne daß sie sich auf hoher Temperatur befinden? („Kaltes Licht"). — 3. Vergleiche die Begriffe durchsichtig — undurchsichtig mit Begriffen wie „groß — klein, warm — kalt, laut — leise, schnell — langsam" (relative Begriffe). — 4. Warum kann man in tiefen Gewässern den Grund nicht sehen? Wie verhält sich das Eis gegenüber dem Licht? — 5. Warum sieht eine Rauchglasbrille aus größerer Entfernung fast schwarz aus, während man doch durch sie hindurch ganz gut sieht? — 6. Warum kann man am Tage wohl gut vom Zimmer aus nach draußen, aber schlecht von draußen ins Zimmer sehen, besonders durch dünne Vorhänge?

A. Ausbreitung des Lichtes in einem Mittel.

§ 96. Die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes. Nach alltäglichen Erfahrungen (*Visieren mit zwei durchstochenen Kartenblättern) ist die Spitze einer Kerzenflamme, ein bestimmter Punkt einer Zeichnung von jeder Seite her sichtbar, falls sich in der Geraden zwischen jenem Punkte und dem Auge nicht ein undurchsichtiger Körper befindet.

Versuch: Fällt Sonnenlicht durch eine Öffnung des Fensterladens in ein übrigens ganz verfinstertes Zimmer, so werden diejenigen Teile des Fußbodens, eines Papierblattes, Staub-, Rauchteilchen usw., welche in den von Punkten der Sonne durch Punkte der Öffnung gezogenen Geraden gelegen sind, beleuchtet.

Das Licht breitet sich (in einem überall gleich beschaffenen „Mittel") **in geraden Linien aus.** Diese Geraden heißen **Lichtstrahlen.**

Übungen: Warum kann man nicht „um die Ecke sehen" (wie ist es in dieser Hinsicht mit dem Hören?) — Wie ist es möglich, durch ein Schlüsselloch

eine weite Landschaft zu überblicken? — Kann man einen Lichtstrahl selbst sehen a) von der Seite, b) indem man das Auge in die Richtung des Strahles bringt? Was siehst du in diesen Fällen (z. B. wenn die Sonne „durch die Wolken scheint")?

§ 97. Die Dunkelkammer ohne Linse. **Versuch:* Ein viereckiger, innen mit schwarzem Papier beklebter Kasten hat in der Mitte der einen Seitenwand eine feine Öffnung, die gegenüberliegende Wand ist durch eine Mattglasscheibe oder ein Blatt Seidenpapier gebildet. Richtet man die Öffnung gegen hell leuchtende oder beleuchtete Gegenstände, so erscheinen deren Bilder in umgekehrter Stellung auf der Scheibe (Abb. 172).

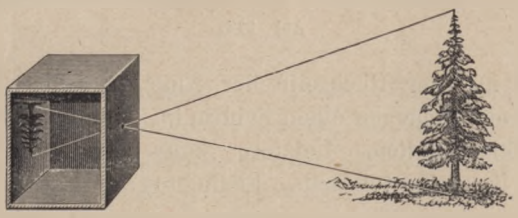


Abb. 172.

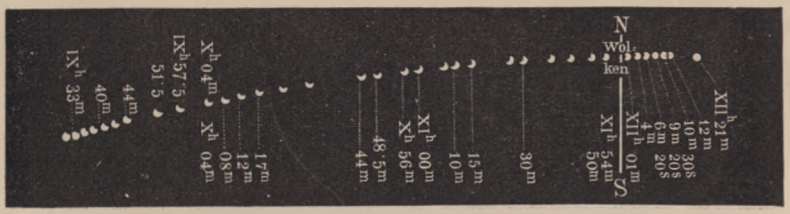


Abb. 173. Verlauf der Sonnenfinsternis vom 17. Juni 1889.

Die Erklärung ergibt sich aus der Abbildung. Jeder leuchtende Punkt des Gegenstandes erzeugt auf der Scheibe einen kleinen Lichtfleck; durch Nebeneinanderlagerung aller so erzeugten Lichtflecke entsteht das Bild.

Übungen: Stelle den Versuch Abb. 172 mit einer Kerzenflamme an; erläutere, in welchem Falle das Bild der Flamme verkleinert, gleich groß oder vergrößert sein wird. — Je kleiner die Öffnung ist, um so schärfer, aber auch um so lichtschwächer werden die Bilder; warum? Bei großen Öffnungen (Fenstern) entstehen hingegen keine deutlichen Bilder. — Wenn die Sonne durch kleine Öffnungen von übrigens beliebiger Form (z. B. runde oder längliche Löcher im Fensterladen, Zwischenräume im Laubwerk der Bäume) scheint, so bilden sich immer runde Lichtflecken; warum? — Läßt man aber während einer Sonnenfinsternis die Sonnenstrahlen durch ein Loch in einem Kartenblatt auf einen Schirm (z. B. die Handfläche) fallen, so kann man auf diesem den ganzen Verlauf der Finsternis verfolgen (Abb. 173); warum? — Läßt sich mit einer Dunkelkammer ohne Linse eine zweite so verbinden, daß das Bild in letzterer aufrecht steht?

§ 98. Schatten. a) Befindet sich auf der einen Seite einer undurchsichtigen Kugel (Abb. 174) eine (annähernd) punktförmige Lichtquelle (S), so bildet sich auf der anderen Seite ein **Schattenraum,** dessen Querschnitt mit der Entfernung von dem Körper zunimmt. — b) Ist die Lichtquelle selbst ausgedehnt, so ist der **Kernschatten,** der gar kein Licht empfängt, von dem **Halbschatten** zu unterscheiden, der nur von einem Teile der Lichtquelle Licht empfängt (Abb. 175). Die



Abb. 174.

dunkle Fläche auf der Rückseite der Kugel B selbst heißt **„Selbstschatten“,** hält man dagegen einen Schirm ($m\,n$) hinter diese, so entsteht darauf der **Schlagschatten.** Letzterer kann ganz Halbschatten oder auch teilweise Kernschatten sein. Bedingung?

Anmerkung: Aus Beobachtungen über den Eintritt eines Jupitermondes in den Kernschatten dieses Planeten gelang es im Jahre 1676 dem schwedischen Astronomen OLAF RÖMER, zum ersten Male die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes zu ermitteln. (Näheres Oberstufe.) Diese beträgt nach neueren Messungen $\sim$ 40000 Meilen oder 300000 km pro Sekunde.

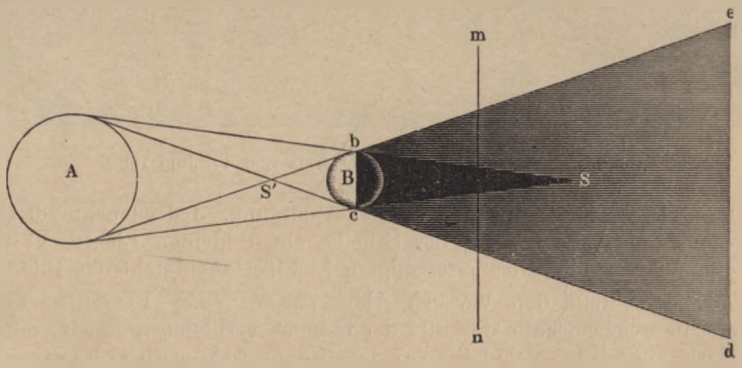


Abb. 175.

Welche Konstruktion ergibt die Schatten? Wie ändern sie sich bei Änderung des Abstandes und der Größe der Kugeln? — *Übungen:* 1. Wie muß man einen Stab halten, damit er einen zu einem Punkt zusammenschrumpfenden Schatten wirft? Bei welcher Stellung des Stabes ist der Schatten am längsten? — 2. Suche an einem guten Landschaftsbild die Kern- und Halbschatten auf. — 3. Wofür ist die Tatsache, daß die bei Mondfinsternissen beobachteten Schatten immer genau kreisförmig sind, ein Beweis? Wie verhält sich das bei Sonnenfinsternissen? — 4. Wie lange Zeit gebraucht

das Licht, um von der Sonne zu uns zu kommen, die 150000000 km von uns entfernt ist? Was bedeutet ein „Lichtjahr"? Wieviel Kilometer ist also der uns nächste Fixstern (α-Centauri) von uns entfernt, wenn diese Entfernung gleich 4,3 Lichtjahren ist? — 5. Inwiefern könnte man sagen, daß längst vergangene Ereignisse noch jetzt gegenwärtig sind? — Umgekehrt, wenn z. B. Sirius (8 Lichtjahre) jetzt plötzlich durch irgend eine Weltkatastrophe vernichtet würde, wann würden wir das wahrnehmen? Wie weit müßte ein Fixstern von der Erde entfernt sein, damit man auf ihm jetzt die Schlacht von Marathon wahrnehmen könnte? — 6. Erkläre die Erscheinungen der totalen, partiellen und ringförmigen Sonnenfinsternis bzw. Mondfinsternis und fertige Zeichnungen oder Modelle dazu an. — *7. Wie kann man mit Hilfe von Schattenmessungen den „Höhenwinkel" der Sonne bestimmen? Obelisken, Gnomon (Anhang I). Wie ändert sich die Schattenlänge mit der Tageszeit und der Jahreszeit?

§ 99. Beleuchtungsstärke. **Versuch:* Halte ein beschriebenes Papierblatt so gegen eine Kerzenflamme, daß deren Strahlen das Blatt (annähernd) senkrecht treffen; 1. neige letzteres nach und nach, bis die Strahlen nahezu parallel zu einer Fläche auffallen; ändere 2. den Abstand zwischen Flamme und Blatt und bringe 3. an die Stelle der einen Kerze, zwei, drei ... Kerzen, eine Lampe. Bei welcher dieser Änderungen wird das Blatt mehr oder weniger hell beleuchtet?

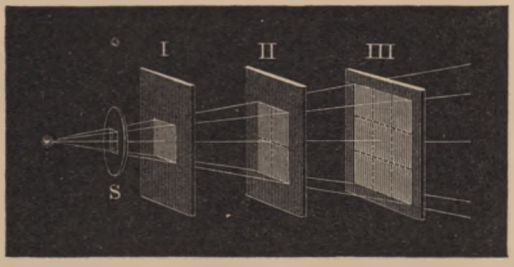


Abb. 176.

Eine Fläche wird um so stärker beleuchtet: 1. je weniger spitz der Winkel ist, den sie mit den sie treffenden Strahlen bildet, 2. je näher sie der Lichtquelle und 3. je stärker die Lichtquelle selbst ist.

Das Gesetz 1 erklärt sich durch dieselben Schlüsse wie die bei der Wärmestrahlung (Abb. 157, 158) gemachten; wiederhole sie! — Die genaueren Größenverhältnisse für die Gesetze 1 und 3 ergeben sich aus folgendem **Versuch* mit BUNSENs „Fettfleckphotometer":

Hinter einem Papierschirm, der in der Mitte einen Fettfleck hat, steht (in einem übrigens ganz lichtlosen Raume) eine Kerze; der Fleck erscheint von vorn gesehen heller als die Umgebung. Eine andere

Kerze werde vor dem Schirm, dem Fleck gerade gegenüber, in solcher Entfernung aufgestellt, daß der Fleck weder heller noch dunkler als die Umgebung erscheint; dann bewirken das gleiche vier ebensolche Kerzen aus doppelter Entfernung. Daher bringt eine Kerze in doppelter Entfernung nur den vierten Teil der vorigen Helligkeit hervor. (Zur genauen Bestimmung der Entfernungen kann man sich der „optischen Bank" bedienen.) Allgemein:

Eine Fläche wird bei 2-, 3-, 4- . . . mal so großem Abstand von der Lichtquelle $^1/_4$, $^1/_9$, $^1/_{16}$ . . . so stark beleuchtet, oder: **die Beleuchtungsstärke nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab.**

Erklärung nach Abb. 176.

Anwendung des beschriebenen sowie anderer Photometer zur Bestimmung der Leuchtkraft vorliegender Lichtquellen, z. B. elektrischer Glühlampen u. a.

Unter einer **„Normalkerze"** versteht man eine Paraffinkerze von 2 cm Durchmesser mit einer Flammenhöhe von 5 cm. Eine Auergaslampe hat ungefähr 50 NK, eine elektrische Bogenlampe 1000 NK und noch mehr.

Übungen: *1. Vergleiche eine Kerzen- und eine kleinere Petroleumflamme mit Hilfe eines selbstangefertigten Fettfleckphotometers (oder eines RUMFORDschen Schattenphotometers).

2. Wie kommt es, daß im hellen Sonnenlicht eine Streichholzflamme auf einen weißen Schirm einen Schatten wirft?

B. Die Reflexion des Lichtes.

§ 100. Das Reflexionsgesetz. Läßt man ein Lichtstrahlenbündel auf die Grenze zweier verschiedener Medien, z. B. von Luft und Wasser (Abb. 177) oder Luft und Glas u. dgl., fallen, so wird es im allgemeinen in zwei Teile gespalten. Das eine wird in das ursprüngliche Medium zurückgeworfen oder **reflektiert**[1]), das andere geht in geänderter Richtung im zweiten Medium weiter, diesen Anteil nennt man den **gebrochenen** Strahl. (Näheres darüber § 104.) Einfallender, reflektierter und gebrochener Strahl liegen mit dem Einfallslot (LL, Abb. 178) in einer Ebene, der Einfallsebene.

Vom Einfallslot aus wird gemessen der **Einfallswinkel** e, der **Reflexionswinkel** r und der **Brechungswinkel** b. — Durch messende *Versuche* mit einem Apparat ähnlich wie in Abb. 177 findet man das Gesetz:

Der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.

Bestätigung durch einen Handversuch mit einem senkrecht aufgestellten Stückchen Spiegelglas und vier Stecknadeln nach Abb. 179, die man so einsteckt, daß man alle vier in gerader Linie hintereinander sieht.

---

[1]) *reflectere* (lat.) = zurückbiegen.

Der **Strahlengang** bei der Reflexion ist **umkehrbar,** d. h. läßt man Licht von *R* her einfallen, so wird es nach *E* hin reflektiert. — Vergleich des Vorganges mit der Reflexion eines Billardballes oder Gummiballes an fester Wand.

Übungen: *1. Wenn die Sonnenstrahlen von einem mit Wasser gefüllten Zuber (Abb. 180 a) an die Decke reflektiert werden, sieht das Spiegelbild so aus, wie Abb. 180 b zeigt. Warum?

*2. Wenn man mittels eines sehr kleinen Stückchens Spiegelglas die Sonnenstrahlen reflektiert, so erhält man ein rundes Sonnenbildchen, einerlei welche Gestalt das Glas hat. Warum? (Vgl. § 97.) Wie wird das bei einer Sonnenfinsternis?

*3. Beweise, daß bei Drehung der reflektierenden Fläche um α^0 der reflektierte Strahl sich um $2\alpha^0$ dreht und bestätige das durch **Versuche.*

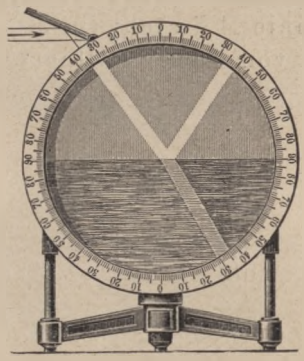


Abb. 177.

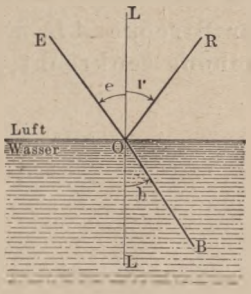


Abb. 178.

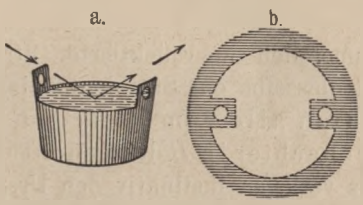


Abb. 180.

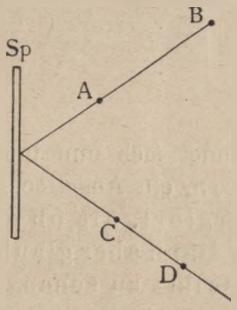


Abb. 179.

§ 101. Spiegel. Optische Bilder. Glatte, das Licht reflektierende Flächen nennt man **Spiegel.** Man erblickt in ihnen die „Spiegelbilder" lichtaussendender Körper. — Man unterscheidet **ebene** (Plan-) Spiegel und gekrümmte Spiegel, unter den letzteren sind wichtig hauptsächlich die **sphärischen**[1]) Spiegel, welche Teile einer spiegelnden Kugelfläche

[1]) *sphaira* (griech.) = Kugel.

sind, sowie die parabolischen, d. h. spiegelnde Flächen, die durch Umdrehung einer Parabel um ihre Achse entstehen. Je nachdem die äußere oder innere Seite eines gekrümmten Spiegels reflektiert, unterscheidet man Hohlspiegel (Konkavspiegel) und Konvexspiegel.

Die besten Spiegelflächen sind die Oberflächen von schwarzem Glas und von Metallen (Ag, Hg, Stahl); die gewöhnlich Spiegel genannten Geräte besitzen zwei spiegelnde Flächen. Inwiefern? Welcher Nachteil ist damit verbunden? (*Übung* 1.)

a) Konstruiert man (Abb. 181) zu allen von einem leuchtenden Punkte A auf einen ebenen Spiegel S fallenden Strahlen die reflektierten Strahlen gemäß dem Reflexionsgesetz, so findet man, daß sich die Rückverlängerungen derselben alle in einem Punkte B schneiden, der hinter dem Spiegel liegt, und zwar ist der Spiegel die **Symmetrieebene** der Strecke AB, d. h. die Linie AB steht (in H) auf der Spiegelebene senkrecht und wird von dieser halbiert.

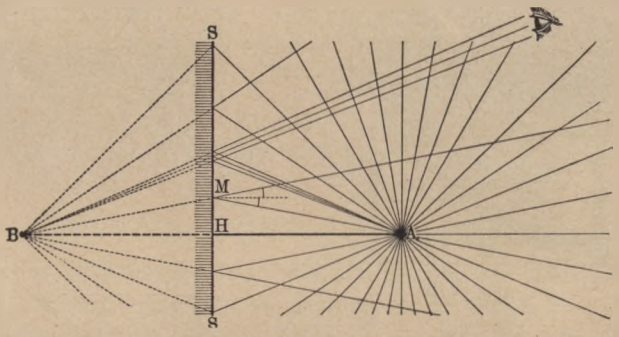


Abb. 181.

Befindet sich nun in dem Raume, den die reflektierten Strahlen durchsetzen, ein Auge, so gelangt in dasselbe ein Strahlenbündel, das so divergiert, als ob die Strahlen alle vom Punkte B herkämen. Dann aber glaubt der Beobachter in B den leuchtenden Punkt selbst zu sehen. Denn wir verlegen instinktiv den Ursprung des unser Auge erregenden Lichtes dahin, von wo die Strahlen auszugehen scheinen. Wir haben also in B ein sogenanntes **optisches Bild** des leuchtenden Punktes A, und zwar nennt man das Bild in diesem Falle ein **virtuelles**[1]) Bild oder **Scheinbild** (im Gegensatz zum reellen, s. § 102).

b) Konstruiert man ebenso für alle Punkte eines leuchtenden Gegenstandes die Spiegelbilder, so erkennt man leicht (Abb. 182) die Richtigkeit des allgemeinen Satzes:

[1]) *virtuel* (franz.) = wirkungsfähig.

Das Bild eines Gegenstandes (leuchtenden Punktes) in einem ebenen Spiegel liegt symmetrisch zum Gegenstand (Punkte) in bezug auf die Spiegelebene.

Übungen: 1. Erkläre, warum man in einem dickeren Toilettespiegel von einer Kerzenflamme neben dem Hauptspiegelbild auf der einen Seite noch eins, auf der anderen Seite eine ganze Reihe schwächerer Spiegelbilder sieht?

2. Wodurch unterscheiden sich Gegenstand und Spiegelbild voneinander? (Rechte und linke Hand, Spiegelschrift, Uhr im Spiegel u. a.) — Wie verhält sich das bei einem wagerecht liegenden Spiegel?

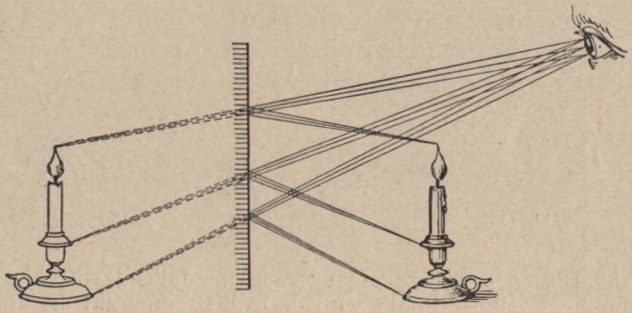


Abb. 182.

3. Woran kann man erkennen, ob ein im Wasser eingerammter Pfahl genau lotrecht steht?

*4. Stelle eine Kerzenflamme zwischen zwei parallele Spiegel. Erkläre die auftretende (unendliche) Reihe von Spiegelbildern. Stelle dann die Spiegel im Winkel zueinander (Kaleidoskop). Wie groß ist die Zahl der Bilder einschließlich des Gegenstandes?

*5. Wenn A das Spiegelbild des B mit dem Blicke fixiert, so sieht sich auch B von dem Spiegelbilde des A angeblickt. Warum?

*6. Warum kann man sein eigenes Profil nicht im Spiegel sehen. Wie muß man es anfangen, um es zu sehen?

7. Am Prebersee bei Tamsweg (Salzburg) findet jährlich Scheibenschießen statt, wobei nicht auf die Scheibe selbst, sondern von dem ihr gegenüberliegenden Ufer aus auf den Seespiegel gezielt wird; die Kugel prallt nun von diesem ab und schlägt dann in die Scheibe. Es werden nicht selten fast ebenso gute Treffer gemacht wie beim direkten Zielen. Auf welchen Punkt des Spiegelbildes der Scheibe muß gezielt werden, falls die Senkung der Kugel infolge der Schwere außer acht gelassen wird? — Ähnlich das *„Rikochettieren" von Steinen am Wasserspiegel.

§ 102. Hohlspiegel. Reelle Bilder. 1. Befindet sich ein leuchtender Punkt im Krümmungsmittelpunkt O eines sphärischen Hohlspiegels, so werden alle Strahlen in sich selbst reflektiert. Warum?

2. Rückt der leuchtende Punkt A von O fort auf der Achse des Hohlspiegels, so lehrt eine hier nicht anzustellende mathematische Betrachtung

und der *Versuch* bestätigt es, daß auch dann noch alle am Hohlspiegel reflektierten Strahlen angenähert gegen einen Punkt B hin konvergieren (Abb. 183) oder von einem Punkte B hinter dem Spiegel her zu divergieren scheinen (Abb. 184).

3. Die Grenze zwischen beiden Fällen bildet der Fall, daß der leuchtende Punkt sich in F, dem Mittelpunkt von OH, befindet. Alsdann treten die reflektierten Strahlen parallel zur Spiegelachse aus. Um-

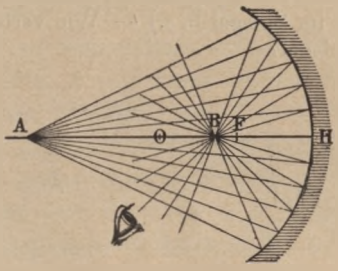


Abb. 183.

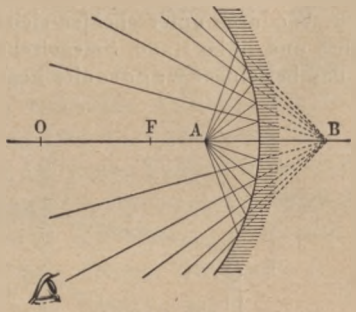


Abb. 184.

gekehrt (Abb. 185) gehen parallel zur Achse einfallende Strahlen nach der Reflexion durch F. Dieser Punkt wird deshalb **Brennpunkt** des Hohlspiegels genannt. (*Versuch.*) Er halbiert den „Hauptradius" des Hohlspiegels.

Bewegt sich der leuchtende Punkt von F über O nach dem Unendlichen, so bewegt sich das Bild von ∞ über O nach F.

In diesen Fällen entsteht ein **reelles Bild** des leuchtenden Punktes, da die Strahlen wirklich in dem Punkte B zusammenlaufen, von dem das Auge sie herkommen sieht (Abb. 183). — Bewegt sich dagegen der leuchtende Punkt über F hinaus nach dem Spiegel zu, so entsteht (Abb. 184) nur ein **Scheinbild.**

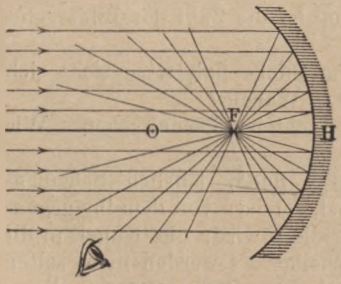


Abb. 185.

Alle diese Sätze kann man auf ausgedehnte Objekte übertragen und die Bilder derselben danach im voraus konstruieren. (*Übungen.*) Sie sind aber nur angenähert richtig. Hingegen ist bei einem parabolischen Hohlspiegel die Konvergenz von Parallelstrahlen im Brennpunkt vollkommen.

Anwendung der sphärischen Hohlspiegel zu allerlei optischen Täuschungen (Blumenstrauß in leerer Vase), zu Spiegelteleskopen (Fernrohren); der parabolischen zu Scheinwerfern.

Übungen: 1. Konstruiere das Bild einer Strecke AB, die auf der Hohlspiegelachse senkrecht steht, indem du sowohl von B als von A je zwei Strahlen ziehst, einen durch O, einen parallel zur Achse, und berücksichtigst, daß der erstere in sich selbst, der zweite durch F reflektiert werden muß. — Verschiedene Lagen von AB.

2. Ein Konvexspiegel liefert nur virtuelle Bilder. Warum? Konstruktion?
3. Wie kann man den Kugelradius (Krümmungsradius) eines Hohlspiegels am einfachsten experimentell bestimmen? (Zwei Wege.)

§ 103. Unregelmäßige Reflexion. *Beobachtungen:* Blickt man nachts auf den Wasserspiegel eines bewegungslosen Teiches, so sieht man wohl die Bilder der Sterne, aber nicht die spiegelnde Fläche selbst. Kräuselt sich dagegen der Wasserspiegel, so verschwimmen die einzelnen Lichtpunkte ineinander und die Fläche wird dem Auge sichtbar. — Ähnlich können wir uns alle nicht spiegelnden Oberflächen aus sehr kleinen spiegelnden Flächenstückchen zusammengesetzt denken und schließen:

Eine rauhe Fläche **reflektiert** das auffallende Licht nach allen Seiten **„unregelmäßig"**, so daß die einzelnen Teilchen der Oberfläche sich wie selbstleuchtende Punkte verhalten und dadurch sichtbar werden.

Diese Erklärung wird bestätigt durch folgenden **Versuch:* Man halte zwischen das Fenster und ein Blatt farbigen Papiers die Hand oder ein weißes (nicht durchscheinendes) Blatt. Dieses erscheint dann auf der dem farbigen Papier zugekehrten Seite farbig beleuchtet. Ein dazwischengebrachter Stab wirft einen sehr verschwommenen Schatten. Ähnlich sind die verschwommenen Schatten zu erklären, welche man von vorüberziehenden Menschen, Wagen, Wolken u. a. oft an der Zimmerdecke beobachtet.

Erkläre ferner das BUNSENsche Fettfleckphotometer (§ 99) sowie die Undurchsichtigkeit von Schnee und Glaswolle, da doch Wasser (Eis) und Glas durchsichtig sind. — Was sieht man eigentlich, wenn man „einen Gegenstand sieht"? — Wie kann man ohne Spiegel in eine dunkle Ecke das Tageslicht hineinfallen lassen?

C. Die Brechung des Lichtes.

§ 104. Das Brechungsgesetz. Bei dem in § 100 beschriebenen Versuch möge der Lichtstrahl gerade die Mitte der Wasseroberfläche treffen und diese selbst durch die Achse des zylindrischen Gefäßes gehen, so daß ihre Spur in der Zeichnung ein Durchmesser des Kreises wird. Es sei also in Abb. 186 AO der einfallende, OB der gebrochene Strahl. Einfalls- und Brechungswinkel α und β sind dann in gesetzmäßiger Weise miteinander verbunden.

Eine Versuchsreihe ergibt beispielsweise:

$\alpha =$	0	15	30	45	60	75	88	90^0 (streifender Einfall),
$\beta =$	0	11	22	32	$40^1/_2$	$46^1/_2$	$48^1/_2$	$48^1/_2{}^0$.

Man hat lange vergeblich versucht, ein Gesetz aus derartigen Versuchsreihen zu gewinnen. Die Auffindung gelang endlich einem jungen Professor in Leiden, **Snell van Royen** (gen. **Snellius**, 1591—1626). In einer etwas anderen

Fassung wurde das Gesetz dann bald darauf von **Descartes**[1]) veröffentlicht. Die folgende Fassung lehnt sich an die von DESCARTES gegebene an. Sie lautet:

Die Projektionen gleich langer Stücke des einfallenden und des gebrochenen Strahles auf die Trennungsfläche der beiden Medien stehen in einem bestimmten Verhältnis, dem sogenannten Brechungsverhältnis, das für je ein Paar Medien bei allen Einfallswinkeln gleichbleibt.

Sind in Abb. 186 MO und ON die Projektionen von AO und OB auf den Wasserspiegel SS', so ist der Quotient $\frac{MO}{NO} = n$ eine für die Kombination Luft—Wasser ein für allemal feststehende Zahl (in diesem Falle etwa $^4/_3$).

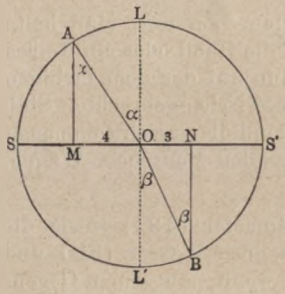


Abb. 186.

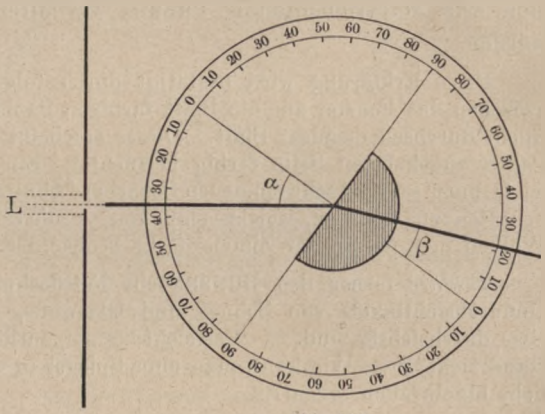


Abb. 187.

Bestätigung des Gesetzes durch Versuche an der „optischen Scheibe" (Abb. 187). Für Luft—Glas beträgt n ungefähr $^3/_2$. Erkläre, warum an der krummen Oberfläche des Glashalbzylinders keine neue Brechung eintritt.

Der Strahlengang ist auch hier umkehrbar, d. h. Einfalls- und Brechungswinkel können vertauscht werden. (*Versuche* an der Scheibe.) Es ist dann $n_{\text{Glas—Luft}} = {}^2/_3$.

Es gilt ferner für drei verschiedene Medien die Beziehung $n_{12} \cdot n_{23} = n_{13}$. Berechne danach das Brechungsverhältnis für Wasser—Glas.

Wie ist die **Konstruktion des gebrochenen Strahles** zu einem gegebenen einfallenden Strahle bei bekanntem n (z. B. $= {}^4/_3$) auszuführen (nimm $\alpha = 15$, 20, 30^0 usw.)?

Merke: Ist $n > 1$, so wird der Strahl **zum Einfallslot hin** gebrochen, ist $n < 1$, **vom Einfallslot weg.** (Optisch dichteres und dünneres Mittel.)

[1]) RENÉ DESCARTES (CARTESIUS), berühmter Philosoph und Mathematiker, 1596—1650.

§ 105. Totalreflexion. Konstruiert man umgekehrt etwa für Glas—Luft ($n = {}^2/_3$) den Winkel α bei gegebenem β (Abb. 186), so wird oberhalb einer gewissen Grenze von β die Lösung unmöglich. *Versuche* ergeben, daß in diesem Falle der Lichtstrahl überhaupt nicht vom dichteren in das dünnere Mittel übergeht, sondern an der Grenzfläche **„total reflektiert"** wird (Abb. 188). Stelle durch Konstruktion für Glas—Luft oder Wasser—Luft den „Grenzwinkel" fest.

Erkläre hiernach den *Silberglanz eines leeren in Wasser getauchten, schräg von oben betrachteten Reagenzgläschens sowie mancher Wassertiere, die von Luftblasen umgeben sind. (Luftspiegelungen.)

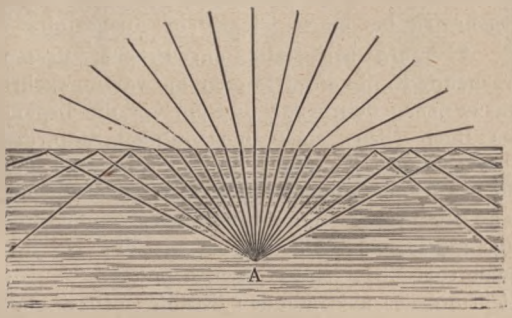


Abb. 188.

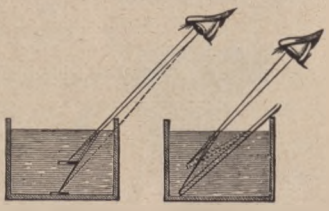


Abb. 189a. Abb. 189b.

Übungen: 1. Was bedeutet der Fall $\alpha = 0$, $\beta = 0$?

2. n für Luft—Schwefelkohlenstoff ist ungefähr 1,64; für Luft—Kronglas etwa 1,52 (Na—Licht). Ist Schwefelkohlenstoff optisch dichter oder dünner als Glas? Wie groß ist n für Schwefelkohlenstoff—Glas?

*3. Ein schräg ins Wasser gehaltener Stab erscheint geknickt. Wo? In welcher Richtung? Erklärung? (Abb. 189b.) Warum erscheint der Stab nicht geknickt, wenn er gerade ins Wasser gehalten wird?

*4. Eine Münze, die durch den Rand eines Gefäßes dem Auge gerade noch verdeckt wird, wird sichtbar, wenn man Wasser in das Gefäß gießt. Erklärung s. Abb. 189a.

5. Wenn man in einem flachen Teiche mit ebenem Boden rudert, glaubt man, in einem Kanal zu fahren, der etwas weiter weg viel zu seicht wäre. Erklärung?

6. Erkläre das Flimmern entfernter Gegenstände an heißen Sommertagen oder beim Hindurchblicken durch den von einer Lampe, einem Ofen aufsteigenden warmen Luftstrom.

7. Wo sieht ein Fisch einen am Ufer stehenden Gegenstand?

§ 106. Durchgang des Lichtes durch Platten und Prismen. Ein durchsichtiger Körper, unter dessen Begrenzungsflächen mindestens zwei Ebenen vorkommen, wird eine **planparallele Platte** (Abb. 190) genannt, wenn jene Ebenen **parallel,** dagegen ein (optisches) **Prisma**

(Abb. 191), wenn sie gegeneinander **geneigt** sind. Bei letzterem heißt die Durchschnittslinie der beiden Ebenen die **brechende Kante,** der Neigungswinkel der Ebenen der **brechende Winkel** des Prismas.

**Versuch* a): Blicke schräg durch eine Platte aus Spiegelglas, die auf einem Papierblatt so liegt, daß eine auf diesem gezogene Gerade zum Teil vorragt! Der bedeckte Teil der Geraden scheint um so mehr von seiner wirklichen Stelle verschoben, je dicker die Platte ist und je schräger die Strahlen hindurchgehen. — Was geschieht mit Strahlen, die die Platte senkrecht treffen? — Wie läßt sich dieser Versuch zu einer **Bestimmung des Brechungsexponenten* bei einem Glaswürfel ausgestalten?

Abb. 190.

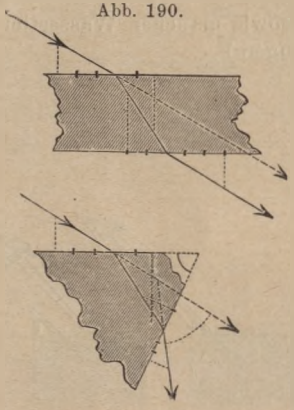


Abb. 191.

**Versuch* b): Halte ein Prisma, dessen brechende Kante abwärts oder aufwärts gekehrt ist, zwischen dein Auge und ein vor dir liegendes Buch (bzw. einen horizontalen Stab des Fensterkreuzes)! Mußt du, um ein Bild des Buches (Stabes) durch das Prisma zu erblicken, den Blick gegen eine tiefer oder gegen eine höher gelegene Stelle richten als die, wo das Buch (der Stab) selbst sich befindet? — Die Richtung des austretenden Strahles erhält man durch zweimalige Anwendung der Brechungskonstruktion (Abb. 190 und 191). Man findet:

a) **Beim Durchgang durch eine planparallele Platte wird ein Lichtstrahl nur seitlich verschoben, aber nicht aus seiner Richtung abgelenkt.**

b) **Durch die Brechung in einem Prisma wird die Richtung eines Strahles geändert,** und zwar so, daß der austretende Strahl gegen die dickere Seite des Prismas abgelenkt und somit das Bild der Lichtquelle immer gegen die brechende Kante des Prismas hin verschoben erscheint.

Ändert der einfallende Strahl die Richtung, so ändert der austretende Strahl ebenfalls die Richtung, und zwar in demselben Drehungssinn.

An einem Glasprisma ist auch sehr schön die Erscheinung der Totalreflexion (§ 105) wahrzunehmen. Wodurch unterscheiden sich die durch Totalreflexion erzeugten von den durch Brechung erzeugten Bildern?

Über die bei der Brechung durch ein Prisma zugleich eintretende Farbenzerstreuung s. § 115 ff.

§ 107. Linsen[1]. Ein Stück Glas (Bergkristall, Eis, Steinsalz) sei begrenzt durch Teile zweier Kugelflächen. Diese Flächen wenden bei

[1]) Bei Optikern sind meistens für geringen Preis Linsen zu bekommen, die, für andere Zwecke unbrauchbar geworden, doch dem Anfänger sehr gut erlauben, die oben bespochenen *Versuche zu wiederholen, ja leidliche Dunkelkammern, Mikroskope, Fernrohre usw. selbst anzufertigen.

der **Bikonvexlinse** (Abb. 192) ihre erhabenen, bei der **Bikonkavlinse** (Abb. 195) ihre hohlen Seiten nach außen. Durch die Mittelpunkte der beiden Kugelflächen geht die **Achse** der Linse; ihre Radien heißen Krümmungsradien der Linse.

Die Linsen lenken Lichtstrahlen beim Ein- und Austritt durch Brechung ab, ähnlich einer Reihe von Prismen (Abb. 198 bis 201). Man erkennt leicht, daß jede konvexe Linsenfläche sammelnd auf ein Strahlenbündel wirkt, jede konkave zerstreuend. Meist werden deshalb als **Sammellinsen bikonvexe,** als **Zerstreuungslinsen bikonkave** gebraucht. Allgemein gilt aber, daß jede Linse Sammel- oder Zerstreuungslinse ist, je nachdem ob sie in der Mitte oder am Rande dicker ist.

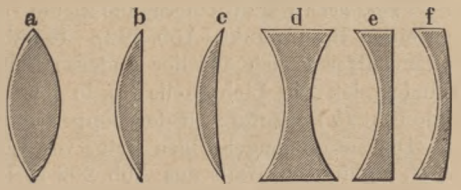
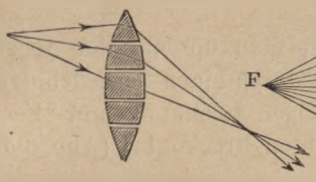


Abb. 192 bis 197.

Versuche* a): Lassen wir ein Bündel Sonnenstrahlen **parallel zur Achse einer **Sammellinse** einfallen (z. B. wie in Abb. 199 von rechts her), so treten sie auf der anderen Seite aus der Linse als ein Strahlenkegel aus, in dessen Spitze (*F*) die stärkste Licht- und Wärmewirkung beobachtet wird. Der Gang der Lichtstrahlen läßt sich in staubiger Luft, Rauch usw. gut wahrnehmen; man nennt *F* einen **Brennpunkt** der Linse und seinen Abstand von ihr die **Brennweite.**


Abb. 198.

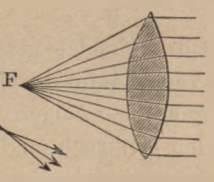
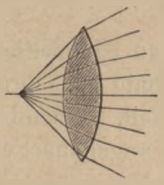
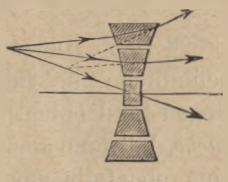


Abb. 199.


Abb. 200.


Abb. 201.

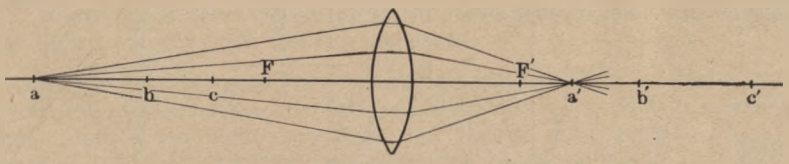


Abb. 202.

I. Parallelstrahlen gehen durch den jenseitigen Brennpunkt der Linse.

Schwächer gekrümmte Linsen (und solche aus schwächer brechenden Stoffen) haben größere Brennweiten. — Jede Linse hat zwei Brennpunkte. Die beiden Brennweiten sind gleich groß, auch wenn die beiderseitigen Krümmungen verschieden sind. **Versuch:* Messung der Brennweite.

Daraus, daß der Brechungsvorgang umkehrbar ist (§ 104), folgt sofort:

II. Strahlen, die von dem einen Brennpunkt aus auf die Linse fallen, treten auf der anderen Seite parallel aus.

Bestätigung durch **Versuch* b): Bringt man in den einen Brennpunkt eine kleine Lichtquelle und stellt auf der anderen Seite einen Schirm auf, so ist der auf diesem entstehende Lichtkreis so groß wie die Linse und ändert seine Größe nicht, wenn man den Abstand des Schirmes ändert (vgl. Abb. 199).

**Versuch* c): Man nähere eine kleine Lichtquelle aus größerer Entfernung dem einen Brennpunkt (Abb. 202). Je näher man die Lichtquelle rückt, desto weiter entfernt sich auf der anderen Seite der Bildpunkt vom Brennpunkt. Befindet sich die Lichtquelle (b) in der doppelten Brennweite, so liegt der Bildpunkt (b') ebenfalls in der doppelten Brennweite.

Die zusammengehörigen Örter von Lichtquellen (a, b, c) und Bildpunkten (a', b', c') sind ebenfalls aus Abb. 202 ersichtlich. — Ergebnis:

III. Liegt der leuchtende Punkt auf der Achse der Linse außerhalb der Brennweite, so konvergieren die Strahlen auf der anderen Seite der Linse und kreuzen sich in einem Punkte der Achse.

**Versuch* d): Man bringe die Lichtquelle zwischen Brennpunkt und Linse. Verfährt man wie in Versuch b), so wird der Lichtkreis auf dem Schirme um so größer, je weiter man ihn von der Linse entfernt. (Vgl. Abb. 200.)

IV. Liegt der leuchtende Punkt zwischen Brennpunkt und Linse, so treten die Strahlen divergent aus.

§ 108. Bilder an Sammellinsen. Ersetzt man die auf der Achse befindliche punktförmig gedachte Lichtquelle durch einen ausgedehnten Gegenstand (Lichtpfeil, Kerzenflamme), so zeigen Rechnung und **Versuche*, daß dann auch angenähert einer senkrechten Strecke AA' (Abb. 203) eine ebenfalls zur Achse senkrechte Bildstrecke BB' entspricht, die

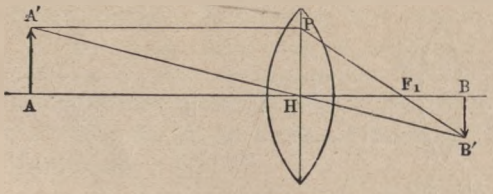


Abb. 203.

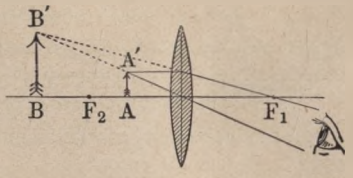


Abb. 204.

der ersteren entgegengesetzt gerichtet ist, falls der Gegenstand außerhalb der Brennweite liegt. — Liegt er jedoch innerhalb der Brennweite (Abb. 204), so erhält man von AA' ein virtuelles, nicht umgekehrtes Bild BB' auf derselben Seite der Linse.

Das Bild kann in jedem Falle konstruiert werden, indem man berücksichtigt, daß a) ein zur Achse paralleler Strahl jenseits durch den Brennpunkt geht, b) der durch den Mittelpunkt der Linse gehende Hauptstrahl nicht abgelenkt wird. (Warum? Von der geringen Parallelverschiebung kann man absehen.) Achtet man noch auf die Größe der sich ergebenden Bilder, so ergibt sich folgende Zusammenfassung, wenn D den Punkt in der doppelten Brennweite bezeichnet.

Entfernung des Gegenstandes	Entfernung des Bildes	Art des Bildes	Größe des Bildes	Lage des Bildes
außerhalb D	zwischen F und D	reell	verkleinert	umgekehrt
in D	in D	reell	gleich groß	umgekehrt
zwischen D und F	außerhalb D	reell	vergrößert	umgekehrt
innerhalb F	auf derselben Seite jenseits F	virtuell	vergrößert	aufrecht

Sprich diese Ergebnisse in einzelnen Sätzen aus!

§ 109. Bilder an Zerstreuungslinsen. Hauptsatz: Parallelstrahlen werden durch eine Zerstreuungslinse so abgelenkt, als ob sie von einem Punkte auf der Einfallseite divergierten („negativer Brennpunkt") (Abb. 205).

Konstruiert man hiernach und mit Berücksichtigung dessen, daß der Hauptstrahl wieder unverändert durchgeht, das Bild einer Strecke AA' (Abb. 206), so ergibt sich leicht, wie auch der Versuch bestätigt:

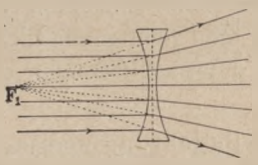


Abb. 205.

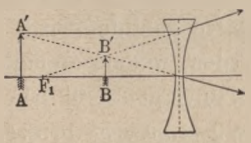


Abb. 206.

Bilder durch Zerstreuungslinsen sind stets virtuell, aufrecht, verkleinert und liegen auf der Seite des Gegenstandes.

Übungen: 1. Konstruiere die Bilder einer Strecke AA' in bezug auf eine Linse (durch einen senkrechten Strich hinreichend angedeutet) in verschiedenen Lagen zum Brennpunkt mit Hilfe des Haupt- und Parallelstrahles und des als bekannt angenommenen Brennpunktes.

2. Wie findet man umgekehrt in einer solchen Abbildung (wie z. B. Abb. 204) den Brennpunkt, wenn Gegenstand und Bild gegeben sind?

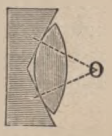


Abb. 207.

*3. Stelle dir aus Kartonpapier eine Vorrichtung her, mit der man den Krümmungsradius einer Linse bestimmen kann (Abb. 207). Erklärung des Verfahrens? Bestimme die Brennweite und vergleiche sie mit dem Krümmungsradius!

*4. Wie wirkt eine Kombination von zwei dicht hintereinander aufgestellten Linsen, a) wenn beide von gleicher Art, b) von ungleicher Art sind?

*5. Kann ein Uhrglas als Linse wirken? — Wie kann man mit zwei Uhrgläsern eine Linse herstellen?

*6. Stelle die Brennweite einer Linse fest, indem du die Beziehung benutzt, daß für die doppelte Brennweite Bild und Gegenstand gleich groß sind.

§ 110. Anwendungen einfacher Sammellinsen. 1. Die Anwendung der Sammellinse als „Brennglas" und als Beleuchtungslinse, sowie die als **Lupe** (Fall 4) ist bekannt.

2. Die **Camera obscura**[1]), kurzweg Kamera genannt, besteht aus einem inwendig geschwärzten Kasten, dessen Rückwand aus Mattglas oder durchscheinendem Papier gebildet wird. Auf diesem entwirft eine in der Vorderwand angebrachte und verstellbare Linse ein Bild außen befindlicher Gegenstände (Abb. 208). Der **photographische Apparat**

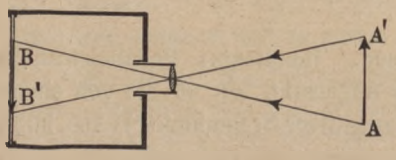


Abb. 208.

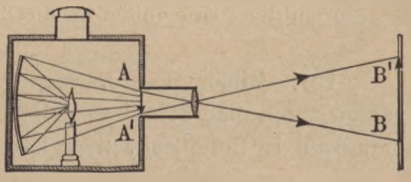


Abb. 209.

ist eine Kamera, bei der statt der Linse (des „Objektivs") die Rückwand beweglich ist. Diese, die zunächst beim Einstellen von einer Mattglasplatte gebildet wird, kann durch eine lichtempfindliche Platte ersetzt werden, welche zunächst in einer dicht schließenden schwarzen „Kassette" untergebracht ist.

Der photographische Prozeß: Durch die Belichtung werden die in der Platte enthaltenen Silbersalze (Ag Br, Ag Cl) spurenweise reduziert. Dieser Prozeß wird durch die Entwicklerflüssigkeit (Hydrochinon, Metol) an den belichteten Stellen fortgesetzt, bis sich hinreichend viel schwarzes metallisches Silber ausgeschieden hat. Die noch unzersetzten Salze werden dann durch Fixiersalzlösung (Natriumthiosulfat, $Na_2S_2O_3$) ausgewaschen, womit das „Negativ" fertig ist. Dieses wird nunmehr kopiert, indem man lichtempfindliches Papier durch das Negativ hindurch belichtet, die Kopie wird abermals fixiert und noch durch ein Bad von Gold- und Platinsalzen „getönt". (Meist im „Tonfixierbad" beides zusammen.) „Diapositive" sind auf Glasplatten kopierte Bilder, die zu Projektionszwecken dienen. Welche Teile des Prozesses müssen im verdunkelten Raume vorgenommen werden?

3. **Die Zauberlaterne (Laterna magica)** und **der Projektionsapparat** [Skioptikon][2]) bilden die Umkehrung der Kamera, insofern hier der

[1]) *obscurus* (lat.) = dunkel.
[2]) *skia* (griech.) = Schatten.

Gegenstand drinnen, das Bild draußen liegt. Die Einrichtung der ersteren ist aus der Abb. 209 ersichtlich. Beim Projektionsapparat wird das Licht der möglichst hellen Lichtquelle (Sonne, Bogenlampe, Zirkonlicht) durch besondere „Kondensorlinsen“ [1]) auf den Gegenstand konzentriert, von dem dann das „Objektiv“ ein stark vergrößertes umgekehrtes Bild entwirft.

Übungen: Wie muß man die beweglichen Teile der angeführten Apparate verschieben, um stärkere Vergrößerung bzw. deutliche Einstellung zu erzielen? Woran erkennt man bei Gebrauch einer Lupe, daß dieselbe in zu große Entfernung vom Objekt gehalten wird? Welche Nachteile bringt die starke Lichtkonzentration beim Projektionsapparat mit sich? (Abhilfe?) — Mit welchem Nachteil muß ferner die stärkere Vergrößerung hier wie in jedem Falle erkauft werden?

§ 111. Anwendungen von Linsensystemen (Mikroskop und Fernrohre).

1. **Das Mikroskop** [2]) (Erfinder: ZACHARIAS JANSSEN, um 1590 in Holland) besteht aus einem stark gekrümmten Objektiv *ab* (Abb. 210) und einem Okular *cd*. Von dem Gegenstand *rs* entwirft das Objektiv das vergrößerte reelle Bild *RS*, das als abermals vergrößertes virtuelles Bild *R′S′* durch die „Lupe“ *cd* betrachtet wird.

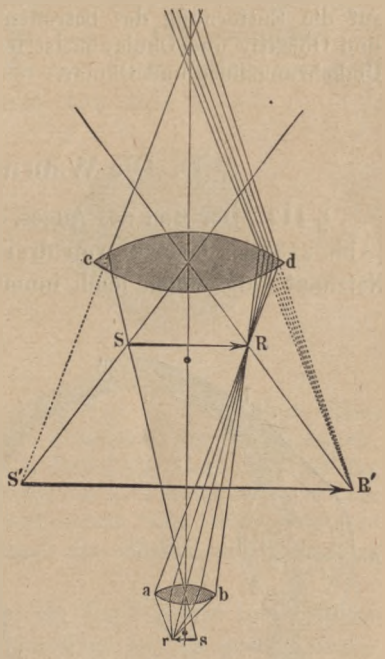


Abb. 210.

2. **Das Keplersche oder astronomische Fernrohr** ist im Prinzip ebenso gebaut wie das Mikroskop, jedoch besitzt hier das Objektiv eine sehr große Brennweite. (Warum?) Den Strahlengang zeigt Abb. 211. Die Bilder des Mikroskops und des astronomischen Fernrohrs sind umgekehrt.

3. **Das terrestrische Fernrohr und das Prismenfernrohr** vermeiden diesen Übelstand durch Einschaltung einer dritten Linse bzw. eines Systems total reflektierender Prismen, wodurch das Bild *ab* (Abb. 211) vor der Betrachtung durch das Okular noch einmal umgekehrt wird.

4. **Das Galileische oder holländische Fernrohr** (erfunden 1608 von einem holländischen Brillenmacher, selbständig nacherfunden von GALILEI) liefert direkt aufrechte Bilder. Als Okular dient hier eine Zerstreuungslinse, welche die vom Objektiv gesammelten Strahlen vor ihrer Vereinigung

[1]) *condensare* (lat.) = verdichten.
[2]) *mikrós* (griech.) = klein.

zu dem Bilde ba (Abb. 212) divergent macht und so ein virtuelles aufrechtes Bild $a'b'$ erzeugt (Operngucker, Feldstecher).

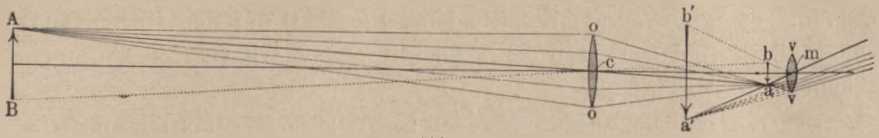


Abb. 211.

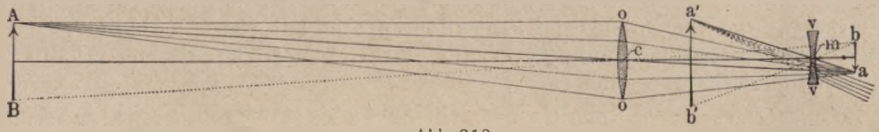


Abb. 212.

Übungen: Wie muß bei den einzelnen Apparaten die „Einstellung" auf die Entfernung des betreffenden Objekts erfolgen? (Beim Mikroskop sind Objektiv und Okular meist fest verbunden, beim terrestrischen Fernrohr Umkehrungslinse und Okular.)

D. Die Wahrnehmung des Lichtes.

§ 112. Der Bau des Auges. 1. Der nahezu kugelförmige Augapfel (Abb. 213) ist bedeckt von drei Häuten, der **Sehnenhaut, Aderhaut** und **Netzhaut** (von außen nach innen). Die undurchsichtige weiße Sehnenhaut w geht vorn in die durchsichtige, stärker vorgewölbte **Hornhaut** h über, die Aderhaut g (schwarz gezeichnet) in die **Regenbogenhaut** oder Iris i, die vom Sehloch (Pupille) p durchbohrt ist (Färbung). Die innerste Haut, die Netzhaut n, enthält die Verzweigungen des **Sehnerven** e und ist das eigentliche Sehorgan. Sie bedeckt nur den hinteren Teil des Augapfels. Am empfindlichsten ist der gelbe Fleck f gegenüber der Pupille, unempfindlich die Eintrittsstelle s des Sehnerven.

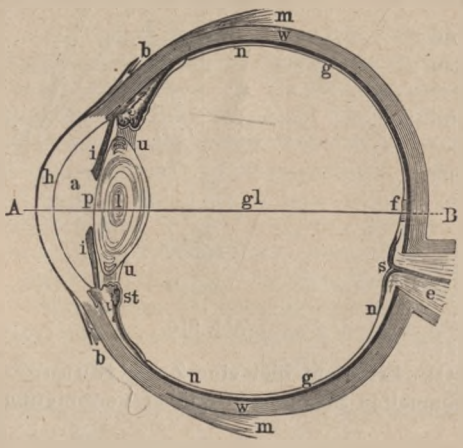


Abb. 213. Rechtes Auge, Horizontalquerschnitt.

**Versuch:* Fixiere mit dem rechten Auge das Kreuz *a* (Abb. 214) senkrecht von oben. Dann wird, wenn das linke Auge geschlossen bleibt, der Kreis *b* bei passender Entfernung unsichtbar. (Auch mit zwei Münzen ausführbar.)

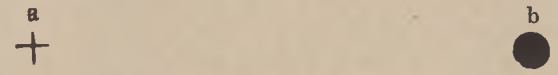


Abb. 214.

2. Direkt hinter der Pupille liegt die **Kristallinse** *l*; die „vordere Augenkammer" *a* ist mit wässeriger Flüssigkeit, der Raum hinter der Linse mit einer gallertartigen Substanz, dem **Glaskörper** *gl*, ausgefüllt.

Zur Bewegung des Augapfels in der **Augenhöhle** dienen sechs **Muskeln** (*m*), zum Schutze desselben die **Augenlider,** welche mit der Haut des Augapfels durch die Bindehaut *b* verbunden sind. — Die Sehnerven beider Augen verlaufen, nachdem sie sich kurz vor dem Gehirn gekreuzt haben, nach der hinteren Partie des Großhirns.

§ 113. Die Erzeugung des Bildes im Auge. Akkommodation. — Das Auge wirkt wie eine Sammellinse, die mit einem Schirm zum Auffangen reeller Bilder verbunden ist (Kamera) (Abb. 215).

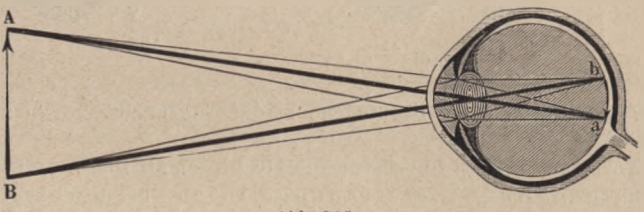


Abb. 215.

Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß nicht etwa die Kristallinse allein, sondern ebenso die wässerige und gallertartige Flüssigkeit der beiden Augenkammern das Licht brechen. Wären nun alle diese Teile starr, so käme nur bei einer bestimmten Entfernung des Gegenstandes vom Auge ein deutliches Bild auf die Netzhaut. Das lebendige Auge besitzt aber die wunderbare Fähigkeit, sich auf verschiedene Entfernungen des Objekts selbständig einzustellen, die Fähigkeit der sogenannten

Akkommodation. **Versuch:* Bringe ein Buch zuerst in deutliche bequeme Sehweite, dann nähere es oder entferne es. Es gelingt, wenn auch schließlich mit Anstrengung, doch innerhalb eines sehr weiten Spielraums noch die Schrift deutlich zu sehen.

Die Akkommodation erfolgt dadurch, daß die Linse sich je nach Bedarf verschieden stark krümmt. (Wie für weite, wie für nahe Gegenstände?) Dies geschieht mit Hilfe besonderer Muskeln und Bänder (Strahlkörper *st*, ZINN-

sches Band *u*, Abb. 213). Eine weitere Anpassungseinrichtung des Auges besteht in der Veränderlichkeit der Größe des Sehloches, je nach der Helligkeit. (Augen der Katzen, Eulen usw.)

Ein **normalsichtiges** Auge ist, wenn die Akkommodationsmuskeln ruhen, auf sehr große Entfernung eingestellt. Der nächste Punkt, auf den es noch akkommodieren kann, liegt bei ungefähr 15 cm Entfernung, die bequeme Sehweite etwa bei 25 cm.

Beim **kurzsichtigen** Auge ist die Entfernung zwischen Netzhaut und Linse bzw. Hornhaut (die Augenachse) übernormal lang, so daß nur die Bilder sehr naher Gegenstände auf die Netzhaut, die entfernterer auch bei schwächster Krümmung der Linse vor die Netzhaut fallen, Abb. 216.

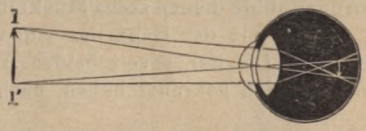


Abb. 216.

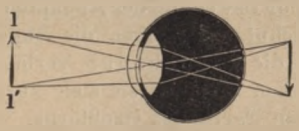


Abb. 217.

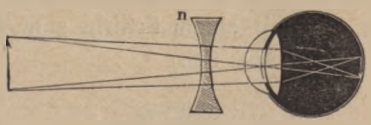


Abb. 218.

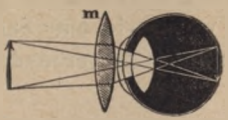


Abb. 219.

Im **weitsichtigen** Auge ist umgekehrt die Augenachse zu kurz (Folge?), Abb. 217.

Die Korrektur erfolgt durch vorgesetzte Linsen (Brillen), und zwar beim kurzsichtigen Auge Zerstreuungslinsen, beim weitsichtigen Sammellinsen, Abb. 218 u. 219. Warum?

Von der angeborenen Weitsichtigkeit ist die durch Alter erworbene zu unterscheiden, die nicht auf Verkürzung der Augenachse, sondern darauf beruht, daß das Auge die Akkommodationsfähigkeit (auf Nähe) einbüßt.

Brillen sollten grundsätzlich nur auf ärztliche Anordnung und nach ärztlicher Anweisung getragen werden. Tragen unnötiger oder falscher Brillen schadet dem Auge sehr.

Unter den **Erkrankungen des Auges** sind neben dem Bindehautkatarrh und dem „Gerstenkorn" sowie den gleichfalls recht häufigen Hornhautverletzungen die bekanntesten: der graue Star (Trübung der Kristallinse), der schwarze Star (Lähmung des Sehnerven mit Ablösung der Netzhaut — unheilbar) und der grüne Star (eine Erkrankung des gesamten Auges unter heftigen Entzündungserscheinungen). — Starbrillen.

§ 114. Subjektive Bedingungen des Sehens. Optische Täuschungen. a) Der Sehvorgang erfordert stets eine, wenn auch kurze Zeit. Daher verschmelzen Lichteindrücke, die in zu kurzen Zeitabständen aufeinanderfolgen.

(Speichen des sich drehenden Rades, im Kreise geschwungene glühende Kohle u. a.) Jeder auch momentane Lichteindruck, z. B. vom elektrischen Funken, dauert eine kurze Zeit nach („Positive Nachbilder"). Wunderscheibe, Wundertrommel, Kinematograph.

b) Blickt man auf einen hellen Gegenstand (z. B. die untergehende Sonne) und sodann auf eine gleichmäßig beleuchtete, nicht zu helle Fläche, so sieht man den Gegenstand dunkel auf hellem Grunde. (Negative Nachbilder; komplementäre Farben dabei, § 116.)

c) Erklärung des Aufrechtsehens, da doch das Netzhautbildchen umgekehrt ist?

d) **Sehwinkel** heißt der Winkel, den die nach den Enden eines Gegenstandes vom Kreuzungspunkt der Strahlen in der Linse aus gezogenen Geraden einschließen.

Da Gegenstände, deren Größen sich wie ihre Entfernungen vom Auge verhalten, unter dem gleichen Sehwinkel erscheinen (Beweis?), so läßt sich aus dem Sehwinkel allein noch nicht die Größe und Entfernung des Gegenstandes bestimmen. Wir beurteilen vielmehr die eine auf Grund der als bekannt angenommenen anderen, wobei wir vielfach zwischenliegende Gegenstände zu Hilfe nehmen. Fehlen diese, so kommt es zu Täuschungen. So erscheint uns die Sonne ebenso groß wie der Vollmond

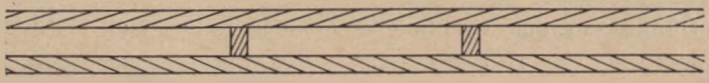


Abb. 220.

(Sehwinkel etwa $^1/_2{}^0$), weil sie zwar etwa 400mal weiter entfernt, aber auch ebensovielmal im Durchmesser größer ist als der Mond. (Sonnenfinsternisse!)

Durch Fernrohr und Mikroskop wird der Sehwinkel beträchtlich vergrößert und das Bild in größere Nähe gerückt.

e) Optische Täuschungen entstehen außer in dem soeben erwähnten Falle und bei dem unter a) und b) Erwähnten auch durch geeignete Anordnungen von Linien, Flächen u. dgl. So hält man beispielsweise das Mittellot auf einer horizontalen Strecke stets für größer als diese selbst, wenn beide in Wahrheit gleich lang sind, ebenso ein helles Quadrat auf dunklem Grunde für größer als ein gleich großes dunkles auf hellem Grunde. Gerade Linien können krumm, parallele konvergent erscheinen, wenn sie in geeigneter Weise von anderen Linien schräg durchschnitten werden u. a. m. (Abb. 220).

Übungen: 1. Warum scheinen im Lichte des Blitzes bewegte Gegenstände (z. B. ein fahrender Wagen) still zu stehen?

2. Ein Rad mit 12 Speichen dreht sich in jeder Sekunde einmal herum. Welchen Anblick hat man bei Beleuchtung desselben mit einer Lichtquelle, die pro Sekunde 12, 10, 24, 36 Lichtblitze gibt?

3. Warum scheint ein Eisenbahnzug in großer Entfernung immer langsam zu fahren?

4. Warum erscheinen im Hochgebirge die Gipfel stets niedriger, die Entfernungen kleiner, als sie in Wirklichkeit sind, im deutschen Hügellande dagegen umgekehrt?

5. Warum gebrauchen die am grauen Star Operierten (Entfernung der Kristallinse) verschiedene Brillen?

*6. Schätze zuerst und versuche dann, wie weit du ein Pfennigstück vom Auge entfernt halten mußt, um den Vollmond gerade zu verdecken! Wie groß müßte die Erde von der Sonne bzw. vom Monde aus erscheinen?

7. Wie erklärt es sich, daß die Strahlen, welche die Sonne gelegentlich zwischen Wolkenlücken hervorsendet (vgl. § 96), zu divergieren scheinen, während sie doch bei der riesengroßen Entfernung der Sonne nahezu parallel sind? — Wie erklärt sich die gelegentlich zu machende weitere Beobachtung, daß sie am entgegengesetzten Teil des Horizonts (bei tiefstehender Sonne) wieder zusammenzulaufen scheinen?

E. Die Dispersion (Farbenzerstreuung) des Lichtes.

§ 115. Zerlegung des weißen Lichtes durch ein Prisma. Schon bei früheren Versuchen mit dem Prisma (§ 106) ist die dabei auftretende Farbenerscheinung bemerkt worden. Dieselbe durch eine Reihe mustergültiger Versuche dem Verständnis erschlossen zu haben, ist das Verdienst des berühmten englischen Physikers **Isaac Newton**[1]) (1672).

**Versuch:* Läßt man ein Bündel Sonnenstrahlen durch eine runde Öffnung in das verdunkelte Zimmer fallen und stellt in den

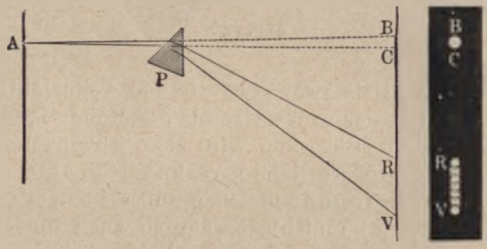


Abb. 221.

Gang der Lichtstrahlen ein Prisma (Abb. 221), so erhält man statt des runden Lichtfleckes BC ein farbiges Band RV, in dem der Reihe nach die Farben: **Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau (Indigo), Violett** zu sehen sind. Dieses Farbenband heißt (objektives) **Spektrum**[2]). Am stärksten abgelenkt erscheint stets das Violett, am wenigsten das Rot.

Besser noch benutzt man statt der kreisförmigen Öffnung einen Spalt, zu dessen Richtung die brechende Kante des Prismas parallel zu halten ist.

[1]) Newton wurde geboren am 5. Januar 1643 in der Grafschaft Lincoln. Er war Professor der Mathematik in Cambridge von 1669 bis 1703. Seine beiden Hauptwerke sind die „Mathematischen Prinzipien der Naturlehre" (1686) und die „Optik" (1675, 1704). Das erste Werk behandelt die Grundlagen der Mechanik und Astronomie.

[2]) *spectrum* (lat.) = Erscheinung (Gespenst).

Newton erklärte die Erscheinung durch die folgende *Annahme:* **Das weiße Licht ist aus verschiedenen Lichtarten zusammengesetzt,** die sich beim Durchgang durch das Prisma durch ihre **verschieden große Brechbarkeit, für das Auge aber als verschiedene Farben** unterscheiden.

Die Farben des Spektrums sind einfache Lichtarten, durch Mischung aller im Auge entsteht der Eindruck: Weiß.

Bestätigung dieser Annahme: 1. durch Newtons „*Experimentum crucis*", d. i. den Nachweis, daß eine einzelne Spektralfarbe, z. B. Grün, nicht von

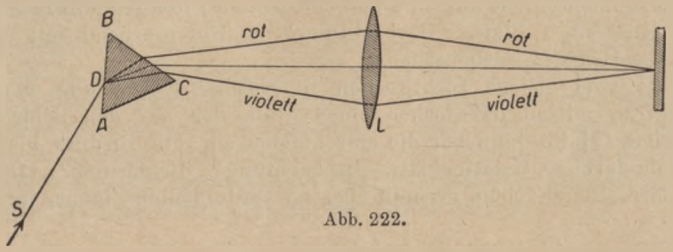


Abb. 222.

neuem durch das Prisma zerlegt, sondern nur ebenso stark gebrochen wird. (*Versuch.*) 2. Durch Mischung (Vereinigung) der Spektralfarben auf dem Auffangschirm mit Hilfe einer Linse. (*Versuch*) Abb. 222. 3. Durch *Versuche mit dem Farbenkreisel.

§ 116. Mischfarben und Komplementärfarben. *Versuche:* Blendet man bei dem Versuch der Vereinigung der Spektralfarben einen Teil des Farbenbandes durch einen undurchsichtigen Schirm ab, so gibt der Rest vereinigt nicht Weiß, sondern eine andere **Mischfarbe,** und zwar z. B. Rot, wenn Grün abgeblendet ist, und umgekehrt, ebenso bei Gelb und Hellblau u. a. m. — Trennt man das ganze Spektrum in zwei Teile, so gibt jeder für sich vereinigt eine Mischfarbe, z. B. der eine Grün, der andere Rot usw. Je ein solches Farbenpaar nennt man Komplementärfarben.

Komplementärfarben sind also Farben, die vereinigt Weiß ergeben.

Dies paßt sowohl auf den ersten wie auf den zweiten Versuch. Inwiefern? — Die Versuche ergeben gleichzeitig:

Es ist unmöglich, auf den bloßen Farbeneindruck hin zu entscheiden, welche einfachen Lichtarten (ob nur eine, mehrere oder viele) vorliegen, da Rot z. B. ebenso als reine Spektralfarbe wie als Mischfarbe aller Spektralfarben, außer Grün, wie auch als Mischfarbe bestimmter einzelner Teile des Spektrums auftreten kann. Nur das Prisma kann durch Zerlegung in die einfachen Spektralfarben darüber entscheiden.

Übungen: *1. Stelle dir mit Hilfe einiger Pappschirme, einer Petroleum- oder Gaslampe und eines Glasprismas[1]) einen kleinen Spektralapparat zusammen, indem du das Spektrum subjektiv beobachtest. (Die objektive Darstellung gelingt nur bei sehr hellen Lichtquellen.)

[1]) Solche sind überall billig zu haben.

2. Was wird eintreten, wenn die Öffnung, durch die das Licht auf das Prisma fällt, ziemlich breit ist, so daß die einzelnen Farben im Spektrum sich überdecken? (Reines, unreines Spektrum.)

3. Bei welchem früher besprochenen Apparat wird auch Dispersion eintreten müssen, die hier störend wirkt? Durch Kombination mehrerer Glassorten [achromatische[1]) — —] ist dem Übel abzuhelfen.

4. Welche genauere Fassung ist dem Brechungsgesetz in § 104 nunmehr zu geben? Wodurch wird man eine zahlenmäßige Angabe über die Größe der Dispersion bei einem Stoffe gewinnen?

5. Wovon hängt die Länge des Spektrums (sonst noch) ab? — Minimum der Ablenkung.

*6. Blicke längere Zeit auf eine hell beleuchtete rote (grüne) Fläche, dann rasch auf ein weißes Blatt. Beobachtung? — Entsprechend mit anderen Farben. Theorien des Farbensehens.

*7. Stelle zwei gleiche Lichtquellen in gleicher Entfernung vor einen weißen Schirm, mitten dazwischen einen Stab, der auf den Schirm zwei Schatten wirft. Halte dann vor die eine Flamme ein rotes (grünes, blaues ...) Glas oder ein farbiges Gelatineblatt. Beobachtung? Erklärung? (Der *Versuch* ist überraschend schön, er muß aber im verdunkelten Zimmer angestellt werden.)

§ 117. Die Körperfarben. **Versuch:* Läßt man weißes Licht durch eine farbige Glasplatte gehen und zerlegt es sodann mit dem Prisma, so findet man, daß in dem Spektrum bestimmte Teile ganz fehlen oder mehr oder weniger geschwächt sind. Ist nun dies z. B. im Grün der Fall, so ergibt der Rest als Mischfarbe Rot. In dieser Mischfarbe erscheint uns also das durch den Körper durchgegangene Licht.

Die Farben durchsichtiger Körper im durchgehenden Lichte beruhen auf teilweiser Absorption.

Zerstößt man das (rote) Glas zu Pulver, so erscheint dieses auch im auffallenden Lichte rot. Die Erklärung liegt darin, daß das an tieferen Stellen reflektierte Licht durch die oben gelegenen Körnchen hindurchgeht.

Bei durchsichtigen Körpern stimmen die Farben im auffallenden Licht in der Regel mit denen im durchgehenden Licht überein.

Anders verhält es sich bei „metallisch reflektierenden" Stoffen (s. Oberstufe).

Aus dem Gesagten folgt, daß die **Farbe eines Körpers von seiner Beleuchtung abhängig ist.**

**Versuche* dazu mit einer gelben Natriumflamme, bei deren Licht z. B. ein Margueritenstrauß sich in einen Chrysanthemumstrauß verwandelt und ein Rosenstrauß schwarz aussieht. Warum?

§ 118. Spektralanalyse. **Versuche:* Betrachtet man einen durch Natriumlicht beleuchteten Spalt mit dem Prisma, so sieht man kein vollständiges Spektrum, sondern nur eine gelbe Lichtlinie. — Bringt man Wasserstoff durch elektrische Entladungen in einer GEISSLERschen

[1]) *a* = un, *chroma* (griech.) = Farbe

Röhre zum Glühen und betrachtet den schmalen Teil des Rohres durch das Prisma, so erblickt man ein „Linienspektrum“, d. h. eine Reihe einzelner scharf abgegrenzter farbiger Lichtlinien (rot, grün, blau, violett). Weitere *Versuche* mit Kalium-, Calcium-, Strontium- usw. Flammen.

Das von glühenden Gasen ausgesandte Licht besteht nicht aus allen, sondern nur aus einzelnen Farben, liefert daher bei der Zerlegung durch das Prisma kein vollständiges (kontinuierliches), sondern ein (unterbrochenes) „Linienspektrum“, das für die chemische Natur des betreffenden Gases charakteristisch ist.

Da außerdem schon winzige Mengen (z. B. $^1/_{3\,000\,000}$ mg Natrium) zur Hervorrufung der betreffenden Lichtlinien genügen, so beruht auf dieser Tatsache eine überaus empfindliche Methode des Nachweises chemischer Elemente, die **Spektralanalyse** (KIRCHHOFF und BUNSEN, 1860), die nicht nur vielfach zur Auffindung neuer Elemente geführt, sondern auch die wichtigsten Aufschlüsse über die Beschaffenheit der Himmelskörper gegeben hat und noch heute eins der fruchtbarsten Forschungsmittel darstellt.

Glühende, feste und flüssige Körper ergeben dagegen ein kontinuierliches Spektrum.

Was beweist also die Tatsache, daß eine Kerzenflamme ein solches Spektrum liefert, über die Beschaffenheit des Lichtaussenders?

Wie ist es denkbar, daß man ein Element (Helium) auf der Sonne früher als auf der Erde auffinden konnte?

V. Magnetische Erscheinungen.

§ 119. Magnetische Körper. a) Ein schwarzes Eisenerz, der Magneteisenstein, zeigt häufig die merkwürdige Erscheinung, daß kleine Körper aus weichem Eisen, wie Nägel, Feilspäne u. dgl., die man ihm nahe bringt, sich (sogar der Schwere entgegen) bis zum Stein hinbewegen und an ihm hängenbleiben, selbst wenn man sie von ihm mit einiger Kraft abzuschütteln sucht.

Körper welche bewirken, daß sich Eisenstückchen aus geringer Entfernung zu ihnen hinbewegen und an ihnen haftenbleiben, heißen magnetische Körper oder Magnete; man sagt, daß diese auf das Eisen eine **magnetische Anziehung ausüben.**

Der Name Magnetstein[1]) soll von der Stadt Magnesia in Kleinasien herrühren, wo das Mineral schon im Altertum gefunden wurde. Vielleicht ist er aber auch von *mágos* (griech.) = Zauberer abzuleiten.

[1]) Von *μαγνῆτις (λίθος)* = magnetis (lithos), Magnetstein.

Versuch: b) Eine Stahlnadel, eine Stricknadel, eine Stahlfeder eine stählerne Messerklinge werden durch Streichen mit dem Magneteisenstein, welcher ein „natürlicher Magnet“ ist, zu „künstlichen Magneten“: man kann mit ihnen alle Erscheinungen nach Versuch a) hervorrufen, unter anderem auch wieder andere Stahlkörper magnetisch machen.

Den künstlichen Magneten gibt man gewöhnlich die Form von geraden Stäben oder von gekrümmten Stäben mit parallelen Schenkeln (Hufeisenmagnete, Abb. 223). Kleinere, meist an den Enden zugespitzte Stäbe heißen Magnetnadeln (Abb. 226). — Besonders kräftige Magnete werden mit Hilfe des elektrischen Stromes (§ 146) hergestellt.

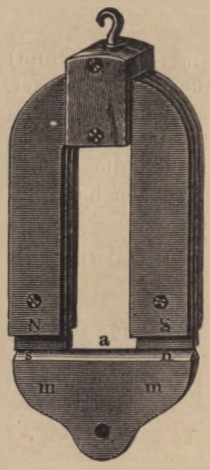
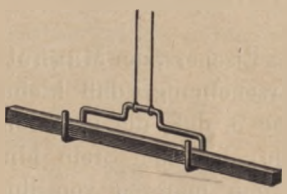


Abb. 223.

**Versuch:* c) An dünnen Fäden werden Stäbchen (oder Kügelchen) aus weichem Eisen, aus Stahl, reinem Nickel, Kupfer, Blei usw. aufgehängt, dann zeigt sich, daß der natürliche wie der künstliche Magnet eine Anziehung auf Eisen (Stahl), Nickel, nicht aber auf die anderen Stoffe ausübt.

Trennung von Eisen- und Bronzespänen u. dgl. mittels der Magnete; es gelingt sogar, Eisensplitter, die in den Augapfel eingedrungen sind, mittels kräftiger „Elektromagnete“ herauszuziehen. — Im „weichen Eisen“ (Schmiedeeisen) ist der Grundstoff Eisen mit wenig Kohlenstoff, im „Stahl“ mit mehr (0,5 bis 2,3 Proz.) Kohlenstoff verbunden.


Abb. 224.

**Versuch:* d) Wird ein Stab aus unmagnetischem Eisen drehbar aufgehängt (Abb. 224) und ihm ein Magnetstab genähert, so findet Anziehung zwischen beiden statt. Dasselbe geschieht, wenn der Magnetstab drehbar aufgehängt und ihm der Eisenstab genähert wird. Daraus folgt:

Die Anziehung zwischen Magnet und Eisen ist wechselseitig.

**Versuch:* e) Man bringe zwischen Magnet und Eisenstückchen Papier, Holz-, Glas- oder Metallplatten (Kupfer, Eisen u. a.). Es erfolgt auch jetzt Anziehung, außer wenn Eisen (oder Nickel, Kobalt) dazwischen gebracht wird.

Die magnetische Wirkung findet durch die Luft und durch beliebige Körper, auch durch den leeren Raum hin statt (*Versuch!*). **Nur durch Eisen** (Nickel, Kobalt) **wird sie „abgeschirmt“.**

*Übungen: 1. Versuche, ob auch eine Nickelmünze von Magneten angezogen wird. Welche Einschränkung war also oben [unter c] nötig? — 2. Stelle die Tragkraft eines Magnets fest, indem du an den Anker ein Schälchen mit Gewichten hängst und täglich kleine Gewichtstücke zulegst. — 3. Was ist gegen die Sage vom Magnetberg einzuwenden? Würde derselbe die eisernen Nägel aus den Schiffen wirklich herausziehen?

A. Grundgesetze der magnetischen Erscheinungen.

§ 120. Die Magnetpole. *Versuch a): Hält man einen Magnetstab wagerecht und hängt nahe dem einen Ende einen Nagel von solchem Gewicht an, daß der Stab ihn gerade noch tragen kann, so fällt derselbe Nagel ab, wenn man ihn etwas näher bei der Mitte aufhängen will; am anderen Ende des Stabes aber wird der Nagel wieder getragen; in der Mitte vermag der Stab auch nicht den kleinsten Eisenkörper zu tragen.

Legt man einen Magnetstab (eine magnetisierte Stricknadel) in Eisenfeilpulver, so bleibt auch dieses nur gegen die Enden hin in größerer Menge hängen (Abb. 225).

Ein Magnet hat (in der Regel) **zwei Stellen stärkster Anziehung; diese heißen seine Pole.** Bei dünnen stabförmigen Magneten und Magnetnadeln liegen sie nahe an deren Enden. In der Mitte besitzt der Magnet eine **Indifferenzzone.**

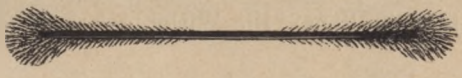


Abb. 225.



Abb. 226.

*Versuch b): Setzt man eine Magnetnadel (Abb. 226), die in der Mitte ein Hütchen aus Achat besitzt, so auf eine lotrechte Spitze, daß sich die Nadel nur in wagerechter Ebene, und zwar mit möglichst geringer Reibung drehen kann, so stellt sie sich nahezu in die Richtung Nord–Süd. Bringt man die Nadel aus dieser Lage heraus, so kehrt sie nach einigen Schwingungen in dieselbe zurück, sie zeigt also ein Bestreben, in dieser Lage zu verharren.

Stellt man sie ferner (durch eine Drehung von 180°) so, daß der Pol, der vorher nach Süden wies, jetzt gegen Norden weist, so zeigt die Nadel kein Bestreben, in dieser neuen Lage zu verharren, sondern macht bei der kleinsten Verschiebung aus dieser Lage eine große Schwenkung (um nahezu 360°) und kommt erst nach längerem Schwingen in der ersten Lage wieder zur Ruhe. — Ähnliche Versuche mit größeren Magnetstäben, die man an

einem feinen Faden oder Draht aufhängt oder mittels einer Korkscheibe auf Wasser schwimmen läßt, zeigen ebenfalls:

I. **Die beiden Pole eines Magnets verhalten sich verschieden, und zwar weist der „Nordpol" annähernd nach Norden, der „Südpol" nach Süden.**

Gewöhnlich ist der Nordpol eines Magnets durch ein N oder durch eine Färbung bezeichnet. Ähnliche **Versuche* mit größeren Magneten, die durch Aufhängen oder, mittels Korks auf Wasser schwimmend, frei beweglich gemacht sind.

**Versuch* c): An den Nordpol eines Magnets wird ein ziemlich schwerer Nagel gehängt. Nähert man dem Pol einen zweiten Magnetpol, so fällt der Nagel ab, wenn dieser genäherte Pol ein (möglichst gleich starker) Südpol ist (am einfachsten nach Abb. 227 auszuführen); er wird dagegen noch fester gehalten, wenn der genäherte Pol ebenfalls ein Nordpol ist. Entsprechend verläuft der Versuch am anderen Pol. Hieraus folgt:

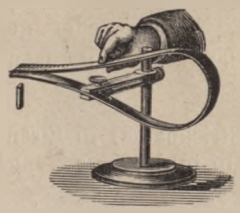


Abb. 227.

II. Zwei **ungleichnamige Pole sind nicht nur verschieden, sondern entgegengesetzt.** Ihre Wirkungen heben sich gegenseitig auf, wie positive und negative Größen.

**Versuch* d): Man nähert den Polen eines beweglichen Magnets die eines anderen festen oder beweglichen (Stäbe oder Nadeln). Es ergibt sich:

III. **Ungleichnamige Pole ziehen einander an, gleichnamige stoßen einander ab.** (Freundliche, feindliche Pole.) Die Wirkung ist wechselseitig.

**Versuch* e): Man nähert einem Pol der Magnetnadel einen gleichnamigen oder ungleichnamigen Pol. Im ersteren Falle werden die Schwingungen verlangsamt, im letzteren Falle beschleunigt. Je näher der ungleichnamige Pol und je stärker er ist, desto rascher werden die Schwingungen.

Übungen: 1. Ist das Gleichgewicht der frei schwingenden Magnetnadel stabil, labil oder indifferent? Ist es im Falle der Drehung um 180° [Versuch b)] streng labil? (Reibung!)

2. Sind Rot und Blau auch „entgegengesetzt" oder bloß „verschieden"? Weiß und Schwarz? Hell und dunkel? Warm und kalt?

*3. Wenn ein Stückchen Eisen, einer Magnetnadel genähert, den zunächst liegenden Pol anzieht, beweist das, daß es selbst an dieser Seite einen entgegengesetzten Pol hat? — Welche Probe muß man also stets machen, um zu sehen, ob ein Körper selbst magnetisch ist?

*4. Zwei Nähnadeln werden dir vorgelegt, von denen die eine magnetisiert ist. Wie kannst du, ohne Zuhilfenahme anderer Magnete und überhaupt irgendwelchen Eisens, feststellen, welche von beiden die magnetische ist und wie ihre Pole liegen?

*5. Bringe eine magnetisierte Stopfnadel mittels einer Korkscheibe zum Schwimmmen und beobachte die Schwingungen. Hänge dieselbe Nadel an einem langen feinen Faden auf. Warum schwingt sie jetzt viel rascher?

6. Kann man Eisenkörper zwischen zwei Magneten frei schwebend (in stabilem Gleichgewicht) erhalten? Ginge es etwa schon mit einem Magnet?

§ 121. Magnetisierung durch Verteilung (Influenz). **Versuch* a): 1. Man stecke einen Nagel aus weichem Eisen in ein Schälchen mit Eisenfeilspänen; wenn man ihn mit der Hand herauszieht, bleiben keine Späne an ihm hängen, wohl aber, wenn man ihn mit einem kräftigen Magnet herauszieht. Zieht man den Magnet vom Nagel weg, so fallen die meisten Späne vom Nagel herab. — 2. Man klemme ein Stäbchen aus weichem Eisen fest (Abb. 228) und halte den Magnetpol in 1, 2 ... cm Abstand; man schiebe eine Glas-, Holzplatte zwischen Stäbchen und Pol!

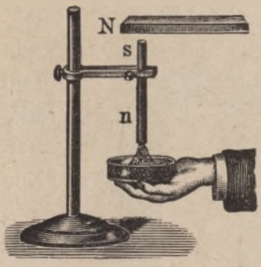


Abb. 228.

**Versuch* b): Man bringe die dem Magnet abgewendete Seite des Stäbchens, während es an jenem hängt, in die Nähe einer beweglichen Magnetnadel. Das Stäbchen zeigt sich selbst magnetisch, und zwar erweist sich (wodurch?) die dem Magnet abgewendete Seite z. B. als Nordpol, wenn das Stäbchen an den Nordpol des Magnets angehängt worden ist.

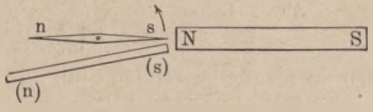


Abb. 229.

Daß es wirklich das Stäbchen und nicht etwa bloß der kräftige Magnet ist, der auf den Pol der Nadel wirkt, kann man erkennen, indem man zuerst das untere Ende des Stäbchens sehr nahe an die Spitze der Nadel bringt, wobei diese sehr schnell schwingt, sodann aber bei ungeänderter Lage des Magnets das Stäbchen entfernt, worauf sofort die Nadel viel langsamer schwingt.

**Versuch* c): Um zu ermitteln, was für einen Pol das dem Magnet nähere Ende des Weicheisenstäbchens annimmt, benutzt man folgende Anordnung (Abb. 229): Dicht vor dem Nordpol *N* eines wagerecht gelegten Magnetstabes wird eine Magnetnadel *ns* aufgestellt, die dem Nordpol *N* ihren Südpol *s* zukehrt. Wird nun dem letzteren der Weicheisenstab von der Seite genähert, so findet zwischen beiden Abstoßung statt. In dem genäherten Ende des Stabes ist also ein Südpol entstanden. Aus den Versuchen a), b) und c) folgt:

I. **Eisen wird in der Nähe eines Magnetpols selbst magnetisch, und zwar entsteht an der dem Pol zugewandten Seite der ungleichnamige und an der abgewandten Seite der gleichnamige Pol.**

Diese Erscheinung heißt Magnetisierung durch Verteilung, kurz: **magnetische Verteilung** oder **magnetische Influenz.** Die Stärke des entstandenen Magnetismus hängt 1. von der Stärke des „influenzierenden" (die Verteilung bewirkenden) Magnets, 2. von der Entfernung und 3. von der Eisensorte ab.

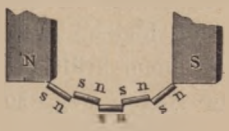


Abb. 230.

Vorübergehende und dauernde Magnetisierung. Wiederholt man die **Versuche* mit Stahl, so ergibt sich:

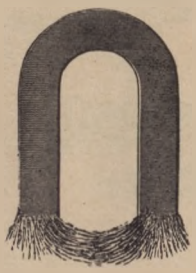


Abb. 231.

II. **Weiches Eisen und Stahl unterscheiden sich dadurch, daß ersteres leicht und stark durch Influenz magnetisch wird, aber den Magnetismus nicht festhält, während Stahl schwerer magnetisierbar ist, aber den einmal erlangten Magnetismus behält** [Koerzitivkraft[1]) des Stahls].

Erkläre Abb. 230 und 231. Wie ist die Anziehung zwischen einem Magnet und einem unmagnetischen Stück Eisen nun in Wahrheit aufzufassen? Die Magnetisierung eines Stahlstabes erfolgt leichter, wenn man ihn, während er in der Nähe des magnetisierenden Pols liegt, erschüttert (z. B. durch Hammerschläge). Noch rascher geht sie vor sich, wenn man den zu magnetisierenden Stab mit dem Magnet **streicht** [vgl. oben § 119, b)]. — Einfacher und doppelter Strich. — Man erreicht aber auch bei Anwendung des stärksten magnetisierenden Einflusses bei einem gegebenen Stahlstück stets eine **„Sättigungsgrenze".** Dasselbe gilt auch für die vorübergehende Magnetisierung weichen Eisens (die bis zu dieser Grenze freilich nur durch Anwendung elektrischer Ströme getrieben werden kann). Ein kleiner Rest von Magnetismus hinterbleibt stets auch in dem weichsten Eisen. Man nennt diesen Rückstand **remanenten Magnetismus.**

§ 122. Molekularmagnete. **Versuche:* 1. Man zerbricht eine magnetische Stricknadel in der Mitte (Umwickeln mit Handtuch!). Anstatt der früheren Indifferenzzone sind an der Bruchstelle jetzt zwei Pole entstanden, und zwar so, daß jede der beiden Hälften wieder ein vollständiger Magnet ist (Abb. 232) — Wiederholte Teilung ergibt immer das gleiche Resultat:

Jedes noch so kleine Bruchstück eines Magnets ist immer wieder ein vollständiger Magnet mit zwei Polen. Es ist also unmöglich, einen einzelnen Nord- oder Südpol zu erhalten. — *Umkehrung des Versuches*

[1]) *coercēre* (lat.) = zusammenhalten; hier: festhalten.

durch Aneinanderlegen zweier möglichst genau gleicher Magnete mit den entgegengesetzten Polen. Was entsteht an der Berührungsstelle?

Auf diese Erfahrungen gründet sich folgende

Hypothese: Jedes Eisen- oder Stahlmolekül ist von vornherein immer ein vollständiger kleiner Magnet (Molekularmagnet). Diese Magnete liegen im allgemeinen ungeordnet durcheinander; dadurch erscheint der Körper als Ganzes unmagnetisch. Die **Magnetisierung besteht in der** mehr oder minder vollständigen **Gleichrichtung der Molekularmagnete** unter dem Einfluß des influenzierenden Magnets (Abb. 233). Diese Umlagerung erfährt im Eisen einen geringen, im Stahl einen größeren Widerstand.

**Versuche* mit einer mit Stahlspänen gefüllten Glasröhre. Die einmal magnetisierten Stahlteilchen stellen die Moleküle vor. *Erkläre*



Abb. 232.

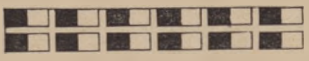


Abb. 233.

nunmehr auf Grund dieser Hypothese, a) warum Erschütterung sowohl die Magnetisierung erleichtert, als auch vorhandenen Magnetismus schwächt (ähnlich wirkt Erhitzen); b) warum eine Sättigungsgrenze besteht.

Weitere *Übungen:* 1. Warum folgt aus der bloßen Anziehung zwischen einem Stück Eisen und einer Magnetnadel nicht, daß das Eisenstück schon einen (ungleichnamigen) Pol hat?

*2. Bringe an einen Pol einer Magnetnadel rasch den gleichnamigen Pol eines starken Magnets. Beobachtung? Erklärung des scheinbaren Widerspruches? Nachprüfung.

3. Die Influenz verstärkt auch den Magnetismus des influenzierenden Magnets. Warum „armiert" man also die Pole eines Magnets?

*4. Warum wird eine noch unmagnetische Stahlnadel durch einen Magnet viel weniger abgelenkt als ein entsprechend großes Stück Eisendraht? — Wie kann man mittels einer Magnetnadel prüfen, ob eine Messerklinge aus gutem Stahl ist?

*5. Magnetisiere eine Nähnadel durch Streichen so, daß die Spitze einen N-Pol bekommt.

6. Bei starkem Erhitzen der Kette in Abb. 231 fällt dieselbe auseinander. Erklärung?

§ 123. Magnetisches Feld, magnetische Kraftlinien. **Versuche:* a) Man hänge ein kurzes dünnes Magnetstäbchen an einem Faden auf und bringe es an verschiedene Stellen oberhalb und seitwärts von einem

festliegenden Stabmagnet. Das Stäbchen stellt sich stets so, daß es dem näher liegenden Pol zu geneigt ist.

b) Auf weißen Karton streue man möglichst gleichmäßig feines Eisenpulver, lege einen Magnetstab darunter und klopfe sanft an den Karton. Man sieht die Eisenteilchen sich zu krummen Linien ordnen, die gegen die Pole zusammenlaufen (Abb. 234).

c) Durch einen Kork stecke man aufrecht eine magnetisierte Stricknadel, so daß der Nordpol oben ein wenig herausragt, bringe das Ganze in einem hinreichend großen Gefäß zum Schwimmen und halte in horizontaler Richtung einen Magnetstab daneben. Der Nordpol schwimmt auf einer krummen Linie, die einer der obigen Linien entspricht, vom Nordpol des Magnets zum Südpol hin.

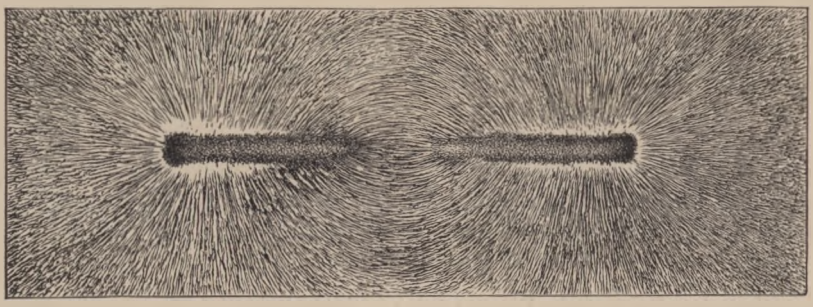


Abb. 234.

Die Linien, welche ein frei beweglicher Nordpol in der Umgebung eines Magnets beschreibt, nennt man die magnetischen Kraftlinien des Magnets. Es sind dieselben Linien, die die Eisenteilchen bei Versuch b) zeigen und in deren Richtung (Tangente!) an jeder Stelle sich die Magnetnadel bei Versuch a) einstellt. Warum?

Die Kraftlinien geben uns ein anschauliches Bild von der in der Umgebung eines Magnets herrschenden Kraftverteilung oder, wie man sagt, von dem **magnetischen Kraftfeld.**

Man erkennt aus dem Bilde zugleich, daß dieselben keineswegs alle von einem Punkte herkommen, daß es also punktförmige Pole strenggenommen nicht gibt.

Ein Stück Eisen ist überall da nordmagnetisch, wo Kraftlinien herauskommen, südmagnetisch, wo Kraftlinien hineingehen.

Übungen: *1. Stelle Kraftlinienbilder her, indem du unter den Karton a) einen aufrecht stehenden Stabmagnet, b) einen liegenden, c) einen aufrecht stehenden Hufeisenmagnet, d) zwei gleichnamige, e) zwei ungleich-

namige Pole zweier Magnetstäbe (in etwa 2 bis 5 cm Abstand), f) zwei entgegengesetzte Magnetpole und dazwischen einen kleinen eisernen Ring, g) einen Magnet und davor ein Eisenstäbchen bringst. Erklärung der Influenz an der Hand der letzteren Bilder.

2. Wie lang müßte strenggenommen bei Versuch a) dieses Paragraphen die als Probekörper dienende Nadel sein, wenn ihre Richtung genau mit der der Kraftlinie durch ihren Mittelpunkt übereinstimmen sollte? — Aus welchem Grunde liefert dieser Versuch ferner niemals genau das wirkliche „Feld" des Magnets, wie es unabhängig von der Nadel bestehen würde. Gilt dies auch von Versuch b) und c)? Warum kann bei letzterem Versuch, auch abgesehen von der Influenz, der Weg des Nordpols nicht genau die Kraftlinie sein? (Südpol; Trägheit!) Gib die Bedingungen an dafür, daß der Versuch wenigstens ein möglichst genaues Resultat liefert!

3. Ist es richtig zu sagen, daß in der Gegend der Indifferenzzone die magnetische Kraft $= 0$ sei? Was für Wirkungen finden überall im Felde statt? Welche Lage haben die Kraftlinien da, wo nur Richtkraft (keine Anziehung) ausgeübt wird, zueinander?

B. Die Erde als Magnet.

§ 124. Kompaß oder Bussole (Abb. 235) nennt man eine Magnetnadel, die (wie in Abb. 226) um eine lotrechte Achse in wagerechter Ebene drehbar ist und unter der sich eine Windrose befindet. Wird letztere genau nach dem „astronomischen Meridian" orientiert, so sieht man, daß die Nadel nicht genau nach N zeigt, sondern (bei uns gegenwärtig) etwa 8 bis 12° nach Westen abweicht. Dieser Winkel heißt **Deklination** der Nadel. Eine so aufgestellte Nadel heißt deshalb Deklinationsnadel, die durch sich in durchgelegte lotrechte Ebene heißt magnetischer Meridian des Ortes.



Abb. 235.

Die Deklination beträgt gegenwärtig z. B. in Wien $7\frac{1}{2}^0$, in Berlin 9^0, in London 16^0 westlich, in Petersburg 0^0, in Mittelasien 10^0 östlich. Sie ändert sich also mit dem Orte auf der Erde, außerdem unterliegt sie auch kleineren und größeren zeitlichen Schwankungen.

Der Kompaß als Orientierungsmittel ist in Europa etwa seit dem 12. Jahrhundert n. Chr. bekannt, die Chinesen sollen ihn schon seit länger als 2000 v. Chr. gekannt haben. Die Deklination scheint in Europa zuerst im 15. Jahrhundert als eine gesetzmäßige Abweichung erkannt worden zu sein; bis dahin hatte man sie wohl auf fehlerhafte Magnetisierung zurückgeführt. Die örtliche Veränderung der Deklination fand KOLUMBUS auf seiner berühmten Fahrt nach Amerika 1492. Bei den Azoren sah er die damals in Europa östliche Deklination in eine westliche übergehen.

Inklination. *Versuch:* Wird eine unmagnetische Nadel genau im Schwerpunkt durch eine wagerechte Achse unterstützt (in welches Gleichgewicht also gebracht?) und dann erst magnetisiert, so stellt sie sich zwar auch in die NS-Richtung, genauer: den magnetischen Meridian ein, aber so, daß der Nordpol sich überdies um einen bestimmten Winkel senkt. Dieser Winkel heißt **Inklination**, eine zur Beobachtung desselben wie in Abb. 236 aufgehängte Nadel Inklinationsnadel.

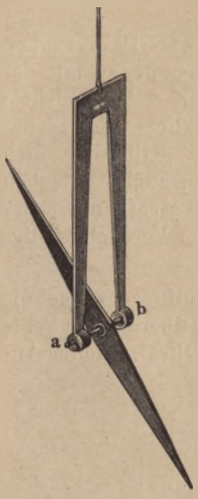


Abb. 236.

Die Inklination wurde 1544 von HARTMANN (Nürnberg) entdeckt, sie unterliegt wie die Deklination örtlichen und zeitlichen Schwankungen. Gegenwärtig beträgt sie bei uns rund 67°.

Auf der südlichen Halbkugel senkt sich im allgemeinen der Südpol, doch bildet nicht genau der Äquator, sondern eine ihn zweimal schneidende, gegenwärtig etwa durch Lima, Pernambuco, Duala, Aden, Borneo verlaufende unregelmäßige Kurve die Grenze, wo die Inklination 0° beträgt.

§ 125. Das Kraftfeld der Erde. *Beobachtungen:* Kapitän ROSS fand 1832 bei einer der Melville-Inseln (Boothia-Felix) auf 70° 30′ n. Br. und 97° 47′ w. L., daß sich der Nordpol der Inklinationsnadel lotrecht abwärts stellte. Die Deklinationsnadeln nahmen dort keine feste Stellung ein.

Neuerdings ist auch auf der südlichen Halbkugel der entsprechende Punkt gefunden worden (73° 39′ s. Br., 146° 15′ ö. L.). Man pflegt diese Punkte den magnetischen Nordpol bzw. Südpol der Erde zu nennen. (Richtiger wäre die umgekehrte Bezeichnung. Warum?)

Die Erde läßt sich als ein großer Magnet betrachten, der im geographischen Norden südmagnetisch, im geographischen Süden nordmagnetisch ist.

Die Inklinationsnadeln geben [vgl. § 123, Versuch a)] überall die Richtung des magnetischen Feldes der Erde an. Die genannten beiden Stellen sind also diejenigen, wo die Kraftlinien senkrecht zur Erde stehen. Versuche dir eine schematische Zeichnung von dem Erdfelde zu machen! Wo liegt die Indifferenzzone?

Durch das Kraftfeld der Erde müssen eiserne Gegenstände in geeigneter Lage durch Influenz magnetisiert werden.

**Versuche:* Hält man einen eisernen Schlüssel od. dgl. in die Richtung der Inklinationsnadel und nähert das untere Ende in dieser Lage dem Nordpol einer Magnetnadel, so wird dieser abgestoßen. — Bei einer in dieselbe Richtung gehaltenen Stahlstange genügen ein paar Hammerschläge zur dauernden Magnetisierung. Weiteres siehe die Übungen.

Übungen: *1. Versuche dir eine Inklinationsnadel aus einer zuerst unmagnetischen (Probe!) Stricknadel mit Hilfe einer Fadenschlinge herzustellen. Der Versuch wird ungenau, warum?

*2. Fertige dir einen sogenannten Gnomon an (Anhang I), bestimme mit demselben die astronomische Nord–Südrichtung und stelle mittels einer Magnetnadel die Deklination fest.

3. Könntest du, wenn du dich im Walde verirrt, aber einen Kompaß bei dir hättest, ohne jede weitere Kenntnis den Weg nach Hause bestimmen? Welche Frage müßte vielmehr vorher schon beantwortet sein? Wie würdest du, diese Kenntnis vorausgesetzt, dann die Bussole benutzen? Welche Vorteile und Nachteile haben die Orientierung nach dem Kompaß und die nach den Gestirnen?

4. Inwiefern kann die Umgebung die Benutzung eines Kompasses sehr stören oder gar ganz unmöglich machen? (Auf eisernen Schiffen wird heute vielfach der „Kreiselkompaß“ gebraucht.)

5. Erkläre, warum eiserne Kirchturmkreuze, Fensterverschlußstangen, Schlosserwerkzeuge u. a. m. fast stets etwas magnetisch sind. (Eine Fensterstange stets unten nord-, oben südmagnetisch — **Versuch!*)

6. Warum ist es besser, Magnetnadeln frei beweglich, als im Kasten liegend aufzubewahren? Warum wird ein Magnet also auch besser „armiert“ als ohne Anker aufbewahrt (vgl. § 122)?

7. Was bedeutet der Ausdruck „Magnetischer Äquator“?

VI. Elektrische Erscheinungen.

Erscheinungen der ruhenden Elektrizität (Elektrostatik).

§ 126. Elektrische Körper. **Versuche:* a) Eine gut gereinigte Glasstange oder Glasröhre werde mit einem Seidenlappen kräftig gerieben und hierauf nahe an Papierschnitzel oder Korkpulver herangebracht, die Körperchen bewegen sich (sogar der Schwere entgegen) bis zum Stabe — „sie werden vom Stabe **angezogen**“, bewegen sich aber nach erfolgter Berührung wieder von ihm weg — „sie werden von ihm **abgestoßen**“. — b) Man wiederhole den Versuch, indem man statt Glas Bernstein, Siegellack, Schwefel oder Hartgummi, getrocknetes Papier (Postkarten), statt der Seide Wolle oder Fell u. a. m., statt der Papierschnitzel oder des Korkpulvers andere leichte Gegenstände nimmt.

Da die Griechen den geschilderten Vorgang zuerst an geriebenem Bernstein (griech. *ēlektron*) kennenlernten, werden — nach dem Vorschlag von William Gilbert (1600) — diese Erscheinungen, die er zuerst als von den magnetischen wesentlich verschieden erkannte, allgemein **elektrische** genannt. Man sagt: die geriebenen Körper befinden sich in **elektrischem Zustand,** oder: sie sind **elektrisch geladen,** oder: sie besitzen eine **elektrische Ladung.**

Durch einen Versuch mit der Aufhängung (wie in Abb. 224) läßt sich analog wie beim Magnet zeigen, daß die **Anziehung** zwischen dem geriebenen (elektrischen) und dem unelektrischen Körper (z. B. der Hand) eine **wechselseitige** ist. Für weitere Versuche bedient man sich bequem eines an einem Seidenfaden aufgehängten Holundermarkkügelchens — eines sogenannten elektrischen Pendels (Abb. 237). Wiederholung der Versuche damit.

Da wir für den elektrischen Zustand nicht wie für den Wärmezustand, für Licht und Schall einen besonderen Sinn haben, so müssen wir sein Vorhandensein aus seinen Wirkungen erschließen, zunächst also aus den eintretenden Bewegungen. Da diese nun in sehr verschiedener Stärke auftreten können, so müssen wir weiter annehmen, daß auch **der elektrische Zustand in verschieden hohem Grade** (analog etwa der Temperatur) vorkommen kann. Bei solchen höheren Graden werden noch andere Wirkungen bemerkbar.

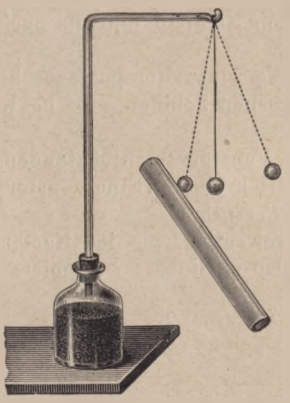


Abb. 237.

**Versuche:* 1. Bei Annäherung des Knöchels an eine kräftig geriebene Glas- oder Hartgummistange hört man ein leichtes Knistern und fühlt einen kleinen Stich.

2. Reibt man einen Bogen Papier, der auf einer heißen, am besten metallischen Unterlage (Herdplatte) liegt, kräftig mit einer Bürste, so sieht man beim Abziehen desselben von der Unterlage im Dunkeln lange Lichtstreifen, ebenso bei Annäherung des Knöchels u. a. m. Fünkchen treten auch beim Kämmen mit einem Hartgummikamm, beim Streichen eines Katzenfells u. a. auf.

§ 127. Übertragung der elektrischen Ladung. Gute und schlechte Leiter. **Versuche:* a) Dem elektrischen Pendel wird ein geriebener Glas- oder Hartgummistab genähert. Es erfolgt Anziehung, darauf Abstoßung. Nähert man jetzt dem Kügelchen etwas Korkpulver oder ein anderes Kügelchen, so wird dieses angezogen. Ebenso wird das Pendel von der Hand angezogen. Also:

Die elektrische Ladung kann durch „Mitteilung" auf einen vorher unelektrischen Körper übertragen werden.

b) Zwei auf Glasfüßen stehende Metallkugeln werden durch einen Draht verbunden. Bestreicht man jetzt die eine mit einer geriebenen Glas- oder Hartgummistange, so zieht auch die andere ein genähertes elektrisches Pendel an. — Wiederholt man den Versuch, indem man statt des Metalldrahtes einen Seidenfaden nimmt, so erweist sich nur die berührte Kugel elektrisch. Eine entsprechende Prüfung bei noch

anderen Stoffen (Zwirnsfaden, Glasfaden, Hanf usw.) ergibt: Durch gewisse Stoffe kann der elektrische Zustand auf weite Strecken hin übertragen werden, durch andere nicht oder nur sehr langsam. Man nennt die ersteren **gute Leiter** oder Konduktoren[1]), die anderen **schlechte Leiter** oder Isolatoren[2]). Man spricht dabei auch von einem „Strömen" der elektrischen Ladung oder der „Elektrizität" durch den Draht.

Gute Leiter sind: Metalle, Kohle, Lösungen von Säuren, Basen, Salzen, daher auch der tierische Körper, der Erdboden u. a.

Isolatoren sind: Glas, Porzellan, Schwefel, Harze, Seide, trockene Luft, Paraffin, Öle u. a.

Halbleiter sind: Bindfaden, Holz, feuchte Luft, Wollfäden, Papier u. a.

Ganz reines Wasser ist ein ziemlich guter Isolator.

Anwendung der Isolatoren zu zahlreichen elektrischen Apparaten.

c) Die auf dem Glasfuß stehende Metallkugel wird mit einem Flanelltuch oder Fuchsschwanz kräftig gepeitscht. Sie erweist sich als elektrisch.

Alle Stoffe werden durch Reiben elektrisch, aber nur bei Isolatoren gelingt es, die erhaltene Ladung ohne weiteres nachzuweisen. Warum nicht bei einer in der Hand gehaltenen Metallstange?

Übungen: *1. Stelle den Versuch a) mit einem am Zwirnsfaden statt am Seidenfaden hängenden Pendel an und erkläre den Unterschied im Erfolg.

*2. Streiche eine unelektrische Glas- oder Siegellackstange an einer Stelle mit einer elektrisch gemachten Stange. Prüfe, an welchen Stellen die erstere jetzt Elektrizität zeigt. Wiederhole den Versuch mit einer Metallstange, die einen isolierenden Handgriff (Siegellack) besitzt.

3. Erkläre, warum die elektrischen Versuche gegen Ende einer Lehrstunde meist nicht mehr recht gelingen. Wann gelingen sie überhaupt nicht? Warum überzieht man wohl das zur Isolation dienende Glas mit einer dünnen Lackschicht?

4. Welche Eigenschaft der Luft hat es uns überhaupt nur ermöglicht, Untersuchungen über die elektrischen Erscheinungen anzustellen? Würde ein tropisches Klima die Entwicklung dieses Zweiges der Wissenschaft begünstigt oder verzögert haben?

5. Was ist daraus zu schließen, daß Papier nur dann gut isoliert (und deshalb auch nur dann mit Erfolg durch Reiben elektrisiert werden kann), wenn es angewärmt ist? Stelle Versuche mit elektrisierten Papierbogen an (am besten braunes Packpapier, am Ofen getrocknet, mit der Faust gerieben). — Spazierstock über der Stuhllehne!

§ 128. Positiv und negativ elektrische Körper. **Versuche:* a) Zwei Glasstäbe und zwei Hartgummistäbe werden durch Reiben elektrisch

[1]) *condúcere* (lat.) = führen, leiten.
[2]) *isola* (ital.) = Insel.

gemacht. Je einer der Stäbe wird frei beweglich aufgehängt (Abb. 238) und einer der anderen drei Stäbe ihm genähert. Es zeigt sich, daß sich Glas und Glas, Hartgummi und Hartgummi abstoßen, aber Glas und Hartgummi sich anziehen.

b) Zwei gleiche elektrische Pendel werden beide mit Glas oder beide mit Hartgummi elektrisch gemacht. Genähert stoßen sie sich dann gegenseitig ab. Macht man aber das eine mit Glas, das andere

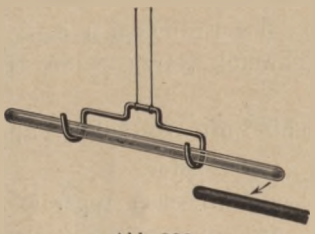


Abb. 238.



Abb. 239.



Abb. 240.

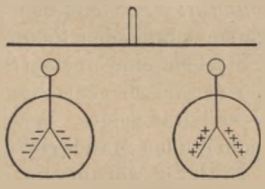


Abb. 241.

mit Hartgummi elektrisch, so ziehen sie sich an. Entsprechend verhalten sich die Pendel zu den Stangen.

Prüft man ebenso noch andere Körper, so zeigt sich, daß alle sich entweder wie Glas oder wie Hartgummi verhalten (Siegellack, Schwefel, Bernstein z. B. wie das letztere). Es gibt also zwei verschiedene Arten des elektrischen Zustandes (Glaselektrizität, Harzelektrizität), und es gilt das Gesetz:

Ungleichnamig elektrische Körper ziehen sich an, gleichnamig elektrische stoßen sich ab.

Hierbei ist es einerlei, ob der elektrische Zustand ursprünglich durch Reiben erzeugt oder durch Leitung übertragen ist [Versuch b)].

Wie erklärt sich nunmehr die bei dem Grundversuch § 126 eintretende Abstoßung?

Eine wichtige *Anwendung* des Gesetzes bildet das zur Erkennung geringer elektrischer Ladungen dienende **Elektroskop.** Ein solches wird in der einfachsten Form durch ein sogenanntes Doppelpendel (zwei an feinen Metalldrähten an demselben Bügel aufgehängte Holundermarkkügelchen) gebildet; viel empfindlicher aber ist die in Abb. 239 gezeigte gebräuchliche Form, bei der an dem unteren Ende eines dicken Drahtes zwei Strohhalme, Papierstreifchen, Gold- oder Aluminiumblättchen angeklebt sind, und das Ganze zum Schutze gegen Luftströmungen mit einer Glashülle umgeben ist. Oben endet der Draht in eine runde Platte oder einen Knopf. Durch den Deckel wird er vermittelst eines Bernstein- oder Schwefelringes isoliert hindurchgeführt. Wird dem Knopf eine sehr geringe elektrische Ladung zugeführt, so spreizen die Blättchen auseinander. (Das Elektroskop „schlägt aus".) Schon das Bestreichen des Knopfes mit einem Pinsel genügt dafür.

Eine andere Form, das Gabel- oder Strohhalmelektroskop, zeigt Abb. 240.

**Versuche:* c) Zwei gleiche Elektroskope werden ungleichnamig elektrisch bis zu gleich großen Ausschlägen geladen, dann durch einen isolierten Draht verbunden (Abb. 241). Beide Ladungen verschwinden vollständig. War das eine Elektroskop aber stärker geladen als das andere, so bleibt auf beiden ein Rest von der stärkeren Ladung zurück.

Es ergibt sich:

Ungleichnamige elektrische Ladungen verhalten sich wie positive und negative Größen, sie heben einander teilweise oder ganz auf. Man ist übereingekommen, die Glaselektrizität als **positiv,** die Harzelektrizität als **negativ** zu bezeichnen. (Glas mit Seide, Harz mit Wolle gerieben.)

Beim Reiben werden stets beide geriebene Körper entgegengesetzt elektrisch. Nötigenfalls muß man, um dies auch für das „Reibzeug" nachzuweisen, dieses isolieren. Es wird z. B. Zink +, Hartgummi —; Flanell +, Hartgummi —, Glas +, Seide oder Flanell —; Leder +, Siegellack —. Die beiden Körper erhalten dabei, wie genaue Versuche ergeben haben, stets entgegengesetzt gleiche Ladungen (Elektrizitätsmengen, s. § 129).

Geschichtliches: Noch Gilbert (s. § 126) glaubte, daß es elektrisierbare und nicht elektrisierbare Körper gäbe. Erst Gray entdeckte 1729 den Unterschied zwischen guten und schlechten Leitern und damit die Elektrisierbarkeit aller Körper durch Reiben. Den Unterschied der beiden Arten von Elektrizität fand Dufay kurz darauf (1733); die Bezeichnung: positive und negative Elektrizität rührt aber nicht von ihm, sondern von LICHTENBERG (1777) her. Über „dualistische" und „unitarische" Auffassung siehe § 131

Übungen: *1. Fertige dir selbst zwei möglichst gleiche Elektroskope an aus je einem dicken Kupferdraht, der am unteren Ende flach geklopft ist, und an dem zwei schmale Streifen Blattgold kleben. Der Draht gehe durch einen Korkpfropf, der mit Paraffin getränkt und in den Hals eines Medizinfläschchens gesteckt ist; sein oberes Ende sei mit einem Kügelchen versehen oder zu einer Öse umgebogen. — Auch das oben genannte Gabelelektroskop kann man sich leicht selbst herstellen (Paraffinfüße). Es hält die Ladungen in der Regel besser als das vorher angegebene.

*2. Falte einen Papierstreifen der Länge nach, reiße ihn am Kniff ein, jedoch nicht ganz durch, falte ihn wieder zusammen, trockne ihn am warmen Ofen ein wenig aus und ziehe ihn rasch durch die Finger, indem du einen Finger zwischen die Blätter bringst. Erkläre den Erfolg.

3. Würde die Erde, wenn sie bedeutend kleiner wäre als sie ist, bei den vielen im Laufe der Jahrhunderte angestellten elektrischen Experimenten nicht schließlich eine nennenswerte elektrische Ladung haben annehmen müssen?

4. Einem + elektrischen Pendel wird ein Körper genähert. Es erfolgt eine Anziehung. Beweist dies, daß der letztere — elektrisch war? (Vgl. § 120, Übung 3.)

5. Bringe ein elektrisches Pendel zwischen einen geriebenen Hartgummi- und Glasstab. Erkläre die auftretenden Bewegungen. Muß das Pendel hierbei am Seidenfaden hängen oder würde mit einem Zwirnsfaden auch dasselbe eintreten?

§ 129. Elektrischer Ausgleich. Elektrizitätsgrad und Ladungsmenge.

**Versuche:* a) Man verbinde zwei gleich große Kugeln mit je einem von zwei

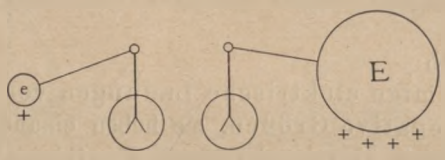


Abb. 242.

gleichen Elektroskopen, lade dieselben beide positiv (oder beide negativ), aber ungleich stark und verbinde sie durch einen isolierten Draht oder durch direkte Berührung. Es erfolgt ein Ausgleich.

b) Wiederholung des Versuchs mit entgegengesetzten Ladungen [vgl. auch § 128, c)].

c) Man verbinde zwei ungleich große Kugeln mit den Elektroskopen und lade bis zu gleichen Ausschlägen der Elektroskope (Abb. 242). Es erfolgt keine Änderung, wenn man verbindet.

d) Wiederholung mit anderen Ladungen (auch entgegengesetzten).

Die Versuche ergeben:

1. Zwischen zwei elektrisch geladenen Leitern erfolgt stets bei Herstellung leitender Verbindung ein Ausgleich, außer wenn mit ihnen verbundene Elektroskope gleiche Ausschläge gleichnamiger Ladung zeigen.

2. Damit dieser Zustand bei zwei ungleich großen Körpern eintrifft, muß man den größeren viel ausgiebiger mit dem geriebenen Glasstab usw. bestreichen, ihm also eine größere Ladungsmenge zuführen.

Indem wir diese Versuchsreihe mit dem Ausgleich des Wasserstandes in kommunizierenden Gefäßen (§ 53) oder dem der Temperatur in sich berührenden Körpern vergleichen, gelangen wir zur Unterscheidung der beiden Begriffe **Elektrizitätsgrad** und **Elektrizitäts-** oder **Ladungsmenge.** Der erstere wird vom Elektroskop angezeigt (Vergleich: Wasserstandsglas, Thermometer), und es gilt der Satz:

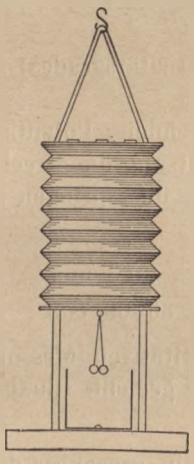


Abb. 243.

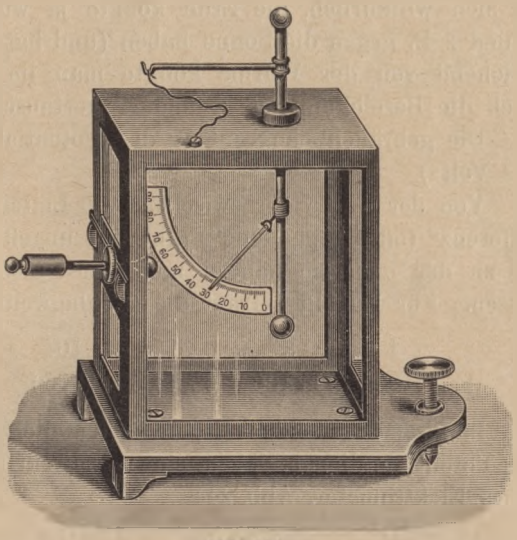


Abb. 244.

Bei Berührung von Leitern gleichen Unterschiede im Elektrizitätsgrad sich stets so aus, daß dieser längs des ganzen Leitersystems gleich groß ist.

Weitere Bestätigung dieses Satzes durch Herumführen eines mit dem Elektroskop verbundenen Drahtes an einem länglichen Leiter.

Die Elektrizitäts- oder Ladungsmenge entspricht dagegen der Wassermenge bzw. der Wärmemenge (der Anzahl Kalorien) und es gilt, diesem Vergleich entsprechend:

Je größer ein Körper (genauer: seine Oberfläche, s. unten und § 130) **ist, um so größere Ladungsmenge muß man ihm zuführen, um einen bestimmten Elektrizitätsgrad zu erreichen.** Man sagt deshalb, der größere Körper besitzt die größere **Kapazität** (Vergleich mit Wassergefäßen). Ferner:

Ungleichartige Ladungen heben sich nur dann vollständig auf, wenn die beiden Ladungsmengen gleich groß sind. (Vergleich: Mischungsversuch mit kalter und warmer Flüssigkeit.)

Versuch: e) Mittels des in Abb. 243 dargestellten Apparates läßt sich leicht zeigen:

Durch Verkleinerung der Oberfläche eines Leiters steigt bei gleichbleibender Elektrizitätsmenge der Elektrizitätsgrad.

Der Elektrizitätsgrad wird auch **Potential**[1]) genannt. Als Nullpunkt des Potentials gilt das der Erde. Diese Festsetzung ist an sich willkürlich, die Erde könnte ja wieder einen Potentialunterschied z. B. gegen die Sonne haben (und hat ihn sicherlich auch). Abweichend von der Wärme könnte man im vorliegenden Falle auch noch die Bezeichnungen + und — vertauschen.

Die gebräuchliche Einheit des Potentials (Elektrizitätsgrades) ist das **Volt**[2]).

Von der Größe der zwischen zwei Leitern bestehenden „Potentialdifferenz“ (oder **„Spannung“**) gibt eine ungefähre Schätzung die Strecke, bis zu der man sie nähern muß, um einen Funken überspringen zu lassen. Für Kugeln beträgt die „Schlagweite“ etwa

	1	3	5	10	15	20	mm
bei	4800	11400	17300	26700	31600	36000	Volt

Elektrometer heißen Elektroskope, die zur quantitativen Messung der Potentiale dienen. Meist sind sie direkt nach Volt geeicht. Braunsches Elektrometer, Abb. 244.

Übungen: 1. Warum soll ein Elektroskop klein sein gegenüber dem Körper, dessen Potential gemessen werden soll? (Vergleich mit Thermometer und Wasserstandsglas.)

2. Drei Kugeln sind auf + 50000, + 20000, — 10000 Volt geladen. Welche Funkenlängen sind zu erwarten, wenn man a) zwei von ihnen einander, b) eine von ihnen dem Knöchel nähert? (Größere Funkenlängen sind ungefähr den Potentialdifferenzen proportional.)

3. Wie könnte man den in Abb. 243 angegebenen Versuch mittels einer Seifenblase anzustellen versuchen? (Hartgummiröhre, Gummigebläse.)

*4. Befestige an zwei Siegellackstangen ein Blatt dünnen Kupferblechs oder Stanniols, verbinde es durch einen Draht mit dem Elektroskop und lade es. Rolle das Blatt dann mit Hilfe der Stangen zusammen und beobachte den Erfolg.

---

[1]) *potentia* (lat.) = Stärke.

[2]) Alessandro Volta (1745—1827), Begründer der Lehre vom elektrischen Strom.

§ 130. Sitz der Ladung an der Oberfläche guter Leiter. Elektrische Dichte. Man hat beobachtet, daß eine Hohl- und eine Vollkugel von gleicher Größe gleiche Ladungen erfordern, um auf gleich hohen Elektrizitätsgrad geladen zu werden. Hieraus schloß man, daß sich die Ladung lediglich an der Oberfläche befinde. Um dies direkt nachzuweisen, ließ der englische Physiker FARADAY einen großen mit Drahtgewebe und Stanniol überzogenen Kasten anfertigen und an Seidenschnüren isoliert aufhängen. Dann begab er sich, mit den empfindlichsten Elektroskopen versehen, in das Innere des Kastens und ließ nun diesen von außen sehr stark elektrisieren: es zeigte

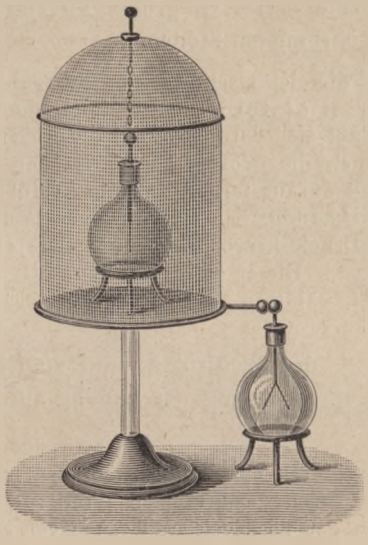


Abb. 245.

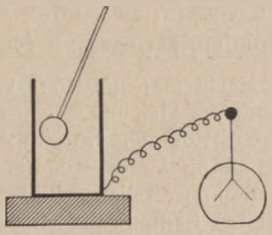


Abb. 246.

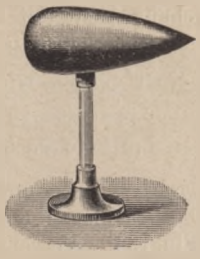


Abb. 247.

sich dennoch im Innern keine Spur von Ladung. Dagegen ließen sich die Wirkungen der Ladung an der Außenfläche durch elektrische Pendel u. dgl. nachweisen. Ähnliches zeigen im kleinen die

Versuche a): 1. Ein Elektroskop wird auf eine isolierte Metallplatte gestellt (Abb. 245) und mit einer Glocke aus Drahtnetz bedeckt. Führt man der Drahtglocke vor dem Konduktor der Elektrisiermaschine starke Ladungen zu, so zeigt das Elektroskop im Innern der Glocke doch keinen Ausschlag. — 2. Über eine isoliert aufgestellte Metallkugel lassen sich an isolierenden Handgriffen die zwei Hälften einer Hohlkugel schieben. Ladet man die Kugel und schiebt die Halbkugeln so darüber, daß sie zur Berührung mit der Kugel kommen, so zeigen sie sich nach dem Wiederentfernen geladen, die Kugel dagegen ist unelektrisch. — 3. Man stelle ein Hohlgefäß (Kakaobüchse) auf einen Isoliertisch (Paraffinplatte) und senke eine geladene Kugel an isolierendem Griff hinein (Abb. 246). Die Kugel wird vollständig entladen. (Eiseimerversuch FARADAYs.)

Man kann somit durch Verbindung eines Elektroskops mit einem solchen Hohlgefäß die gesamte Ladung eines Körpers auf dieses übertragen (Becherelektroskop).

Wir benutzen ein solches zu folgendem

**Versuch* b): Man berühre einen eiförmigen Leiter (Abb. 247) am spitzen und am stumpfen Ende mit einem „Probescheibchen" und übertrage die Ladung beidemal auf ein Becherelektroskop. Man prüfe ebenso die Oberfläche eines mit Stanniol beklebten Würfels. Es ergibt sich:

Die Ladung ist auf einem unregelmäßig gestalteten Leiter ungleich dicht verteilt, und zwar ist die Dichte derselben größer an stärker gekrümmten, geringer an schwächer gekrümmten Stellen.

Macht man die Hypothese, daß die elektrische Ladung aus zahlreichen getrennten kleinen Teilchen (Elektrizitätsteilchen) bestehe, die aufeinander Abstoßungskräfte ausüben, so läßt sich daraus sowohl die Ansammlung der Ladung an der Oberfläche als auch die größere Dichte an den stärker gekrümmten Stellen erklären. Es folgt daraus ferner, daß die Abstoßung der gesamten Ladung auf einen Teil der Ladung, der sich an einer bestimmten Stelle der Oberfläche befindet, einen Druck hervorbringt, der senkrecht zur Oberfläche nach außen hin gerichtet ist. Dieser **elektrostatische Druck**, der aber durchaus nicht mit der in § 129 erklärten Spannung zu verwechseln ist, tritt besonders kräftig an einer Spitze auf:

An einer Spitze wird die Dichte der Elektrizität und zugleich der elektrostatische Druck so groß, daß ein Übergang der Ladung auf die benachbarten Luftteilchen stattfindet.

**Versuche:* Entladung einer Kugel durch Verbindung mit einer isolierten Nähnadel. Ausblasen einer Flamme durch „elektrischen Wind". — Elektrisches Flugrad. Verschiedene Form der positiven und negativen Spitzenentladung (Büschellicht, Glimmlicht).

Übungen: 1. Wenn eine Anzahl von Wassertropfen, die alle auf dasselbe Potential geladen sind (Regentropfen bei Gewitter) zusammenfließen, wird dann die ganze Masse dasselbe Potential, ein größeres oder ein kleineres haben? (Erklärung der bei der Gewitterbildung auftretenden hohen Potentiale.)

*2. Befestige an beiden Seiten des in Übung 5 des vorigen Paragraphen genannten Blattes ein elektrisches Pendel, lade das Blatt und biege es zusammen. Wie ist die gemachte Beobachtung zu erklären?

3. Warum finden sich an Elektroskopen, Elektrisiermaschinen usw. so vielfach Kugeln, Ringe und runde Platten? Warum wurde für die Selbstanfertigung eines Elektroskops (Übung 1, § 128) gesagt, daß der Draht oben wenigstens zu einer Öse umgebogen werden solle?

4. Kann man sagen, daß die aus einer Spitze ausströmende Elektrizität eine Kerzenflamme ausblasen könne?

5. Für die früher erwähnten Versuche tut eine bronzierte Holzkugel dieselben Dienste, wie eine hohle oder massive Metallkugel. Warum?

§ 131. Elektrisierung durch Verteilung. An einem Elektroskop beobachtet man, daß bereits bei Annäherung eines elektrischen Körpers die Blättchen spreizen und beim Entfernen des Körpers wieder zusammenfallen. Man könnte behufs genauerer Untersuchung den oberen Teil des Elektroskops so einrichten, daß er sich während der Annäherung des elektrischen Körpers von dem unteren Teil trennen läßt (oder etwa eine Metallkugel mit isolierendem Stiel an den Kopf anlegen und während der Annäherung des elektrischen Körpers davon entfernen); noch einfacher ist folgender

Versuch a): An den Knopf des Elektroskops rücke man einen isolierten Konduktor (Abb. 248) bis zur Berührung und nähere diesem einen geriebenen Glasstab. Auch hierbei spreizen die Blättchen. Rückt man während des Versuchs den Konduktor vom Elektroskop ab, so bleibt letzteres, und zwar positiv geladen. Der Konduktor dagegen erweist sich als negativ.

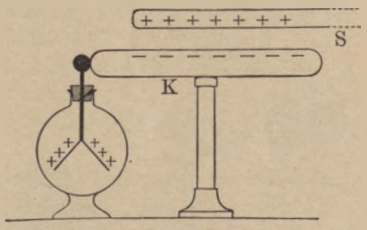


Abb. 248.

Versuch b): Man wiederhole den Versuch a) mit zwei aneinander gestellten Konduktoren (Abb. 249) und prüfe dann jeden von ihnen an einem Elektroskop. Sie erweisen sich als entgegengesetzt elektrisch. Macht man den Versuch noch einmal und nähert die Konduktoren nachher einander, so springt zwischen ihnen ein Fünkchen über und beide sind wieder unelektrisch.

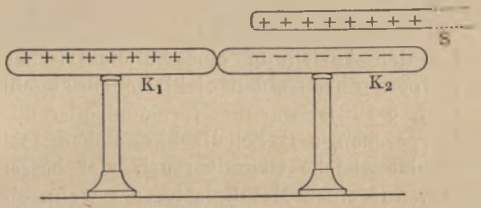
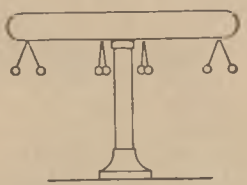


Abb. 249.


Abb. 250.

Man wiederhole die Versuche mit stärkeren und schwächeren elektrischen Glas- und Hartgummistäben, geladenen Metallkugeln usf. Versieht man einen zylindrischen Konduktor (Abb. 250) an beiden Enden und in der Mitte mit Doppelpendeln und nähert dem einen Ende einen elektrischen Körper, so spreizen die Pendel an den Enden, bleiben dagegen in der Mitte unverändert. Entfernt man den elektrischen Körper wieder mehr und mehr, so nimmt die Divergenz der Pendel ab und hört schließlich ganz auf. — Aus den Versuchen folgt:

I. Ein guter Leiter wird in der Nähe eines elektrischen Körpers „durch Verteilung (Influenz)“ elektrisch, und zwar an der diesem zugewendeten Seite ungleichnamig, an der abgewendeten Seite gleichnamig.

Der verteilende Körper verliert dabei nichts von seiner Ladung (Prüfung am Elektroskop!). Ferner ergibt sich:

II. Die durch Influenz hervorgerufenen Ladungen sind einander entgegengesetzt gleich. (Wodurch wird das bewiesen?)

Auch schlechte Leiter können durch Influenz elektrisch gemacht werden; sie gebrauchen hierzu längere Zeit, behalten dann aber ihre Ladungen. — Vergleich mit der Magnetisierung durch Influenz. Es bestehen jedoch wesentliche Unterschiede zwischen dieser und der elektrischen Influenz der Leiter. — Welche oben ausgeführte Operation ist vor allem bei der magnetischen Influenz erfolglos?



Abb. 251.



Abb. 252.



Abb. 253.

* *Versuch* c): Der Konduktor (Fig. 250) wird, solange der + elektrische Glasstab in der Nähe ist, an irgend einer Stelle ableitend berührt, hierauf die Hand, darauf der Glasstab entfernt. Der ganze Leiter erweist sich dann als negativ geladen. Also

III. Die Ladung, die der des verteilenden Körpers gleichnamig ist, ist „frei“, d. h. zur Erde ableitbar, **die ungleichnamige „gebunden“,** d. h. nicht ableitbar.

Erkläre nunmehr (Abb. 251), wie es bei der Anziehung eines unelektrischen Körpers durch einen elektrischen zugeht (vgl. § 126), warum ferner isolierende Körperchen, z. B. Schellackkügelchen, fast gar nicht angezogen werden, warum der gleiche Grundversuch viel besser gelingt, wenn die Papierschnitzel usw. auf einer Metallplatte, als wenn sie auf einer Glas- oder Hartgummiplatte liegen (**Versuch*).

Die elektrische Influenz kann, da der verteilende Körper seine Ladung ja behält, dazu dienen, beliebig große neue Elektrizitätsmengen zu erzeugen. Eine Anwendung dieses Prinzips bilden der (ältere) **Elektrophor**[1]) und die (neueren) Influenzmaschinen.

Erkläre die Einrichtung und Wirkungsweise des Elektrophors an Hand der Abbildungen (Abb. 252, 253). Zur vollständigen Erklärung ist auch die Kondensatorwirkung (§ 133) heranzuziehen. Influenzmaschinen s. § 134.

---

[1]) 1782 von Volta erfunden. Name von *phérein* (griech.) = tragen, *phoros* = Träger. Die Influenz ist 1752 zuerst von Äpinus (Professor in Berlin und Petersburg) untersucht.

Übungen: 1. Erläutere genauer, wie es bei dem Vorgang der Elektrisierung durch Mitteilung (§ 61) zugeht.

2. Warum spreizen die Blättchen eines Elektroskops schon bei der bloßen Annäherung eines geladenen Körpers?

3. Um ganz geringe Ladungen nachzuweisen, nähert man sie am zweckmäßigsten einem schon schwach geladenen Elektroskop. Erkläre, was hierbei geschieht, und warum dieses Verfahren meist empfindlicher ist, als die Einwirkung auf ein ungeladenes Elektroskop. — Warum kann man aber aus dem Zusammenfallen der Blättchen nicht auf ungleichnamige Elektrizität des genäherten Körpers schließen? (Vgl. § 121.)

4. Was geschieht, wenn du a) mittels eines isolierten Leiters, b) mittels eines zur Erde abgeleiteten Leiters (z. B. dem Knöchel) „aus einem elektrischen Körper" Funken ziehst? Ist dieser Ausdruck wirklich zutreffend? Wie ist vielmehr jeder elektrische Ausgleich aufzufassen? (Anwendung auf den Blitz!). In welchem Falle, a) oder b), wird der stärkere Funken zu erwarten sein?

*5. Wie kann man mittels eines geriebenen Glasstabes ein Elektroskop negativ laden?

*6. Verfertige dir selbst einen Elektrophor. Harzkuchen in Metallform, Holzdeckel mit Stanniol beklebt. Als Kuchen kann auch eine Reihe aufeinander geschichteter, getrockneter und durch Bürsten kräftig elektrisierter Papierblätter dienen.

*7. Bringe auf den Elektrophordeckel vor dem Aufsetzen ein Fähnchenelektroskop, setze ihn auf, berühre ihn, hebe ihn ab — Beobachtungen? Erklärung?

8. Widerspricht die andauernde Erzeugung neuer Ladungen mittels des Elektrophors, bei ungeändert bleibender Ladung des Kuchens, nicht dem Energiesatz? Vergleiche die beim Heben und Senken des Deckels zu leistenden Arbeiten!

Anmerkung. Die Tatsachen der elektrischen Influenz einerseits, der gegenseitigen „Neutralisation" positiver und negativer Ladungen andererseits haben zur Bildung verschiedener Vorstellungen geführt, die diese Vorgänge verständlich machen sollen. Nach SYMMER († 1763) denkt man sich in jedem Körper beliebige, aber gleich große Mengen positiver und negativer Ladung jederzeit vorhanden, die sich gegenseitig neutralisieren, solange sie nicht durch die Anziehung bzw. Abstoßung seitens eines geladenen anderen Körpers, oder durch Reibung voneinander teilweise getrennt werden. — Im Gegensatz zu dieser „dualistischen" Auffassung vertraten ÄPINUS und FRANKLIN [1]) eine unitarische: In jedem Körper befindet sich ein Normalquantum eines elektrischen „Fluidums". Ein Überschuß davon bedingt positive, ein Minus negative Ladung. Wegen ihrer größeren Anschaulichkeit ist die dualistische Vorstellung zunächst ziemlich allgemein durchgedrungen und beherrscht noch heute die Ausdrucksweise. Dagegen ist man neuerdings zu einer der unitarischen Theorie FRANKLINS verwandten Vorstellung zurückgekehrt, insofern man annimmt, daß die elektrische Ladung in einem Überschuß oder einem Minus von „elektrischen Elementarquanten" (Elektrizi-

[1]) BENJAMIN FRANKLIN (1706 bis 1790), bekannt aus der Geschichte des Unabhängigkeitskrieges und als Erfinder des Blitzableiters.

tätsteilchen, Elektronen) besteht, von denen im normalen Zustand jedes Atom eine gewisse Anzahl enthält. Diese Teilchen sind jedoch „negativ" elektrisch. (Vgl. Anhang III und IV.)

§ 132. Die Saugwirkung der Spitzen. *Versuche:* a) Hält man dem Konduktor einer Elektrisiermaschine eine Nähnadel mit der Spitze entgegen (oder nähert eine Messerklinge, Stahlfeder), so kann man aus dem Konduktor nur noch schwache oder gar keine Funken mehr ziehen. — b) Setzt man die Nadel auf den Knopf eines Elektroskops und bringt in einigem Abstand einen geladenen Glas-(Hartgummi-)Stab darüber, so lädt sich das Elektroskop sehr schnell, und zwar gleichnamig mit dem genäherten Körper. Man sagt:

Durch eine Spitze wird die Ladung eines genäherten elektrischen Körpers gleichsam aufgesaugt.

Die Erklärung ist durch die Influenz leicht zu geben.

Von dieser Tatsache wird, wie in § 134 gezeigt wird, bei den elektrischen Maschinen vielfacher Gebrauch gemacht.

Ähnlich wie eine Spitze verhält sich eine Kerzenflamme, doch beruht hier die Wirkung auf elektrischen Eigenschaften der Flammengase.

§ 133. Die Leidener Flasche. Ewald Jürgen von Kleist, Domherr zu Cammin in Pommern, entdeckte (1745), daß ein Nagel oder Draht, in ein enghalsiges, zum Teil mit Flüssigkeit gefülltes Medizinglăschen (Abb. 254) gesteckt, sich so stark elektrisieren ließ, daß man beim Versuch, ihn herauszuziehen, einen heftigen elektrischen Schlag erhielt. Die Versuche wurden bald darauf in Leiden wiederholt und führten zur Konstruktur der Leidener Flasche:



Abb. 254.

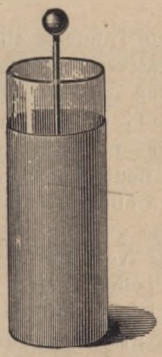


Abb. 255.

Ein Glasgefäß (Abb. 255) ist außen und innen mit Ausnahme des Randes mit Stanniol belegt (oder innen mit Metallspänen gefüllt); der Rand ist gewöhnlich noch mit Siegellack oder Firnis überzogen, so daß beide Belegungen voneinander wohl isoliert sind. Zur inneren Belegung führt ein Metallstab, der außen eine Kugel trägt[1]). — *Versuch:* Man führt der inneren Belegung wiederholt elektrische Ladungen zu, während man die äußere Belegung ableitend berührt. Stellt man dann zwischen beiden Belegen durch

[1]) Zur *Selbstanfertigung einer Leidener Flasche nimmt man ein Glas mit weitem Halse (Einmachglas), das möglichst schlecht leitend sein muß; statt des inneren Beleges kann man auch eine Füllung von Metallspänen (Goldschaum) nehmen.

die Hände und den Körper eine leitende Verbindung her, so empfängt man einen kräftigen elektrischen Schlag. Der Schlag erfolgt auch, wenn die Verbindung durch eine Reihe von Personen geschieht, die sich fest bei den Händen fassen.

Die richtige Erklärung rührt von BENJAMIN FRANKLIN her und ergibt sich am deutlichsten, wenn wir statt der Leidener Flasche eine **„Franklinsche Tafel"** betrachten. Diese ist eine Glastafel, welche auf beiden Seiten bis auf etwa ein Viertel der Breite und Höhe mit Stanniol belegt ist. Abb. 256 zeigt eine „zerlegbare FRANKLINsche Tafel"; mit dieser machen wir folgende

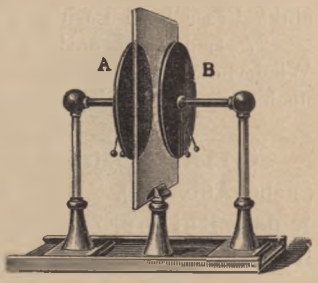


Abb. 256.

Versuche: 1. Stehen die Platten *A* und *B* entfernt voneinander und versucht man einer von ihnen wiederholt immer neue Ladungen (etwa mit dem Elektrophordeckel) zuzuführen, so springen schon nach den drei bis vier ersten Annäherungen keine Funken mehr über. Platte und Deckel haben dann (annähernd) den gleichen Elektrizitätsgrad erreicht. — 2. Werden *A* und *B* bis an die Glasplatte geschoben und wird *B* ableitend berührt, so kann man der Platte *A* von neuem eine Anzahl von Ladungen zuführen. — 3. Schiebt man nun die Platten wieder auseinander, so zeigt *A* eine kräftige positive, *B* eine nahezu ebenso starke negative Ladung. — 4. Läßt man beide Platten an der Glastafel und berührt man sie mit beiden Händen, so findet durch den Körper eine kräftige Entladung statt. — Berührt man die beiden Platten abwechselnd, so hat jedesmal die nicht berührte einen kleinen Überschuß an „freier" Ladung. — Entsprechende Versuche lassen sich mit einer zerlegbaren oder auch mit einer auf isolierende Unterlage gestellten Leidener Flasche anstellen.

Erklärung: Die (positive) Ladung von *A* wirkt verteilend auf *B*, von wo die gleichnamige (positive) Ladung in die Erde fließt, während die ungleichnamige (negative) Ladung die auf der Platte *A* befindliche positive Ladung fast vollständig bindet, so daß das Potential auf ihr beträchtlich erniedrigt wird. Infolgedessen „faßt" die Platte *A* eine viel größere Elektrizitätsmenge, als wenn ihr die Platte *B* nicht gegenüberstände. — Nachweis, daß auch der Isolator zwischen den Belegungen nach deren Entfernung elektrisch ist. Batterien von Leidener Flaschen. Jede in der beschriebenen Weise wirksame Vorrichtung wird, ohne Rücksicht auf die Form, auch als Kondensator (Verdichter) bezeichnet. Der Name ist von VOLTA für eine von ihm erfundene besondere Form (lackierte Metallplatten — der Lack bildet die isolierende Zwischenschicht) eingeführt.

Übungen: *1. Wenn man eine Leidener Flasche auf eine isolierende Unterlage stellt, und innen so stark als möglich ladet, so kann man aus dem äußeren Beleg einen kräftigen Funken ziehen. Welche Elektrizität? Warum?

*2. Wie kann man mittels des positiven Elektrophordeckels die Leidener Flasche inwendig negativ laden?

3. Was würde geschehen, wenn der Elektrophordeckel eine Spitze trüge?

*4. Würde der Elektrophor auch wirken, wenn man den Deckel vom Kuchen durch eine dünne Glasscheibe isolierte?

*5. Befestigt man an einem der Belege der FRANKLINschen Tafel ein elektrisches Pendel, so schlägt dieses fast gleich kräftig aus, ob man dieser Belegung selbst oder der anderen eine Ladung zuführt. Warum? Umgekehrt:

*6. Ladet man diejenige Belegung, an der sich das Pendel befindet, so sinkt dieses beim Berühren der anderen Belegung sofort herab. Warum?

*7 Lade und entlade eine Leidener Flasche oder FRANKLINsche Tafel. Wiederhole die zur Entladung vorzunehmende Operation nach einiger Zeit noch einmal. Elektrischer Rückstand!

§ 134. Elektrisiermaschinen. a) **Die Reibungselektrisiermaschine** (siehe Abb. 257). Die dargestellte WINTERsche Maschine besteht aus 1. dem Reiber, einer kreisrunden, drehbaren Glasscheibe *S*. 2. Dem Reibzeug, d. h. Lederkissen, die mit Amalgam (je 1 Tl. Zn, Sn und

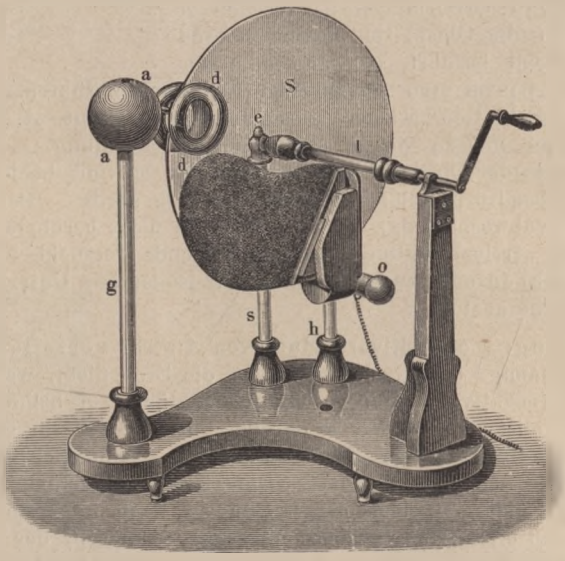


Abb. 257.

2 Tle. Hg) bestrichen sind und durch Federn gegen die Scheibe gepreßt werden. 3. Aus zwei Konduktoren *a* und *o*, von denen *o* mit dem Reibzeug, *a* mit zwei Ringen *d* verbunden ist. Zwei Blätter aus Wachstaffet verhindern, daß die Ladung der Scheibe nicht auf dem Wege von der Reibstelle zum Ringe an die Luft verlorengeht.

Die Ringe sind inwendig mit Spitzen besetzt, welche die (positive) Ladung der Scheibe „aufsaugen“ und dem Konduktor *a* zuführen. Die negative Ladung des Reibzeuges geht zum Konduktor *o*. Um am Reiberkonduktor *a* eine möglichst große Wirkung zu erhalten, muß man *o* zur Erde ableiten. Warum?

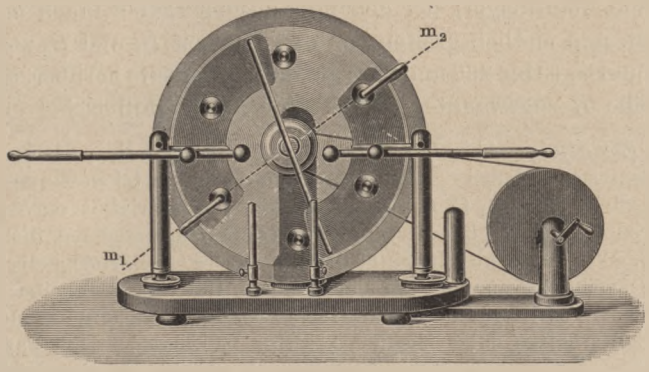


Abb. 258.

Die erste Reibungselektrisiermaschine konstruierte OTTO VON GUERICKE (um 1670). Sie bestand aus einer Schwefelkugel, die sich auf einer Holzachse drehte und dabei an einer trockenen Handfläche gerieben wurde.

Heute sind die Reibungselektrisiermaschinen durch die viel wirksameren und sicherer arbeitenden Influenzmaschinen fast ganz verdrängt.

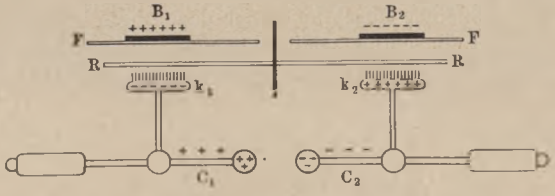


Abb. 259.

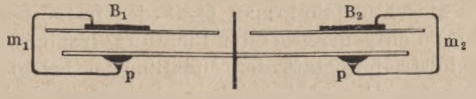


Abb. 260.

b) **Die Influenzmaschine** (HOLTZ 1867). Abb. 258 zeigt sie in einer der gebräuchlichsten Formen. Sie besteht aus einer feststehenden größeren Scheibe (Abb. 259 *F*, in Abb. 258 hinten) und einer davor drehbaren kleineren *R* (in Abb. 258 die vordere Scheibe). Auf der Rückseite der hinteren Scheibe befinden sich zwei Papierbelege B_1 und B_2 (in Abb. 258 die sichelförmigen dunkeln Streifen), auf der Vorderseite der dreh-

baren eine Reihe von Metallbuckeln. Ferner stehen auf der Vorderseite zwei der Scheibe R einen Spitzenkamm zukehrende Konduktoren k_1 und k_2, die zu den Kugeln C_1 und C_2 führen, sowie ein „Ausgleicher“ (in Abb. 258 der schräg von links oben nach rechts unten verlaufende Metallbügel), der ebenfalls an den Enden innen mit Spitzen besetzt ist, und endlich greifen von den Belegen B_1 und B_2 zwei Metallbügel m_1 und m_2 (Abb. 260 und 258) auf die Vorderseite herüber, die an dem der Scheibe R zugewandten Ende wiederum Metallbüschel (p) tragen.

Zur *Erklärung:* Abb. 259. Es seien die Belege B_1 und B_2 entgegengesetzt elektrisch geladen. Alsdann wirken sie im gleichen Sinne verteilend auf das Leitersystem $K_1 C_1 C_2 K_2$, ziehen die + Elektrizität nach rechts, die — Elektrizität nach links; durch die Spitzenkämme strömen diese auf die Scheibe R. Wird diese also im Sinne des Uhrzeigers (Abb. 258) gedreht, so muß bei der gemachten Annahme die ganze obere Hälfte der Scheibe R auf der Vorderseite — elektrisch, die untere Hälfte + elektrisch sein; insonderheit die Metallbuckel erhalten dabei ziemlich kräftige Ladungen. Beim Passieren der Kämme K_1 und K_2 wechseln die Ladungen der beiden Scheibenhälften jedesmal das Vorzeichen, da unter dem Einfluß der influenzierenden Belegung B durch die Spitzen bei K die entgegengesetzte Ladung im Überschuß zugeführt wird, wofür ein entsprechendes Quantum gleichnamiger Ladung in die Konduktoren C abfließt. Es findet somit ein dauernder Transport der Elektrizität mittels der beiden Scheibenhälften, und zwar oben der negativen von links nach rechts, unter der positiven von rechts nach links statt, dem ein dauernder Wiederausgleich durch das Leitersystem $K_1 C_1 C_2 K_2$ entspricht.

Die übrigen Teile der Maschine dienen dazu, diese Wirkung zu verstärken und daher auch die Maschine „selbsterregend“ zu machen (weil dann eine winzige, etwa durch Reibung entstandene Ladung genügt, um den Vorgang einzuleiten): Die Metallbügel m führen mittels der Pinsel p den Belegen B Ladung von der Vorderseite der Scheibe R zu. Der stabförmige „Ausgleicher“ unterhält den Transport der Elektrizität auch während der Zeit, wo das Leitersystem $K_1 C_1 C_2 K$ bei C_1 und C_2 unterbrochen ist.

Versuche zum Nachweis der entgegengesetzten Ladungen der Konduktoren, Belege und Scheiben.

Bei neueren Maschinen hat man statt der festen Scheibe mit den zwei Papierbelegen eine in entgegengesetzter Richtung drehbare Scheibe, die ebenso wie R mit Stanniolstreifen statt der Metallbuckel belegt ist. Die Scheiben sind von Hartgummi. Die übrigen Teile sind ganz ähnlich, die Erklärung ist dieselbe wie bei der oben beschriebenen Maschine.

Die Konduktoren C_1 und C_2 werden in der Regel mit den inneren Belegen zweier Leidener Flaschen verbunden, deren äußere Belege ihrerseits miteinander verbunden sind. Dadurch wird bei gleicher Umdrehungsgeschwindigkeit die Zahl der überspringenden Funken beträchtlich kleiner, ihre Stärke aber wesentlich größer (*Versuche*). Erklärung?

Einen dauernden Ausgleich entgegengesetzter Elektrizitäten, wie er in dem stabförmigen „Ausgleicher“, und auch in dem ununter-

brochenen System $K_1 C_1 C_2 K_2$ stattfindet, **nennt man einen elektrischen Strom (Leitungsstrom).**

Einen einzelnen (meist mit Funken verbundenen) **plötzlichen Ausgleich,** wie er bei Unterbrechung der Stelle $C_1 C_2$ in diesem Leitersystem auftritt, **nennt man Entladung.**

Während bei der Reibungselektrisiermaschine die erzeugte Elektrizität auf Kosten eines Teiles der beim Reiben geleisteten Arbeit entsteht, entspricht beim Elektrophor wie bei der Influenzmaschine der gewonnenen „elektrischen Energie" eine Arbeit, die man bei der Trennung entgegengesetzter bzw. der Annäherung gleicher Ladungen zu leisten hat. Bei der Influenzmaschine ist diese Arbeit, die beträchtlich größer ist, als die zur bloßen Überwindung der Reibungswiderstände nötige Arbeit, sehr deutlich zu spüren. Solange die Maschine noch nicht erregt ist, läuft sie sehr leicht, sobald aber Funken überspringen, dreht sie sich viel schwerer. Umgekehrt läuft eine nicht erregte Maschine infolge der Trägheit viel länger nach dem Loslassen, als die gleiche Maschine in erregtem Zustand.

Übungen: 1. Vergleiche die Influenzmaschine mit dem Elektrophor. Denke dir den Deckel des letzteren seitlich verschoben und statt mit dem Fingerknöchel mit einer genäherten Spitze zuerst abgeleitet, dann, nachdem er vom Kuchen entfernt ist, entladen.

2. Warum muß bei einer Reibungselektrisiermaschine der eine (Reibzeug-) Konduktor zur Erde abgeleitet werden?

3. Eine Influenzmaschine besitze zwischen ihren Konduktoren C_1 C_2 eine „Schlagweite" von 5 cm. Welchem Potentialunterschied entspricht das ungefähr? (§ 129). Welches Potential hat also jeder Konduktor, wenn beide isoliert sind, welches, wenn der eine mit der Erde verbunden ist?

4. Mit einer Influenzmaschine soll eine Batterie von Leidener Flaschen geladen werden, die aber, damit das Glas nicht durchschlagen wird, nicht über 60 000 Volt beansprucht werden darf. Welche Vorsichtsmaßregel hat man zu treffen?

5. Wie kann man mit Hilfe einer WINTERschen Reibungselektrisiermaschine größere Mengen negativer Elektrizität erhalten?

§ 135. Wirkungen der Entladung. Die bei der Trennung der entgegengesetzten Elektrizitäten aufgewendete Arbeit (s. den vorigen Paragraphen) kann in verschiedenen Formen wiedergewonnen werden.

Vergleich mit einer gespannten Feder, einem gehobenen Gewicht, einem Magnet mit davon entferntem Anker, einer zerlegten chemischen Verbindung wie $C + O_2$ usw.

Ein Teil der geleisteten Arbeit wird schon wieder gewonnen, wenn man die entgegengesetzt geladenen Körper der Anziehung folgend einander nähert. Hat jedoch die Annäherung eine bestimmte Grenze erreicht, so springt ein Funke über, und es erfolgt eine Umwandlung der aufgesammelten elektrischen „Energie" in andere „Energieformen". Wir unterscheiden folgende Wirkungen der Entladung.

1. **Mechanische Wirkungen:** z. B. *Durchschlagen eines Kartenblattes oder einer Glasplatte, elektrisches Flugrad (s. § 130) u. a., im großen die mechanischen Zerstörungen, die der Blitz oft anrichtet (Splittern von Holz, Zertrümmerung von Mauerwerk u. dgl.). Ein Teil davon ist allerdings erst indirekt eine Folge der stattfindenden Erwärmung (Nr. 3).

2. **Schallwirkungen:** Knall, Knistern, Zischen, Donner.

3. **Wärmewirkungen:** z. B. Entzündung von Leuchtgas oder Alkohol (**Versuche*), von Knallgas (elektrische Pistole, Eudiometer, s. Chemie § 178), auch Schießpulver, wenn die Entladung einer Leidener Batterie durch Zwischenschaltung eines Bindfadens verzögert wird. Zündende Wirkung des Blitzes u. a. m.

4. **Lichtwirkungen:** Diese sind außerordentlich mannigfaltig und hängen sehr von der Beschaffenheit der Luft, der Leiter, zwischen denen die Entladung übergeht, und anderen Umständen ab. (**Versuche* mit Blitztafeln, Blitzröhren, dem elektrischen Ei, GEISSLERschen Röhren u. a.) Kathoden- und Röntgenstrahlen s. Anhang III.

5. **Chemische Wirkungen:** Verwandlung des Sauerstoffs in Ozon durch die sogenannte stille Entladung, Vereinigung von N und O, N und H durch elektrische Funken u. a. Da im übrigen die chemischen wie auch die

6. **magnetischen Wirkungen** bei Versuchen mit den bisher behandelten Apparaten nur schwer nachweisbar sind, weil sie in erster Linie von der Menge der in Bewegung gesetzten Elektrizität abhängen, so werden sie besser an anderer Stelle besprochen (§ 140 und 145). Erwähnt sei nur noch, daß ein Stahlstückchen (Stahlfeder) dauernd magnetisiert wird, wenn man durch einen schraubenförmig darum gewundenen Draht einen Entladungsschlag gehen läßt. (**Versuch.*)

7. **Physiologische Wirkungen** sind besonders die eigentümlichen starken Nervenreizungen, welche man als „elektrischen Schlag" bezeichnet, die bei zu großer Intensität Lähmung, selbst den Tod im Gefolge haben können.

Alle diese Wirkungen treten in sehr verstärktem Grade auf bei der großartigsten elektrischen Erscheinung, dem Gewitter.

§ 136. Die elektrischen Erscheinungen in der Atmosphäre. Die schon sehr bald nach Entdeckung der elektrischen Erscheinungen aufgestellte Vermutung, daß auch der Blitz eine gewaltige elektrische Entladung sei, wurde durch FRANKLINs berühmte Versuche (1752) außer Zweifel gestellt: FRANKLIN ließ während des Vorüberganges von Gewitterwolken einen Drachen, der mit einer Metallspitze versehen war, an einer hanfenen Schnur steigen. An das untere Ende der Schnur war ein Schlüssel gebunden, der mit einem seidenen Tuch gehalten wurde. Als die Schnur feucht geworden war, gelang es, deutliche Funken aus dem Schlüssel zu ziehen (der Versuch war nicht ungefährlich). — Der Donner ist nichts anderes, als was im kleinen das Knacken oder Knattern des elektrischen Entladungsfunkens ist, eine durch die plötzliche Erwärmung und Wiederabkühlung entstandene heftige Lufterschütterung. Das Rollen des Donners entsteht durch die Reflexion des Schalles an Wolken, Bergen usw. Die Zeit, die zwischen Blitz und Donner verstreicht, ist die Zeit, welche der Schall gebraucht, um von der Blitzbahn

zum Beobachter zu gelangen (s. § 89). — Das Wetterleuchten ist ein so weit entferntes Gewitter, daß man den Schall nicht mehr hört, und auch von den Blitzen nur den Widerschein sieht.

Flächenblitze, Zickzackblitze und „Kugelblitze". (Letztere sind eine überaus merkwürdige, erst heute teilweise verständlich gewordene Form der Entladung.) — Die weitaus meisten Blitze springen zwischen Wolke und Wolke über, nur wenige zwischen Wolke und Erde verlaufende „schlagen ein". Wenn hierbei, obwohl ein Haus oder dgl. getroffen ist, aus irgendwelchen Gründen keine vollständige Entzündung erfolgt, spricht man von „kaltem Schlag". (Welche Gründe können etwa in Betracht kommen?)

Der **Blitzableiter** (von FRANKLIN 1753 erfunden, in Europa zuerst 1754 von dem Pfarrer DIVISCH in Mähren ausgeführt) besteht aus einer das zu schützende Gebäude überragenden Auffangsstange, die mit einer Spitze aus Gold oder Platin versehen und mit einer in das Grundwasser führenden, hinreichend dicken eisernen Leitung verbunden ist. — Noch besser schützt ein käfigartiger Überzug von Drähten (§ 130), oder auch z. B. eine über das Haus hinweggehende Telephonleitung.

Die Schutzwirkung des Blitzableiters beruht wahrscheinlich nicht, wie man zeitweise geglaubt hat, auf Entladung der Wolken durch die gegenüberstehenden Spitzen (§ 132), sondern, wie der Name sagt, auf einer direkten Ableitung des etwa eintretenden Entladungsschlages. Die Angabe, daß ein Blitzableiter einen Umkreis schützt, dessen Radius etwa doppelt so groß ist als die Höhe der Spitze, wird neuerdings angezweifelt.

Weitere elektrische Erscheinungen der Atmosphäre sind das **St. Elmsfeuer,** d. h. (positive) Büschelentladungen aus Spitzen, die (negativ) geladenen Wolken gegenüberstehen, sowie die **Polarlichter,** Leuchterscheinungen, die bei uns nur selten, in den höheren Breiten aber oft in großer Schönheit zu sehen sind, und die den Entladungen in den GEISSLERschen Röhren verwandt sind. Ihr Sitz sind die höheren und höchsten Teile der Erdatmosphäre in der Umgebung der (magnetischen) Pole.

Übungen: 1. Der elektrische Energievorrat (s. o.) besteht in der Trennung der entgegengesetzten Elektrizitäten. Wie verhält sich das nun bei einem einzelnen geladenen Körper?

2. Wie desgleichen bei einer Influenzmaschine, wenn einmal beide Pole isoliert, zum anderen Male einer zur Erde abgeleitet ist?

3. Wie desgleichen bei zwei + geladenen Kugeln, die a) sich berühren, b) sich infolge ihrer Abstoßung voneinander entfernt haben. Bekommt man bei gleichzeitiger Entladung beider durch einen Draht gegen die Erde in beiden Fällen die gleiche Wärmemenge?

4. Wie verhält es sich entsprechend bei ungleichnamig geladenen Kugeln im Falle man a) beide entfernt einzeln entladet, b) die Kugeln sich erst nähern läßt, dann entladet, c) beide bis zum Funken nähert?

5. Ist die Fortschleuderung des Stopfens der elektrischen Pistole eine „mechanische Wirkung" der Entladung? Desgleichen wenn jemand einen Stein deshalb aus der Hand schleudert, weil der Arm infolge eines elektrischen Schlages zusammenzuckt? Woher stammt die zur Bewegung aufzuwendende Energie in beiden Fällen?

6. Was ist der „Schwefelgeruch des Blitzes"? Inwiefern enthält die Bezeichnung noch eine zweite Ungenauigkeit?

7. In welchem Sinne kann man sagen, daß der Blitz nicht nur aus der Wolke in das Haus, sondern auch aus dem Hause in die Wolke fahre?

8. Weshalb soll man sich bei Gewittern nicht in der Nähe von Bäumen, Türmen, von Gas- und Wasserleitungsröhren, Fenstergittern, Kronleuchtern aufhalten?

9. Warum wirken Blitzableiter, die nicht mit den größeren Metallmassen des Gebäudes leitend verbunden sind, desgleichen zu dünne oder unterbrochene oder oxydierte Auffang- oder Ableitstangen, geradezu schädlich?

10. Als größte Zwischenzeit zwischen Blitz und Donner ist 72 Sekunden festgestellt worden. Wie weit war der Blitz entfernt? Zeige, daß die ungefähre Entfernung des Blitzes in Kilometern gleich der Zahl der verstrichenen Sekunden, dividiert durch 3 ist. — Wie könnte man versuchen, die Höhe von Gewitterwolken abzuschätzen?

11. Woraus wird sich die relative Seltenheit der St. Elmsfeuer erklären?

12. Stelle noch einmal nach § 135 die Wirkungen des Blitzschlages zusammen.

VII. Erscheinungen des elektrischen Stromes (Galvanismus).

§ 137. Berührungselektrizität. *Geschichtliches:* Im Jahre 1789 entdeckte LUIGI GALVANI, Professor der Medizin in Bologna, bei Gelegenheit von Untersuchungen über das Verhalten des tierischen Körpers gegen elektrische Entladungen, daß ein Froschschenkel zusammenzuckte, wenn man das obere Ende des ihn durchziehenden Nerven und das untere Ende des Froschschenkels an je einem Draht aus verschiedenen Metallen (z. B. Eisen und Kupfer) befestigte und die freien Enden dieser Drähte zur Berührung brachte. Während er die Ursache dieser Erscheinung in einer „tierischen Elektrizität" suchte, deren Sitz der Nerv sein sollte, erkannte ALESSANDRO VOLTA, Professor der Physik zu Pavia, bei Wiederholung und Ergänzung der Versuche, daß die Berührung verschiedener Leiter die Ursache der Erscheinung ist. Es entstehen nämlich bei solchen Berührungen zwischen den verschiedenen Leitern Potentialdifferenzen (§ 129), deren Ausgleich in diesem Falle durch den Nerven hindurch erfolgt und ihn reizt, wie der Entladungsschlag einer Leidener Flasche. VOLTA konstruierte auf Grund seiner Versuche 1799 das nach ihm benannte

Voltasche Element: Es besteht aus einer Zusammenstellung der drei Leiter Zink, verdünnte Schwefelsäure und Kupfer (oder Kohle). Gegenwärtig stellt man in der Regel je eine Platte aus den beiden Metallen in ein Glasgefäß, worin sich die Säure befindet (Abb. 261). Bei dieser Kombination erweist sich das **Kupfer** (die Kohle) als **positiv**, das **Zink** als **negativ** elektrisch.

Versuche: Man verbinde die beiden Platten durch isolierte Drähte mit den Platten eines empfindlichen Kondensatorelektroskops (Abb. 262), berühre

die obere Kondensatorplatte ableitend, löse alsdann die Verbindungen und hebe die obere Platte ab. Die untere Platte teilt dann den Blättchen des Elektroskops einen Teil der vorher durch die obere Platte „gebundenen" Elektrizität mit (§ 131, 133) und das Elektroskop schlägt aus.

Wiederholt man den Versuch mit beliebig großen und kleinen Kupfer- und Zinkplatten, so ergibt sich stets derselbe Ausschlag, ein anderer jedoch, wenn man andere Metalle und Flüssigkeiten nimmt. So z. B. ein viel kräftigerer, wenn man der Schwefelsäure Kaliumdichromat ($K_2 Cr_2 O_7$) zusetzt. (Chromsäureelement s. u. § 144, 3.)

Ein „galvanisches Element" ist eine Zusammenstellung verschiedener Leiter (Metalle und Flüssigkeiten), zwischen deren freien Enden ein ganz

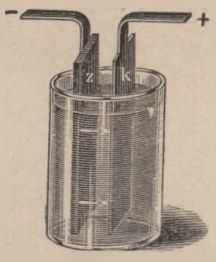


Abb. 261.

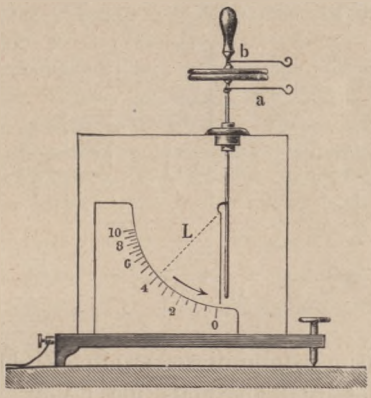


Abb. 262.

bestimmter, nur von der Art der verwendeten Stoffe, nicht aber von der Größe ihrer Oberfläche abhängiger Potentialunterschied besteht.

Über die wichtigsten galvanischen Elemente vgl. § 144.

Das Vorhandensein solcher Potentialdifferenzen, und zwar schon zwischen je zwei Leitern, die sich berühren, ist eine Grundtatsache, die hier nicht weiter erklärt werden kann, und die übrigens auch erst in der neuesten Zeit einigermaßen erklärt worden ist. Die Potentialdifferenzen sind aber zwischen Metall und Metall meist sehr klein, sie erreichen nur dann größere Beträge, wenn ein Metall eine Flüssigkeit berührt, in der das Metall chemisch angegriffen wird. — Im Voltaelement haben wir daher den Sitz der Potentialdifferenz oder der „elektromotorischen Kraft", wie man auch wohl sagt, **an der Berührungsfläche Zink—Schwefelsäure** zu suchen. An dieser Stelle „springt" das Potential um einen ganz bestimmten Betrag, der etwa 1 Volt beträgt.

§ 138. Galvanische Batterien. Zwei oder mehr (n) galvanische Elemente können auf zweierlei Weise miteinander verbunden werden.

1. Verbindet man alle Kupferplatten (+) untereinander und ebenso alle Zinkplatten (—), so hat man offenbar nur ein einziges Element mit n mal größeren Platten (Abb. 263). Man erhält also dieselbe Spannung wie bei einem Element, jedoch kann eine größere Elektrizitätsmenge in Bewegung gesetzt werden. Diese Anordnung nennt man **Parallel-** oder **Nebeneinanderschaltung** der „Batterie".

2. Verbindet man (Abb. 264) etwa das Zn des ersten Elementes mit der Erde, so daß hier also das Potential 0 ist, so haben die Schwefelsäure, das darin stehende Kupfer, sowie das damit leitend verbundene zweite Zink nach dem obigen das Potential etwa 1 (Volt). An der

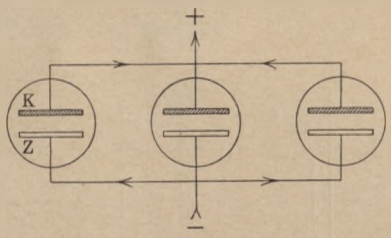


Abb. 263.

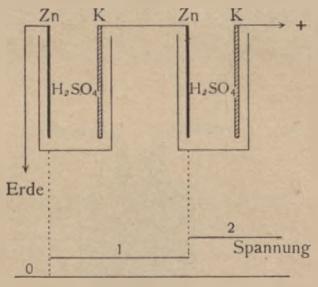


Abb. 264.

Berührungsstelle dieser zweiten Zinkplatte mit der zweiten Säure springt das Potential abermals um 1 Volt, so daß also Säure und Kupfer des zweiten Elements jetzt das Potential + 2 haben, usf. (wenn man noch mehr Elemente hinzufügt). Diese Anordnung nennt man **Reihenschaltung** oder **Hintereinanderschaltung** der Batterie.

***n* hintereinander geschaltete Elemente ergeben die *n* fache Potentialdifferenz des einfachen Elements.**

Da VOLTA zuerst solche Kombinationen durch Aufeinanderschichten von Zink- und Kupferscheiben und säuregetränkten Tuchstückchen herstellte, so nennt man die Anordnung auch heute wohl noch „VOLTAsche Säule" (1799). Warum war diese Gestalt sehr unpraktisch?

§ 139. Elektrischer Strom. — Die Stromenergie. Wie oft man auch den VOLTAschen Versuch (§ 137) wiederholt, das Elektrometer zeigt stets dieselbe Spannung wieder an. Wieviel Ladung man also auch den Platten entzieht, die Potentialdifferenz an der Berührungsstelle Zn/H_2SO_4 stellt sich immer wieder her. — Verbindet man daher die beiden Platten durch einen Draht, so findet in dem nunmehr geschlossenen „Stromkreis" ein dauernder Ausgleich der Poten-

tialdifferenz statt, den man, wie schon in § 134 erwähnt wurde, als **elektrischen Strom** bezeichnet. Es ist zu beachten, daß derselbe von der Berührungsstelle an gerechnet auch innerhalb des Elementes durch die Säure hindurchfließt. (Warum?) Als **Richtung des Stromes** wird nach Übereinkunft die vom höheren zum niederen Potential, also die Richtung bezeichnet, in der die positive Elektrizität fließt, d. i. **innerhalb des Elementes von der Berührungsstelle Zn/H_2SO_4 durch die Säure zum Kupfer, außerhalb vom Kupfer zum Zink** (Abb. 261).

Zum Zwecke raschen „Öffnens" und „Schließens" eines Stromes, sowie zur bequemeren Herstellung der Drahtanschlüsse und ähnlichem hat man eine Menge besonderer Vorrichtungen konstruiert („Stromschlüssel", wie z. B. Birnen, Knöpfe usw., Stromwender, Schalthebel, Klemmschrauben usf.).

Der elektrische Strom läßt sich mit einer Flüssigkeitsströmung in einem Rohre vergleichen, das zwei Wasserbehälter von ungleicher Niveauhöhe (Potential) verbindet. Diese Strömung dauert so lange, wie eine Niveaudifferenz besteht, und wird zu einer gleichmäßig fortdauernden, wenn eine Vorrichtung (z. B. eine Pumpe) vorhanden ist, die jene Niveaudifferenz immer wieder herstellt. — Dieser Vergleich macht nun die Tatsache besonders deutlich, daß zur Stromerzeugung eine Arbeitsleistung nötig ist:

Wie bei einer Pumpe das Hinaufpumpen des Wassers aus dem niederen Behälter in den höheren Arbeit erfordert, so erfordert auch die immer wieder erfolgende Scheidung der entgegengesetzten Elektrizitäten oder, was dasselbe ist, die immer erneute Wiederherstellung einer Potentialdifferenz, Arbeitsleistung. Wir sahen dies schon bei der Influenzmaschine (§ 134). Im galvanischen Element findet jedoch nicht, wie bei dieser, eine wirkliche mechanische Arbeitsleistung statt. Das einzige, was darin vorgeht, sind die **chemischen Umsetzungen. In diesen ist also die Quelle der Stromenergie zu suchen.**

Tatsächlich verhält es sich so, daß elektrischer Strom nur dauernd erhalten wird, wenn eine entsprechende chemische Reaktion die dazu erforderliche Energiemenge abgibt. Im Voltaelement, wie in den meisten anderen Elementen, ist diese Reaktion die Auflösung des Zinks in der Flüssigkeit. Diese Erklärung wird nun noch bestätigt durch folgenden

* *Versuch:* Je zwei schmale Streifen von Kupferblech und ganz reinem (oder amalgamiertem) Zinkblech werden zu zwei Voltaelementen mit Hilfe je eines Korkes vereinigt und nebeneinander in verdünnte Säure gehängt, dabei aber das eine Element durch einen Draht „geschlossen", das andere geöffnet gelassen. Während bei dem ersteren sich das Zink unter lebhafter Wasserstoffentwicklung löst, bleibt es bei dem letzteren fast unverändert.

Übungen: 1. Führe den Vergleich mit der Flüssigkeitsströmung bei einer galvanischen Batterie a) bei Parallelschaltung, b) bei Reihenschaltung durch (Zeichnungen!).

2. Gewöhnliches Zink löst sich auch ohne galvanischen Strom in verdünnter Schwefelsäure unter H-Entwicklung auf. In welcher Gestalt tritt

hier die Energie auf, die sonst als Stromenergie (bei Kombination mit Kupfer und Leitungsdraht) dem Zink hätte entnommen werden können?

3. An welcher Stelle wird bei GALVANIs Froschschenkelversuch der Sitz der „elektromotorischen Kraft" zu suchen sein?

*4. Wenn man eine Stange reinen (oder amalgamierten) Zinks, das sich in verdünnter Schwefelsäure nur sehr langsam auflöst, vorher mit Platin- oder Kupferdraht umwickelt, so wird die Wasserstoffentwicklung viel lebhafter. Warum? (Vgl. auch § 144, 3b.)

Es ist nun auch umgekehrt begreiflich, daß der elektrische Strom seinerseits eine Energiequelle vorstellt, d. h. daß die durch ihn gegebene Energie sich auf zahlreiche verschiedene Weisen (vgl. § 135) teils innerhalb, teils außerhalb der Stromleitung äußern kann. Zu den Wirkungen innerhalb der Stromleitung gehören die Wärme- und Lichtwirkungen, sowie physiologische und chemische Wirkungen, zu den außerhalb der Leitung wahrnehmbaren die magnetischen und die Induktionswirkungen. Diese Wirkungen sollen hier in der genannten Reihenfolge besprochen werden. Es ist jedoch zweckmäßig, von den magnetischen Wirkungen einiges vorauszunehmen, was sich auf die Erkennung und Messung von Strömen bezieht.

§ 140. Magnetische Wirkungen I. — Galvanoskop und Galvanometer. **Versuche*[1]): a) Oberhalb einer ruhenden Deklinationsnadel wird ein Stück des Schließungsdrahtes eines galvanischen Elements parallel zur Nadel vorbeigeführt. Sobald der Strom geschlossen wird, dreht sich die Nadel und stellt sich nahezu quer zum Strom. Ihre endgültige Stellung bestimmt sich aus der gleichzeitigen Einwirkung des Stromes und des Erdmagnetismus. Da die Nadel nur dann keine Abweichung zeigt, wenn der Strom von vornherein genau senkrecht zur Nadel von W nach O geht, so ist zu schließen, daß die Einwirkung des Stromes allein **die Nadel senkrecht zur Stromrichtung** zu stellen sucht.

b) Wird der Strom ferner oberhalb, unterhalb, seitwärts der Nadel vorbeigeführt, wie in Abb. 265, so erkennt man, wenn man jedesmal die Richtung der Abweichung feststellt, die Gültigkeit der sogenannten

Rechte-Hand-Regel: Legt man die rechte Hand so an den Strom, daß die Innenfläche der Nadel zugekehrt ist und die Finger in die Stromrichtung zeigen, so zeigt der ausgestreckte Daumen die Richtung an, in der der Nordpol ausweicht.

Dasselbe sagt die sogenannte „AMPÈREsche Schwimmerregel"

---

[1]) Um Versuche aus dem Gebiet des Galvanismus selbständig auszuführen, kauft man sich am besten ein paar der gewöhnlichen, für die Klingelleitungen benutzten Salmiak- oder Trockenelemente (§ 144, 3), und zwar möglichst große. Es ist dem Anfänger dringend abzuraten, Elemente mit Chromsäure- oder ähnlichen Füllungen zu benutzen, die nicht nur stark ätzen, sondern auch sehr bald verschmutzen und das Zink sehr rasch verzehren. Wo man es haben kann, sind dagegen Akkumulatoren zu empfehlen, die etwa jeden Monat geladen werden.

c) Denkt man sich statt der vier Nadeln in Abb. 265 eine einzige in der Mitte des Rahmens, so sieht man leicht, daß diese von allen Seiten des Stromes in gleichem Sinne abgelenkt wird. Dasselbe gilt auch, wenn der Rahmen eine beliebige andere Gestalt hat. Die Wirkung wird noch verstärkt, wenn der Draht mehrmals um die Nadel herumgeführt wird. Diese Einrichtung (Abb. 266) heißt **Multiplikator.**

Geschichtliches: Die Einwirkung des Stromes auf die Nadel wurde 1820 von OERSTED (Kopenhagen) entdeckt. Den Multiplikator erfanden kurz

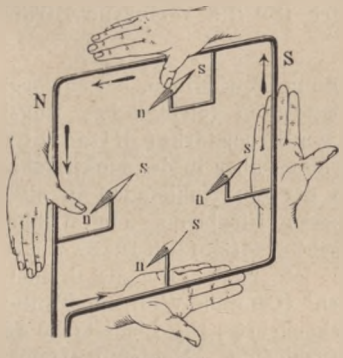


Abb. 265.

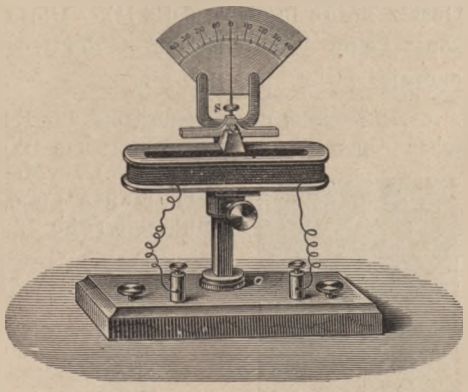


Abb. 267.

darauf SCHWEIGGER und POGGENDORF. Die weiteren Untersuchungen über die magnetischen Wirkungen des Stromes verdankt die Physik in erster Linie AMPÈRE (1825).

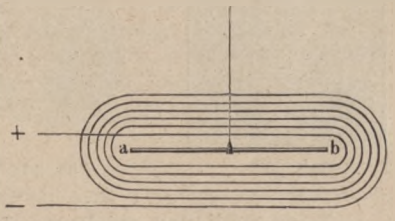


Abb. 266.

Galvanoskope und Galvanometer sind Anwendungen des Multiplikators. Ein einfaches Galvanoskop zeigt z. B. Abb. 267. Die Magnetnadel liegt dabei in Form eines Wagebalkens auf einer Schneide, die Windungen des Multiplikators liegen horizontal. An der Magnetnadel ist ein Zeiger befestigt, der vor einer Skala spielt. — Sind die Instrumente nicht nur zur Erkennung des Stromes überhaupt, sondern zum Messen desselben eingerichtet, so nennt man sie Galvanometer, und wenn sie direkt nach der gebräuchlichen Einheit für die Stromstärke (§ 144, 1), dem sogenannten Ampere, geeicht sind, **Amperemeter.** (Über das OHMsche Gesetz, s. Anhang II.)

Übung: Selbstanfertigung eines Galvanoskops: Draht auf Pappe oder Holzrahmen gewickelt, magnetisierte Stricknadelstücke mittels Messingdraht und Seidenfaden aufgehängt.

Wir werden solche Instrumente für eine Reihe der folgenden Versuche benutzen und betrachten nun zunächst

a) Wirkungen innerhalb der Stromleitung.

§ 141. Wärme- und Lichtwirkungen. * *Versuche:* a) Ein zwischen die Pole einer kräftigen Batterie geschalteter dünner Platin-, Neusilber- oder Eisendraht glüht oder schmilzt sogar durch und zeigt dabei eine beträchtliche Verlängerung.

Der elektrische Strom erzeugt im Schließungskreise Wärme („Joulesche Wärme", so genannt nach Joule, der 1841 das quantitative Gesetz dafür fand, s. Anh. II). Diese Wärme ist — wenn der Strom sonst keine Arbeit leistet — der Gegenwert für die verlorene Stromenergie.

Anwendung der Stromwärme zur Entzündung von Minen, bei chirurgischen Operationen, im elektrischen Widerstandsofen (elektrisches Bügeleisen u. a. m.), zur Messung der Stromstärke („Hitzdrahtinstrumente") u. a., vor allem aber in der **elektrischen Glühlampe** (Abb. 268), in der ein Kohlefaden in einer luftleeren Glasbirne zum Glühen gebracht wird (Edison 1879). Neuerdings ist man zu „Metallfadenlampen" (Osmium, Wolfram, Tantal) zurückgekehrt. Die Lichtstärke der gebräuchlichen Kohlefadenlampen beträgt meist 16 oder 32 „Normalkerzen", die der Metallfadenlampen 50 bis 100 NK und mehr. Letztere wirtschaften viel sparsamer.



Abb. 269.


Abb. 268.

b) Beim Auseinanderziehen der Drahtenden einer geschlossenen Leitung entsteht ein **„Öffnungsfunken".**

Beim Schließen stärkerer Batterien nimmt man auch einen (viel schwächeren) Schließungsfunken wahr.

Diese Funken sind bei Kupferdrähten grünlich, bei Eisen rötlich, bei Quecksilber hellweiß, bei Zink bläulichweiß usf. Schon hierin zeigt sich, daß in dem Funken glühende Metallteilchen enthalten sind. (* *Versuche.*)

Zu einer dauernden Erscheinung kann man den Öffnungsfunken machen, wenn man eine Batterie von mindestens 30 bis 50 Volt Spannung zur Verfügung hat. Es entsteht dann beim Auseinanderziehen der Drahtenden der sogenannte **Flammenbogen,** besonders hell leuchtet derselbe bei Benutzung von Kohlenstiften. Das so erzeugte, zur Beleuchtung im großen Maßstab verwendete Licht heißt **Bogenlicht.** Die Hauptquelle desselben ist der in der positiven Kohle sich bildende „Krater" (Abb. 269).

Da die Kohlen, vor allem die positive Kohle, von der Teilchen zur negativen Kohle hinüberfliegen, sich allmählich verzehren, so muß der Abstand der Kohlen nachreguliert werden, wenn der Lichtbogen nicht erlöschen soll. Dies geschieht mit der Hand oder (nach HEFNER-ALTENECKs Erfindung) mittels einer automatischen Regulierungvorrichtung, die auf magnetischen Wirkungen des Stromes beruht.

Die gewaltige Hitze des Lichtbogens (etwa 4000°) findet ferner Anwendung im elektrischen **Flammenofen** zur Herstellung mancher chemischer Produkte (z. B. Carborundum C Si, Calciumcarbid CaC_2 u. a.).

In dies Kapitel kann man ferner auch die in Anhang III kurz zu besprechenden Erscheinungen rechnen, welche beim Durchgang des elektrischen Stromes durch verdünnte Gase auftreten.

Übungen: *1. Warum wird ein Platindraht, der infolge des Stromes glüht, aufhören zu glühen, wenn man an anderer Stelle des Stromkreises den Strom irgend eine Arbeit tun läßt, z. B. einen kleinen Motor treiben oder einen Lichtbogen erzeugen läßt?

*2. Selbstanfertigung eines Hitzdrahtgalvanometers.

3. Warum ist das Leuchten der Glühlampe eigentlich nicht als „Lichtwirkung" des Stromes zu bezeichnen? (Vgl. dagegen das „kalte Licht" bei Gasentladungen Anhang III.) Warum erlischt die Lampe sofort nach Zertrümmerung der Birne?

§ 142. Physiologische Wirkungen. a) Mittels eines schwachen Stromes kann man die Gesichts-, Gehörs- und Geschmacksnerven reizen und so Licht-, Schall- und Geschmacksempfindungen hervorrufen. Die *Versuche* sind aber mit Ausnahme der Erregung der Geschmacksnerven durch die über und unter die Zunge gebrachten Batteriedrähte (saurer oder laugiger Geschmack) gefährlich und sollten daher von Laien unterlassen werden. — Schaltet man sich selbst als Leitung in den Stromkreis einer kräftigen Batterie, indem man mit angefeuchteten Händen und gut leitenden Handgriffen die Enden derselben berührt, so empfindet man im Augenblick der Berührung und ebenso im Augenblick der Wiederöffnung einen elektrischen Schlag. — Die vom Strom getroffenen Nerven, sowohl Empfindungs- als Bewegungsnerven, werden also durch den Strom gereizt, besonders im Augenblick des Öffnens und Schließens. Manche Tiere, z. B. Blutegel, sind schon gegen die schwächsten Ströme überaus empfindlich.

(**Versuch:* Blutegel auf einer Silbermünze, die auf einer Kupfer- oder Eisenplatte liegt.)

Anwendung der physiologischen Wirkung des Stromes in der „Elektrotherapie", z. B. bei Schlaganfällen, Rheumatismus u. a.

Warum darf man die im Auge erzeugte Lichtempfindung nicht als „Lichtwirkung" des Stromes bezeichnen?

Die Berührung von Starkstromleitungen (über 100 Volt) ist unter allen Umständen als gefährlich zu betrachten. Der Eintritt schädlicher Wirkungen und der Grad derselben hängt aber stets von den näheren Umständen ab, vor allem davon, ob die Berührung mit beiden Drähten gleichzeitig oder nur mit einem stattfindet (in diesem Falle bildet dann die Erde den anderen Pol) und ferner von der Beschaffenheit der berührenden Flächen (Hände, Stiefel.)

Grundsätzlich mache man sich vor allem niemals mit Werkzeug (Schraubenzieher usw.) an der Starkstromleitung zu schaffen, solange dieselbe nicht am Hauptschalter abgestellt ist!

§ 143. Chemische Wirkungen. **Versuche:* a) Der beistehende Apparat (Abb. 270) wird mit destilliertem Wasser gefüllt und nebst einem Galvanoskop in den Stromkreis einer Batterie geschaltet. Das Galvanoskop zeigt nur wenig Strom an. Durch genauere Versuche hat man gefunden:

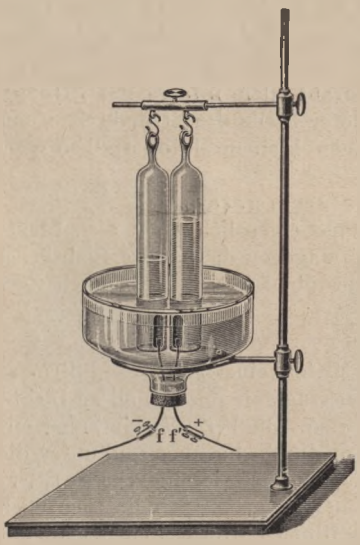


Abb. 270.

Reines Wasser leitet den Strom so gut wie gar nicht.

Jetzt setzen wir der Flüssigkeit nach und nach verdünnte Salzsäure zu. Bald wird der Ausschlag des Galvanoskops stärker, gleichzeitig sehen wir an den beiden Platten, durch die der Strom ein- und austritt, den sogenannten **Elektroden**[1]), Glasbläschen aufsteigen.

Um von diesen Gasen ein größeres Quantum aufzufangen, benutzt man am besten einen Apparat, bei dem die Stromzuführung statt durch Platin durch Kohle geschieht. Die Gase erwiesen sich als Wasserstoff und Chlor.

Aus der Salzsäure (HCl) scheiden sich also während des Stromdurchganges an den beiden Elektroden ihre beiden Bestandtteile H und Cl ab.

b) Wir wiederholen den *Versuch* nunmehr, indem wir dem destillierten Wasser andere Stoffe, z. B. Natronlauge, Schwefelsäure, Kochsalz, Salpeter, Zucker, Alkohol, Harnstoff, Glycerin zusetzen. Es ergibt sich, daß nur beim Zusatz von Säuren, Basen oder Salzen die Flüssigkeit elektrisch leitend wird, und daß dann stets mit dem Stromdurchgang an den beiden Zuführungsstellen auch chemische Veränderungen eintreten, im anderen Falle jedoch weder Stromdurchgang noch chemische Umsetzungen erfolgen.

Flüssigkeiten, welche unter chemischer Zersetzung den elektrischen Strom leiten, heißen Elektrolyte[2]), der Vorgang selbst heißt **Elektrolyse**[2]).

---

[1]) *hodós* (griech.) = Weg.
[2]) *lyein* = lösen.

Elektrolyte sind nach dem Gesagten vor allem **die wässerigen Lösungen von Säuren, Basen und Salzen,** ferner aber auch geschmolzene Basen, Salze, Metalloxyde.

Die an den beiden Elektroden ausgeschiedenen Bestandteile des Elektrolyten (vorhin H und Cl) nennt man **Ionen**[1]), und zwar den mit dem Strom gehenden, sozusagen hinabschwimmenden, das **Kation**[3]) (in diesem Falle H), den anderen (Cl) **Anion**[2]). Die beiden Elektroden werden dementsprechend als **Kathode** und **Anode** bezeichnet. Es ist also die Kathode der negative, die Anode der positive Pol (Abb. 271).

Geschichtliches: Die Elektrolyse wurde 1800 von RITTER und fast zugleich von CARLISLE und NICHOLSON entdeckt (s. unten). Bald darauf stellte DAVY (1804) auf diesem Wege Kalium und Natrium aus den ge-

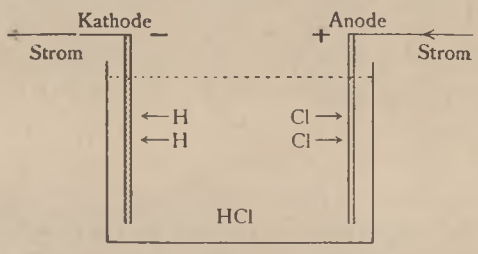


Abb. 271.

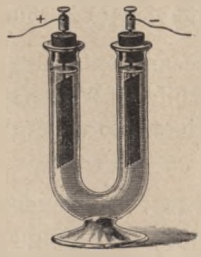


Abb. 272

schmolzenen Ätzalkalien her. Die oben genannten Bezeichnungen stammen von FARADAY, der (1833) das wichtigste quantitative Grundgesetz für die Elektrolyse fand.

Die Bezeichnung „Ion" bezieht sich auf die beiden Bestandteile des Elektrolyten (oben H und Cl), welche durch den Strom in demselben zunächst ausgeschieden werden. Es ist jedoch nicht immer gesagt, daß man diese Bestandteile auch wirklich ohne weiteres erhält, da sie sowohl mit dem Material der Elektrode als mit dem Lösungswasser oder dem Elektrolyten selbst **sekundäre chemische Reaktionen** eingehen können. Ein Beispiel dafür liefert die Elektrolyse wässeriger Kochsalzlösung (Na Cl), bei der man zwar an der Anode Chlor, an der Kathode aber statt des zunächst abgeschiedenen Natriums Wasserstoff und Ätznatron erhält. Folgende Elektrolysen seien als Beispiele noch angeführt:

a) Ohne sekundäre Reaktionen: **$CuCl_2$** zerfällt in Cu (Kation) und 2 Cl (Anion), ebenso geschmolzene **Metalloxyde** in das Metall (Kation) und Sauerstoff (Anion).

b) Mit sekundären Reaktionen: 1. **H_2SO_4** (verdünnte Schwefelsäure): Kation **H_2**, Anion SO_4. Letzteres kann jedoch nicht in freiem Zustand bestehen, reagiert daher entweder α) mit dem Anodenmetall (z. B. Cu) unter

[1]) *ion* = das Wandernde.
[2]) *ana* (griech.) = hinauf, *kata* (griech.) = hinab.

Salzbildung ($CuSO_4$) oder β) mit dem Wasser nach der Gleichung $H_2O + SO_4 = H_2SO_4 + \mathbf{O}$. Der letztere Fall tritt nur ein, wenn ein edles Metall (Pt, Au) oder Kohle die Anode bildet. Es entsteht dann also an der Kathode Wasserstoff, an der Anode Sauerstoff, der * *Versuch* erscheint also als „Zersetzung des Wassers" (erste Elektrolyse s. oben).

2. $\mathbf{NaOH} = Na + OH$. An der Kathode entsteht statt des Natriums wie oben $\mathbf{H} + \mathbf{NaOH}$, an der Anode freier Sauerstoff bzw. das Oxyd des Anodenmetalls ($2\,OH = H_2O + \mathbf{O}$).

3. $\mathbf{KNO_3} = K + NO_3$. Sekundär: $K + H_2O = \mathbf{KOH} + \mathbf{H}$; $2\,NO_3 + H_2O = 2\,\mathbf{HNO_3} + \mathbf{O}$ (d. h.?).

Der **Versuch* ist am besten in einem *U*-Rohr (Abb. 272) auszuführen, dessen Schenkel unten durch einen Bausch Glaswolle getrennt sind. Hat man vorher violette Lackmuslösung zugesetzt, so erhält man in einem Schenkel blaue, im anderen rote Färbung. — Beim Zusammengießen tritt wieder die neutrale violette Färbung ein. — Polreagenzpapier.

Zusammenfassung: Bei der Elektrolyse der Säuren, Basen und Salze bilden **Wasserstoff und die Metalle die Kationen, Hydroxyl (OH) und Säurereste die Anionen.**

§ 144. Anwendungen der Elektrolyse. 1. Die Elektrolyse bietet ein bequemes und genaues **Mittel zur Messung der Stromstärke.** Diese wird zwar zunächst (auf hier nicht näher darzulegende Weise) auf Grund der magnetischen Wirkung des Stromes gemessen; FARADAY hat jedoch festgestellt, daß die elektrolytische Wirkung der magnetischen genau proportional ist, d. h., daß die von zwei Strömen in gleicher Zeit aus demselben Elektrolyten abgeschiedenen Ionenmengen sich verhalten wie die (magnetisch gemessenen) Stromstärken.

**Versuche:* Nachweis der Proportionalität der aus $CuSO_4$ oder $AgNO_3$ abgeschiedenen Metallmenge mit der Stromstärke und der Zeit.

Als **Einheit der Stromstärke** hat man — auf Grund magnetischer Messungen — einen Strom festgesetzt, der imstande ist, in 1 Min. aus verdünnter Schwefelsäure **10,44 cm³ Knallgas** zu entwickeln (0°, 760 mm). Diese Stromeinheit heißt ein **Ampere.**

Der gleiche Strom scheidet in 1 Sek. 1,118 mgr Ag oder 0,3281 mgr Cu aus u. a. — Apparate, die den Strom auf diese Weise zu messen gestatten, heißen Voltameter (nicht zu verwechseln mit „Voltmetern", d. h. Apparaten, welche Potentialdifferenzen in Volt messen). — *Versuche.*

2. In der **chemischen Technik** findet die Elektrolyse ausgedehnte Anwendung zur Reindarstellung vieler Metalle (Al, Na, Mg, Cu, Ni) sowie zur Erzeugung von Laugen, Chlor u. a. Große Fabriken in Neuhausen am Rheinfall, Bitterfeld, Griesheim a. Main usw.

3. **Akkumulatoren. — Konstante Elemente.** **Versuche:* a) Schickt man einen Strom mittels zweier **Blei**elektroden durch verdünnte Schwefelsäure, so scheidet sich an der Kathode Wasserstoff aus, während die Anode durch den sich abscheidenden Sauerstoff zu braunem **Bleisuperoxyd,** PbO_2, oxydiert wird. Verbindet man nunmehr nach Ausschalten des ursprünglichen Stromes die beiden Platten durch einen Draht, in den ein Galvanoskop ein geschaltet ist, so zeigt dieses einen kräftigen Strom an, der in diesem „sekundären Element“ in umgekehrter Richtung fließt, wie der ursprüngliche „Ladestrom“ (Abb. 273 a, b). Der „Entladestrom“ dauert so lange, bis sich auf beiden Seiten die gleiche Oxydationsstufe PbO hergestellt hat, indem jetzt H und O in entgegengesetzter Richtung wandern. Der Prozeß der Ladung und Entladung kann beliebig oft wiederholt werden. Der Apparat, den man **Akkumulator** (= Stromsammler) nennt, gestattet also, **elektrische und chemische Energie beliebig ineinander zu verwandeln.**

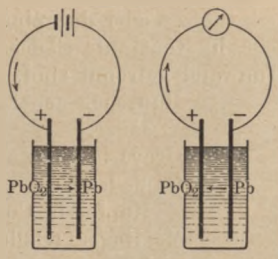


Abb. 273 a und b.

Die Spannung eines Bleiakkumulators beträgt etwa 2 Volt. Erfunden ist die Vorrichtung von PLANTÉ (1860). Der besseren Ausnutzung halber gibt man den Platten Gitterform und füllt die Zwischenräume gleich von vornherein mit Mennige (Pb_3O_4) an. — Neuerdings sind auch andere Zusammenstellungen in Gebrauch gekommen.

b) Wiederholt man den Versuch mit einem Apparat zur Elektrolyse verdünnter Schwefelsäure (Abb. 270), so zeigt sich, daß auch die mit H und O bedeckten Platinplatten in Schwefelsäure eine kurze Zeit hindurch als Stromquelle dienen können, wobei sich dann die Gasbläschen allmählich verzehren. Auch hier wirkt die elektromotorische Kraft des „sekundären Elementes“ in umgekehrter Richtung zum erzeugenden Strom. Dies gilt nun auch schon während des Durchganges des Ladestromes. Die elektromotorische Gegenkraft ist sogar so groß, daß man mit einem einzelnen Element die verdünnte Schwefelsäure gar nicht zersetzen kann (**Versuch*). — Eine solche Gegenkraft tritt nun auch im Voltaelement selbst auf, da sich beim Stromdurchgang die Kupferplatte desselben mit H bedeckt (**Versuch*). Dadurch wird aber die Potentialdifferenz Zn/H_2SO_4 zum größten Teil aufgehoben, so daß nach kürzester Zeit der Strom auf einen sehr geringen Betrag sinkt (**Versuch*). Um diesen früher als sehr störend empfundenen Übelstand zu entgehen, hat man eine ganze Anzahl **konstanter Elemente** konstruiert, die sämtlich darauf eingerichtet sind, den (als Kation) innerhalb des Elements auftretenden Wasserstoff unschädlich zu machen. Man unterscheidet

a) Konstante Elemente mit einer Flüssigkeit:

Chromsäureelement: Zink und Kohle in einer Lösung von Kaliumdichromat ($K_2Cr_2O_7$) in verdünnter Schwefelsäure.

Braunstein- oder Leclanchéelement: Zink in Salmiaklösung (NH_4Cl), die Kohleplatte vom Braunstein umgeben, der entweder herumgepreßt ist oder gekörnt in einem Beutel herumgelegt wird. Gebräuchlichstes Klingelelement, da es Zink nur verzehrt, solange Strom entnommen wird.

Trockenelemente (Taschenlampenbatterien): Ähnlich, doch als Elektrolyt meist Natronlauge ($NaOH$), die mit Glaspulver, Gelatine oder dgl. eingedickt wird.

b) Konstante Elemente mit zwei Flüssigkeiten: die durch eine poröse Tonwand getrennt sind, oder übereinander geschichtet werden.

Bunsenelement: Zink in verdünnter Schwefelsäure, Kohle in Salpetersäure.

Groveelement: ebenso, jedoch Platin statt Kohle.

Daniellelement (ältestes konstantes Element 1836): Zink in H_2SO_4-, Kupfer in $CuSO_4$-Lösung.

Meidinger- (Ballon-)Element: ähnlich, aber Zn in $MgSO_4$, die $CuSO_4$-Lösung in einem unten in eine kleine Öffnung auslaufenden Glasballon, der in die andere Lösung eintaucht.

4. **Galvanoplastik und Galvanostegie.** * *Versuche:* Verwendet man als Kathode in einer Kupfervitriollösung eine Münze oder einen durch Graphitüberzug leitend gemachten Gipsabguß einer solchen, als Anode Kupfer, so setzt sich auf jener das Kupfer in zusammenhängender Masse ab, die man schließlich ablösen kann und die einen getreuen Abdruck der Kathode (ein Negativ) darstellt, während sich entsprechend viel Kupfer an der Anode wieder aufgelöst hat. — Man nennt das Verfahren, dessen vielseitige Anwendungsmöglichkeiten auf der Hand liegen, **Galvanoplastik** [1]). Es dient insonderheit zur Herstellung der sogenannten **Klischees** [2]).

Das Überziehen von Metall- und anderen Gegenständen mit einer dünnen Metallschicht (Silber, Gold, Nickel) mit Hilfe der Elektrolyse nennt man **Galvanostegie** [3]).

Übungen: 1. Mit welchem Rechte konnte BERZELIUS sagen, daß Salzlösungen durch die Elektrolyse in Base und Säure zerlegt würden? — Auf welche Fälle paßt das jedoch nicht?

2. Inwiefern kann man Jodkaliumstärkepapier als „Polreagenzpapier" benutzen?

3. Wie könntest du ohne Polpapier und ohne Galvanoskop die Richtung eines Stromes ermitteln?

*4. Stelle dir selbst einen kleinen galvanoplastischen Apparat zusammen.

[5. Aufstellung der Reaktionsgleichungen für die Umsetzungen in den einzelnen konstanten Elementen.]

6. Wie könnte man Eisen galvanisch mit Messing überziehen?

---

[1]) *plassein* (griech.) = formen.
[2]) *clicher* (franz.) = abklatschen.
[3]) *stégein* (griech.) = bedecken.

b) Wirkungen außerhalb der Stromleitung.

§ 145. Magnetische Wirkungen II. Das Kraftfeld eines Stromes. In § 123 haben wir gesehen, daß man die Linien, in deren Richtung eine frei bewegliche Magnetnadel sich einstellt (oder in denen ein frei beweglicher Nordpol sich bewegen würde), magnetische Kraftlinien nennt. Da in der Umgebung eines geradlinigen Stromes die Nadel sich überall senkrecht zum Draht stellt, so müssen die magnetischen Kraftlinien hier kreisförmig den Draht umschlingen. Wir bestätigen das durch folgenden

* *Versuch:* a) Ein dicker gerader Draht wird lotrecht durch eine horizontale Kartonscheibe geführt und nach Anschluß eines kräftigen Stromes (mindestens 10 A) Eisenfeile auf den Karton gestreut. Man erkennt deutlich die kreisförmige Gestalt der Kraftlinien (Abb. 274). Die Richtung der Kraftlinien ergibt sich aus dem früher Gesagten. Die dort gegebene **Rechte-Hand-Regel** läßt sich dann auch so aussprechen:

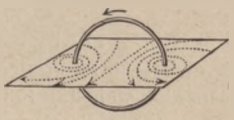


Abb. 275.



Abb. 274.

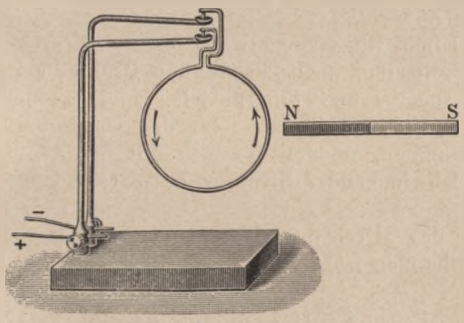


Abb. 276.

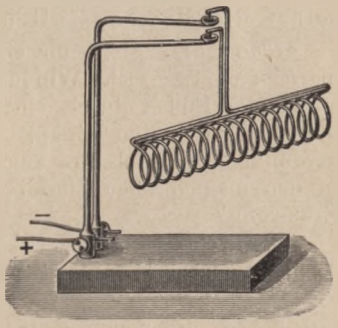


Abb. 277.

Zeigt der Daumen der rechten Hand in die Stromrichtung, so geben die Finger der geballten Faust die Richtung der ihn umschlingenden Kraftlinien an.

Auf Grund dieser Auffassung können wir nun leicht einige weitere Folgerungen voraussagen und durch das Experiment bestätigen:

Fließt der Strom durch einen nahezu kreisförmig geschlossenen Draht (Abb. 275), so können wir jedes Stückchen desselben als geradlinig betrachten

und das zugehörige Kraftlinienbild zeichnen. Insgesamt muß sich dann eine solche Kraftlinienverteilung ergeben, daß alle Kraftlinien auf der einen Seite des Ringes hinein- und auf der anderen wieder heraustreten. Der Ring verhält sich daher wie eine auf der einen Seite südmagnetische, auf der anderen nordmagnetische Eisenplatte. Dies bestätigen folgende

**Versuche:* b) 1. Ein Ring aus starkem Draht wird durch eine Kartonscheibe gesteckt, so daß oben und unten je ein Halbkreis liegt (Abb. 275) und das Kraftlinienbild erzeugt.

2. Ein Drahtring der bezeichneten Art wird beweglich aufgehängt (AMPÈREsches Gestell, s. Abb. 276). Er stellt sich beim Hindurchleiten des Stromes freiwillig so ein, daß seine Achse im magnetischen Meridian liegt, und wird durch einen Magnet abgelenkt (vgl. auch Übung 3). Wickeln wir ferner einen Draht in mehreren Windungen zu einem sogenannten **Solenoid**[1]) oder einer **Drahtspule** zusammen, so ergibt die Kraftlinienbetrachtung, daß alle Kraftlinien auf der einen Seite dieser Spule hinein-, auf der anderen wieder herausgehen, die Spule sich also wie ein Stabmagnet verhält.

**Versuche:* c) mit dem AMPÈREschen Gestell (Abb. 277) bestätigen diese Überlegung vollkommen. Auch zwei Solenoide wirken aufeinander ganz wie zwei Magnete. — Nur in einer Hinsicht unterscheidet sich das Solenoid vom Magnet: Weil es hohl ist, wird Eisen nicht nur von ihm angezogen, sondern sogar in das Innere hineingezogen.

**Versuch:* d) In eine größere Spule mit mehreren Lagen Drahtwindungen wird bei kräftigem Strom selbst ein schweres Eisenstück (Schraubschlüssel u. dgl.) mit großer Kraft hineingezogen und kann darin schwebend erhalten werden.

Weit kräftiger wird nun noch die Wirkung, wenn wir das Solenoid selbst mit Eisen ausfüllen.

Übungen: 1. Stelle dir einen kleinen Ring von etwa 3 bis 4 cm Durchmesser aus etwa sechs Windungen isolierten, nicht zu dünnen Drahtes her, stecke die Enden durch eine Korkscheibe und löte mittels Tinol je eine dünne Kupfer- und Zinkplatte daran. Bringt man jetzt das Ganze auf verdünnter Schwefelsäure zum Schwimmen, so stellt es sich mit der Achse in den magnetischen Meridian. „Schwimmender Strom von de la Rive." Erklärung?

2. Beschreibung und Erklärung des „Drehspulgalvanometers" (falls ein solches Instrument in der Schule vorhanden ist).

§ 146. Elektromagnetismus. **Versuch:* Um einen geraden oder hufeisenförmigen Eisenstab wird isolierter Draht in Schraubenlinien gewickelt (Abb. 278) oder eine fertige Drahtspule darüber geschoben. Schickt man einen kräftigen Strom hindurch, so wird das Eisen sehr stark magnetisch. Öffnet man den Strom, so verschwindet auch der Magnetismus, vorausgesetzt, daß man weiches (Schmiede-) Eisen genommen hatte.

---

[1]) *solēn* (griech.) = Röhre.

Die Lage der Pole eines **Elektromagnets** (bzw. Solenoids) bestimmt man nach der folgenden

Rechte-Faust-Regel: Umschließt man die Spule mit der rechten Faust so, daß die Finger in die Stromrichtung zeigen, so gibt der Daumen die Lage des Nordpols (oder: die Richtung der Kraftlinien innerhalb der Spule) an. Oder auch:

Der Südpol wird im Sinne des Uhrzeigers, der Nordpol im Gegensinne vom Strome umkreist, wenn man auf den Pol blickt (Abb. 279).

Anwendungen des Elektromagnetismus. Die *Wirkung der Solenoide* ohne festen Eisenkern wird benutzt bei der automatischen Regulierung der Bogenlampen, sowie zur Herstellung von Meßinstrumenten, bei denen ein an

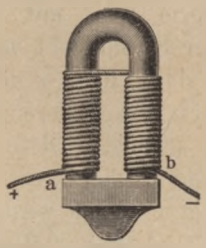


Abb. 278.

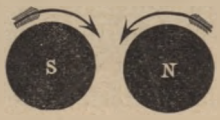


Abb. 279.

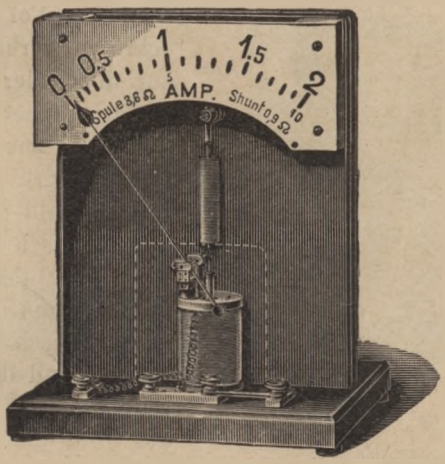


Abb. 280.

einer Feder befestigter Eisenkern mehr oder minder, je nach der Stromstärke, in ein Solenoid hineingezogen wird (Abb. 280). Sehr viel wichtiger sind die eigentlichen

Elektromagnete mit festem Eisenkern. Riesige Apparate dieser Art von vielen 1000 Tonnen Tragkraft dienen in der Eisenindustrie, bei Schiffshebewerken u. a. m. Mit kleineren, aber sehr kräftigen Apparaten zieht der Arzt Eisensplitterchen aus dem Auge. Indem man das abwechselnde Magnetisch- und Unmagnetischwerden in gesetzmäßiger Weise vor sich gehen läßt, kann man den Anker des Magnets in dauernde Bewegung versetzen und so **elektromagnetische Motoren** mannigfacher Art konstruieren (s. darüber § 151). Der praktischen Verwertung solcher stand freilich, solange man den elektrischen Strom nur durch galvanische Elemente erzeugen konnte, der viel zu hohe Preis des Zinks hindernd im Wege. — Von weiteren Anwendungen sind hier noch kurz zu besprechen das elektrische Läutewerk, der Telegraph und das Telephon-Mikrophon.

Übungen: 1. Wie kann man einen Stahlstab am einfachsten dauernd magnetisieren?

2. Wie muß man zwei auf den Schenkeln eines Hufeisens sitzende, gleich gewickelte Drahtspulen verbinden, damit man bei Stromschluß wirklich einen „Hufeisenmagnet“ erhält? Was erhält man, wenn man bei falscher Verbindung den Strom einschaltet?

§ 147. Das elektrische Läutewerk. (Elektrische Klingel, Abb. 281.) Vor einem U-förmigen Elektromagnet E ist ein Anker A aus weichem Eisen an einem federnden Stahlstreifen angebracht, welcher bei c befestigt ist. An der Außenseite trägt dieser Stahlstreifen ferner die schwächere Feder F, gegen welche die Spitze einer verstellbaren Kontaktschraube K stößt. Der eine Pol der Batterie wird mit dieser Schraube verbunden. Der Strom geht von ihr auf die Feder F über, dann über c in den Elektromagnet und kehrt vom anderen Ende desselben zur Batterie zurück. Diese Einrichtung wirkt als **Selbstunterbrecher** des Stromes. Denn sobald der Strom geschlossen wird, wird E magnetisch und zieht den Anker an. Dadurch wird aber der Kontakt zwischen F und K unterbrochen (Funken), der Eisenkern wieder unmagnetisch, die Feder schnellt den Anker zurück, und das Spiel beginnt von neuem. — Damit der Öffnungsfunke nicht in kurzer Zeit die Unterbrechungsstelle zerstört, besteht die Spitze aus Platin und wird auf F an dieser Stelle ein Platinplättchen aufgelötet.

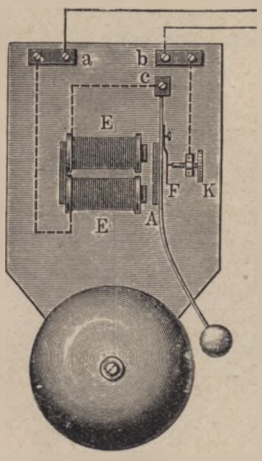


Abb. 281.

Die Einrichtung findet auch sonst (s. z. B. § 150) als Selbstunterbrecher vielfach Anwendung und heißt dann **Wagnerscher** (oder NEEF scher) **Hammer.**

Da Läutwerk und Stromschlüssel (Druckknopf, Birne usw.) durch eine beliebig lange Leitung getrennt sein können, so kann man diese Einrichtung offenbar zur Zeichengebung auf weite Entfernungen hin benutzen; sie stellt also bereits einen einfachen Telegraphen vor.

Übungen: 1. Eine elektrische Klingel soll von mehreren Zimmern aus betätigt werden. Wie ist die Leitung anzulegen?

2. Jemand will zwischen seinem Kontor und dem Lagerraum eine Klingelleitung so angelegt haben, daß man hin und her schellen kann. Wieviel Leitungsdrähte gebraucht man? Wie ist zu verbinden?

3. In Hotels, Krankenhäusern usw. sieht man regelmäßig neben der elektrischen Schelle einen Kasten, in dem eine Nummer erscheint, wenn von dem betreffendem Zimmer aus geschellt wurde. Dies wird durch kleine Elektromagnete bewirkt, welche bei Stromschluß einen Anker anziehen und dadurch

eine mit der betreffenden Nummer versehene Klappe herunterfallen lassen. Durch einen Schieber kann die Klappe wieder zurückgelegt werden. Wie ist die Schaltung dieser Elektromagnete, der Druckknöpfe und der Schelle auszuführen?

4. Wie könnte man mit Hilfe eines dazu vorgerichteten Thermometers einen elektrischen Feuermelder herstellen?

5. Welche Ursachen kann das Versagen einer elektrischen Klingel haben?

§ 148. Der Morse-Telegraph. Der „Zeichengeber" des Telegraphen ist ein einfacher Stromschlüssel, „Taster" genannt (Abb. 282). Der „Empfänger" (Abb. 283) besteht in einem Elektromagnet, an dessen Anker ein Schreibstift oder ein Farbrädchen sitzt. Der Anker wird für gewöhnlich durch eine Feder vom Magnet zurückgezogen. Wird der Strom geschlossen, so wird der Anker angezogen und dadurch der Schreibstift gegen einen Papierstreifen gedrückt, der mittels eines Uhr-

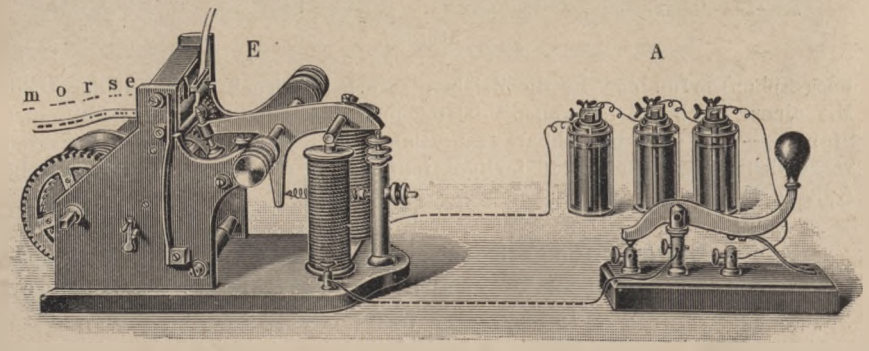


Abb. 283.

Abb. 282.

werkes langsam vorbeigezogen wird. Bei längerem Stromschluß entsteht daher auf diesem Streifen ein Strich, bei kürzerem ein Punkt. Aus Punkten und Strichen besteht das sogenannte Morse-Alphabet:

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

Erfinder dieser bewundernswürdig einfachen Lösung des Problems der elektrischen Nachrichtenübermittelung ist der amerikanische Kunstmaler MORSE (1832). Der 1837 patentierte Apparat ist noch heute mit einigen Abänderungen gebräuchlich. — Im wirklichen Betriebe ist natürlich jede Station mit Geber und Empfänger versehen. Nichtsdestoweniger ist nur ein Leitungsdraht nötig, da eine sinnreiche Schaltung (Abb. 284) das Hin- und Hertelegraphieren auf demselben Draht unter Benutzung der Erde als Rückleitung ermöglicht. Wo müßte man in der Station *A* noch einen zweiten Empfänger einschalten, um das gerade von dort abgehende Telegramm gleich mit zu registrieren?

Älter als dieser Telegraph ist der 1833 von GAUSS und WEBER in Göttingen konstruierte Nadeltelegraph. Empfänger war hierbei ein Galvanometer, dessen Ausschläge nach links oder rechts zu Zeichen zusammengesetzt wurden. Später hat man viel vollkommenere Apparate (Typendruck-

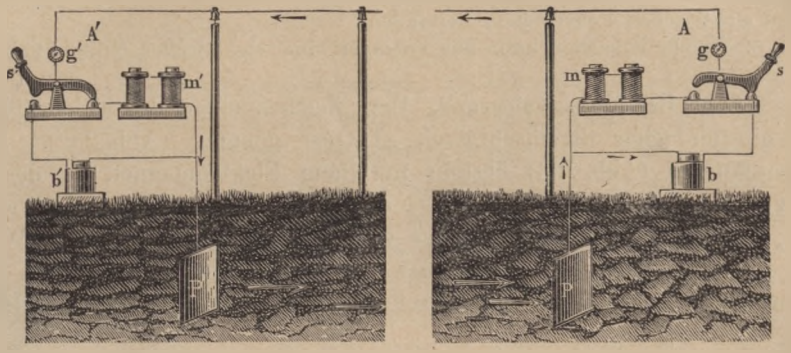


Abb. 284.

telegraphen) erfunden, die die Zeichen sofort in Druckschrift wiedergeben. Mit einem „Schnelltelegraphen" leistet man bis 100 000 Wörter in einer Stunde. — Das erste brauchbare transatlantische Kabel wurde nach mehreren vergeblichen Versuchen 1866 fertiggestellt. Über drahtlose Telegraphie siehe Anhang IV.

§ 149. Mikrophon und Telephon sind zwei zusammengehörende Apparate. Ersteres dient zur Verwandlung der Schallschwingungen

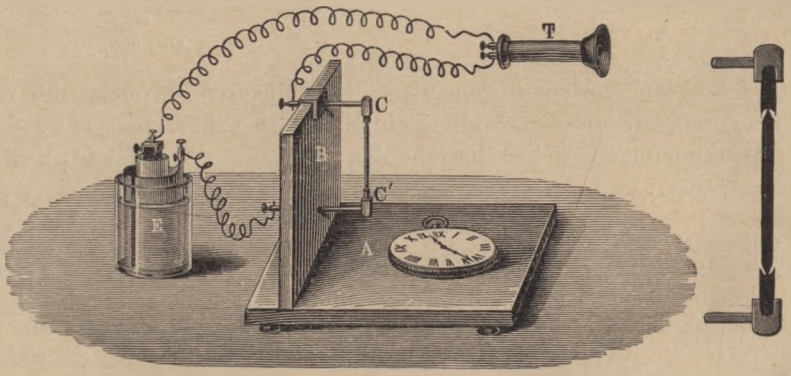


Abb. 285.

in elektrische Stromschwankungen, letzteres setzt umgekehrt diese Stromschwankungen wieder in Luftwellen um.

Das Mikrophon ist nichts als ein auf einem Resonanzbrett *B* befestigter „loser" Kontakt. Früher benutzte man, wie Abb. 285 zeigt,

hierfür ein oder mehrere Kohlestäbchen, die lose zwischen zwei ebenfalls aus Kohle hergestellten Bügeln *C* liegen. Heute nimmt man meist Kohlekörner zwischen zwei Kohleplatten. Durch Schallschwingungen werden diese Kontakte abwechselnd fester und loser, ein durch den Apparat geschickter Strom wird dadurch in demselben Tempo verstärkt und geschwächt. Dieser Strom wird nun zum „Abhören" des Gespräches in das Telephon geleitet (Abb. 286). Es besteht aus einem magnetischen Stahlstab *S*, über dessen eines Ende eine Spule von vielen Windungen geschoben ist, und vor dem als Anker eine dünne Eisenmembran in sehr geringem Abstand befestigt ist. In demselben Tempo, wie der die Windungen durchfließende Strom durch das Mikrophon verstärkt oder geschwächt wird, wird auch der Magnetismus stärker oder schwächer, die Platte also angezogen oder losgelassen, und diese überträgt nun die Schwingungen ihrerseits wieder an die Luft.

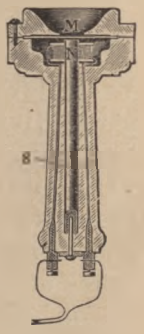
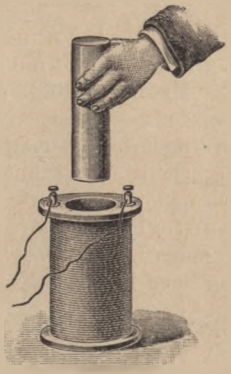
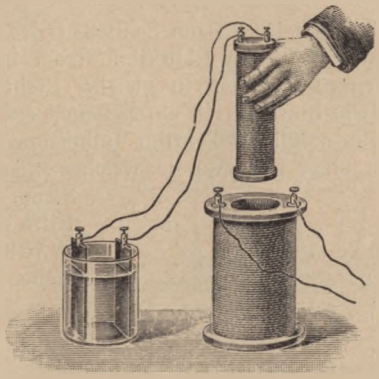


Abb. 286.

Bei neueren Formen der Einrichtung sind meist Mikrophon und Telephon zu einem handlichen Apparat vereinigt. Sonst hängt der Hörer an dem in einem Wandkasten befindlichen Mikrophon. Neuerdings hat man auch „laut sprechende" Telephone konstruiert.

§ 150. Die Induktion. * *Versuche:* 1. Eine Spule mit vielen dünnen Drahtwindungen wird mit einem hinreichend entfernt aufgestellten


Abb. 287.


Abb. 288.

Galvanometer verbunden, so daß ein geschlossener Leiterkreis entsteht. Alsdann wird (Abb. 287 u. 288)

a) ein Magnetstab in die Spule ziemlich rasch hineingesteckt und ebenso wieder herausgezogen;

b) statt des Magnets wird eine in den Hohlraum passende, von einem kräftigen Strom durchflossene Spule eingeführt und dann wieder entfernt;

c) die letztere Spule wird zuerst ohne Strom eingeführt, dann der Strom geschlossen und wieder geöffnet.

In allen diesen Fällen zeigt das Galvanometer einen kurzen Strom („Stromstoß") an, der nur so lange dauert wie die ausgeführte Veränderung (Öffnen, Schließen, Annähern, Entfernen), aber nicht etwa fließt, wenn der Magnet oder die stromdurchflossene Spule ruhig in der äußeren Spule liegt. Diese Ströme, von FARADAY 1831 entdeckt, heißen **Induktionsströme.** Man nennt sie auch **sekundäre** Ströme im Gegensatz zu dem in Falle b) und c) (Elektroinduktion) sie hervorrufenden **Primärstrom** und spricht ebenso von primärer und sekundärer Leitung (Spule).

In einer Spule wird ein Induktionsstrom erzeugt, wenn in ihrer Umgebung das magnetische Feld geändert wird. Dieser Strom dauert so lange wie die Feldänderung und ist um so stärker, je rascher diese erfolgt.

2. Wiederholt man die Versuche, indem man dabei auf die Richtung des Induktionsstromes achtet, so findet man leicht die Gültigkeit der folgenden allgemeinen, sogenannten

Lenzschen Regel: Der Induktionsstrom fließt stets so, daß er die in der Umgebung der Sekundärleitung hervorgerufene Veränderung des magnetischen Feldes aufzuheben sucht.

Insbesondere: Beim Schließen des Primärstromes sowie bei Annäherung desselben fließt der Induktionsstrom ihm entgegengesetzt, bei Öffnung oder Entfernung dagegen in gleicher Richtung. (Einen Magnet kann man sich in diesem Sinne durch ein Solenoid ersetzt denken.)

Um möglichst kräftige Induktionsströme zu erzeugen, führt man in das Innere einer Primärspule weiches Eisen ein, unterbricht und schließt den Strom dann möglichst plötzlich (warum?) mit Hilfe eines Selbstunterbrechers (z. B. des WAGNERschen Hammers, § 147). So entstehen die größeren oder kleineren

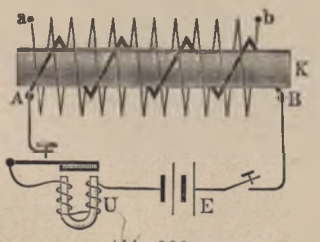


Abb. 289.

Induktionsapparate (Induktoren, s. die schematische Abb. 289). Die kleineren, die meist die beiden Spulen gegeneinander zu bewegen gestatten (warum?), dienen zu medizinischen Zwecken; die großen, bei denen die Länge des sekundären Drahtes oft über 100 km beträgt, erzeugen gewaltig hohe Spannungen (etwa 1 Million Volt) und dem entsprechend bis meterlange Funken.

Denn die Spannung des Sekundärstromes wächst (auf Kosten der Stromstärke) proportional mit der Zahl der Windungen.

An allen großen Induktorien befindet sich ferner ein Kondensator, der den Zweck hat:

a) den Öffnungsinduktionsstrom möglichst stark zu machen, indem er die Zeitdauer der Unterbrechung abkürzt;

b) den Schließungsinduktionsstrom fast ganz zu unterdrücken, so daß man in der Sekundärleitung statt der hin und her gehenden Stromstöße (Wechselstrom) eine, freilich unterbrochene, Folge von Stromstößen derselben Richtung bekommt.

Anwendung finden die großen Induktoren zu zahlreichen wissenschaftlichen Zwecken, zur drahtlosen Telegraphie, sowie zum Betrieb der Röntgenröhren (§ 155).

Wichtiger noch als diese Anwendungen der Induktionsströme ist der Umstand, daß man mit Hilfe der „Magnetinduktion" im engeren Sinne (Fall a) Strom erzeugen kann, ohne Zuhilfenahme galvanischer Batterien, durch bloße Bewegung von Magneten und Stromleitern (Spulen) gegeneinander, d. h. daß man auf diesem Wege mechanische Energie in elektrische Energie verwandeln kann. Auf dieser Tatsache beruht die Gewinnung elektrischen Stromes im großen Maßstab in der Elektrotechnik. (Warum war die galvanische Batterie nicht ausreichend hierfür?)

§ 151. Die Dynamomaschine a) als **Generator** (Stromerzeuger): Auf einen Ring aus weichem Eisen (Grammescher oder Pacinottischer Ring) sind eine Anzahl Spulen gewickelt (Abb. 290). Je zwei benachbarte freie Drahtenden laufen auf einem an der Achse des Ringes bestigten Kupferstreifen (*a*, *b*, *c*...) zusammen, so daß alle Spulen eine zusammenhängende Wicklung bilden. Der Ring dreht sich zwischen den Polen eines entsprechend ausgehöhlten starken Magnets *N S*. Bei *A* und *B* schleifen auf den Kupferstreifen zwei Metallbürsten, die mit diesen zusammen den sogenannten **„Kollektor"** bilden. Den Magnet *N S* nennt man **Feldmagnet,** den Ring mit Wicklung **Anker** der Maschine. Dreht man den Anker, so kann man den Kollektorbürsten Strom entnehmen.

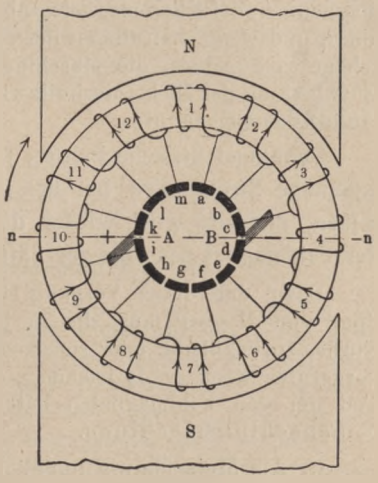


Abb. 290.

Erklärung: Durch die Drehung (s. Abb. 290) wird in den Ankerwicklungen das magnetische Feld verändert (bei 4 und 10 sehr langsam, bei 1

und 7 sehr rasch). Hierdurch entstehen in ihnen Induktionsströme, welche nach der LENZschen Regel die in der Abbildung angegebene Richtung haben müssen. (Zeige das z. B. an den Spulen 3 und 11!) Alle Induktionsströme der oberen Ringhälfte summieren sich also zu einem von 4 nach 10 hin gerichteten Strome, ebenso alle in der unteren Hälfte. Das Ganze wirkt somit wie zwei parallel geschaltete Elemente (Abb. 291), deren Cu-Pole beide mit *A* und deren Zn-Pole beide mit *B* verbunden sind. Verbindet man daher diese beiden Punkte (die Kollektorbürsten) durch eine äußere Leitung, so fließt in dieser ein Strom, dessen Stärke unter sonst gleichen Umständen a) von der Stärke des äußeren Magnetfeldes, b) von der Drehungsgeschwindigkeit abhängt.

Solange man nun für diese magnetelektrische Maschine nur Stahlmagnete verwandte, kam man nur zu schwachen Induktionsströmen, da Stahlmagnete niemals sehr stark sind. — Apparate dieser Art werden heute nur noch oft als „Läutinduktor“ beim Telephon („Kurbeln“) sowie für die „Magnetzündung“ beim Automobil gebraucht. — Viel stärker als Stahl-

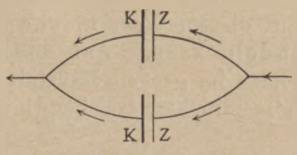


Abb. 291.

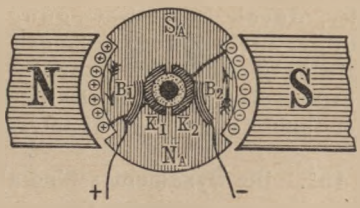


Abb. 292.

magnete sind Elektromagnete, aber zur Erregung derselben ist ein Strom nötig, und wenn man diesen doch wieder einer Batterie entnehmen mußte, so schien es zwecklos, die Maschine überhaupt zu benutzen. Die großartige Entwicklung der Elektrotechnik wurde erst ermöglicht, als **Werner v. Siemens** (1866) das sogenannte

Dynamoelektrische Prinzip fand: **Der aus den Ankerwicklungen entnommene Strom wird um den Feldmagnet geleitet und verstärkt denselben, dadurch wird wieder der Ankerstrom verstärkt, dadurch wieder der Feldmagnet usw. bis zur Sättigung des Magnets.**

Dazu, daß dieser Vorgang eingeleitet wird, bedarf es nur der geringen Spur von Magnetismus, die in jedem Eisenstück, das einmal magnetisiert wurde, zurückbleibt, oder sonst schon durch den Erdmagnetismus darin hervorgerufen wird. — Je nachdem, ob man den Ankerstrom ganz oder nur zum Teil um den Feldmagneten leitet, unterscheidet man Hauptschluß- und Nebenschlußmaschinen.

b) Als **Motor** kann umgekehrt jede Maschine dieser Art gebraucht werden, wenn man Strom in die Pole der Maschine hineinleitet. Durch diesen werden dann nämlich die Feldmagnete und der Anker magnetisch gemacht, und zwar so, daß dadurch eine Drehung des Ankers hervorgerufen werden muß. Leichter wie bei der Maschine mit dem

oben besprochenen Ringanker ist das bei einer mit dem von SIEMENS erfundenen Doppel-T-Anker einzusehen (Abb. 292); umgekehrt kann diese ebensogut auch als Generator dienen (Erklärung!) wie die GRAMMEsche Maschine. (**Versuche.*)

Die Dynamomaschine ist ein Apparat, mit Hilfe dessen man mechanische Energie in elektrische (Generator) **oder elektrische in mechanische** (Motor) **beliebig verwandeln kann.**

Über Wechselstrommaschinen, Drehstrom usw. siehe Oberstufe.

Die **elektrische Energieübertragung** wurde zum ersten Male in großem Maßstab bei Gelegenheit der elektrotechnischen Ausstellung zu Frankfurt a. M. (1891) ausgeführt. Die mittels Turbinen getriebenen Generatoren befanden sich in Lauffen am Neckar, die Leitung war 175 km lang. Der Energieverlust betrug etwa 27 Proz. Neuere große Anlagen am Niagarafall (400000 PS), am Rheinfall, am Walchensee, in Norwegen (Salpeterfabriken) u. a. m.

Übungen: 1. In welcher Richtung fließt der Induktionsstrom, wenn man über einen Nordpol (von vorn gesehen) eine Drahtspule schiebt?

2. Wie kann man mit Hilfe des Erdmagnetismus Strom erzeugen (*Versuch*).

*3. Fasse bei einer elektrischen Schelle (Abb. 281) die Stellen *c* und *K* mit angefeuchteten Fingern an und setze die Schelle in Betrieb (Glocke abschrauben). — Extrastrom (s. Anhang IV).

4. Worauf beruht es, daß man auch mit zwei bloßen Telephonhörern ohne Mikrophon und Batterie telephonieren kann? (BELL 1876.)

5. Wenn man eine Dynamomaschine als Motor mittels des Stromes triebe, den eine andere als Generator liefert, könnte man dann nicht, indem man die Bewegung der ersteren auf die letztere überträgt, diese in Gang halten und so ein Perpetuum mobile konstruieren? (Vergleich mit Pumpe und Wasserrad.) — Wo bleibt die verloren gehende Energie?

Anhang I.

Die Bewegungen der Himmelskörper.

§ 152. Die scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper. Die Erde erscheint uns als eine flache Scheibe, über die der „Himmel" als eine flache Glocke gewölbt ist. Dieser erscheint als Träger der Gestirne (Sonne, Mond, Sterne) sowie auch der Wolken. Daß dies letztere sicherlich unrichtig, die meteorologischen Vorgänge vielmehr von den Bewegungen der Gestirne durchaus zu trennen sind, geht schon aus sehr primitiven alltäglichen Beobachtungen hervor. (Welchen?) — Die Bewegungen der Gestirne sind von zweierlei Art: Wir beobachten 1. eine tägliche Umdrehung des gesamten gestirnten Himmels einschließlich Sonne und Mond um eine Achse — **Weltachse** —, die vom Beobachter zu einem Punkte des nördlichen Himmels geht, der sehr nahe bei dem sogenannten Polarstern liegt. Dieser Punkt und

sein Gegenpunkt auf der südlichen Halbkugel des Himmels heißen die **Pole** der Weltachse, der dazu senkrechte Hauptkreis **Himmelsäquator.**

2. Eine allmähliche (monatliche, jährliche) Verschiebung des Mondes, der Sonne, sowie fünf mit bloßem Auge sichtbarer Sterne, der sogenannten Planeten[1]), gegenüber der Gesamtheit der übrigen Sterne, der Fixsterne[2]). Die Sonne bleibt auf ihrem täglichen Laufe um etwa 4^{min} pro Tag hinter den Fixsternen zurück. Daher ist der „Sternentag" um 4^{min} kürzer als der „Sonnentag". Nach Ablauf eines Jahres hat die Sonne ihre frühere Stellung am Fixsternhimmel wieder eingenommen. Während des Jahres hat sie einen größten Kreis am Himmel zwischen den Fixsternen zurückgelegt, den man **Ekliptik**[3]) nennt und dessen Ebene gegen die des Himmelsäquators um $23^1/_2{}^0$ geneigt ist. Einen nicht ganz damit zusammenfallenden Kreis beschreibt in $27^1/_2$ Tagen auch der Mond (Schiefe gegen die Ekliptik etwa 5^0). Steht der Mond gerade sehr nahe den Schnittpunkten beider Kreise, so können Sonnen- und Mondfinsternisse stattfinden[3]). — Die Bahnen der Planeten sind sehr verwickelte Kurven.

Unter den alten Völkern haben zuerst die Babylonier, später die Ägypter und Griechen sich mit der genaueren Feststellung aller dieser Bewegungen befaßt und dieselben teilweise vorauszuberechnen gelernt. Jedoch erscheinen diese Untersuchungen bei ihnen, wie noch weit in die Neuzeit hinein, verknüpft mit mythologischen Vorstellungen [Astralmythologie, Astrologie][4]).

§ 153. Kugelgestalt und Achsendrehung der Erde. Schon im Altertum (u. a. bei den Pythagoreern) finden wir die Einsicht vielfach erreicht, daß die Erde in Wahrheit keine flache Scheibe, sondern kugelrund ist, und daß die scheinbare tägliche Bewegung des gestirnten Himmels eine Folge der Drehung der Erde um ihre eigene Achse ist.

Beweise für die Kugelgestalt der Erde: 1. Den genauesten Beweis liefern die Ergebnisse der Gradmessungen, wie solche seit ERATOSTHENES (200 v. Chr.) mit immer größerer Genauigkeit vielfach ausgeführt sind: Geht man in genau nord—südlicher Richtung weiter, so ändert sich die Höhe des Polarsternes über dem Horizont (die „Polhöhe") ganz gleichmäßig mit der zurückgelegten Strecke, und zwar nimmt die Polhöhe pro 111 km um je 1^0 ab. — Reist man ferner auf dem Erdäquator (woran erkennt man, daß man sich darauf befindet?), so zeigt eine mitgenommene Uhr, daß ein beliebiger Stern pro 111 km je 4^{min} früher oder später kulminiert. Das ist aber gerade die Zeit, die die Himmelskugel scheinbar gebraucht, um sich um 1^0 zu drehen.

2. Als weitere Gründe (die jedoch nicht alle ganz einwandrei sind) werden folgende angeführt: a) Die kreisrunde Begrenzung des Horizontes an jeder Stelle, wo die Erde „eben" ist. b) Die Erweiterung des Horizontes bei größerer Erhebung. c) Der Umstand, daß von sich nähernden hohen Gegenständen zuerst die Spitze sichtbar wird. d) Der

---

[1]) *planaomai* (griech.) = ich irre umher.
[2]) *stellae fixae* (lat.) = feste Sterne.
[3]) *ekleipsis* (griech.) = das Verschwinden. Erklärung siehe im Text.
[4]) *aster* (griech.) = Stern.

stets kreisrunde Erdschatten bei Mondfinsternissen. e) Die Weltumsegelungen. f) Die Kugelgestalt der übrigen Himmelskörper.

Beweise für die Achsendrehung der Erde: 1. Es ist sehr unwahrscheinlich, daß alle Fixsterne sich übereinstimmend in 24 Stunden um die verlängerte Erdachse drehen sollten (nachdem man einmal eingesehen hat, daß die Sterne nicht an die Himmelskugel „angeheftet" sind).

2. Die Abplattunng der Erde und

3. Die scheinbare Verminderung der Schwerkraft vom Pole nach dem Äquator, beide aus der Zentrifugalkraft folgend (§ 46).

4. Der FOUCAULTsche Pendelversuch und

5. Die von REICH und BENZENBERG angestellten Fallversuche. § 40, *Übung* 3. Hiermit verwandt sind

6. Die Erscheinungen der Passate und Monsune, die BUYS-BALLOTsche Windregel u. a. m.

§ 154. Das geozentrische und das heliozentrische Weltsystem. Nur einzelne bedeutende Astronomen des Altertums (so ARISTARCH VON SAMOS um 264 v. Chr.) wagten den weiteren Schritt, auch die jährlichen scheinbaren Bewegungen der Sonne und der Planeten auf Grund einer Bewegung der Erde und der Planeten um die Sonne zu erklären, drangen jedoch mit dieser Ansicht nicht zu allgemeiner Geltung durch. Die Aufgabe, die scheinbaren Bewegungen des Mondes, der Sonne und der Planeten genau zu be-

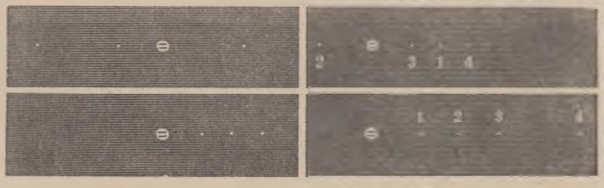


Abb. 293.

schreiben und daraufhin mathematisch vorauszuberechnen, wurde jedoch schon im Altertum in ziemlicher Vollkommenheit gelöst, und zwar zuerst von HIPPARCH (180 bis 125 v. Chr.) für Sonne und Mond, und sodann von CLAUDIUS PTOLEMÄUS (in Alexandrien 78 bis 165 n. Chr.) für die Planeten. Die Planetentafeln des letzteren galten bis in die Neuzeit hinein als eine Art von astronomischer Autorität und standen in um so höherem Ansehen, als auch die kirchliche Autorität sich für das in ihnen zum Ausdruck kommende **geozentrische** Weltbild einsetzte.

Da aber die immer stärker hervortretenden Abweichungen der wirklichen von den berechneten Bewegungen immer größere Korrektionen erforderten, entschloß sich **Nikolaus Kopernikus**[1]) zur Wiederaufnahme des Aristarchi-

[1]) KOPERNIKUS wurde 1473 zu Thorn geboren und lebte als Domherr in Frauenfeld. Sein Werk: *De revolutionibus orbium coelestium* (Über die Umdrehungen der himmlischen Kreise) erschien im Jahre seines Todes (1543), der erste Druckbogen soll ihm auf seinem Totenbette vorgelegt worden sein. So konnte er nicht hindern, daß sein Freund, der lutherische Theologe OSIANDER, die Vorrede an Papst Paul III., in

schen Gedankens, und es gelang ihm, das vorhandene Beobachtungsmaterial in weit einfacherer Weise als es nach PTOLEMÄUS möglich war, durch die Annahme einer Bewegung der Erde sowie der anderen Planeten um die Sonne zu erklären. Er ersetzte also das geozentrische durch ein **heliozentrisches**[1]) Weltbild. Die Bahnen nahm er als kreisförmig an.

Die wirksamste Verteidigung erwuchs dem Kopernikanischen System zuerst durch GALILEIs Entdeckungen der vier größeren Jupitermonde (Abb. 293), des Saturnringes und der Lichtphasen der Venus und des Merkur. Direkte Beweise für das heliozentrische System bilden die Beobachtungen der „Fixsternparallaxe" und der „Aberration" des Lichtes der Fixsterne (§ 40, *Übung* 4) sowie die von OLAF RÖMER zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit benutzten Tatsachen (§ 98).

§ 155. Das Planetensystem. Die zunehmende Genauigkeit der Beobachtungsmethode machten es notwendig, die Annahmen des KOPERNIKUS noch zu ergänzen und zu verbessern. Auf Grund besonders der Beobachtungen des TYCHO BRAHE (Hofastronomen Kaiser Rudolfs II.) stellte sein Nachfolger in diesem Amte, **Johannes Kepler**[2]), nach vielen überaus langwierigen und mühevollen Rechnungen die genaueren Gesetze der Planetenbewegung fest, worunter das wichtigste das sogenannte 1. KEPLERsche Gesetz ist: Die Planeten bewegen sich in Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht. (Diese Ellipsen weichen allerdings, außer bei Merkur, nur sehr wenig von der Kreisform ab.) Die Erklärung für diese sowie andere von KEPLER festgestellte Tatsachen und damit den Schlüssel zur Einsicht in das Getriebe der „Himmelsmechanik", gab der große englische Physiker **Isaak Newton**. Näheres darüber s. Oberstufe. Hier sollen nur noch einige zahlenmäßige Angaben über das Planetensystem mitgeteilt werden.

Unsere Sonne hat acht größere Planeten, ferner über 500 kleinere, die sogenannten Asteroiden. Außerdem gehören zum Sonnensystem dauernd oder vorübergehend zahlreiche Kometen und Meteoritenschwärme. Letztere bestehen aus ganz kleinen Körpern, die wir nur wahrnehmen, wenn sie in die Erdatmosphäre geraten und dort unter Erglühen als „Sternschnuppen" oder „Feuerkugeln" sichtbar werden. — Die **acht Hauptplaneten** sind:

Merkur, Venus, Erde, Mars — innere oder kleine Planeten.

Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun — äußere oder große Planeten.

Der Ring der Asteroiden (Planetoiden), der vielleicht einen zerstörten oder in Bildung begriffenen neunten Planeten vorstellt, befindet sich zwischen Mars und Jupiter.

---

der KOPERNIKUS seine Lehre als Tatsache, nicht als Hypothese darstellte, in wohlmeinender Absicht in ihr gerades Gegenteil verkehrte, da es gefährlich war, die Erdbewegung zu lehren. — Erst durch GIORDANO BRUNOS energische Verfechtung der Kopernikanischen Lehre, der dafür 1600 den Scheiterhaufen bestieg, und durch GALILEI, der sie freilich 1633 vor dem heiligen Offizium abschwören mußte, wurde der bekannte erbitterte Streit um das neue Weltsystem entfacht.

[1]) *helios* (griech.) = Sonne.

[2]) JOHANNES KEPLER, 1571 in der Nähe von Weilderstadt in Württemberg geboren, Mathematiker und Astronom zuerst in Graz, dann in Prag, später am Gymnasium in Linz, hierauf in Nürnberg und Sagan. Er starb nach einem vielbewegten, an Enttäuschungen und Entbehrungen reichen Leben in Regensburg, wohin er zum Reichstage (1630) gereist war, um sein rückständiges Gehalt zu erlangen.

Die Größenverhältnisse veranschaulicht die beistehende Abb. 294, die Abstandsverhältnisse und Umlaufszeiten Abb. 295.

Bei der in Abb. 294 angegebenen Größe der Planeten würde die Sonne einen Durchmesser von etwa 17 cm (Kokosnuß), die Erdbahn einen Radius



Abb. 294.

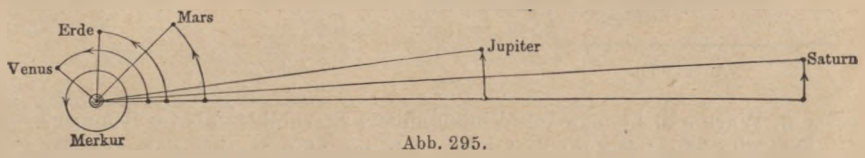


Abb. 295.

von rund 17 m haben, während der Radius der Neptunsbahn etwa 500 m betrüge, so daß das ganze System in einem Raume von etwa 1 km Länge und Breite Platz hätte. Die Entfernung von hier bis zum nächsten Fixstern (α-Centauri) betrüge dann etwa 3000 km (Petersburg—Madrid). Die folgende Tabelle enthält die wirklichen Dimensionen.

Tabelle der wirklichen Entfernungen und Größen im Planetensystem.

	Durchmesser in km	Masse in Erdmassen[1])	Dichtigkeit	Mittl. Abstand von der Sonne in Mill. km	Mittl. Abstand in Erdweiten	Umlaufszeit Jahre	Umlaufszeit Tage	Umdrehungszeit	Monde
Sonne . . .	1 384 200	1 283 700	1,4	—	—	—		am Sonnenäquator etwa 25 Tage	—
Merkur . .	4816	0,061	6,55	58	0,39	—	88	88 Tg.?	—
Venus . . .	11 969	0,787	4,54	108	0,72	—	225	?	—
Erde . . .	12 756	1	5,505	149	1	1	—	24^h	1
Mars . . .	6745	0,105	3,98	227	1,52	1	322	$24^h\ 37^m\ 23^s$	2
Jupiter . .	143 757	309,806	1,34	777	5,20	11	315	$9^h\ 55^m\ 37^s$	8
Saturn . .	119 075	91,919	0,73	1 424	9,54	29	167	$10^h\ 14^m\ 24^s$	Ring 10
Uranus . .	59 171	13,518	1,12	2 864	19,18	84	7	?	4
Neptun . .	62 850	16,469	1,68	4 487	30,05	164	280	?	1

**Übungen:* 1. Anfertigung eines Gnomon (Abb. 296 a und 296 b). Stelle mit Hilfe desselben die Lage der Nord—Südrichtung fest.

[1]) Die Masse der Erde beträgt rund 6000 Trillionen Tonnen.

2. Verfolge mit Hilfe einer Sternkarte am Sternenhimmel den Verlauf des Äquators sowie der Ekliptik. — Übe dich im Aufsuchen und Wiedererkennen der Sternbilder. Wie ändert sich der Anblick des Sternenhimmels mit der geographischen Breite? Beweise, daß diese gleich der Polhöhe ist.

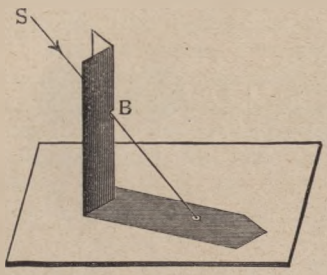


Abb. 296 a.

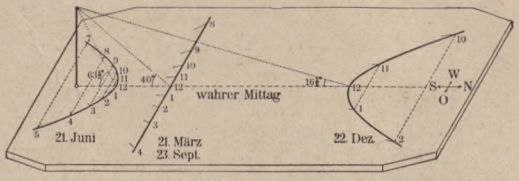


Abb. 296 b.

3. Warum sieht man im Winter andere Sternbilder als im Sommer?

4. Wie kann sich ein Seefahrer nach den Sternen orientieren?

5. Erklärung der Mondphasen. — Wie kommt es, daß Venus bald als „Morgenstern", bald als „Abendstern" auftritt?

6. Erklärung der Jahreszeiten sowie der ungleich langen Dauer des Sommers und Winters.

Anhang II.

Strommessung. — Ohmsches und Joulesches Gesetz.

Die großartige Entwicklung der Elektrotechnik hat die Einführung genauer Maßbestimmungen zur Notwendigkeit gemacht. Nach internationalen Vereinbarungen (1884) wurden die Einheiten für die in Betracht kommenden Größen: Spannung, Stromstärke usw. an das in der Physik schon durch GAUSS, WEBER und KOHLRAUSCH allgemein durchgeführte sogenannte absolute Maßsystem (s. Oberstufe) angeschlossen. Die wichtigsten Gesetze, auf die sich die Möglichkeit dazu gründet, sind neben dem Energiegesetz das OHMsche[1]) und das JOULEsche[2]) Gesetz.

§ 156. Das Ohmsche Gesetz. **Versuch*: Schließt man einen großen Akkumulator durch einen längeren Neusilberdraht und ein Galvanometer, beobachtet den Ausschlag und schaltet sodann einen zweiten Akkumulator hinter den ersten, so steigt der Aufschlag auf etwa das Doppelte. Verdoppelt man jetzt auch die Länge des Drahtes, so sinkt der Ausschlag wieder auf die Hälfte, d. h. den ursprünglichen Wert. Aus solchen und ähnlichen Versuchen ergibt sich, daß die in einer Leitung vorhandene Stromstärke 1. mit der

[1]) G. S. OHM, um 1826.
[2]) JOULE (vgl. § 141) 1841.

wirkenden Spannung zunimmt, 2. aber von der Beschaffenheit der Leitung selbst abhängt. Wir schreiben jedem Leiter einen bestimmten Widerstand zu. Derselbe wächst offenbar zunächst, wie der Versuch zeigt, mit der Länge des Drahtes; er ist ferner um so größer, je kleiner der Querschnitt ist (**Versuch*) und hängt endlich von der Substanz (Cu, Fe, Pt) ab (**Versuche*).

Der gesamte Widerstand einer Leitung ist gleich der Summe der Widerstände der einzelnen Teile (den „inneren Widerstand" der Batterie bzw. des Dynamoankers usw. eingeschlossen).

Als **Einheit des Widerstandes** hat man den Widerstand festgesetzt, den eine Quecksilbersäule von 1 mm² Querschnitt und 1,06 m Länge besitzt. Diese Einheit heißt ein **Ohm** (Ω).

Die **Einheit der Spannung,** das **Volt** (V), ist nun diejenige Spannung, die in einer Leitung vom gesamten Widerstand 1 Ω vorhanden sein muß, damit darin ein Strom von 1 Ampere (§ 144) fließt.

Für eine beliebige Spannung e und beliebigen Widerstand w gilt dann das **Ohmsche Gesetz: Stromstärke** $= \frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand}}$, $i = \frac{e}{w}$.

Beispiel: Hat man acht hintereinander geschaltete Akkumulatoren, deren jeder einen inneren Widerstand von 0,25 Ω besitzt, durch einen Draht vom Widerstand 6 Ω geschlossen, so beträgt, da jeder Akkumulator 2 V Spannung liefert, die Stromstärke $i = \frac{e}{w_i + w_a} = \frac{8 \,.\, 2}{8 \,.\, 0{,}25 + 6} = \frac{16}{2 + 6} = 2\,\text{A}$.

§ 157. Das Joulesche Gesetz. Wie schon § 141 erwähnt wurde, geht die Stromenergie vollständig in (JOULEsche) Wärme über, wenn der Strom keine anderweitige Arbeit (z. B. chemische oder mechanische) in dem betreffenden Leitungsteil leistet. Für die in einem beliebigen Leiterstück so erzeugte **Wärmemenge** fand JOULE das Gesetz:

Die Stromwärme ist proportional dem Widerstand, dem Quadrat der Stromstärke und der Zeit ($i^2 \,.\, w \,.\, t$).

Aus dem JOULEschen Gesetz folgt, daß der Strom in einer Leitung die meiste Wärme da erzeugt, wo der Widerstand am größten ist. An dieser Stelle besteht daher zuerst auch die Gefahr des Durchschmelzens usw.

Kurzschluß heißt in der Praxis die (unbeabsichtigte) Schließung einer Stromquelle durch einen so geringen Widerstand, daß der entstehende sehr starke Strom zerstörende Wirkungen (Entzündungen, Verbiegen von Akkumulatorenplatten usf.) hervorrufen kann. Um wenigstens diese zu verhindern, versieht man alle Starkstromleitungen mit **Sicherungen,** d. h. man schaltet in dieselben dünne Stückchen von Draht (meist Blei- oder Silberdraht in Porzellanstöpseln) ein, die bei einem Strom oberhalb einer gewissen Grenze (z. B. 2 A, 6 A, 10 A, 30 A) durchschmelzen und damit selbsttätig die Leitung unterbrechen.

** Übungen:* 1. Welche Stromstärke erhält man, wenn man zwei hintereinander geschaltete LECLANCHÉ-Elemente, deren jedes eine Spannung von 1,5 V und einen inneren Widerstand von 0,5 Ω besitzt, durch einen Draht von 5 Ω Widerstand schließt?

2. Ein Trockenelement wurde mit einem Amperemeter und einem „Rheostaten" (Widerstandssatz) zu einem Stromkreis verbunden. Als man 5 Ω

einschaltete, zeigte das Amperemeter $^1/_4$ A, bei 2,2 Ω aber $^1/_2$ A. Wie groß war der innere Widerstand des Elements und seine Spannung? **(Bestimmung der Konstanten eines Elements.)**

3. Warum kann man Glühlampen nicht hintereinander schalten, sondern schaltet sie nebeneinander? (Eine Glühlampe braucht zum hellen Brennen etwa $^1/_2$ A, sie besitzt deshalb für eine Spannung von 110 Volt einen Widerstand von etwa 220 Ω.)

4. Die in den einzelnen Teilen einer Leitung entwickelten Wärmemengen verhalten sich wie die Widerstände (s. oben). Zeige, daß deshalb die in zwei Drahtstücken von ungleichem Querschnitt, aber demselben Material erreichten Temperaturerhöhungen sich umgekehrt wie die Quadrate der Querschnitte verhalten (d. h. wie die vierten Potenzen der Drahtdicken).

5. Warum darf ein als Amperemeter eingeschaltetes Galvanometer nur wenige dicke Drahtwindungen haben?

6. Unter welcher Bedingung kann der oben zuerst angegebene Versuch zum Ohmschen Gesetz nur das gewünschte Ergebnis liefern? Vgl. hierzu Aufgabe 3 und die folgende Aufgabe.

7. Wenn man durch Hintereinanderschaltung dreier Elemente in sonst denselben Stromkreis nur die doppelte Stromstärke erhält, wie bei einem Element, was kann man daraus schließen?

Anhang III.

Elektrische Entladungen in Gasen. — Radium.

§ 158. Die Entladung in verdünnter Luft. Während in gewöhnlicher Luft bei hinreichend starken Spannungen entweder Funkenentladungen oder die sogenannten stillen Entladungen (Büschel- und Glimmlicht, § 130) auftreten, erfolgt in verdünnten Gasen die elektrische Entladung bedeutend leichter, erfordert jedoch stets eine gewisse Mindestspannung, um überhaupt einzutreten. (Welches Gesetz gilt also hier nicht mehr?) Diese Minimalspannung wird außer durch den Druck noch durch die nähere Beschaffenheit des Gases, z. B. die Temperatur, Feuchtigkeit u. a., in sehr verwickelter Weise bestimmt. Die hierher gehörigen Erscheinungen, die teilweise seit langer Zeit bekannt sind, sind erst in der neuesten Zeit einigermaßen verständlich geworden. Hier sollen jedoch nur einige der wichtigsten Tatsachen (ohne Erklärung) angeführt werden.

Versuche: Durch eine allmählich luftleer gepumpte Glasröhre oder Glasbirne (elektrisches Ei) wird die Entladung eines Induktors oder einer Influenzmaschine geleitet oder statt dessen eine Serie von Röhren mit verschiedenem Luftdruck (Vakuumskala) benutzt (Fig. 297 a bis e). Es zeigt sich, daß der anfangs schmale Endladungsfunke allmählich breiter wird, schließlich füllt ein rötliches Licht fast die ganze Röhre an. Bei weiterer Verdünnung erkennt man deutlich ein rötliches **Anodenlicht** und ein durch einen dunkeln Zwischenraum davon getrenntes violettes **Kathodenglimmlicht.** Pumpt man noch weiter aus, so zieht sich das Anodenlicht deutlich gegen die Anode zurück,

und es tritt darin eine **Schichtung** auf. Bei weiter fortgesetzter Verdünnung verschwindet das Anodenlicht ganz, dafür dehnt sich das Kathodenlicht, das jetzt fast unsichtbar ist, immer mehr aus, und die gegenüberliegende Glaswand fängt unter seinem Einfluß an, grün zu fluoreszieren. Von etwa 0,1 mm Druck an ist die ganze Röhre nur noch erfüllt von diesen sogenannten **Kathodenstrahlen,** die eine Reihe sehr merkwürdiger Eigenschaften haben. (*Versuche.*)

1. Sie gehen **geradlinig** von der Kathode aus, unbeeinflußt durch die Lage der Anode (Schattenkreuz).

2. Sie erregen viele Stoffe (Glas, Mineralien, Edelsteine) zur **Fluoreszenz.**

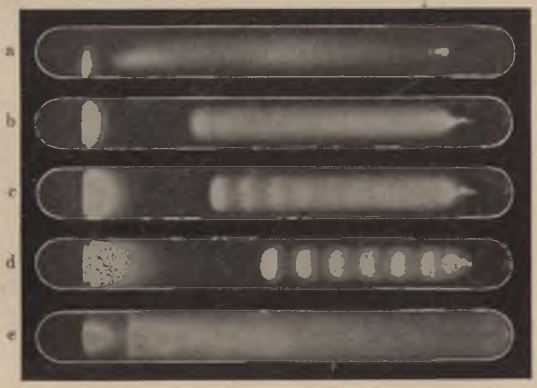


Abb. 297 a bis e.

3. Sie laden die Körper, auf die sie treffen, **negativ elektrisch.**

4. Sie werden vom **Magneten abgelenkt.**

5. Sie durchdringen ein dünnes Aluminiumfenster und zerstreuen sich in der Luft, die sie dabei **elektrisch leitend** machen.

6. Sie erregen die Körper, auf die sie treffen, vor allem Metalle, zur Aussendung von **Röntgenstrahlen** (s. unten).

Die Kathodenstrahlen sind von HITTORF 1869 entdeckt, von CROOKES (1876) und von LENARD (1892) näher untersucht. Für die neueren Anschauungen (H. A. LORENTZ, 1895) vom Wesen der Elektrizität haben sie eine hoch bedeutsame Rolle gespielt und bilden noch heute deshalb eine der am meisten untersuchten Erscheinungen zusammen mit anderen ebenso merkwürdigen Erscheinungen der Gasentladungen (z. B. GOLDSTEINS „Kanalstrahlen" [1886], welche positive Ladung mit sich führen).

§ 159. Röntgenstrahlen (RÖNTGEN 1895) entstehen, wenn Kathodenstrahlen in einem sehr hohen Vakuum auf Metalle und andere Körper treffen. Abb. 298 zeigt eine der heute gebräuchlichen Röntgenröhren. Das der Kathode gegenüberstehende und mit der Anode leitend verbundene Platinblech heißt **Antikathode.** Von ihr gehen die Röntgenstrahlen aus. Sie haben folgende Haupteigenschaften:

1. Sie durchdringen fast alle Körper, außer dickeren Metallschichten, jedoch im allgemeinen verschieden stark je nach der Dichtigkeit (Unterschied von „harten" und „weichen" Strahlen).

2. Sie wirken stark auf die photographische Platte (*Versuch*).

3. Sie machen die Luft elektrisch leitend (*Versuch:* Entladung eines entfernt aufgestellten geladenen Elektroskops).

4. Sie erregen gewisse Substanzen zur Fluoreszenz (z. B. Bariumplatincyanür). (*Versuch.*)

5. Sie haben starke physiologische Wirkungen (Verbrennung der Haut, Zerstörung von Geweben, speziell von Geschwülsten, Tötung von Mikroorganismen u. a. m.).

Wegen dieser letzten Eigenschaften finden sie in der Medizin ausgedehnte Verwendung (Röntgentherapie) bei der Behandlung von Lupus, Krebs u. a. Fast noch wichtiger ist ihre Verwendung in der Diagnostik infolge der Möglichkeit, mit ihrer Hilfe innere Organe zu photographieren, die Lage von Fremdkörpern festzustellen u. a. m.

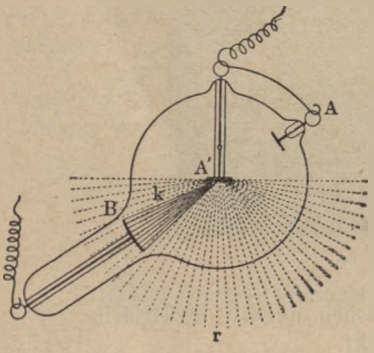


Abb. 298.

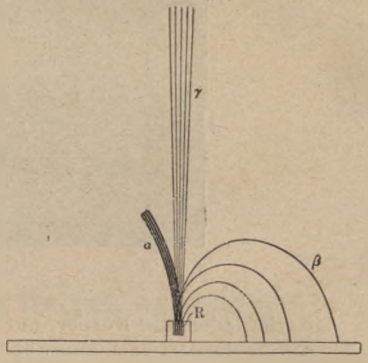


Abb. 299.

§ 160. Radium. Im Jahre 1896 entdeckte H. BECQUEREL, daß einige Uranmineralien, vor allem die Joachimsthaler **Pechblende,** eine unsichtbare Strahlung aussenden, welche auf die photographische Platte wirkt und die Luft leitend macht. Bei näherer Untersuchung fand das Ehepaar CURIE (1898), daß diese Eigenschaften einem in der Pechblende enthaltenen neuen Element, von ihnen **Radium** genannt, zukommen, dessen Verbindung $RaBr_2$ sie isolieren konnten. Später wurde noch eine ganze Reihe anderer „radioaktiver" Stoffe gefunden. Neuerdings ist auch freies Ra-Metall hergestellt worden (DEBIERNE).

Die Strahlung radioaktiver Stoffe ist von dreierlei Art. Man unterscheidet α-, β-, γ-Strahlen, welche sich durch ihr Verhalten gegen ein Magnetfeld unterscheiden. Dieses lenkt nämlich die β-Strahlen stark nach der einen Seite, die α-Strahlen weniger nach der anderen Seite und die γ-Strahlen gar nicht ab (Abb. 295).

Die **α-Strahlen** sind von derselben Art wie die oben erwähnten „Kanalstrahlen". Sie bestehen höchstwahrscheinlich aus + elektrisch geladenen vom Radium ausgeschleuderten Heliumatomen.

Die **β-Strahlen** sind der Art nach identisch mit den Kathodenstrahlen und bestehen sehr wahrscheinlich wie diese aus mit noch viel größeren Ge-

schwindigkeiten (bis zu $^{13}/_{14}$ der Lichtgeschwindigkeit) ausgeschleuderten kleinsten Mengen negativer Elektrizität (Elektronen).

Die **γ-Strahlen** sind von derselben Art wie die Röntgenstrahlen. Beide sind nach neueren Untersuchungen wieder als wesensgleich mit den Lichtstrahlen (Lichtwellen) aufzufassen, von denen sie sich nur durch ihre sehr viel geringeren Wellenlängen unterscheiden.

Die Radioaktivität besteht höchstwahrscheinlich in einem freiwilligen, von uns bislang nicht beeinflußbaren Zerfall der Ra-Atome, wobei die genannten Teilchen unter Freiwerden ungeheurer Energiemengen ausgesandt werden. Die hinterbleibenden größeren Reste zerfallen wieder in ähnlicher Weise usf.

Auch das Radium selbst ist nur eine solche Durchgangsstufe, und der Ausgangspunkt der ganzen Reihe das Element Uran. Die Untersuchung aller dieser Verhältnisse hat der heutigen Physik und Chemie ganz neue Wissensgebiete erschlossen und bildet gegenwärtig den wichtigsten Gegenstand der physikalisch-chemischen Forschung.

Anhang IV.

Drahtlose Telegraphie und Telephonie (Radiowesen).

§ 161. Selbstinduktion. Die Windungen einer Spule üben bei Änderungen des sie durchfließenden Stromes auch aufeinander eine Induktionswirkung aus. Man kann diese Selbstinduktion bei einer größeren Spule mit Eisenkern leicht nachweisen, wenn man sie in einen Stromkreis schaltet, die beiden Spulenenden mit den Fingern anfaßt und den Strom unterbricht. Durch die dabei entstehende hohe Spannung erhält man einen spürbaren elektrischen Schlag (**Versuch*).

Die Vergrößerung der Spannung durch die Selbstinduktion im Augenblick der Unterbrechung zeigt sich auch darin, daß der Unterbrechungsfunke mit Spule viel stärker ist als ohne sie (**Versuche*)

§ 162. Elektrische Schwingungen. In den Ankerspulen der Dynamomaschinen wechselt der erzeugte Strom während jeder Umdrehung zweimal seine Richtung, er ist ein sogenannter Wechselstrom, der allerdings bei der in § 151 erörterten Maschine durch den Kollektor als Gleichstrom abgenommen wird (warum?). Durch andere Einrichtung des Kollektors läßt sich in die Außenleitung aber auch Wechselstrom hineinschicken. Stellt man die Stromstärke bei einem solchen als Funktion der Zeit dar, so erhält man das umstehende Bild (Abb. 300). Da dieselbe Kurve auch die Schwingungen z. B. eines Pendels oder einer elastischen Feder wiedergibt (was ändert sich in diesen Fällen

mit der Zeit nach dem gleichen Gesetz?), so spricht man auch von elektrischen Schwingungen. Im vorliegenden Falle werden diese durch die Drehung des Dynamoankers erzwungen. Es gibt aber, ähnlich den Pendel- usw. Schwingungen auch „freie“ elektrische Schwingungen, wie zunächst folgender *Versuch* beweist.

Der pfeifende Lichtbogen (Duddellphänomen). Parallel zu einer Bogenlampe wird ein größerer Kondensator (§ 133) und eine Spule mit verschiebbarem Eisenkern (regulierbare Selbstinduktion) geschaltet. Bei passender Größe dieser Apparate fängt der Lichtbogen laut an zu pfeifen. Der Ton wird tiefer, wenn man die Kapazität (§ 129) des Kondensators oder die Selbstinduktion der Spule (durch Verschiebung des Eisenkerns) vergrößert.

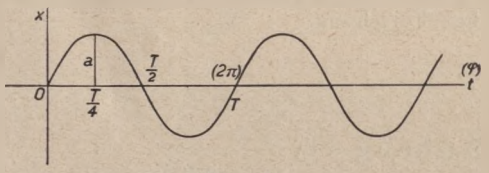


Abb. 300.

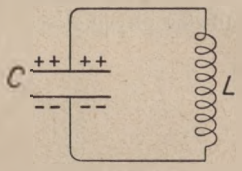


Abb. 301.

Dieser Versuch beweist, daß hier elektrische Schwingungen stattfinden, die im Lichtbogen als Ton hörbar werden, und daß die Schwingungszahl dieser Schwingungen mit wachsender Kapazität und Selbstinduktion abnimmt.

Erklärung: (Abb. 301). Der Kondensator C sei einen Augenblick geladen. Er entlädt sich nun durch die Spule L und erzeugt dabei in dieser ein magnetisches Feld. Dieses hat seinen größten Wert in dem Augenblick erreicht, wo der Kondensator ganz entladen ist. Indem es jetzt wieder verschwindet, erzeugt es nach § 150 Induktionsstrom in der ursprünglichen Richtung, der Strom fließt also weiter und lädt nunmehr den Kondensator entgegengesetzt auf. Ist das Magnetfeld ganz verschwunden, so hat der Kondensator auch die alte Ladung wieder erreicht (sofern keine Energie verloren geht), und das Spiel geht nun in umgekehrter Richtung von neuem an. Der Vorgang läßt sich leicht mit Pendelschwingungen vergleichen. Wie sich bei diesen Zustandsenergie in Bewegungsenergie und umgehrt verwandelt (§ 45), so verwandelt sich hier elektrische Zustandsenergie (des geladenen Kondensators) periodisch in magnetische Feldenergie und umgekehrt. — Daß die Bogenlampe diese Schwingungen anregt, läßt sich mit dem Anstreichen der Saite durch den Violinbogen oder dem Anblasen der Pfeife vergleichen. Die Schwingungen sind in allen diesen Fällen un-

gedämpfte, da der Luftstrom, Violinbogen bzw. Lichtbogenstrom immer neue Energie zuführt.

Es gibt aber auch den Tönen einer gezupften oder angeschlagenen Saite (Klavier usw.) vergleichbare gedämpfte elektrische Schwingungen (Abb. 302). Die Entladung einer Leidener Flasche stellt einen solchen Vorgang dar. Durch Photographie des Entladungsfunkens auf einem rasch bewegten Film zeigte 1858 der dänische Physiker FEDDERSEN, daß diese

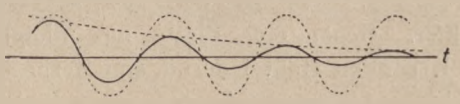


Abb. 302.

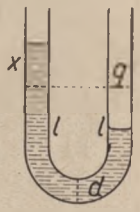


Abb. 303.

Entladung, ähnlich etwa dem Ausgleich des Wassers in einem U-Rohr (Abb. 303), ein periodischer Vorgang ist. Abb. 304 zeigt eine solche Funkenphotographie.

Die **Schwingungszahlen der elektrischen Schwingungen** betragen im ersten Falle (Lichtbogen), wie der Ton beweist, einige 1000 bis 10 000 im zweiten (Leidener Flasche) viele Millionen.

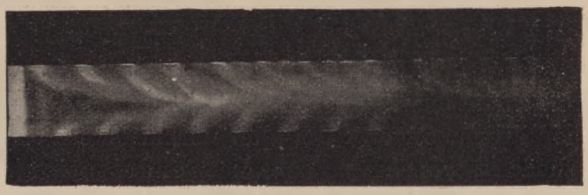


Abb. 304.

§ 163. Resonanz. Zwei schwingungsfähige elektrische Kreise können ähnlich wie zwei Tonerreger (§ 91) aufeinander abgestimmt werden, indem man C und L passend verändert. Man kann dann den einen durch den anderen zum Mitschwingen veranlassen, und zwar nicht nur, wenn man sie direkt verbindet („galvanisch koppelt, Abb. 305 b), sondern auch durch sogenannte induktive Kopplung (Abb. 305 a). Im letzteren Falle induzieren die Stromschwankungen in I den Kreis II. Hierbei kann die Entfernung beider Kreise eine ziemlich beträchtliche sein (*Versuche* mit einem Resonanzinstrumentarium). Um die Reich-

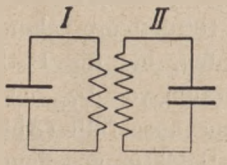


Abb. 305 a.

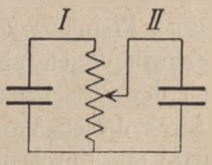


Abb. 305 b.

weite dieser Wirkung noch zu vergrößern, versieht man die Stromkreise mit sogenannten Antennen, d. h. frei und hoch in die Luft geführten Drähten. Auf diese Weise ist dann eine drahtlose Übertragung von Nachrichten ermöglicht. Es kommt nur darauf an, die bei großen Entfernungen sehr schwach werdenden Schwingungen im Empfangskreise nachweisbar zu machen. Hierzu dienen die sogenannten

§ 164. Detektoren. Die beiden wichtigsten sind der sogenannte Kristalldetektor und der Röhrendetektor (oder die Elektronenröhre).

a) **Der Kristalldetektor.** Gegen eine Platte aus Bleiglanz, Zinkblende oder ähnlichen Kristallen stößt federnd eine feine Stahlspitze. Diese Vorrichtung läßt Strom vorzugsweise nur in einer Richtung durch (*Versuche*). Schaltet man sie mit einer (schwachen) Wechselstromquelle und einem Galvanometer in Reihe, so zeigt deshalb das Galvanometer Strom an, obwohl es sonst seiner Trägheit wegen auf rasch wechselnde Ströme nicht reagiert. Der Detektor unterdrückt nämlich die eine Hälfte des Wechselstroms und summiert die Stromstöße in der anderen Richtung zu einem Gleichstrom auf, den das Galvanometer anzeigt.

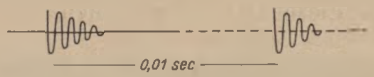


Abb. 306.

Praktisch bedient man sich nun nicht des letzteren, sondern eines Telephons als Stromanzeiger. Um die Wirkungsweise zu verstehen, wollen wir zunächst annehmen, daß die Sendestation gedämpfte Schwingungen aussende. Es sei dort etwa ein „Sendekreis“ gebildet aus einer Batterie von Leidener Flaschen, einer veränderlichen Selbstinduktion und einer Funkenstrecke, die Antenne sei galvanisch oder induktiv damit gekoppelt. Dieser Kreis werde etwa durch einen Induktor (§ 150) alle hundertstel Sekunde (Unterbrechungszahl des Induktors) aufgeladen. Er entlädt sich dann jedesmal durch die Funkenstrecke in einem Zuge gedämpfter Schwingungen, nehmen wir an mit einer Frequenz von 100000 pro Sekunde. Selbst wenn hundert solcher Schwingungen ablaufen, bis die Entladung ganz „abgeklungen“ ist, ist der Zwischenzeitraum von $^1/_{100}$ Sek. immer erst zu einem Zehntel durch diesen Vorgang ausgefüllt (Abb. 306). In der Empfangsstation wird nun durch den Detektor aus dem ganzen Zuge gedämpfter Wellen ein einmaliger Stromstoß, der sich somit alle hundertstel Sekunde wiederholt. Ein Telephon, das in den gleichen Kreis eingeschaltet ist, wird dann den Ton der Schwingungszahl 100 hören lassen. Indem

man an der Sendestation den Induktor jeweils längere oder kürzere Zeit betätigt, kann man akustische Morsezeichen übertragen.

Wie verläuft der Vorgang bei Sendung ungedämpfter Schwingungen? In diesem Falle würde das Telephon weder auf diese Schwingungen selbst reagieren, weil es für deren „Hochfrequenz" viel zu träge ist, noch auf den durch den Detektor daraus gemachten konstanten Gleichstrom, der der Telephonmembran nur eine einmalige Ausbuchtung erteilen würde. Man richtet es in diesem Falle auf eine hier nicht näher darzulegende Weise so ein, daß die Schwingungsweite der Hochfrequenzschwingung regelmäßig zu- und abnimmt (Abb. 307). Dann macht der Detektor daraus die „niederfrequente" Schwingung, welche durch die äußere Kurve angedeutet ist und diese kann das Telephon zu Gehör bringen. Durch längere oder kürzere Sendeintervalle erhält man wieder akustische Morsezeichen. (Heutige Methode der **drahtlosen Telegraphie**.)

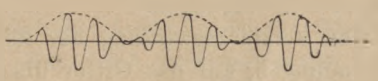


Abb. 307.

b) **Die Elektronenröhre.** Die in Anhang III erwähnten Kathodenstrahlen bestehen, wie neuere Untersuchungen einwandfrei erwiesen haben, aus winzig kleinen, mit großer Geschwindigkeit von der Kathode ausgeschleuderten Teilchen negativer Ladung, welche man Elektronen nennt und welche als Unterbestandteile aller chemischen Atome aufzufassen sind. Sie werden außer auf die oben erwähnte Weise auch dadurch aus Metallen herausgetrieben, daß man diese zum Glühen erhitzt.

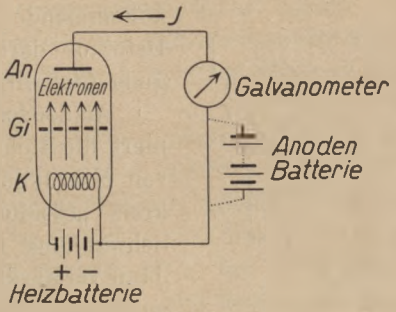


Abb. 308.

Man bringt nun in einer möglichst vollkommen ausgepumpten Glasröhre (Abb. 308) einen von außen elektrisch heizbaren Platindraht als Kathode an, umgibt diesen mit einem feinen Metallgitter oder -netz (in der Abb. darüber gezeichnet) und stellt endlich noch eine Anode gegenüber (oder legt sie wieder um das Gitter herum). Beim Einschalten der Heizbatterie geht dann ein Strom von (negativen) Elektronen zur Anode, der bei der angegebenen Schaltung von einem hinreichend empfindlichen Galvanometer direkt angezeigt wird. Der-

selbe wird erheblich stärker, wenn man eine besondere Anodenbatterie in der angegebenen Weise noch dazu schaltet, er hört dagegen ganz auf, wenn man diese in umgekehrter Richtung einschaltet, weil das kalte Anodenblech keine Elektronen aussendet und auf andere Weise ein Elektrizitätstransport in der Röhre nicht erfolgen kann. Das gleiche tritt auch schon dann ein, wenn man dem Gitter eine negative Spannung erteilt (infolge der Abstoßung der Elektronen durch das Gitter). Die Röhre läßt also Strom nur in einer Richtung durch, d. h. sie ist ein „Gleichrichter" ebenso wie der Kristalldetektor und kann deshalb auch ebenso wie dieser verwendet werden. Eine solche als Detektor benutzte Röhre wird **Audionröhre** genannt. Neben dieser findet die Röhre aber noch zwei andere ebenso wichtige Verwendungen im Funkwesen. Sie dient nämlich auch als Verstärker und als Sender elektrischer Schwingungen.

Die **Verstärkerwirkung der Röhre** beruht darauf, daß elektrische Schwingungen, auf das Gitter übertragen, den Anodenstrom im selben Tempo, aber mit vergrößerter (etwa verzehnfachter) Schwingungsweite zum Schwingen veranlassen. Man kann auf diese Weise sowohl die ankommende Hochfrequenzschwingung, als die vom Detektor daraus erzeugte Niederfrequenzschwingung (Schallfrequenz) verstärken.

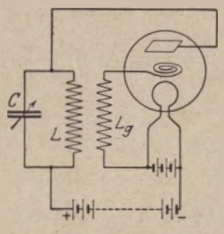


Abb. 309.

Als **Sender ungedämpfter Schwingungen** funktioniert die Röhre, wenn man (nach dem Vorgang von Meissner) den Gitterkreis mit dem Anodenkreis **„rückkoppelt"** (Abb. 309). Eine geringe Schwankung in dem einen Kreise überträgt sich dann verstärkt auf den anderen, dadurch wird sie auch im ersten wieder verstärkt usw. bis zu einer durch die Beschaffenheit der Röhre bedingten Höchstgrenze. (Vergleich mit dem Dynamoprinzip § 151.) Man bekommt so ungedämpfte Schwingungen von fast absolut konstanter Schwingungszahl.

§ 165. Der Rundfunk. Erst hierdurch ist auch die Übertragung der menschlichen Sprache auf drahtlosem Wege möglich geworden. Schaltet man etwa in den Antennenkreis einer solchen Sendevorrichtung noch ein Mikrophon ein, so wird der Widerstand desselben nach § 149 im Tempo der Schallschwingungen verändert, damit aber im gleichen Tempo auch die Schwingungsweite der ausgesandten Schwingungen. Man erhält so das in Abb. 310 schematisch wiedergegebene Bild. Der an sich ganz gleichmäßigen „Hochfrequenz" wird also die Niederfrequenz der Schallwellen in Gestalt einer Amplituden-

schwankung „aufgeprägt“. Diese hört dann der Detektor auf dieselbe Weise wie oben ab.

Die Abstimmung der Apparate aufeinander bezieht sich aber natürlich auf die Hochfrequenz. Man erreicht sie durch verstellbare Kondensatoren (Drehkondensatoren) oder Selbstinduktionsspulen. Die besseren Radioapparate besitzen meist vier Röhren: eine zur Verstärkung der Hochfrequenz, dann eine Audionröhre (Detektorröhre) und zwei Niederfrequenzverstärker.

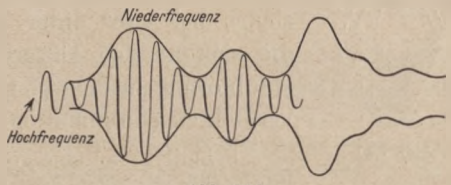


Abb. 310.

§ 166. Elektrische Wellen. Der Vorgang der Fortpflanzung der am Sendeort erzeugten Schwingungen im umgebenden Raum ist der Ausbreitung des Schalles (§ 89) analog. Es läßt sich beweisen, daß er mit endlicher, wenn auch sehr großer Geschwindigkeit (300 000 km/sec) erfolgt, daß es sich also um einen wellenartigen Vorgang handelt (näheres Oberstufe). Da bei jeder Wellenbewegung die Fortpflanzungsgeschwindigkeit gleich dem Produkt aus Schwingungszahl und Wellenlänge (Abstand zweier Berge oder Täler) ist, so kann man entsprechend auch hier von Wellenlängen der elektrischen Wellen reden.

Erzeugt z. B. ein Sender ungedämpfte Schwingungen von 100 000 pro Sek., so ist die Wellenlänge demnach = 300 000 km: 100 000 = 3 km = 3000 m. Die einzelnen Sendestationen arbeiten jede mit einer ganz bestimmten Wellenlänge, die zwischen 200 bis 4000 m liegt.

Aus Wellen ganz derselben Art besteht auch das **Licht.** Doch sind dessen Wellenlängen viel kleiner (um 0,5 μ) und dementsprechend die Schwingungszahlen viel größer (einige hundert Billionen pro Sek.). Noch höher frequente Wellen gleicher Art sind die Röntgenstrahlen und die γ-Strahlen des Radiums.

Anhang V. Chemische Erscheinungen.

A. Der Schwefel und die Metalle.

§ 167. Der Schwefel findet sich in vulkanischen Gegenden, z. B. in Sizilien, Louisiana (N.-A.) u. a. meist gemengt mit Gesteinen, aus denen man ihn durch Ausschmelzen gewinnt. Er ist gelb, durchscheinend, glänzend, von geringer Härte. Sein spezifisches Gewicht ist ungefähr 2. Manchmal findet er sich in Kristallen (Abb. 311), d. h. gesetzmäßig von

ebenen Flächen begrenzten Stücken. Er ist in reinem Zustand geruch- und geschmacklos und ein schlechter Leiter der Wärme und Elektrizität.

**Versuche* ergeben folgende weitere Eigenschaften des Schwefels: Schwefel schmilzt bei 115° zu einer zuerst hellgelben Flüssigkeit, die bei weiterem Erhitzen rotbraun und dickflüssig wird. Bei noch höherer Erhitzung wird er wieder dünnflüssig und siedet bei 448° unter Entwicklung rotbrauner Dämpfe, die sich an den kälteren Stellen des Gefäßes zu festem, staubförmigem Schwefel, sogenannten Schwefelblumen, verdichten (Sublimation).

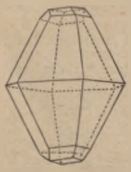


Abb. 311.

Schmilzt man eine größere Menge Schwefel in einem Tiegel, durchstößt die nach dem Erkalten sich bildende starre Kruste und gießt das Flüssige aus, so findet man im Innern lange nadelförmige Kristalle, die von den natürlichen verschieden sind.

Im Wasser ist der Schwefel unlöslich, löslich dagegen in Schwefelkohlenstoff, einer wasserhellen, unangenehm riechenden Flüssigkeit. Beim Verdunsten einer solchen Lösung kristallisiert der Schwefel in Form der natürlichen Kristalle aus.

Wird geschmolzener Schwefel von etwa 400° in kaltes Wasser gegossen, so erhält man eine kautschukartige, bildsame Masse, die langsam erstarrt und zu Abdrücken verwendbar ist. (Amorpher oder gestaltloser Schwefel.)

Angezündet verbrennt der Schwefel unter Bildung eines stechend riechenden Gases (s. § 192).

Anwendung findet der Schwefel zur Bereitung zahlreicher Zündwaren, ferner der Gummiwaren (Vulkanisieren des Kautschuks) sowie zur Desinfektion von Fässern, Einmachgläsern usw. Diese Wirkung kommt jedoch nicht ihm selber, sondern seinem gasförmigen Verbrennungsprodukt (§ 192) zu.

Übungen: Warum ist der Schwefel geschmacklos? — Welche Vorbedingung muß für die Kristallisation eines Stoffes erfüllt sein? Auf welche zwei verschiedenen Weisen kann sie erfüllt werden?

§ 168. Schwefel und Metalle. Chemische Verbindung. **Versuch* 1: 4 g Schwefel und 7 g Eisenpulver werden innig gemengt und das Gemisch in einem Probiergläschen vorsichtig erhitzt, bis es an einer Stelle aufglüht. Trotz sofortiger Entfernung der Flamme schreitet das Glühen dann durch die ganze Masse fort, und nach dem Erkalten findet man als Glasinhalt einen festen, bräunlich schwarzen Stoff vor, in welchem weder Schwefel noch Eisen mehr nachweisbar sind (welche Proben?). Während man ferner das frühere Gemenge durch Schütteln mit Wasser und Absetzenlassen leicht wieder zum größten Teil trennen kann, ist dies bei dem erhaltenen Stoffe unmöglich.

Aus den zwei verschiedenen Stoffen Schwefel und Eisen ist also hier ein dritter, ganz anderer geworden. Man sagt, **Schwefel und Eisen**

haben sich chemisch miteinander verbunden und nennt den erhaltenen Stoff [die Verbindung][1]) **Schwefeleisen.**

Bei chemischen Vorgängen entstehen Stoffe mit völlig neuen Eigenschaften. Im Gegensatz dazu bezeichnet man als physikalische Vorgänge solche, bei denen die beteiligten Stoffe bleiben, was sie sind, so z. B. wenn ein Stück Eisen erhitzt, verbogen, zerbrochen, magnetisiert wird. Die Wissenschaft von den chemischen Vorgängen ist die Chemie[2]).

**Versuch* 2: Schwefel und Zinkpulver im Verhältnis 1 : 2 gemengt, auf Asbestpappe gelegt und an einer Stelle mit einer glühenden Nadel berührt, vereinigen sich unter heftiger Wärmeentwicklung (Vorsicht!) zu Schwefelzink.

**Versuch* 3: Ein dünner Kupferblechstreifen erglüht, wenn man ihn in den Dampf siedenden Schwefels hineinbringt, und verwandelt sich in blauschwarzes zerreibliches Schwefelkupfer. Gewichtszunahme! — Ähnliche Versuche mit Blei, Zinn (Stanniol). Ferner Zusammenreiben von Schwefel und Quecksilber.

In allen betrachteten Fällen verbinden sich die Metalle mit Schwefel unter Freiwerden beträchtlicher Wärmemengen. Ein chemischer Vorgang heißt auch wohl eine chemische **Reaktion** (= Einwirkung aufeinander), die erzeugte Wärme heißt **Reaktionswärme.** Bei chemischen Verbindungen wird in der Regel Wärme frei.

Welche Unterschiede bestehen zwischen Mischung und Verbindung?

§ 169. Chemische Zerlegung. Schwefelmetalle als Mineralien. **Versuch:* Ein Stückchen des als Malerfarbe benutzten Minerals Zinnober wird in einem Glasröhrchen erhitzt. Es bildet sich ein gelber Beschlag von Schwefel und ein grauer, spiegelnder von Quecksilbertröpfchen. — Das rote Mineral ist in die zwei voneinander ganz verschiedenartigen Stoffe **chemisch zerlegt** worden.

Wenn Zinnober = Schwefelquecksilber ist, so muß er sich umgekehrt auch durch Verbindung beider Stoffe herstellen lassen. Das beim Zusammenreiben beider erhaltene Produkt ist aber schwarz. Man erhält dagegen rotes Schwefelquecksilber, wenn man zu geschmolzenem Schwefel vorsichtig tropfenweise Quecksilber gibt und die erhaltene schwarze Masse in einer Achatschale, nötigenfalls nach nochmaligem Erhitzen, kräftig reibt. **Synthese** (= künstliche Zusammensetzung) des Zinnobers.

In der Natur kommen außer diesem noch viele andere Schwefelmetalle als Mineralien[3]) vor. Die wichtigsten sind:

---

[1]) Das Wort „Verbindung" wird sowohl für den Vorgang wie für das Ergebnis desselben gebraucht.

[2]) Das Wort stammt vielleicht aus dem Ägyptischen und hat dort ein geheimnisvolles Land bezeichnet, woher die alten Ägypter ihre chemischen Kenntnisse hatten.

[3]) Unter einem Mineral versteht man einen Stoff, der sich unmittelbar in der unbelebten Natur vorfindet, zumeist in ganz bestimmter Form kristallisiert.

1. **Eisenkies oder Schwefelkies**: Goldglänzende Massen, oft schön kristallisiert in Würfeln oder Fünfeckszwölfflächnern (Abb. 312). Enthält doppelt so viel Schwefel wie das künstlich (synthetisch) hergestellte Schwefeleisen. (**Versuch:* Erhitzen im Probierrohr, Abscheidung der Hälfte des Schwefels.) Wird zur Schwefelgewinnung, neuerdings auch zur Eisengewinnung benutzt.

2. **Kupferkies:** Verbindung von Eisen, Kupfer und Schwefel, goldgelb bis messinggelb, oft bunt angelaufen. Meist in derben Massen, seltener in Kristallen. Fundort in Deutschland: Harz (Goslar) u. a. m. Wird auf Kupfer verarbeitet.

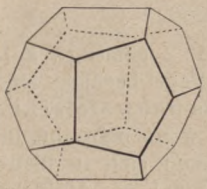


Abb. 312.

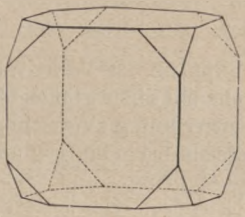


Abb. 313.

Erze nennt man diejenigen natürlichen Verbindungen der Metalle, die zur Gewinnung derselben dienen. Kupferkies ist Deutschlands wichtigstes Kupfererz. Das meiste Kupfer kommt freilich aus Nordamerika (s. u.).

3. **Bleiglanz** = Schwefelblei, bläulichschwarz, metallglänzend, ziemlich weich, abfärbend, oft in würfelförmigen Kristallen mit abgestumpften Ecken (Abb. 313). Häufiges Mineral, oft silberhaltig, daher wichtiges Blei- und Silbererz.

**Versuche:* Erhitzen von Eisenkies, Kupferkies und Bleiglanz auf Kohle vor dem Lötrohr. Geruch brennenden Schwefels. Nachweis der Metalle.

4. **Zinkblende** = Schwefelzink, gelbe bis braune, glasglänzende Kristalle (Oktaeder, Abb. 314, oder Rhombenzwölfflächner, Abb. 315) oder kristallinische Massen.

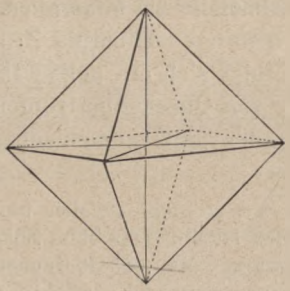


Abb. 314.

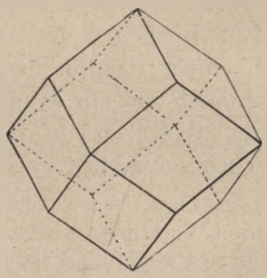


Abb. 315.

§ 170. Chemische Elemente, Stoffe und Stoffgemische. Die bisherigen Versuche haben gezeigt, daß zwei oder mehr Stoffe sich zu einem einheitlichen neuen verbinden oder umgekehrt ein Stoff in mehrere chemisch zerlegt werden kann. Im letzteren Falle lassen sich diese vielfach auch wieder zu dem alten Stoff verbinden, im ersteren umgekehrt die Verbindung wieder zerlegen (beides oft allerdings nur auf Umwegen).

Es erhebt sich die Frage, was man erhält, wenn man das Zerlegen so weit wie möglich fortsetzt, d. h. wenn man jedesmal die

erhaltenen Teilstoffe wieder daraufhin untersucht, ob sie sich noch einmal wieder zerlegen lassen. Diese zuerst von dem englischen Chemiker und Physiker Robert Boyle (1627 bis 1691) klar formulierte Aufgabe ist heute in der Hauptsache gelöst. Es hat sich gezeigt, daß die chemische Zerlegung aller bekannten Stoffe auf eine verhältnismäßig kleine Anzahl, nämlich 92 Stoffe führt, die sich nicht weiter zerlegen lassen. Diese heißen **Grundstoffe** oder **Elemente.** Von den bisher genannten gehören der Schwefel und die Metalle zu ihnen.

Von der hier gemeinten chemischen Verbindung und Zerlegung ist der (physikalische) Vorgang der Mischung und Entmischung aber durchaus zu unterscheiden. (Welches sind die wichtigsten Unterschiede?) Die in der Natur vorkommenden Stoffe sind zumeist Gemische, so z. B. die Milch ein Gemisch von Wasser, Milchzucker, etwas Kochsalz und anderen Salzen, verschiedenen Fetten und mehreren Eiweißarten (Albumin, beim Erhitzen gerinnend, Kasein, durch Säure gerinnend, u. a.). Man kann solche Gemische, durch mancherlei physikalische Mittel wie z. B. Abdampfen, Abdestillieren, Auskristallisieren, Zentrifugieren, Abschlämmen (s. o.) u. a. m. ganz oder wenigstens teilweise in die einzelnen Stoffe trennen. Erst dann beginnt die Arbeit des Chemikers, die Zerlegung dieser einzelnen Stoffe, wie z. B. des Wassers, Zuckers oder Kochsalzes in die darin enthaltenen Elemente. Einzelner Stoffe kennt man etwa $^3/_4$ Millionen. die Mehrzahl derselben gehört zu den „organischen" Stoffen. Bekannte und wichtige Einzelstoffe sind u. a.

a) *Anorganische:* Wasser, Kochsalz, Schwefelsäure, Salzsäure, Gips, Soda, Pottasche, Salpeter, Kalk, Quarz (Kiesel, Bergkristall, Sand) usw.

b) *Organische:* Zucker, Alkohol, Essigsäure, Zellstoff (Papier, Watte), Fette, Wachsarten, Benzol, Vanillin, Indigo, Harnstoff und Harnsäure usw.

Gemische sind z. B. die als Heilmittel benutzten Quellsalze wie Emser, Karlsbader usw. Salz, alle Bodenarten (Erde), alle natürlichen Wässer (§ 176), Holz, Fleisch, Milch, Teer, Benzin, Petroleum, Knochen, alle Früchte usw.

Vielfach gelingt auch die Trennung der Gemische nur, indem man chemische Tatsachen zu Hilfe nimmt. An sich bedeutet sie jedoch keinen chemischen Eingriff. Die im Gemisch enthaltenen Stoffe bleiben dabei, was sie waren.

Die Elemente werden der bequemen Bezeichnung wegen mit den Anfangsbuchstaben ihrer lateinischen Namen abgekürzt, nötigenfalls mit einem charakteristischen Zusatzbuchstaben, z. B. Schwefel (Sulfur) = **S**, Kupfer (Cuprum) = **Cu**, Eisen (Ferrum) = **Fe** usw. Sie werden eingeteilt in **Metalle** und **Nichtmetalle.** Die ersteren bilden die weitaus größte Mehrzahl. Die letzteren (etwa 13) kommen unten einzeln zur Sprache.

§ 171. Die Metalle sind mit Ausnahme des Quecksilbers bei gewöhnlicher Temperatur fest. Sie haben sämtlich einen besonders starken Glanz (Metallglanz) und sind gute Leiter der Wärme und der Elektrizität. Sie sind ferner fast alle ziemlich zähe und daher biegsam,

ausziehbar, hämmerbar usw., nur wenige sind spröde, wie z. B. Zink. Sie sind alle schmelzbar, jedoch bei sehr verschiedenen Temperaturen (Zinn — Platin) und lassen sich im geschmolzenen Zustand miteinander mischen oder **„legieren“**[1]). Man unterscheidet leichte Metalle und schwere Metalle (spezifisches Gewicht kleiner oder größer als 4).

In der Natur kommen einige, wie Gold und Platin, nur „gediegen“, d. h. unverbunden, manche, wie Silber, Kupfer, Quecksilber, sowohl frei als gebunden, die meisten aber nur in Verbindungen (Erzen) vor.

Die wichtigsten **Schwermetalle**[2]) sind:

1. Eisen (Ferrum), Fe, spez. Gewicht 7,8. In ganz reinem Zustand grauweißlich, sehr dehnbar, schwer schmelzbar (1600°). An der Luft leicht „rostend“ (s. § 191). Alles technisch verwertete Eisen enthält Kohlenstoff (C), Roheisen und Gußeisen 2 bis 5 Proz. C, Stahl $^1/_2$ bis 2 Proz., Schmiedeeisen $< {}^1/_2$ Proz. Andere Einteilung nach der Bearbeitbarkeit: Gußeisen und Flußeisen. In der Natur gediegen nur als Meteoreisen (Erdkern nach Wiechert, Sonne). Auf der Erdoberfläche in großen Mengen in Verbindungen (s. § 175), die im Hochofen verarbeitet werden (Westfalen, Sachsen, Belgien, Skandinavien, England, Marokko). Weiteres s. § 175.

2. Kupfer [Cuprum][3]), Cu, spez. Gew. 8,9, hellrot, an der Luft dunkelrot („kupferrot“) anlaufend. Sehr dehnbar (Draht), Schmelzpunkt 1100°. Kupfer färbt farblose Flammen grün (**Versuch*). Vorkommen: gediegen am „Oberen See“ (Amerika), hauptsächlich aber in Erzen (meist schwefelhaltigen). Verwendung bekannt.

3. Zink[4]), Zn, spez. Gew. 7,1, Schmelzpunkt 412°, bläulichweiß, spröde, jedoch bei 100 bis 150° dehnbar. Bei stärkerer Erhitzung verdampft es (Siedepunkt 920°) und verbrennt mit blauer Flamme (**Versuch* auf Kohle vor dem Lötrohr). Vorkommen im Galmei oder Zinkspat und in der Zinkblende (s. o.) Verwendung zu Dachrinnen, Eimern, Tischplatten, Spülsteinen usw., da es sich im Wasser gut hält. (Im Gegensatz wozu?)

4. Zinn (Stannum), Sn, spez. Gew. 7,3, silberweiß, sehr dehnbar. Stanniol = Stanni folium. Schmelzpunkt 230°. (**Versuch.*) Verwendung zu Zinngeräten als Überzug auf Eisenblech (Weißblech), zum Löten, meist in Legierung mit Blei. Vorkommen im Zinnstein (Malakka, England, Erzgebirge). Die Legierung von Cu und Zn heißt Messing, die von Cu und Sn Bronze (Glocken, Kanonen, Statuen).

5. Blei (Plumbum), Pb, spez. Gew. 11,4, Schmelzpunkt 325°. Sehr weich, abfärbend, frisch geschnitten stark glänzend, sonst mit einer grauen Schicht (s. § 174) bedeckt. Vorkommen hauptsächlich im Bleiglanz (s. o.) in Deutschland, Spanien, Amerika. Verwendung zu Wasser-

---

[1]) *legāre* (lat.) = verbinden. Legierungen sind aber keine chemischen Verbindungen, sonden Gemische.

[2]) Die einzelnen Metalle können auch an geeigneter Stelle besprochen werden.

[3]) *Aes Cyprium* = Erz von der Insel Cypern (Kupfererz der Alten).

[4]) Beim Erkalten bildet das Metall leicht schroffe Zinken.

leitungsrohren, Geschossen u. a., legiert mit Zinn als „Schnellot“ usw., mit Antimon als Letternmetall.

6. Nickel[1]), Ni, spez. Gew. 9, schwer schmelzbar (etwa 1600°), silberglänzend, sehr fest, magnetisierbar. Vorkommen gediegen in Meteoreisen, sonst nur in Verbindungen (Norwegen, Amerika). Da es sich an der Luft nur sehr langsam verändert, so wird es viel verwendet als Überzug auf Eisen, ferner zu „Reinnickelkochgeschirr“ und zu Münzen ($^1/_4$ Ni, $^3/_4$ Cu) sowie zu allerlei Legierungen, z. B. Neusilber ($^1/_2$ Cu, $^1/_4$ Ni, $^1/_4$ Zn). Dem Nickel sehr ähnlich ist das Kobalt (Co).

7. Quecksilber [Hydrargyrum][2]), Hg. Bei gewöhnlicher Temperatur flüssig, Schmelzpunkt — 39°, spez. Gew. des flüssigen Metalls 13,6, Siedepunkt 357°. Giftig, besonders auch in Dampfform, sowie in sämtlichen Verbindungen. Vorkommen selten gediegen, hauptsächlich als Zinnober (s. oben). Verwendung zu zahlreichen physikalischen und chemischen Apparaten.

Die Legierungen des Quecksilbers heißen Amalgame[3]). Zinnamalgam dient zum Belegen der Spiegel.

Die folgenden Metalle verändern sich in reiner Luft nicht und werden deshalb Edelmetalle genannt:

8. Silber (Argentum), Ag, spez. Gew. 10,5. Schmelzpunkt 1000°. Sehr dehnbar, in dünnen Blättchen durchscheinend. Vorkommen vielfach gediegen, aber auch in Verbindungen nicht selten (Deutschland, Nordamerika, Mexiko).

Silbermünzen enthalten 90 Proz. Ag und 10 Proz. Cu, Silbergegenstände meist 80 Proz. Ag. Der Zusatz von Kupfer ist hier wie bei Gold nötig, weil die reinen Edelmetalle zu weich sind.

9. Gold (Aurum), Au, spez. Gew. 19,3, Schmelzpunkt 1200°. Sehr weich, bis zu Blättchen von $<$ 0,0001 mm Dicke auswalzbar und dann grün durchscheinend. Vorkommen nur gediegen (Schwemmgold und Berggold): Südafrika, Alaska, Kalifornien, Australien u. a. Gesamte jährliche Produktion etwa für 1200 Millionen Mark. Goldmünzen enthalten 90 Proz. Au und 10 Proz. Cu, Goldgegenstände heute meist 0,585 Au, früher mehr.

10. Platin, Pt, spez. Gew. 21,2, Schmelzpunkt 1800°, silberweiß, daher der Name[4]). Vorkommen nur gediegen: Ural und Südamerika. Da Platin mit Gold nicht nur die Unveränderlichkeit an der Luft, sondern auch die Widerstandsfähigkeit gegen fast alle chemischen Einflüsse (Säuren) teilt, zugleich aber sehr hart ist, so ist es ein unentbehrliches Hilfsmittel für die chemische Wissenschaft und Technik. Sein Preis übertrifft heute bei weitem den des Goldes.

---

[1]) „Nickel“ bezeichnen Berggeister („Kobalt“ von Kobold), die den Bergmann äffen. Man wußte früher mit den betreffenden Erzen trotz ihres vielversprechenden Aussehens nichts anzufangen.

[2]) Von *hydor* = Wasser, *árgyron* (griech.) = Silber.

[3]) *amalos* = weich, *gamos* (griech.) = (Hochzeit) Verbindung.

[4]) Von *plata* (span.) = Silber. Zuerst in Südamerika im „Rio de la Plata“ entdeckt.

Von den **Leichtmetallen** seien hier nur erwähnt:

11. Aluminium[1]), Al, erst 1827 von WÖHLER aus seinen in großen Mengen[2]) in der Gesteinskruste der Erde vorkommenden Verbindungen isoliert, heute fabrikmäßig mit Hilfe des elektrischen Stromes hergestellt (Neuhausen am Rheinfall). Spez. Gew. 2,6, Schmelzpunkt 660°. Silberweiß, an der Luft nur oberflächlich veränderlich, sehr dehnbar. Wegen seiner vorzüglichen Eigenschaften in immer steigendem Maße gebraucht (Luftschiffe!), auch in Legierungen mit Cu u. a.

12. Magnesium[3]), Mg, 1830 zuerst aus seinen ebenfalls sehr verbreiteten Verbindungen befreit. Spez. Gew. 1,7, Schmelzpunkt 700°. Silberweiß, sehr weich. An der Luft leicht, aber nur oberflächlich veränderlich. Mg verbrennt, angezündet, mit höchst intensivem, weißem Licht (**Versuch*), daher Verwendung zu Feuerwerkskörpern und „Blitzlicht". Legiert mit Al: „Magnalium".

Kalium und Natrium s. § 188. Calcium s. § 194, 206.

Geschichtliches: Neben den seit undenklichen Zeiten bekannten und geschätzten Edelmetallen Gold und Silber sind den Menschen zuerst Kupfer und Zinn bekannt geworden, die sich aus ihren Erzen verhältnismäßig leicht „ausschmelzen" lassen. Daher folgt auf die Zeit der primitiven Steinwerkzeuge überall zuerst eine Bronzezeit (Homers „Erz" ist Bronze). Erst später lernt man das Eisen gewinnen und bearbeiten. In Australien sind noch heute manche Stämme nicht über die Steinzeit hinaus, in Afrika stehen noch manche Stämme bei der Bronze. Von den anderen Metallen waren im geschichtlichen Altertum, soweit bisher ermittelt ist, nur Blei und Quecksilber bekannt. Alle Leichtmetalle sind erst seit reichlich 100 Jahren durch die Chemie entdeckt worden.

B. Die Bestandteile der atmosphärischen Luft.

§ 172. Verbrennung von Metallen. Der Sticktoff. Aus zahlreichen *Beobachtungen* des täglichen Lebens ist bekannt, daß bei Verbrennungsvorgängen die Luft eine wesentliche Rolle spielt (Beispiele?). Das gleiche gilt für die Atmung der Menschen und Tiere. Eine weitere allgemeine Erfahrung ist, daß viele Stoffe, insbesondere die meisten Metalle, an der Luft charakteristische Veränderungen erleiden (Beispiele?), die ausbleiben, wenn man sie von der Luft durch einen Lack- oder Ölfarbenanstrich abschließt. Stärker und rascher verändern sich die Metalle beim Erhitzen an der Luft. Wir ergänzen die Beobachtungen durch einige

**Versuche*: 1. Ein zusammengefaltetes und auf Asbestpappe erhitztes dünnes Kupferblech wird außen zuerst rotbraun, dann schwarz, während es innen hellrot bleibt. — Feines Eisenpulver, auf Asbestpappe mittels einer glühenden Stricknadel entzündet, verwandelt sich unter lang-

[1]) Von *alumen* (lat.) = Alaun.
[2]) Al ist das dritthäufigste aller Elemente (nächst Sauerstoff und Silicium).
[3]) Von dem Mineral Magnesit, das u. a. bei Magnesia in Kleinasien gefunden wird.

samem Weiterglühen in eine blauschwarze Masse (Hammerschlag). Durch Umrühren und Aufblasen von Luft wird das Glühen stärker. Gleicher Versuch mit Zinkpulver. — Ein Streifen Magnesiumband verbrennt mit glänzendem Licht. — Blei oder Zinn (Stanniol) lassen sich im Tiegel veraschen.

In gleicher Weise verändern sich alle Metalle mit Ausnahme der sogenannten Edelmetalle an der Luft. Aus Quecksilber erhält man durch längeres Erhitzen auf etwa 300° die rote Quecksilberasche.

Man hat früher diese Veränderungen für eine chemische Zerlegung gehalten. Aus dem Metall sollte ein gewisser Stoff (Phlogiston = Feuerstoff) entweichen, die Asche wäre der Rückstand. Dann müßte sie leichter sein als das Metall. In Wahrheit ist sie aber schwerer.

Versuche*: 2. Wiederholung der Verbrennung des Eisenpulvers nach vorherigem Wiegen der Asbestpappe samt dem Pulver. **Gewichtsvermehrung. Gleicher Versuch mit Kupferpulver oder Lametta. (Die Metalle müssen vorher sorgfältig getrocknet werden, warum?) Man kann auch das Eisenpulver an einen Magnet an der Wage aufhängen und dann entzünden.



Abb. 316.

Diese Versuche beweisen, daß die frühere Erklärung falsch ist. Es muß sich vielmehr, da die Luft nach den Versuchen 1. zu dem Vorgang unentbehrlich ist, um eine Verbindung der Metalle mit der Luft oder einem Teile derselben handeln.

Versuche: 3. Stellt man den Verbrennungsversuch mit Eisen nach Abb. 316 in einem abgeschlossenen Luftquantum an, so sieht man, während das Eisen verbrennt, das Absperrwasser langsam in der Glocke steigen (Abkühlung durch Übergießen). Es zeigt sich, daß etwa $^1/_5$ der Luft verschwunden ist. — Dasselbe ergibt sich, nur langsamer, wenn man die Eisenspäne angefeuchtet unter die Glocke bringt und in mehreren Tagen verrosten läßt (SCHEELE um 1775). — Füllt man außen so viel Wasser nach, daß es innen und außen gleich hoch steht, und bringt dann durch die obere Öffnung einen brennenden Holzspan in den Luftrest, so erlischt er sofort. Dieser Rest vermag somit keine Verbrennung mehr zu unterhalten.

Noch überzeugender und zugleich quantitativ ziemlich genau erhält man das gleiche Ergebnis, wenn man in dem in Abb. 317 dargestellten Apparat

das in *A* abgesperrte Luftvolumen durch Zugießen von Wasser langsam nach *B* herübertreibt, nachdem man vorher in der Röhre *C* liegendes Kupfer (Späne oder Lametta) erhitzt hat. Das Kupfer zeigt sich, besonders nach *A* hin, in eine schwarze Masse verwandelt (s. oben *Versuch* 1).

Das Gesamtergebnis aller dieser Versuche ist:

Die Luft ist aus zwei verschiedenen Gasen zusammengesetzt, von denen nur das eine, das etwa $^1/_5$ der Luft ausmacht, die Verbrennung unterhält. Wir nennen diesen Anteil aus später zu erörternden Gründen **Sauerstoff** (SCHEELE: Feuerluft), den Rest nennt man, da Tiere ebenso wie brennende Flammen darin ersticken, **Stickstoff.** Beide Stoffe sind Elemente, die Luft ist jedoch keine Verbindung, sondern nur ein Gemisch derselben (s. unten).

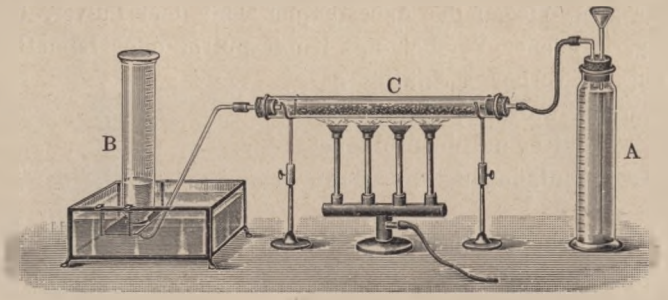


Abb. 317.

Stickstoff [Nitrogenium[1]) = **N**] ist ein farbloses und geruchloses Gas, das etwas leichter ist als die Luft (0,972 : 1). Ein Liter N wiegt 1,257 gr. Stickstoff unterhält die Verbrennung und Atmung nicht und ist selbst nicht brennbar. Durch starken Druck und starke Abkühlung kann er verflüssigt werden. Flüssiger Stickstoff siedet bei — 196°.

Bei der Atmung ist der Stickstoff völlig inaktiv. Er ist deshalb nicht etwa als giftig zu bezeichnen.

Geschichtliches: Die oben erwähnte Phlogistonlehre ist von STAHL um 1700 aufgestellt. Sie erklärte manche Erscheinungen sehr gut, versagte aber, als die Gewichtsverhältnisse mit berücksichtigt wurden. Dies durchgeführt zu haben, ist das Verdienst des französischen Forschers LAVOISIER (1770 bis 1780), der im übrigen auf den von dem Deutsch-Schweden SCHEELE und dem Engländer PRIESTLEY angestellten Versuchen aufbaute. Von SCHEELE stammt der größte Teil der oben angeführten Versuche, er entdeckte unabhängig von und kurz nach PRIESTLEY den Sauerstoff (1774/75). Beide blieben jedoch in der Phlogistonlehre befangen, obwohl SCHEELE dem wirklichen Sachverhalt sehr nahe war. LAVOISIER ließ sich bei seinen Versuchen und

[1]) *nitron* (griech.) = Salpeter. Stickstoff ist ein Bestandteil dieses Salzes. *gen* (griech. *Stamm*) = erzeugen.

Überlegungen leiten von dem **Gesetz von der Erhaltung des Stoffes: Bei allen chemischen (wie auch physikalischen) Vorgängen bleibt das Gesamtgewicht der dabei beteiligten Stoffe ungeändert.**

Versuche: Verbrennungen in einem luftdicht verschlossenen großen Glasballon auf der Wage.

§ 173. Der Sauerstoff. Um den Sauerstoff aus der Luft rein zu erhalten, müßte man, umgekehrt wie bei Versuch Abb. 317, den Stickstoff auf irgend eine Weise ihr entziehen. Dies ist aber mittels chemischer Vorgänge nicht möglich, weil Sauerstoff sich mit zahlreichen Stoffen sehr leicht, Stickstoff jedoch nur schwer oder gar nicht verbindet. Auf physikalischem Wege gelingt aber die Trennung der Luft mittels Verflüssigung und Wiederverdampfung (Destillation). Da nämlich flüssiger Sauerstoff bei -184^0, flüssiger Stickstoff schon bei -196^0 siedet, so verdampft aus flüssiger Luft zuerst fast nur der Sticksoff, und als Rückstand bleibt ziemlich reiner Sauerstoff. Man stellt letzteren auf diese Weise heute in großem Maßstab her — auf Grund des LINDEschen Luftverflüssigungsverfahrens — und bringt den Sauerstoff, auf etwa das 125fache zusammengepreßt, in Stahlflaschen in den Handel.

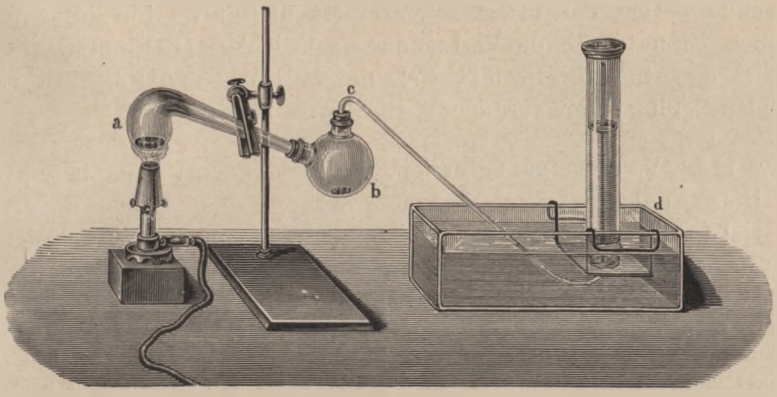


Abb. 318.

Aus diesen Tatsachen folgt zugleich zwingend, daß die Luft ein Gemisch und keine chemische Verbindnng ist, denn eine solche besitzt stets einen einheitlichen Siedepunkt und läßt sich niemals durch bloße „fraktionierte Destillation" trennen.

Im Laboratorium stellt man Sauerstoff durch Zerlegung chemischer Verbindungen her, die ihn leicht abgeben. Dies ist nicht sehr häufig der Fall. Unter den oben erwähnten Metallaschen, welche wir nunmehr ja als Verbindungen der Metalle mit Sauerstoff erkannt haben, läßt sich nur die rote Quecksilberasche hierzu benutzen (PRIESTLEY 1774).

**Versuche*: In einem schwer schmelzbaren Reagenzglas oder einer Retorte mit Vorlage (Abb. 318) erhitzt man rote Quecksilberasche langsam. Das sich entwickelnde Gas wird in der „pneumatischen

Wanne“[1]) aufgefangen. Bei *b* sammelt sich Quecksilber an. Das aufgefangene Gas bringt einen glimmenden Holzspan zur hellen Entflammung. — Die rote Quecksilberasche wird durch die Erhitzung in Quecksilber und Sauerstoff zerlegt.

*Um größere Mengen von Sauerstoff herzustellen, benutzt man ein Gemisch von Braunstein und Kaliumchlorat, das man ebenfalls in einer Retorte vorsichtig erhitzt. — *Kleine Mengen erhält man sehr bequem uud gefahrlos durch Übergießen von etwas Braunsteinpulver mit einer käuflichen Lösung von Wasserstoffsuperoxyd (§ 179, auf einen $^1/_2$-Literzylinder etwa 50 g der Lösung).

Braunstein ist eine Sauerstoffverbindung des Metalls Mangan. Aus ihm stellte SCHEELE 1775 den Sauerstoff durch starkes Erhitzen her.

Kaliumchlorat ist ein weißes Salz, das nur mit größter Vorsicht zu handhaben ist, da es sehr leicht explodiert. Es darf nie im Mörser gerieben werden, am wenigsten mit brennbaren Substanzen zusammen. Mit dem Braunstein mische man es (1 : 1) auf einem Blatt Papier mit den Fingern und prüfe das Gemisch vor dem Einfüllen in die Retorte, indem man eine kleine Probe in einem Reagenzglas erhitzt.

Sauerstoff [Oxygenium[2]) = **O**] ist ein farbloses, in reinem Zustand geruchloses Gas, das etwas schwerer ist als Luft. Ein Liter wiegt 1,429 g. Er unterhält die Verbrennung sehr lebhaft (Erkennungsmittel), ebenso die Atmung. Er läßt sich durch Druck und Kälte zu einer hellblauen Flüssigkeit verdichten, die bei — 184° siedet.

§ 174. *Versuche mit Sauerstoff. Die Verbrennung. Brennbare Stoffe wie Holz, Kohle, Schwefel, Phosphor verbrennen in reinem Sauerstoff mit viel größerem Glanze und viel schneller als in Luft. Auch Metalle wie Magnesium, Zink oder Eisen verbrennen in ihm mit großem Glanze.

Da hierbei die gleichen Verbindungen entstehen wie bei der Verbrennung in Luft (der Stickstoff ist rein passiv), so erhält man pro Gramm verbrannter Substanz auch die gleiche Reaktionswärme, d. h. gleich viel Kalorien. Da dieselbe Wärmemenge jedoch in viel kürzerer Zeit entsteht und also viel weniger Zeit hat, sich in die Umgebung zu zerstreuen, so steigt die Reaktionstemperatur in reinem Sauerstoff viel höher an. Eben deshalb kann auch ein Verbrennungsvorgang wie der von Eisen in reinem Sauerstoff „von selbst“ weitergehen, der in der Luft so langsam verläuft, daß die erzeugte Wärme die weiteren Teile des Stoffes nicht bis auf die „Entzündungstemperatur“ bringen kann (außer wenn das Eisen sehr fein verteilt ist, s. oben).

*Schüttelt man die Flaschen, in denen Schwefel, Kohle oder Phosphor in Luft oder Sauerstoff verbrannt sind, mit Wasser aus, so zeigt dieses einen sauren Geschmack und rötet blauen **Lackmusfarbstoff** (gewonnen aus einer Flechte). Letztere Reaktion dient in der Chemie als Erkennungsmittel für **Säuren.** (**Versuche* mit Essig und Zitronensaft.)

---

[1]) *pneuma* (griech.) = Windhauch (hier: Gas).

[2]) *oxýs* (griech.) = scharf, sauer.

Aus diesem Grunde nannte LAVOISIER den von SCHEELE als Feuerluft bezeichneten Luftanteil Sauerstoff.

Die Verbindungen des Sauerstoffs mit anderen Elementen heißen **Oxyde,** der Vorgang selbst **Oxydation.** — Verbrennungen sind demnach unter Licht- und Wärmeentwicklung rasch verlaufende Oxydationsvorgänge.

Bildet ein Element mehrere Verbindungen mit O, so unterscheidet man die „Oxydationsstufen" als Oxydul, Oxyd, Dioxyd (Superoxyd) usf.

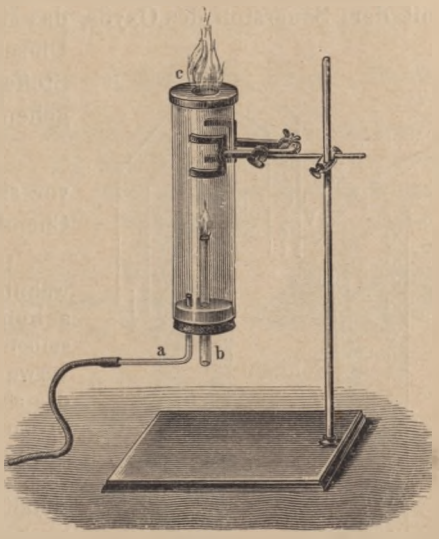


Abb. 319.

Die Veränderungen der Metalle an der Luft sind dagegen langsame Oxydationen. Die auch hierbei sich entwickelnde Wärme zerstreut sich sogleich in die Umgebung. Langsame Oxydationen vollziehen sich auch sonst vielfach, vor allem an vielen organischen Stoffen, z. B. bei der Verwesung, ferner an Teer, Steinkohlen, Heu u. a. Hält man die hierbei entstehende Wärme zusammen, so kann es zu beträchtlicher Temperatursteigerung und schließlich zur Selbstentzündung kommen, die langsame Oxydation geht dann in die rasche Verbrennung über. (**Versuch* mit Heu, Selbstentzündung von Dachpappenlagern, Schiffstauen, Steinkohlenhaufen.)

Die Begriffe „Verbrennen" und „die Verbrennung unterhalten" sind umkehrbar. Bestünde unsere Atmosphäre aus Leuchtgas, so würden wir den Sauerstoff ein brennbares Gas nennen. **Versuche* mit der umgekehrten Flamme (Abb. 319).

§ 175. Metalloxyde als Mineralien, Metallgewinnung. In der Natur finden sich zahlreiche Metalloxyde, manchmal in großen Mengen, vor. Die meisten davon werden zur Gewinnung der Metalle benutzt und heißen deshalb Erze.

Von besonderer Bedeutung sind die oxydischen **Eisenerze** (sie enthalten teilweise außer dem Eisenoxyd auch noch Wasser): **Roteisen** oder **Eisenglanz, Magneteisen, Brauneisen, Raseneisen,** ferner der schon erwähnte **Braunstein** = Mangansuperoxyd, **Zinnstein** = Zinndioxyd, **Rotkupfererz** = Kupferoxydul und **Korund** = Aluminiumoxyd. Mit Ausnahme des letzteren, das nicht zur Metallgewinnung, sondern nur als

Schleifmittel (Smirgel) dient, werden die Metalle aus diesen Erzen dadurch gewonnen, daß man sie mit Kohle zusammen erhitzt.

**Versuche:* Erhitzen von Bleioxyd, Kupferoxyd u. a. auf Kohle vor dem Lötrohr. Abscheidung der Metalle.

Die Kohle (Kohlenstoff, ein Element s. § 203) verbindet sich dabei mit dem Sauerstoff des Oxyds, das Metall wird frei. Solche chemischen Umsetzungen heißen Zersetzungen durch Stoffeingriff oder Substitutionen. Sie gehen nach dem Schema

$$(A, B) + C \rightarrow (A, C) + B$$

vor sich und spielen in der praktischen Chemie eine Hauptrolle.

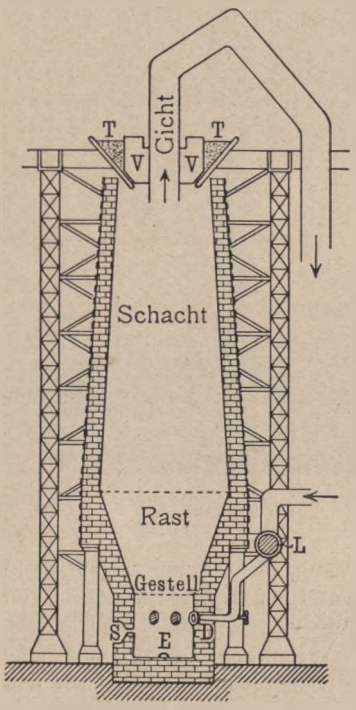


Abb. 320.

Um die Metalle aus dem in § 169 erwähnten Schwefelverbindungen (sulfidischen Erzen) zu gewinnen, müssen dieselben in der Regel zuerst in Oxyde verwandelt werden. Dies geschieht durch das sogenannte Rösten: man leitet einen Strom vorerhitzter Luft über das Erz, das auf großen Rosten ausgebreitet ist. Dieses verbrennt dann, wobei sich sowohl das Metall wie der Schwefel mit Sauerstoff verbinden. Das letztere Oxyd, das schon oben erwähnte, durch seinen stechenden Geruch ausgezeichnete Gas Schwefeldioxyd, entweicht, das übrigbleibende Metalloxyd wird dann wie vorher mit Kohle behandelt. Im einzelnen hat die „Verhüttung" jedes Metalls ihre eigenen Methoden, am wichtigsten ist die

Gewinnung des Eisens. Die dazu dienenden Öfen heißen Hochöfen (Abb. 320). Das aus ihnen zuerst erhaltene Eisen, das Roheisen, muß durch weitere Behandlung erst gebrauchsfähig gemacht werden. Die Unterschiede der verschiedenen Eisensorten (Gußeisen, Stahl, Schmiedeeisen) sind in erster Linie durch einen wechselnden Gehalt an Kohlenstoff bedingt, daneben durch andere Zusätze. Deutschland besitzt große Eisenerzlager in Westfalen (Siegerland), Thüringen, Sachsen (Erzgebirge) u. a., führt aber auch auswärtige Eisenerze, z. B. skandinavisches Magneteisen und die besonders wichtige lothringische „Minette", ein.

Da Sauerstoff außer in den angeführten Metalloxyden auch in fast allen übrigen Mineralien enthalten ist, ferner im Wasser des Ozeans (§ 177) und in der großen Mehrzahl der organischen Stoffe, so ist er weitaus das ver-

breitetste Element auf der Erdoberfläche. Man schätzt, daß er dem Gewichte nach etwa die Hälfte des Gesteins-, Wasser- und Luftmantels ausmacht.

Übungen: 1. Ein Mensch gebraucht täglich etwa 740 g Sauerstoff zum Atmen. Wie viel Liter Luft liefern diese Menge? Warum ist die eingeatmete Luftmenge aber viel größer? (vgl. § 206, Übung 9).

2. Warum trennen sich der leichtere Stickstoff und der schwerere Sauerstoff in der Atmosphäre nicht entsprechend ihrem spezifischen Gewicht? (Physik, § 34).

3. Woran werden die Alten bei ihren vier Elementen: Feuer, Wasser, Luft, Erde in erster Linie gedacht haben?

4. Welche Rolle spielt der Stickstoffgehalt der Luft bei der Atmung?

5. Was kann man aus dem Gesetz der Erhaltung des Stoffes für solche Vorgänge wie die Verbrennung einer Kerze oder der Kohlen im Ofen folgern? Warum ist der Versuch 3 in § 172 also nicht mit solchen Stoffen anzustellen?



Abb. 321.

6. Wie erklärt sich die feuerlöschende Kraft des Wassers? Wie der anscheinende Widerspruch zwischen dem Anfachen des Feuers durch den Wind und dem „Ausblasen" einer Flamme?

7. Warum muß man Kohlen erst mittels Holzfeuers anzünden? Warum wird Eisen beim Rosten an der Luft nicht warm?

8. Warum explodiert ein mit Leuchtgas vollständig gefüllter (nach unten geöffneter) Zylinder nicht, wenn man mittels elektrischen Stromes mitten im Gas einen Platindraht zur hellen Weißglut bringt (*Versuch*)? Warum aber, wenn Leuchtgas und Luft vorher gemischt waren? — Warum bildet ein Gemisch von Holzkohlenpulver und flüssiger Luft ein wirksames Sprengmittel? Welchen Vorteil hat es vor anderen Sprengmitteln?

9. Erkläre das in Abb. 321 dargestellte Experiment, sowie das Umgekehrte, das Niederdrücken einer Leuchtgasflamme durch ein Drahtnetz.

C. Wasser und Wasserstoff.

§ 176. Das Wasser findet sich in der Natur in allen drei Formarten, als Eis, flüssiges Wasser und Wasserdampf, Kreislauf des Wassers. Die gesamte aus den Ozean täglich verdunstende Menge wird auf 900 Mill. Tonnen geschätzt. Es dient für viele physikalische Messungen als Normalstoff (Beispiele?), Dichtigkeitsmaximum bei 4°. Ausdehnung beim Frieren. — Die lebenden Körper bestehen zum weitaus größten Teile aus Wasser. — Alles natürliche Wasser ist mehr oder minder durch andere Stoffe verunreinigt, wie schon der verschiedene Geschmack anzeigt. Diese Stoffe können im Wasser gelöst oder nur aufgeschwemmt sein. (Unterschied von Lösung und Suspension oder Emulsion.)

**Versuche*: 1. Trennung von Suspensionen durch Abfiltrieren. Herstellung einer Emulsion, z. B. von Zitronenöl. Milch unter dem Mikroskop.

Lösung und Wiederauskristallisieren von Alaun, Kupfervitriol u. dgl. Züchtung von Kristallen.

2. Viele Salze, wie z. B. Soda, Kupfervitriol u. a. enthalten sogenanntes **Kristallwasser,** das beim Erhitzen entweicht.

3. Viele feste, auch manche flüssige und gasförmige Stoffe (Chlorcalcium, Schwefelsäure, Schwefeldioxyd) sind **hygroskopisch,** d. h. ziehen Wasserdampf aus der Luft an.

4. Von gelösten oder suspendierten festen und flüssigen Stoffen kann man das Wasser durch Destillation trennen (Abb. 322).

5. Bei langsamer Erwärmung von Wasser in einer Kochflasche entweicht die im Wasser gelöste Luft in Bläschen.

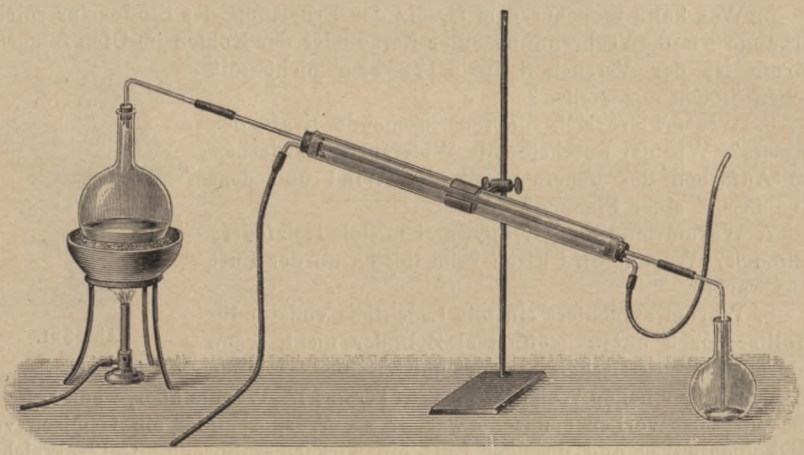


Abb. 322.

Wasser löst also auch Gase auf, und zwar kaltes Wasser mehr als warmes. Bei 0° und 1 Atm. Druck enthält 1 Liter Wasser etwa 25 cm^3 Gase aus der Atmosphäre gelöst (35 Proz. O, Bedeutung?).

Reines Wasser ist eine farblose, in dicken Schichten blaue, fade schmeckende Flüssigkeit, die bei 0° zu Eis erstarrt und sich bei 100° in Dampf verwandelt, dessen Volumen etwa 1700 mal größer ist, als das der Flüssigkeit.

§ 177. Zusammensetzung des Wassers. Wasserstoff. *Geschichtliches.* Die Alten zählten das Wasser zu den Elementen. Als solches galt es noch bis ins 18. Jahrhundert. Erst auf Grund von SCHEELES und LAVOISIERS Entdeckungen betreffend den Sauerstoff konnte seine chemische Natur aufgeklärt werden.

*Beobachtungen und *Versuche:* Wasser entsteht bei der Verbrennung fast aller unserer Brennmaterialien (Beispiele?). Ein größeres kaltes Glasgefäß beschlägt sich sofort, wenn man es über eine brennende Kerze hält.

Auf die in Abb. 323 dargestellte Weise kann man aus verbrennendem Leuchtgas leicht größere Mengen Wasser erhalten.

Das erhaltene Wasser muß entweder in den Brennmaterialien enthalten gewesen oder durch die Verbrennung entstanden sein. Da letztere ein Oxydationsvorgang ist, so ist das Wasser selbst vielleicht ein Oxyd eines in den Brennmaterialien enthaltenen Stoffes. Diese Vermutung prüfen wir, indem wir versuchen, ob wir dem Wasser den Sauerstoff wieder entziehen können. Als leicht oxydierbare Stoffe kennen wir die Metalle.

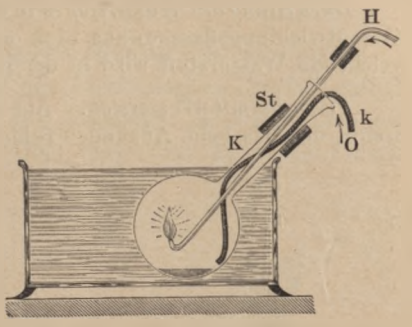
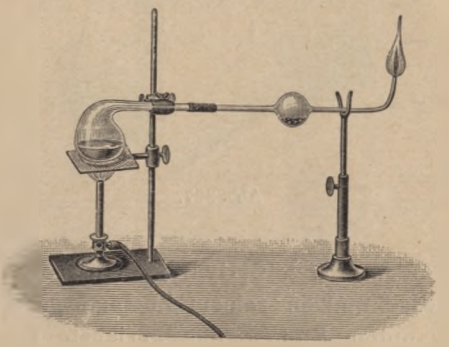


Abb. 323.

Versuche:* Bringt man in ein schwer schmelzbares Reagenzglas (Abb. 324) unten einen Brei von Zink- oder Eisenpulver und Wasser, darüber etwas trockenes Metallpulver und erhitzt vorsichtig (zuerst das trockene Pulver), so entweicht aus dem Ansatzrohr ein brennbares Gas, das man auch in der pneumatischen Wanne auffangen kann. Da die Metalle Elemente sind, kann dieses Gas nur aus dem Wasser stammen. Wir nennen es **Wasserstoff.


Abb. 324.

Auf eine etwas andere Weise wurde dieser Versuch zuerst von LAVOISIER ausgeführt. Man kann ferner Wasserdampf nach Abb. 325 über erhitztes Magnesium(band) leiten, es erfolgt eine heftige Reaktion mit blendender Lichterscheinung (†), oder man kann ein brennendes Magnesiumband in eine Flasche mit weitem Halse senken, in der Wasser lebhaft kocht. Das Mg brennt im Wasserdampf weiter, oben an der Mündung zeigt sich die Flamme des an der Luft verbrennenden Wasserstoffs. — Durch *Kochen von Mg-Pulver mit Wasser erhält man eine langsame Wasserstoffentwicklung.


Abb. 325.

Die hierbei aus den Metallen entstehenden Stoffe gleichen durchaus den früher erhaltenen Oxyden derselben. Es scheint also, daß tatsächlich das Wasser das Oxyd des Wasserstoffgases ist und die Umsetzung nach dem Schema

Wasser + Metall → Metalloxyd + Wasserstoff

erfolgt (Substitution). Dann muß sich umgekehrt Wasser durch Synthese von Wasserstoff und Sauerstoff gewinnen lassen. Ehe wir diesen entscheidenden Nachweis führen, lernen wir zunächst eine bequemere und ausgiebigere Darstellungsweise des Wasserstoffs kennen.

Darstellung des Wasserstoffes in dem in Abb. 326 wiedergegebenen Apparat (Gasentwicklungsflasche) aus Zink und verdünnter Schwefelsäure. Der entweichende Wasserstoff wird in der pneumatischen Wanne aufgefangen.

Versuche mit Wasserstoff. Aus einem mit Wasserstoff gefüllten Zylinder brennt das Gas beim Anzünden ruhig ab. War er dagegen mit Luft gemischt (eventuell noch aus der Entwicklungsflasche), so explodiert das Gemisch beim Anzünden mit pfeifendem Knall (Probe auf Reinheit mittels eines Reagenzglases!). — Aus einem Rohr (am besten Schnittbrenner) brennt Wasserstoff mit fast farbloser, sehr heißer Flamme (Reinheitsprobe vor dem Anzünden!). — Aus einem nach oben offenen Gefäß ist Wasserstoff im Nu entwichen, in einem umgekehrten hält er sich einige Zeit. Er läßt sich ferner in der in Abb. 327 wiedergegebenen Weise umgießen. Seifenblasen oder Kollodiumballons, mit Wasserstoff gefüllt, steigen in der Luft rasch auf. Der Wasserstoff ist also erheblich leichter als Luft. Eine brennende Kerze erlischt in Wasserstoff (Abb. 328). — Chemische Harmonika.



Abb. 326.


Abb. 327.


Abb. 328.

Wasserstoff [Hydrogenium[1]) = **H**] ist ein Element. Er ist ein farbloses und in reinem Zustand geruchloses Gas, das unter allen bekannten Stoffen das geringste spezifische Gewicht besitzt. 1 Liter Wasserstoff wiegt 0,0896 g (er ist 14,2 mal leichter als Luft). Wasserstoff ist brennbar, unterhält jedoch die Verbrennung nicht. Durch hohen Druck und starke Abkühlung kann er verflüssigt werden

[1]) *hydor* (griech.) = Wasser.

(Olszewski 1895). Flüssiger Wasserstoff siedet bei — 252° und verwandelt sich bei — 259° in eine glasartige feste Masse.

Für die spezifischen Gewichte der Gase dient Wasserstoff als Normalstoff, außerdem auch für zahlreiche andere chemische Daten (s. unten). *Verwendung* zum Füllen der Luftballons.

Die **Synthese des Wassers** können wir nunmehr so ausführen:

Wasserstoffgas wird durch eine mit Chlorcalcium (§ 176) gefüllte Röhre geleitet, um es zu trocknen, und (nachdem alle Luft aus dem Apparat verdrängt ist!) entzündet. Hält man nun über die Flamme

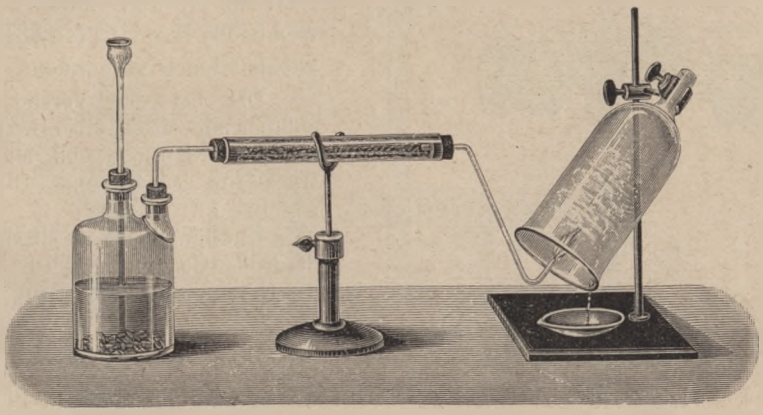


Abb. 329.

eine gut getrocknete, möglichst kühl gehaltene Glasglocke, so beschlägt sie und bedeckt sich innen mit feinen Wassertröpfchen (Abb. 329).

Größere Mengen reinen Wassers erhält man nach Abb. 323. Aus diesen Versuchen folgt

Wasser entsteht durch Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff, es **ist Wasserstoffoxyd.**

Übungen: 1. Was folgt für die Zusammensetzung unserer Brennmaterialien aus den zu Anfang erwähnten Tatsachen? Welches andere Element kann man leicht in denselben Brennmaterialien nachweisen?

2. Warum beschlagen im Winter die Fenster rascher, wenn man die Gasflammen ansteckt?

3. Wie groß ist der Auftrieb eines 5000 m^3 fassenden Luftballons mit Wasserstoffüllung?

§ 178. Quantitative Zusammensetzung des Wassers. Umkehrbare Reaktionen. Reduktion. Um die Mengenverhältnisse bei der Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser festzustellen, mischen wir die Gase in einem sogenannten Eudiometerrohr (Abb. 330) in ver-

schiedenen Verhältnissen und bringen das Gemisch durch einen elektrischen Funken zur Explosion. Dieselbe ist am heftigsten, wenn H und O im genauen Raumverhältnis 2:1 gemischt waren, und in diesem Falle verschwindet das Gemisch ganz, es bildet sich nur ein Tröpfchen Wasser. In jedem anderen Falle bleibt der Überschuß H oder O unverbunden zurück. Hieraus folgt:

Im Wasser sind 2 Raumteile Wasserstoff und 1 Raumteil Sauerstoff verbunden. Da O mit Bezug auf H das spezifische Gewicht 16 (genau 15,88) hat, so folgt sofort: **Im Wasser sind 2 Gewichtsteile H mit 16 (15,88) Gewichtsteilen O verbunden.**

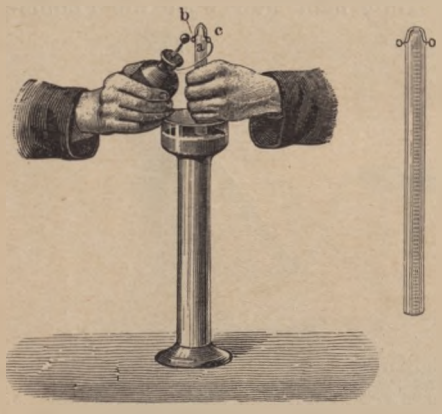


Abb. 330.

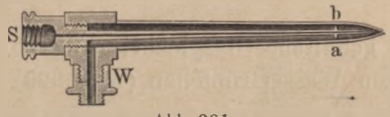


Abb. 331.

Die bei der Vereinigung entstehende Reaktionswärme ist außerordentlich groß, sie beträgt für 2 g H und 16 g O 57 200 cal.

Knallgas heißt die Mischung der beiden Gase im Verhältnis 2 : 1, die Entzündungstemperatur desselben beträgt etwa 650°. Um die Explosion gefahrlos zu zeigen, leitet man Knallgas in Seifenwasser und entzündet die Blasen nach Entfernung des Zuführungsrohres. — Die große Hitze der Knallgasflamme, etwa 2500°, benutzt man heute in ausgiebigem Maße in der Technik. Mittels des DANIELLschen Hahnes (Abb. 331) werden die Gase erst kurz vor der Mündung gemischt. Man kann mit Hilfe des Knallgasgebläses leicht z. B. eiserne Platten zerschneiden, Eisenstücke aneinander schweißen u. a.

Auf andere Weise läßt sich die Zusammensetzung des Wassers durch folgenden Versuch ermitteln:

**Versuch*: Getrocknetes Wasserstoffgas wird über Kupferoxyd geleitet, das in einer Röhre erhitzt wird [Abb. 332][1]). Am Ende des Rohres bilden sich reichliche Wasserdämpfe, die man in einem gekühlten Gläschen verdichten kann. Im Rohre hinterbleibt metallisches Kupfer. Die Reaktion ist eine chemische Substitution nach dem Schema:

Metalloxyd + Wasserstoff → Metall + Wasser,

sie ist also der in § 177 besprochenen entgegengesetzt.

[1]) Der linksstehende Entwicklungsapparat, ein sogenannter KIPPscher Apparat, dient zum Entwickeln größerer Mengen von Gasen. Beim Absperren des Hahnes drückt das Gas selbst die Flüssigkeit in die obere Kugel zurück.

Man nennt die **Entziehung von Sauerstoff Reduktion.** Das Kupferoxyd ist durch den Wasserstoff reduziert worden, der sich selber dabei oxydiert.

*Wiegt man vor dem Versuch das Kupferoxyd, nachher das erhaltene Kupfer, so ist die Differenz der abgegebene Sauerstoff. Wiegt man ferner das erhaltene Wasser, das man zu diesem Zwecke in einem vorher gewogenen Rohr mit Chlorcalcium (§ 176) auffängt, so ist die Differenz zwischen dem ermittelten Sauerstoffgewicht und dem des Wassers der aufgenommene Wasserstoff (von dem natürlich das weitaus meiste unverbunden durchgeströmt ist). Man findet so für das Gewicht der miteinander verbundenen O- und H-Mengen wiederum 15,88 : 2. Für das Kupferoxyd ergibt sich Cu: O = 63,6 : 15,88. Dieser Versuch ist zuerst von DUMAS 1843 angestellt.

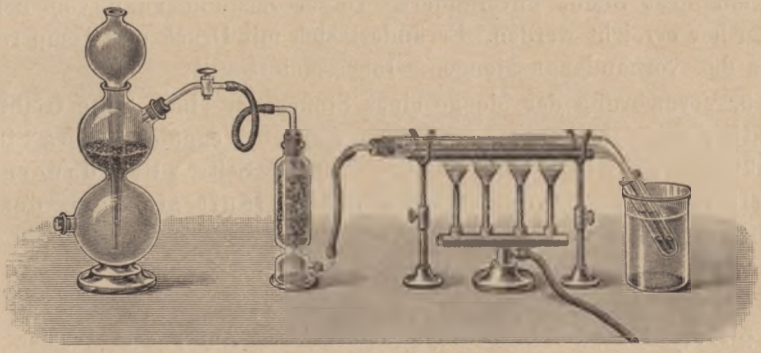


Abb. 332.

Die Reduktion durch Wasserstoff läßt sich auch mit anderen Metalloxyden auf die gleiche Weise ausführen, unter anderem auch mit Eisenoxyd (**Versuch*). In diesem Falle haben wir es mit der genauen Umkehrung der Reaktion in § 177 zu tun. Man bringt die Umkehrbarkeit der Reaktion durch das Schema

$$\text{Metall} + \text{Wasser} \rightleftarrows \text{Metalloxyd} + \text{Wasserstoff}$$

zum Ausdruck. Es läßt sich leicht zeigen, daß sie auch bei Kupfer gilt: metallisches Kupfer wird durch darüber geleiteten Wasserdampf in der Hitze oxydiert. Auf die Frage, warum die Reaktion das eine Mal so, das andere Mal anders verläuft, hat man früher geantwortet, daß in einem Falle das Metall, im anderen der Wasserstoff die größere chemische Verwandtschaft (Affinität) zum Sauerstoff habe. Dies ist aber unzutreffend, weil beide Reaktionsrichtungen bei völlig gleichen äußeren Umständen (Temperatur) vorkommen können. Der wirkliche Grund ist, daß das eine Mal Wasserstoff, das andere Mal Wasser im Überschuß zugeführt, das entstehende Wasser

bzw. der freigemachte Wasserstoff (§ 177) dagegen jedesmal durch den Gasstrom entfernt wird. Bei dem oben beschriebenen Versuch der Reduktion des Kupferoxyds kann die umgekehrte Reaktion gar nicht eintreten, weil ja das entstandene Wasser der Berührung mit dem metallischen Kupfer sogleich entzogen wird. Es kommt also bei chemischen Reaktionen nicht nur auf die Art, sondern auch auf die Massen der wirkenden Stoffe an und es gelten die Sätze:

1. Alle chemischen Reaktionen sind umkehrbar.

2. Bleiben reagierende und entstandene Stoffe zusammen, so geht jede chemische Reaktion nur bis zu einem ganz bestimmten **Gleichgewichtszustand**, d. h. ein gewisser Bruchteil setzt sich um, ein Rest bleibt unverändert. Dieser Zustand kann von beiden Seiten her erreicht werden. Er ändert sich mit Druck und Temperatur, sowie den vorhandenen Mengen. Insbesondere gilt:

3. Vermehrung der Menge eines Stoffes der einen Seite treibt die Reaktion nach der entgegengesetzten Seite. Wegnahme eines Stoffes (Reaktionsprodukts) treibt sie nach dieser Seite. Bei dauernder Wegführung eines Reaktionsprodukts läuft sie nach dessen Richtung hin zu Ende.

Wo ist früher schon eine umkehrbare Reaktion erwähnt?

§ 179. Wasserstoffsuperoxyd. Katalyse. Außer dem Wasser gibt es noch eine zweite Verbindung vom Wasserstoff und Sauerstoff, das von THÉNARD 1818 entdeckte Wasserstoffsuperoxyd, das verhältnismäßig doppelt so viel Sauerstoff enthält wie das Wasser (wieviel also?). Es kommt als etwa 3 proz. Lösung in Wasser in den Handel. Im reinen Zustand ist es eine dickliche, leicht zersetzliche (explosive) Flüssigkeit. Es zersetzt sich besonders rasch im Licht, in Wasser und freien Sauerstoff. Letzterer übt stark oxydierende Wirkungen aus, er zerstört z. B. organische Keime und bleicht Pflanzenfarben (Stopfen der Flasche!). *Anwendungen.*

**Versuch:* Etwas Braunsteinpulver wird in einem Probeglas mit käuflicher Wasserstoffsuperoxydlösung übergossen. Unter Aufschäumen entweicht Sauerstoff (Probe!), der Braunstein bleibt unverändert.

Vorgänge solcher Art, bei denen ein Stoff (hier Braunstein) eine chemische Reaktion bewirkt oder doch beschleunigt, an der er selber dem Anschein nach gar nicht teilnimmt, nennt man **Katalysen,** den betreffenden Stoff den **Katalysator.** In Wirklichkeit ist derselbe natürlich irgendwie beteiligt, er wird nur im Endresultat immer wieder hergestellt.

Am längsten bekannt ist die katalytische Wirkung des Platins zur Vermittlung von Oxydationsvorgängen. **Versuche*: Wiederentzündung einer Gasflamme durch einen feinen Platindraht. Glühlämpchen mit Alkohol

(Abb. 333). DÖBEREINERsche Zündmaschine. Selbstzünder an Gaslampen. — Umgekehrt: Zersetzung von Wasserdampf an glühendem Platindraht (Abb. 334). Der letztere Versuch beweist zugleich die Umkehrbarkeit der Reaktion

$$\text{Wasserstoff} + \text{Sauerstoff} \rightleftarrows \text{Wasser}.$$



Abb. 333.



Abb. 334.

Daß dieselbe bei der Explosion des Knallgases (s. o.) anscheinend ganz zu Ende geht, und nicht zu einem Gleichgewicht führt, liegt daran, daß bei niederen Temperaturen das Gleichgewicht ganz nach der Seite der Verbindung liegt (was die Regel ist). Bei der sofort nach der Explosion erfolgenden Abkühlung wird deshalb fast alles in Wasser umgesetzt. Daß trotzdem kaltes Knallgas sich nicht freiwillig in Wasser umwandelt, erklärt sich daraus, daß in der Kälte die Reaktion unermeßlich langsam vor sich geht. Bei höheren Temperaturen (jedoch unterhalb der Entzündungstemperatur) erhält man schon in absehbarer Zeit meßbare Wassermengen. Durch Hinzufügung eines Katalysators (Platin) wird die Reaktion stark beschleunigt.

Die Erforschung der Reaktionsgleichgewichte und der katalytischen Wirkungen hat in neuerer Zeit eine sehr große Bedeutung für die chemische Technik erlangt (vgl. § 193, 197 und 199).

D. Gesetze der chemischen Verbindungen.

§ 180. Das Gesetz der konstanten Proportionen. Schon im vorhergehenden ist überall stillschweigend ein Gesetz vorweggenommen, das sich als ausnahmslos gültig erwiesen hat:

Jede chemische Verbindung ist aus ihren Elementen in einem unabänderlichen Mengenverhältnis zusammengesetzt.

Die oft zu findende Formulierung, daß „die Elemente sich nur in feststehenden Mengenverhältnissen miteinander verbinden," ist mißverständlich, weil dadurch solche Fälle wie Wasser und Wasserstoffsuperoxyd, Schwefeleisen und Eisenkies (§ 169) ausgeschlossen erscheinen könnten. Es gibt sehr häufig mehrere Verbindungen derselben Elemente, von denen jede einzelne dann ihr feststehendes Mengenverhältnis hat.

Das Gesetz ist gleichbedeutend mit der Tatsache, daß es überhaupt einzelne wohldefinierte Stoffe gibt. Inwiefern? — Es ist gleichgültig, ob man sich dabei auf Raum- oder Gewichtsverhältnisse bezieht.

§ 181. Das Gesetz der einfachen Raumverhältnisse (Gasvolumina). Die Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser gibt ein Beispiel für ein weiteres wichtiges, von GAY-LUSSAC 1804—1808 festgestelltes Gesetz:

Gasförmige Elemente verbinden sich in genau ganzzahligen, einfachen Raumverhältnissen.

Weitere einfache Beispiele hierfür bilden die später zu besprechenden Verbindungen Stickoxyd (N : O = 1 : 1), Stickstoffdioxyd (N : O = 1 : 2), Ammoniak (N : H = 1 : 3), Chlorwasserstoff (s. § 185) oder Salzsäure (H : Cl = 1 : 1) u. a. m.



Wasser,



Stickoxyd,



Stickstoffdioxyd,



Ammoniak,



Salzsäure.

§ 182. Das Gesetz der multiplen Proportionen. Aus dem GAY-LUSSACschen Gesetz können wir ein weiteres merkwürdiges Gesetz theoretisch folgern:

Die Gewichte gleicher Raumteile von H, O, N und Cl, d. h. ihre spezifischen Gewichte verhalten sich wie 1 : 14 : 16 : 35,4, wie sich durch direkte Wägungen feststellen läßt. Verbinden sich nun irgend zwei oder drei davon oder alle vier Elemente in einem einfachen ganzzahligen Raumverhältnis, so muß demnach das Gewichtsverhältnis durch die entsprechenden Vielfachen dieser vier Zahlen 1, 14, 16 und 35,4 sich ausdrücken lassen, wie schon am Beispiel des Wassers in § 178 gezeigt wurde.

Als weitere Beispiele mögen die oben erwähnten Verbindungen dienen: Stickoxyd 14 Gew.-Tle. N auf 16 Gew.-Tle. O, Ammoniak 14 Gew.-Tle. N auf 3 Gew.-Tle. H usw., ferner z. B. Salpetersäure 1 Gew.-Tl. H auf 14 Gew.-Tle. N und 3 . 16 = 48 Gew.-Tle. O, Salmiak H : N : Cl = 4 : 14 : 35,4 u. a. m.

Auf diesen Umstand hätte man nun auch dann aufmerksam werden müssen, wenn die betreffenden vier Elemente gar nicht im Gaszustand bekannt wären, man vielmehr nur durch Wägungen sorgfältige quantitative Analysen ihrer Verbindungen angestellt hätte. Es hätte sich auch dann als auffallende Tatsache herausgestellt, daß die Gewichtsverhältnisse immer wieder auf die Vielfachen dieser vier Zahlen 1, 14, 16 und 35,4 zurückführen. Nehmen wir nun an, daß das GAY-LUSSACsche Gesetz der einfachen Gasvolumina grundsätzlich für alle Elemente gilt, auch für diejenigen, bei denen man aus praktischen Gründen (zu hoher Siedepunkt) es bisher nicht direkt hat bestätigen können (wie z. B. Kohlenstoff, Platin, Eisen u. dgl.), so muß doch die angeführte Folgerung auch bei diesen Elementen zutreffen, d. h.

Die Gewichtsverhältnisse der Elemente in ihren Verbindungen lassen sich stets durch Vielfache ganz bestimmter charakteristischer Zahlen, einer für jedes Element, darstellen.

Dieser Satz, den man das „Gesetz der multiplen Proportionen“ nennt, gilt nun wirklich und ist schon vor der Entdeckung des Gasvolumengesetzes durch den deutschen Chemiker JER. RICHTER (1762 bis 1807) und den englischen Chemiker JOHN DALTON (um 1802) festgestellt worden. Bezeichnen wir die fraglichen, für die einzelnen

Elemente charakteristischen Zahlen als ihre **Verbindungsgewichte,** so können wir sagen:

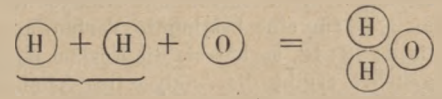
Die Elemente verbinden sich nur in Gewichtsverhältnissen nach Vielfachen ihrer Verbindungsgewichte.

Daß die letzeren bei den gasförmigen Elementen in der oben erörterten einfachen Beziehung zu den spezifischen Gewichten stehen, ist dann eine Sache für sich.

Die Verbindungsgewichte ergeben sich hiernach durch quantitative Analysen. Da das Gesetz selber aber ein Vielfaches unbestimmt läßt, so bleibt dabei zunächst eine gewisse Willkür bestehen. Hätte man vom Wasser z. B. nur die in § 178 erörterte (DUMASsche) quantitative Analyse, welche als Gewichtsverhältnis $H:O = 1:8$ ergibt, so könnte man als Verbindungsgewicht des Sauerstoffs auch einfach 8 nehmen und dann beispielsweise das Stickoxyd statt im Verhältnis $1.14:1.16$ auch im Verhältnis $1.14:2.8$ zusammengesetzt denken, ebenso in sämtlichen anderen Sauerstoffverbindungen 2.8 statt 16 setzen (was tatsächlich mehrere Jahrzehnte lang geschehen ist). Eine eindeutige Entscheidung ergibt sich erst, wenn man die Gasvolumina mit hinzuzieht.

Die Verbindungsgewichte sind ferner insofern unbestimmt, als man eines derselben, da es sich nur um Verhältniszahlen handelt, willkürlich festsetzen kann. Man setzt heute Sauerstoff genau = 16, dann wird H nicht genau 1, sondern (§ 178) 1,008. Diese Festsetzung ist zweckmäßiger als die alte (DALTONsche) H = 1, weil das Verbindungsgewicht und das spezifische Gewicht des Sauerstoffs in bezug auf H (O = 15,88) nicht so exakt bestimmbar sind, wie wünschenswert wäre, die meisten anderen Verbindungsgewichte aber zunächst mit Bezug auf O bestimmt werden. Bei einer Änderung des O-Wertes müßten diese sämtlich umgerechnet werden.

§ 183. Die Atomlehre. Chemische Zeichensprache. Die Erklärung der beiden in den letzten Paragraphen erörterten Gesetze führten DALTON und der italienische Physiker Graf AVOGADRO in den Jahren 1808 bis 1811 auf eine Vorstellung zurück, die bereits seit alter Zeit alle Naturforscher beschäftigt hat: die zuerst von den griechischen Philosophen LEUKIPP und DEMOKRIT entwickelte Lehre von den Atomen[1]). Nach DALTON besteht jedes Element aus sehr vielen, untereinander völlig gleichen, kleinen Teilchen, den Atomen, die sich in ganz bestimmten Anzahlen zusammenlagern, z. B.:



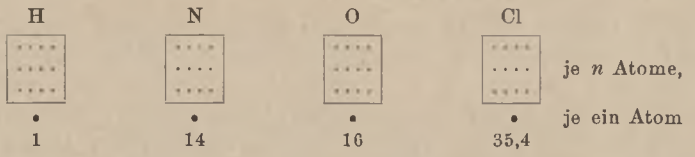
2 At. H + 1 At. O = 1 Mol. Wasser,

und nach AVOGADRO enthalten gleiche Raumteile der oben angeführten elementaren Gase (H, O, N, Cl) je die gleiche Anzahl solcher Atome.

[1]) *a-tomos* (griech.) = unteilbar.

Daß sich hieraus die beiden Gesetze ohne weiteres erklären, erkennt man aus folgender Überlegung:

Sind in gleichen Raumteilen der genannten Gase gleich viel Atome enthalten,



so müssen sich die Gewichte dieser gleichen Raumteile, das sind die spezifischen Gewichte, wie die Gewichte je eines einzelnen Atoms verhalten, umgekehrt die „relativen Atomgewichte", das des H = 1 gesetzt, demnach mit den spezifischen Gewichten der gasförmigen Elemente übereinstimmen. Legen sich dann die Atome in bestimmten Anzahlen zusammen, wie das DALTON forderte, so verhalten sich die Gewichtsanteile offenbar wie die entsprechenden Vielfachen der Atomgewichte, diese stellen also zugleich auch die Verbindungsgewichte vor.

Nach dem großen schwedischen Chemiker JÖNS JAKOB BERZELIUS (1779 bis 1840) bezeichnet man nun mit den Buchstaben H, N, O usw. je ein Atom des betreffenden Elements und gibt die Anzahl der sich zusammenlagernden Atome durch die sogenannte **chemische Formel** der betreffenden Verbindung an, z. B. **Wasser H_2O, Stickoxyd NO, Ammoniak NH_3** usw. Diese Formel stellt dann sowohl das Raumverhältnis bei den gasförmigen Elementen, wie auch allgemein das Gewichtsverhältnis dar, wenn man noch eine Tabelle der Verbindungsgewichte (= relativen Atomgewichte) zur Hand hat. Die Formel der **Salpetersäure HNO_3** läßt z. B. erkennen, daß darin 1 Raumteil H mit 1 Raumteil N und 3 Raumteilen O, oder aber 1 Gew.-Tl. H mit 14 Gew.-Tln. N und 3 . 16 = 48 Gew.-Tln. O verbunden sind.

Den durch Zusammenlagern der Atome entstehenden Komplex, der den kleinsten existenzfähigen Teil der betreffenden Verbindung vorstellt, nennt man nach AVOGADRO eine **Molekel**[1]) oder ein **Molekül**, und als **Molekulargewicht** bezeichnet man die Summe der (relativen) Atomgewichte, z. B. Wasser = 18, Ammoniak = 17, Salpetersäure = 73 usw.

Bei bekannten Atomgewichten ergibt eine Analyse die Formel der Verbindung. Findet man z. B. für eine bestimmte Verbindung von H, N und O das Gewichtsverhältnis 4 : 28 : 48, so hat sie die Formel $H_4N_2O_3$ (Ammoniumnitrat, § 198). Umgekehrt ergibt die Analyse das Atomgewicht, falls man die Formel als bekannt voraussetzen darf.

Chemische Reaktionen werden durch Gleichungen wiedergegeben, z. B.

$Fe + S = FeS$; $HgO = Hg + O$ (Hg, Hydrargyrum = Quecksilber).

[1]) Diminutiv von moles (lat.) = Masse.

Die Umkehrbarkeit wird durch Pfeile angedeutet:

$$CuO + 2H \rightleftarrows Cu + H_2O \quad (\S\ 178).$$

Die neuere Physik hat erwiesen, daß die Atome und Molekeln wirklich existieren, und hat ihre Anzahl in einem bestimmten Stoffquantum ermittelt. 1 cm^3 Wasserstoff (oder der anderen oben genannten Gase) enthält rund 55 Trillionen (10^{18}) Atome, woraus folgt, daß ein H-Atom etwa 1,6 Quadrillionstel Gramm wiegt.

Übungen: 1. In welchem Gewichtsverhältnis sind die drei Eisenoxyde FeO, Fe_3O_4 und Fe_2O_3 zusammengesetzt? (Fe = 56.)

2. Wie lautet die Formel einer Verbindung von H, S (= 32) und O, die im Gewichtsverhältnis 2 : 32 : 64 zusammengesetzt ist? (Vgl. § 193.)

3. Desgleichen die einer Verbindung von 63 Gew.-Tln. Cu, 28 Tln. N und 96 Tln. O?

4. Wieviel Liter Sauerstoff erhält man aus 100 g Kaliumchlorat (§ 173), wenn der chemische Vorgang durch die Gleichung $KClO_3 = KCl + 3O$ wiedergegeben wird?

5. Berechne die Mengenverhältnisse bei den folgenden Reaktionen, die früher besprochene Vorgänge wiedergeben:

$Cu + O = CuO$; $Cu + S = CuS$; $3Fe + 4O = Fe_3O_4$ (Hammerschlag); $S + 2O = SO_2$ (Verbrennung des Schwefels); $2P + 5O = P_2O_5$ (ebenso); $C + 2O = CO_2$ (dgl.); $Zn + H_2SO_4 = ZnSO + H_2$ (Darstellung des Wasserstoffs); $Zn + H_2O = ZnO + H_2$ (welcher Versuch?); $H_2O_2 = H_2O + O$ usw.

6. Die kleinsten bekannten Lebewesen (Bakteriensporen) haben ungefähr ein Gewicht von 0,015 Billiontel Gramm. Die Stoffe, aus denen sie bestehen, haben ein (chemisches) Molekulargewicht von mindestens etwa 40000 (H = 1). Wieviel solcher Molekeln enthält also eine Spore immer noch?

E. Kochsalz, Salzsäure, Chlor. — Säuren, Basen und Salze. Elektrolyse.

§ 184. Das Kochsalz findet sich in mächtigen Lagern als sogenanntes Steinsalz an zahlreichen Stellen, welche Ablagerungen ehemaliger Meere vorstellen, so besonders in der norddeutschen Tiefebene (Staßfurt bei Magdeburg u. a.). Das Meerwasser enthält bis zu 3 Proz. Kochsalz, Binnenmeere enthalten teils mehr, teils weniger (Ostsee bis 2 Proz., Totes Meer 22 Proz.). Das für den Gebrauch bestimmte Tafelsalz wird durch Auslaugen unterirdischer Lager in den sogenannten Salinen gewonnen. — Das Kochsalz kristallisiert in Würfeln, sein spez. Gew. ist 2,2. In 100 Tln. Wasser sind 36 Tle. Kochsalz löslich. Es ist unentbehrlich zur Verdauung und auch im Blute enthalten. Kochsalzkristalle verknistern beim Erhitzen und schmelzen und verdampfen bei höherer Temperatur.

§ 185. Salzsäure. **Versuche*: 1. Beim Erwärmen von Kochsalz mit schwach verdünnter Schwefelsäure ($^1/_6$ Wasser) entweicht ein farbloses, an der Luft rauchendes Gas, das sich infolge seines beträchtlichen spezifischen Gewichtes durch einfache Luftverdrängung nach Abb. 335 auffangen läßt. Angefeuchtetes blaues Lackmuspapier wird dadurch lebhaft gerötet, wir nennen das Gas deshalb und wegen seiner Her-

kunft **Salzsäuregas.** Es ist in Wasser außerordentlich leicht löslich, so daß in ein damit gefülltes Gefäß Wasser wie in einen leeren Raum hineinstürzt (besonders eindrucksvoll nach Abb. 336 zu zeigen).

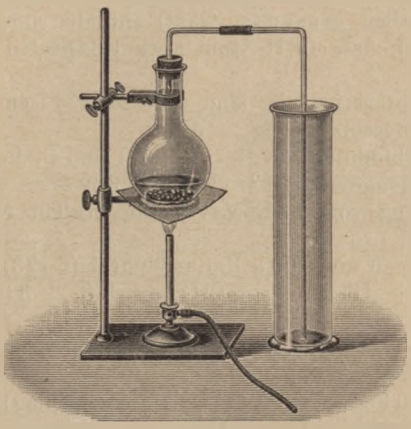


Abb. 335.

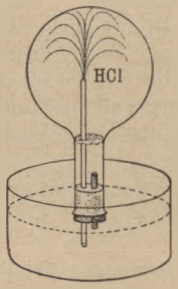


Abb. 336.

In 1 Liter Wasser lösen sich bei 0° etwa 500, bei 20° noch 440 Liter des Gases. Diese Lösung heißt (wässerige) Salzsäure.

Ihre Darstellung im großen geschieht auf demselben Wege. Sie ist ein wichtiges Produkt der chemischen Technik und wird auch im Haushalt — als Reinigungsmittel — verwendet (s. § 191). In größeren Mengen ist sie ein ätzendes Gift, im verdünnten Zustand dagegen ein natürlicher Bestandteil des Magensaftes.

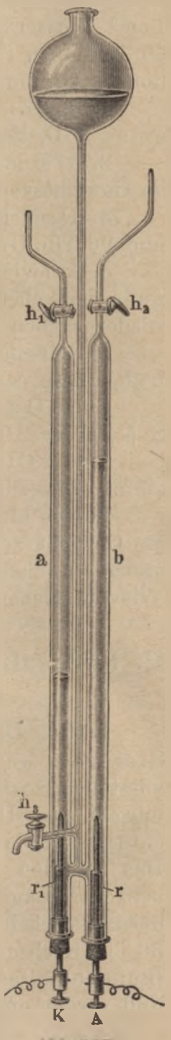


Abb. 337.

Versuch 2: Um die Zusammensetzung der Salzsäure bzw. des darin gelösten Gases kennenzulernen, unterwerfen wir sie der Elektrolyse[1]) in einem sogenannten HOFMANNschen Apparat (Abb. 337) mit Kohleelektroden. Am negativen Pole scheidet sich Wasserstoff ab (Probe?), am positiven entwickelt sich eine zunächst nur geringe Menge eines grünlichgelben Gases, das sich sichtlich in der Flüssigkeit löst, allmählich aber, wenn diese damit gesättigt ist, sich in größerer Menge und zuletzt in gleicher Menge mit dem Wasserstoff ansammelt. Das Gas besitzt einen unangenehmen, zum Husten reizenden Geruch (über seine weiteren Eigenschaften s. u.). Es führt

[1]) Vgl. § 143.

von seiner Farbe den Namen **Chlor**[1]) und erweist sich als ein Element. Da es demnach nicht aus dem Wasser stammen kann, so muß es im Salzsäuregas enthalten gewesen sein. Fraglich bleibt jedoch, ob der am anderen Pole ausgeschiedene Wasserstoff etwa der andere Bestandteil des Salzsäuregases ist, oder ob er, was ja durchaus denkbar wäre, aus dem Wasser stammt. Ehe wir diese Frage entscheiden, wollen wir zuerst das Chlor selber genauer kennenlernen.

§ 186. Chlor (Cl = 35,4) wird im großen durch Elektrolyse von Kochsalzlösungen erzeugt (s. u.) und, durch Druck verflüssigt, in Stahlbomben in den Handel gebracht. Im Laboratorium gewinnt man es durch Einwirkung von Oxydationsmitteln, gewöhnlich von Braunstein auf Salzsäure.

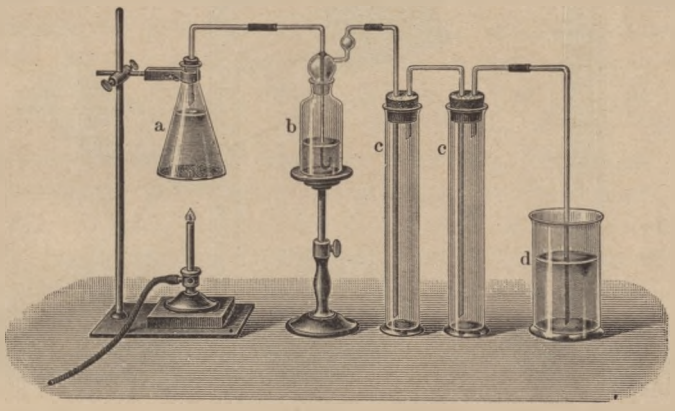


Abb. 338.

Für **Freihandversuche* übergießt man am besten in einem Standzylinder ein wenig Kaliumpermanganat ($KMnO_4$) mit Salzsäure. Um größere Mengen zu erhalten, erwärmt man Braunstein mit Salzsäure oder statt dessen einer Mischung von Kochsalz und Schwefelsäure (s. § 185) und fängt das mit Wasser gewaschene Chlor durch Luftverdrängung von unten her auf (Abb. 338). Das Waschwasser färbt sich grün, das überschüssige Chlor kann man durch Absorption in Laugen oder Sodalösung unschädlich machen.

**Versuche* (Eigenschaften des Chlors): Unechtes Blattgold (Cu, Zn), Stanniol, Antimonpulver u. a. Metalle, ebenso Phosphor, entzünden sich in Chlor und bilden (teilweise gefärbte) Verbindungen. — Eine Wasserstoffflamme brennt in Cl weiter (Abb. 339). Der dabei entstehende weiße Rauch rötet Lackmus. — Gleich große Mengen Chlor und Wasserstoff (Abb. 340) gemischt vereinigen sich im Tageslicht langsam, im direkten Sonnenlicht oder bei Entzündung mit heftiger Explosion (Vorsicht, nur mit kleinen Mengen aus-

[1]) *chlorós* (griech.) = grün.

zuführen!) — Eine brennende Kerze brennt in Cl unter Rußentwicklung weiter. Ein Streifen Papier, mit frisch destilliertem Terpentinöl getränkt, entzündet sich in Cl und verbrennt unter Abscheidung großer Rußmengen. — Tintenschrift und Pflanzenfarben werden durch Chlor gebleicht, nicht jedoch Druckschrift. — Stellt man eine lange, oben verschlossene Röhre mit Chlorwasser (aus der Waschflasche) ins Sonnenlicht, so sammelt sich oben Sauerstoff an und die Flüssigkeit erweist sich als (Salz-) Säure.

Chlor ist ein gelblichgrünes Gas, das 2,5 mal schwerer ist als Luft (35,4 mal schwerer als Wasserstoff). Es läßt sich ziemlich leicht durch Druck und Abkühlung verdichten zu einer grünen Flüssigkeit, die bei -34° siedet. Wasser löst bei Zimmertemperatur etwa das doppelte Volumen Chlor auf. Die Lösung, **Chlorwasser** genannt, zeigt

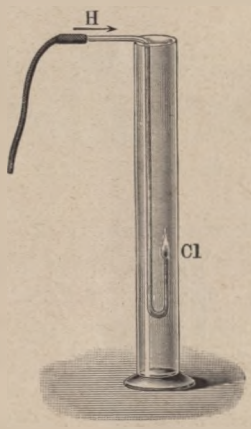


Abb. 339.


Abb. 340.

die meisten der Eigenschaften des Gases. Chlor greift die meisten organischen Stoffe heftig an, insbesondere die Schleimhäute, es bleicht die meisten Farbstoffe. Es verbindet sich mit den meisten Elementen direkt, zum Teil unter Feuererscheinungen. Besonders groß ist seine Neigung zur Verbindung mit Wasserstoff, den es sogar aus Verbindungen (Wasser, Terpentinöl, Kerzengase) an sich zieht. Es bildet mit ihm

Chlorwasserstoff, ein farbloses, an sich unsichtbares, jedoch an der Luft Wasser anziehendes (hygroskopisches) und damit Nebel bildendes Gas. Dieses erweist sich als identisch mit dem oben dargestellten Salzsäuregas.

Die Elektrolyse der Salzsäure hat also tatsächlich beide in dieser enthaltenen Elemente ergeben, sie zeigt zugleich ebenso wie die Synthese (Abb. 340, *Versuche*), daß H und Cl darin in gleichen Raumteilen enthalten sind. Nimmt

man als Formel dementsprechend HCl, so ist das spezifische Gewicht des Chlors (gegen Wasserstoff) zugleich sein Atomgewicht: 35,4.

Salzsäure ist demnach = Chlorwasserstoff, HCl, in Wasser gelöst.

Die Zersetzung des Chlorwassers durch Licht entspricht der Gleichung

$$2\,Cl + H_2O \rightleftarrows 2\,HCl + O.$$

Die umgekehrte Reaktion ist die Darstellung des Chlors aus Salzsäure mit Hilfe von Oxydationsmitteln.

Verwendung findet das Chlor als Desinfektions- und Bleichmittel.

§ 187. Elektrolyse des Kochsalzes. Ätznatron, Basen. Nachdem wir die Salzsäure als Chlorwasserstoff erkannt haben, bleibt uns noch die Zusammensetzung des Kochsalzes festzustellen. Die Elektrolyse einer Kochsalzlösung (*Versuch*) ergibt am positiven Pole wieder Chlor, also ist Chlor sicher ein Bestandteil des Kochsalzes. Am negativen Pole erhalten wir jedoch wieder Wasserstoff, und da doch nun Kochsalz nicht dasselbe sein kann wie Salzsäure (deren Zusammensetzung aus H und Cl durch die Synthese erwiesen ist), so steht zu vermuten, daß dieses Mal der Wasserstoff aus dem Wasser stammt. Dann muß im Kathodenschenkel des Apparats noch eine chemische Reaktion unter Beteiligung des Wassers erfolgt sein. Wir richten den Apparat so ein, daß wir beide Hälften nach hinreichend langem Stromdurchgang getrennt ausgießen können und untersuchen die Flüssigkeit auf der Kathodenseite. Dieselbe schmeckt nicht mehr salzig, sondern seifig (laugig), fühlt sich schlüpfrig an und färbt durch Säuren gerötetes Lackmuspapier wieder blau. Beim Eindampfen hinterläßt sie anstatt Kochsalz jetzt einen weißen, leicht schmelzbaren Stoff, dessen Lösung in Wasser wieder die eben genannten Eigenschaften hat. Bei stärkerer Konzentration greift die Lösung außerdem organische Stoffe (Haut, Gewebe, Papier) heftig an. Mit Rücksicht auf diese Eigenschaft und aus später zu erörternden Zusammenhängen heißt der fragliche Stoff **Ätznatron**, allgemein nennt man solche Stoffe **Basen** und ihre Lösungen **Laugen.**

Das **Ätznatron** und seine Lösung, die **Natronlauge,** wird im großen auf demselben Wege, d. h. durch Elektrolyse von wässeriger Kochsalzlösung, gewonnen. (Große Fabriken, z. B. in Bitterfeld, die zugleich Lauge, Chlor und Wasserstoff herstellen.) Es wird in großen Mengen in der chemischen Industrie, insbesondere zur Herstellung von Soda und Seifen, verwendet und auch im Haushalt gelegentlich gebraucht, z. B. zum Entfernen von alten Ölfarbenanstrichen. Dem Ätznatron durchaus ähnlich ist

Das **Ätzkali,** das auf ganz demselben Wege aus dem dem Kochsalz sehr ähnlichen Salze Sylvin (s. u.) gewonnen wird. Beide kommen für chemische Zwecke in runden Stangen in den Handel. Kalilauge wirkt noch stärker ätzend als Natronlauge.

§ 188. Kalium und Natrium. Ätznatron und Ätzkali haben lange Zeit als Elemente gegolten. Erst zu Anfang des vorigen Jahrhunderts wurde ihre Zusammensetzung endgültig aufgeklärt. (DAVY 1804.)

Versuch: Auf einer Magnesiarinne schmilzt man etwas Ätznatron und leitet den elektrischen Strom mittels zweier Stricknadeln hindurch. Während am positiven Pole sich ein Gas entwickelt, das sich als Sauerstoff erweist, erhält man, wenn man am negativen Pole die Einwirkung des Sauerstoffs möglichst ausschließt, dort kleine Kügelchen eines silberweißen Metalls, das auf Wasser gebracht, lebhaft zischend auf diesem umherfährt und dabei allmählich verschwindet. Ebenso verläuft eine Elektrolyse von geschmolzenem Ätzkali, nur ist es hier noch schwieriger, die Einwirkung des Sauerstoffs auf das Metall zu vermeiden. Die erhaltenen Metalle heißen Natrium bzw. Kalium.

Beide sind Leichtmetalle. Spez. Gew. K = 0,86, Na = 0,97, beide leicht schmelzbar (K: 62°, Na: 97,5°). Sie kommen in Form viereckiger Stangen in den Handel und werden unter Petroleum aufbewahrt, da sie sich an der Luft in kürzester Zeit oxydieren. Die Metalle sind wachsweich, frische Schnittflächen zeigen Metallglanz, laufen aber sofort grauweiß an. An der Luft erhitzt verbrennen die Metalle, Kalium mit violetter, Natrium mit gelber Farbe. Dieselbe Färbung zeigen auch alle ihre Verbindungen, wenn man sie in eine farblose (Bunsen-) Flamme bringt.

Da auch das Kochsalz die gelbe Flammenfärbung erzeugt (**Versuch*), so erkennen wir das Natrium als einen Bestandteil auch dieses Salzes.

Kochsalz ist Chlornatrium, Na Cl.

Nehmen wir diese einfachste Formel an, so ergibt eine quantitative Analyse des Kochsalzes (Bestimmung der Chlormenge aus einer gegebenen Kochsalzmenge) das Verbindungsgewicht und Atomgewicht des Natriums **(Na = 23).** Das erwähnte Salz Sylvin erweist sich entsprechend als Chlorkalium **(K = 39).**

Bestätigung durch die Synthese des Kochsalzes (**Versuch*): Ein flach gedrücktes Stück Natrium wird in Chlor gebracht. Es verwandelt sich in eine weiße bröcklige Salzmasse, die aus Wasser in Würfelchen kristallisiert.

Es fragt sich noch, wie das Ätznatron und Ätzkali zusammengesetzt sind. Daß sie die Metalle enthalten, haben wir schon gesehen.

(†) **Versuche:* Ein Stückchen Natrium wird mittels eines Drahtlöffels unter einen Zylinder in der pneumatischen Wanne gebracht (Abb. 341). Es entwickelt sich lebhaft Wasserstoff. Das Wasser nimmt die Eigenschaften der Natronlauge an. — Ein erbsengroßes Stückchen Natrium schwimmt, auf Wasser geworfen, lebhaft umher und verschwindet unter Zischen (s. o.). Legt man Filtrierpapier unter, so entzündet sich der sich entwickelnde Wasserstoff und brennt infolge mitverdampfenden Natriums mit gelber Flamme. Der gleiche Versuch gelingt mit Kalium ohne weiteres.

Da diese Versuche durchaus denen in § 177 entsprechen (nur daß hier die Zersetzung des Wassers durch das Metall schon bei gewöhn-

licher Temperatur eintritt), so steht zunächst zu vermuten, daß das dabei gebildete Ätznatron bzw. Ätzkali einfach das Oxyd des Metalls wäre. Es läßt sich jedoch zeigen, daß es auch noch Wasserstoff enthält.

**Versuch*: Zerstoßenes Ätzkali wird mit Eisenfeile im schwer schmelzbaren Probierglas erhitzt. Entwicklung von Wasserstoff, der nur aus dem Ätzkali stammen kann.

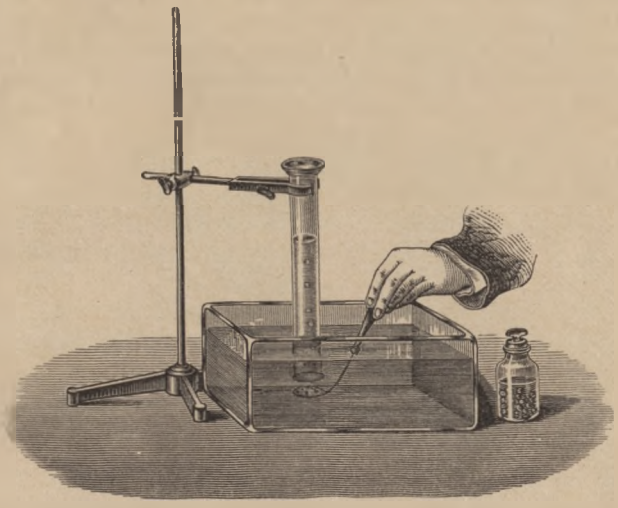


Abb. 341.

Die quantitative Analyse ergibt für Ätznatron das Gewichtsverhältnis Na : O : H = 23 : 16 : 1 (Umwandlung einer gewogenen Natriummenge in Ätznatron und Messung des entwickelten Wasserstoffs). Da dies gerade das Verhältnis der Atomgewichte ist, so ist die Formel des **Ätznatrons Na OH,** ebenso die des **Ätzkalis K O H** und die Reaktion zwischen den Metallen und dem Wasser wird dargestellt durch die Gleichung

$$\mathbf{Na + H_2O = NaOH + H.}$$

Wir können nunmehr auch das Ergebnis der Elektrolyse der Kochsalzlösung verstehen. Es bildet sich dabei am negativen Pole zuerst Natrium, dieses zersetzt aber sogleich das Wasser, so daß Natronlauge und freier Wasserstoff entstehen. Durch Elektrolyse geschmolzenen Kochsalzes erhält man das Na selbst, jedoch ist dieser Versuch nur mit großen Schwierigkeiten durchführbar.

Die Atomgruppe **OH** nennt man **Hydroxyl,** die Verbindungen NaOH und KOH Natrium- bzw. Kalium**hydroxyd.** Zu den einfachen Oxyden stehen diese in der Beziehung

$$\begin{matrix} Na\,O\,H \\ Na\,O\,H \end{matrix} - H_2O = Na_2O.$$

Man bezeichnet deshalb die Hydroxyde auch als **Hydrate** der Oxyde, umgekehrt diese als **Anhydride** jener (an = un, sog. α privativum).

§ 189. Kalisalze. Die salzartigen Verbindungen des Kaliums finden sich in der Asche fast aller Pflanzen und wurden früher daraus gewonnen (Pottasche, s. § 206). Vom arab. qalaj = Asche haben auch das Kalium und die Alkalien (= Basen) den Namen bekommen, während Natron ein arabisches Wort für Soda ist, die wir später als Natriumverbindung genauer kennenlernen werden. Die Kalisalze, welche für die Düngung der Felder sehr wichtig sind, werden gegenwärtig nur noch aus den sogenannten Abraumsalzen gewonnen, d. h. den die Steinsalzlager oben bedeckenden Schichten (Abb. 342),

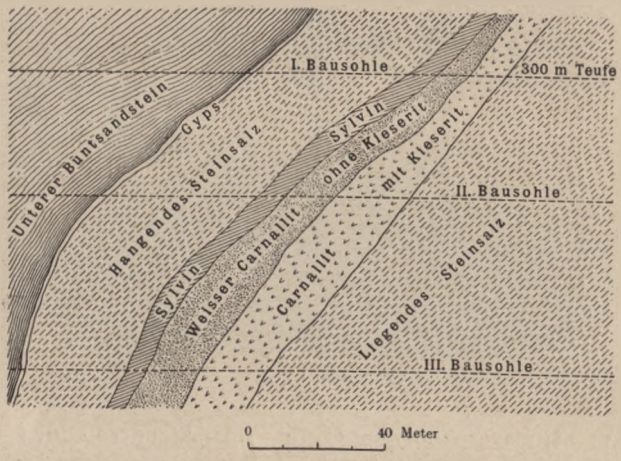


Abb. 342.

die man früher wegräumte, um zum Steinsalz zu gelangen. Wichtige Kalisalze dieser Art sind u. a. neben dem schon genannten Sylvin, KCl, der Kainit, Carnallit, Kieserit u. a. m. Die deutsche Produktion betrug 1913 11,6 Mill. Tonnen im Werte von 200 Mill. Mark, wovon weitaus der größte Teil auf das große Staßfurter Kalibergwerk entfällt. Die gleichfalls bedeutenden lothringischen Kalilager sind uns durch den Versailler Frieden genommen

Übungen: 1. Welche allgemeinere Erklärung ist nach dem beim Chlor erörterten nunmehr für den Begriff Verbrennung zu geben?

2. Wieviel Liter Chlorgas könnte man aus dem in einer Tonne Meerwasser enthaltenen Kochsalz gewinnen?

3. Warum sollte man nicht sagen, Kalium bzw. Natrium entzünden sich auf Wasser?

*4. Ausführung der quantitativen Analyse des Ätznatrons (s. o.).

§ 190. Halogene. Dem Chlor äußerst ähnlich sind drei andere nicht metallische Elemente, das **Fluor** (F = 19), **Brom** (Br = 80) und **Jod** (J = 126). Ersteres ist ein gelblichgrünes Gas, das sich nur mit größten Schwierigkeiten

frei erhalten läßt. Brom ist eine dunkelrotbraune, stark riechende Flüssigkeit (Schmelzpunkt 60°), Jod ein fester schwarzer kristallisierter Körper (Schmelzpunkt 114°). Alle drei bilden wie das Cl gasförmige Wasserstoffverbindungen (HF, HBr, HJ), die sich in Wasser leicht zu Säuren lösen, und mit den Metallen Salze wie z. B. NaBr, KJ, CaF_2, die in der Natur vorkommen und aus denen man sie gewinnt.

Flußsäure (HF) dient zum Glasätzen (*Versuch*). Bromverbindungen werden in der Photographie und Medizin (Schlafmittel) benutzt. Jodverbindungen dienen zu gleichen Zwecken, auch ist Jod ein empfindliches Reagens auf Stärke (Blaufärbung: **Versuch* mit alkoholischer Jodlösung = Jodtinktur).

**Versuche* mit Brom und Jod: Abgießen des schweren Bromdampfes. Diffusion desselben in Luft. Ausscheidung von Br aus NaBr durch Cl, Jod aus KJ durch Cl oder Br. Verdampfung von Jod (violetter Dampf, Name!). Lösungen von J in Alkohol, Äther, Benzol, Schwefelkohlenstoff. Einwirkung auf Stärke, Gebrauch des Jodkaliumstärkepapiers.

§ 191. Säuren, Basen und Salze. **Versuche*: 1. Verdünnte Natronlauge wird mit Lackmustinktur blau gefärbt und dann so lange mit verdünnter Salzsäure versetzt, zuletzt tropfenweise, bis die Farbe eben in Rot umschlägt. In diesem Zustand bewirkt jeder Tropfen Überschuß des einen oder des anderen Stoffes die Umfärbung. Die jetzt weder sauer noch basisch (laugig) mehr, sondern salzig schmeckende Lösung wird eingedampft, es hinterbleibt Kochsalz.

$$\text{Vorgang: } NaOH + HCl = NaCl + H_2O$$
$$\textbf{Base} + \textbf{Säure} \quad \textbf{Salz} + \textbf{Wasser}$$

2. Eisenrost, FeO_3H_3, wird mit Salzsäure erwärmt. Es entsteht eine braune Lösung von Eisenchlorid, $FeCl_3$.

$$\text{Vorgang: } Fe(OH)_3 + 3HCl = FeCl_3 + 3H_2O$$

Auch $Fe(OH)_3$ ist deshalb, obwohl in Wasser unlöslich, als eine Base anzusehen.

Base heißt in der Chemie jeder aus Metall und Hydroxylgruppen bestehende Stoff, der sich mit Säuren zu einem Salze neutralisieren kann. Nur die in Wasser löslichen Basen zeigen die in § 187 angeführten Eigenschaften.

Alle Säuren enthalten Wasserstoffatome, die bei der Neutralisation mit einer Base sich mit deren OH zu Wasser verbinden, während zugleich sich das Metall mit dem Säurerest verbindet, wodurch ein **Salz** entsteht.

Es ist sonach

Säure = Wasserstoff + Säurerest
Base = Metall + OH (Hydroxyl)
Salz = Metall + Säurerest.

Manche Metalle vermögen den Wassertoff der Säuren direkt zu ersetzen: **Versuche:* Zink- oder Eisenstückchen ergeben, mit verdünnter Salzsäure oder Schwefelsäure übergossen, Wasserstoffentwicklung (vgl. § 177).

$$Zn + 2HCl = ZnCl_2 + H_2$$
$$Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2.$$

Man sagt deshalb auch wohl ganz allgemein: **ein Salz entsteht aus einer Säure, indem deren H durch Metallatome ersetzt wird,** obwohl diese Reaktion nicht immer direkt vor sich geht. Dagegen geht der Umsatz der Metallhydroxyde mit den Säuren stets vor sich.

Salze entstehen weiter auch, wenn man statt der Metallhydroxyde (Basen) deren Anhydride, d. h. die Oxyde, mit der Säure zusammenbringt.

**Versuche:* Kupferoxyd oder andere Schwermetalloxyde lösen sich in erwärmter Salzsäure oder Schwefelsäure auf. Die Lösungen hinterlassen beim Eindampfen die betr. Salze, z. B.

$$CuO + 2HCl = CuCl_2 + H_2O$$
Kupferchlorid (grün)

Auf dieser Tatsache beruht die Verwendung der Säuren zum Putzen von Metallen.

F. Verbindungen des Schwefels mit Sauerstoff und Wasserstoff.

§ 192. Schwefeldioxyd, SO_2, ist das beim Verbrennen des Schwefels an der Luft entstehende stechend riechende Gas (§ 167). In größeren Mengen läßt es sich durch Erhitzen von Kupferspänen mit konzentrierter Schwefelsäure darstellen (Erklärung s. unten).

**Versuche:* Gefärbte Blüten, deren Wachsüberzug vorher mit Alkohol entfernt ist, werden durch das Gas gebleicht. — In einer mit Kältemischung gekühlten Vorlage (Abb. 343) läßt sich SO_2 zu einer wasserhellen Flüssigkeit verdichten. — Das Gas wird von Wasser leicht absorbiert, die Lösung schmeckt und reagiert sauer. — Die Lösung des Gases in Wasser verliert beim Stehen an der Luft ihren Geruch, behält aber ihre saure Reaktion.

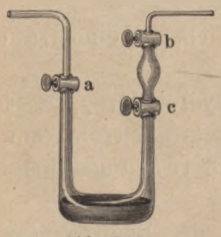


Abb. 343.

Schwefeldioxyd ist ein farbloses, leicht verdichtbares Gas (Siedepunkt — 10°), das die Verbrennung nicht unterhält, 2,2 mal schwerer ist als Luft, organische Farbstoffe bleicht und sich leicht in Wasser löst (1 Liter Wasser, 40 Liter Gas). Die Lösung enthält eine Säure, **schweflige Säure** H_2SO_3. Das Gas SO_2 ist deren Anhydrid, die Säure selber läßt sich nur in der verdünnten Lösung erhalten. Beim Versuch, sie zu isolieren, zerfällt sie stets wieder in das Anhydrid und Wasser.

Verwendung findet das Schwefeldioxyd zum Bleichen und zum Desinfizieren, z. B. der Weinfässer und Einmachgläser.

Durch Oxydation an der Luft (oder rascher mittels H_2O_2) verwandelt sich die Lösung der schwefligen Säure in Schwefelsäure

$$H_2SO_3 + O = H_2SO_4,$$

welche geruchlos, aber nicht flüchtig ist (*Versuch* 4).

§ 193. Schwefeltrioxyd, SO_3, und Schwefelsäure, H_2SO_4. *Versuch:* Läßt man ein Gemenge von SO_2 und O über erhitztes, fein verteiltes Platin strömen (Abb. 344, das Rohr enthält Platinasbest), so bildet sich ein

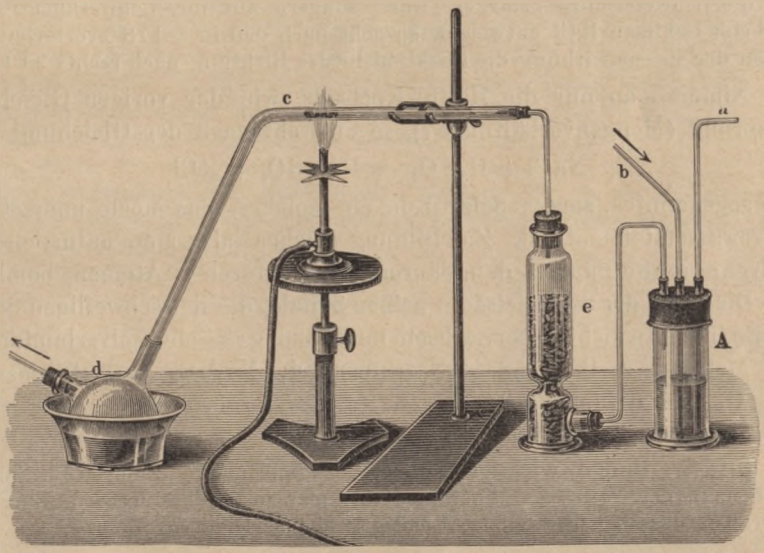


Abb. 344.

dichter weißer Rauch von festem Schwefeltrioxyd, SO_3, das sich im Wasser unter Zischen löst und das Hydrat Schwefelsäure, H_2SO_4, bildet.

Nach diesem katalytischen (Kontakt-)Verfahren wird die Schwefelsäure heute in steigendem Maße hergestellt. Daneben hat sich das ältere sogenannte Bleikammerverfahren erhalten, bei dem ein Gemisch von SO_2, O und H_2O (Dampf) mit Hilfe von Stickstoffoxyden zu H_2SO_4 vereinigt wird. In noch älterer Zeit erhielt man durch Erhitzen von Eisenvitriol (s. unten) eine anhydridhaltige Säure, das Nordhäuser Vitriolöl.

Reine **Schwefelsäure** ist eine farblose und geruchlose, ölige Flüssigkeit vom spez. Gew. 1,84. Ihr Siedepunkt ist 338°. Sie ist außerordentlich hygroskopisch und zieht sogar aus Stoffen, in denen H und O verbunden enthalten sind, diese als Wasser heraus. (**Versuch*: Ver-

kohlen von Zucker). Beim Mischen mit Wasser tritt eine starke Erhitzung ein (Vorsicht!). In konzentriertem Zustand wirkt die Säure sehr stark ätzend.

Die Schwefelsäure gehört zu den wichtigsten und grundlegendsten Erzeugnissen der chemischen Industrie. Mit ihrer Hilfe werden fast alle übrigen Säuren aus deren Salzen erzeugt. Die Reaktion besteht in einer Wechselzersetzung: Das Metall des Salzes und der Wasserstoff der Schwefelsäure tauschen die Plätze, z. B.

$2\,NaCl + H_2SO_4 \longrightarrow 2\,HCl + Na_2SO_4$ (Darstellung der Salzsäure § 185).

Diese Wirkung ist nicht, wie man früher glaubte, darauf zurückzuführen, daß die Schwefelsäure „stärker" wäre, sondern auf ihre Schwerflüchtigkeit. Da beim Erhitzen HCl entweicht, so geht nach den in § 178 erörterten Gesetzen der Massenwirkung die Reaktion in der Richtung nach rechts zu Ende.

Nimmt man nur die Hälfte Kochsalz, wie der vorigen Gleichung entspricht (Mengenverhältnisse?), so entsteht nach der Gleichung

$$NaCl + H_2SO_4 = HNaSO_4 + HCl$$

ein sogenanntes **saures Salz,** d. h. ein solches, das noch unersetzten Säurewasserstoff enthält. Zur Bildung solcher Salze sind natürlich nur mehrbasische Säuren, d. h. Säuren mit mehreren H-Atomen, befähigt.

Die Salze der Schwefelsäure heißen Sulfate, die der schwefligen Säure Sulfite (letztere nicht zu verwechseln mit Sulfiden = Schwefelverbindungen der Metalle, z. B. Na_2S = Natriumsulfid, Na_2SO_3 = Natriumsulfit, Na_2SO_4 = Natriumsulfat).

§ 194. Einige wichtige Sulfate. Doppelsalze. Zahlreiche Sulfate kommen in der Natur als Mineralien vor, manche andere werden künstlich in großen Massen hergestellt. Wichtig sind insbesondere

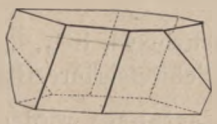


Abb. 345.



Abb. 346.

Natriumsulfat oder Glaubersalz, $Na_2SO_4 + 10\,H_2O$ (Kristallwasser), in vielen Mineralquellen enthalten, desgleichen

Magnesiumsulfat oder Bittersalz, $MgSO_4 + 7\,H_2O$ (Abführmittel).

Zinksulfat oder Zinkvitriol, $ZnSO_4 + 7\,H_2O$, giftig, jedoch medizinisch verwertet (gegen Schleimhautentzündungen).

Eisenvitriol, $FeSO_4 + 7\,H_2O$ (Abb. 345), grüne Kristalle, zur Erzeugung von Tinte dienend.

Kupfervitriol, $CuSO_4 + 5\,H_2O$, blaue Kristalle (Abb. 346), das wichtigste Kupfersalz.

Calciumsulfat oder Gips, $CaSO_4 + 2\,HO$, Kristalle (Abb. 347), Fundort unter anderem Montmartre bei Paris, in derben Massen ganze Berge bildend, z. B. Südharz, in Wasser im Gegensatz zu den vorigen schwer löslich (1 : 400). Auf 120° erhitzt verliert der Gips sein Kristallwasser und zerfällt zu einem weißen Pulver — gebrannter Gips —, das beim Übergießen mit Wasser wieder die 2 Mol. H_2O aufnimmt und damit zu einer steinharten Masse erhärtet. — Feinkörniger natürlicher Gips heißt Alabaster.

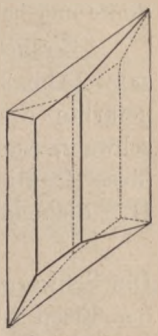


Abb. 347.

Das **Calcium** (Näheres s. § 206) ist eines der sogenannten Erdalkalimetalle. Ihm sehr ähnlich sind Strontium und Barium. Die Sulfate dieser beiden sind noch schwerer löslich als $CaSO_4$. Deshalb dienen Bariumsalzlösungen als „Reagens" auf Schwefelsäure. Vermischt man eine solche mit einer auch nur eine Spur Schwefelsäure oder lösliche Sulfate enthaltenden Lösung, so entsteht sofort ein weißer Niederschlag von Bariumsulfat, $BaSO_4$ (**Versuche*). Mit Hilfe dieser Methode ist leicht die Bildung der Schwefelsäure beim Stehenlassen von schwefliger Säure an der Luft (§ 192) nachzuweisen.

Die *Darstellung des Schwefeldioxyds aus Kupfer und konzentrierter Schwefelsäure* wird wiedergegeben durch die beiden Gleichungen:

$$Cu + H_2SO_4 = CuO + H_2O + SO_2; \qquad CuO + H_2SO_4 = CuSO_4 + H_2O$$

Auf diese Weise entstehen Salze nur aus ganz bestimmten sauerstoffreicheren Säuren, die dabei durch das Metall reduziert werden. Die Reduktion kann noch weiter gehen. Schüttet man z. B. Zinkpulver in konzentrierte Schwefelsäure, so entsteht Schwefel und sogar Schwefelwasserstoff (§ 195).

Doppelsalze nennt man Salze, welche aus zwei einfachen Salzen, meist mit dem gleichen Säurerest zusammengesetzt sind. Ein wichtiges Beispiel dafür bildet der **Alaun,** $K_2SO_4 + Al_2(SO_4)_3 + 24\,H_2O$, ein anderes der in § 189 erwähnte **Carnallit,** $MgCl_2 + KCl + 6\,H_2O$.

Alle Sulfate werden durch Erhitzen mit Kohle vor dem Lötrohr zu Sulfiden reduziert. **Versuch* mit Na_2SO_4. (Das gebildete Na_2S entwickelt mit verdünnter Säure Schwefelwasserstoff, H_2S.)

§ 195. Schwefelwasserstoff entsteht beim Übergießen von vielen Schwefelmetallen mit verdünnten Säuren. Gewöhnlich benutzt man das in § 168 dargestellte Schwefeleisen (**Versuch*):

$$FeS + H_2SO_4 \rightarrow FeSO_4 + H_2S.$$

H_2S ist ein farbloses, widerlich riechendes und sehr giftiges Gas, nach dem unter anderem die faulen Eier riechen. Er ist brennbar und in kaltem Wasser leicht löslich. Die Lösung, Schwefelwasserstoffwasser, zeigt die Eigenschaften einer schwachen Säure (Lackmus), wird jedoch schon durch den Luftsauerstoff, erst recht durch Oxydationsmittel wie

H_2O_2, zu Wasser und freiem Schwefel oxydiert ($H_2S + O = H_2O + S$). (**Versuche.*)

Direkt aus den Elementen bildet sich H_2S beim Überleiten von Wasserstoff über erhitzten Schwefel. Er entsteht ferner bei der Fäulnis organischer Stoffe und bei vulkanischen Vorgängen in der Erde (Schwefelquellen).

**Versuche:* Leitet man H_2S in Lösungen verschiedener Metallsalze (Abb. 348), so erhält man in bestimmten Fällen charakteristisch gefärbte Niederschläge (z. B. Zn-Salze weiß, Cu schwarz, Pb braunschwarz, Antimon orangerot), bei anderen Metallsalzen bleibt dagegen diese Reaktion aus. Sie stellt eine Umkehrung der zur Darstellung des H_2S dienenden vor (s. oben), z. B.

$$CuSO_4 + H_2S \rightarrow CuS + H_2SO_4.$$

Die Schwermetalle verhalten sich in dieser Hinsicht alle entweder wie das Eisen oder wie das Kupfer. Auch die Salze der ersteren geben

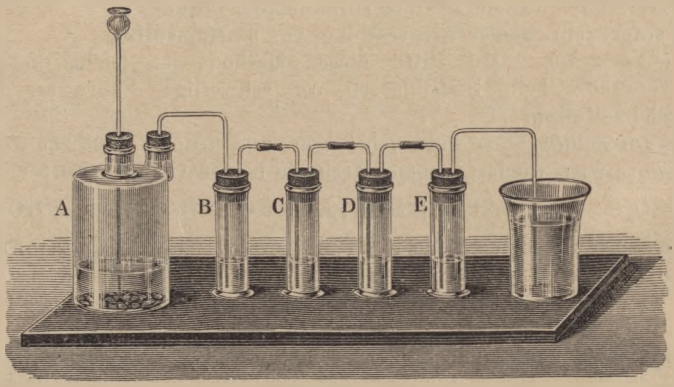


Abb. 348.

aber die Sulfide als Niederschläge, wenn man vor dem Einleiten des H_2S zur Neutralisation der frei werdenden Säure eine Base zusetzt, oder direkt statt H_2S ein lösliches Sulfid, wie z. B. Na_2S, zusetzt. (**Versuche.*) Diese Reaktionen bilden die Grundlage der analytischen Chemie.

Manche schwereren Metalle, besonders die Edelmetalle und Blei, verwandeln sich in Berührung mit H_2S direkt in Sulfide. **Versuch:* Anlaufen einer Silbermünze. Erklärung des Anlaufens von Silber und Gold in bewohnten Räumen und gewissen Speisen (Eiern, Erbsen).

Übungen: 1. Inwiefern ist es eigentlich unlogisch zu sagen, Schwefelwasserstoff rieche nach faulen Eiern?

*2. Wie kann man mittels des Schwefelwasserstoffs aus einer Lösung von $FeSO_4$ und $CuSO_4$ die beiden Metalle getrennt erhalten? — Führe die

Trennung (aber unter einem Abzug oder im Freien!) aus. — Andere analytische Trennungen derselben Art.

*3. Wie kann man nachweisen, daß ein vorgelegtes Salz Glaubersalz ist?

*4. Ein farbloses Salz gab in Lösungen mit H_2S einen weißen Niederschlag, einen stärkeren ebensolchen mit Na_2S. Auf Kohle vor dem Lötrohr mit Soda zusammengeschmolzen und dann mit Wasser auf eine Silbermünze gebracht, rief es eine starke Schwärzung hervor. Was für ein Salz war es? Bestätigung wodurch?

*5. Ein anderes Salz, auf das H_2S und Na_2S ohne jede Wirkung blieben, gab eine intensive gelbe Flammenfärbung, rief mit Kohle geschmolzen dieselbe Reaktion hervor wie das vorige, reagierte aber nicht auf Ba-Lösung (bei hinreichendem Säurezusatz). Als man Schwefelsäure hinzufügte, entwickelte sich der Geruch von SO_2. Welches Salz lag vor?

6. Inwiefern ist es nicht ganz richtig, von der „Auflösung" des Zinks oder Eisens usw. in verdünnten Säuren zu sprechen?

7. Stelle die Gleichungen auf für die Umsetzung a) von Ätzkalk und Schwefelsäure, b) Bariumnitrat und Schwefelsäure, c) Al^{III} und Schwefelsäure.

*8. Aus Alaunlösung wird durch Laugen das Aluminiumhydroxyd gefällt (*Versuch*). Gleichung?

*9. Ebenso aus Kupfervitriollösung Kupferhydroxyd, aus Zinksalzen Zinkhydroxyd. Gleichungen?

*10. „Züchten" von Alaun- und Kupfervitriolkristallen.

*11. Erhitze einen Glaubersalzkristall im Reagenzgläschen. Beobachtung? Erklärung? — Entwässern gepulverten Kupfervitriols durch vorsichtiges Erhitzen in einer Porzellanschale unter Umrühren mit einem Glasstab, bis er völlig weiß ist. Bedecke ihn und laß ihn ganz erkalten. Spritze dann Wasser darauf. Beobachtungen?

Anwendung zur völligen Entwässerung von Alkohol. Prüfe käuflichen „absoluten" Alkohol auf diesem Wege auf seinen Wassergehalt.

*12. Versetze Bleizucker- (Bleiacetat-) Lösung, die durch Zusatz von ein paar Tropfen Essigsäure geklärt ist, mit Schwefelsäure. Woraus besteht der Niederschlag?

13. Um Gipsverbände aufzuweichen, durchfeuchtet man sie mit Salzwasser. Welche Umsetzung wird dabei, wenigstens teilweise, erfolgen?

G. Verbindungen des Stickstoffs.

§ 196. Luftstickstoff. Edelgase. Wie schon in § 172 festgestellt wurde, enthält die atmosphärische Luft rund 21 Vol.-Proz. Sauerstoff. In die übrigen 79 Proz. teilen sich mit dem Stickstoff geringe Mengen anderer Gase, die zusammen etwas über 1 Proz des Ganzen ausmachen. Zunächst sind wechselnde Mengen von Wasserdampf und Kohlendioxyd vorhanden (s. § 205). Da aber der von diesen und dem Sauerstoff befreite Luftstickstoff immer noch etwas schwerer war als der aus chemischen Verbindungen befreite, so

vermuteten RAMSAY und RAYLEIGH (1895), daß dem atmosphärischen Stickstoff noch irgendwelche unbekannten schwereren Gase beigemischt seien. Es gelang ihnen, zunächst ein unbekanntes Gas, das **Argon** [1]), später noch mehrere andere: **Helium** [1]), **Neon** [1]), **Krypton** [1]), **Xenon** [1]) zu isolieren. Diese Gase sind Elemente, die sich indes durch gänzliche Verbindungsunfähigkeit auszeichnen. Man nennt sie deshalb Edelgase. Sie besitzen große Bedeutung für die theoretische Chemie und Physik, einige auch eine nicht unbeträchtliche praktische: Helium als Luftschiffüllung (Amerika besitzt Heliumquellen), Neon im Radiowesen.

§ 197. Ammoniak, NH_3. Die Trennung der Edelgase vom Stickstoff ist deshalb erst so spät gefunden, weil auch Stickstoff selber sich nur schwer mit anderen Elementen direkt verbinden läßt. Am einfachsten reagiert er mit gewissen Leichtmetallen.

**Versuch*: Pulverförmiges Magnesium wird auf einem eisernen Löffel entzündet. Indem es langsam an der Luft verglimmt, bildet sich außen weißes Oxyd, inwendig aber beträchtliche Mengen der gelben Stickstoffverbindung des Mg: Magnesiumnitrid, Mg_3N_2. Übergießt man das erkaltete Produkt mit Wasser, so tritt sogleich ein starker, zu Tränen reizender Geruch auf, der bekannte Geruch des „Salmiakgeistes".

Das Gas, dem dieser Geruch eigentümlich ist, führt den Namen **Ammoniak.** Es besteht aus Stickstoff und Wasserstoff nach der Formel NH_3.

Die Bildung aus Magnesiumnitrid entspricht der Gleichung

$$Mg_3N_2 + 3\,H_2O = 3\,MgO + 2\,NH_3.$$

Der *Beweis* für die angegebene Zusammensetzung des Ammoniaks wird durch Elektrolyse seiner konzentrierten wässerigen Lösung (s. unten) geführt. Auf dem angegebenen Wege läßt es sich aus dem freien Stickstoff der Luft erzeugen, doch würde dieser Weg für die technische Gewinnung zu teuer sein. Es ist daher, weil das Ammoniak und andere Stickstoffverbindungen für die chemische Industrie von grundlegender Bedeutung sind, ungemein wichtig, daß man noch andere Mittel und Wege gefunden hat, diese aus Luftstickstoff zu erzeugen. Der gegenwärtig bedeutsamste ist die direkte

Synthese des Ammoniaks aus seinen Elementen. N und H verbinden sich bei noch so langem Stehen anscheinend nicht und auch nicht bei Entzündung. Ebensowenig zersetzt sich auch NH_3 bei gewöhnlichen Umständen. Beide Reaktionen

$$N + 3\,H \rightleftarrows NH_3$$

[1]) *árgon* = das Träge, *hélios* = Sonne, *neós* = neu, *krýptos* = verborgen, *xenós* = fremd (griech).

gehen nämlich bei gewöhnlichen Umständen zu langsam vor sich. Es hat sich jedoch gezeigt, daß sich der Umsatz durch Katalysatoren beschleunigen läßt, deren praktisch wichtigste heute gewisse Uranverbindungen[1]) sind.

Bei Hinzufügung solcher wird das Gleichgewicht der Reaktion annähernd schon in einigen Stunden erreicht, wenn man die Temperatur auf etwa 500° steigert. Indem man zugleich hohen Druck (200 Atm.) anwendet, wird das Gleichgewicht genügend weit nach rechts verschoben, so daß man eine Ausbeute von etwa 20 Proz. Ammoniak erhält. (Erhöhung des Druckes begünstigt die Verbindung, Erhöhung der Temperatur an sich die Zersetzung, muß aber hier angewendet werden, weil die Reaktion sonst zu langsam geht. Die technische Schwierigkeit steckte vor allem in der Konstruktion geeigneter Gefäße, welche beides zugleich aushielten. Sie ist von HABER und BOSCH in der Badischen Anilin- und Sodafabrik in mühevollen Arbeiten gelöst.)

Salmiakgeist ist eine Lösung des Ammoniakgases in Wasser. Man kann es daraus leicht durch Erhitzen austreiben und so im Laboratorium gewinnen (**Versuch*). Es läßt sich ferner durch Erhitzen von Salmiak(salz) mit gelöschtem Kalk oder Natronlauge darstellen. (**Versuch* nach Abb. 349. Trocknen des Gases mittels gebrannten Kalks.)

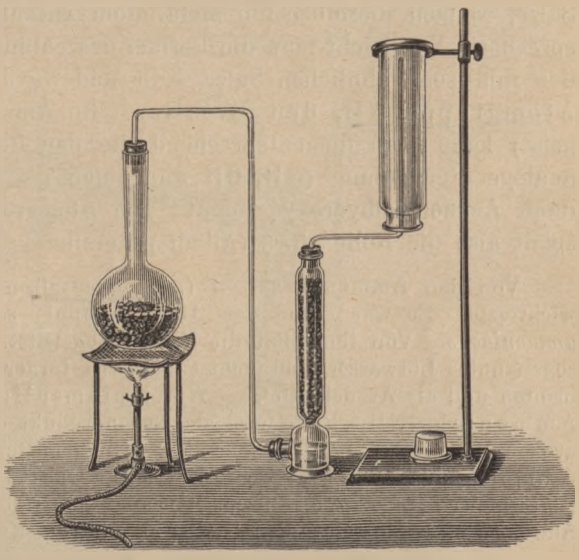


Abb. 349.

Im großen gewinnt man Ammoniakwasser auch als Nebenprodukt der Leuchtgasfabrikation (s. § 207). NH_3 bildet sich ferner bei der Fäulnis aller tierischen Stoffe, die Stickstoff enthalten (Viehställe, Düngergruben usw.).

**Versuche* mit Ammoniak: 1. Die leichte Löslichkeit des Gases in Wasser zeigt man ebenso wie die des Chlorwasserstoffs in § 185. Färbt man dabei das Wasser vorher durch Lackmus rot, so wird es durch das Ammoniak blau.

2. Ammoniak brennt nicht in Luft, wohl aber in reinem Sauerstoff mit grünlicher Flamme, wobei sich teils freier Stickstoff, teils Oxyde desselben bilden (s. auch unten).

[1]) Uran ist das Element mit dem größten bekannten Atomgewicht (U = 238).

3. Stellt man je einen Zylinder mit trocknem NH_3 und HCl übereinander und zieht die Trennungsplatten weg, so bildet sich unter starker Erwärmung ein dichter weißer Rauch von pulverförmigem, festem **Salmiak,** einem salzähnlich schmeckenden, in Wasser löslichen Stoff der Zusammensetzung **NH_4Cl.** Denselben Stoff erhält man auch durch Neutralisation von wässerigem Ammoniak mit Salzsäure.

Verwechsle nicht Salmiak mit Salmiakgeist!

Ammoniakgas ist in Wasser sehr leicht löslich, bei 0° löst 1 Vol. Wasser 1150 Vol. NH_3, bei Zimmertemperatur immer noch etwa 750 Vol. Die Lösung hat stark basische Eigenschaften. Sie bildet mit Säuren Salze.

Dies scheint der in § 191 angegebenen Erklärung der Basen und Salze, wonach dieselben ein Metallatom enthalten müssen, zu widersprechen. Vergleicht man die Formel des Salmiaks, NH_4Cl, mit denen der ihm sehr ähnlichen Salze, KCl und NaCl, so entspricht die Atomgruppe NH_4 den Metallen. Im Ammoniakwasser (Salmiakgeist) kann man dementsprechend die den Basen KOH und NaOH analoge Verbindung **$(NH_4)OH$** annehmen ($= NH_3 + H_2O$), die man dann **Ammoniumhydroxyd** nennt. Die **Atomgruppe NH_4 = Ammonium** spielt also die Rolle eines (Alkali-) Metalls.

Von den **Ammoniumsalzen** (Ammoniaksalzen) ist der Salmiak das wichtigste. Er war schon den Alten bekannt: *sal armeniacus*, später *sal ammoniacus*. Von ihm sind die Namen abgeleitet. Er wird praktisch als sogenanntes Lötwasser gebraucht (**Versuch*), ferner in den galvanischen Elementen und als Arzneimittel. — Ammoniumsulfat oder schwefelsaures Ammoniak, $(NH_4)_2SO_4$, wird als Nebenprodukt der Leuchtgasfabriken in großen Mengen erzeugt und kommt als Düngemittel in den Handel. — Alle Ammoniumsalze zerfallen bei starker Erhitzung in Ammoniak und freie Säure (**Versuche*), die meisten sind selber leicht flüchtig (**Versuche*). Alle entwickeln mit starken Basen (Kali, Natron, Kalk) Ammoniak, z. B.

$$NH_4Cl + NaOH = [NaCl + (NH_4)OH =] NaCl + NH_3 + H_2O,$$

da $(NH_4)OH$ sogleich zerfällt. Hierauf beruht die oben angegebene Darstellungsmethode des Ammoniaks.

Übungen: *1. Nebelbildung beim gleichzeitigen Öffnen zweier Flaschen mit Salzsäure und Ammoniakwasser. Erklärung?

*2. Koche in einer Kochflasche wässerige Salmiaklösung, die durch Lackmus blau gefärbt ist und leite die Dämpfe in eine Vorlage, in der sich rote Lackmustinktur befindet. Beobachtung? Erklärung?

3. Ammoniak ist leichter als Luft (Abb. 349). 1 Liter wiegt unter Normalumständen 0,76 g. Vergleiche dieses spezifische Gewicht mit dem des H und O und beachte, daß das Molekulargewicht des NH_3 = 17 ist. Was folgt daraus? (Erweiterte AVOGADRO sche Regel.)

§ 198. Stickstoff und Sauerstoff. Salpetersäure. Es gibt fünf verschiedene Verbindungen des Stickstoffs und Sauerstoffs, nämlich

N_2O	NO	N_2O_3	$NO_2 (N_2O_4)$	N_2O_5
Stickoxydul	Stickoxyd	Stickstofftrioxyd	Stickstoffdioxyd (tetroxyd)	Stickstoffpentoxyd

Zwei davon, das Trioxyd und das Pentoxyd, sind Anhydride von Säuren (s. § 192).

$$N_2O_3 + H_2O = 2\,HNO_2 \text{ salpetrige Saure,}$$
$$N_2O_5 + H_2O = 2\,HNO_3 \textbf{ Salpetersäure.}$$

Ausgangsmaterial für die Herstellung aller dieser Verbindungen waren bis vor kurzem nur die in der Natur vorkommenden **Salze der Salpetersäure oder Nitrate** (nitrum = Salpeter, sal petrae = Felsensalz). Sie bilden sich da, wo tierische stickstoffhaltige Abfallstoffe in Gegenwart starker Basen wie Kali, Natron oder Kalk bei gleichzeitigem Luftzutritt faulen. Das meist

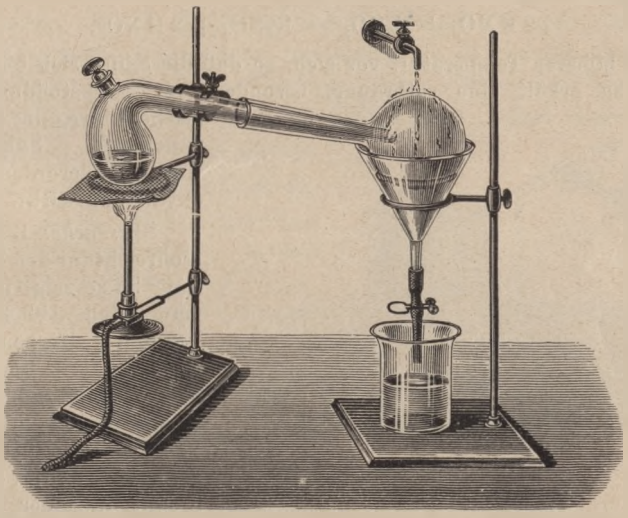


Abb. 350.

kurzweg Salpeter genannte Salz ist das **Kaliumnitrat, KNO_3,** es findet sich in Ägypten und Ostindien. In der Wüste Atacama in Chile befindet sich ein großes Lager von **Natriumnitrat = Chilesalpeter, $NaNO_3$.** An Wänden von Viehställen u. dgl. sieht man oft Auswitterungen von „Mauersalpeter", d. h. Calciumnitrat, $Ca(NO_3)_2$. — **Nachweis* der Metalle durch die Flammenprobe (Ca gelbrot).

Darstellung der Salpetersäure nach Abb. 350 durch Destillation von Kali- oder Natronsalpeter mit Schwefelsäure.

$$KNO_3 + H_2SO_4 \rightarrow HKSO_4 + HNO_3. \quad \text{(Mengenverhältnis?)}$$

In der Retorte hinterbleibt saures Kaliumsulfat (Kaliumbisulfat). Die erhaltene Flüssigkeit riecht stechend, hat gelbliche Farbe und ist eine sehr starke Säure.

Reine **Salpetersäure** ist eine farblose Flüssigkeit vom spez. Gew. 1,56. Sie ist eine der stärksten Säuren, zerstört organische Gewebe fast augenblicklich unter Gelb- oder Braunfärbung und zersetzt sich schon bei mittlerer Temperatur in Wasser, Sauerstoff und niedrigere Oxyde des Stickstoffs, welche sich in der Säure mit gelber Farbe lösen. Sie findet ausgedehnte Verwendung in der chemischen Industrie, vor allem zur Herstellung von Sprengstoffen und Farben, zum Auflösen von Metallen (außer Gold und Platin) u. a. m. Alle Salze der Salpetersäure — Nitrate — sind in Wasser löslich.

Nimmt man bei der Herstellung der Salpetersäure nur halb soviel Schwefelsäure wie der obigen Gleichung entspricht, so geht die Reaktion nach der Gleichung

$$2\,KNO_3 + H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + 2\,HNO_3,$$

jedoch bei höherer Temperatur, vor sich, so daß die Säure sich teilweise zersetzt. Man erhält eine rotbraune, besonders an Stickstoffdioxyd, NO_2, reiche Säure, die sogenannte **rauchende Salpetersäure,** welche außerordentlich stark oxydierend wirkt.



Abb. 351.

**Versuche:* 1. Den Sauerstoffreichtum der Säure bzw. ihrer Salze zeigt man, indem man nach Abb. 351 einige Tropfen Terpentinöl in rauchende Salpetersäure bringt. Entzündung des Öls. Ferner brennt glühende Holzkohle unter rauchender Salpetersäure weiter, diese selbst brennt in einer Leuchtgasatmosphäre wie Spiritus in Luft. Heu, in einer Zigarrenkiste mit der Säure durchfeuchtet, entzündet sich nach einiger Zeit. — Kalisalpeter, in einem Tiegel geschmolzen, entwickelt Sauerstoff. Aufgeworfene Schwefel- oder Kohlestückchen verbrennen mit großem Glanze.

Schießpulver ist ein Gemisch von 75 Tln. KNO_3, 12 Tln. S, 13 Tln. C. $NaNO_3$ ist, weil hygroskopisch, dafür nicht verwendbar. Erklärung der Pulverwirkung.

2. Den Stickstoffgehalt des Salpeters zeigt man, indem man Salpeterlösung mit Kalilauge vermischt und Aluminiumblechschnitzel hineinwirft. Nach kurzer Zeit zeigt sich der Geruch des Ammoniaks, dessen Stickstoff nur aus dem Salpeter stammen kann. — Oder man erhitzt im Reagenzglas Salpeter mit Eisenfeile, wobei sich Stickstoff entwickelt.

§ 199. Niedere Stickstoffoxyde. Stickoxyd, NO und **Stickstoffdioxyd, NO_2**, entstehen beide, wenn starke elektrische Entladungen die Luft durchsetzen (*Versuch*, Abb. 352). Ersteres ist ein farbloses, letzteres ein rotbraunes Gas. Größere Mengen erhält man durch Reduktion der Salpetersäure.

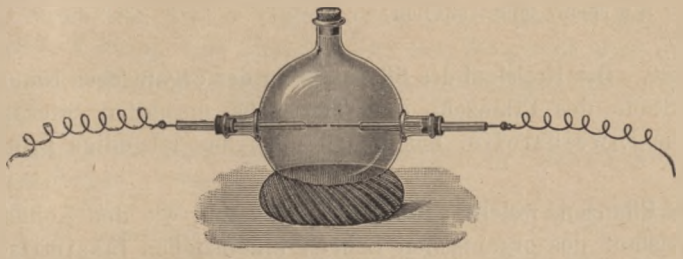


Abb. 352.

**Versuche:* Durch Erhitzen von Kupferspänen mit mäßig verdünnter Salpetersäure entsteht hauptsächlich Stickoxyd, das man in der pneumatischen Wanne auffangen kann. Öffnet man einen damit gefüllten Zylinder an der Luft, so bilden sich sofort dichte braune Wolken von NO_2. Beim Umschütteln mit Wasser wird letzteres vollständig absorbiert, wobei sich salpetrige Säure und Salpetersäure bilden ($2\,NO_2 + H_2O = HNO_2 + HNO_3$). Mit heißem Wasser geht die Reaktion nach der Gleichung vor sich

$$3\,NO_2 + H_2O = 2\,HNO_3 + NO.$$

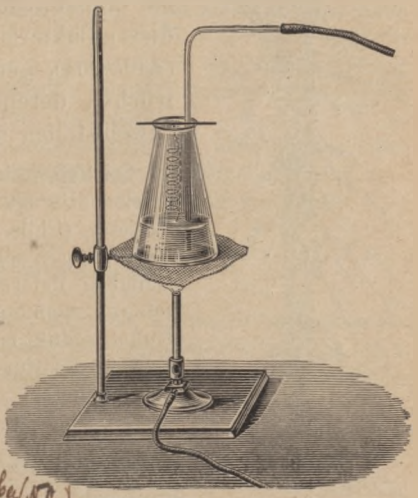


Abb. 353.

Da NO und NO_2 direkt aus Luft mit Hilfe elektrischer Entladungen erhalten werden können, gründet sich hierauf ein technisches Verfahren zur Erzeugung der Salpetersäure (Birkeland-Eyde, Schönherr. Norwegischer Salpeter).

Stickstoffoxyde bilden sich ferner bei der Oxydation des Ammoniaks, und zwar sowohl bei der Verbrennung (s. oben) wie bei der durch Platinkatalyse vermittelten (Abb. 353). Auf letzterem Wege wird die Salpetersäure heute zumeist hergestellt, weil dies Verfahren, obwohl ein Umweg, einstweilen wirtschaftlicher ist als das direkte.

Stickoxydul, N_2O, erhält man durch vorsichtiges Erhitzen von Ammoniumnitrat, NH_4NO_3, das dabei in $N_2O + 2H_2O$ zerfällt. Die Reaktion ist exotherm, der Zerfall kann deshalb unter Umständen explosionsartig werden. Ammoniumnitrat ist aus diesem Grunde einer der gebräuchlichsten Sicherheitssprengstoffe. Stickoxydul wirkt berauschend (Lachgas) und betäubend, es wird deshalb bei leichteren Operationen als Anästhetikum gebraucht. Es riecht leicht süßlich.

§ 200. Der Kreislauf des Stickstoffs in der organischen Natur. Zahlreiche Stoffe des Pflanzen- und Tierreichs enthalten Stickstoff, vor allem die Eiweißstoffe, aus denen auch das lebendige Protoplasma besteht.

Die Pflanzen, welche sowohl den Stickstoff, wie den Kohlenstoff in den Kreislauf des organischen Lebens hineinziehen [assimilieren][1]), vermögen den Luftstickstoff nicht zu verarbeiten, sondern müssen ihn in Gestalt von Nitraten dem Boden entnehmen. Diese gelangen dahin entweder durch Gewitter (s. § 199) oder durch die Tätigkeit gewisser Mikroorganismen, sogenannter Salpeterbakterien, die sich in jeder Ackerkrume finden und imstande sind, atmosphärischen Stickstoff oder auch im Boden enthaltenes Ammoniak zu Salpetersäure zu oxydieren. Besondere Arten dieser Bakterien, die sogenannten Knöllchenbakterien (Abb. 354), gedeihen auf den Wurzeln der Hülsenfrüchte, deren Samen deshalb besonders reich an Eiweißstoffen sind.



Abb. 354.

Stickstoffdüngung, welche für fast alle unsere Bodenarten nötig ist, besteht entweder in einer Zufuhr von Salpeter (Chile, Norge) oder Ammoniumsulfat oder in Unterpflügen solcher Hülsenfrüchte (Lupinen, Serradella). Daneben liefern tierische Abfallstoffe durch ihre Zersetzung Ammoniak (Naturdünger, Guano.) Ein neueres Kunstprodukt ist ferner der sogenannte Kalkstickstoff, CaN_2C, der durch Zersetzung mit Wasser ebenfalls Ammoniak liefert.

Die Tiere müssen die von den Pflanzen bzw. anderen Tieren übernommenen verwickelten Stickstoffverbindungen (Eiweißstoffe) erst weitgehend „abbauen", d. h. die verwickelten Moleküle in einfache zerlegen, ehe sie aus den Bruchstücken die ihnen eigentümlichen Eiweißarten wieder aufbauen können. Bei der Tätigkeit des tierischen Körpers werden die letzteren abermals abgebaut und nun ganz zerstört, indem sie

[1]) *assimilare* (von *similis* = ähnlich), ähnlich machen, angliedern.

durch den Blutsauerstoff oxydiert werden. Der gesamte tierische Stickstoff geht bei diesem Stoffwechsel schließlich in einige einfache Verbindungen über, deren wichtigste der

Harnstoff, CON_2H_4, ist, ein in reinem Zustand weißer, fester, bitter kühlend schmeckender, schwach giftiger Stoff. Ein erwachsener Mensch scheidet durch die Nieren täglich etwa 30 g Harnstoff aus in einer etwa 1 proz Lösung. Ein kleinerer Teil des Stickstoffs wird durch die Schweißdrüsen ausgeschieden. Außerhalb des Organismus zersetzt sich Harnstoff weiter in Ammoniak und Kohlendioxyd.

Übungen: 1. Vergleiche die Zusammensetzung der Luft mit den Formeln der Stickstoffoxyde. Folgerung?

2. Wie erklärt sich der Gehalt des Regenwassers an Ammoniumnitrat und -nitrit (= salpetrigsaures Salz).

3. Was wird man statt des Stickoxyduls erhalten, wenn man Ammoniumnitrit erhitzt?

4. Wie verläuft die Umsetzung von Chilesalpeter mit Sylvin, KCl?

5. Warum sind die Hülsenfrüchte besonders nahrhaft? Erkläre den mit Bezug auf die menschliche Ernährung oft gebrauchten Ausdruck „Stickstoffgleichgewicht".

*6. Erwärme auf einer Eisenplatte langsam ein Gemisch von 3 Tln. KNO_3, 2 Tln. S und 1 Tl. trockener Pottasche (§ 202). Knallpulver!

*7. Die Reaktion, welche zur Herstellung des Stickoxyds diente, geht nach der Gleichung $3\,Cu + 8\,HNO_3 = 3\,Cu(NO_3)_2 + 4\,H_2O + 2\,NO$. Dampfe nach dem Aufhören derselben die (vorher filtrierte) blaue Kupfernitratlösung ein. Trockne ein paar der erhaltenen Kristalle mit Filtrierpapier, wickle sie rasch in Stanniol und beobachte den Erfolg Erklärung?

*8. Bringe eine dünne Schicht Ammoniumnitrat auf eine Eisen- oder Steinunterlage, schütte etwas Zinkpulver darauf und lasse einen Tropfen verdünnter Schwefelsäure auf das letztere fallen. Verbrennung des Zinks.

H. Phosphor und Phosphorsäure.

§ 201. Phosphor, ein nichtmetallisches Element, kommt in zwei wesentlich voneinander verschiedenen Modifikationen vor (vgl. den Schwefel, § 167).

a) Gelber (richtiger: weißer) Phosphor ist ein wachsweicher, gelblichweißer, durchscheinender, stark giftiger, in Schwefelkohlenstoff löslicher Stoff vom spez. Gew. 1,8 und Schmelzp. 44°. Er ist außerordentlich leicht oxydierbar, so daß man ihn unter Wasser aufbewahren muß, und verbindet sich an der Luft langsam mit Sauerstoff zu Phosphortrioxyd, P_2O_3, wobei er im Dunkeln leuchtet (Name = Lichtträger, griech.). Schon bei etwa 60° entzündet er sich und verbrennt dann zu Phosphorpentoxyd, P_2O_5, einem weißen, außerordentlich hygroskopischen Pulver (*Versuche*), das sich in Wasser unter Zischen zu Phosphorsäure löst, deren Anhydrid es ist.

$$P_2O_5 + 3\,H_2O = 2\,H_3PO_4.$$

b) Roter Phosphor. Durch Erhitzen unter Luftabschluß verwandelt sich der gelbe Phosphor in einen roten Stoff, den man zuerst für ein niederes

Oxyd des Phosphors gehalten hat, der aber in Wirklichkeit nur eine andere Formart des gleichen Elements ist. Roter Phosphor ist weniger leicht entzündlich, nicht giftig, spezifisch schwerer und unlöslich in Schwefelkohlenstoff (*Versuche*). Durch Verbrennung geht er ebenfalls in P_2O_5 über.

Gelber Phosphor wird gelegentlich als Rattengift, außerdem nur in der Chemie verwendet. Früher diente er zur Herstellung der Zündholzköpfchen. Heute bestehen diese aus einer Mischung von Kaliumchlorat (§ 173) und Schwefelantimon, dagegen enthält die Reibfläche der Zündholzdosen roten Phosphor (und Bleisuperoxyd).

§ 202. Phosphorsäure und Phosphate. In der Natur kommt der Phosphor nur in Form von Salzen der Phosphorsäure, Phosphaten, vor, insbesondere solchen des Calciums. Aus ihnen wird freier Phosphor durch Erhitzen mit Kohle (Reduktion) gewonnen. Reine **Phosphorsäure,** H_3PO_4, ist eine farblose, stark saure, sirupartige, nicht giftige Flüssigkeit. Sie bildet dreierlei Salze, z. B. H_2NaPO_4, HNa_2PO_4, Na_3PO_4. Mono-, Di-Trinatriumphosphat. Das **Tricalciumphosphat,** $Ca_3(PO_4)_2$, kommt in der Natur in Verbindung mit anderen Stoffen als Apatit und Phosphorit vor. Es bildet ferner den Hauptbestandteil der Knochenerde, d. h. des anorganischen Anteils der Knochensubstanz, der bei menschlichen Knochen reichlich die Hälfte des Gesamtgewichts ausmacht.

**Versuche:* Verbrennung von Knochen, es hinterbleibt die Knochenerde. Auslaugen von Knochen mit Salzsäure: die Knochenerde löst sich auf, es hinterbleibt der organische Anteil: Knochenleim oder Knorpel. — Durch starkes Erhitzen von Knochenerde mit Magnesiumpulver im geschlossenen Glase kann man Phosphor darstellen.

Außer den eben genannten Quellen für Phosphate hat in neuerer Zeit die Eisenindustrie eine wichtige neue Quelle erschlossen: bei der Stahlbereitung nach dem Verfahren von THOMAS und GILCHRIST (1878) bildet sich als Nebenprodukt die sogenannte Thomasschlacke, welche Mono- und Dicalciumphosphat enthält. Sie bildet deshalb in gepulvertem Zustand (Thomasmehl) ein wichtiges Düngemittel, da unsere Böden zumeist die für die Pflanze unbedingt notwendige Phosphorsäure nicht in genügender Menge enthalten. Sollen die mineralischen Phosphate zur Düngung verwendet werden, so müssen sie erst mittels Schwefelsäure „aufgeschlossen", d. h. löslich gemacht werden, denn das Tricalciumphosphat ist unlöslich, während die sauren Salze löslich sind. Die so hergestellten Produkte heißen Superphosphatmehl.

J. Der Kohlenstoff und seine Verbindungen.

a) Kohlendioxyd und Kohlensäure. Carbonate.

§ 203. Der Kohlenstoff kommt in der Natur in drei verschiedenen Formen, als **Diamant, Graphit** und gewöhnliche **amorphe Kohle** vor. Er ist ein Element, C = 12.

Diamant findet sich hauptsächlich in Indien, Brasilien, Südafrika. Er kristallisiert in Oktaedern, wird aber künstlich zu der sogenannten Brillant-

form (Abb. 355) angeschliffen. Kleinere undurchsichtige Stücke dienen zum Glasschneiden, Diamant ist der härteste aller Stoffe.

Graphit, ein schwarzes, schuppiges und abfärbendes Mineral, findet sich in größeren Mengen u. a. in Ceylon, im Altai als Bestandteil von Urgesteinen und wird neuerdings auch künstlich mittels des elektrischen Lichtbogens erzeugt. Er dient zur Anfertigung der Bleistifte und feuerfester Tiegel, da er außer in reinem O unverbrennlich und außer im Lichtbogen unschmelzbar ist.



Abb. 355.

Der Beweis, daß sowohl Diamant wie Graphit das gleiche Element wie Kohlenstoff sind, wird durch ihre Verbrennung in reinem O zu CO_2 geführt.

Amorpher Kohlenstoff findet sich als Überrest ehemaligen Pflanzenlebens in den **Steinkohlen.** Man unterscheidet diese dem Alter nach als Anthrazitkohlen (bis 99 Proz. C), gewöhnliche Steinkohlen (wechselnden C-Gehalts, magere bis 90 Proz., fette weniger) und Braunkohle (bis 75 Proz. C). Ein ähnliches, noch jüngeres Produkt ist der Torf. Außer durch das Alter sind die Unterschiede der einzelnen Kohlenarten bedingt durch die bei ihrer Bildung vorliegenden Umstände wie Holzart, Druck, Temperatur, Nachbargesteine. Alle Steinkohlen enthalten außer Kohlenstoff auch Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, fast immer auch Schwefel. Hauptkohlenlager: Westfalen, Sachsen, Schlesien, Belgien, Saargebiet, Böhmen, Ungarn, England, Nordamerika.

Ziemlich reiner amorpher Kohlenstoff sind Holzkohle und gereinigter Ruß. Alle drei Arten des Kohlenstoffs sind in allen bekannten Flüssigkeiten gewöhnlicher Temperatur unlöslich. Löslich ist dagegen der Kohlenstoff in manchen glühend flüssigen Metallen, vor allem Eisen. Aus diesen kristallisiert er beim Erkalten als Graphit, unter besonderen Umständen auch als Diamant aus, doch lohnt sich eine Herstellung künstlicher Diamanten auf diesem Wege (MOISSAN, 1895) nicht.

Das Verbrennungsprodukt des Kohlenstoffs ist das Kohlendioxyd, CO_2. Die Verbrennungswärme beträgt rund 8000 cal/g.

Übungen: 1. Wie erklärt sich die Bezeichnung Bleistift?

2. Was bedeutet das „Feuer" des Diamanten?

3. Warum beweist die Tatsache, daß beim Verbrennen von Graphit und Diamant Kohlendioxyd entsteht, noch nicht, daß diese Stoffe nichts weiter als Kohlenstoff sind? Was muß vielmehr noch dazu festgestellt sein?

4. Wie unterscheiden sich im Brennen gewöhnliche Steinkohlen und Anthrazitkohlen? Wie brennt Holzkohle? Was folgt daraus? (Vgl. § 209.)

5. Warum kann man die im Ofen bleibende Asche nicht als „Verbrennungsprodukt" bezeichnen?

§ 204. Kohlenoxyd. Bei ungenügendem Luftzutritt wird das durch die Verbrennung von Kohle entstandene Kohlendioxyd, CO_2, durch die glühenden Kohlen wieder zu **Kohlenmonoxyd, CO,** kurz Kohlenoxyd genannt, redu-

ziert. — Dieses ist ein farb- und geruchloses, sehr giftiges Gas, das mit dem roten Blutfarbstoff eine Verbindung eingeht und dadurch das Blut zur Atmung untauglich macht. Es verursacht viele Unglücksfälle. — Im großen wird Kohlenoxyd als sogenanntes Generatorgas durch Überleiten von Luft über glühende Kohlen erzeugt, weil man so ein brennbares Gas an Stelle eines festen Brennmaterials erhält, was für manche Zwecke nötig ist. Kohlenoxyd erzeugt bei der vollständigen Verbrennung zu CO_2 eine nur wenig kleinere Wärmemenge als C selbst. — Ähnlich erhält man durch Überleiten von Wasserdampf über glühende Kohlen das sogenannte Wassergas, $C + H_2O = CO + H_2$.

§ 205. **Kohlendioxyd (Kohlensäureanhydrid), CO_2,** ist die wichtigste Verbindung des Kohlenstoffs. Es ist außer Luft die am längsten bekannte Gasart. Außer durch die Verbrennung der Kohlen entsteht es durch die Atmung der Menschen, Tiere (und Pflanzen, s. § 212) und ist daher stets in der Luft enthalten (0,03 Proz.). Es entsteht ferner bei der Gärung und ist daher in vielen Getränken wie Bier, Schaumwein u. a. enthalten. In der Natur findet es sich in zahlreichen Mineral-



Abb. 356.



Abb. 357.

quellen, besonders in vulkanischen Gegenden und bildet auch für sich allein Gasquellen (Eifel, Hundsgrotte bei Neapel). Es wird zur Herstellung künstlicher Mineralwässer (Selters) und anderer Getränke, sowie zu Bierdruckapparaten, Feuerlöschapparaten u. a. in großem Maßstab gewonnen und kommt, durch hohen Druck verflüssigt, in Stahlbomben in den Handel.

Im Laboratorium gewinnt man es durch *Übergießen von Marmorstückchen mit Salzsäure (s. u.). Mit dem so hergestellten oder aus einer Bombe entnommenen Kohlendioxyd werden folgende Versuche angestellt:

**Versuche mit Kohlendioxyd:* Brennende Streichhölzer, Kerzen- und Gasflammen erlöschen in Kohlendioxyd. Tiere ersticken darin sofort. Das Gas füllt die Gefäße, in die man es leitet, von unten an (Abb. 356), es ist also schwerer als Luft. Man kann es deshalb umgießen (Abb. 357), sogar abhebern und kann eine brennende Kerze durch Übergießen damit auslöschen. Beim Umschütteln mit Wasser, das durch Lackmus blau gefärbt wurde, löst es sich unter schwacher Rotfärbung des Lackmus, die Lösung enthält somit eine Säure. — Ein brennendes Magnesiumband brennt in CO_2 weiter unter Abscheidung von schwarzen Rußflocken.

Kohlendioxyd ist ein farbloses, säuerlich prickelnd riechendes und schmeckendes Gas, das $1^1/_2$ mal schwerer ist als Luft, die Verbrennung nicht unterhält und im Wasser sich zu einer schwachen Säure: **Kohlensäure, H_2CO_3,** löst. Es ist also als deren Anhydrid anzusehen. Bei -80^0 wird es unter gewöhnlichem Druck flüssig, bei Zimmertemperatur dagegen unter 50 bis 60 Atm. Druck.

Durch rasches Verdunsten von flüssigem CO_2 erhält man schneeartige Massen von festem CO_2 (*Versuch*).

§ 206. Die Kohlensäure und ihre Salze. Die bei der Auflösung des Kohlendioxyds in Wasser entstehende Kohlensäure, H_2CO_3, läßt sich, ebenso wie die schweflige Säure in § 192, nicht isolieren. Sie zerfällt bei jedem Versuch dazu immer wieder in das Anhydrid und Wasser. Umgekehrt reagiert aber CO_2 bei Gegenwart von Wasser immer wie die Säure H_2CO_3, bildet also mit den Basen, z. B. NaOH oder KOH, Salze nach dem Schema:

$$2\,NaOH + H_2CO_3 = Na_2CO_3 + 2\,H_2O$$

oder

$$2\,NaOH + CO_2 = Na_2CO_3 + H_2O.$$

Aus diesem Grunde verwandeln sich alle löslichen Basen (Laugen) an der Luft langsam in kohlensaure Salze: **Carbonate.** Anwendung zur Bestimmung des CO_2-Gehalts der Luft. Alle Carbonate leiten sich von dem Hydrat H_2CO_3 ab. Sie sind zumeist in Wasser unlöslich, mit Ausnahme derjenigen der Alkalimetalle (und der Bicarbonate der Erdalkalien). Die wichtigsten sind:

Kaliumcarbonat oder Pottasche, K_2CO_3, früher ausschließlich aus Holzasche gewonnen, jetzt auf dem in § 187 angegebenen Wege über die Kalilauge aus Sylvin hergestellt. Pottasche bildet eine bröcklige, hygroskopische Masse. Anwendung zum Backen und Reinigen. **Nachweis* des K mit der Flammenprobe, der Kohlensäure durch Übergießen mit Säuren. Es entweicht unter Aufbrausen CO_2, z. B.

$$K_2CO_3 + 2\,HCl = 2\,KCl + \underbrace{CO_2 + H_2O}_{H_2CO_3}$$

Ebenso wie K_2CO_3 entwickeln auch alle übrigen kohlensauren Salze beim Übergießen mit Säuren CO_2, das unter Aufbrausen entweicht.

Natriumcarbonat oder Soda, Na_2CO_3, kristallisiert mit $10\,H_2O$ in großen Tafeln (Abb. 358), die an der Luft allmählich, beim Erhitzen rasch das Kristallwasser verlieren (**Versuch*). Soda wird in großen Mengen fabrikmäßig hergestellt, findet sich aber auch an einigen Stellen als Mineral (Ungarn, Ägypten) und in zahlreichen Mineralquellen (Karlsbad). Die Herstellung erfolgt nach demselben Verfahren wie bei der Pottasche (vgl. § 187). Soda findet als Reinigungsmittel an Stelle der viel schärferen Natronlauge ausgedehnte Verwendung im Haushalt. Sie dient ferner zur Herstellung fast aller anderen Natriumverbindungen.

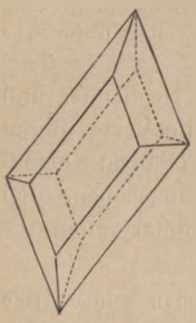


Abb. 358.

Lösungen von Pottasche und Soda zeigen stark basische Reaktion, obwohl sie der Formel nach „Neutralsalze" sind. Die Kohlensäure ist eine so schwache Säure, daß sie die basische Natur des Metalls nicht zu verdecken vermag. Dies gilt sogar noch dann, wenn sie „saure Salze", wie u. a. das Salz $HNaCO_3$, Natriumbicarbonat oder doppelt kohlensaures Natron, bildet. Auch dieses Salz, das man durch Einleiten von CO_2 in Sodalösung erhält und das im Haushalt eine allgemein bekannte Verwendung findet, reagiert noch basisch. Es ist erheblich schwerer löslich als das einfache Carbonat. Die Lösung gibt beim Kochen die Hälfte Kohlensäure wieder ab (**Versuche*).

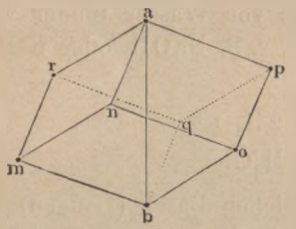


Abb. 359.

Ammonium(bi)carbonat oder Hirschhornsalz ist hauptsächlich das Salz $H(NH_4)CO_3$. Es zersetzt sich in der Hitze in CO_2, NH_3 und H_2O und wird deshalb zum Backen verwendet. Es riecht schon in der Kälte nach NH_3. Das wichtigste aller Carbonate ist das

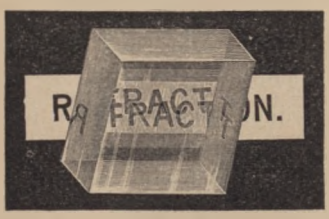


Abb. 360.

Calciumcarbonat oder kohlensaurer Kalk, $CaCO_3$, als Mineral Kalkstein ganze Gebirge bildend, in Rhomboedern kristallisiert (Abb. 359) Kalkspat genannt (Abart: durchsichtiger Doppelspat, Abb. 360). Dichte Massen kleiner Kalkspatkristalle bilden den Marmor. Muschelschalen und viele andere tierische und pflanzliche Hartteile bestehen aus $CaCO_3$, so u. a. auch die Kreide, welche aus den Panzern gewisser Urtiere (Foraminiferen) gebildet ist (Rügen, England). Weitaus die

meisten „Versteinerungen“ bestehen ebenfalls aus Kalkstein, der sich mit den fraglichen organischen Gebilden zusammen aus vorweltlichen Meeren abgesetzt hat.

Versuche:* 1. Zerkleinerter Marmor wird vor dem Gebläse heftig geglüht. Er verwandelt sich unter merkbarem Gewichtsverlust in **gebrannten Kalk, CaO. Dasselbe geschieht im großen in den sogenannten Kalköfen.

$$CaCO_3 = CaO + CO_2.$$

2. Ein Stück gebrannter Kalk wird in Wasser getaucht, bis es sich vollgesogen hat und dann auf einen Teller gelegt. Unter starker Erhitzung zerfällt es zu einem lockeren Pulver von **gelöschtem Kalk = Calciumhydroxyd, $Ca(OH)_2$.**

$$CaO + H_2O = Ca(OH)_2.$$

3. Etwas gelöschter Kalk wird mit Wasser öfters umgeschüttelt und dann abgegossen oder filtriert. Die klare Lösung, **Kalkwasser,** schmeckt und reagiert basisch. Sie trübt sich beim Stehen an der Luft, rascher beim Hindurchblasen, besonders der Atemluft, am schnellsten beim Einleiten von CO_2. Es bildet sich unlösliches Calciumcarbonat:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O.$$

Die gleiche Umsetzung erfolgt im großen, wenn der zum Bauen benutzte Mörtel, ein Gemisch von gelöschtem Kalk und Sand, an der Luft erhärtet. Das von den Wänden der Neubauten herabrinnende Wasser ist also nicht nur das überschüssige zum Anrühren benutzte Wasser, sondern entsteht zum großen Teile erst durch die Einwirkung des Kohlendioxyds der Luft. (Warum stellt man also in Neubauten Pfannen mit glühenden Kohlen auf?)

4. In die trübe gewordene Lösung wird fortgesetzt CO_2 eingeleitet. Sie klärt sich allmählich wieder ganz auf: Das unlösliche $CaCO_3$ ist in das besser lösliche **Calciumbicarbonat, $H_2Ca(CO_3)_2$,** übergegangen. Beim Erhitzen dieser Lösung tritt wieder Trübung ein. Unter Verlust der Hälfte Kohlensäure entsteht wieder das einfache Carbonat.

Dieser Vorgang spielt eine sehr große Rolle in der freien Natur. Fast alles natürliche Wasser läuft über kalkhaltigen Untergrund dahin. Da es nun aus der Luft stets CO_2 aufgelöst enthält, so löst es auch fast immer etwas Kalk (als Bicarbonat) auf. Hierdurch wird das Wasser „hart“, d. h. es bildet mit Seife zunächst keinen weichen Schaum, sondern Flöckchen unlöslicher „Kalkseife“, bis der Kalk auf diese Weise ausgefällt ist. Beim Erhitzen solchen Wassers setzt sich ferner das nun unlösliche einfache Carbonat als sogenannter Kesselstein ab, ebenso beim Verdunsten (Tropfsteine). — Aus dem im Meerwasser gelösten Kalk bestreiten die schon angeführten Tiere und Pflanzen den Bedarf für ihre Hartteile.

Von anderen ähnlich aussehenden Mineralien ist der Kalkstein bzw. Marmor leicht durch die Eigenschaft zu unterscheiden, daß er beim Übergießen mit Säuren CO_2 entwickelt. Diese Reaktion ist schon in § 205 als Darstellungsmethode für das CO_2 erwähnt.

Weitere wichtige mineralische Carbonate sind **Magnesit** oder **Bitterspat,** $MgCO_3$, **Dolomit,** $MgCO_3 + CaCO_3$, **Eisenspat,** $FeCO_3$, **Zinkspat** oder **edler Galmei,** $ZnCO_3$, **Malachit,** $CuCO_3 + Cu(OH)_2$ u. a. m.

Übungen: 1. Welcher Versuch beweist, daß das aus Kalkstein oder Marmor durch Säuren entwickelte Gas wirklich Kohlenstoff enthält?

2. Wie erklärt es sich, daß beim Hineinsteigen in Gärungskeller, Brunnenschächte usw. die Arbeiter häufig plötzlich ersticken? Wie muß man deshalb die Luft vorher prüfen?

3. Inwiefern kann man „Natron" in der Küche zum Abstumpfen übermäßig saurer Speisen, zur Rettung säuerlich gewordener Milch benutzen?

4. Wie kommen die an Bahnübergängen u. dgl. häufig zu findenden Tropfsteinbildungen zustande?

5. Wie kann man quantitativ genau den Kohlendioxydgehalt der Luft bestimmen (*Versuch*).

6. Erklärung der Wirkung des Brausepulvers und Backpulvers.

7. In welchem Falle stimmt der Satz nicht, daß CO_2 die Verbrennung nicht unterhält? Wie erklärt es sich, daß schon ein verhältnismäßig geringer Gehalt an CO_2 die Luft zum Brennen und Atmen untauglich macht?

*8. Leite CO_2 in ein recht weites Gefäß (Suppenschüssel) und lasse eine Seifenblase darauf fallen. Beobachtung? Erklärung?

9. Ein Erwachsener atmet pro Tag etwa 890 g CO_2 aus. Wieviel von den eingeatmeten 740 g O stecken darin? Wo blieb der Rest des Sauerstoffs?

Atmungstabelle:

Eingeatmet:	N:	79,2 Proz.	O:	20,8 Proz.	CO_2:	0,0 Proz.	Summe:	100 Proz.
Ausgeatmet:	N:	79,2 „	O:	15,4 „	CO_2:	4,4 „	„	99 „

b) Kohlenstoff und Wasserstoff.

§ 207. Leuchtgas. **Versuch:* In einer schwer schmelzbaren Retorte oder Röhre erhitzt man einmal Holz, sodann fette Steinkohle und leitet die erhaltenen Dämpfe durch eine Vorlage zur pneumatischen Wanne. Während sich in jener eine dickere Flüssigkeit, Teer und eine dünnere wässerige verdichten, die bei Holz infolge Gehalts an Essigsäure sauer, bei Steinkohlen wegen NH_3-Gehalt basisch reagiert, erhält man in der Wanne ein brennbares Gas. In dem Gefäß hinterbleibt Holzkohle bzw. Koks, welche aus Kohlenstoff und den mineralischen Bestandteilen (Salzen) bestehen.

Im großen wird der Vorgang nach Abb. 361 ausgeführt. Der Teer kondensiert sich größtenteils schon im Rohre *B*, der Rest nebst dem Ammoniakwasser im Kühler *D*. Von den letzten Spuren beider wird das Gas im Waschapparat *o* befreit, der Koksstückchen enthält, die mit Wasser berieselt werden.

Im Reiniger *M* endlich wird der dem Gas beigemischte Schwefelwasserstoff entfernt (mit Hilfe gewisser Eisenverbindungen). Hiernach sammelt es sich im Gasometer, von wo es dem Verbrauch zugeführt wird. Erste Leuchtgasanlage in England 1789. Erste Straßenbeleuchtung ebenda 1804. Erste deutsche Gasanstalt zu Freiberg 1811, Berlin und Hannover 1826. Erfindung des Glühstrumpfs durch AUER VON WELSBACH um 1890 (s. u.).

Leuchtgas ist ein Gemisch verschiedener Gase. Neben freiem Wasserstoff (bis 40 Proz.) und Kohlenoxyd (etwa 7 Proz.) enthält es hauptsächlich die drei im folgenden zu besprechenden **Kohlenwasserstoffe.**

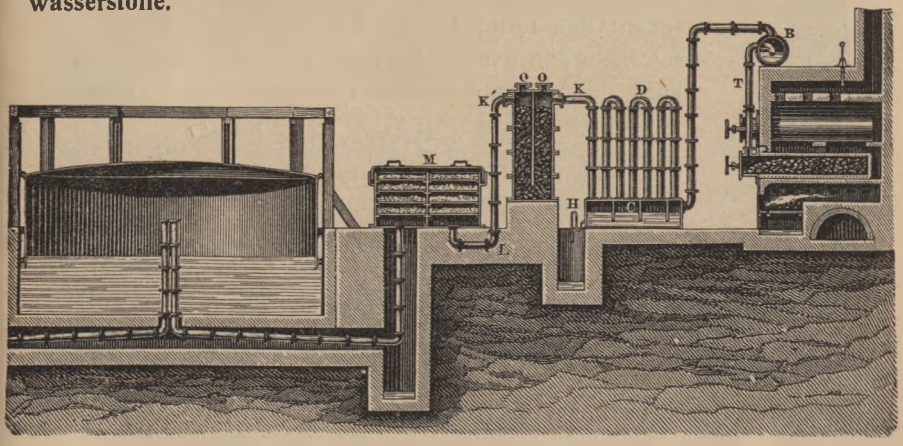


Abb. 361.

**Nachweis* des H nach § 177, des Kohlenstoffs durch die Rußbildung und die Bildung von CO_2 beim Verbrennen (Kalkprobe).

Teer und **Holzessig** (bzw. das **Ammoniakwasser**) sind Ausgangspunkte für die Darstellung einer großen Zahl weiterer Stoffe, deren Wert den des ursprünglichen Materials um ein Vielfaches übersteigt. (Farben, Heilmittel, photographische Artikel, Riechstoffe usw.)

§ 208. 1. **Methan** oder Sumpfgas oder Grubengas, CH_4, die einfachste aller der zahllosen Verbindungen des Kohlenstoffs mit dem Wasserstoff, ist im Leuchtgas mit etwa 40 Proz. enthalten. Es bildet sich ferner bei der Zersetzung pflanzlicher Stoffe unter Luftabschluß und ist daher einerseits in Sümpfen und Teichen (**Versuche*), andererseits in den Steinkohlenlagern stets anzutreffen. Im letzteren Falle (Grubengas) bildet es, mit Luft gemischt, ein sehr explosives Gemenge, die sogenannten schlagenden Wetter (Sicherheitslampe, Abb. 362). An manchen Stellen strömt es in großen Mengen aus der Erde (Baku, Pennsylvanien, Neuengamme bei Hamburg). Es brennt mit nur wenig leuchtender Flamme.

Reines Methan erhält man durch Übergießen von Aluminiumcarbid, Al_4C_3, mit Säuren (**Versuch*).

2. **Äthylen, C_2H_4,** im Leuchtgas etwa 10 Proz., rein zu erhalten durch Erhitzen eines Gemisches von Alkohol, C_2H_6O, und konzentrierter Schwefelsäure unter Sandzusatz. Es brennt mit stark leuchtender Flamme und riecht angenehm ätherisch.

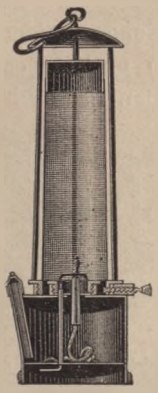


Abb. 362.

3. **Acetylen, C_2H_2,** im Leuchtgas nur in geringer Menge enthalten, wird heute im großen erzeugt, seit man gelernt hat, das **Calciumcarbid, CaC_2,** im elektrischen Ofen billig herzustellen, das als Salz des eine schwache Säure vorstellenden Acetylens betrachtet werden kann und sich mit Wasser umsetzt nach der Gleichung

$$CaC_2 + H_2O = C_2H_2 + CaO.$$

Calciumcarbid entsteht durch Einwirkung von Kohle auf gebrannten Kalk: $CaO + 3\,C = CaC_2 + CO$.

Acetylen findet vielfache *Anwendung* in Radfahrlaternen, zu privaten Beleuchtungsanlagen u. ä. Man setzt es auch wohl schwach leuchtenden Gasen, wie Wassergas (§ 204), zu, um sie leuchtend zu machen. Reines Acetylen brennt mit sehr stark rußender Flamme (**Versuch*), außer wenn es in besonders dafür konstruierten Brennern verbrannt wird.

Der unangenehme Geruch des aus Carbid entwickelten Acetylens rührt von beigemengtem Phosphorwasserstoff, PH_3, her, der auch den Geruch des Leuchtgases verursacht.

§ 209. Die Flamme. Jede Flamme ist ein brennender Gasstrom. Stoffe, welche, wie z. B. das in § 172 benutzte Eisenpulver oder Anthrazitkohlen oder Holzkohle, auch in der Hitze, die bei ihrer Oxydation entsteht, nicht vergasen, glühen nur, geben aber keine Flamme.

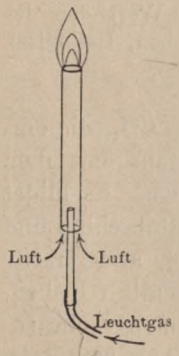


Abb. 363.

Vergleicht man die Leuchtkraft der oben angeführten drei Gase miteinander, so sieht man leicht, daß sie mit dem Kohlenstoffgehalt wächst. Jedoch hängt sie nicht hiervon allein ab, sondern wird durch die Luftzufuhr mitbedingt, wie der Bunsenbrenner beweist, dessen Prinzip ein **Versuch* nach Abb. 363 zeigt. Die Flamme des Bunsenbrenners ist nicht leuchtend, aber viel heißer als die einfache Gasflamme. Bringt man mittels ihrer einen Glühstrumpf zum Glühen, so erhält man eine wesentlich größere Lichtausbeute als bei der letzteren.

Der **Glühstrumpf** besteht aus Oxyden gewisser sehr seltener Metalle, insbesondere des Thoriums und Ceriums. Man erhält ihn, indem man ein Baumwollgewebe mit Nitraten dieser Metalle tränkt, dann den getrockneten Strumpf verbrennt und ausglüht, wobei sich die Nitrate in Oxyde verwandeln und schließlich das sehr zarte Gerüst wieder durch Tränken mit Schellack

transportierbar macht. Beim Anbrennen verbrennt zuerst der letztere. Stehendes und hängendes Gaslicht. Letzteres stellt zurzeit die relativ billigste Lichtquelle (berechnet auf die gleiche Lichtstärke) dar. Nahe kommt ihm die moderne elektrische Glühbirne mit Metallfaden.

Daß auch unsere mit Flamme brennenden, gewöhnlichen festen und flüssigen Brennmaterialien zuerst brennbare Gase entwickeln, läßt sich durch folgende

**Versuche* zeigen: Aus einer Kerzenflamme läßt sich nach Abb. 364 brennbares Gas ableiten. Schneidet man einer Papierdüte die Spitze ab, stellt sie umgekehrt auf eine geeignete Unterlage und zündet sie rundherum unten an, so kann man das oben entweichende Gas anzünden. Nach dem Ausblasen einer Kerzen- oder Petroleumflamme kann man den aufsteigenden Dampf in ziemlicher Entfernung vom Docht wieder anzünden. Ein feiner, durch eine Kerzenflamme gehaltener Platindraht glüht nur am Rande, nicht in der Mitte, ein Papier zeigt in einer kleinen Gasflamme einen Brandring (Abb. 365).

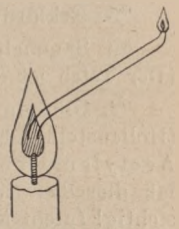


Abb. 364.

Eine Kerzenflamme besteht nach Abb. 366 aus einem dunklen Kern unverbrannten Gases, daß sich durch die Hitze aus dem Kerzenmaterial bildet, einer stark leuchtenden Hülle *efg* und einer schwach leuchtenden äußeren *cdb*. Die Leuchtkraft der inneren Hülle beruht auf der Ausscheidung von festen Kohlenstoffteilchen, die in der äußeren Hülle zu CO_2 verbrennen, in der inneren aber nur durch den dort sich oxydierenden Wasserstoff zum Glühen gebracht werden. Der Beweis hierfür wird durch folgende Tatsachen geführt:

1. Bei reichlicher Anwesenheit solcher Teilchen scheiden sie sich als Ruß aus, ebenso bei Abkühlung.

2. Die Gase C_2H_4 und C_2H_2, überhaupt alle Kohlenwasserstoffe außer CH_4, bei großer Hitze auch letzteres, zerfallen nachweisbar bei Erhitzung unter Luftabschluß (Hindurchleiten durch glühende Röhren — **Versuch*) in freien Kohlenstoff und CH_4 bzw. H.

3. Leuchtende Flammen geben ein ununterbrochenes Spektrum. Dies ist eine Eigenschaft nur glühender fester oder flüssiger Stoffe.

4. Nicht leuchtende Flammen lassen sich durch Beimischung suspendierter fester Teilchen leuchtend machen (**Versuche*).

5. Mittels eines stark vergrößernden Projektionsapparats kann man die Anwesenheit der Rußteilchen in der Flamme direkt nachweisen.

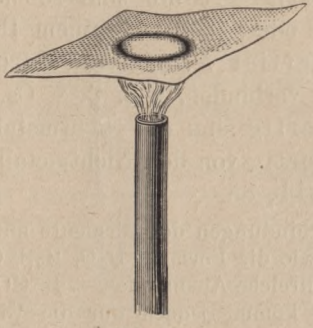


Abb. 365.



Abb. 366.

Die Verbrennungsprodukte einer Flamme sind H_2O-(Dampf) und CO_2. Daß sie schwerer sind als das Brennmaterial, läßt sich mittels einer Kerze

nachweisen, die man zusammen mit einem über ihr angebrachten Zylinder mit Ätznatron auf einer Seite einer Wage anbringt. (*Versuch.*)

Übungen: 1. Stelle die Gleichung für die Bildung des Äthylens aus Alkohol, C_2H_6O, auf.

2. Außer CO_2 und H_2O sind bei der Verbrennung einer Kerze keine Produkte nachweisbar. Aus welchen Elementen kann also das Material nur bestehen?

3. Fleischwaren werden durch Räuchern haltbar gemacht. Was folgt daraus betreffs des Rauches?

4. Welcher Bestandteil des Leuchtgases bedingt seine Giftigkeit?

*5. Erklärung des Gebrauchs eines Lötrohrs.

*6. Sammeln einer kleinen Menge Sumpfgas mittels Trichters und Flasche. (Der Teich ist die pneumatische Wanne.)

*7. Gib ein kleines Stückchen CaC_2 in ein Reagenzglas in Silbernitrat-(Höllenstein)-Lösung, filtriere den entstandenen braunen Niederschlag von Acetylensilber, C_2Ag_2, ab, zerreiße das Filter noch feucht in mehrere Stücke, laß dieselben trocknen und erhitze sie, wenn sie völlig trocken sind, vorsichtig! (nicht anfassen!) Explosivstoff.

*8. Untersuche die Bedingungen des Zurückschlagens der Bunsenflamme.

*9. Wodurch unterscheidet man verbrennende tierische Substanz von pflanzlicher?

c) Organische Verbindungen des Kohlenstoffs.

§ 210. Wertigkeit. Vergleichen wir die Formeln verschiedener vorher erwähnter Salze, so bemerken wir, daß z. B. die Metalle K und und Na stets ein saures H-Atom, dagegen Ca, Mg, Zn, Cu stets deren zwei, Fe zwei oder drei (§ 191), Al drei ersetzt. Man nennt dementsprechend die betreffenden Atome ein- oder mehrwertig und definiert allgemein:

Einwertige Atome sind solche, die ein H-Atom ersetzen, z. B. K, Na, Ag oder sich mit einem H-Atom verbinden, z. B. Cl, Br, J.

Zweiwertige Atome sind solche, die zwei H ersetzen oder sich mit zwei H verbinden, z. B. O, S, Ca, Zn u. s. f.

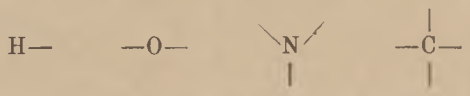
Dreiwertig sind die Nichtmetalle N und P, das Metall Al.

Vierwertig von den Nichtmetallen vor allem C (und Si, s. § 215), Metalle Pt, Pb, Sn.

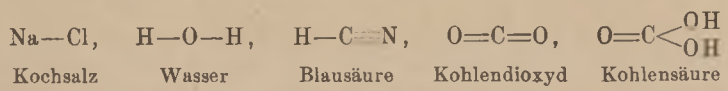
Die Verbindungen der Elemente miteinander folgen in der Regel ihrer Wertigkeit, wie die Formeln H_2O, H_2S, CO_2, $NaOH$ usw. zeigen, jedoch gibt es davon zahlreiche Ausnahmen, z. B. CO, NO, NO_2, SO_2 und SO_3 usw. Für das folgende kommt jedoch nur die Vierwertigkeit des Kohlenstoffs in Betracht, die durchgehends gilt, z. B. CNH, CH_2O, $CHCl_3$ u. a. m. (Ausnahme CO).

Die Wertigkeit ist kein Maß für die Stärke, mit der ein Atom die anderen an sich bindet, sondern nur für die Anzahl derselben. Man kann

sich ihr entsprechend das Atom mit Angriffsflächen oder Angriffspunkten versehen denken, die man durch Striche andeutet,

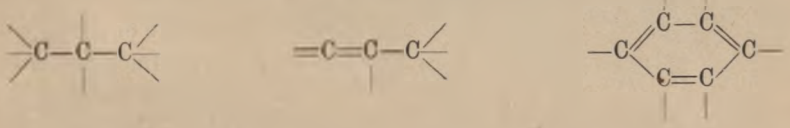


Indem man diese von Atom zu Atom zieht, kann man weiter die Verkettung derselben symbolisch darstellen. So ergeben sich sogenannte **Struktur- oder Konstitutionsformeln,** z. B.:



Diese theoretischen Vorstellungen sind freilich für die anorganische Chemie nur mit Einschränkungen und allerlei Zusätzen brauchbar, sie haben sich aber außerordentlich fruchtbar erwiesen im Gebiet der organischen Chemie.

§ 211. Organische Kohlenstoffverbindungen. Der Kohlenstoff hat die keinem anderen Element in solchem Grade zukommende Eigenschaft, daß seine Atome sich aneinander binden können, und zwar sowohl mit einer wie mit zwei oder drei Wertigkeiten C—C, C=C, C≡C und bis zu beliebig hoher Zahl, so daß ganze Ketten entstehen, wie z. B.



Die daran noch freien Wertigkeiten können mit anderen Atomen oder Atomgruppen, entsprechend deren Wertigkeit, besetzt werden und so eine Unzahl von Verbindungen entstehen, deren „Skelett" sozusagen die C-Atome bilden. Aus solchen Verbindungen bestehen die Körper der Pflanzen und Tiere, sowie unzählige künstlich hergestellte organische Stoffe.

Die Elemente, welche außer Kohlenstoff an diesen beteiligt sind, sind in erster Linie Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, daneben Schwefel, Phosphor und Eisen und in dritter Linie Chlor, Kalium, Natrium, Calcium und Magnesium. Eine eingehende Behandlung der organischen Chemie muß der Oberstufe vorbehalten bleiben.

Geschichtliches: Bis zum Anfang des 19. Jahrhunderts glaubte man, daß die organischen Stoffe nur durch die Einwirkung einer besonderen „Lebenskraft" entstehen könnten, weil alle Versuche zu ihrer künstlichen Herstellung fehlgeschlagen waren. Die Synthese des Harnstoffs (§ 200) durch WÖHLER (1828) widerlegte diese Ansicht, bald zeigten weitere erfolgreiche Synthesen, daß im Grundsatz auch jeder organische Stoff künstlich herstellbar ist, wenn man nur seine Konstitution (d. i. die Anordnung der Atome im Molekül) ergründet hat. Um dieses Problem dreht sich die Forschung im weiteren Verlauf, das wesentlichste Verdienst an seiner Lösung gebührt den Forschern LIEBIG, WÖHLER, TRAUBE, FALKLAND und KEKULÉ. Der letztere

führte die Wertigkeitslehre in die organische Chemie ein und fand damit den Schlüssel zu der Vielgestaltigkeit der C-Verbindungen. Viele der im Laufe der Zeit ermittelten synthetischen Verfahren finden bereits eine großartige technische Anwendung (Indigo, Alizarin, Rosenöl, Campher u. a.), andere werden voraussichtlich in absehbarer Zeit folgen (Kautschuk, Chinin usw.). Auf manchen Gebieten, so dem der Farbstoffe und Heilmittel, hat die chemische Kunst zu weit zahlreicheren und teilweise auch wirksameren Produkten geführt, als sie uns die Pflanze zur Verfügung stellt.

§ 212. Die Assimilation der Pflanzen. **Versuch:* Unter einem großen Trichter oder in einer Flasche (Abb. 367) werden grüne Wasserpflanzen, mit CO_2-haltigem Wasser überdeckt, ins Sonnenlicht gestellt. Man sieht bald Gasbläschen aufsteigen, die sich als Sauerstoff erweisen, während der CO_2-Gehalt des Wassers abnimmt.

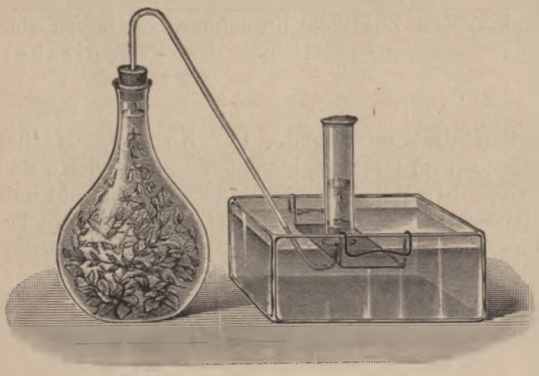


Abb. 367.

Die grünen Pflanzenteile nehmen aus der Luft oder dem Wasser Kohlendioxyd auf, verwenden es zur Bildung organischer Stoffe und geben eine entsprechende Sauerstoffmenge wieder ab. Dieser Vorgang heißt Assimilation (= Ähnlichmachung, Angliederung, nämlich des toten Stoffes an den Kreislauf des Lebens). Er findet nur im Lichte und nur in blattgrünhaltigen Pflanzenteilen statt.

Die Assimilation ist ein Reduktionsvorgang: $CO_2 = C + O_2$. Da der umgekehrte Vorgang, die Verbrennung des Kohlenstoffs, ein starke Wärme (= Energie) abgebender Vorgang ist, so wird hier bei der Assimilation Energie verbraucht. Diese liefert das Licht.

Das erste in grünen Blättern nachweisbare Produkt der Assimilation ist die Stärke (**Versuch:* Nachweis derselben durch Jod). Dieser Stoff besitzt schon einen sehr verwickelten molekularen Aufbau (ein Vielfaches von $C_6H_{10}O_5$). Die Zwischenprodukte sind annähernd, aber noch nicht ganz sicher bekannt. Sicher ist, daß als erstes Produkt durch Reduktion der Kohlensäure der sogenannte Formaldehyd, CH_2O, entsteht, aus dem dann Traubenzucker, $C_6H_{12}O_6$, und weiterhin Stärke entstehen.

Formaldehyd kommt in wässeriger Lösung unter dem Namen Formalin in den Handel, er wird als kräftiges Desinfektionsmittel heute viel gebraucht.

Neben der Assimilation geht in den Pflanzen auch eine **Atmung,** d. h. ein Verbrauch von O und Abgabe von CO_2, einher.

**Versuch:* In einem geräumigen Standzylinder bringt man abends eine größere Menge Blätter und Blüten und bedeckt ihn gut. Am folgenden Morgen läßt sich leicht CO_2 nachweisen. Mit Pilzen kann man auch am Tage nach hinreichend langer Zeit genügend CO_2 erhalten. Warum?

Bei den grünen Pflanzen überwiegt am Tage die Assimilation die Atmung bei weitem.

§ 213. Mineralische Nährstoffe der Pflanzen. Zur Vermittlung der chemischen Reaktionen in ihrem Körper bedürfen die Pflanzen der Anwesenheit gewisser Salze (Metalle und Säurereste) in ihren Säften, und zwar der Nitrate, Sulfate und Phosphate des K, Ca, Mg und Fe.

Durch **Versuche* mit entsprechenden Nährsalzlösungen kann man leicht zeigen, daß das Wachstum sich stets nach dem in der verhältnismäßig geringsten Menge anwesenden Stoffe richtet. (Gesetz des Minimums.) In der Pflanzenasche sind die Salze jener Metalle enthalten. Die künstliche Zufuhr (Düngung) ist nur für Kalium, Stickstoff und Phosphor (vgl. § 202) notwendig, manchmal auch für Schwefel. Erst seit LIEBIG die Grundlagen der Pflanzenchemie klargestellt hat, gibt es eine rationelle Landwirtschaft.

Die Nitrate, Sulfate und Phosphate sind nicht nur als Reaktionsvermittler, sondern auch zum Aufbau der höchstverwickelten organischen Verbindungen, der Eiweißkörper, notwendig.

§ 214. Kohlehydrate, Fette und Eiweißstoffe. Unter **Kohlehydraten** versteht man eine große Gruppe organischer Stoffe, die alle C, H und O in solchem Verhältnis enthalten, daß auf je zwei H-Atome ein O-Atom kommt, so daß sie scheinbar aus Kohle und Wasser zusammengesetzt sind. Die wichtigsten sind **Traubenzucker,** $\mathbf{C_6H_{12}O_6}$ (in vielen süßen Früchten, Honig u. a.), **Rohr- oder Rübenzucker,** $C_{12}H_{22}O_{11}$, **Stärke** und **Zellstoff,** $(C_6H_{10}O_5)_n$. Sie sind, wie schon erwähnt, das erste Produkt der Assimilation.

Aus Traubenzucker wird durch den **Gärungsvorgang,** verursacht durch die Hefepilze, Alkohol und Kohlendioxyd (**Versuch*)

$$C_6H_{12}O_6 = 2\,C_2H_6O + 2\,CO_2.$$

Stärkehaltige Früchte werden gärungsfähig dadurch, daß die Stärke durch einen vorbereitenden Vorgang, das sogenannte Maischen, zuerst in Traubenzucker verwandelt wird. Alkoholische Getränke.

Alkohol verwandelt sich durch Oxydation in **Essigsäure,** $C_2H_4O_2$ (nur eines der H-Atome ist sauer).

Durch Reduktion entstehen in den Pflanzen aus den Kohlehydraten **Fette** mit erheblich geringerem Sauerstoffgehalt (z. B. Palmitin, $C_{51}H_{98}O_6$). Dieselben sind Verbindungen des alkoholähnlichen Glycerins ($C_3H_8O_3$) mit den sogenannten Fettsäuren. Sie lassen sich in diese beiden Teile spalten. Die freien Fettsäuren werden als Kerzenmaterial

(Stearinkerzen) und zur Fabrikation der Seifen benutzt, die ihre Natrium- bzw. Kaliumsalze (Toilettenseife, Schmierseife) sind. Die Verwendung des Glycerins ist bekannt.

Auf welche Weise der mit den Nitraten aus dem Boden aufgenommene Stickstoff in den Kreislauf des Stoffes hineingezogen wird, ist noch ziemlich wenig bekannt. Die zuletzt daraus gebildeten **Eiweißstoffe** sind so verwickelt gebaut, daß man ihre genaue Konstitution noch heute nicht angeben kann. Alle natürlichen Eiweißstoffe oder Proteine sind zunächst schon Gemische aus zahlreichen einzelnen Eiweißarten, deren jedes wieder eine hochmolekulare chemische Verbindung ist. Jede Pflanzen- und Tierart hat ihre für sie charakteristischen Eiweißkörper, die bei der Nahrungsaufnahme zunächst weitgehend abgebaut und dann wieder zu den für den Ernährten eigentümlichen Eiweißarten aufgebaut werden (Dissimilation — Assimilation), s. auch § 200.



Abb. 368.

Man trennt die Eiweißstoffe herkömmlich nach ihrer Gerinnbarkeit durch Erhitzen (Hühnereiweiß, Milchalbumin), Säuren (Milchkasein), ihrer Gelatinierbarkeit (Leim) u. a. m.

*Übungen: 1. *Versuche* über die Ernährung der Pflanzen, z. B. einer Zwergsonnenblume. Nährsalzlösung: 1 g $Ca(NO_3)_2$, je $^1/_4$ g KCl, $MgSO_4$, KH_2PO_4 und einige Kriställchen $FeSO_4$. Soll der Versuch der Eisenentziehung (Bleichsucht) gelingen, so müssen die übrigen Chemikalien völlig eisenfrei sein.

2. Herstellung von Stärke aus Kartoffeln (Abb. 368).

3. Feststellung der Stärke mittels Jods in einem Kresseblatt. Teilweise Bedeckung des Blattes mit Kork.

4. Gärung von verdünntem Honig mit Hefezusatz. Kalkprobe auf CO_2. Abdestillieren des Alkohols. Destillation von Bier und Wein.

5. Nachweis von Traubenzucker mittels sogenannter FEHLINGscher Lösung. (Reduktion von Kupferhydroxyd zu Kupferoxydul.) Ausbleiben der Reaktion bei Rübenzucker oder Stärke. Umwandlung derselben in Traubenzucker durch Kochen mit H_2SO_4, Probe mit FEHLINGscher Lösung.

6. Umwandlung von Stärkekleister in Zucker durch Malzauszug oder Speichel. Probe wie vorher.

7. Einwirkung von gelöster Natronseife auf Kalksalze (vgl. § 206).

8. Versuche über Eiweißgerinnung. Künstliche Verdauung von Fleisch mittels Pepsins und Salzsäure.

K. Silicium, Kieselsäure und Silikate.

§ 215. Silicium (Si = 28) ist ein dem Kohlenstoff chemisch in vieler Hinsicht ähnliches, vierwertiges, nichtmetallisches Element, das in freiem Zustand nicht vorkommt, dessen Verbindungen jedoch den Hauptanteil der festen Erdkruste ausmachen. Man kann es aus seinem Dioxyd, dem Quarz SiO_2 (s. unten) durch Erhitzen mit Magnesium oder Aluminium gewinnen, es bildet ein braunschwarzes, amorphes Pulver oder diamantähnliche Kristalle.

§ 216. Siliciumdioxyd oder Kieselsäureanhydrid, SiO_2, ist nächst dem Wasser das verbreitetste aller Mineralien. Es kommt vor 1. kristallisiert als **Quarz.** Dieser bildet nicht nur einen Hauptbestandteil zahlreicher Gesteine (s. unten), sondern findet sich auch für sich allein als Quarzitfels, Kieselsteine, Sand, Sandstein. Wohlausgebildete Kristalle des Quarzes heißen Bergkristall; grau gefärbt: Rauchtopas; violett gefärbt: Amethyst. Andere Abarten: Milchquarz, Rosenquarz, Katzenauge, Tigerauge usf. Undeutlich kristallisierter Quarz bildet u. a. den Kieselschiefer, Chalcedon, Feuerstein, Carneol, Onyx, Jaspis, Achat u.a.m. — 2. Amorphes, wasserhaltiges SiO_2 ist der Opal, sowie der aus heißen Quellen abgeschiedene Kieselsinter (Island, Yellowstone). Diese Form ist in Wasser etwas löslich. Manche Pflanzen und Tiere bauen aus derart gelöster Kieselsäure Hartteile (Grashalme, Infusorienpanzer, Schwämme). Große Ablagerungen vorweltlicher Diatomeenpanzer bilden die sogenannte Kieselgur (Lüneburger Heide).



Abb. 369.

Die gewöhnliche Form des Bergkristalls ist die in Abb. 369 dargestellte sechsseitige Säule mit aufgesetzter Doppelpyramide, doch ist meist nur die eine Seite ungestört ausgebildet.

Versuche:* Durch längeres Zusammenschmelzen von fein gepulvertem Sand mit Pottasche oder Soda (1 : 4) oder längeres Kochen von zerstoßenem Feuerstein mit Lauge erhält man in Wasser lösliche Silikate von Kalium bzw. Natrium, die man **Wasserglas nennt. Setzt man zu dieser Lösung verdünnte Salzsäure, so scheidet sich ein kleisterartiger Niederschlag ab, der teilweise aus SiO_2, teilweise aus Hydraten desselben, wie z. B. H_2SiO_3, besteht und beim Trocknen ganz in das Anhydrid übergeht. Verwendet man sehr verdünnte Lösungen, so kann man die **Kieselsäure** in der Lösung behalten. Salze der Kieselsäure heißen **Silikate.**

§ 217. Glas ist ein durch Zusammenschmelzen von Sand mit Soda und Kalk oder auch Pottasche und Kalk hergestelltes amorphes

Doppelsilikat von Na–Ca oder K–Ca. Ersteres ist das gewöhnliche Glas, letzteres das schwer schmelzbare sogenannte böhmische Glas. Statt des Calciums können auch andere Metalle, vor allem Blei eintreten (Kristallglas). Abb. 370, Glasofen.

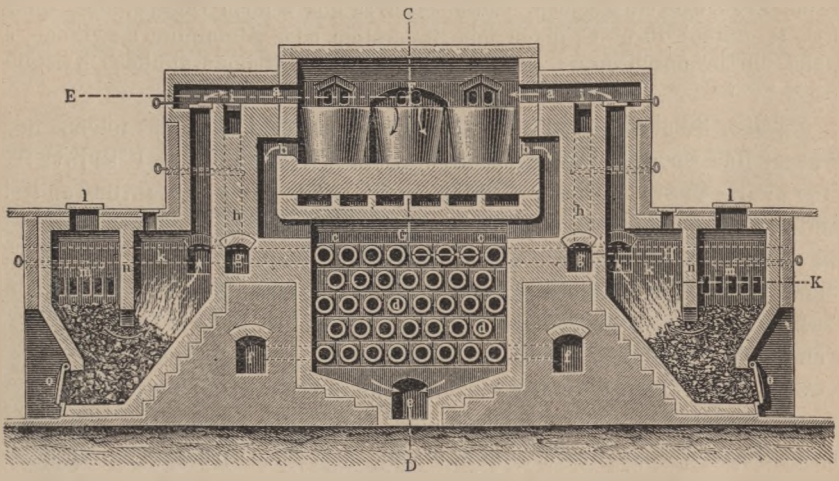


Abb. 370.

**Versuch:* Zusammenschmelzen von Sand mit Pottasche und Bleioxyd vor dem Lötrohr. Die Schmelze läßt sich zu Fäden ausziehen.

Durch Zusatz anderer Metalloxyde erhält man farbige Gläser [**Versuche* mit der Boraxperle. Die leichter schmelzbaren Borate [1]) verhalten sich den Silikaten ähnlich]. Alle für den Gebrauch bestimmten Gläser müssen in besonderen Kühlöfen sehr langsam abgekühlt werden, da sie sonst zu leicht zerspringen. Hartglas, Jenaer Glas. — Bologneser Glastränen. — Die Herstellung der meisten Glaswaren geschieht durch Blasen, in bestimmten Fällen auch durch Pressen oder Gießen.

§ 218. Natürliche Silikate. Die feste Erdkruste besteht zum weitaus größten Teile aus Silikaten der Metalle K, Na, Ca, Mg, Al und Fe. Abb. 371 stellt die ungefähre Häufigkeit der Elemente in der Erdkruste dar.

Die wichtigsten mineralischen Silikate sind die folgenden (nur die Metalle sind angegeben; die sich gegenseitig vertretenden eingeklammert):

Feldspat oder Orthoklas [2]): (K, Na), Al, weiß bis bräunlichrot.

Albit [3])**-Anorthit** (Natronfeldspat): (Na, Ca), Al, meist weißlich.

---

[1]) Siehe den folgenden Paragraphen.
[2]) *orthos* (griech.) = richtig, *klas-* (griech.), Verbalstamm = brechen.
[3]) *albus* (lat.) = weiß.

Augit[1]) **und Hornblende:** Mg, Fe, Ca, Al, meist dunkelgrün bis schwarz. Abart **Asbest**[2]): weiß, faserig.

Glimmer: Fe, Mg, (K, Na): sehr leicht spaltbar, durchsichtig, hell bis braun.

Olivin: Mg, Fe, meist grünlich bis gelb, auch als Edelstein [Chrysolith][3]) verwertet. Andere hierhin gehörige Edelsteine: **Topas**[4]) (Al), Beryll[5]) und **Smaragd** (Be, Al), **Granat**[6]) (Fe, Al), Turmalin[7]) u. a. m.

Talk oder **Speckstein** und **Meerschaum** (u. dgl.) sind sehr weiche weiße Mg-Silikate, etwas härter ist der ebenfalls aus Mg-Silikat bestehende grüne **Serpentin**[8]).

In der Natur erleiden die meisten Silikate, vor allem die Feldspate, eine allmähliche Zersetzung durch die Kohlensäure der Luft.

**Versuch:* Einleiten von CO_2 in Wasserglas, Abscheidung von Kieselsäure.

Aus den Feldspaten werden auf diese Weise die Metalle K, Na und Ca in Form der Carbonate ausgelaugt, während unlösliches Al-Silikat neben freier Kieselsäure (SiO_2) zurückbleibt. Völlig reines, weißes Al-Silikat heißt **Porzellanerde** oder Kaolin, unreines mit Kalk und Sand vermischtes **Ton,** mit viel Kalk **Mergel,** mit viel Sand **Lehm.** Diese in der Natur in großen Ablagerungen vorkommenden Massen bilden den Ausgangspunkt für die Herstellung der **Töpferwaren** (Porzellan, Steingut und Steinzeug, Email). Die rote Farbe solcher Waren stammt stets von Fe her.

Gestein heißt jedes Mineral oder Mineraliengemenge, das gebirgsbildend auftritt. Die Geologie unterscheidet eruptive Gesteine, Sedimentgesteine, kristallinische Schiefer und Trümmergesteine. Die Sedimente bestehen größtenteils aus $CaCO_3$, die drei anderen Gruppen in der Hauptsache aus Silikaten.

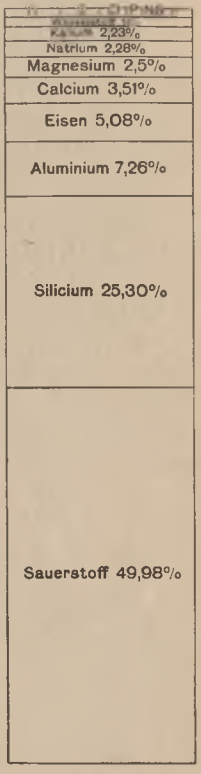


Abb. 371.

Eruptive Gesteine: **Granit** (Feldspat, Quarz, Glimmer), **Porphyr** (Feldspat, Quarz), **Basalt** (Grundmasse Olivin, eingesprengt Augit und Hornblende), **Trachyt** (Feldspat, Glimmer, Hornblende).

---

[1]) *augē* (griech.) = Glanz.
[2]) *a-sbestos* (griech.) = unverbrennlich.
[3]) *chrysos* (griech.) = Gold, *lithos* (griech.) = Stein.
[4]) Insel Topazos im Roten Meer.
[5]) Griech. Name *beryllion* für Bergkristall, daher „Brille".
[6]) Blüte des Granatapfels, *granum* (lat.) = Korn.
[7]) Singhalesisch.
[8]) *serpens* (lat.) = Schlange.

Kristallinische Schiefer: **Gneis** (Feldspat, Quarz, Glimmer), **Glimmerschiefer** (Quarz, Glimmer), **Phyllit** oder **Urtonschiefer** (Glimmer, Quarz, Feldspat).

Trümmergesteine: **Sandstein** (Quarzkörnchen durch Ton oder Kalk verkittet), **Tonschiefer** (aus feldspatreichen Gesteinen, deren Trümmer als Schlamm erhärtet sind), **Grauwacke,** ein „Konglomerat" aus abrollten Gesteinstrümmern, die durch Ton oder Kalk zusammengekittet sind.

§ 219. Bor (B = 11) ist ein dem Silicium ziemlich ähnliches, jedoch dreiwertiges Element, dessen wichtigste Verbindung die Borsäure, H_3BO_3, ist. Dieselbe findet sich in manchen vulkanischen Gegenden (Toskana), wo sie mit heißen Wasserdämpfen aus der Erde aufsteigt, manchmal auch in größeren Ablagerungen (Sassolin). Sie wird als mildes Desinfektionsmittel außerordentlich viel in der Medizin angewendet (Borsalbe, Verbandwatte und -gaze).

Von einem anderen Hydrat des Bortrioxyds, B_2O_3, der sogenannten Tetraborsäure, $H_2B_4O_7$, leitet sich das gebräuchlichste Borat, der Borax, $Na_2B_4O_7$, ab, der als Lötmittel (Lösung der Metalloxyde), in der Glas- und Emailindustrie, als Zusatz zum Waschwasser u. a. vielfache Verwendung findet.

**Versuche:* Grünfärbung einer Bunsen- oder Spiritusflamme durch Borsäure. — Boraxperlen an der Platindrahtöse, Färbung durch Metallsalze. — Ausfällung der Borsäure aus heißer Boraxlösung durch Salzsäure.

Sachverzeichnis.

(Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf die Anhänge I bis IV.)

Abendstern (204).
Aberration des Fixsternlichtes 47.
Abplattung der Erde 56.
Absolutes Gewicht 9.
Abstoßungsgesetz elektrischer Körper 160.
— magnetischer Pole 150.
Achse, Himmels- (Welt-) 202.
Achsendrehung der Erde 12, 202.
Aderhaut 140.
Adhäsion 36.
Äquator, Himmels- 202.
—, magnetischer 157.
Aggregationsregel 4.
Aggregatzustände 4, 94.
Akkommodation des Auges 141.
Akkord 112.
Akkumulator 189.
Akustik 108.
Alkarazza 98.
Amboß (Ohr) 120.
Ampère 182, 183, 192.
—, Maß der Stromstärke 183, 188.
Amperemeter 183.
Amperesche Regel 182.
Amplitude 52.
Aneroid 75.
Angriffspunkt einer Kraft 17.
Anion 187.
Anker einer Dynamomaschine 199.
Anode 187.
Anodenlicht (208).
Antikathode (209).
Anziehungsgesetze s. Abstoßungsgesetze.
Aräometer 69.
Arbeit, Erhaltung der 20, 22, 24, 25, 26, 28, 54, 64, 175, 181.
Arbeitsmaschinen 29.
Archimedes 22, 66.
Archimedisches Gesetz 65, 85.
Aristarch 203.
Armieren 153.
Artesische Brunnen 64.
Asteroiden 204.
Astrologie 202.
Atmen 85.
Atmosphärendruck 74.
Atomhypothese 39.
Audion (216).
Aufdruck 58.
Auftrieb in Flüssigkeiten 66.
— in Gasen 85.
Auge 140.
Ausdehnsamkeit der Luft 4, 77.
Ausdehnung durch die Wärme 90, 92.
Ausgleich, elektrischer 162, 175, 180.

Barograph und Barometer 74.
Batterie von Leidener Flaschen 171.
—, galvanische 180.
Bauch einer Schwingung 113.
Becquerelstrahlen (210).
Beharrungsgesetz 14.
Beleuchtungsstärke 125.
Benzenbergs Fallversuch 47, (203).
Berührungselektrizität 178.
Beschleunigung 42.
— durch die Schwere 44.
Bewegung der Körper 12, 41.
—, drehende 54.
—, zwangläufige 50.
Bewegungsenergie 54.
Bewegungshindernisse 16.
Bewegungsparallelogramm 45.
Bewegungswirkungen der Kräfte 14.
Bikonkavlinse 135.
Bikonvexlinse 135.
Bild, optisches 128, 130, 136.
Blasebalg 79.
Blinder Fleck des Auges 140.
Blitz 176.
Blitzableiter 177.
Bodendruck der Flüssigkeiten 59.
Bogengänge des Ohres 120.
Bogenlicht, elektrisches 184.
Boyles Gesetz 77.
Brechende Kante, brechender Winkel 134.
Brechung des Lichtes 126, 131.
Brennpunkt eines Hohlspiegels 123, 130.
— einer Linse 135.
Brillen 142.
Bruno 204.
Bunsen 125, 147, 190.
—-Element 190.
—s Photometer 125.
Büschellicht 177.
Bussole 155.

Camera obscura 123, 138, 141.
Celsius 87.
Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes 186.
Chladnische Klangfiguren 113.
Chromsäureelement 189.
Curie 210.

Dampf, Wasser- 96.
Dampfmaschine 99.
Daniellelement 190.
Dasymeter 85.
Deklination, magnetische 155.
Descartes 132.
Destillierapparat 97.
Detektoren (214).
Dichte, elektrische 165.
Diffusion 39.
Dispersion 144.
Dissonanz 112.
Donner 176.
Doppler-Effekt 112.
Drahtspulen 192.
Drehende Bewegung 54.
Drehmoment 21.
Drehungsachse 30.
Dreiklang 112.
Druck der Flüssigkeiten 57, 61.
— der Gase (Luft) 72, 76.
Druckfortpflanzung in Flüssigkeiten und Gasen 62, 72.
Druckpumpe 79.
Druckwirkungen der Kräfte 14.
Dualistische Theorie der Elektrizität 169.
Duddelphänomen (212).
Dunkelkammer 123, 138.
Dunkle Körper 122.
Durchscheinende und durchsichtige Körper 122.
Durdreiklang 112.
Durtonleiter 110
Dynamomaschine 199.
Dynamometer 17.

Echo 118.
Edison 184.
Einfallsebene, -lot, -winkel 126, 131.
Eispunkt 87.
Ekliptik 202.
Elastizität 35.
Elektrische Dichte 165.
— Energieübertragung 201.
— Influenz (Verteilung) 167.
— Ladung 157, 163.
Elektrischer Strom 175, 180.
Elektrisches Pendel 158.
Elektrisiermaschinen 172.
Elektrizitätsgrad 162.
Elektrizitätsmenge 162.
Elektroden 186.
Elektrolyse 186.
Elektromagnet 192.
Elektrometer 164.
Elektromotor 193, 200.
Elektromotorische Kraft 179.
Elektronen 170, (211, 315).
Elektrophor 168.
Elektroskop 161.
Elemente, galvanische 179, 189, (208).
Elmsfeuer 177.
Energie, Energiesatz s. Arbeit.
Entladung, elektrische 175, 180, (208).
Eratosthenes (202).
Erdabplattung 56, (203).
Erde, Kugelgestalt und Achsendrehung (202).
Erdleitung 115.
Erdmagnetismus 156.
Erdumfang 5, (202).
Eustachische Röhre 120.
Experimentum crucis (Newtons) 145.

Fadentelephon 116.
Fahrenheit 88.
Fahrrad 29.
Fahrradpumpe 83.
Fall auf der schiefen Ebene 41, 51.
—, freier 42.
Faraday 165, 187, 188, 198.
Farben der Körper 146
Farbenzerstreuung 144.
Federwage 8.
Feld, magnetisches 154.
Fernrohre 139.
Fernsprecher 196.
Feste Körper 3.
Festigkeit der Körper 36.
Fettfleckphotometer 125.
Feuerspritze 83.
Finsternisse 124, 202.
Fixsterne 202.
Flächenmaße 5.
Flammofen, elektrischer 185.
Flaschenzug 19.
Fliehkraft 55.
Flugmaschine 96.
Flugrad, elektrisches 166.
Flüssigkeiten 3, 40, 57.
Formarten 3.
Fortpflanzung des Schalles 116.
— — Lichtes 122, 124.
Foucaultscher Pendelversuch 53, (203).
Franklin 169, 171, 176.
Fundamentalabstand eines Thermometers 87.
Funke, elektrischer 158, 164, 176, 184.
Funkeninduktor 198.
Funkentelegraphie (211).

Galilei 10, 12, 16, 44, 53, 73, 93, 113, 139, (204).
Galvani 178.

Galvanometer und Galvanoskop 183.
Galvanoplastik und Galvanostegie 190.
Gase 3, 11, 72.
—, elektrische Entladungen in Gasen (208).
Gasometer 83.
Gauß 196, (206).
Gebläse 79.
Gefälle schiefer Ebenen 24.
Gefäße, graduierte 6.
—, kommunizierende 64.
Gefrierpunkt 87, 94.
Gehörorgan 120.
Geisslersche Röhren 177, (208).
Gelber Fleck des Auges 140.
Generator (Dynamo-) 199.
Geozentrisches Weltsystem (203).
Geräusch 100.
Geschwindigkeit 12.
— des Lichtes 124.
— — Schalles 117.
Gewicht 6, 8, 10.
Gewichtsverlust, scheinbarer 66, 85.
Gewitter 176.
Gilbert 157, 161.
Glaselektrizität 161.
Glaskörper des Auges 141.
Gleichförmige Bewegung 12.
Gleichgewicht zwischen Kräften 14.
— schwerer Körper 31.
Gleichgewichtsorgan 120.
Gleichmäßig beschleunigte Bewegung 42.
Glimmlicht 166, 177, (208).
Glühlampe 184.
Gnomon 12, 157, (206).
Göpel 24.
Gradmessung (202).
Gramm 8.
Grammescher Ring 199.
Grundton und Obertöne 113.
Guericke, Otto v. 10, 80, 116, 173.

Haarröhrchen 40.
Hagel 101.
Hammer des Ohres 120.
—, Wagnerscher 194.
Harmonie 112.
Harmonium 114.
Härte 36.
Harzelektrizität 161.
Haushaltswage 8.
Hebel 21.
Heber 83.
Heliozentrisches Weltsystem (203).
Helmholtz 28, 113.
Heronsball 83.
Himmelsäquator (202).
Himmelskörper (201).
Hitzdrahtgalvanometer 185.
Höhenmessung, barometrische 74.
Hohlspiegel 129.
Horizont (202).
Horizontal 7, 64.
Hornhaut 140.
Huygens 53.
Hydraulische Presse 63.
Hydrostatisches Paradoxon 59, 62.
Hydrostatische Wage 66.

Indifferentes Gleichgewicht 31.
Indifferenzzone eines Magnets 149.
Induktion 197.
Influenz, elektrische 167.
—, magnetische 151.
Influenzmaschine 173.
Inklination, magnetische 156.
Innendruck bei Flüssigkeiten 58.
Intervalle, musikalische 111.
Ionen 187.
Isolatoren 159.

Jahreszeiten (206).
Joule 29, 184, (207).
Jupiter (204).

Käfigversuch 165.
Kalorie 89.
Kältemischung 96.
Kamera 123, 138, 141.
Kammerton 111.
Kanalstrahlen (209).
Kanalwage 64.
Kapazität, elektrische 163, (212).
Kapillarität 40.
Kartesianischer Taucher 68.
Kathode 187.
Kathodenlicht, Kathodenstrahlen (208).
Kation 187.
Kehlkopf 115.
Keil 26.
Kepler (204).
Kilogramm 8.
Kinematograph 143.
Klang 109.
Klangfarbe 110.
Klangfiguren 113.
Klima, See-, Festlands- 90.
Klingel, elektrische 194.
Knall 110.
Knoten einer Schwingung 113.
Kohäsion 36
Kolben einer Pumpe 79.
Kollektor der Dynamomaschine 199.
Kometen (204).
Kommunizierende Gefäße 64.
Kompaß 155.
Komplementärfarben 145.
Komponenten einer Kraft 49.
Kondensationswärme 97.
Kondensator der Dampfmaschine 100.
—, elektrischer 171, 179, (212).

Kondensieren 94, 97, 101.
Konduktor 159.
Konsonanz 112.
Kopernikus (203).
Kopplung, elektrische (213).
Kraft 13, 48.
—, Bestimmungsstücke 17.
—, Messung der Kräfte 16.
—, Parallelogramm der Kräfte 48.
Kraftarm 21.
Kraftfeld, magnetisches und Kraftlinien 154, 156, 191.
Kraftweg 20, 22, 24 ff.
Kreisbewegung 54.
Kristallisation 39.
Kristallinse des Auges 141.
Krümmungsradius einer Linse 137.
Kurbel 24.
Kurzsichtiges Auge 142.
Kurzschluß (207).

Labil 31.
Labyrinth des Ohres 120.
Ladung, elektrische 157, 163.
Ladungsmenge 162.
Lagenenergie 54.
Längenmessung 5.
Lastarm 21.
Lastweg 20, 22 ff.
Laterna magica 138.
Läutwerk, elektrisches 194.
Lebendige Kraft 54.
Leclanché-Element 190.
Leidener Flasche 170.
Leistung 98.
Leiter der Elektrizität 159.
— der Wärme 103.
— des Schalles 108, 116.
Lenzsche Regel 198.
Libelle 7.
Licht 121, (217).
Lichtbogen, pfeifender (212).
Lichtgeschwindigkeit 124.
Lichtstärke 125.
Lichtstrahl 122.
Linné 87.
Linsen 134.
Lippenpfeifen 114.
Lochsirene 109.
Lokomotive 100.
Lösung 38.
Lot, lotrecht 7.
Luft, atmosphärische 3, 10, 72.
Luftballon, Luftschiffahrt 85.
Luftdruck 72, 76.
Luftfeuchtigkeit 101.
Luftpumpe 79.
Luftströmungen 104.
Luftthermoskop 93.
Lupe 138.

Magdeburger Halbkugeln 81.
Magnete 147.
Magneteisenerz 147.
Magnetelektrische Maschinen 200.
Magnetinduktion 199.
Magnetische Kraftlinien, Magnetisches Feld 154.
— — der Erde 156.
— — eines Stromes 191.
— Wirkungen elektrischer Ströme 176, 182, 191.
Magnetisierung durch Verteilung 151.
— durch die Erde 156.
Magnetnadel 148.
Magnetpole 149.
Mariottesches Gesetz = Boyles Gesetz.
Mars (204)
Maschinen 18, 20, 29.
Mayer, Rob. 28.
Mechanik 2.
Mechanische Wirkungen elektrischer Entladungen 176.
Mechanisches Wärmeäquivalent 29, 107
Meridian, magnetischer 155.
Merkur (204).
Metallthermometer 92.
Meteoriten (204).
Meteorologie 75, 101.
Meter 5.
Meterkilogramm 28.
Mikrometerschraube 28.
Mikrophon 196.
Mikroskop 139.
Mischfarben 145.
Mischung 38.
Mischungstemperatur 89.
Mitteilung elektrischer Ladung 158.
Mittönen 118.
Molekularhypothese 38.
Molekularmagnete 152.
Molldreiklang 112.
Mondbewegung (202).
Mondfinsternis 124, (202).
Mondphasen (206).
Monochord 112.
Montgolfiere 85.
Morgenstern (204).
Morses Telegraph 195.
Motor, elektrischer 193, 200.
Multiplikator (183).
Musik 110 ff.

Nachbilder 143.
Nachhall 118.
Nadeltelegraph 196.
Nähmaschine 29.
Naturgesetz 2.
Nebel 101.
Negativ elektrisch 161.
Neptun (204).
Netzhaut 140.

Newton 16, 113, 144, (204).
Niederschläge, atmosphärische 101.
Niveau 57.
Nordlicht 177.
Norpol eines Magnets 149.
—, magnetischer der Erde 156.
— des Himmels (201).
Normalkerze 126.

Oberfläche einer Flüssigkeit 40, 57.
Oberflächenspannung 40.
Obertöne 113, 115.
Oersted 183.
Öffnungsfunke 184.
Ohmsches Gesetz (206).
Ohr 120.
Oktave 111.
Optik 121.
Optische Täuschungen 143.
Osmose 40.
Ovales Fenster im Ohr 120.

Pacinottischer Ring 199.
Papinscher Topf 99.
Parabel als Wurfbahn 46.
Paradoxon, hydrostatisches 59, 62.
Parallelogrammgesetz 45, 48.
Pascal 60, 74.
Passatwind 104, (203).
Paukenhöhle des Ohres 120.
Pendel 51.
Pendeluhr 53.
Pendelversuch Foucaults 53, (203).
Perpetuum mobile 28.
Pfeifen 114.
Pferdestärke 28.
Photographie 138.
Photometer 125.
Physiologische Wirkungen elektrischer Entladungen 176, 185.
Pipette 83.
Planeten (202, 204).
Planparallele Platte 132.
Plastische Stoffe 36.
Pleuelstange 101.
Pneumatisches Feuerzeug 107.
Polarlicht 177.
Pole, magnetische der Erde 156.
— des Himmels (201).
Polhöhe eines Ortes (201, 206).
Poren der Körper 4.
Positiv elektrisch 161.
Potential, elektrisches 164.
Potentialdifferenz 164, 179.
Potentielle Energie 54.
Presse, hydraulische 63.
—, Kopier- 27.
Primärstrom 198.
Prime einer Tonleiter 111.
Prisma 133.
Projektionsapparat 138.
Ptolemäus (203).
Pumpen, Wasser- 79, 82.
—, Luft- 79.
Pupille 140.
Pythagoras 113.

Quarte 111.
Quinte 111.

Radiowesen (211).
Radium (210).
Rauminhalt 69.
Réaumur 87.
Rechte-Hand-Regel 182, 191, 193.
Reflexion des Lichtes 126.
— — Schalles 118.
—, totale 133.
—, unregelmäßige 131.
Reflexionsgesetz, -winkel 127.
Regen 101.
Regenbogen 144.
Regenbogenhaut 140.
Reibung 16, 27, 107.
Reibungselektrisiermaschine 172.
Reibungselektrizität 157.
Reif 101.
Relative Bewegung 11.
Remanenter Magnetismus 152, 200.
Resonanz 118.
—, elektrische (213).
Resultierende Bewegung, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft 48.
Rezipient 80.
Richmann 89.
Rolle, bewegliche und feste 18, 19.
Römer, Olaf 87, 124.
Röntgen (209).
Rotation s. Drehung.
Rückkopplung (216).
Rückstoß 61.
Rumford 107.
Rundfunk (216).
Rundes Fenster 120.

Saiten, tönende 112.
Sammellinsen 135, 138.
Sättigung einer Lösung 38.
— eines Magnets 152, 200.
Saturn (204).
Saugheber 83.
Saugpumpe 79.
Saugwirkung der Spitzen 170.
Schall 108.
Schallerreger 108.
Schalleiter 108, 116.
Schaltung galvanischer Elemente 180.
Schatten 124.
Scheinbilder 128, 137.
Schelle, elektrische 194.
Schiebersteuerung 101.
Schiefe Ebene 24, 41, 51.

Schmelzen 94.
Schmelzpunkt 94.
Schmelzwärme 96.
Schnecke des Ohres 120.
Schnee 1, 2, 101.
Schnellwage 35.
Schraube 26, Schiffs- 72.
Schrotwage 7.
Schwerkraft 8.
Schwerpunkt 30.
Schwimmen 67.
Schwimmerregel Ampères 182.
Schwingungen, akustische 109.
— des Pendels 52.
—, elastische 36.
—, elektrische (211).
Schwingungsdauer, Schwingungsweite 52.
Schwingungszahl eines Klanges 111.
— tönender Saiten und Pfeifen 112, 114.
Schwungmaschine 55.
Segners Wasserrad 61.
Sehloch 140.
Sehnenhaut des Auges 140.
Sehnerv 140.
Sehwinkel 143.
Seitendruck 60.
Sekundärströme 198.
Sekunde einer Tonleiter 111.
Sekundenpendel 53.
Selbstinduktion (211).
Selbstleuchtende Körper 121.
Selbstunterbrecher 194, 198.
Senkwage 70.
Septime, Sexte 111.
Sicherungen, Strom- (207).
Sieden, Siedepunkt 87, 96.
Siemens, Werner v. 200.
Sirene 109, 111.
Snellius 131.
Solenoid 192.
Sonnenbahn (202).
Sonnenfinsternis 124, (202).
Sonnensystem (204).
Sonnentag 12, (202).
Sonnenwärme 106.
Spannkraft der Gase 76, 99.
Spannung, mechanische 14.
—, elektrische 164, 179.
Spektralanalyse 146.
Spektrum 144.
Spezifisches Gewicht 8, 65, 69.
Spezifische Wärme 90.
Spiegel 127.
Spiegelbilder 128.
Spitzenwirkung, elektrische 166, 170.
Springbrunnen 64.
Spritzflasche 83.
Spröde Körper 36.
Spulen, Draht- 192.
Stabil 31.
Standfestigkeit 32.
Star, grauer, schwarzer, grüner 142.
Starkstrom 185.
Stechheber 83.
Steigbügel des Ohres 120.
Steigung schiefer Ebenen 24.
Sternschnuppen (204).
Sterntag (202).
Stevin 26, 60, 62.
Stimmgabel 113, 119.
Stimmorgan, menschliches 115.
Strahlkörper (im Auge) 141.
Strahlung, Wärme- 105.
—, Licht- 122.
Strom, elektrischer 175, 180.
Stromenergie 181, 184, 201, 207.
Strommessung, Stromstärke 183, 188, (206).
Stromwärme 184, (207).
Sublimieren 95.
Südpol, magnetischer der Erde 156.

Tag 12, (202).
Tau 101.
Taucher, kartesianischer 68.
Taucherglocke 78.
Teilbarkeit des Stoffes 38.
Telegraphie, drahtlose (211).
—, elektrische 195.
Telephon, elektrisches 196.
—, Faden- 116.
—, (Radio-) (211).
Temperatur 87.
Terz 111.
Thermometer 87, 92.
Thermoskop 93.
Ton, Tonhöhe, Tonleiter 108, 109.
Torricellischer Versuch 73.
Totalreflexion 133.
Trägheitsgesetz 14.
Triebmaschinen 29.
Trommelfell 120.
Turbine 61, 71.
Tycho Brahe (204).

Uhr 11, 53.
Unabhängigkeitsprinzip 16.
Undurchdringlichkeit 4.
Undurchsichtige Körper 122.
Unitarische Theorie der Elektrizität 169.
Unterkalten von Flüssigkeiten 95.
Unterstützung eines Körpers 30.
Uranus (204).

Vakuum 73, 80.
Ventil 79.
Venus (204).
Verdampfen 96.
Verdampfungswärme 97.
Verdichtungsluftpumpe 83.
Verdünnungsluftpumpe 79.
Verdunsten 98.

Verflüchtigen fester Stoffe 95.
Verstärkerröhre (216).
Verteilung, elektrische 167.
—, magnetische 151.
Vertikal 7.
Virtuelle Bilder 128, 137.
Volt 164, 179, (207).
Volta 164, 168, 171, 178, 180.
Voltameter 188.
Voltas Element 178, 189.
Volumenänderungen durch Erwärmung 90, 92.
— des Wassers 94.
Volumen 4, 5, 69.
Vorhof 120.

Wage, gleicharmige 33.
—, hydrostatische 66.
—, Kanal- 64.
—, Schnell- 35.
—, Milch-, Wein- 69.
Wagerecht 7.
Wagnerscher Hammer 194.
Wärmeäquivalent, mechanisches 29, 107.
Wärmeausbreitung 102.
Wärmeeinheit 89.
Wärmeempfindungen 86.
Wärmeerzeugung 107.
— durch den elektrischen Strom 107, 184.
Wärmegrad 87.
Wärmeleitung 103.
Wärmemenge 89.
Wärmequellen 106.
Wärme, spezifische 90.
Wärmestrahlung 105.
— -strömung 103.
Wasser 94, 96.
Wasserräder 70.
Wasserwage 7.
Watt 99.
Weber 196, (206).
Weitsichtiges Auge 142.
Wellen, elektrische (217).
Wellrad 23.
Weltachse (201).
Weltsystem, geozentrisches und heliozentrisches (203).
Wetter 75, 101.
Wetterleuchten 177.
Widerhall 118.
Widerstand, elektrischer (207).
Wind 104.
—, elektrischer 166.
Winde 24.
Windkessel 83.
Winkelheber 83.
Wolken 101.
Wucht 54.
Wundertrommel 143.
Wurfbewegung, Wurfparabel 46.

Zahnrad 24.
Zahradsirene 109.
Zauberlaterne 138.
Zeitmessung 11, 53.
Zentralbewegung 55.
Zentrifugal-, Zentripetalkraft 55.
Zeppelin 85.
Zerlegung von Kräften 49.
Zerstreuungslinsen 137.
Zinnsches Band 141.
Zugwirkungen der Kräfte 14.
Zungen, tönende 114.
Zungenpfeifen 114.
Zusammensetzung von Bewegungen und Kräften 45, 48.
Zustandsenergie 54.
Zwangläufige Bewegung 50.

Sachverzeichnis
zum Anhang „Chemische Erscheinungen".

Abraumsalze 250.
Absorption von Gasen in Wasser 232, 244, 255, 260.
Acetylen 274.
— -silber 276.
Achat 281.
Affinität 237.
Alabaster 255.
Alaune 255.
Albit 282.
Alkalien 250.
Alkalimetalle 248.
Alkohol 279.
Aluminium 224, 282.
— -verbindungen 282 f.
Amalgam 222.
Amethyst 281.
Ammoniak 258, 264, 273.
— -salze 260, 270.
Ammonium 260.
Amorph 218.
Analyse, qualitative und quantitative 219, 221, 235.
Anhydride 250, 252.
Anorganische Körper 221.
Anorthit 282.
Anthrazit 267.
Apatit 266.
Argon 258.
Asbest 283.
Asche 248.
Aschen der Metalle 224.
Assimilation (des Kohlenstoffs) 278.
— des Stickstoffs 264.
— und Dissimilation 280.
Äthylen 274.
Atmung, tierische 224, 226, 231, 272.
— der Pflanzen 278.
Atome 241 f., 276.
Atomgewicht 242.
Ätzkali, -natron 247.
Augit 283.
Autogene Schweißung 236.
Avogadrosche Regel 241, 260.

Bakterien (Stickstoff-) 264.
Bariumsulfat 255.
Basalt 283.
Basen 247, 251, 260.
Bergkristall 281.
Berzelius 242.
Bittersalz 254.
Blattgrün 278.
Blei 222.
Bleichen 246, 252.
Bleiglanz 220.
Bleikammerprozeß 253.
Bleistifte 267.
Bor, Borax, Borsäure 284.
Brauneisenerz 229.
Braunkohle 267.
Braunstein 228.
Brom 250.
Bronze 222.
Bronzezeit 224.
Bunsenbrenner 274.

Calcium 255, 271.
— -carbid 274; -carbonat 270 f.
Carbid 274.
Carbonate 269.
Carnallit 250.
Carneol 281.
Chalcedon 281.
Chemische Vorgänge 218.
— Verbindung 218, 239.
Chilesalpeter 261.
Chlor 245.
Chlorcalcium 232.
Chlorophyll 278.
Chlorwasserstoff 246.

Dalton 240.
Daniellscher Hahn 236.
Davy 248.
Destillation 232.
Diamant 266.
Dissimilation 280.
Dolomit 272.
Doppelsalze 255.
Doppelspat 270.
Doppeltkohlensaurer Kalk 271.
— -kohlensaures Natron 270.
Dumas 237.
Düngung 264, 266, 279.

Edelgase 258.
Edelmetalle 223.
Eisen 222, 230.
Eisenerze 229.
Eisenkies 220.
Eisenoxyde und Hydroxyde 229.
Eisenspat 272.
Eisenvitriol 254.
Eiweißstoffe 264, 280.
Elektrolyse 243, 247, 248.
Elemente, chemische 220, 239.
Entzündungstemperatur 228.
Erdalkalimetalle 255.

Erdkruste 283.
Erhaltung des Stoffes 227.
Ernährung der Pflanzen 264, 266, 279.
— des Menschen 279.
Eruptivgesteine 283.
Erze 222, 229.
Essigsäure 279.
Eudiometer 236.

Fehlingsche Lösung 280.
Feldspat 282.
Fette 279.
Fettsäuren 279.
Feuererzeugung 266.
Feuerstein 281.
Feuerstoff 225.
Flamme 229, 274.
Flammenfärbungen 222, 248, 261, 284.
Fluor 250.
Flüssige Luft 227.
Flußsäure 251.
Formaldehyd 278.
Formeln, chemische 242.

Galmei 272.
Gärung 279.
Gasanstalt 273.
Gase, spezifische Gewichte der — 240.
Gasquellen 268, 273.
Gasvolumen 239.
Gay-Lussac 239.
Gemenge 221.
Generatorgas 268.
Geologie 283.
Gesetze der chemischen Verbindungen 239.
Gesteine 283.
Gewicht, spezifisches der Gase 240.
Gewichtsverhältnisse bei der Verbindung 240.
Gewichtsvermehrung bei der Verbrennung 225.
Gips 255.
Glas 282.
Glaubersalz 254.
Gleichgewicht, chemisches 238.
Gleichungen, chemische 242.
Glimmer 283.
Glimmerschiefer 284.
Glühstrumpf 274.
Glycerin 279.
Gneis 284.
Gold 223.
Granat 283.
Granit 283.
Graphit 267.
Grauwacke 284.
Grubengas 273.
Grundstoffe s. Elemente.

Habers Ammoniaksynthese 259.
Halogene 250.
Hammerschlag 225.
Harnstoff 265, 277.
Hartes Wasser 271.
Häufigkeit der Elemente 283.
Hefe 279.
Helium 258.
Hirschhornsalz 270.
Hochofen 230.
Höllenstein 276.
Holzessig 273.
Holzkohle 267.
Hornblende 283.
Hülsenfrüchte 264.
Hydrate 250.
Hydroxyl 249.
Hydroxyde 249, 251.
Hygroskopisch 232.
Hypothese, Molekular- und Atom- 242.

Jaspis 281.
Jod 250, 280.

Kainit 250.
Kalilauge 247.
Kalisalpeter 261.
Kalisalze 250.
Kalium 248.
— -carbonat 269.
— -chlorat 228.
— -hydroxyd 247.
— -nitrat 261.
Kalk, gebrannter, gelöschter 271.
—, kohlensaurer 270.
Kalksalpeter 261.
Kalkspat 270.
Kalkstein 270.
Kalkwasser 271.
Kaolin 283.
Kartoffelstärke 280.
Katalyse, Katalysatoren 238.
Katzenauge 281.
Kautschuk 218.
Kékulé 277.
Kerzenflamme 275.
Kesselstein 271.
Kieselsäure 281.
Knallgas 236.
Knallpulver 265.
Knochen 266.
Knöllchenbakterien 264.
Kochsalz 243, 248.
Kohle, Kohlenstoff 266.
Kohlendioxyd 267, 268 f.
Kohlenhydrate 279.
Kohlenoxyd 267.
Kohlensäure, kohlensaure Salze 269.
Kohlenstoffverbindungen, organische 276.
Kohlenwasserstoffe 273.
Konstante Proportionen 239.
Konstitutionsformeln 277.
Kontaktverfahren (Schwefelsäure) 253.

Korund 229.
Kreide 270.
Kristalle, Kristallisation, Kristallformen 218.
Kristallwasser 232.
Krypton 258.
Kupfer 222.
Kupferkies 220.
Kupfernitrat 265.
Kupferoxyde 224, 229, 237.
Kupfervitriol 255.

Lachgas 264.
Lackmus 228, 251.
Laugen 247.
Lavoisier 276.
Legierungen 222.
Lehm 283.
Leichtmetalle 224, 248.
Leim 280.
Letternmetall 222.
Leuchtgas 272.
Leuchtkraft der Flamme 275.
Licht, chemische Wirkung des Lichtes 246, 265.
Liebig 277, 279.
Loschmidtsche Zahl 243.
Luft, atmosphärische 225, 257.
Luftsalpeter 263.

Magnesit 272.
Magnesium 224.
Magneteisenerz 229.
Malachit 272.
Mangandioxyd 228.
Marmor 270.
Massenwirkung 238.
Mauersalpeter 261.
Meerschaum 283.
Mengenverhältnisse bei chemischen Verbindungen 239f.
Mergel 283.
Messing 222.
Metallaschen 224.
Metalle 221, 229.
Metalloxyde 229, 236.
Meteoreisen 222.
Methan 273.
Mineralien 219.
Moleküle 242.
Molekulargewicht 242.
Multiple Proportionen 240.

Nahrungsmittel 279.
Nährsalze 279.
Natrium 248.
— -carbonat 270.
—, doppeltkohlensaures 270.
— -hydroxyd 247.
— -nitrat 261.
— -sulfat 254.
Natronlauge 247.
Natronsalpeter 261.
Neon 258.
Neutralisation 251.
Nickel 222.
Nitrate 261.
Norwegischer Salpeter 263.

Oktaeder, Oktaederwürfel 220.
Olivin 283.
Onyx 281.
Opal 281.
Organische Verbindungen 277.
Orthoklas 282.
Oxyd, Oxydation 229.

Palmitin, Palmitinsäure 279.
Phlogiston 225.
Phosphor 265.
— -pentoxyd 265.
— -säure, phosphorsaure Salze 266.
Phyllit 284.
Platin 223.
Platinkatalysen 238, 253, 263.
Porphyr 283.
Porzellan 283.
Pottasche 269.
Priestley 226.
Proportionen, konstante und multiple 239.
Proteine 280.
Protoplasma 280.

Quarz 281.
Quecksilber 222.
— -oxyd 227.

Ramsay 258.
Raseneisenerz 229.
Rauchtopas 281.
Raumverhältnisse bei chemischen Verbindungen 239.
Rayleigh 258.
Reaktion, chemische 219, 237.
Reaktionstemperatur 228.
Reaktionswärme 219, 228.
Reduktion 230, 237.
Rhombendodekaeder 220.
Rhomboeder 270.
Richter 240.
Roheisen 230.
Rohrzucker 279.
Roteisenerz 229.
Rotkupfererz 229.
Rübenzucker 279.
Ruß 267.

Salinen 243.
Salmiak 260.
Salmiakgeist 259.
Salpeter, Salpetersäure 261.

Salpetrige Säure 261.
Salze 251.
Salzsäure 243.
Sandstein 284.
Sauerstoff 226 f.
Säuren 228, 251.
Scheele 225 f.
Schiefer 284.
Schießpulver 262.
Schlagende Wetter 273.
Schmiedeeisen 230.
Schmirgel 229.
Schwefel 217, 252.
— -dioxyd 252.
— -eisen 218, 220, 255.
— -kies 220.
— -kohlenstoff 218.
— -kupfer 219, 256.
— -metalle 218, 220, 256.
— -säure 253.
— -trioxyd 253.
— -wasserstoff 255.
— -zink 219, 220.
Schweflige Säure 252.
Schweißdrüsen 265.
—-verfahren, autogenes 236.
Schwermetalle 222.
Sedimentärgesteine 284.
Seife 280.
Selbstentzündung 229.
Serpentin 283.
Sicherheitslampe 274.
Silber 222.
Silicium 281.
— -dioxyd 281.
Silikate 282 ff.
Smaragd 283.
Soda 270.
Speckstein 283.
Spiritus 279.
Stahl 230.
Stanniol 222.
Stärke 278, 279.
Stearinkerze 280.
Steingut, Steinzeug 283.
Steinkohlen 267.
Steinsalz 243.
Steinzeit 224.
Stickstoff 226, 258.
— -dioxyd und -oxyd 263.
— -düngung 264.
— -magnesium 258.
— -oxyde 261.
— -oxydul 264.
Stoffe 221.
Stoff, Erhaltung des —s 227.
Streichhölzer 266.
Strontium 255
Strukturformeln 276.
Sublimieren 218.
Substitution, chemische 230.
Sulfate, Sulfide, Sulfite 254, 256.
Sumpfgas 273.
Superphosphat 266.
Sylvin 247, 248.
Synthese 219.
— des Ammoniaks 259.
— — Kochsalzes 248.
— — Salpeters 263.
— — Wassers 235.
—, organische 277.

Talk 283.
Teer 272.
Thomasmehl, -schlacke 266.
Ton, Tonerde 283.
Tonschiefer 284.
Tonwaren 283.
Topas 283.
Töpferindustrie 283.
Torf 267.
Trachyt 283.
Traubenzucker 278, 279.
Tropfstein 271.
Turmalin 283.

Umgekehrte Flamme 229.
Umkehrbare Reaktionen 235.
Urtonschiefer 284.

Valenz 276.
Verbindungen, chemische 218, 239.
Verbindungsgewichte 241.
Verbrennung 228, 274.
Verbrennungswärme 228.
Verwandtschaft, chemische 237.
Vitriolöl 253.
Volumenverhältnisse 239.

Wasser 231 ff., 271.
Wassergas 268.
— -glas 281.
— -stoff 232, 252.
— -stoffsuperoxyd 238.
Wertigkeit 176.
Wiechert 222.
Wöhler 277.

Xenon 258.

Zellstoff 279.
Zerlegung, chemische 219.
Zink 222.
Zinkblende 220.
Zinkspat 272.
Zinksulfat oder Zinkvitriol 252, 254.
Zinn 222.
Zinnerz, Zinnstein 222, 229.
Zinnober 219.
Zucker 279.
Zündhölzer 266.
Zweibasische Säuren 254.

Amthor'sche Verlagsbuchhandlung, Braunschweig

Taschenbücher für Naturfreunde

*„Amthors Taschenbücher" zeichnen sich durch absolut **naturgetreu** farbige Abbildungen, klaren, verständlichen Text, tadellose Ausstattung und billige Preise vorteilhaft aus. Die Bücher haben einen soliden, biegsamen Einband in dem handlichen Format von etwa 10 : 19 cm, so daß sie der Naturfreund stets bei sich führen kann, um sie an Ort und Stelle zu Rate zu ziehen.*

In der Sammlung sind bis jetzt erschienen:

Vögel und Vogelstimmen von Rudolf Hermann. Anleitung zur Bestimmung unserer gefiederten Freunde nach Aussehen und Gesang. **32 naturgetreu farbige Abbildungen von einheimischen Singvögeln mit ihren Eiern und 120 Seiten Text.** Geb. RM 4,20

Der deutsche Wald. Ein Führer zum Kennenlernen der Bäume, Sträucher und wichtigsten Kräuter usw. des Waldes. Bearbeitet von Rektor **L. Hinterthür.** Vermehrte und verbesserte Auflage. **Mit zahlreichen naturgetreu farbigen Abbildungen auf 20 Tafeln und 127 Seiten Text.** Geb. RM 3,60

Schlitzbergers illustriertes Pilzbuch. Enthaltend unsere wichtigsten eßbaren und die ihnen ähnlichen giftigen Pilze. Mit Anleitung zum Sammeln, zur Verwendung im Haushalt und Pilzkalender. **34 naturgetreu farbige Abbildungen und 55 Seiten Text.** Neu bearbeitet von Rektor **L. Hinterthür.** Geb. RM 2,70

Praktische Pilzkunde. Ein Führer durch unsere eßbaren und schädlichen Pilze, mit Anleitung zum Sammeln, zur Pilzkultur, Verwendung im Haushalt und dergleichen. **3.** erweiterte Auflage. Bearbeitet von Rektor **L. Hinterthür. 140 Pilzgruppen in feinstem, naturgetreuem Vierfarbendruck und 192 Seiten Text.** Geb. RM 6,75

Schlitzbergers Taschenbuch der Gift- und Heilpflanzen. In neuer Bearbeitung von Rektor **L. Hinterthür.** Anleitung, die giftigen und heilkräftigen Pflanzen leicht aufzusuchen und ihre schädlichen und heilkräftigen Wirkungen kennenzulernen. **Mit 136 naturgetreu farbigen Abbildungen und 114 Seiten Text.** Geb. RM 4,50

Illustriertes Schmetterlingsbuch von Dr. **Wilh. Medicus.** Anleitung zur Kenntnis der Schmetterlinge und Raupen nebst Anweisung zur praktischen Anlage von Sammlungen. **102 naturgetreu farbige Abbildungen und 98 Seiten Text.** Geb. RM 3,15

Illustriertes Käferbuch von Dr. **Wilh. Medicus.** Anleitung zur Kenntnis der Käfer nebst Anweisung zur praktischen Anlage von Sammlungen. **170 naturgetreu farbige Abbildungen und 112 Seiten Text.** Geb. RM 3,—

Ludwig Franck

DIE SEELE DES WALDES

Ein Charakterbuch unserer deutschen Waldbäume

Mit 14 Federzeichnungen von K. Neuß

In Pappband geb. RM 3,60, in Ganzleinenband RM 4,50

LURICH UND LARICH

Ein Erlebnisbuch aus Teich, Sumpf und Moor

Mit 16 Federzeichnungen von Hermann Wilke

In Ganzleinenband RM 4,50

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO · KRAKÓW · BIBLIOTEKA GŁÓWNA
A 1339
Biblioteka Gł AWF w Krakowie
1800069350