



1876

1816

LEHRBUCH

DER

P H Y S I K.

VON

DR. KARL STAMMER.

ERSTER BAND.

Mit 176 Holzschnitten.

LAHR,

VERLAG VON M. SCHAUBURG & C.

1858.

VORWORT.

Ueber den Zweck und die leitenden Gedanken des vorliegenden Werkes mich auszusprechen, möge mir bei dem anderweitig umständlich dargelegten Plane des Ganzen erlassen bleiben. Nur einige Worte über die Ausführung im Einzelnen sollen hier Platz finden.

Dieses Lehrbuch der Physik soll die Benutzung der Vorlesungen nicht etwa überflüssig machen, sondern es soll zu deren Verständniß vielmehr behülflich sein, den Lernenden zugleich zum eigenen Studium anführen und nützlichcs Wiederholen durch Hinweisung auf Bekanntes und leicht Einzuprägendes befördern.

Von diesem Gedanken ausgehend, habe ich die Beschreibung mancher Experimente, welche bei den Vorträgen einzelne Thatsachen mit völliger Deutlichkeit zu erhellen pflegen, sowie specielle mathematische Entwicklungen da weggelassen, wo es allein auf den Schluss ankommen kann, überhaupt auch die Behandlung der einzelnen Theile der Physik je nach dem Plane des Werkes mit mehr oder minder Ausführlichkeit behandelt.

Ausserdem habe ich durch möglichst vielfache Anleitung zu einfachen eigenen Versuchen zum selbständigen Arbeiten und Selbstdenken anzuregen

und ebenso durch Aufgaben zur eigenen Berechnung ein klareres und sichrerer Verständniss der physikalischen Gesetze zu erzielen gestrebt. Damit sind einerseits nur sehr einfache Manipulationen und leicht und wohlfeil zu beschaffende Geräthschaften, so wie andererseits nur die jedem Studirenden geläufigsten Berechnungen bedingt, indem ich sowohl umständliche Herstellungen von Apparaten, wie schwierigere mathematische Arbeiten zu vermeiden suchte.

Ich hoffe demnach, dass es mir gelungen sein wird, auf diese Weise eine erspriessliche Anregung zum eigenen Studium gegeben zu haben und empfehle das Werk, welches zwischen zu strenger und rücksichtsloser Ausführlichkeit und ungeniessbarer Kürze die Mitte halten soll, der Nachsicht aller derer, welche es mit dem physikalischen Studium der Aerzte redlich meinen und daran nicht zu grosse, aber auch nicht zu geringe Ansprüche stellen.

Die Aufgaben sind zum Theil aus dem trefflichen Werkchen „Sammlung von Aufgaben aus der Physik von Frick“ entnommen, indem ich eine bessere Auswahl als aus dieser Sammlung gewiss nicht treffen konnte. Dass ich aber nur eine geringe Zahl diesem Lehrbuch eingeflochten habe, bedarf wohl kaum der Erwähnung.

Der Verfasser.

INHALTSVERZEICHNISS.

Erster Abschnitt. Allgemeine Eigenschaften und Bewegungsgesetze der Körper.

	Seite	§		Seite
<i>I. Allgemeine Eigenschaften der Körper.</i>			12. Gewicht, Maasse, Gewichtseinheiten	8
1. Wesentliche Eigenschaften der Körper	3		13. Trägheit und Beharrungsvermögen	9
2. Ausdehnung, Längenmaasse	3		14. Dichtigkeit und specifisches Gewicht	9
3. Der Nonius und die Mikrometerschraube	4		15. Versuche	10
4. Die Theilmaschine	5		16. Fortsetzung	11
5. Undurchdringlichkeit	5		17. Fortsetzung	11
6. Nicht wesentliche allgemeine Eigenschaften	5		18. Aufgaben	11
7. Theilbarkeit, Atome	5		19. Das Tausendgranfläschchen	12
8. Ausdehnbarkeit u. Zusammenrückbarkeit	6		20. Die verschiedenen Aggregatzustände	13
9. Porosität	6		21. Härte und Elasticität, Sprödigkeit	14
10. Anziehung. Gravitationsgesetz	6		22. Cohäsion, Festigkeit	15
11. Schwerkraft, Schwere, Druck	7		23. Adhäsion	15

Zweiter Abschnitt. Gleichgewicht und Bewegung der Körper.

<i>II. Gleichgewicht und Bewegung der festen Körper.</i>			28. Aufgaben	22
24. Allgemeine Begriffe	18		29. Wirkung mehrerer Kräfte, Parallelogramm der Kräfte	23
25. Gleichförmig beschleunigende Kraft	19		30. Anwendungen; Zerlegung der Kräfte	24
26. Die Atwoodsche Fallmaschine	20		31. Die schiefe Ebene; der Keil; die Schraube	25
27. Bewegungswiderstände, gleichmässig verzögernde Kraft, Vergleichung der Kräfte	21		32. Die Rolle; Flaschenzüge. Versuch	26

§	Seite	§	Seite
33. Der Hebel. Versuch	29	62. Bewegung der Flüssigkeiten	56
34. Anwendung des Hebels. Die Schnellwage	30	63. Fortsetzung; Ausflussgeschwindigkeit u. s. w.	56
35. Schwere und Schwerpunkt	31	64. Rückstoss ausfliessender Strahlen	57
36. Aufgaben	32	65. Ausflussmengen. Springbrunnen	58
37. Bedingungen des Gleichgewichts unter dem Einfluss der Schwerkraft; Versuche	33	66 Aufgaben	58
38. Gleichgewichtstehender Körper	34	IV. Gleichgewicht und Bewegung elastisch flüssiger Körper.	
39. Die Wage	35	67. Spannkraft und Druck der Luft	59
40. Kreisförmige Bewegung	36	68. Versuche; Messung des Luftdruckes; Stechheber	60
41. Das Pendel	37	69. Fortsetzung; die Toricelli'sche Leere	61
42. Versuche	38	70. Das Barometer	62
43. Das Pendel, Fortsetzung. Ungleichheit der Schwerkraft; Revisionspendel	39	71. Fortsetzung	63
44. Fortsetzung; Anziehung und Dichtigkeit der Erde	40	72. Fortsetzung. Metallbarometer	64
45. Aufgaben	40	73. Aenderung des Luftdrucks	64
III. Gleichgewicht und Bewegung tropfbar flüssiger Körper.		74. Das Mariotte'sche Gesetz	65
46. Gleichgewicht d. Flüssigkeiten	41	75. Anwendungen desselben; Manometer	66
47. Druck der Flüssigkeiten auf den Boden; Haldat'scher Apparat	42	76. Aufgabau	68
48. Seitendruck; Druck von unten; Versuche	42	77. Barometerische Höhenmessung	68
49. Communicirende Gefässe	43	78. Die Luftpumpe	71
50. Versuche	44	79. Die Manometerprobe	73
51. Anwendung. Hydraulische Presse	44	80. Verbesserungen an der Luftpumpe; Grossmann'scher Hahn	74
52. Aufgaben	45	81. Verschiedene Erscheinungen im luftverdünnten Raum	76
53. Das Archimedische Prinzip. Gleichgewicht untergetauchter Körper	46	82. Aufgaben	77
54. Versuche	47	83. Compressionspumpe und Zusammendrücken von Gasen auf anderem Wege	78
55. Bestimmung des specifischen Gewichtes mit der hydrostatischen Wage	48	84. Der Heber; Anwendungen; Versuche	80
56. Aufgaben	49	85. Die Mariotte'sche Flasche. Versuch; der Heronsbrunnen etc.	82
57. Bestimmung des specifischen Gewichtes in besonderen Fällen	50	86. Die Punne	84
58. Das Aräometer	51	87. Aräometer von Ham; Versuche	86
59. Haarröhrchenanziehung	53	88. Specifisches Gewicht d. Gase	86
60. Gestalt der Flüssigkeitsoberfläche	54	89. Diffusion der Gase	87
61. Endosmose	55	90. Absorption der Gase durch Flüssigkeiten	88
		91. Absorption der Gase durch feste Körper	89
		92. Eigenschaften der Dämpfe	90

§	Seite	§	Seite
93. Ausflussgeschwindigkeiten der Gase	90	95. Aufgaben	91
94. Wirkung von Luftströmungen	91	96. Der Luftballon	92
		97. Aufgaben ,	92

Dritter Abschnitt. Wärmelehre.

V. Die Wärme überhaupt und die Warmemesser.		114. Verschiedenheit d. Emissionsvermögens und des Absorptionsvermögens	111
98. Ausdehnung der Körper durch die Wärme	94	115. Versuche	112
99. Die Thermometer	96	116. Thau und Reif.	113
100. Fortsetzung; Eintheilung der Scala	97	117. Durchgang der strahlenden Wärme durch die Körper, Verschiedenheit der Wärme von verschiedenen Quellen . . .	113
101. Maximum- und Minimum-Thermometer	98	118. Brechung der Wärmestrahlen. Wärme und Licht	114
102. Metallthermometer und Luftthermometer. Differential-Thermometer	98		
103. Die Pyrometer	99	IX. Aenderung des Aggregatzustandes durch die Wärme.	
VI. Ausdehnung durch die Wärme.		119. Verschiedenheit des Aggregatzustandes bei verschiedenen Temperaturen	115
104. Linearausdehnungscoefficient	100	120. Schmelzung; Beständigkeit des Schmelzpunktes; Wärmeverschluckung bei der Schmelzung	115
105. Körperliche Ausdehnung . .	101	121. Versuche über das Latentwerden der Wärme. Grösse der bei verschiedenen Schmelzungen verschluckten Wärmemengen	116
106. Ausdehnung der Gase und der Flüssigkeiten; Zusammenhang von specif. Gewicht und Temperatur	102	122. Erstarren flüssiger Körper; Freiwerden der latenten Wärme und verschiedene Erscheinungen dabei	117
107. Ausdehnung des Wassers. Maximum der Dichtigkeit; Versuche	103	123. Auflösung; Kältemischungen	118
108. Aufgaben	105	124. Verdunstung; Sieden. Siedepunkt. Wärmeverschluckung	119
VII. Verbreitung der Wärme durch Leitung.		125. Einfluss des Druckes auf den Siedepunkt. Thermobarometer	120
109. Wärmeleitung; gute und schlechte Leiter. Versuch .	105	126. Sieden in verschlossenen Gefässen	122
110. Messung der Wärmeleitung. Wirkung schlechter Leiter .	107	127. Umstände, welche auf die Menge des entwickelten Dampfes einwirken	123
111. Circulation der erwärmten Flüssigkeiten. Wasser- und Luftheizung. Zug der Schornsteine und Lampen	108		
VIII. Verbreitung der Wärme durch Strahlung.			
112. Wärmestrahlung; Vorgang dabei	110		
113. Zurückwerfung der Wärmestrahlen	111		

§	Seite	§	Seite
128.	Verdunstung bei gewöhnlicher Temperatur. Spannkraft der Dämpfe. Maximum d. Tension	123	
129.	Dichtigkeit des Wasserdampfs von verschiedener Temperatur	125	
130.	Spannkraft eines Gemisches von Luft und Dämpfen	126	
131.	Bindung von Wärme beim Verdunsten; Erkaltung durch Verdunstung. Erzeugung niedriger Temperaturen	127	
132.	Verdichtung des Wasserdampfes. Nebel und Wolken	128	
133.	Versuche	128	
134.	Aufgaben	129	
135.	Verdunstung von wenig flüchtigen Körpern. Leidenfrostscher Tropfen	130	
136.	Absorption der Flüssigkeit durch gewisse Körper. Hygroskop	132	
137.	Condensation der Dämpfe. Freiwerden der Wärme dabei; Nachweisung und Anwendung derselben	133	
138.	Wirkung der Abkühlung bei feuchter Luft. Hygrometer u. Psychrometer	134	
139.	Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre	136	
<i>X. Specifiche Wärme und Wärmecapacität. Calorimetrie.</i>			
140.	Begriff derspecifiche Wärme und der Wärme-Capacität	137	
141.	Methode zur Ermittelung der Wärmecapacität bei festen und flüssigen Körpern	138	
142.	Specif. Wärme der Gase	140	
<i>XI. Quellen der Wärme.</i>			
143.	Die Sonnenwärme	140	
144.	Die eigenthümliche Wärme der Erde; die chemischen Prozesse; die thierische Wärme	141	
145.	Erzeugung der Wärme auf mechanischem Wege	143	
<i>XII. Die Dampfmaschine.</i>			
146.	Wirkung des Dampfes auf den Kolben. Die Steuerung. Hochdruckmaschinen	144	
147.	Niederdruckmaschine. Wirkung des Condensators. Versuch	146	
148.	Aufgaben	148	

Vierter Abschnitt. Der Magnetismus.

<i>XIII. Wirkung der Magnete im Allgemeinen.</i>			
149.	Eigenschaften der Magnete	149	
150.	Fortsetzung	149	
151.	Gleichnamige und ungleichnamige Pole	150	
152.	Versuche; Wirkung des Magnetismus in der Entfernung	151	
153.	Fortsetzung	152	
154.	Die magnetische Vertheilung	155	
155.	Coercitivkraft. Unterschied von Eisen und Stahl	155	
<i>XIV. Magnetische Wirkung der Erde.</i>			
156.	Declination und Inclination. Versuche	157	
157.	Declinatorium und Inclinatorium	159	
158.	Versuche	159	
159.	Messung der Declination und Inclination	160	
160.	Verschiedenheit der Declination und Inclination nach Ort und Zeit	161	
161.	Intensität der magnetischen Kraft der Erde	162	
162.	Allgemeine Betrachtungen	162	
<i>XV. Die Erregung des Magnetismus.</i>			
163.	Verschiedene Arten der Magnetisirung. Verschiedene Arten des Strichs	163	
164.	Magnetismus durch Licht, Wärme u. s. w.	164	

	Seite	§	Seite
XVI. Gesetze der magnetischen Wirkung.			
§			
165. Allgemeines Gesetz der magnetischen Abstossung und Anziehung	165	167. Modification des allgemeinen Gesetzes für die gegenseitige Wirkung zweier Magnete . .	166
166. Lage und Eigenschaften der Pole	165	168. Modification des allgemeinen Gesetzes nach verschiedenen Umständen	166
		169. Paramagnetismus und Diamagnetismus	167
		170. Aufgaben	168

Fünfter Abschnitt. Der Electricität erster Theil: Electrostatik.

XVII. Allgemeine Erscheinungen.		189. Wirkungen der Electricität im Kleinen. Versuche mit dem Electrophor und der Leydner Flasche	188
171. Grunderscheinungen u. Grundbegriffe	169	190. Wirkungen der Electricität von grösserer Spannung . .	190
172. Versuche	169	191. Geschwindigkeit der Electricität	192
173. Fortsetzung. Leiter und Nichtleiter	170	192. Aufgaben	193
174. Abstossung der gleichartigen Electricitäten	171	XX. Electricität durch Berührung.	
175. Goldblatt-Fleetscop. Electricische Drehwage	172	Galvanismus.	
176. Verschiedenartigkeit der Electricität je nach ihrer Quelle .	173	893. Allgemeines und Geschichtliches. Galvanisches Element	194
177. Electricische Vertheilung, Ladung und Entladung, Versuche, electricischer Strom	174	194. Offene und geschlossene Kette. Electricischer Strom, Richtung desselben	195
178. Vertheilung der Electricität an der Oberfläche; Maass und Gesetze für dieselbe . . .	175	195. Electricische Spannungsreihe .	197
179. Construction des Condensators	177	196. Die einfachen Volta'schen Ketten	198
180. Geschwindigkeit und Entstehungsarten der Electricität	178	197. Galvanische Batterien und Säulen	201
XVIII. Erscheinungen der Reibungs-Electricität.		198. Fortsetzung. Verschiedene Arten. Trockene Säulen. Versuche	202
181. Allgemeine Erscheinungen .	178	199. Bohnenberger's Electroscop; secundäre Säulen.	204
182. Die Electricitätsmaschine .	179	200. Herstellung einer galvanischen Batterie	204
183. Die Hydroelectricitätsmaschine .	181	201. Fortsetzung. Constante Ketten	205
184. Der Electrophor	182	202. Kette aus 2 Gasen und einem Metall	207
185. Der electricische Funken . .	183	203. Physiologische Wirkungen der Electricität. Die Unterbrechungsapparate. Blitzrad . .	208
XIX. Electricität durch Vertheilung.		204. Physicalische Wirkungen; das electricische Licht . . .	210
186. Versuche.	184		
187. Die Franklin'sche Tafel und die Leydner Flasche; electricische Batterie	186		
188. Fortsetzung	187		

§	Seite	§	Seite
205. Fortsetzung. Wärmeentwicklung	212	221. Die Rheostate	239
206. Chemische Wirkungen der Kette. Versuch. Electricische Reihe u. s. w.	212	222. Aufgaben	242
207. Fortsetzung	214	XXI. Electricität durch chemische Prozesse und durch Lebendthätigkeit.	
208. Die Galvanoplastik. Verkupferung	216	223. Verschiedene Electricitätserregungen durch chemische Prozesse	242
209. Fortsetzung. Versuche	218	224. Passiver Zustand des Eisens u. s. w.	243
210. Fortsetzung. Versilberung und Vergoldung	221	225. Die electricischen Fische	244
211. Fortsetzung	222	XXII. Electricität durch Wärme. Thermoelectricität.	
212. Fortsetzung	224	226. Electricität durch Erwärmung einzelner Körper	245
213. Galvanische Polarisation	226	227. Electricität der Verbindungsstelle zweier Körper. Versuche	246
214. Faradays Theorie u. Gesetze	228	228. Die thermoelectricische Kette	247
215. Magnetische Wirkungen der Electricität	229	229. Eigenschaft der thermoelectricischen Ströme	249
216. Allgemeine Grunderscheinungen und Gesetze	231	230. Electricität durch Licht und Haarröhrenchenanziehung	249
217. Tangenten- und Sinusboussole	233	231. Electricität durch Druck	250
218. Der Multiplicator oder das Galvanometer; astatische Nadel	234		
219. Das Ohm'sche Gesetz	235		
220. Fortsetzung. Folgerungen	237		

Sechster Abschnitt. Der Electricität zweiter Theil: Electrodynamik.

Wirkung electricischer Ströme unter sich und zwischen electricischen Strömen und Magneten.

XXIII. Wirkung der electricischen Ströme auf einander.		238. Fortsetzung	261
232. Allgemeines Grundgesetz für parallele Ströme. Ampère'sches Gestell; Wippe u. Commutator	251	239. Fortsetzung	261
233. Wirkungen geradliniger nicht paralleler Ströme	254	240. Allgemeine Beziehung zwischen Magnetismus und Electricität	262
234. Fortsetzung	256	XXVI. Wirkung der Magnete auf die electricischen Ströme und umgekehrt.	
XXIV. Erregung electricischer Ströme durch andere.		241. Der Magnetismus als Wirkung electricischer Ströme	263
235. Inductionsströme. Gesetze für dieselben	257	242. Allgemeine Beziehung zwischen Magneten u. electricischen Strömen	263
236. Fortsetzung; der Extrastrom. Intensität der inducirten Ströme	258	243. Rotation von Magneten und Strömen um einander. Induction von Strömen durch Magnete. Magneto-Electricität	264
XXV. Wirkung des Erdmagnetismus auf electricische Ströme.		244. Fortsetzung	265
237. Allgemeine Gesetze. Versuche. Electricisches Solenoid	259		

XI

§	Seite	§	Seite
245. Fortsetzung	266	253. Allgemeines Gesetz für die magnetisirende Wirkung electricischer Ströme	273
246. Die electricischen Rotations-Apparate	266	254. Tragkraft der Electromagnete	274
247. Rotation der Magnete unter dem Einfluss der electricischen Ströme	267	255. Verschiedene Erscheinungen bei dem Electromagnetismus	274
248. Rotation flüssiger Leiter. Versuch	267	256. Die electromagnetischen Maschinen	275
249. Der Commutator	269	257. Einfluss des Electromagnetismus auf den Molecularzustand und das Licht	276
250. Beschreibung der Rotationsmaschine	270	258. Induction durch Electromagnetismus	276
251. Der Electromagnetismus	272	259. Inductionsapparate	277
252. Versuch	272		

Druck von J. H. Geiger in Lahr.

PHYSIK.

ERSTER ABSCHNITT.

I. Allgemeine Eigenschaften der Körper.

§ 1. Von den allgemeinen, allen Körpern zukommenden Eigenschaften gibt es einige, ohne welche man sich die Körper nicht denken kann; diese *wesentlichen* Eigenschaften sind namentlich *Ausdehnung* und *Undurchdringlichkeit*.

§ 2. Die Ausdehnung der Körper wird bestimmt durch Vergleichung derselben mit einer Einheit, als welche man allgemein einen *Würfel* annimmt, dessen Seite ein bestimmtes Maass besitzt. Die Begrenzung der Körper bilden die Flächen, die Begrenzung der Flächen Linien. Jene misst man durch Vergleichung mit einem Quadrate von gewisser Seite, diese durch Vergleichung mit *einer bestimmten Linie*. Das Abmessen mit einer Längeneinheit in Gestalt einer getheilten Linie bildet demnach die Grundlage jeder Flächen- und Körpermessung. In den verschiedenen Ländern sind verschiedene Längeneinheiten oder *Maasse* gebräuchlich: das einzige, welches auf einer unveränderlichen, der Natur entnommenen Grösse beruht, ist das französische, welches auch als Grundlage aller wissenschaftlichen Messungen und als Vergleichungsmittel aller anderen Maasse dient. Der zehnmillionenste Theil eines Viertel-Erdmeridianes ist das *Meter*, dessen zehnter Theil *Decimeter*, dessen hundertster Theil *Centimeter* und dessen tausendster Theil *Millimeter* heisst. Hiermit verglichen, haben die üblichsten Längenmaasse folgende Grösse:

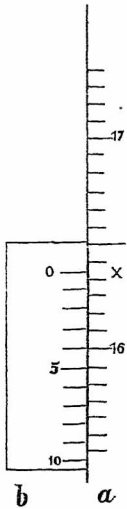
Rheinischer oder Preussischer Fuss	=	0,313853 Meter.
Englischer Fuss	=	0,304794 „ Fuss.
„ „	=	0,97114 Pr. Fuss.
Wiener Fuss	=	0,316102 Meter.
„ „	=	0,992917 Pr. Fuss.
Pariser Fuss	=	0,324839 Meter.
Badischer Fuss	=	0,300000 „

Ueber die Ableitung der Körpermaasse und Gewichte aus diesen Längeneinheiten s. u.

Zur genauen Messung von Linien und Längenausdehnungen dienen zunächst genau eingetheilte Maassstäbe. Da jedoch kleinere Theile schwer zu messen und nicht leicht genau zu beobachten sind, so bedient man sich für feinere Eintheilungen des *Nonius* oder *Vernier* und der *Mikrometerschraube*.

§ 3. Der Nonius besteht aus zwei eingetheilten Linien, von denen die eine neben der anderen verschiebbar ist. Der eigentliche Maassstab a Fig. 1 ist fest, und der kleinere Theil b mittelst einer mechanischen

Fig. 1.



Vorrichtung, z. B. einer Schraube oder eines Zahnrades, daneben beweglich. Die Eintheilung des beweglichen Theiles ist jedoch eine andere als die des festen Maassstabes. Man trägt z. B. die Länge von 11 Linien (oder Millimetern u. s. w.) darauf von 0—10 ab und theilt sie in 10, statt in 11 gleiche Theile; jeder Theil beträgt demnach nicht eine, sondern $\frac{11}{10}$ Linie, und es ist jeder Theil des Nonius um $\frac{1}{10}$ Linie grösser als ein Theil des Maassstabes. Das Messen geschieht nun folgendermassen: Zuerst bringt man die zu messende Länge in eine solche Lage, dass deren Anfangspunkt mit dem des festen Maassstabes a zusammenfällt; wenn nun der Endpunkt nicht auf einen Theilstrich trifft, so schiebt man den Nullpunkt des Nonius an diesen Punkt, z. B. nach x (s. die Figur). Die Länge des Gegenstandes beträgt demnach z. B. 16 Zoll 4 Linien und einen Bruchtheil von Linien, welcher derart mittelst des Nonius abgelesen wird, dass man den Theilstrich desselben sucht, welcher mit einem Theilstrich des Maassstabes zusammenfällt; in unserer Figur ist es der vierte, und wir haben also die Länge des Gegenstandes: 16 Zoll 4 $\frac{4}{10}$ Linien. Denn es liegt der vorhergehende dritte Strich um $\frac{1}{10}$ Linie weiter als der entsprechende des Maassstabes, der zweite um $\frac{2}{10}$, der erste um $\frac{3}{10}$ und der Nullpunkt um $\frac{4}{10}$; dieses also die Länge, um welche der Punkt x weiter liegt als der Strich für 16 Zoll 4 Linien, oder die zu dieser zuzufügende Grösse, um diejenige des Gegenstandes zu erhalten. Treffen nirgends zwei Theilstriche zusammen, so nimmt man diejenigen, welche am meisten stimmen, und schätzt das Plus durch Vergleich mit dem Unterschiede der nächsten Striche. Für sehr feine Messungen nimmt man eine kleinere Maasseinheit zur Eintheilung und von dieser eine grössere Anzahl. So gibt z. B. die Länge von 100 Millimetern, in 101 Theile getheilt, die Möglichkeit, $\frac{1}{100}$ Millimeter — mittelst einer Loupe — abzulesen.

Ähnliche Vorrichtungen dienen zum Messen von Theilen von Kreisbogen; wo dann natürlich beide Linien Kreisstücke sein müssen und die Bewegung des Nonius auf dem Umfange des festen Kreisbogens erfolgt.

Die *Mikrometerschrauben* haben je nach dem Zwecke, wozu sie dienen, verschiedene Einrichtungen; sie bestehen z. B. aus einer feinen Schraube, mittelst deren ein fester Punkt, etwa eine Stahlspitze, an einem Gegenstande in der Richtung der zu messenden Länge fortbewegt wird. Da der Umfang der Schraubenscheibe eine sehr grosse Bewegung macht, während die Spitze eine geringe Fortbewegung erleidet, so kann man sowohl diese genau für den Anfang der zu messenden Linie einstellen, als auch an dem Weg, welchen ein Punkt des Umkreises beschreibt, genau den

von der Spitze durchlaufenen Weg, oder die zu messende Länge erkennen. Natürlich muss diese dann aus den beobachteten Kreisbogen für einen bestimmten Gang der Schraube berechnet oder durch eine für jedes Mikrometer ein für allemal feststehende Reduction gefunden werden.

§ 4. Auf demselben Principe beruht die *Theilmachine*: Eine festliegende Schraube bewegt durch ihre Drehung einen kleinen Schlitten über den zu theilenden Maassstab hin; eine Vorrichtung ist an dem Schlitten angebracht, um von Zeit zu Zeit mittelst einer Schneide einen Theilstrich auf dem Maassstabe einzuschneiden. Wenn man den Gang der Schraube sehr fein und den Umfang des zu drehenden Knopfes etwas gross nimmt, so ist es leicht, auch Theile von Umdrehungen genau einzustellen, und also sehr kleine Eintheilungen des Maassstabes — wobei man dann die Striche unter dem Mikroskope einschneidet — zu bewirken.

Wenn z. B. 20 Schraubenumdrehungen erforderlich sind, um den Schlitten um die Länge eines Zolles fortzubewegen, so rückt der Schneidestift bei jeder 6tel-Umdrehung, d. h. nach jeder Verstellung des Knopfes um 60° , um den 120. Theil eines Zolles fort, und bezeichnet also mit jedem Strich $\frac{1}{10}$ Linie.

§ 5. Die zweite wesentliche Eigenschaft aller Körper ist die *Undurchdringlichkeit*, d. h. der Widerstand, welchen sie einem anderen Körper entgegensetzen, der in sie einzudringen und denselben Raum zu erfüllen strebt.

Die Thatsache, dass manche Körper Flüssigkeiten auf-augen können und ähnliche Erscheinungen enthalten hiermit nur einen *scheinbaren* Widerspruch, denn es werden dann immer nur die *Zwischenräume* der einzelnen Theile mit dem fremden Körper angefüllt. Körper, welche wenige Zwischenräume zeigen, wie z. B. Flüssigkeiten, können ohne Vergrösserung des erfüllten Raumes keine fremden in sich aufnehmen. Ausgenommen hiervon sind natürlich die chemischen Verbindungen, wobei eine Veränderung in der Lage und den Eigenschaften der allerkleinsten Theilchen, der Atome selbst, stattfindet, eine gegenseitige Einwirkung der beiden Substanzen, von welcher wir noch keine bestimmte und klare Vorstellung haben.

§ 6. Ausser den (wesentlichen) allgemeinen Eigenschaften der Körper, ohne welche wir sie uns gar nicht denken können, besitzen sie auch noch andere, welche zu ihrer Wahrnehmung nicht unentbehrlich sind, ohne welche sie aber ebenfalls nicht existiren; diese sind *Theilbarkeit*, *Ausdehnbarkeit* und *Zusammendrückbarkeit*, *Porosität* und *Anziehungskraft*.

§ 7. Die *Theilbarkeit* kommt den verschiedenen Körpern in sehr verschiedenem Grade zu. Sie geht jedoch nicht, wie der mathematische Begriff es zu bedingen scheint, in's Unendliche, wohl aber überschreitet sie die Grenze der Wahrnehmbarkeit. Es ist z. B. unmöglich, die einzelnen Theile einer auf eine sehr grosse Fläche ausgedehnten Flüssigkeit, z. B. eines Fettüberzugs, oder die beim Poliren abgriebebenen Theilchen oder erfolgten Ritze zu beobachten. Weder die Waage noch das Mikroskop zeigt uns die Theilchen, welche bei manchen riechenden Stoffen sich von denselben loslösen, um ganze Räume ohne bemerkbare Veränderung mit ihrem Geruche zu erfüllen.

Indessen geht doch, wie oben gesagt, die Theilbarkeit nicht in's Unendliche, sonst wären ja die letzten Theilchen an Grösse und Gewicht

Null und könnten durch ihre Zusammensetzung keine mit Ausdehnung und Gewicht begabten Körper hervorbringen. Man nimmt daher an, dass alle Körper aus nicht weiter theilbaren kleinen Theilchen zusammengesetzt seien, die man *Atome* nennt.

§ 8. Der *Ausdehnbarkeit* entspricht auch die *Zusammendrückbarkeit*. Die Ausdehnung der Körper, der Raum, welchen sie erfüllen, wechselt unter verschiedenen Umständen, von denen *Wärme* und *Druck* die wichtigsten sind. Wir werden später specieller auf die hierher gehörigen Erscheinungen zurückkommen, hier möge es genügen, darauf aufmerksam zu machen, dass sich alle Körper durch Wärmeaufnahme ausdehnen, durch Wärmeabnahme zusammenziehen, und dass unter einem darauf wirkenden Druck das Volumen aller Körper abnimmt. Die Grösse, um welche eine solche Zusammendrückung stattfindet, ist sehr verschieden; sie ist für den Druck am stärksten bei den gasförmigen, am geringsten bei flüssigen und festen Körpern; aber selbst Steine und Metalle können auf ein geringeres Volumen zusammengepresst werden.

Dieser Umstand beweist, dass selbst bei den anscheinend nicht porösen Stoffen, wie die Flüssigkeiten, Poren vorhanden sind, welche durch Druck oder Wärmeentziehung verkleinert werden können.

§ 9. Die *Porosität* ist nach dem oben Gesagten eine allgemeine Eigenschaft, obwohl man unter Poren meist nur denjenigen Grad von Zwischenräumen versteht, bei welchem ein Durchdringen von Gasen oder Flüssigkeiten bemerkbar wird. In hohem und leicht bemerkbarem Grade porös ist der Aschenhaufen, unter welchem das Feuer fortglimmt, das Löschpapier, welches Flüssigkeiten aufsaugt, aber feste Körper nicht hindurchlässt, das Holz, welches in feuchter Luft aufquillt u. s. w. Weniger bemerkt man die Porosität z. B. an dem Marmor, den Metallen und anderen Stoffen; und doch dringt Firniss in den Marmor, werden Metallkugeln, in die man Wasser presst, an der äusseren Fläche feucht, finden wir im Innern der Erde viele dichte Gesteine vom Wasser durchdrungen. Selbst in dem anscheinend so gleichförmigen und glasähnlichen Achat hat man in neuester Zeit Poren gefunden, denn er nimmt manche Farbstoffe auf, mit denen man ihn in Berührung bringt, und zeigt unter gewissen Umständen die Poren unter dem Mikroskope. Derjenige Körper, bei welchem bisher gar keine Spur von Porosität hat bemerkt werden können, ist das Glas, indem dasselbe sowohl für Flüssigkeiten, als für Gase undurchdringlich ist.

§ 10. Die *Anziehungskraft* äussert sich zwischen allen festen Körpern. Sie ist zweierlei Art, je nach der Entfernung der sich anziehenden Theile. Die Kraft, wie sie sich zwischen unmittelbar neben einander gelegenen Theilchen — Atomen der Moleküle — äussert, ist in ihren Gesetzen noch wenig bekannt und scheint je nach der Natur der Atome sehr verschieden zu sein, indem sie sogar bei gasförmigen Körpern in eine gegenseitige Abstossung — *Repulsion* — übergeht.

Alle Körper oder Theile von Körpern aber, welche von einander in einer unseren Sinnen wahrnehmbaren Entfernung sich befinden, ziehen sich nach einem und demselben Gesetze an, welches als das *Gravitationsgesetz* wohl das allgemeinste der Natur sein dürfte. Die Kraft nämlich, mit der sich zwei Körper anziehen, sie mögen eine Beschaffenheit haben, welche es auch sei, wächst im Verhältnisse ihrer Massen oder der Menge der darin enthaltenen Materie (s. § 12) und nimmt in dem Quadrate desjenigen Verhältnisses ab, in welchem die Entfernung der beiden Körper zunimmt.

Bei einer bestimmten Entfernung zieht der Körper A einen anderen B mit einer bestimmten Kraft an, die von dessen Masse abhängt; einen Körper C von der doppelten Masse wie B zieht er mit doppelter, einen anderen D von zehnfacher Masse mit zehnfacher Kraft an, und die Anziehungskraft zwischen einem Körper A', welcher 4 mal so viel Masse hat wie A, ist auf diesen Körper 4 mal so gross; sie beträgt also für A' und D vierzigmal so viel, wie für A und B.

Bei *gleichen Massen* aber hängt die Kraft der Anziehung von der Entfernung der Körper ab. Wenn dieselbe zweimal so gross wird, so vermindert sich die Anziehungskraft auf ein Viertel; wenn die Körper sich auf das Hundertfache ihres früheren Zwischenraumes entfernen, so bleibt ihre gegenseitige Anziehung nur noch $\frac{1}{10000}$ u. s. w.

Man spricht dieses allgemeine Gesetz der Anziehungskraft so aus: Die Anziehung zweier Körper steht im *geraden Verhältniss der Massen und im umgekehrten Verhältniss des Quadrates der Entfernung*. Nennt man k die Anziehungskraft zwischen zwei Körpern von der Masse 1 und bei der Entfernung 1, so findet man demnach diejenige zwischen zwei Körpern von anderer Masse und bei anderer Entfernung, indem man k mit dem Producte der beiden Massen multiplicirt und durch das Quadrat der Entfernung dividirt; für die Masse m und m' und die Entfernung d wird also die Anziehung $\frac{k \cdot m \cdot m'}{d^2}$

Es ist z. B. die Masse der Sonne 355000 mal grösser als die unserer Erde. Ein Körper an der Oberfläche würde also mit einer 355000 mal grösseren Kraft angezogen werden als an der Erdoberfläche; allein die mittlere Entfernung der anziehenden Theilchen ist 112 mal grösser als bei der Erde, indem der Sonnenhalbmesser 112 Erdhalbmesser beträgt; daher vermindert sich die Anziehung so, dass sie $112 \cdot 112 = 12544$ mal kleiner wird. Hieraus ergibt sich die Kraft, mit welcher ein Körper an der Sonnenoberfläche angezogen wird, als $\frac{355000}{12544}$ (oder etwa $28\frac{1}{2}$) mal so gross wie die Anziehungskraft an der Erdoberfläche.

Die Kraft, mit welcher die Fixsterne die Erde anziehen, ist nicht Null, *verschwindet* aber gegen die der Sonne vollkommen, wegen deren Entfernung. Nimmt man diese zu 400000 Sonnenentfernungen an, so ist, bei der Unterstellung gleicher Massen für Sonne und Fixsterne, die Anziehung eines Fixsternes 160 Millionen mal kleiner als die der Sonne, und folglich gegen diese verschwindend klein. Auf der anderen Seite bringt die ausserordentlich geringe Masse der Kometen, trotz der verhältnissmässig geringen Entfernungen, in welche sie zur Erde und anderen Planeten bisweilen gelangen, auf den Lauf derselben keine Veränderung hervor (wie dies bei einer merklichen Anziehung geschehen müsste), weil dieselbe in Folge der äusserst geringen Masse unmerklich bleibt.

§ 11. Eine Folge der Anziehung zwischen den einzelnen Körpern ist die *Schwerkraft* im engeren Sinne des Wortes, d. h. die Kraft, mit welcher die Körper von der Erde angezogen werden, und die *Schwere*, d. h. der Druck, welchen sie in Folge dieser Anziehung auf ihre Unterlage ausüben. Auch findet umgekehrt eine Anziehung der Körper gegen die davon entfernte Erde statt, und insofern hat auch die Erde eine Schwere in Bezug auf die übrigen Körper; allein die Masse der Erde ist, gegenüber derjenigen der gewöhnlich beobachteten Körper, so ausserordentlich gross, dass wir von der gegenseitigen Anziehung nur diejenige be-

merken, welche von der Erde auf den kleineren Körper ausgeübt wird. Da jedes einzelne Theilchen der Erde diese Anziehung bewirkt, so entsteht ein gemeinschaftliches Resultat, welches sich nach Richtung und Grösse aus allen Einzelwirkungen zusammensetzt. Die Richtung ist nicht ganz genau nach dem Mittelpunkt der Erde gerichtet, weil diese nicht genau eine Kugel ist, die Stärke der Anziehung werden wir später näher kennen lernen.

Man nennt die Richtung, nach welcher sich die Schwere an einem frei fallenden Körper zu erkennen gibt, die *senkrechte*, *lothrechte* oder *verticale*. Man erkennt sie an der Richtung eines Fadens, an welchem ein schwerer Körper, eine Bleikugel oder dergl. aufgehängt ist. Eine Linie oder Ebene, welche mit der lothrechten rechten Winkel bildet, heisst *wagerecht* oder *horizontal*.

Da die Richtung der Schwere überall sehr nahe nach dem Mittelpunkt der Erde geht, so ist sie, streng genommen, nie für zwei Orte dieselbe oder gleichlaufend, eben so wenig wie zwei Radien desselben Kreises zu finden sind, welche gleichlaufend sind. Nur zwei Punkte, welche auf der Erdoberfläche einander gerade gegenüber liegen, haben die Richtung der Schwerkraft in einer Linie liegen. Indessen ist die Ausdehnung der Erdkugel so gross, dass man kleine Strecken derselben als Ebenen betrachten und die Senkrechten an nicht sehr entfernten Punkten als gleichlaufend annehmen kann. Bei grösseren Entfernungen jedoch kann die gegenseitige Neigung der Lothlinien nicht mehr vernachlässigt werden.

Bei unterstützten Körpern äussert sich die Schwere durch den *Druck* auf die Unterlage; derselbe wirkt natürlich nach der Richtung der Anziehung, d. h. nach der Senkrechten. Ist die unterstützende Fläche horizontal, so steht also der ausgeübte Druck senkrecht auf derselben; in anderen Fällen ist er darauf geneigt. Ist dann kein Hinderniss vorhanden, wie z. B. Reibung u. s. w., so verursacht er ein *Gleiten* des Gegenstandes.

§ 12. Diesen *Druck* der Körper, welchen sie in Folge der Schwerkraft auf ihre Unterlage ausüben, nennt man das *Gewicht*. Dasselbe ist um so grösser, je grösser die Anzahl der angezogenen Theilchen im Körper ist. Die Anzahl der körperlichen Theile nennt man die *Masse* eines Körpers, und sie wird demnach durch dessen Gewicht, d. h. durch die Anziehungskraft, welche die Erde darauf ausübt, gemessen. Für die gleiche Anziehungskraft bleibt die Masse desselben Körpers immer gleich; wechselt jene, bezieht man sie z. B. auf die Oberfläche eines anderen Himmelskörpers, so nimmt die Masse ab oder zu, jedoch so, dass, wenn mehrere Körper verglichen werden, das Verhältniss der Massen wieder dasselbe ist, indem für alle die Anziehungskraft stärker wird.

Als *Einheit* des Gewichtes dienen in den meisten Ländern Gewichte einer durch die Maasseinheit gemessenen Menge reinen Wassers. In Preussen ist das Pfund der 66. Theil des Gewichtes eines Kubikfusses reinen Wassers (im Zustande der Dichtigkeit bei 15° R. — s. u.) Das französische System geht vom Meter aus und nimmt als Kilogramm (1000 Gramm) das Gewicht eines *Kubikdecimeters* reinen Wassers (bei dessen grösster Dichte); der tausendste Theil des Kilogramms, das Gramm, ist demnach das Gewicht eines Kubikcentimeters Wassers. Es wird in 10, 100, 1000 Theile eingetheilt. Auf das französische Gewicht bezogen, stellt sich das Verhältniss der üblichen Pfunde folgendermassen:

Preussisches Pfund = 467,711 Gramm = preuss. Loth = 14,616 Gramm.

Ein Kilogramm = 2,13807 pr. Pfd. = 68,41827 pr. Loth.

Ein Gramm = 0,068418 pr. Loth = 16,419589 Gramm.

Englisches Pfund 453,6005 Gramm.

Badisches Pfund 500,00 Gramm = $\frac{1}{2}$ Kilogramm.

Zollpfund = $\frac{1}{2}$ Kilogramm.

§ 13. Die *Trägheit* oder das *Beharrungsvermögen* ist die Eigenschaft jedes Körpers, vermöge deren er, einmal in Bewegung gebracht, seine Bewegung fortsetzt, bis eine Kraft oder ein Widerstand seine Bewegung aufhebt, und vermöge deren er, wenn er sich im Zustande der Ruhe befindet, nicht ohne Einwirkung einer Kraft in Bewegung geräth.

In Folge der Trägheit bewegen sich beim plötzlichen Stillstehen eines Schiffs oder Wagens alle darin befindlichen Gegenstände weiter, in Folge derselben Eigenschaft fällt man, wenn man aus einem bewegten Wagen auf die feste Erde tritt, nach der Richtung der Bewegung des Wagens, indem die Füße bereits ihre sichere Bewegung durch den Widerstand der Erde verloren haben, während die übrigen Theile des Körpers diese noch beibehalten. Aus demselben Grunde erleidet man, wenn sich ein Wagen plötzlich nach vorne bewegt, einen Stoss nach hinten. Ebenso sehen wir an Maschinen, selbst nachdem die Kraft schon zu wirken aufgehört hat, die Räder noch fortlaufen, welche keinen Widerstand zu überwinden haben, wie z. B. die Schwungräder, bis die Reibung sie zum Stillstehen zwingt; auch die grössere Schwierigkeit, einen ruhenden Körper in Bewegung zu setzen, z. B. einen Wagen oder eine andere Last fortzuschieben, als einen sich bewegenden in Bewegung zu erhalten, ist durch die Trägheit bedingt. Ist der Körper einmal in Bewegung, so ist nur der Widerstand zu überwinden, welcher sich in der Reibung u. s. w. seiner Bewegung entgegenstellt, ist er aber in Ruhe, so ist ausserdem der Widerstand seiner Trägheit zu besiegen.

Die Grösse des Einflusses, welchen die Trägheit geltend macht, ist bei verschiedenen Körpern abhängig von ihrer Masse.

§ 14. Vergleicht man unter sich die Gewichte gleicher Raumtheile der einzelnen Körper, so findet man, dass dieselben sehr verschieden ausfallen; ein Kubikfuss Wasser wiegt 66 Pfd., ein Kubikfuss Blei etwa 750 Pfd., ein Kubikfuss Wasserstoff nur etwa 0,08 Loth.

Um einen Vergleich zwischen dem Gewichte gleicher Raumtheile aller Körper zu ermöglichen und dabei nicht jedesmal denjenigen bezeichnen zu müssen, auf welchen der Vergleich bezogen ist, ist man übereingekommen, das Gewicht aller Körper mit dem Wasser zu vergleichen, und nennt das Verhältniss zwischen dem Gewichte eines Körpers und dem Gewichte des gleichen Raumtheiles Wasser dessen *Dichtigkeit* oder *specificisches Gewicht*. Die oben bezeichnete Schwere eines Kubikfusses Blei ist das 11,35-fache des Gewichtes desselben Volumens Wasser; das Blei ist also 11,35-mal so dicht wie dieses. Der Einfachheit wegen bezeichnet man das Gewicht irgend eines Volumens Wassers mit 1 und die Verhältnisszahlen für die Gewichte derselben Raumtheile anderer Körper sind also die Zahlen, welche ihre Dichtigkeit darstellen; 11,35 ist demnach die Dichtigkeit oder das specificische Gewicht des Bleies.

Es wiegt ein Kubikzoll Wasser $1\frac{2}{3}$ Loth; ein Kubikzoll eines anderen Körpers wiege 11 Loth; dann ist seine Dichtigkeit 9-mal so gross wie die des Wassers, oder (da man die des Wassers = 1 setzt) = 9. Nähme man das Gewicht des gleichen Volumens Wassers = 100, so wäre diejenige des in Rede stehenden Körpers = 900 u. s. w.

Die hieraus sich ergebende Methode, die Dichtigkeiten der verschiedenen Körper zu bestimmen, besteht darin, ein gewisses Volumen derselben zu wägen, dann das Gewicht des genau gleichen Volumens Wasser zu ermitteln und beide mit einander zu vergleichen; setzt man dann das Gewicht des Wassers = 1 oder, was dasselbe ist, dividirt man das erhaltene Gewicht des Körpers durch das des Wassers, so ist der Quotient das specifische Gewicht dieses Körpers. Für Flüssigkeiten ist es leicht, gleiche Raumtheile — wenigstens mit annähernder Genauigkeit — abzumessen; bei festen Körpern ist es ebenfalls in einigen Fällen ausführbar; im Allgemeinen wird jedoch diese Methode nur selten angewendet. Später werden wir andere Wege kennen lernen, das specifische Gewicht zu bestimmen.

Zur Uebung in kleinen Experimenten und Rechnungen wollen wir jedoch einige Zeit bei dieser Methode verweilen und specielle Fälle dieser Versuche betrachten.

Versuch. Man verschaffe sich eine kleine Wage, wie sie für 15 bis 20 Sgr. leicht zu haben ist, und hänge sie an einem vorspringenden Theile des Tisches frei auf; ein Satz kleiner Gewichte und ein Kästchen mit Schrotkörnern wird ebenfalls unschwer zu erhalten sein. Ein kleines, möglichst leichtes Gläschen, am besten ein sog. Bechergläschen, wird nun an seinem oberen Rande so lange mit Wasser auf einem glatten Ziegel- oder Sandsteine abgerieben, bis derselbe vollkommen eben ist, und vermittelst eines kleinen, ebenen Glasstückes dicht bedeckt werden kann. Hierauf bringe man Gläschen nebst Glasdeckel auf der Wage mittelst Schrotkörnern in's Gleichgewicht, lasse diese auf der Schale liegen und fülle das Glas vorsichtig mit möglichst reinem Regenwasser, und zwar so, dass dasselbe, ohne überzulaufen, etwas höher als der Rand des Glases steht; dann führe man den Glasdeckel horizontal über den Rand des Glases, so wird das überstehende Wasser weggedrängt und das Gefäß durch das Glasstück bedeckt, indem es vollkommen mit Wasser erfüllt ist. Nach einigen Versuchen wird es gelingen, dies so zu bewerkstelligen, dass keine Luftblasen im Glase bleiben. Nachdem das Glas mittelst Fließpapier von allem anhängenden Wasser befreit worden, wiege man das mit Wasser gefüllte Gläschen; da das Glas durch die Schrotkörner ausgeglichen wird, so ergibt das zugelegte Gewicht nur das Gewicht des Wassers. Es sei z. B. $7\frac{1}{4}$ Loth.

Das Gefäß wird nun ausgeleert, mit etwas Fließpapier sorgfältig ausgetrocknet und mit einer anderen Flüssigkeit gefüllt; man nehme dazu Schwefeläther, verfare damit genau wie oben und bestimme dessen Gewicht; man wird, für obige Annahme, etwa $5\frac{1}{4}$ Loth erhalten.

Hieraus ergibt sich das specifische Gewicht des Aethers, indem man das Gewicht des gewählten Volumens mit dem desselben Volumens Wasser vergleicht; das Verhältniss der beiden Zahlen $5\frac{1}{4} : 7\frac{1}{4}$ ergibt demnach das Gewünschte. Indem nun das Gewicht des Wassers = 1 gesetzt wird, so haben wir auch das Gewicht des Aethers durch $7\frac{1}{4}$ zu dividiren, damit das Verhältniss dasselbe bleibe, und erhalten somit als specifisches Gewicht des Aethers $\frac{5,25}{7,25} = 0,724$, was mit der Zahl 0,715, wie die genaueren Versuche ergeben haben, für unseren Zweck hinreichend übereinstimmt.

Ähnliche Versuche lassen sich mit anderen Flüssigkeiten anstellen; doch wähle man solche, deren specifisches Gewicht von dem des Wassers hinlänglich verschieden ist, um von der kleinen Wage angegeben zu

werden, z. B. Photogen (Solaröl), Gasäther, Weinsteinöl, Quecksilber, Perubalsam.

§ 16. *Versuch.* Man wäge auf der kleinen Wage möglichst genau ein Stück Zink ab; sein Gewicht sei s ; darauf ermittle man das Gewicht des Glases voll Wasser, mit dem *daneben* liegenden Stück Zink; dieses Gewicht sei w . Hierauf lege man das Zink in das Glas, wobei eine gewisse Menge Wasser überlaufen muss, dessen Umfang dem des Zinkes vollkommen gleich ist, denn da das Glas genau voll war und auch wieder genau voll bleibt, so muss das Volumen des ausgetretenen Wassers *genau* das des Zinkes sein. Wägt man nunmehr das abgetrocknete Glas mit dem darin liegenden Zink und der geringeren Menge Wasser ab, so zeigt der Unterschied zwischen dem vorigen Gewichte w und diesem kleineren w' , also $w-w'$ das Gewicht einer Menge Wassers an, welche an Volumen dem abgewogenen Stück Zink gleicht. Das Verhältniss des Gewichtes s des Stückes Zink zu dem Gewichte des ihm gleichen Volumens Wasser $w-w'$ oder $\frac{s}{w-w'}$ gibt demnach das specifische Gewicht des Zinks an.

Man bestimme auf dieselbe Weise das specifische Gewicht anderer Körper, welche schwerer sind als Wasser, z. B. Eisen, Blei u. s. w., und controlire den einen oder anderen Versuch durch einen Vergleich zweier dergestalt erhaltener Resultate, durch folgenden

§ 17. *Versuch.* Man lasse von einem Metallarbeiter aus einem Zinkblock einen Würfel schneiden, welcher möglichst genau gearbeitet sein und eine bestimmte Seitenlänge, z. B. einen halben Zoll haben muss; einen Würfel von ganz gleicher Grösse lasse man dann aus Blei giessen oder schneiden und genau abfeilen. Man bestimme alsdann möglichst scharf das Gewicht der beiden Würfel; das des Zinkwürfels sei zu 8,8 Loth, das des Bleiwürfels zu 13,8 Loth gefunden worden. Das specifische Gewicht des Zinks ist aus dem vorigen Versuche bekannt; es sei 7,21; man bestimme dann aus diesen Zahlen das specif. Gewicht des Bleies, indem man eine Zahl sucht, welche sich zu 13,8 verhält, wie 7,21 zu 8,8, also durch die Proportion

$$x : 13,8 = 7,21 : 8,8.$$

Hieraus erhält man 11,31; genauere Versuche würden Zahlen ergeben haben, welche den bekannten näher stehen.

Auch auf andere Weise lässt sich aus jenen Daten das specifische Gewicht des Bleies finden, wenn man die Thatsache, dass ein Kubikzoll Wasser $1\frac{1}{8}$ Loth wiegt, als bekannt voraussetzt. Man hat dann aber den Bleiwürfel auszumessen und seinen Inhalt zu berechnen. Wenn seine Seite z. B. genau $\frac{1}{2}$ Zoll beträgt, so ist sein Inhalt $\frac{1}{8}$ Kubikzoll. Hätte man dessen Gewicht zu $1\frac{1}{8}$ Loth gefunden, so würde das specifische Gewicht des Bleies, da $\frac{1}{8}$ Kubikzoll Wasser $\frac{11}{72}$ Loth wiegt, durch die Division

$$\frac{1,75}{0,152} = 11,5$$

erhalten werden.

Die Ermittlung des specifischen Gewichtes des Zinks kann man auf demselben Wege vornehmen und mit dem Resultate des vorigen Versuches vergleichen.

§ 18. *Aufgabe 1.* Eine Kugel aus Silber (specifisches Gew. 10,47) habe einen Durchmesser von 2 Millimeter; welches ist ihr Gewicht (in Grammen)?

Auflösung. Der Inhalt der Kugel wird nach der Formel $\frac{4}{3} \pi r^3$ zu 4,55 Kubikmillimeter gefunden. Da ein Kubikcentimeter Wasser (§ 12) ein Gramm wiegt, so wiegt ein Kubikmillimeter Wasser ein Milligramm; 4,55 Kubikmillimeter Wasser also 4,55 Milligramm und dasselbe Volumen Silber 10,47-mal so viel oder 47,62 Milligramm, d. h. 0,4762 Gramm.

Aufgabe 2. Ein Holzcyylinder aus Tannenholz habe eine Länge von 10' bei einem Durchmesser von 1'; sein Gewicht betrage 284,955 Pfd.; wie gross ist das specifische Gewicht des Tannenholzes?

Auflösung. Der Inhalt des fraglichen Cylinders beträgt 7,85 Kubikfuss. Da ein Kubikfuss Wasser 66 Pfd. wiegt, so wiegt ein Volumen Wasser, welches dem des Holzes gleich, 518,1 Pfd. Setzen wir dieses Gewicht = 1, so haben wir, um das entsprechende des Holzes zu finden, die Zahl 284,955 gleichfalls durch 518,1 zu dividiren und erhalten für das gesuchte specifische Gewicht 0.55.

Aufgabe 3. Ein Platinblech habe eine Dicke von $\frac{1}{4}$ Millimeter; das specifische Gewicht betrage 21,25; man will daraus ein quadratförmiges Stück schneiden, welches als Gewicht dienen und genau 1 Gramm wiegen soll; wie gross ist die Seite des Quadrats zu nehmen? *Antw.* 13,72 Millimeter.

Aufgabe 4. Wie kann man aus folgenden Angaben das specifische Gewicht des Terpentinöls berechnen: Ein Stück Eisen, welches 10 Gramm wog, wurde in ein Gefäss mit Wasser getaucht, welches vollkommen voll war und dadurch zum Ueberfliessen gebracht wurde, wodurch der Gewichtsverlust (da man beide Male das Eisen mit wog) 1,316 Gramm betrug. Da man das Eisen nicht gänzlich von dem anhängenden Wasser befreien konnte, so nahm man ein anderes Stück, welches 12,5 Gramm wog, und wiederholte für das Terpentinöl dieselbe Operation; die durch das Ueberlaufen herbeigeführte Gewichtsabnahme betrug 1,913 Gramm. *Antw.* 0,86.

§ 19. Um das specifische Gewicht verschiedener Substanzen in etwas genauerer Weise, aber doch nach denselben einfachen Principien zu bestimmen, bedient man sich eines kleinen Apparates, der unter dem Namen *Tausendgranfläschchen* bekannt ist. Dies ist ein kleines Fläschchen von dünnem Glase, in dessen Hals ein cylinderförmiger Stöpsel sehr genau eingeschliffen worden, welcher seiner ganzen Länge nach durchbohrt und an seiner oberen Fläche glatt abgeschliffen ist. Dadurch wird es möglich, das Fläschchen sehr *genau* mit einer Flüssigkeit anzufüllen, indem der letzte Rest des durch den Stöpsel verdrängten Inhaltes des übervoll gefüllten Gefässes durch die Oeffnung desselben entweicht und leicht abgewischt werden kann. Im Uebrigen geschieht die Operation gerade wie bei dem vorhin angegebenen Gläschen mit abgeschliffenem Rand; nur ist zu bemerken, dass, wenn man in derselben Weise, wie dort beschrieben, das specifische Gewicht von festen Körpern ermitteln will, diese im Zustande kleiner Körner angewendet werden müssen.

Seinen Namen hat das bezeichnete Fläschchen davon, dass man es häufig so einrichtet, dass es genau 1000 Gran reines Wasser hält. Wenn man alsdann nach dem Anfüllen mit einer anderen Flüssigkeit sein Gewicht ermittelt und davon dasjenige des leeren Glaschens abzieht, so erhält man nach einer blossen Division durch Tausend das verlangte specifische Gewicht. Wenn man z. B. gefunden hat, dass nach Abzug des Gewichtes des Glaschens das Gewicht der dasselbe erfüllende Menge Oel 982 Gran ist, so ist das specifische Gewicht dieses Oels 0,982. Bei

der jetzt üblichen Benutzung des Grammgewichtes pflegt man die Fläschchen nach anderen Gewichten abzugleichen. Soll mittelst dieses Instrumentes das specifische Gewicht von Substanzen bestimmt werden, welche im Wasser löslich sind, so wählt man als Zwischenglied eine andere Flüssigkeit, wie Alkohol, Oel, Terpentinöl, und bestimmt ihr specifisches Gewicht in Bezug auf diese, worauf eine einfache Rechnung das Verlangte ergibt.

Man habe z. B. das specifische Gewicht des schwefelsauren Kali's zu ermitteln und habe davon 0,352 Gramm abgewogen. Man bringe dieses Stückchen des Salzes in das mit Terpentinöl gefüllte Fläschchen; das Gewicht des Salzes und des gefüllten Fläschchens betrage 87,602 Gramm, nach dem Einlegen des Salzes in das Fläschchen und dem Entfernen des Oeles wiege dasselbe noch 87,472 Gramm. Hieraus folgt, dass das dem Volumen des Salzes gleiche Volumen Terpentinöl 0,13 Gramm wiegt. Das Gewicht eines gleichen Volumens Wasser findet man, da das specifische Gewicht des Terpentinöles = 0,8725 ist, durch $\frac{0,13}{0,8725} = 0,149$.

Das specifische Gewicht des schwefelsauren Kali's in Bezug auf Wasser findet man durch das Verhältniss der beiden Gewichte 0,352 : 0,149 mit 2,36.

Das specifische Gewicht der luftförmigen Körper pflegt man, um kleine Zahlen zu vermeiden, nicht auf das Wasser, sondern auf die atmosphärische Luft als Einheit zu beziehen. Sollen dann luftförmige und feste oder flüssige Körper untereinander verglichen werden, so ist natürlich das specifische Gewicht aller *auf dieselbe Einheit* zu beziehen, was bei dem bekannten specif. Gew. der Luft in Bezug auf Wasser eine einfache Operation ist. Wenn wir die Mittel kennen gelernt haben, gleiche Volumina verschiedener Luftarten gegen einander abzuwägen, werden wir auch hierauf noch näher zurückkommen.

§ 20. Man unterscheidet je nach der Verschiebbarkeit der einzelnen Theile — Moleküle — der Körper dreierlei Zustände — *Aggregatzustände* — derselben.

Fest nennt man diejenigen Körper, deren Theile sich nicht von einander verschoben lassen, *flüssig* diejenigen, deren Theile leicht verschiebbar sind. Die flüssigen sind *tropfbar flüssig* oder *flüssig im engeren, gewöhnlichen Sinne*, wenn ihr Volumen unveränderlich oder doch nur sehr wenig durch Druck modificirbar ist; sie sind *elastisch flüssig*, *luftförmig* oder *gasförmig*, wenn ihr Volumen gänzlich von dem äusseren Druck abhängt, indem sie mit jeder Verminderung oder Vermehrung desselben ihre Ausdehnung ändern.

Die Gestalt der *festen* Körper ist selbstständig, die der *flüssigen* nicht, und zwar hängt die Gestalt der tropfbarflüssigen von dem sie enthaltenden Gefässe und der Masse, die der gasförmigen nur von dem umschliessenden Raume ab, indem sie jedes Gefäss vollkommen erfüllen. Während die *flüssigen* Körper (im engeren Sinne) nur eine grosse Beweglichkeit der Moleküle besitzen, haben die Theilchen der gasförmigen sogar das Bestreben, sich immer weiter von einander zu entfernen.

Zwischen diesen drei Aggregatzuständen gibt es zahlreiche Uebergänge und Abstufungen, welche namentlich an den sehr verschiedenen Graden der *Flüssigkeit* der flüssigen Körper hervortreten. Als eine sehr wenig bewegliche Flüssigkeit nennen wir z. B. den Schwefel bei einer Temperatur von 250°, als eine ausserordentlich leicht bewegliche, *sehr flüssige* Flüssigkeit die Aetherarten, den Schwefelkohlenstoff u. s. w.

§ 21. Die verschiedenen Körper unterscheiden sich von einander durch den verschiedenen Grad ihrer *Härte* und ihrer *Elasticität*.

Härte nennt man den Widerstand, welchen ein Körper dem Eindringen eines anderen in seine Masse entgegensetzt; man misst sie, obwohl in mangelhafter und nur annähernder Weise, durch die Leichtigkeit, mit welcher sie von bestimmten Körpern *geritzt* werden.

Elasticität nennt man die Eigenschaft der Körper, nach erfolgter Aenderung ihrer Gestalt durch Druck wieder die ursprüngliche anzunehmen, wenn der Druck aufhört. *Vollkommen* elastisch heisst der Körper, welcher mit derselben Gewalt wieder in seine Lage zurückkehrt, mit welcher er daraus verdrängt wurde. Eine solche vollkommene Elasticität findet bis zu einem *gewissen Drucke* für jeden Körper statt; bei höherem Druck wird eine bleibende Formveränderung bewirkt. Der Punkt; wo ein solcher bleibender Einfluss des Druckes eintritt, heisst die *Elasticitätsgrenze* des Körpers; die Kraft, womit er *innerhalb* derselben in seine vorige Lage zurückkehrt, heisst die *Spannkraft* oder *Elasticität* im engeren Sinne. Man hat sie durch viele Versuche ihren Gesetzen nach ermittelt und gefunden, dass sie im einfachen Verhältniss zu der erlittenen Zusammenrückung oder Ausdehnung steht. Ist die Elasticitätsgrenze einmal überschritten, so treten dagegen ganz andere Verhältnisse ein. Wird aber *innerhalb* derselben z. B. ein Metallstab durch einen gewissen Druck um einen bestimmten Bruchtheil seiner Länge verkürzt, so bringt der doppelte Druck auch eine doppelte Verkürzung zu Wege u. s. w.

Die Grösse der Kraft, welche erforderlich ist, um bleibende Veränderungen hervorzubringen, um also die *Elasticitätsgrenze* zu überschreiten, ist nach den verschiedenen Körpern sehr verschieden und wächst bei jedem einzelnen mit dem Querschnitt. Das Gewicht (in Kilogrammen ausgedrückt), welches die Länge eines Stabes von 1 Quadrat-Millimeter Querschnitt verdoppeln würde, wenn dies überhaupt möglich wäre, nennt man den *Elasticitätscoefficienten*. Derselbe kann natürlich, weil eine solche Verlängerung nicht vorkommt, nur aus kleineren Verlängerungen *berechnet* werden, dient aber als Vergleichungspunkt für die Elasticitäten verschiedener Körper, weil er erlaubt, sie auf dieselbe Einheit zurückzuführen.

Zu bemerken ist noch, dass die Elasticitätsgrenze nur für *kurze* Zeiträume Geltung hat, indem auch durch Belastungen, welche unter der entsprechenden Kraft bleiben, bei längerer Dauer derselben bleibende Veränderungen hervorgebracht werden.

Körper, welche sehr wenig elastisch sind, heissen *spröde*. Die Elasticität kommt, wenigstens in geringem Maasse *allen*, selbst den als äusserst spröde bekannten Körpern zu.

Glas in sehr dünne Fäden ausgezogen oder in dünne Blättchen ausgeblasen ist ausgezeichnet elastisch; selbst bei gewöhnlicher Dicke zeigt sich die Elasticität.

Versuch. Wenn man an einem gewöhnlichen Trinkglase in den Rand einen Feilstrich macht, dann mittelst einer „Sprengkohle“ einen spiralförmigen Sprung von diesem aus in dem Glase anbringt, der dasselbe mehrmals umkreist, so bleibt zwar bei ruhigem Stehen des Glases der Sprung so dicht, dass eingegossenes Wasser nicht ausfließt; hebt man aber das gefüllte Glas am oberen Rande in die Höhe, so fließt das Wasser aus, weil die einzelnen Theile sich dehnen und den Sprung erweitern; lässt der durch das Gewicht des Glases hervorgebrachte Zug nach, so schliessen sich die Fugen wieder wasserdicht.

Die Sprödigkeit und Elasticität kann durch manche Umstände sehr erhöht oder vermindert werden; dahin gehören u. A. besonders die verschiedenen Arten der Erhitzung und Abkühlung; so namentlich beim Stahl, beim Glas u. s. f. (Bologneser Flaschen, Glasthränen).

§ 22. Die Kraft, womit die einzelnen Moleküle eines Körpers zusammengehalten werden, heisst *Cohäsion*; der Widerstand, welchen er vermöge derselben dem *Zerreißen* entgegensetzt, die *absolute Festigkeit*, derjenige, welchen er dem *Zerbrechen* entgegenstellt, die *relative Festigkeit*, und die Kraft, welche erforderlich ist, um ihn zu *zerdrücken*, die *rückwirkende Festigkeit* dieses Körpers.

Um die absolute Festigkeit der verschiedenen Körper zu bestimmen, hängt man Fäden oder dünne Stäbe davon vertikal auf, befestigt das obere Ende sorgfältig und belastet das untere so lange mit Gewichten, bis der Stab reißt. Man beobachtet dabei stets, dass vor dem Reißen eine Verlängerung und ein Dünnerwerden der reissenden Stelle eintritt. Die absolute Festigkeit wird in Kilogrammen für einen Centimeter Querschnitt ausgedrückt und ist für diejenigen Körper ermittelt worden, deren Anwendung in der Technik u. s. w. es von Wichtigkeit erscheinen liess. Man pflegt dann für Metalle den 4., für Hölzer den 3. Theil der ermittelten Festigkeit anzunehmen und danach die Dimensionen der *ruhenden*, tragenden Theile zu berechnen; für bewegte Körper rechnet man die Festigkeit noch geringer.

Die Cohäsion desselben Körpers ist von mancherlei Umständen abhängig, wie Temperatur, vorhergegangener Druck oder Formveränderung, geringe Beimengung gewisser fremder Substanzen u. s. w. Im Allgemeinen steht die relative Festigkeit im Verhältniss zum Querschnitt.

Die *relative Festigkeit* ermittelt man, indem man die nur an den Enden aufliegenden Körper so lange in der Mitte mit Gewichten beschwert, bis sie brechen. Man hat gefunden, dass bei denselben Substanzen die relative Festigkeit mit der Breite und dem Quadrate der Höhe zunimmt und mit der wachsenden Länge abnimmt. Die Gesetze für die Tragkraft von nur an einem Ende unterstützten Balken und Stäben sind hiervon abweichend und für die Technik nicht ohne Interesse, obwohl mancherlei Umstände sehr wechselnden Einfluss üben. Die Form und Vertheilung der Masse ist hierbei von grosser Wichtigkeit.

Die *rückwirkende Festigkeit* ist bei Körpern von gleicher Materie dem Würfel der Dicke, multiplicirt mit der Breite, direct proportional, und verhält sich umgekehrt wie das Quadrat der Länge. Wirkt die drückende Kraft auf einen verhältnissmässig kleinen Theil einer grossen Oberfläche, so kann man die rückwirkende Festigkeit als proportional der Fläche annehmen.

Von den durch Versuche ermittelten Zahlen für die verschiedenen Substanzen pflegt man nur ein Zehntel als wirkliche Tragkraft anzunehmen.

Für Haare, Saiten oder Drähte, die an einem Ende befestigt sind, ist der Widerstand, welche sie leisten, wenn man das andere einer Drehung unterwirft, besonders für physikalische Versuche von Interesse. Man hat denselben für viele Substanzen mittelst der *Coulomb'schen Drehwage* bestimmt; er ist für elastische Stoffe dem Winkel proportional, um welchen die Drehung erfolgte. Die Biegung horizontal gespannter Saiten und Drähte ist dem biegenden Drucke proportional.

§ 23. Ausser durch die *Festigkeit* äussert sich die *Cohäsion* auch durch den Widerstand, welchen zwei Punkte desselben Körpers, wenn sie fest an einander angeedrückt werden, der Trennung entgegensetzen. Dieser

Widerstand ist um so grösser, je zahlreicher die Berührungspunkte sind; er hört ganz auf, wenn ein auch noch so dünnes Blättchen Papier oder dergl. dazwischen gelegt worden; die Dicke der Platten hat keinen Einfluss auf die Stärke des Widerstandes und es ist also hier nur die Kraft thätig, welche sich zwischen den sich *unmittelbar* berührenden Theilchen äussert.

Man nennt daher diesen besonderen Fall der Cohäsion auch *Adhäsion*. Sie kommt für feste Körper seltener zum Vorschein, als für Flüssigkeiten, weil feste Körper nur schwierig vollkommen mit einander in Berührung zu bringen sind, indem dies schon durch die Luftschicht, welche an ihrer Oberfläche zurückgehalten wird, verhindert werden kann.

Es findet zwar zwischen allen festen Körpern und Flüssigkeiten eine Adhäsion statt, allein sie ist doch für die einzelnen Stoffe äusserst verschieden. Bei manchen tritt eine Art von Abstossung ein, wodurch eine vollständige Berührung verhindert zu werden scheint, allein auch bei diesen — z. B. bei Quecksilber und Glas — bleiben immer Theilchen der Flüssigkeit an dem festen Körper haften, obwohl mit sehr geringer Kraft. Legt man eine Glasplatte auf die Oberfläche von Wasser und versucht, sie wieder aufzuheben, so ist hierzu eine gewisse Kraft erforderlich; es wird durch diese jedoch nicht die Adhäsion zwischen Glas und Wasser, sondern die Cohäsion des Wassers selbst überwunden, denn an der abgerissenen Platte bleibt Wasser haften. Indessen ist wohl zu beachten, dass dennoch die Adhäsion Ursache der Erscheinung ist, denn bei Substanzen, welche wenig adhären, ist die erforderliche Kraft gering. In dem erwähnten Falle aber wird die Cohäsion früher überwunden, als die Adhäsion, oder ist geringer als dieselbe. Für alle Flüssigkeiten, bei denen dies der Fall ist, kann in solcher Weise die Cohäsion vermittelt werden; man hat gefunden, dass sie z. B. für Wasser mit der Auflösung von Salzen darin abnimmt und dass sie auch bei wachsender Wärme geringer wird.

Auf der Adhäsion fester Körper beruht das Haften des Stabes an den Wänden und der Decke, das Abfärben mancher Stoffe, das Plattiren der Metalle (Befestigen eines Blechs auf dem anderen durch Zusammenwalzen), das Zeichnen mit Bleistift und Kreide. Sehr gut geschliffene Glasplatten, so auf einander geschoben, dass die anhaftende Luftschicht abgestreift wird, sind ohne zu zerbrechen, nicht wieder zu trennen; eine Folge der Adhäsion ist es auch, dass die Reibung zwischen zwei Stücken desselben Metalls stärker ist, als zwischen verschiedenen Metallen, und dass sie durch Zwischenlagern von Flüssigkeiten, wie Oel u. s. w., verringert wird.

Adhäsionserscheinungen für Flüssigkeiten und feste Körper sind das Nasswerden des Papiers, das Nichtbenetztwerden des fetten Papiers u. s. w. Adhäsion und Cohäsion treten beide auf bei folgendem

Versuch. Man lege zwei kleine Brettchen oder Metallstücke oder Glasstücke, von denen das obere grösser als das untere, möglichst dicht auf einander und hebe das obere auf; das untere wird stets liegen bleiben; nun benetze man die berührenden Oberflächen mit Wasser, so wird bei Aufheben des oberen das untere daran haften bleiben. Hier überwindet die Adhäsion des Wassers zu den beiden Flächen *plus* seiner eigenen Cohäsion die Kraft der Schwere des unteren Stückes.

Auf der Adhäsion oder Anziehung zwischen festen und flüssigen Stoffen beruhen ferner die Erscheinungen, welche man unter dem Begriffe der *Capillarität* zusammenzufassen pflegt und welche, so wie die

Adhäsion und Cohäsion selbst auch zu den allgemeinen Wirkungen der Anziehungskraft gehören, von denen sie nur besondere Fälle ausmachen. Wir kommen daher später noch einmal hierauf zurück.

Eine Anwendung der Adhäsion flüssiger und fester Körper zeigen namentlich die Fälle, wo man Flüssigkeiten benützt, um zwei feste Körper, deren Adhäsion wegen mangelhafter Berührung geringer ist, zum Haften zu bringen, indem sie nach dem Verdunsten in inniger Berührung zurückbleiben. Hierher gehört das Schreiben mit Dinte, das Anstreichen, das Verzinnen, das Leimen, Siegeln u. s. w.; dabei wird stets die Flüssigkeit eines Körpers benützt, um eine allgemeine und dauernde Berührung der Theilchen hervorzurufen.

Als Mittel, die Adhäsion zu überwinden, dient in der Regel die *Reibung*, wie beim Reinigen aller Arten von Gegenständen und in ähnlichen Fällen.



ZWEITER ABSCHNITT.

GLEICHGEWICHT UND BEWEGUNG DER KÖRPER.

II. Gleichgewicht und Bewegung der festen Körper.

§ 24. Die *Bewegung* der Körper, d. h. die Veränderung ihres Ortes erfolgt stets unter der Einwirkung einer oder mehrerer Kräfte. Das Gegentheil der Bewegung, die Ruhe ist *relativ* oder *absolut*: relativ ist sie, wenn ein Körper seinen Ort in Bezug *auf andere* nicht verändert, absolut, wenn er seinen Ort an und für sich nicht wechselt. Die Bewegung bemerken wir stets nur durch Vergleichung mit anderen Körpern, die wir als ruhend annehmen. Alle Körper, welche unserer Beobachtung unterliegen, sind nur relativ ruhend, da sie entweder der Bewegung der Erde folgen oder eigene Bewegungen im Himmelsraume besitzen. Wir sprechen daher in der Physik streng genommen nur von relativer Ruhe der Erdkörper; indem wir aber die Erde als ruhend betrachten, kann sie als absolute gelten, da *allen Körpern die gleiche Erdenbewegung zukommt*, von welcher man also bei ihrer gegenseitigen Vergleichung absehen kann.

Wie sehr man sich über absolute oder relative Ruhe täuschen kann, erfährt man z. B., wenn man sich in einem stillstehenden Eisenbahnwagen befindet, an dem ein anderer Zug vorüberfährt, oder wenn man in einem sanft fahrenden Schiffe sich in Ruhe glaubt, aber aus der scheinbaren Bewegung der Ufer die eigene Bewegung *erschliesst*, weil man *weiss*, dass jene in Ruhe sind. Daher ist es erklärlich, wie man alle Gegenstände der Erde in Ruhe glaubt, da sie doch eine ungeheure Geschwindigkeit besitzen.

Wenn auf einen Körper *mehrere Kräfte* einwirken, so entsteht entweder als gemeinsame Wirkung derselben eine Bewegung oder sie heben einander auf und der Körper bleibt in Ruhe. Im ersteren Falle heisst die entstehende Bewegung die *Resultirende*, im letzteren sagt man, es sei *Gleichgewicht vorhanden*.

Statik ist die Lehre von den Umständen, unter welchen als Ergebniss mehrerer Kräfte *Gleichgewicht* entsteht, *Dynamik* ist die Lehre von den Bewegungsgesetzen der Körper unter der Einwirkung verschiedener Kräfte. Beide Gegenstände gehören zum Theil in die Mathematik, zum Theil in die Physik; wir werden sie hier kurz behandeln.

§ 25. Eine Bewegung heisst *gleichförmig*, wenn der sich bewegende Körper in gleichen Zeitabschnitten gleiche Strecken durchläuft, *ungleichförmig*, wenn dies nicht der Fall ist. Ersteres findet statt, wenn ein Körper unter dem Eindruck einer Kraft, welche nur einmal (als Stoss) gewirkt hat, sich bewegt, ohne dass weiterhin andere Kräfte, z. B. Widerstand der Luft, Reibung u. s. w., hindernd oder hemmend darauf einwirken. Ungleichförmig ist die Bewegung z. B., wenn eine oder mehrere Kräfte auf ihn einwirken, so dass die Wirkungen sich fortwährend zu der bereits bestehenden Bewegung addiren, oder wenn er auf Widerstände stösst.

Der Raum oder die Strecke, welche ein sich gleichförmig bewegender Körper in einer gewissen Zeit zurücklegt, heisst dessen *Geschwindigkeit*. Als Einheit der Geschwindigkeit nimmt man *einen in einer Secunde durchlaufenen Fuss* (oder bei Unterlegung des französischen Maasssystems einen Meter) an. Ein Fussgänger z. B., der in einer Secunde 5 Fuss zurücklegt, hat eine Geschwindigkeit von 5 Fuss, der Sturm, welcher in der Minute 3000 Fuss durchheilt, eine solche von 50 Fuss u. s. w.

Dieselbe Kraft bringt bei zwei ungleichen Massen, auf welche sie während derselben Zeit, z. B. während eines unendlich kleinen Zeittheilchens wirkt, eine um so geringere Geschwindigkeit hervor, je grösser die Masse ist, und umgekehrt. Die Gesamtwirkung der Kraft ist aber stets dieselbe, und man nennt daher die *Grösse der Bewegung* das Product aus der *Masse in die Bewegung*. Bei längerer Dauer der Einwirkung der Kräfte verhalten sich die Kräfte wie die Bewegungsgrössen, wenn sie *gleiche Zeiten* hindurch auf die Massen gewirkt haben.

Eine Kraft, welche nicht nur einen einzigen Moment, d. h. während eines unendlich kleinen Zeittheilchens auf einen Körper wirkte, sondern welche fortfährt, in jedem darauf folgenden Zeittheilchen ebenso zu wirken, heisst *gleichförmig beschleunigend*; sie beschleunigt die Bewegung deshalb, weil jede Wirkung eines Zeittheilchens sich zu der des vorhergehenden, noch fortdauernden hinzu addirt und also die Bewegung *vermehrt* oder *beschleunigt*.

Ein Körper habe z. B. durch die Einwirkung der Anziehungskraft der Erde die Geschwindigkeit v erlangt, d. h. er sei durch die Schwere veranlasst worden, v Fuss in einer Secunde zu durchlaufen, so wird er vermöge seiner Trägheit — vorausgesetzt, dass kein Hinderniss dazwischen tritt — auch in dem folgenden unendlich kleinen Zeittheilchen die Geschwindigkeit v behalten. In demselben wirkt aber die Schwere gleichfalls und erteilt ihm ihrerseits wieder die Geschwindigkeit v , welche sich zu der bereits angenommenen addirt. Dadurch erlangt er im zweiten kleinen Zeittheilchen die Geschwindigkeit $2v$, im dritten, wo die Wirkung aus den beiden ersten noch fort dauert, die Geschwindigkeit $3v$, in dem vierten die Geschwindigkeit $4v$ u. s. w.

Erlangt der Körper auf diese Weise am Ende einer Secunde — der Summe vieler unendlich kleiner Zeittheilchen — vermöge der solchergestalt beschleunigenden Kraft der Schwere die Geschwindigkeit g , so ist seine Geschwindigkeit am Ende von t Secunden, wie sich in derselben Weise ableiten lässt, gt . Diese Grösse bezeichnet man mit c ; es ist also

$$c = gt$$

d. h. man findet die Geschwindigkeit, welche ein Körper bei freiem (durch nichts gehindertem) Falle zur Erde am Ende von t Secunden erlangt hat, oder die Anzahl Fuss, welche er in der nächstfolgenden vermöge seiner Trägheit allein durchlaufen würde, wenn man die am Ende der ersten Secunde erlangte Geschwindigkeit mit der Anzahl Secunden multiplicirt.

Dasselbe gilt für jede andere beschleunigende Kraft, wofür nur g einen entsprechend grösseren oder kleineren Werth hat. Wie wir später sehen werden, ist die Grösse von g auch für die Anziehungskraft der Erde nicht an allen Punkten der Erdoberfläche gleich; sie beträgt in Deutschland 9,81 Meter oder $31\frac{1}{4}$ preuss. Fuss, d. h. ein frei fallender Körper hat *am Ende der ersten Secunde* die Eigenschaft, *ohne den Einfluss der Schwerkraft* in der nächsten Secunde $31\frac{1}{4}$ Fuss zu durchlaufen. Dass dies nur für den Fall gilt, wo keine Widerstände, selbst nicht der Widerstand der Luft entgegenwirkt, ist schon mehrmals angedeutet worden.

Fragt man nun nicht nach der Endgeschwindigkeit am Ende einer Secunde, sondern nach dem ganzen in der ersten Secunde durchlaufenen Raume (der Höhe des Falls z. B.), so ergibt sich Folgendes. Am Anfang der Bewegung war die Geschwindigkeit 0, am Ende der ersten Secunde g ; da sie *gleichförmig* zunahm, so muss der durchlaufene Raum gerade so gross sein, als ob der Körper sich mit einer in der Mitte gelegenen Geschwindigkeit gleichförmig bewegt hätte, also mit der Geschwindigkeit $\frac{g}{2}$; wenn aber ein Körper eine Secunde lang die Geschwindigkeit $\frac{g}{2}$

hat, so durchläuft er einen Raum $= \frac{g}{2}$. Ebenso findet man den in zwei Secunden durchlaufenen Raum: Anfangsgeschwindigkeit 0, Endgeschwindigkeit $2g$ (nach obiger Formel); Mittel $2 \cdot \frac{g}{2}$; in zwei Secunden durch-

laufener Raum $2 \cdot 2 \cdot \frac{g}{2}$. In drei Secunden durchläuft er $3 \cdot 3 \cdot \frac{g}{2}$ u. s. w.

und im Allgemeinen in t Secunden $t \cdot t \cdot \frac{g}{2}$; bezeichnet man den in t Secunden durchlaufenen Raum mit s , so ist also

$$s = \frac{g}{2} t^2$$

Dieses allgemeine Gesetz, dass *der von einem Körper unter dem Einflusse einer gleichförmig beschleunigenden Kraft durchlaufene Raum mit dem Quadrat der Zeit wächst*, gilt natürlich auch für den speciellen Fall der Anziehungskraft der Erde; hierfür ist $g = 31\frac{1}{4}$ Fuss; es durchläuft also ein Körper in der ersten Secunde bei freiem Fall $15\frac{1}{8}$; in der zweiten $15\frac{1}{8} \cdot 4$, in der dritten $15\frac{1}{8} \cdot 9$ u. s. w. Fuss.

Wir werden später sehen, wie man die Grösse von g bestimmt; die Wahrheit dieses Gesetzes für die Schwerkraft der Erde wird durch den Versuch mit der *Atwood'schen Fallmaschine* und mit der *Fallrinne* bestätigt. Da man nämlich nur schwer so grosse Fallhöhen beobachten kann, wie die oben angeführten, so müssen dieselben, zu genauen Messungen verringert, d. h. g verkleinert oder der Einfluss der Schwerkraft zum Theil aufgehoben werden.

§ 26. Bei der *Atwood'schen Fallmaschine* werden an einer um eine Rolle laufenden Schnur zwei gleiche Gewichte aufgehängt, welche also keine Bewegung veranlassen. Erst wenn man das eine Gewicht durch ein aufgelegtes Metallstück vermehrt, wird die Schnur nach der schwereren Seite hin in Bewegung kommen; das schwerere Gewicht fällt; da aber das aufgelegte kleine Gewicht die beiden vorhandenen, also eine grosse Masse in Bewegung setzen muss, so ist die Geschwindigkeit des Falles kleiner, und man kann sie so einrichten, dass sie nur den zehnten

oder zwölften Theil der Geschwindigkeit des freien Falles ausmachtet und also leicht beobachtet werden kann. Ein Secundenpendel ist mit der Maschine verbunden und diese so eingerichtet, dass man die Höhe des Falles genau beobachten kann und dass dieselbe durch die Reibung und andere hindernde Einflüsse möglichst wenig gestört wird. Entfernt man durch eine einfache Vorrichtung das aufgelegte Gewicht, so geht die Bewegung nur in Folge der Trägheit weiter und man kann so die in jeder Zeit erlangte *Endgeschwindigkeit* gleichfalls beobachten und die beiden oben ausgesprochenen Gesetze bestätigt finden.

Ein anderes Mittel, die Geschwindigkeit zu verlangsamen und somit die durchlaufenen Räume beobachten zu können, bietet die schiefe Ebene. Wir werden später dieselbe noch näher kennen lernen; für jetzt genügt es, zu wissen, dass eine Kugel auf derselben unter dem Einflusse der Schwerkraft, also einer *beschleunigenden* Kraft herabrollt.

Versuch. Man fertige aus recht glatter Pappe oder Holz eine möglichst lange Rinne, die so breit ist, dass irgend eine Kugel darin mit sehr geringer Reibung rollen kann. Man glätte sie inwendig sehr sorgfältig und gebe ihr auf einem Tische eine solche Stellung, dass das eine Ende einige Zoll höher als das andere steht. Eine Uhr, deren Secunden- oder halbe Secundenschläge hörbar sind, dient zum Messen der Zeit, eine Eintheilung der Rinne in Zolle zum Messen der durchlaufenen Räume. Nun lasse man die Kugel rollen und beobachte die in 1, 2, 3 u. s. w. halben oder ganzen Secunden durchlaufenen Räume mehrmals, so wird man aus dem Mittel der verschiedenen Versuche das Gesetz über die durchlaufenen Räume bestätigt finden. Liesse man die Kugel auf einem vollkommen ebenen Tische weiterrollen, so könnte man auch ihre Endgeschwindigkeit beobachten; allein hier tritt die Reibung so hemmend entgegen, dass eine auch nur annähernd genaue Ermittlung unmöglich wird.

§ 27. Ein bewegter Körper geht, *wenn kein Widerstand vorhanden ist* und die Kraft, welche auf ihn gewirkt hat, aufhört, mit gleichförmiger Geschwindigkeit weiter. Die Widerstände, welche auf die bewegten Körper wirken, sind entweder *gleichförmig* oder *ungleichförmig* verzögernd.

Wenn ein Körper z. B. durch irgend einen Stoss senkrecht in die Höhe geworfen worden ist, so würde er, wenn kein Widerstand stattfände, fortwährend mit gleicher Geschwindigkeit weiter gehen; da aber in diesem Falle die Schwere den Körper zum Zurückfallen zu bringen strebt, so wird er nicht in's Unendliche fortgehen können. Es würde nämlich die Schwere einem *fallenden* Körper in 1, 2, 3 u. s. w. Secunden die Geschwindigkeit von g , $2g$ $3g$ Fuss ertheilen; sie muss also die Bewegung des in gerade entgegengesetzter Richtung *steigenden* um eben so viel verlangsamen. Beträgt also die Anfangsgeschwindigkeit des steigenden Körpers n Fuss, so ist seine Geschwindigkeit am Ende der ersten Secunde $n-g$, am Ende der zweiten $n-2g$, am Ende von t Secunden $n-gt$. Diese Geschwindigkeit wird Null, d. h. der Körper hört auf zu steigen, wenn $n = gt$ ist, d. h. wenn die Fallgeschwindigkeit, die er in t Secunden erlangen würde, gleich der Anfangsgeschwindigkeit des Steigens ist. Von diesem Augenblicke wirkt die Schwerkraft wieder allein auf den zur Ruhe gekommenen Körper ein und er *fällt*. Die Kraft, welche früher verzögernd wirkte, wirkt nun beschleunigend, er gewinnt in jeder Secunde eben so viel an Geschwindigkeit, als er früher verlor, in der ersten Secunde g , in der zweiten $2g$ u. s. w.; er wird also in jeder Secunde denselben Raum durchlaufen wie beim Steigen, und also am Ende *mit derselben Geschwindigkeit zur Erde fallen, mit welcher er abgestossen wor-*

den war. Auch geht daraus hervor, dass er eben so viel Zeit zum Fallen wie zum Steigen braucht.

Ausser dem hier Angeführten hat indessen der steigende wie der fallende Körper auch noch den Widerstand der Luft zu überwinden; in anderen Fällen treten noch andere Hindernisse entgegen. Diese Widerstände wirken als *Kräfte*, natürlich als verzögernde; sie können im Allgemeinen durch das *Dynamometer* oder den Kraftmesser gemessen werden. Die hauptsächlichsten Hindernisse sind bei ruhenden Körpern die Trägheit, bei bewegenden namentlich die Reibung.

Die *Gesamtwirkungen der Kräfte*, wenn sie gleiche Widerstände zu überwinden haben, sind um so grösser, je länger der Weg ist, durch welchen dies geschieht; ein Pferd, welches eine Last zwei Stunden weit zieht, wirkt das doppelte von dem, welches dieselbe Last eine Stunde weit fortbewegt. Um die verschiedenen Kräfte zu vergleichen, bezieht man sie alle auf die *Einheit der Wirkung*, als welche man das *Kilogramm-meter* angenommen hat, d. h. die Hebung von 1 Kilogramm auf 1 Meter Höhe. Bei Messungen grösserer Kräfte wird auch die *Pferdekraft* als Maass angenommen; doch versteht man darunter sehr verschiedene Werthe; am häufigsten setzt man sie gleich 75 Kilogramm-meter.

Körper, welche beim Mangel eines Widerstandes sich fortbewegen können, sind im Stande, vermöge ihrer Bewegung Widerstände zu überwinden und mithin selbst eine Kraft zu äussern. Diese steht im Verhältniss zu der bewegenden Kraft. Wirkt z. B. auf einen Körper die Kraft k durch den Raum s , so ist die Wirkung der Kraft (dem Raume proportional also) ks ; vermöge der Trägheit des Körpers äussert er nun eine *gleiche* Kraft, denn es gehört eine solche dazu, um ihn zur Ruhe zu bringen.

Man pflegt dies durch den Satz auszudrücken: Wirkung und Gegenwirkung sind einander gleich. Doch gilt derselbe natürlich nur, wenn alle Verhältnisse, welche hindernd oder fördernd auf die Wirkung sind, in Rechnung gebracht werden.

§ 28. *Aufgabe 1.* Wie gross würde die Geschwindigkeit sein, mit welcher ein Stein zur Erde gelangt, wenn er 10 Secunden lang braucht, um von einer gewissen Höhe zur Erde zu fallen, wenn man von dem Widerstande der Luft absieht?

Auflösung. Nach der oben (§ 25) gegebenen Entwicklung ist $v = gt$. Hieraus folgt die Geschwindigkeit = $312,5'$.

Welches ist aber der Raum, welchen er im Ganzen durchlaufen hat?

Auflösung. Der durchlaufene Raum wird nach der Formel in § 25 gefunden

$$s = \frac{g}{2} t^2 = \frac{31,25}{2} \cdot 100 = 1562,5'$$

Welches ist der Raum, welcher in der zehnten Secunde allein durchlaufen worden?

Auflösung. Um den in der zehnten Secunde durchlaufenen Raum zu finden, ist an dem ganzen Raume der in den neun ersten Secunden durchlaufene abzuziehen, wenn man nicht von einer Secunde auf die nächstfolgende schliessen will; man erhält also

$$\frac{31,25}{2} \cdot 100 - \frac{31,25}{2} \cdot 81 = 296,875$$

Auch kann man die mittlere Geschwindigkeit der zehnten Secunde, d. h. die Mitte zwischen der Endgeschwindigkeit der neunten und der zehnten suchen: man wird dieselbe Zahl finden.

Aufgabe 2. Wie lange wird der Fall eines Körpers gedauert haben, welcher mit einer Geschwindigkeit von 100 Fuss auffällt? Und welches ist der durchlaufene Raum?

Antwort. 3,2 Sekunden; 160 Fuss.

Aufgabe 3. Eine auf einer schiefen Ebene herabrollende Kugel gewinnt mit jeder Secunde einen Geschwindigkeitszuwachs von $10'$; wie gross ist die Geschwindigkeitszunahme nach 4 Sekunden und welchen Weg hat sie dann zurückgelegt?

Antwort. $40'$; $80'$.

Aufgabe 4. Eine Locomotive, welche eine Geschwindigkeit von $30'$ in der Secunde hat, wird so gebremst, dass sie jede Secunde $1\frac{1}{2}'$ an ihrer Geschwindigkeit verliert; wie weit rollt sie noch fort, bis sie zum Stillstehen kommt, und wann geschieht dies?

Auflösung. $30 - 1,5x = 0$; $x = 20$;

$$s = 20 \cdot 30 - \frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 20^2 = 300'$$

Aufgabe 5. Wie hoch wird ein Körper steigen, wenn er mit der Geschwindigkeit von $200'$ vertikal aufwärts geworfen wird, und welche Zeit bedarf er dazu?

Auflösung. Da hier die Anziehungskraft der Erde verzögernd wirkt so ist die Beschleunigung $\frac{1}{g}$ und man erhält

$$s = 640'; t = 6,4 \text{ Sekunden.}$$

§ 29. Wenn mehrere Kräfte auf einen Punkt eines Körpers wirken, so können verschiedene Fälle eintreten:

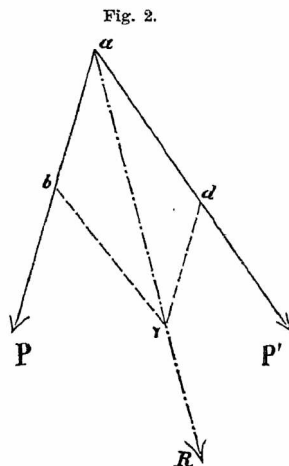
Wenn die Kräfte *alle nach derselben Richtung* hin wirken, so ist die Resultirende gleich die Summe aller dieser Kräfte.

Wenn zwei Kräfte gerade in *entgegengesetzter* Richtung auf einen Punkt wirken, so ist ihre Wirkung gleich der Differenz beider Kräfte und geht in der Richtung der grösseren. Sind aber beide Kräfte gleich, so ist die Wirkung *Null*, d. h. sie halten einander das Gleichgewicht.

Wirken zwei Kräfte in *verschiedener* Richtung auf einen Punkt, so findet man die Resultirende durch folgende Betrachtung.

Der Punkt a stehe unter dem Einfluss der beiden Kräfte P und P' , welche nach der Richtung der Linien aP und aP' wirken und zwar möge sich ihre Wirkungsweise so verhalten, dass P allein den Punkt a in derselben Zeit — etwa in 1 Secunde — bis b bewegen würde, während dieser allein unter dem Einflusse von P' in derselben Zeit bis d kommen würde.

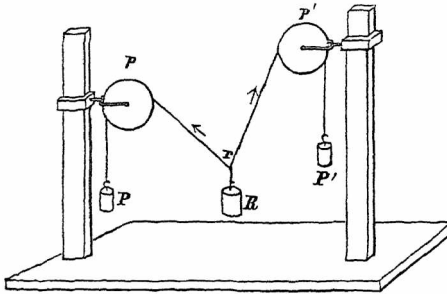
Wenn beide Kräfte in 1 Secunde wirken, so wird offenbar der Erfolg derselbe sein, als wenn erst die eine, und dann die andere wirkte; dadurch aber würde der Punkt erst nach b und dann, parallel aP' und eben so weit wie d fortgeschoben; d. h. er käme nach r , einem Punkt, welchen man erhält, wenn man aus a b und a d das Parallelogramm $abdr$ vervollständigt. Die Richtung der Resultirenden ist also die



Diagonale des aus den beiden Richtungen der Kräfte construirten Parallelogramms und die Grösse wird durch diese Diagonale ebenfalls dargestellt, wenn die Seiten des Parallelogrammes die Grösse der Kräfte darstellen.

Dieses Gesetz des Parallelogramms der Kräfte lässt sich auch durch den Versuch, wenigstens annähernd, so weit es die unvermeidliche Reibung der einzelnen Theile des Apparates erlaubt, bestätigen.

Fig. 3.



An dem Apparate Fig. 3 hängt man bei P und P' Gewichte auf, welche in einem einfachen Verhältniss untereinander stehen. Dieselben üben auf den Punkt r einen Zug aus, der nach der Richtung der Pfeile geht und, so lange bei r kein Gewicht hängt, dem Punkt r eine Bewegung ertheilen, deren Erfolg eine gerade Spannung der Schnüre von

p nach p' sein würde. Hängt man aber bei r ein Gewicht R auf, welches kleiner als die Summe von P und P', aber grösser als jedes einzelne ist, so hält dieses Gewicht den Punkt r in Ruhe, oder was dasselbe ist, der Resultirenden von P und P' das Gleichgewicht. Dieses Gleichgewicht tritt für jedes Gewichtsverhältniss bei einer bestimmten Lage der Schnur ein, oder bei einer bestimmten Grösse des Winkels p r p'. Zu bemerken ist, dass hier die Schenkel dieses Winkels nur die Richtung der Kräfte P und P', nicht aber ihre Grösse angeben; die Richtung der Kraft R und mithin die der Resultirenden von P und P' ist immer vertical, weil sie durch keine Rolle geändert wird; ein Unterschied durch Veränderung der Gewichte wird aber in der gegenseitigen Neigung der Kräfte richtungen, d. h. in dem Winkel r eintreten.

Wenn man das Verhältniss der Gewichte P, P' und R (welche Kraft der Resultirenden das Gleichgewicht hält und folglich genau gleich und entgegengesetzt ist) durch Linien ausdrückt, auf welchen man irgend eine Länge so viel mal abträgt, als diese Gewichte Lothe oder Gramme enthalten, so kann man aus den Kräften P und P' als Seiten und der R entgegengesetzten Resultirenden als Diagonale das Parallelogramm construiren, welches dann mit der Richtung der Schnüre übereinstimmen und denselben Winkel wie diese enthalten wird, wie man sich durch eine dahinter gehaltene Zeichnung desselben überzeugen kann.

Auch kann man aus zwei bestimmten Kräften P und P' und dem Winkel, welchen sie machen sollen, durch Construction dieses Parallelogramm, mithin die Diagonale oder Resultirende finden, die Grösse derselben durch Uebertragung des Maasses von P und P' messen und daraus das Gewicht finden, welches bei r aufgehängt, bei dem gegebenen Winkel der Schnur genau den Kräften das Gleichgewicht halten muss. Die Rechnungen und Constructionen werden mit dem Experiment ziemlich genau übereinstimmen.

§ 30. Die Anwendung des Gesetzes des Parallelogramms der Kräfte ist eine sehr mannichfaltige: Man ermittelt danach nicht allein den Erfolg von zwei Kräften, sondern auch den von mehreren, indem man erst die Resultirende zweier derselben sucht, dann diejenige dieser und einer 3. Kraft, dann die dieser 2. Resultirenden und einer 4. u. s. w. Ferner

kann man auch eine Kraft als die Resultirende zweier Kräfte betrachten, oder wie man zu sagen pflegt, in zwei andere zerlegen, die man folglich, weil in ihrer Wirkung gleich, für sie kann gelten lassen. Natürlich kann ein solches Ersetzen durch zwei Kräfte auf unzählig viele Arten geschehen, weil es ja unzählige Parallelogramme von gleicher Diagonale gibt; ist aber die Richtung der beiden Kräfte oder die Richtung und Grösse einer derselben bestimmt, so ergibt die Construction des Parallelogramms die Grösse beider oder die Richtung und Grösse der zweiten. Man wendet namentlich eine solche Zerlegung einer Kraft in zwei oder mehrere Kräfte bei den Betrachtungen über die Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung in den verschiedenen möglichen Fällen, bei einfachen Maschinen u. s. w. an.

§ 31. Wenn eine Last auf einer *schiefen*, d. h. gegen die horizontale unter einem gewissen Winkel *geneigten Ebene* befindlich ist, so ist die Schwere oder der Druck nicht senkrecht gegen die Unterlage der Last gerichtet, sondern bildet damit einen um so kleineren Winkel, je grösser der Neigungswinkel der *schiefen Ebene* ist. Man kann sich alsdann, um den Erfolg zu ermitteln, die als Druck thätige Schwere in zwei Kräfte zerlegt denken, deren eine vertical auf der schiefen Ebene steht und als Druck auf dieselbe wirkt, während die andere parallel dazu den Körper zum Hinabgleiten zwingt. Dass die Grösse dieser beiden Kräfte ausser von der Schwere des Körpers von der Grösse des Neigungswinkels abhängt, ist wohl an sich klar, und dass bei wachsendem Winkel der Druck sich verringern, die gleitende Kraft aber vermehren muss, ist einleuchtend. Durch eine einfache mathematische Construction findet man dann, dass ersterer, der Druck, von dem Cosinus und letztere, die treibende Kraft, von dem Sinus des Neigungswinkels abhängt, und mit diesen Grössen im einfachen Verhältniss wächst. Durch Rechnung kann man die Kraft also jedesmal finden, mit welcher ein Körper eine schiefe Ebene herabzugleiten strebt, und dieses Resultat lässt sich auch durch den Versuch bestätigen, so weit es die unvermeidliche Reibung gestattet.

Dass die beiden Kräfte, in welche die Schwerkraft zerlegt, oder als deren Resultirende sie betrachtet wird, *kleiner* sein müssen, als diese selbst, geht schon aus der Construction als Seiten eines Parallelogramms hervor; *der* Theil der Schwerkraft, welcher treibend wirkt, und welchem also das Gleichgewicht gehalten werden oder welcher zur Bewegung des Körpers überwunden werden muss, ist demnach kleiner, als das Gewicht des Körpers. Man ersieht hieraus, dass es einer geringeren Kraft bedarf, einen Körper über eine schiefe Ebene von einem Punkt nach einem höheren zu bringen, als ihn gerade in die Höhe zu ziehen, und dass die erforderliche Kraft um so kleiner sein muss, je weniger die Ebene geneigt ist. Dass indessen dadurch nicht wirklich Kraft *gewonnen* oder erspart wird, liegt darin, dass der Weg, welchen der Körper zu durchlaufen hat, oder die Zeit, während welcher die Kraft wirken muss, um eben so viel grösser ist; allein man kann mittelst der Anwendung der schiefen Ebene mit geringen Kräften dennoch (durch Ausdehnung der Wirkungszeit) Grösseres leisten. Daher ihre Anwendung bei Strassen, die man oft lange Windungen machen lässt, um starke Steigungen zu vermeiden, beim Auf- und Abladen von Lasten u. s. w.

Der *Keil* ist eine bewegliche schiefe Ebene; er wird zum Spalten von Holz- und Steinmassen, ferner in der Gestalt von Messer, Axt, Meissel u. s. w. gebraucht; um mit geringer Kraft grosse Widerstände zu überwinden. Diese wirken senkrecht auf die Fläche des Keils, die Kraft senkrecht gegen dessen Rücken. Sie kann um so kleiner sein, je kleiner

der Neigungswinkel der Ebene, d. h. je *schärfer* der Keil ist; doch ist alsdann der zu durchlaufende Weg, um eine gleiche Trennung zu bewirken, desto grösser.

Die *Schraube* ist eine um einen Cylinder gerollte *schiefe Ebene*. Man kann sich leicht davon überzeugen, wenn man eine aus Papier geschnittene schiefe Ebene — ein rechtwinkliches Dreieck mit langer Basis und kleiner Höhe — um einen runden Bleistift wickelt; alsdann wird die lange Hypothenuse des Dreiecks eine Schraubenlinie vorstellen; die Entfernung zwischen zwei zunächst senkrecht über einander liegenden Punkten derselben heisst die Höhe des Schraubenganges. In der Wirklichkeit ist die Schraube so eingeschritten, dass die einzelnen Theile der schiefen Ebene überall gleichen Abstand von der Achse des Cylinders haben; je geringer die Höhe der schiefen Ebene oder je kleiner der Neigungswinkel ist, desto flacher ist das Schraubengewinde. Findet die Windung um einen *hohlen Cylinder* statt, so entsteht eine *Schraubennutter*.

Aus dem Gesagten folgt, dass die Schraube denselben Gesetzen unterworfen ist, wie die schiefe Ebene; sie wird zur Ausübung von grossen Druckkräften gebraucht, wobei die Uebertragung durch die Schraubennutter stattfindet, indem auf die schiefe Ebene dieser oder der Schraubenspindel die Kraft wirkt. Die Reibung, welche hier häufig den Erfolg bedeutend vermindert, wird aber eben so häufig auch benutzt, um das Zurückgleiten der Schraube zu verhindern, welches durch den rückwirkenden Druck hervorgebracht würde, wenn nicht durch den starken Druck auf die vielen flachen Windungen die Reibung sich ausserordentlich vergrösserte.

Je flacher das Gewinde, desto geringer der Neigungswinkel, desto grösser der Erfolg derselben Kraft; desto länger aber auch der zu durchlaufende Weg und die erzeugte Reibung; desto fester also sitzt die Schraube.

§ 32. Die *Rolle* ist eine flache Scheibe, welche am Rande eine Ausbuchtung besitzt, um eine Schnur oder eine Kette aufzunehmen; einzelne sowie Zusammenstellungen mehrerer Rollen dienen theils zum Umändern der Richtung von Bewegungen, theils zum Vermindern der anzuwendenden Kraft.

Man unterscheidet *bewegliche* und *feste* Rollen, je nachdem ihre Achse eine Ortsveränderung erleiden kann oder nicht.

Bei einer festen Rolle findet nur dann Gleichgewicht statt, wenn an den beiden Enden des über dieselbe geschlungenen Seiles gleiche Kräfte wirken, weil jede derselben unter gleichen Umständen die Rolle gleich viel nach entgegengesetzter Richtung zu drehen sucht. Wenn die beiden Kräfte in gegen einander geneigten Richtungen an der Rolle angebracht sind, so geht, bei vollkommener Gleichheit derselben, die Resultirende durch den Mittelpunkt der Rolle, indem man sich die Richtung derselben bis zu ihrem Durchschnittpunkt verlängert und diesen als Angriffspunkt denken kann. Die *Grösse* der Resultirenden ist alsdann nicht gleich der Summe der beiden Kräfte, wie es der Fall ist, wenn beide parallel sind; sie kann aber durch Construction leicht gefunden werden.

Der Druck der beiden parallelen Kräfte zusammen, oder derjenige der Resultirenden der geneigten Kräfte geht jedoch, wenn Gleichgewicht stattfindet, nicht verloren, sondern wird auf die Achse der Rolle oder ihren Unterstützungspunkt ausgeübt. Dazu kommt bei der beweglichen Rolle auch noch ihr eigenes Gewicht als Druck. Bewegliche Rollen

müssen natürlich von dem Seile oder der Schnur getragen werden und sind nur dann im Gleichgewichte, wenn die beiden Kräfte an beiden Theilen des Seiles gleich sind und ihnen durch das Gewicht der Rolle, oder ein daran angebrachtes Gewicht, Gleichgewicht gehalten wird. Daher haben die beweglichen Rollen stets eine Vorrichtung in Gestalt eines Hakens, um daran die gegenwirkende Kraft angreifen zu lassen.

Diese und die übrigen Eigenschaften der Rolle lassen sich anschaulich machen durch folgende

Versuche. Vom Drechsler erhält man leicht ein halbes Dutzend hölzerner Röllchen mit einem Loch in der Mitte und einem etwas tief eingeschnittenen Kranze. Biegt man nun nach Fig. 4 einen runden Eisendraht recht sorgfältig zu jeder Rolle, so kann man sie mittelst des Theiles a, den man durch ihren Mittelpunkt steckt, entweder an dem Ringe b irgendwo aufhängen oder umgekehrt an diesem Ringe Gewichte anbringen. Nimmt man den Theil a etwas länger und spitzt ihn mit der Feile zu, so kann man damit die Rolle auch seitlich an ein dünnes Brettchen befestigen, wenn man deren, wie wir bald sehen werden, mehrere in fester Verbindung haben will. Ausser diesen Rollen fertige man sich aus kleinen runden, mit drei Löchern versehenen Blechscheibchen Schalen zur Aufnahme von Gewichten; man hängt sie an drei feinen Fäden, die sich in einem einzigen vereinigen, auf; die Gewichte sind leicht zu erhalten.

Fig. 4.

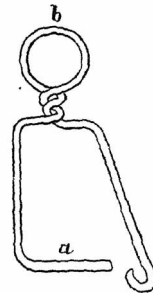
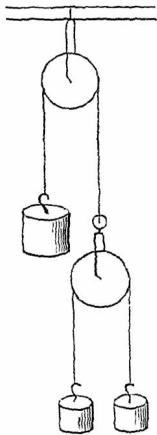


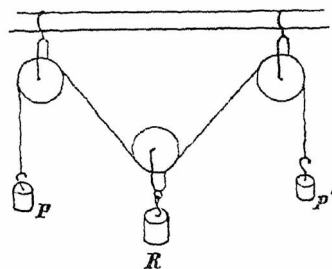
Fig. 5.



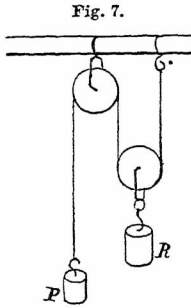
Zunächst kann man sich überzeugen, dass an einer festen Rolle die beiden Gewichte sich dann das Gleichgewicht halten, wenn sie gleich sind; hängt man diese Rolle selbst (Fig. 5) wieder mittelst eines über eine andere geschlungenen Fadens beweglich auf, so wird man, um ihr Gewicht zu tragen, oder um den Druck auf ihre Achse zu messen, ein der Summe jener beiden Gewichte gleiches Gewicht nöthig haben.

Nun hänge man eine lose Rolle so auf, dass die beiden Kräfte an den beiden Schnurenden gleich sind (Fig. 6), belaste die bewegliche Rolle mit einem Gewichte R und die Enden der Schnur ebenfalls mit Gewichten P und P'; das Gleichgewicht wird eintreten, wenn diese beiden einander gleich sind; der Winkel, welchen die beiden Schenkel der Schnur (verlängert gedacht) bilden, wird mit dem übereinstimmen, welchen man durch Construction des Parallelogramms aus den den Gewichten proportionalen Linien erhält.

Fig. 6.



Befestigt man nun die zwei tragenden Rollen dergestalt, dass die Schenkel einander parallel werden, so wird das Gewicht an der mittleren Rolle der Summe der beiden anderen gleich sein müssen; jedes dieser



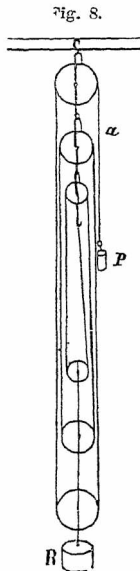
letzteren ist also die Hälfte der schwebenden Last R; befestigt man aber einen Schenkel des Seiles, statt ihn über eine Rolle gehen zu lassen, an der Stelle, wo die Rolle hing (Fig. 7), so trägt jetzt diese feste Stelle den Zug, welcher vorher durch das Gewicht ausgeglichen wurde, als der Aufhängepunkt beweglich war; das freie Gewicht P ist dasselbe geblieben und es ist also hier bei eingetretenem Gleichgewicht die Kraft P halb so gross, wie die Last R.

(Dass bei diesen Versuchen jedesmal das Gewicht der Rollen nebst Zubehör berechnet und durch Zusatzgewichte ausgeglichen werden muss, ist wohl selbstredend.)

Figur 7 zeigt diesen einfachsten Fall der *Kraftersparniss* durch Rollen; wenn man den Versuch macht, erkennt man zugleich, was auch aus der Zeichnung ersichtlich, dass dafür das Gewicht P einen *doppelt* so grossen Weg durchlaufen muss, wie R, dass also auch hier an Zeit verloren geht, was an Kraft erspart wird.

Die Anwendung der *einfachen festen* Rolle allein beschränkt sich nur auf eine *Veränderung in der Richtung* der Bewegung, indem dadurch keine *Kraftersparniss* erzielt wird; die bewegliche Rolle wird sowohl für sich wie in Verbindung mit *einer* festen Rolle nur selten angewandt; dagegen

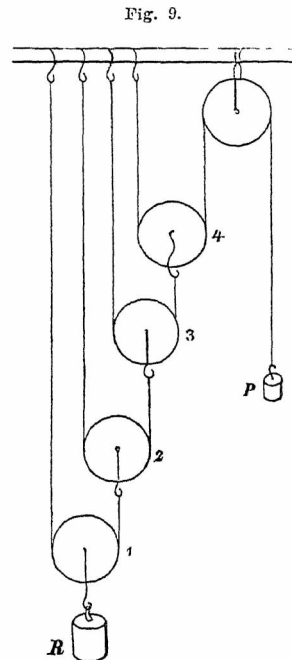
finden Combinationen von mehreren festen und beweglichen Rollen als *Flaschenzüge* vielfache Anwendung, um mittelst geringer Kräfte grosse Lasten zu heben. Ein Beispiel eines solchen Flaschenzugs zeigt beistehende Figur 8, welche ohne Erklärung verständlich ist. Diesen Flaschenzug kann man leicht aus den oben angegebenen Rollen herstellen, indem man je 3 Rollen auf ein Brettchen durch Stifte feststeckt oder durch einen Draht mit einander verbindet.



Die Last R wird dann von 6 Seilen gehalten; jedes derselben trägt also $\frac{1}{6}$ derselben und ist nur durch $\frac{1}{6}$ R gespannt. Das äusserste Seil a, welches über die oberste feste Rolle geschlungen ist, ist natürlich in derselben Spannung; damit Gleichgewicht vorhanden sei, muss es auf der anderen

Seite, wo sein Ende frei herabhängt, ebenso gespannt sein, d. h. die Last P muss, abgesehen vom Gewicht der Rollen, gleich $\frac{1}{6}$ von R. sein; durch eine grössere Kraft tritt also Bewegung ein; hierbei durchläuft, wie leicht ersichtlich und nachweisbar, P einen 6 mal so langen Weg wie R.

Der Flaschenzug Fig. 9. ist ebenfalls mit Hilfe der vorhandenen



Rollen leicht zusammensetzen; die Verhältnisse stellen sich aber etwas anders als bei dem vorhin beschriebenen; da wir hier eine Anzahl fester Punkte haben, so wird ein grosser Theil der Last von dem Balken, woran die Aufhängepunkte befindlich, getragen. An der Rolle 1 braucht nach dem vorhin Erwähnten nur $\frac{1}{2}$ R angebracht zu sein, um die Last zu tragen; dies ist es, was die Rolle 2 zu tragen hat; bei dieser ist diese Last wieder halbirt, also $= \frac{1}{4}$ R, welches der Zug an der Rolle 3 ist; an der Rolle 4 ist er $\frac{1}{16}$ R u. s. w. Die letzte feste Rolle dient nur zum Uebertragen der Richtung in eine nach unten gehende. Man sieht, dass ein bei P angebrachtes Gewicht dem der Last R das Gleichgewicht hält, wenn es $= \frac{1}{2^n}$ R, wo n die Anzahl beweglicher Rollen vorstellt.

Man nennt daher diese Einrichtung den *Potenzflaschenzug*. Es ist bei Beachtung des eigenen Gewichtes der Rollen leicht, sich von der Wahrheit des Gesagten zu überzeugen; man wird dabei finden, dass das Gewicht P einen Weg durchläuft, welcher 16 mal so gross ist wie die Höhe, auf welche R gezogen wird.

§ 33. Wenn, wie bei Fig. 10, zwei Kräfte P und Q auf die Endpunkte der Linie a b wirken, so ist klar, dass wenn diese Kräfte gleich sind und die Linie in ihrer Mitte fest unterstützt ist, eine Bewegung nicht erfolgen, sondern Gleichgewicht stattfinden wird; wenn aber der Unterstützungspunkt aus der Mitte verschoben oder die eine Kraft vermindert oder vermehrt wird, so muss sich die Linie nach dem längeren Theile oder nach der grösseren Kraft hinneigen und um den festen Punkt drehen. Um das Gleichgewicht herzustellen, ist eine Vermehrung der anderen Kraft nothwendig, damit die Linie zurückgehalten werde.

Eine solche unbiegsame Linie, welche um einen festen Punkt drehbar ist, nennt man einen *mathematischen Hebel*, die Entfernungen des Unterstützungspunktes von den Angriffspunkten der Kräfte die *Arme* des Hebels. Tritt an die Stelle der Linie ein unbiegsamer Stab oder Balken, so entsteht der *physische Hebel*; für denselben gelten die Gesetze des ersteren unter der Berücksichtigung seines Gewichtes und der unvermeidlichen Reibung.

Für den *mathematischen Hebel* lässt sich durch einen einfachen mathematischen Beweis das *Gesetz* ableiten: Zwei Kräfte, welche in derselben Richtung angebracht sind, sind im Gleichgewicht,

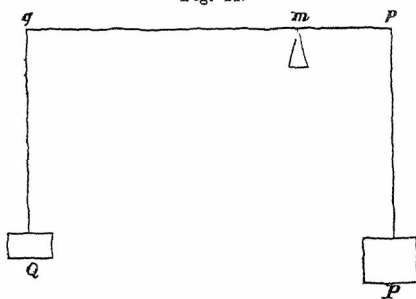


Fig. 11.

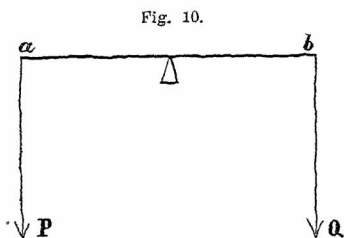


Fig. 10.

in derselben Richtung angebracht sind, sind im Gleichgewicht, wenn sie den entsprechenden Hebelarmen *umgekehrt proportional* sind. Wenn also z. B. die Entfernung (Fig. 11) m p $\frac{1}{3}$ von der Entfernung m q beträgt, so muss das Gewicht P 3 mal so gross sein wie das Gewicht Q. Wenn sich die Linien m p : m q verhielten wie 4 : 3, so müssten sich die Gewichte P : Q verhalten wie 3 : 4.

Im Allgemeinen also ist, wenn die Längen der Hebelarme für P und Q bezüglich durch p' und q' ausgedrückt werden

$$P : Q = q' : p'$$

$$\text{oder } P \cdot p' = Q \cdot q'$$

d. h. (für den Fall des Gleichgewichtes) es sind die Producte aus den Kräften in ihre Hebelarme gleich. Diese Producte heissen die *statischen Momente*.

Versuch. Man theile ein möglichst genaues Lineal in gleiche Theile, etwa in Zolle ein, welche von der genau *bestimmten Mitte* aus gerechnet werden; durchbohre dann das Lineal in der *Mitte der Länge* und *etwas über* der Mitte seiner Dicke und hänge es mittelst einer Vorrichtung aus Draht, wie Figur 4, irgendwo auf. Sollte es nicht im Gleichgewichte bleiben, so ist durch etwas Wachs u. s. w. leicht nachzuhelfen. Man richte nun die oben beschriebenen Schälchen für Gewichte so ein, dass sie einer bestimmten, für diese Versuche anzuwendenden Gewichtseinheit, etwa 1 Loth entsprechen, damit die Berechnung leichter werde, und versehe sie mit einem zum Aufhängen dienenden Häkchen aus dünnem Draht. Hängt man nun an verschiedenen Punkten der beiden Hebelarme die Gewichte auf und sieht zu, wie viel auf der einen oder anderen Seite zuzufügen ist, um Gleichgewicht hervorzubringen, so wird man leicht obiges Gesetz bestätigt finden.

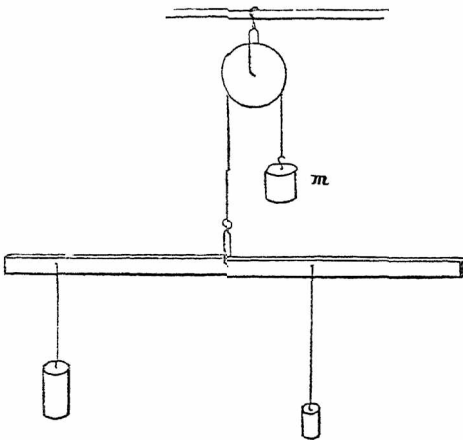
Wendet man auf einer oder auf beiden Seiten mehrere Gewichte an verschiedenen Punkten an, so wird man finden, dass, um alsdann Gleichgewicht hervorzubringen, die Summe der Producte jedes Gewichtes in seine Entfernung vom Aufhängepunkte (die Summe der „statischen Momente“) zu beiden Seiten gleich sein muss.

Auch kann man sich mit Hülfe einer festen Rolle. woran man den Hebel aufhängt (Fig. 12), um ihm durch ein an der anderen Seite desselben angebrachtes Gewicht m das Gleichgewicht zu halten, davon überzeugen, dass der Stützpunkt des Hebels einen Druck erleidet, welcher der Summe der Gewichte (und des Gewichtes des Hebels) gleich ist, so dass durch ein solches Gewicht m auch bei einem beweglichen Unterstützungspunkte Gleichgewicht eintreten muss.

§ 34. Die Anwendungen des Hebels sind ausserordentlich mannichfaltig; bei

der *Schnellwaage* werden durch ein und dasselbe Gewicht verschiedene grössere Lasten gewogen, indem das Gewicht an einem längeren Hebelarme verschiebbar ist; es ist dann, um das Gewicht des zu wiegenden Körpers zu finden, dasselbe so oftmal zu nehmen, als die Länge des kürzeren, die Last tragenden Armes in der des längeren enthalten ist. Das Aufheben grosser Lasten mittelst eiserner oder hölzerner Stützen, die nahe an ihrem End- und Angriffspunkt unterstützt sind, beruht darauf,

Fig. 12.



dass an dem langen Ende das Moment der angewandten Kraft vergrößert und somit durch kleine Kräfte grosse Wirkungen ausgeübt werden. Ebenso misst man mittelst kleiner Gewichte, welche an langen Hebelarmen angebracht sind, den Druck auf das Ventil im Dampfkessel und an der hydraulischen Presse. Auch der Haspel, die Winde, das Rad an der Welle, die Zahnräder sind eben so viele Anwendungen des Hebels; in allen diesen Fällen hält es nicht schwer, die Angriffspunkte für Last und Kraft und die Unterstützungspunkte zu ermitteln, so wie die Grösse der Wirkung zu erkennen; auch die Spaten zum Losbrechen der Erdschollen, die Schlüssel, Thürklinken u. s. w. sind Hebelvorrichtungen.

§ 35. Ein schwerer Körper kann als Vereinigung vieler materieller Punkte betrachtet werden, auf welche die Schwere wirkt. Die Summe der Resultirenden aller dieser einzelnen Kräfte nennt man das Gewicht, den Angriffspunkt dieser Resultirenden den *Schwerpunkt* des Körpers. Da alle Kräfte durch eine einzige ersetzt werden können, welche dieselbe Wirkung hervorbringt, so kann man sich das Gewicht jedes Körpers in dem Schwerpunkt vereinigt denken und derselben durch eine eben daselbst angebrachte und der Resultirenden gleiche und entgegengesetzte Kraft das Gleichgewicht halten. In diesem Sinne sagt man auch, man könne sich die ganze *Masse* eines Körpers in seinem Schwerpunkt befindlich denken.

Alle einzelnen auf die verschiedenen Punkte des Körpers wirkenden (Schwer-) Kräfte sind gleich und parallel, weil jeder Körper, wenn er völlig frei und nicht durch die Luft gehindert fällt, dieselbe Geschwindigkeit besitzt, und weil die Richtung des Falles für nicht allzugrosse Strecken dieselbe ist. Daher *ändert sich die Lage des Schwerpunktes nicht*, wenn die Lage des Körpers wechselt. Hängt man einen Körper in seinem Schwerpunkt selbst auf, oder unterstützt man diesen, so muss, weil der Resultirenden eine entgegengesetzte Kraft entgegenwirkt, welche sie (durch den Widerstand des Stützpunktes) aufhebt, in allen Lagen des Körpers Gleichgewicht sein.

Den Schwerpunkt von Linien, Flächen und Körpern findet man folgendermaassen:

Der Schwerpunkt einer *Linie* ist die Mitte derselben. Der Schwerpunkt eines homogenen *Dreiecks* wird durch den Durchschnittspunkt der Linien gegeben, welche von den Spitzen nach der Mitte der Seiten gezogen werden; denn diese Linien gehen durch die Schwerpunkte sämtlicher im Dreiecke parallel zu den Seiten zu ziehenden Linien. Aus der Geometrie ist es bekannt, dass dieser Durchschnittspunkt auf $\frac{1}{3}$ der Linien, von der Seite des Dreiecks an gerechnet, liegt.

Den Schwerpunkt eines *Polygons* findet man, indem man erst den Schwerpunkt jedes seiner Theile (Dreiecke) sucht und dann dieselben durch Linien verbindet, an deren Enden man sich die Kräfte, der Oberfläche der Dreiecke proportional, angebracht denkt, worauf der Angriffspunkt der Resultirenden von je zweien leicht zu finden ist. Man theilt nämlich erst die Verbindungslinien zweier Schwerpunkte in zwei der Oberfläche der entsprechenden Dreiecke proportionale Theile und erhält so den gemeinschaftlichen Schwerpunkt dieser beiden Theile, verbindet denselben mit dem Schwerpunkt eines dritten und construirt auf der Verbindungslinie ebenso den Schwerpunkt der drei Theile und so fort, bis auch das letzte Dreieck, worein das Polygon getheilt ist, berücksichtigt, d. h. sein Schwerpunkt mit dem gemeinschaftlichen aller übrigen verbunden und diese Linie in dem Verhältniss getheilt worden ist, welches

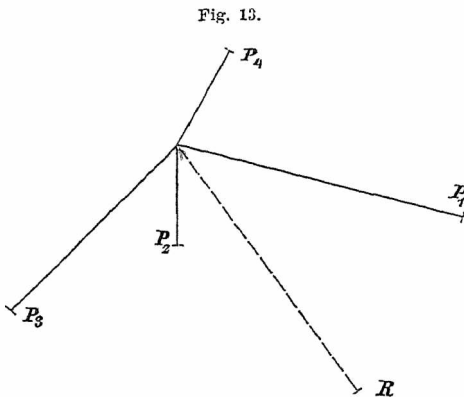
durch die Oberfläche angegeben wird, deren Schwerpunkt verbunden worden.

Für *geometrische Körper* verfährt man in ähnlicher Weise, indem man von den begrenzenden Flächen ausgeht. Bei regelmässigen Körpern überhaupt liegt der Schwerpunkt im symmetrischen Mittelpunkt.

Um aber bei unregelmässigen oder ungleichartigen Körpern den Schwerpunkt zu bestimmen, verfährt man am besten empirisch, indem man das Gesetz, welches oben ausgesprochen wurde, umkehrt. Man hängt nämlich den Körper an einem Faden auf und verlängert diese Linie durch den Körper; dieselbe muss, sobald der Körper im Gleichgewicht ist, durch den Schwerpunkt gehen. Hierauf hängt man den Körper durch Befestigung des Fadens an einem anderen Punkte in anderer Weise auf und verlängert auch jetzt die Richtung; alsdann ist der Durchschnittspunkt beider Linien der Schwerpunkt des Körpers.

Versuch. Man lasse sich vom Schreiner ein unregelmässiges Dreieck aus einem etwa $\frac{1}{2}$ —1 Linie dicken Brettchen aus *gleichartigem* Holze schneiden, construire auf dessen Oberfläche den Schwerpunkt, bohre an der gefundenen Stelle an der entgegengesetzten Seite ein feines Loch bis *etwas über die Mitte* der Dicke des Brettes, durchsteche dieses dann im Schwerpunkt selbst mit einer Nadel und hänge es an einem hindurchgezogenen Faden auf. Es wird vollkommen horizontal schweben, wenn anders das Brett gleichmässig dick und von gleicher Beschaffenheit war.

Einfacher kann man auch den Schwerpunkt von verschiedenen Figuren folgendermaassen ermitteln. Man schneide aus starkem Papier Dreiecke, Vierecke u. s. w., construire den Schwerpunkt mit Zirkel und Lineal und lege die Blätter dann mit dem Schwerpunkt auf eine in einen Pfropfen gesteckte Nähnaedel; sie werden darauf schweben und im Gleichgewichte sein, wenn die Construction genau war.



§ 36. *Aufgabe 1.* Von den vier Kräften (Fig. 13) P_1, P_2, P_3, P_4 die Resultierende, ihrer Richtung und Grösse nach zu finden.

Auflösung. R.

Aufgabe 2. An den Endpunkten einer Linie wirken die Kräfte Q_1 und Q_2 , erstere von 40, letztere von 50 Pfd., beide in der gleichen Richtung; man soll den Angriffspunkt und die Grösse der Kraft suchen, welche ihnen das Gleichgewicht hält.

Aufgabe 3. Ein Knabe und ein Mann sollen an einer Stange von 10' Länge eine Last von 100 Pfd. (das Gewicht der Stange inbegriffen) tragen. Wenn nun Jeder ein Ende der Stange auf die Schulter nimmt, wohin muss die Last gehängt werden, damit sie verhältnissmässig vertheilt ist, und wie viel hat dann Jeder zu tragen?

Antwort. $3\frac{11}{13}$ ' vom stärkeren Träger; der Mann $61\frac{7}{13}$, der Knabe $38\frac{6}{13}$ Pf.

Aufgabe 4. Vier Gewichte von 3, 5, 7 und 9 Pfd. sind an einem (gewichtlos angenommenen) Hebel von 3 Fuss Länge so aufgehängt, dass an einem Endpunkt das Gewicht von 3 Pfd., und je um einen Fuss weiter die übrigen Gewichte hängen. In welcher Entfernung des ersten Punktes muss die Unterstützung angebracht sein, wenn Gleichgewicht stattfinden soll?

Man berechne die Summe der Momente zu beiden Seiten des Punktes, dessen Entfernung vom Anfangspunkt man x nennt, und setze die Summe zu beiden Seiten gleich; die einfache Gleichung ergibt die Entfernung = 23 Zoll.

Aufgabe 5. Welche Kraft wird erfordert, um mittelst eines Potenzflaszuges mit 8 beweglichen Rollen einer Last von 100000 Pfd. das Gleichgewicht zu halten, wenn das Gewicht der Rollen nicht berücksichtigt wird?

Antwort. 39,06 Pfd.

Aufgabe 6. An einem gewöhnlichen Flaschenzug befinden sich 4 bewegliche Rollen, vom Gesamtgewicht = 16 Pfd. und eine Last von 1200 Pfd.; wie gross ist die Kraft, welche diese Last im Gleichgewicht hält?

Antwort. 152 Pfd.

§ 37. Die Bedingung des Gleichgewichtes schwerer Körper ist, wie oben gesagt, nur die, dass der Schwerpunkt unterstützt sei. Diese Bedingung kann auf verschiedene Weise erfüllt werden. Zunächst unterscheiden wir zwei *Fälle*, je nachdem der Körper *liegt* oder *hängt*, d. h. je nachdem sein Schwerpunkt durch eine Unterlage oder durch einen oberhalb befindlichen festen Punkt unterstützt ist.

Versuch. Aus einem glatten runden Korke schneide man eine Scheibe von etwa $\frac{1}{2}$ " Dicke und stecke in der Nähe des Randes senkrecht auf ihre Fläche eine dicke Stecknadel oder ein Stück Draht (Fig. 14) durch. Dadurch bewirkt man, dass der Schwerpunkt des Ganzen nicht mehr in der Mitte, sondern näher am Rande liegt und also verschiedene Lagen in Bezug auf die Mitte der Scheibe annehmen kann. Man versuche nun, sie so zu stellen, dass sie, in der gezeichneten Lage, die Nadel nach oben, in Ruhe bleibe. Alsdann liegt der Schwerpunkt senkrecht über dem Unterstützungspunkt, hat die höchste Lage, welche er haben kann, und verlässt dieselbe bei dem geringsten Stosse, ohne zu der vorherigen Lage zurückkehren zu können, weil dazu ein Aufsteigen, also eine Ueberwindung der Schwerkraft durch eine andere Kraft nöthig wäre. Diese Art des Gleichgewichtes heisst das *labile*; sie findet statt, wenn der Schwerpunkt bei eintretender Bewegung nur eine *tiefere* Lage einnehmen kann.

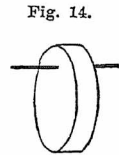


Fig. 14.

Nun stelle man die Scheibe so, dass die Nadel den möglichst tiefen Standpunkt einnimmt; sie gelangt bei irgend einem Anstosse schon von selbst dazu und kehrt bei jeder Bewegung nach einigen Schwankungen dahin zurück; diese Art des Gleichgewichtes heisst das *sichere* oder *stabile*; der Körper nimmt bei jeder Veränderung wieder diese Lage an, weil dabei der Schwerpunkt stets durch die Schwerkraft nach dieser seiner tiefsten Lage zurückgezogen wird; das stabile Gleichgewicht tritt ein, wenn der Schwerpunkt seinen tiefsten Standpunkt hat.

Man lege die Scheibe auf eine etwas geneigte Ebene (Fig. 15), so dass die Nadel sich oben bei a, der Schwerpunkt etwa bei b befindet; die

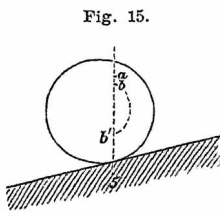


Fig. 15.

Scheibe kann nur im Gleichgewicht sein, wenn letzterer senkrecht über dem Stützpunkt 5 liegt; kommt er nun bei der Stellung der Scheibe, wie gesagt, nach b , so wird er nach unten bewegt, um nach b' in die Lage des stabilen Gleichgewichts zu kommen, und die Scheibe *rollt die schiefe Ebene hinauf*, obwohl sich ihr Schwerpunkt abwärts bewegt.

Steckt man endlich den Stift genau in die Achse der Scheibe, so wird man diese in jeder beliebigen Lage im Gleichgewicht finden: dieses *indifferent Gleichgewicht* tritt also ein, wenn der Körper bei seinen verschiedenen Stellungen die Lage seines Schwerpunktes nicht verändert. Es ist dies z. B. das Gleichgewicht der Kugeln, sowie aller in ihrem Schwerpunkt unterstützten Körper.

Für *aufgehängte* Körper ist es ebenfalls leicht, durch den *Versuch* zu finden, wann die eine oder andere Art des Gleichgewichtes eintritt: das labile, wenn der Schwerpunkt sich über dem Aufhängepunkt befindet, das stabile, wenn er sich darunter, und das indifferente, wenn er sich im Aufhängepunkt selbst befindet.

Hängt man Körper so auf, dass sie sich im stabilen Gleichgewicht befinden, d. h. dass der Schwerpunkt unter dem Aufhängepunkt sich befindet, so kehren sie nach jeder Verrückung in die Gleichgewichtslage zurück; es ist leicht, dies so zu bewerkstelligen, dass der Körper auf einer Spitze zu stehen scheint. Die Figur gibt die Erläuterung dieses *Versuches*; alle die Spielwerke, wobei Figuren auf einem Punkt oder einer schmalen Kante zu stehen scheinen, beruhen auf demselben Princip.

§ 38. Wenn ein Körper auf seiner mehr oder weniger breiten Basis *steht*, so muss die durch seinen Schwerpunkt gezogene Vertikale in die Fläche der Basis treffen, wenn der Körper nicht umfallen soll.

Es ist leicht, aus Kork einen schiefen Cylinder zu schneiden a (Fig. 17), welcher ruhig stehen bleibt, welcher aber bei der geringsten Verlängerung durch den aufgelegten ebenso geneigten Cylinder b umfällt, weil der Schwerpunkt, welcher nun für das Ganze nach x kommt, nicht mehr unterstützt ist.

Ein Körper steht um so fester, je mehr Kraft erforderlich ist, um ihn so weit zu drehen, dass der Schwerpunkt nicht mehr unterstützt ist. Dieses hängt bei gleichgeformten und in gleicher Stellung befindlichen Körpern von deren Gewicht ab, bei denselben Körpern in verschiedener Lage aber von dem Weg, den der Schwerpunkt beschreiben muss, um über die Unterstützungsfläche hinauszukommen. Daher liegt ein Buch fester auf der breiten Fläche als auf der schmalen Seite, ein Bleistift liegt sicher auf dem Tisch, fällt aber, aufgestellt, leicht um, weil bei der geringsten Bewegung der Schwerpunkt nicht mehr unterstützt ist.

Bei schwer beladenen Wagen und Schiffen müssen die Lasten so vertheilt sein, dass der Schwerpunkt möglichst tief liege, damit er bei derselben Bewegung des ganzen Gegenstandes einen *kleinen* Bogen beschreibt und also weniger leicht aus seiner Unterstützung kommt.

Leeren Schiffen gibt man aus *demselben Grunde* ein Ballast; ebenso kehren Hollundermarkcylinder, die an ihrem unteren Ende durch Siegelack beschwert sind, stets wieder in die senkrechte Lage zurück.

Fig. 16.

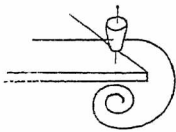
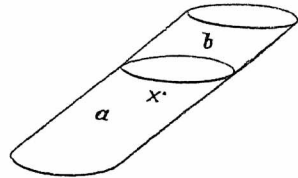


Fig. 17.



Beim Menschen ist der Schwerpunkt durch die Fläche seiner Füße unterstützt; wird derselbe z. B. durch Lasten aus der Mitte des Körpers verlegt, so sucht man unwillkürlich durch Aufheben des freien Armes oder durch gekrümmte Stellung ihn wieder so zu verrücken, dass er sich nicht so nahe an dem Rande der Unterstützungsfläche befinde.

Wenn beim Gehen ein Fuss um den anderen aufgehoben wird, so würde man jedesmal umfallen müssen, wenn man sich nicht nach der Seite des aufstehenden Fusses neigte; man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man den vor sich liegenden Schatten beim Gehen beobachtet, oder wenn man versucht, mit der rechten Seite und dem rechten Fuss die Wand berührend, den linken aufzuheben, was unmöglich ist, weil man den Körper nicht zur Unterstützung des Schwerpunktes neigen kann.

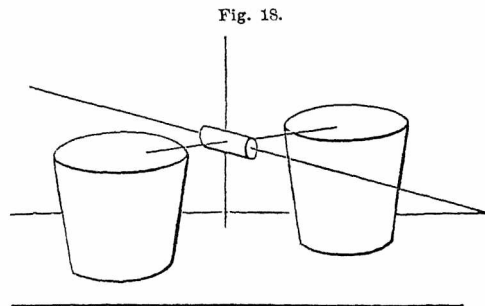
§ 39. Die *Wage* besteht in ihren Haupttheilen aus einem zweckmässig unterstützten gleicharmigen Hebel; derselbe kann nur dann im Gleichgewicht sein, wenn die Lasten, welche an beiden Endpunkten aufgehängt sind, gleich sind; hierauf beruht die Anwendung der *Wage* zur Gleichstellung von Gewichten; bei Ungleichheit der beiden Belastungen soll dies durch die Annahme einer *schiefen Stellung* der *Wage* angeeignet werden. Wie bewerkstelligt man dies?

Wenn bei der *Wage* der Schwerpunkt mit dem Unterstützungspunkt *zusammenfiel*, so wäre sie in jeder Lage im Gleichgewicht und könnte also auch bei gleichen Belastungen eine schiefe Stellung behalten; wenn der Schwerpunkt sich *über* dem Stützpunkt befände, so würde sie sich in labilem Gleichgewicht befinden und bei der geringsten Bewegung umkippen. Es bleibt also nur das stabile Gleichgewicht oder die Verlegung des Schwerpunktes unter den Unterstützungspunkt übrig, und zwar senkrecht darunter.

Die *Wage* erfüllt in der That alsdann die gestellte Bedingung; denkt man sich die Gewichte der Schalen und ihrer Lasten in dem Angriffspunkte derselben, den Aufhängepunkten, vereinigt, so muss die *Wage*, bei gleicher Belastung, in der bezeichneten Lage nach dem oben Gesagten im Gleichgewicht bleiben und nach einem jeden Anstoss wieder (nach einigen Schwankungen) in die Gleichgewichtslage zurückkehren. Wird aber die Last auf der einen Seite vermehrt, so wird dadurch der Schwerpunkt des Ganzen nach derselben Seite hin verrückt, er ist nicht mehr unterstützt und die *Wage* muss sich folglich so stellen, dass er wieder unter den Unterstützungspunkt kommt, worauf sie (nach einigen Schwankungen) in dieser Richtung stehen bleibt, in welcher der schwerere Theil nach unten hängt und die Zunge *ausschlägt*. Je grösser der Gewichtsüberschuss auf der einen Seite war, desto grösser ist die Verrückung des Schwerpunktes, desto bedeutender muss die Neigung der *Wage* sein, um ihn wieder unterstützt werden zu lassen.

Man kann sich leicht von der Richtigkeit des Gesagten durch eine sehr empfindliche *Wage* überzeugen, welche ohne Mühe zusammensetzen ist.

Versuch. Mittelst einiger Stricknadeln, zweier Gläser und eines Korkes stelle man



den Apparat (Fig. 17 vor. Seite) her. Wenn die horizontale Nadel an beiden Seiten der Achse genau gleich weit vorragt, so befindet sich der Apparat im Gleichgewicht; durch Verschiebung der senkrechten Nadel ist es leicht, dasselbe zum labilen, stabilen oder indifferenten zu machen und den Erfolg oder die Brauchbarkeit der Wage nach dem Obigen zu ermes sen.

Als Bedingungen für die Genauigkeit einer guten Wage ergeben sich folgende Hauptumstände:

1) Der Schwerpunkt der gleichmässig belasteten Wage muss *möglichst nahe* unter dem Unterstützungspunkt der Wage befindlich sein, damit schon bei einer *sehr geringen* Veränderung des Schwerpunktes ein grosser Ausschlag erfolgen kann.

2) Der Wagebalken muss möglichst leicht und doch unbiegsam sein, denn bei einem schweren Balken ist die zu bewegende Masse für ein geringes Uebergewicht zu gross.

3) Der Unterstützungspunkt der Wage und die Aufhängepunkte der Schalen müssen sich möglichst einer mathematischen Linie oder einem Punkte nähern, also aus möglichst scharf geschliffenen Schneiden oder Kegeln bestehen, indem sonst einestheils der Schwerpunkt durch eine Fläche unterstützt und das Gleichgewicht nicht sofort gestört würde, und andernteils die Lasten nicht in *einem Punkt* vereinigt *gedacht* werden dürften, woraus eine unbestimmte Länge der Hebelarme sich ergäbe.

4) Die Entfernungen der Aufhängepunkte von dem Unterstützungspunkt müssen vollkommen gleich sein, sonst entsteht ein ungleicharmiger Hebel. Es ist leicht, sich bei jeder Wage von der Richtigkeit dieses Umstandes zu überzeugen, indem man denselben Gegenstand bald auf die eine, bald auf die andere Schale legt und sein Gewicht bestimmt. Fällt das Resultat ungleich aus, so ist die Wage unrichtig. Man erhält alsdann das genaue Gewicht des Gegenstandes, wenn man denselben erst durch beliebige Tarirgewichte in's Gleichgewicht bringt, dann von der Schale wegnimmt und durch Gewichte ersetzt, bis diese mit den Tarirgewichten in's Gleichgewicht kommen, wo dann der Gegenstand nur dadurch gewogen wird, dass er in *seiner Wirkung durch Gewichte ersetzt wird*.

§ 40. Wir haben noch den Fall zu betrachten, wo ein Körper eine Bewegung um einen bestimmten Punkt macht, an den er durch irgend eine Kraft angezogen wird, während er durch eine andere — etwa durch einen Anstoss — in Bewegung gesetzt wurde. Diese Bewegung finden wir an allen Himmelskörpern, welche um einen sie anziehenden Körper kreisen, und in dem Falle, wo ein sich bewegender Körper durch eine Schnur an einen bestimmten Punkt gebunden ist. Dieser letztere ist nur ein besonderer Fall von der allgemeinen Kreisbewegung der Planeten und es gilt also dafür Alles das, was sich auf mathematischem Wege für jene ermitteln lässt. Die Schnur findet man während der Bewegung des Körpers gespannt, und zwar um so stärker, je schneller die Bewegung ist; durchschneidet man die Schnur, so bewegt sich der Körper in der zuletzt angenommenen Richtung, d. h. in der Richtung des letzten Theilchens seines Kreislaufes — oder in der Tangente zu seiner Kreisbahn — in gerader Linie vermöge seines Beharrungsvermögens fort; seine Bewegung ist dann um so schneller, je schneller sie während des Umlaufes war. Die Ursache der Spannung der Schnur nennt man Centrifugalkraft, Fliehkraft, Schwungkraft; sie wächst, wie sich mathematisch ableiten lässt, im Verhältniss der Halbmesser der Bahnen und im umgekehrten Verhältniss der Quadrate der Umlaufzeiten; ausserdem ist sie der Masse des rotirenden Körpers proportional.

Die Schwungkraft finden wir auch bei allen Theilchen der Erde, welche durch die Anziehung der Erde selbst verhindert werden, sich von ihr zu entfernen; diese Schwungkraft der Erdtheilchen ist nach dem erwähnten Gesetze in den verschiedenen Entfernungen von der Rotationsachse verschieden; an den Polen Null ist sie am Aequator am grössten. Da sie der Schwere entgegengesetzt ist, *so ist die Wirkung dieser ebenfalls verschieden*, da ein um so grösserer Effect für die Schwerekraft bleibt, je kleiner der durch die Centrifugalkraft aufgehobene Theil derselben ist. Die Schwerekraft erscheint daher an den Polen, wo die Centrifugalkraft Null ist, am grössten, und obwohl sie eigentlich überall gleich ist, so nimmt doch ihre Wirkung nach dem Aequator hin ab.

Man kann leicht berechnen, wie gross bei der jetzigen Geschwindigkeit der Erdumdrehung die Entfernung eines Körpers von der Achse sein müsste, um die Centrifugalkraft der Anziehung gleich zu machen, oder mit welcher Geschwindigkeit die Erde sich drehen müsste, wenn an einem gegebenen Punkte derselben dieses eintreten sollte. Es ist klar, dass in diesem Falle sich Centrifugalkraft und Erdanziehung (Schwere) das Gleichgewicht halten und dass sich die Körper alsdann auch ohne Unterstützung ihrer Masse überall in unveränderlicher Ruhe befinden würden.

Es ist leicht, sich durch einen *einfachen*

Versuch davon zu überzeugen, dass die Centrifugalkraft mit wachsender Umdrehungsgeschwindigkeit wächst und dass sie bei einer bestimmten Grösse Hindernisse überwinden kann. Man braucht nur an einen dünnen Faden einen etwas schweren Körper zu befestigen und mit immer wachsender Geschwindigkeit im Kreise sich bewegen zu lassen; der Faden wird reissen. Auch kann man eine Pappschachtel mit etwas losem Sande zu $\frac{1}{2}$ anfüllen, in den Rand drei gleiche und ziemlich lange Bindfäden befestigen und durch das Zusammendrehen und Aufwindenlassen derselben die Schachtel zum Drehen bringen; der Sand wird sich zum Rande der Schachtel begeben und bei hinreichender Schnelligkeit herausfliegen.

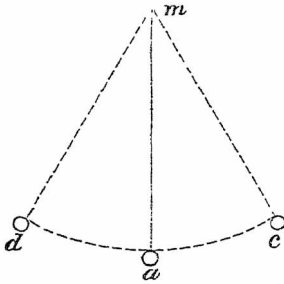
Von den vielfachen Anwendungen der Centrifugalkraft dürfte wohl diejenige in der Zuckerraffinerie die einfachste und wichtigste sein, wo man den flüssigen Saft von dem festen Zucker dadurch trennt, dass man beide in einem runden um seine Achse sich drehenden Gefässe gegen dessen durchbrochene Wandung *schleudert*, wo dann der flüssige Syrup vermöge seiner Centrifugalgeschwindigkeit durch die Maschen des Siebes hindurchgeht, während der Zucker darin haften bleibt.

Von den verschiedenen Fällen der Anwendung mögen auch noch folgende erwähnt sein: Ein Glas Wasser bleibt, auf einer Schale um einen Punkt gedreht, gefüllt; der Kunstreiter steht auf dem Pferde, das sich im Kreise bewegt, gegen dessen Mittelpunkt er sich neigt, um gegen das Pferd gedrückt zu werden; Kugeln durchlaufen die Centrifugalkegelbahn u. s. w. In allen diesen Fällen wird die Schwerekraft zum Theil oder ganz auf die Dauer der Bewegung aufgehoben.

Die Versuche, welche mit der Centrifugalmaschine angestellt werden, dienen zur Erläuterung derselben Thatsache und bedürfen keiner weiteren Erklärung.

§ 41. Hängt irgend ein schwerer Körper *a* (Fig. 19 f. S.), etwa eine Kugel, an einem so dünnen Faden, dass dieser in Bezug auf die Kugel als gewichtslos angesehen werden kann, und ist das andere Ende des Fadens an einem festen Punkte aufgehängt, so nennt man diese Vorrichtung ein *Pendel*. Bringt man die Kugel, ohne den Faden zu biegen, aus ihrer

Fig. 19.



Lage unter dem Aufhängepunkt, so fällt sie, durch die Schwerkraft veranlasst, in die tiefere Lage zurück, beschreibt dabei einen Kreisbogen $c a$ und steigt auf der anderen Seite der Verticalen und vermöge der Trägheit mit der angenommenen Geschwindigkeit in die Höhe; sie würde eben so hoch steigen, wie sie fällt, wenn sie nicht die Steifheit des Fadens und den Widerstand der Luft zu überwinden hätte. Wenn das Pendel bei demjenigen Punkte angekommen, wo die Trägheitsbewegung aufgehört hat zu wirken, so fällt es durch die Schwere zurück, tritt wieder über die Gleichgewichtslage

hinaus u. s. w. Diese Bewegungen des Pendels heissen *Schwingungen*; der Winkel $a m c$ ist der *Ausschlagswinkel* oder der *Ausschlag*; der in Graden ausgedrückten Bogen $c d$ die *Amplitude* der Schwingungen.

Da die Schwingungen durch die oben angeführten Gründe immer weniger Amplitude haben, so kommt endlich ein Punkt, wo die Bewegung des Pendels unmerklich wird oder aufhört; wenn die Reibung am Aufhängepunkt und beim Durchschneiden der Luft sehr gering ist, so kann sie oft stundenlang fort dauern.

Die Gesetze der Pendelschwingungen lassen sich ableiten, wenn man dieselben als die Folge der Schwerkraft betrachtet und berücksichtigt, dass die Falllinie der Kugel eine schiefe Ebene ist, deren Neigungswinkel mit jedem Momente ein anderer, kleinerer wird.

Es sind folgende:

1) Die Dauer *kleiner* Pendelschwingungen ist unabhängig von ihrer Amplitude, d. h. *kleine* Pendelschwingungen haben gleiche Zeitdauer.

2) Die Dauer der Schwingungen ist unabhängig von der Natur der Substanz und dem Gewichte der Kugel.

3) Die Dauer der Schwingungen ist abhängig von der Länge des Pendels und verhält sich bei ungleichen Längen wie die Quadratwurzeln daraus.

§ 42. *Versuch.* Es ist nicht schwer, die oben ausgesprochenen Gesetze, wenigstens *annähernd*, durch den Versuch zu bestätigen.

1) Man befestige an eine Bleikugel, oder besser an ein linsenförmiges Metallstück einen feinen seidenen Faden und hänge diesen mit seinem freien Ende mittelst einer feinen Nähnadel am Tischrande auf. Dieses Pendel versetze man in nicht zu grosse Schwingungen und zähle dieselben während einer Minute. Nachdem hierauf das fortschwingende Pendel zu kleineren Oscillationen gelangt ist, zähle man diese nochmals während einer Minute; man wird gleiche Zahlen finden.

2) Man fertige mehrere Pendel, zu denen man bei *genau gleicher* Länge des Fadens Kugeln von ziemlich gleicher Grösse, aber aus verschiedenem Materiale nimmt; sie werden, neben einander in Bewegung versetzt, ziemlich gleiche Schwingungsdauer haben, oder ziemlich die gleiche Anzahl Schwingungen in derselben Zeit machen. Es hält schwer, die Länge der Fäden genau gleich zu treffen und daher ist der Versuch nur ein ungenauer.

3) Man stelle sich drei Pendel dar, deren Fäden so abgemessen sind, dass eines davon 4 mal, das andere 9 mal so lang ist wie das kürzeste. Wenn nun alle drei in Schwingungen versetzt sind, wird man finden,

dass die Dauer der Schwingungen bei denselben sich verhält wie 1 : 2 : 3. In derselben Zeit machen die längeren Pendel je die Hälfte und das Drittel der Schwingungen, welche das kürzeste macht. Der Grund ist darin zu suchen, dass, wenn auch die Steilheit des Falles dieselbe ist, doch die zu durchlaufenden Wege verschieden sind, und nach den Gesetzen des freien Falles die Fallzeiten sich wie die Quadratwurzeln der Wege verhalten.

4) Es ist leicht zu beobachten, dass zwei Pendel von genau gleicher Fadenlänge, aber von verschiedener *Ausdehnung* der Kugeln verschiedene Schwingungsdauer haben. Denn da diese von der Länge des Pendels abhängt, auf welchen die Schwerkraft wirkt, und wir uns die sämtlichen auf die einzelnen Moleküle einwirkenden Schwerkraften im Schwerpunkt vereinigt denken können, so ist die wahre Länge des Pendels die Entfernung seines *Schwerpunktes* vom Aufhängepunkt. Bei Pendeln aus festeren Materialien, bei welchen die Stange ein bestimmtes Gewicht hat, kann die wahre Länge nicht so einfach erkannt werden, wie bei Pendeln, deren Schwerpunkt mit der Mitte ihrer Kugel zusammenfällt. Man bedient sich alsdann eines solchen aus Faden und Kugel bestehenden Pendels, welches man so lange verkürzt oder verlängert, bis es gleiche Schwingungsdauer mit dem fraglichen Pendel hat, und bemisst danach auch für dieses die Entfernung des Schwerpunktes vom Aufhängepunkt.

§ 43. Da Pendel von *gleicher Länge*, aber von verschiedenem Materiale und verschiedener Schwere gleiche Schwingungsdauer haben, so beweist dies, dass die Schwerkraft auf alle Körper gleichartig wirkt, dass alle Körper mit gleicher Geschwindigkeit fallen und dass der Unterschied des Falles, den wir bei einem Faden und einer Metallkugel beobachten, nur von dem Widerstand der Luft herrührt, welcher bei der verschiedenen Vertheilung der Masse verschieden gross ist.

Da die Pendelschwingungen von der Schwerkraft abhängen, so müssen sie mit deren Zunahme auch ihre Schnelligkeit vermehren oder ihre Dauer vermindern, und umgekehrt. Mit Hülfe desselben Pendels kann man daher die Gleichmässigkeit der Schwerkraft an den verschiedenen Theilen der Erdoberfläche prüfen; man hat gefunden, dass dieselbe, übereinstimmend mit dem früher über diesen Punkt Gesagten, nach den Polen hin zunimmt. Hieraus folgt, dass man, um ein Pendel zu haben, welches genau eine Secunde zu jeder Schwingung braucht, das *Secundenpendel*, dasselbe an verschiedenen Orten der Erde von ungleicher Länge nehmen muss, sowie dass man das Pendel zu genauer Bestimmung der Intensität der Schwere benutzen kann. Die Entwicklung der hierzu erforderlichen Formeln gehört in das Gebiet der höheren Mathematik; zu ihrer *Anwendung* ist vor Allem die Ermittlung der Länge des Secundenpendels für den Ort der Erde erforderlich, eine Ermittlung, welche auch sonst für verschiedene Untersuchungen von Wichtigkeit ist. Man bedient sich zu den Fundamentalversuchen entweder eines sehr langen Pendels, welches aus einer schweren, linsenförmig und regelmässig gearbeiteten Metallmasse und einem sehr dünnen Faden besteht, und worin man den Schwerpunkt des Pendels als mit dem der aufgehängten Masse zusammenfallend betrachten kann, oder des *Reversionspendels*.

Wenn man nämlich ein aus einer unbiegsamen Stange mit beliebigen schweren Theilen bestehendes Pendel an seinem oberen Theile mit einer Schneide versieht, mittelst welcher es auf einer glatten Platte aufgehängt wird, und an seinem unteren Theile eine bewegliche Schneide so anbringt, dass man das Pendel umkehren und dann auf *dieser* zweiten Schneide schwingen lassen kann, so ist es nicht schwer, diese so zu

stellen, dass die Schwingungsdauer des Pendels und des umgekehrten Pendels genau gleich sind. Alsdann befindet sich die zweite Schneide, wie sich durch die Rechnung nachweisen lässt, genau im Schwerpunkt des um die obere Schneide schwingenden Pendels und dessen Länge ist also sehr leicht zu messen.

§ 44. Die Gesetze der Pendelschwingungen wurden zuerst von *Galiläi* erkannt, welcher durch die Schwingungen eines Kronleuchters im Dom zu Mailand darauf gebracht wurde; *Huyghens* und *Newton* erforschten diese Gesetze weiter, aber erst *Richer* machte die Beobachtung, dass die Pendellängen für gleiche Oscillationsdauer an verschiedenen Orten der Erde verschieden seien.

Dieselbe beträgt z. B.

für Berlin	994,2239	Millimeter,
„ Paris	993,8606	„
„ Rio de Janeiro	991,6956	„
„ London	994,1234	„
„ New-York	993,1586	„

Das Pariser Secundenpendel bleibt an diesen Orten entweder zurück oder eilt vor. In London z. B. eilt es in 24 Stunden um 11 Secunden vor, in New-York bleibt es um 30 Secunden zurück.

Vergleicht man die *berechneten* Zahlen mit den *beobachteten*, so findet man geringe Abweichungen, zum Beweise, dass der Erdboden an verschiedenen Stellen vermöge seiner Constitution eine verschiedene Anziehungskraft äussert und, die allgemeine Schwere modificirend, einwirkt. In dieser Beziehung ist namentlich hervorzuheben, dass die Massenanziehung, welche benachbarte Gebirge auf das Pendel ausüben, nicht ohne Einfluss auf dessen Schwingungen ist. Diese Anziehung zeigt sich schon durch die Abweichung der Richtung des Pendels von der Verticalen.

Aus der Ablenkung des Pendels von der Senkrechten durch grosse Massen von bestimmter Dichte kann man durch Vergleiche auf die Dichte der ganzen Erdmasse schliessen. Dies ist besonders durch *Bouguer* und *Maskelyn* geschehen. Sie fanden danach die Dichtigkeit der Erde 4,56 mal so gross wie die des Wassers. Nach den Untersuchungen von *Reich* beträgt sie 5,58, nach den späteren Versuchen von *Airy* noch mehr.

Durch *Foucault* ist in neuester Zeit das Pendel auch angewendet worden, um die Achsendrehung der Erde direct nachzuweisen. Eine nähere Auseinandersetzung dieses Versuches und der Principien, worauf er sich gründet, wollen wir jedoch hier um so mehr übergehen, als Zeichnungen dabei nicht so verständlich sein würden wie einige Apparate, wozu namentlich das *Bohnenberger'sche* Maschinchen gehören.

§ 45. *Aufgabe 1.* Wenn von zwei Pendeln das eine 120, das andere 150 Schwingungen während einer Minute machte, wie verhalten sich dann ihre Längen?

Antwort. Wie 25 : 16.

Aufgabe 2. Wie viel Schwingungen in der Minute macht ein Pendel von 4 Fuss Länge in Berlin, wenn die Länge des Secundenpendels 3,168 Fuss ist?

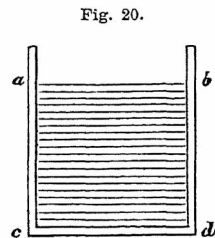
Antwort. 53,4.

Aufgabe 3. Wie gross muss die Länge eines Pendels sein, dessen Schwingungsdauer eine halbe Secunde beträgt, wenn die Länge des Secundenpendels an demselben Orte 39,14 Zoll ist?

$$\text{Auflösung. } l = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \cdot 39,14 = 9,785''$$

III. Gleichgewicht und Bewegung tropfbar flüssiger Körper.

§ 46. Wenn ein fester Körper, z. B. ein Cylinder in der Richtung seiner Achse gedrückt wird, so ist die oberste Schicht der Theilchen des festen Körpers den nächst folgenden genähert worden, diese muss sich der dritten nähern u. s. w. Der Druck erfolgt daher in der Richtung der Achse, aber er wird nicht seitlich fortgepflanzt. Wenn aber ein Gefäss mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit gefüllt ist und es wird mittelst eines dicht schliessenden Stempels oder Kolbens ein Druck auf dessen Oberfläche ausgeübt, so wird er in Folge der *leichten Verschiebbarkeit* der gedrückten Theilchen nicht allein nach unten, sondern auch nach den Seiten fortgepflanzt, und zwar geschieht dies, abgesehen von dem Gewicht der Flüssigkeit, mit gänzlicher Gleichmässigkeit nach allen Richtungen. Wenn die obere Schicht a b (Fig. 20) z. B. einen Druck von 100 Pfd. auszuhalten hat, so hat auch (unter den oben angedeuteten Voraussetzungen) die untere Schicht und mithin der ganze Boden c d den Druck von 100 Pfd. auszuhalten; der Druck auf einen kleinen Theil des Bodens, z. B. auf $\frac{1}{10}$ der Fläche beträgt demnach auch nur einen kleinen Theil, hier also $\frac{1}{10}$ oder 10 Pfd. Dasselbe gilt von den Seitenflächen; der Druck steht also im Verhältniss zu der gedrückten Fläche. Wenn man in die Seite des Gefässes ein Loch macht, welches der Oberfläche des drückenden Stempels gleich ist, so wird das Wasser daselbst herausgetrieben und nur durch einen Druck, welcher dem des Stempels gleich ist, zurückgehalten werden; beträgt die Oeffnung nur einen Theil der Stempeloberfläche, so reicht auch ein entsprechender Theil dieses Druckes aus.



Wird eine gewisse Menge Wasser oder eine andere Flüssigkeit sich selbst unter Umständen überlassen, wo sie dem Einfluss der Schwere entzogen ist, so muss sie, wenn sie nicht in einem umschliessenden Gefässe enthalten ist, die Gestalt einer Kugel annehmen. Diese Thatsache, welche man durch Schlüsse aus der Molekularanziehung erkannt hatte, ist durch *Plateau* auch experimentell nachgewiesen worden, welcher eine Quantität Oel in eine Flüssigkeit (Gemisch aus Alkohol und Wasser) brachte, die genau die gleiche Dichtigkeit mit dem Oele hatte, worin also das Oel nicht durch die Schwere beeinflusst wurde, sondern in jeder Lage schwimmend blieb. Es nahm alsdann stets die Kugelgestalt an.

Eine Folge des Vorhergehenden ist, dass alle Flüssigkeiten im Zustande des Gleichgewichts der allgemeinen Form unseres Planeten entsprechen müssen, weil sie nur dann im Gleichgewicht sein können, wenn die Anziehungskraft auf alle Punkte in derselben Entfernung vom Mittelpunkt gleich wirken kann. Alle Flüssigkeiten haben also eine kugelförmige Oberfläche, die man jedoch für nicht allzugrosse Strecken als *eben* betrachten kann. In gleichen Tiefen unter dieser Oberfläche ist der Druck stets gleich und seine Grösse richtet sich also bei derselben Flüssigkeit nur nach der Tiefe unter der Oberfläche, wenn die *Höhe nicht* so

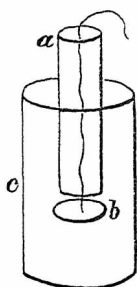
gross ist, dass man eine Verminderung der Anziehungskraft in Rechnung ziehen müsste. Bei ungleichen Flüssigkeiten hängt ferner der Druck unter der Oberfläche auch von der Schwere, d. h. von ihrer Dichtigkeit ab.

§ 47. Der Druck, welchen Flüssigkeiten auf *den Boden* der sie enthaltenden Gefässe ausüben, ist, wie sich aus dem Gesagten ableiten lässt, allein abhängig von der Grösse des Bodens und der Höhe der Flüssigkeiten, und nicht von deren Masse. Sind demnach verschiedene Massen Wassers in verschieden geformten Gefässen enthalten, welche gleiche Bodenfläche und gleiche Höhe — bei sonst verschiedener Gestalt — haben, so sind die ausgeübten Druckgrössen in allen gleich.

Die Wahrheit dieses Gesetzes wird mittelst des *Haldat'schen* Apparates nachgewiesen, welcher so eingerichtet ist, dass *dieselbe* Grundfläche vom Wasser gedrückt wird, welches in verschieden geformten Gefässen enthalten ist. Den Druck misst man alsdann durch ein Gewicht und findet dieses für dieselbe Flüssigkeitshöhe auch bei ungleicher Masse stets gleich. Auf diese Weise kann z. B. ein Kubikfuss Wasser bald einen Druck von 66 Pfd., bald einen solchen von 132 Pfd. auf *dieselbe* Fläche ausüben, je nachdem das Gefäss — bei einem Boden von 1 Quadratfuss — genau würfelförmig oder so gearbeitet ist, dass das Wasser darin eine doppelte Höhe einnimmt. Der Widerspruch, dass hiernach gleiche Massen verschiedene Wirkungen und umgekehrt auszuüben scheinen, wird dadurch gelöst, dass der ruhende Druck keine eigentliche Wirkung ist, sondern dass zu diesem Begriffe der der Dauer gehört. Die Wirkung tritt erst ein, wenn eine *Bewegung* hervorgebracht wird, und diese muss, wenn sie von der kleinen Wassermasse in *derselben* Grösse bewirkt wird, verhältnissmässig *kurzere Zeit* dauern als bei der grösseren Masse.

§ 48. Der Druck, welchen die Flüssigkeiten ausüben, äussert sich indessen nicht allein auf den Boden derselben, sondern er findet auch nach allen Seiten und von unten nach oben statt, und zwar stets in demselben Verhältnisse der Grundfläche und Höhe der darüber stehenden Flüssigkeit. Es ist leicht, sich hiervon zu überzeugen durch folgenden

Fig. 21.



Versuch. Von einer etwas weiten Glasröhre a (Fig. 21) schneide man ein oben und unten glattes Stück von einer Länge von etwa 2'' ab und schleife es an dem einen Ende durch Reiben auf einem ebenen Sand- oder Ziegelsteine gleichmässig ab. Dann befestige man ein glattes rundes Brettchen aus dichtem Holze oder ein vollkommen ebenes Metallstück b an der Mitte mit einem Faden und wähle ein so tiefes Glasgefäss c aus, dass man die ganze Vorrichtung eintauchen kann. Man fülle nun das letztere mit Wasser und tauche die Röhre hinein, indem man anfangs die Schlusscheibe anzieht, damit kein Wasser eindringt. Man wird bald bemerken, dass schon bei geringer Tiefe derselben unter der Oberfläche des Wassers ein Anspannen des Fadens nicht mehr nöthig ist, dass also dann ein Druck *von unten* stattfindet.

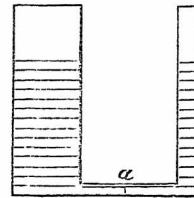
Giesst man nun in die Röhre a nach und nach Wasser, so wird man bemerken, dass der Druck von unten immer kleiner wird, bis endlich die Schwere der Holzplatte allein ausreicht, ihn zu überwinden und diese abfällt; dies geschieht kurz ehe das Wasser im Inneren der Röhre die Höhe des Wassers im äusseren Gefässe erreicht.

Man kann dasselbe noch auf eine andere Weise anschaulich machen. Man binde das Röhrende mit einem Stückchen feuchter Blase fest zu, lasse dieses vollkommen trocken werden, tauche es alsdann in das Gefäß mit Wasser und steche mittelst eines spitzen Drahtes ein Loch in die Mitte der Blase; das Wasser wird dadurch mit solcher Gewalt (in Folge des Druckes von unten) eindringen, dass im ersten Augenblicke ein um so höher spritzender Strahl entsteht, je tiefer die Mündung der Röhre unter den Wasserspiegel eingetaucht war. Das Einspritzen vermindert sich indessen sehr bald in Folge des Widerstandes des auf der Oeffnung liegenden bleibenden Wassers.

Der Druck auf eine Stelle der Seitenwand ist dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule gleich, welche zur Basis die Grösse des Wandstückes und zur Höhe die Entfernung des Schwerpunktes desselben vom Wasserspiegel hat. Dieses Gesetz lässt sich leicht aus dem vorhergehenden ableiten; Gelegenheit zu der Bestätigung durch die Erfahrung hat man nicht selten, wenn man das Wasser in hohen Gefässen aus irgend einer Oeffnung in der Wandung mit Gewalt hervorspritzen sieht.

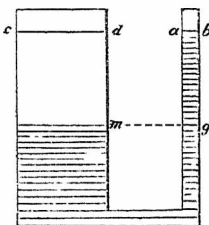
§ 49. Wenn zwei Gefässe (Fig. 22) durch eine Röhre mit einander verbunden sind und sich in beiden eine Flüssigkeit befindet, so wird der Zustand des Gleichgewichtes erst dann eintreten können, wenn in irgend einer Fläche des Querschnittes *a* der verbindenden Röhre der Druck von beiden Seiten gleich ist. Da dieser nun bei gleicher Grundfläche nur von der Höhe der Flüssigkeit abhängt, so folgt, dass für die Bedingung des Gleichgewichtes die Flüssigkeit in beiden Gefässen *gleich hoch* über demselben Punkt der verbindenden Röhre stehen müsse. Dies gilt natürlich für jede Form und jedes Grössenverhältniss der beiden Gefässe.

Fig. 22.



Befinden sich in beiden Gefässen *verschiedene* Flüssigkeiten, so hängt deren Oberfläche von dem specifischen Gewichte derselben ab. Wenn z. B. die untere schwerere Flüssigkeit in dem einen Gefässe bis zu einer bestimmten Höhe und darüber eine leichtere Flüssigkeit nur in diesem einen Gefässe steht, so müssen, da bis zu der Höhe, welche hier die schwere Flüssigkeit einnimmt, der Druck von beiden Seiten gleich ist, die Flüssigkeiten über derselben auf beiden Seiten den gleichen Druck ausüben. Auf der einen Seite aber ist dies dieselbe schwerere, auf der anderen nach unserer Annahme eine darüber stehende leichtere Flüssigkeit. Die Höhe derselben muss also im umgekehrten Verhältniss der Dichtigkeit beider Flüssigkeiten stehen. So kann eine Quecksilbersäule z. B. einer 13,5 mal so hohen Wassersäule das Gleichgewicht halten.

Fig. 23.

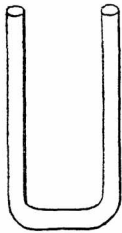


Da die Wassermasse *a g* (Fig. 23) derjenigen zwischen *c* und *m* das Gleichgewicht hält, so folgt, dass wenn durch irgend eine Einrichtung die letztere entfernt und an ihre Stelle über *m c* die Fläche eines anderen Körpers gebracht würde, welcher die untere Flüssigkeit am Aufsteigen verhinderte, dieser von unten einen Druck auszuhalten haben würde, welcher dem Druck der entfernten Wassermasse gleich ist; es kann also durch die Wassermasse von geringer Grundfläche *g* ein sehr bedeutender Druck ausgeübt werden. Fügt man über *a* noch einen Druck auf diese Wassersäule hinzu,

der etwa derjenigen einer hier angebrachten höheren Wassersäule von z. B. 10' gleich wäre, so würde sich auch der Druck auf die Fläche m um den einer hier angebrachten *gleich hohen* Säule vermehren. Natürlich kann dieser Druck auf jede beliebige Weise ausgeübt werden. Zu bemerken ist hierbei, dass wenn z. B. bei einem Verhältnisse der Querschnitte von 1 : 10 der Druck auf der einen Seite dem 10fachen des auf der anderen Seite ausgeübten gleich ist, die dadurch hervorgebrachte *Bewegung* doch nur den 10. Theil beträgt, denn bei diesem Verhältniss muss auf der einen Seite die Wassersäule um 10'' fallen, wenn sie auf der anderen um 1'' steigen soll.

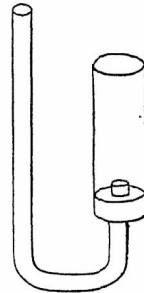
§ 50. *Versuch 1.* Man stelle in ein Glas mit Wasser Glasröhren von verschiedener Weite; in allen wird das Wasser gleich hoch stehen; nur bei den engeren Röhren wird man einen Unterschied bemerken, welcher daher kommt, dass die Flüssigkeit durch die Anziehung der Wände höher gehoben wird, eine Erscheinung, welche wir später kennen lernen werden. Auch bei jeder Neigung der Röhren werden die Wasserhöhen aller Theile in einer horizontalen Ebene liegen.

Fig. 24.



Versuch 2. Man biege eine Glasröhre nach der Gestalt Fig. 24. Nun giesse man so viel Quecksilber hinein, dass der horizontale und ein Theil der senkrechten Schenkel damit gefüllt wird, und bringe in den einen Schenkel der Röhre Wasser; das Quecksilber wird alsdann in dem anderen allmählich höher steigen und einer weit höheren Wassersäule das Gleichgewicht halten (s. § 49).

Fig. 25.

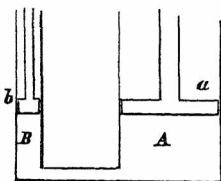


Versuch 3. Man stelle aus einer weiten, einer doppelt gebogenen engen Glasröhre und einem durchbohrten Kork den neben gezeichneten Apparat (Fig. 25) dar, giesse Wasser hinein und beobachte die gleiche Höhe beider Wassersäulen. Nun stelle man mittelst eines Holzstäbchens, das mit etwas wollenem Faden umwickelt ist, einen in das weitere Rohr genau passenden Kolben her und drücke damit das Wasser darin abwärts. Man wird bemerken, dass dasselbe in dem engeren Rohre in demselben Verhältniss schneller steigt, als die Weite desselben geringer ist, als die der weiten Glasröhre.

Es ist leicht, hieraus den umgekehrten Schluss zu ziehen, und den Druck abzuleiten, welcher durch kleine Wassersäulen auf grosse ausgeübt werden kann.

§ 51. Auf dem ausgesprochenen Gesetze der *communicirenden Röhren* beruhen verschiedene allgemein bekannte Einrichtungen: die Nivelirwage, die artesischen Brunnen, die Springbrunnen, der anatomische Heber, *Reals Extractpresse* und die *hydraulische Presse*.

Fig. 26.



Letztere besteht aus zwei Haupttheilen, einem weiten Rohre, in welchem sich ein dicht schliessender Kolben befindet, auf welchen oder mittelst dessen eine höhere Pressung von unten ausgeübt werden soll, und einer engen Röhre, in welcher sich ein gleichfalls dicht schliessender Stempel bewegt, auf welchen irgend eine Kraft wirkt. Beide Röhren sind durch ein enges Rohr verbunden (Fig. 26). Betrachten wir alles im Zustande des ursprünglichen Gleichgewichtes und

nehmen wir an, der Radius der Röhre A sei 10 mal so gross wie der der Röhre B. Das Wasser wird in beiden Röhren gleich hoch stehen. Wenn aber nun mittelst des Stempels b ein gewisser Druck wirkt, so wird derselbe durch die communicirende Röhre auf das ganze System fortgepflanzt, und alle Theile der Gefässe, welche gleichen Querschnitt haben, wie der den Druck erhaltende Kolben, befinden sich unter gleichem Druck. Auch der bewegliche Kolben A bildet mit seiner unteren Fläche einen Theil der Gefässwand und erhält also den bezeichneten Druck; da seine Fläche aber 100 mal grösser ist als die des drückenden kleinen Kolbens, so empfängt er also einen 100 mal so grossen Druck und wird, weil er beweglich ist, mit dieser Kraft bei a hinausgetrieben oder übt diesen Druck auf die dargebotenen zu pressenden Gegenstände aus. Beträgt also der Druck bei b 100 Pfd., so wird die Wirkung bei a 10000 Pfd. betragen. Der Weg, welchen der Kolben bei A durchläuft, ist dagegen natürlich nur $\frac{1}{100}$ des Weges, welchen der Kolben b macht.

Da die Menge Wassers, welche den Kolben A bei seinem Austritt aus der Scheide ersetzen muss, bei unserer Voraussetzung das 100 fache der bei b eintretenden beträgt, so muss das fehlende Wasser aus einem Behälter ersetzt werden; B ist daher zugleich als Pumpe eingerichtet, was, wie wir bei den Pumpen sehen werden, durch eine einfache Ventil-einrichtung bewirkt wird. Ausserdem befinden sich an allen hydraulischen Pressen Vorrichtungen, um zu verhüten, dass der Druck eine bestimmte Höhe übersteige. Man nennt dieselben *Sicherheitsventile*; ein solches befindet sich in der communicirenden Röhre und ist so eingerichtet, dass es bei einem bestimmten Drucke sich öffnet und das Wasser ausfliessen lässt, bis der Druck wieder schwächer geworden ist. Endlich sind diese Pressen noch mit einer Einrichtung versehen, welche nach beendigter Pressung dem grossen Stempel den Rückgang dadurch möglich macht, dass sie eine Verbindung zwischen der Wassermasse bei A und dem Hauptwasserbehälter herstellt.

§ 52. *Aufgabe 1.* Die innere Bodenfläche einer Flasche hat bei einer kreisförmigen Gestalt einen Radius von 1 Decimeter; die Flasche ist bis zu einer Höhe von 136 Millimeter mit Schwefelsäure gefüllt, welche ein spezifisches Gewicht von 1,8 hat; wie gross ist der Bodendruck in Grammen?

Auflösung. Bodenfläche = 3,14 Quadrat-Decimeter; Gesamtvolumen der drückenden Flüssigkeit ohne Rücksicht auf Gestalt 4,2704 Kubikdecimeter (die indessen nicht alle vorhanden sind, obwohl der Druck dieser Masse entspricht); Gewicht derselben für das genannte spezifische Gewicht = 7686,72 nämlich

$$1,8 \cdot 4,2704 \cdot 1000 \text{ Gramm.}$$

Aufgabe 2. Vor einem Schleusenbrette aus Eichenholz von 5' Breite, 4' Höhe und 3 Zoll Dicke steht das Wasser 5' hoch; welche Kraft ist zum Aufziehen desselben nöthig, wenn man das spezifische Gewicht des Holzes = 1,11 annimmt und wenn die Reibung gefunden wird, indem man den erlittenen Druck durch den Reibungscoefficient 0,68 des nassen Holzes multiplicirt?

Auflösung. Gewicht des Brettes 566,3. Höhe des Wasserspiegels über dem Schwerpunkt $1\frac{1}{2}'$. Druck des Wassers auf das Brett 1485 Pfd. Die Kraft also = 1376,1 Pfd.

Aufgabe 3. Der kürzere Schenkel eines anatomischen Hebers hat einen Durchmesser von 10 Zoll, der längere ist 6 Fuss länger als der kürzere. Welchen Druck erleidet die Blase, mit welcher der kürzere Schenkel zugebunden wird, wenn man den Apparat mit Wasser füllt?

Antwort. $\frac{10^3}{4} \pi \cdot 6 \cdot 12 \cdot 1\frac{1}{2}$ Loth = nahe 216 Pfd.

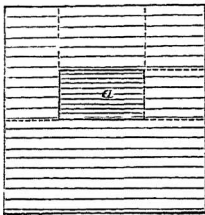
Aufgabe 4. Die beiden Schenkel einer communicirenden Röhre sind mit Quecksilber bis zu einer gewissen Höhe gefüllt. Man will das Quecksilber in dem einen um 0,35 Centimeter steigen lassen und dies durch Wasser bewirken. Wie viel Milligramm Wasser sind dazu erforderlich, wenn der Durchmesser der Röhre, woein das Wasser gegossen wird, $1\frac{1}{2}$ Quadratmillimeter beträgt und das spezifische Gewicht des Quecksilbers = 13,6 angenommen wird?

Antwort. 71,4.

Aufgabe 5. Wie gross muss bei einer hydrostatischen Presse die Kraft sein, um den Druck von 3564 Pfd. hervorzubringen, wenn der Durchmesser des Druckstempels 1", der des weiten Cylinders 9", der Hebelarm der Kraft 36", der der Last 9" beträgt?

Antwort. $\frac{3564 \cdot 1^2 \cdot 9}{9^2 \cdot 36} = 11$ Pfd.

Fig. 27.



§ 53. Wenn man sich unter a einen besondern Theil der in dem Gefässe Fig. 27 befindlichen Flüssigkeit vorstellt, so ist dieser in Ruhe, weil sein Gewicht mit dem Drucke, welchen er von oben erleidet, zusammengenommen, dem Gegendruck von unten gleich ist. Dies gilt natürlich für jede andere Tiefe ebenso. Denkt man sich an die Stelle der flüssigen Masse a einen eben so schweren Körper von ganz gleicher Grösse, so müsste auch dieser in Ruhe sein (weil ja eigentlich nichts geändert ist) und auf einen Faden, woran man ihn aufhinge, gar keinen Zug äussern, d. h. in dieser Stellung *gewichtslos sein*.

Ein Körper von der Dichtigkeit des Wassers verliert also im Wasser sein ganzes Gewicht, d. h. das Gewicht eines gleichen Volumens Wasser. Dasselbe muss auch für Körper von jedem anderen spezifischen Gewichte gelten. Jeder andere Körper, welcher gleiche Grösse mit a hat, wird nämlich von oben einen Druck erhalten, welcher um so viel kleiner ist als der von unten kommende, wie die Säule Wasser wiegt, deren Stelle vertreten wird; diese Menge verliert er also an seinem Gewicht, denn dieser Ueberschuss an Druck ist es, mit dem er in die Höhe getrieben wird. Dieses *Princip des Archimedes* heisst also: Jeder untergetauchte Körper verliert so viel an seinem Gewichte, wie das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit beträgt. Ist das spezifische Gewicht grösser als das des Wassers, so sinkt er also, und zwar mit einer Kraft, die um so viel kleiner ist als sein Gewicht, als das Gewicht des gleichen Volumens Wasser beträgt; ist sein specif. Gewicht kleiner als das des Wassers, so wird der Druck von unten grösser und er steigt so weit aus dem Wasser hervor, bis der untergetauchte Theil nur noch so viel an Gewicht verliert, dass sein Gewicht mit dem des oberen, freien Theiles gleich dem Gewicht des verdrängten Wassers ist, so dass er also in dieser Stellung im Gleichgewicht bleibt.

Taucht man einen Körper unter eine schwerere Flüssigkeit, so ist der Druck, welchen er von unten erleidet, der Schwerkraft entgegengesetzt und parallel. Die Resultirende aller einzelnen auf seine kleinsten Theile wirkenden Kräfte wird demnach genau so gefunden, wie wenn die Schwerkraft ungestört auf ihn wirkte: sie geht also durch den Schwerpunkt der *verdrängten Wassermasse*. Ist der Körper homogen, so fällt

sein Schwerpunkt mit diesem zusammen; ist er aber von ungleichförmiger Beschaffenheit, so geht die Resultirende des Druckes von unten durch den Schwerpunkt der verdrängten Wassermasse und die des Druckes von oben durch den des Körpers; alsdann muss so lange eine Drehung erfolgen, bis beide Kräfte in eine Linie fallen, d. h. bis beide Schwerpunkte in eine Verticale kommen, und zwar muss, wenn das Gleichgewicht stabil sein soll, der Schwerpunkt des Körpers zu unterst liegen, weil dieser allein beweglich ist. Es ist indessen zu bemerken, dass auch in anderen Stellungen des *theilweise* eingetauchten Körpers Gleichgewicht stattfinden kann, wenn der während erfolgter Drehung eintauchende Theil desselben von anderer Gestalt ist, wodurch dann auch der Schwerpunkt des verdrängten Wassers bei verschiedenen Stellungen seine Lage wechselt. Bei ganz untergetauchten Körpern kann jedoch das Gleichgewicht nur in *einer* Stellung stattfinden.

Wenn ein Körper schwimmt, so kann man aus dem Volumen des untergetauchten Theiles das Gewicht des ganzen Körpers berechnen, denn dieses ist gleich dem Gewichte der Flüssigkeitsmasse, an deren Stelle der untergetauchte Theil getreten ist. Das Schwimmen schwerer Körper, wie Eisen oder Metalle, wenn sie in hohle Gestalten geformt sind, beruht auf dem Umstande, dass der Gewichtsverlust der ganzen Masse der gleiche bleibt, ob sie hohl oder massiv sei, und dass derselbe, weil die Luft in hohlen Räumen durch ihr Gewicht nicht in Betracht kommt, allein der schweren Umhüllung zu Gute kommt. Die Ursache, weshalb bei leeren oder mit leichten Waaren belasteten Schiffen die Versorgung mit Ballast nothwendig ist, liegt darin, dass, wie oben gezeigt, der Schwerpunkt des Körpers *unter* den der verdrängten Wassermasse kommen muss und dass das Gleichgewicht um so stabiler ist, je tiefer er darunter liegt, indem alsdann die Abweichungen der Verbindungslinie beider Schwerpunkte von der Verticalen bei Schwankungen u. s. w. am kleinsten bleiben.

§ 54. Das archimedische Princip kann man durch folgende

Versuche anschaulich machen, wenngleich eine grosse Genauigkeit nur mit besonders angefertigten Instrumenten erreichbar ist.

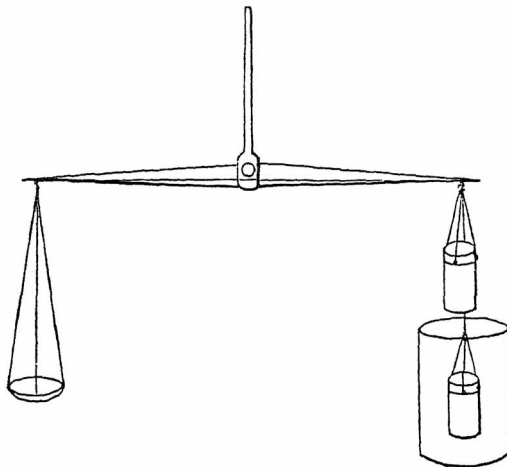
Die oben § 39 angegebene Wage lege man mit der Achse über zwei Gläser und hänge an das eine Ende mittelst eines sehr feinen Seidenfadens ein Stückchen Draht oder eine Kugel auf; dann bringe man die Wage durch ein aufgehängtes schwereres Gewichtchen in's Gleichgewicht, indem man dessen Aufhängepunkt so lange an dem anderen Wagebalken verschiebt, bis die Wage zur Ruhe kommt. Hierauf tauche man das aufgehängte Metallstückchen in ein Glas Wasser so, dass es frei darin hängt; man wird sofort bemerken, dass dieser Theil der Wage in die Höhe geht, mithin das Gewicht geringer geworden ist.

2. Die in § 17 angegebenen genau geschnittenen Würfel eignen sich sehr vortreflich zu einem genaueren Versuch; man bestimme mittelst einer kleinen Wage genau ihr Gewicht; berechne hierauf ihr Volumen und wäge sie alsdann nochmals in Wasser. Dieses geschieht, indem man sie, ohne die Wagschale zu entfernen, *unter* derselben mit einem feinen Faden aufhängt und in einem Glase unter Wasser tauchen lässt. Der Gewichtsunterschied wird dem Gewichte ihres Volumens Wasser entsprechen; betrug z. B. das Volumen der Würfel gerade 1 Kubikzoll, so findet man für *jeden* einen Verlust von 1% Loth.

3. Man suche sich zwei Glasröhren zu verschaffen, welche so weit sind, dass die eine genau in die andere passt. Kann man unter einer grösseren Menge auswählen, so ist es leicht, sie so zu treffen, dass die

engere ganz glatt an die Wandung der weiten anschließt und sich nur mit einiger Mühe durchziehen lässt. Auf die Glasdicke kommt es dabei nicht an. Von beiden schneide man zwei genau gleiche 1—2" lange Stücke ab und verschliesse jede an einem Ende mit einem aufgeklebten Stückchen Pergament oder Leder so dicht, dass auch nach längerem Stehen der leeren Röhre im Wasser dieselben trocken bleiben. Hierauf bringt man mittelst einer scharfen Feile dicht unter dem oberen Rande einen runden Strich um die Röhre an, um sie mittelst eines feinen Fadens, den man mit drei Schlingen versehen hat, daran aufhängen zu können. Dann fülle man die engere Röhre mit Sand an und hänge sie beide, die mit Sand gefüllte zu unterst, an die Stelle der einen Wagschale der Wage und bringe sie durch Gewichte in's Gleichgewicht (Fig. 28).

Fig. 28.



Hierauf stelle man ein Glas Wasser darunter und lasse die untere, volle Glasröhre in das Wasser eintauchen; alsbald wird das Gewicht geringer werden und die Schale mit Gewichten sinken. Dann giesse man die leere Röhre, welche gerade das Volumen der gefüllten enthält, voll Wasser, so wird das Gleichgewicht — so weit es solche Apparate zulassen — wieder hergestellt sein. Kann man das Volumen der Glasröhre, was wegen der regelmässigen Gestalt leicht ist, ausmessen, so kann man auch hiernach das Gewicht des verdrängten Wassers berechnen und durch Hinwegnahme desselben in der Schale das Gleichgewicht herstellen.

Dieser Versuch kann auch zeigen, dass alle Körper gleichviel an Gewicht verlieren; denn man kann die Röhre füllen womit man will, auch bloss mit Luft erfüllt lassen (wobei man aber des Untertauchens wegen ein paar Schrotkörner hineinlegen muss), der Gewichtsverlust wird stets durch dieselbe Menge Wasser ausgeglichen.

§ 55. Es ist klar, dass es unter Anwendung des archimedischen Princip's sehr einfach sein muss, das specifische Gewicht der verschiedenen festen Körper zu bestimmen. Es gehört dazu ja nach dem früher Gesagten nur die genaue Ermittlung des Gewichtes irgend eines Raumes derselben und des gleichen Raumes Wasser. Man erhält beide durch die *hydrostatische Wage*, ein Instrument, welches sich von der

gewöhnlichen Wage nur dadurch unterscheidet, dass die eine Wagschale etwas kürzer aufgehängt ist als die andere, so dass man die Körper sowohl in derselben wägen, als unter derselben aufhängen kann, um sie in Wasser eintauchen zu lassen; der Gewichtsverlust gibt das Gewicht des gleichen Volumens Wasser und diese Zahl in das Gewicht dividirt (§ 14) das specifische Gewicht. Wir lassen hier die specifischen Gewichte einiger Flüssigkeiten folgen.

Aether	= 0,7119	Olivenöl	= 0,919
Alkohol	= 0,7923	Quecksilber	= 13,55
Ammoniak	= 0,875	Schwefelsäure	= 1,845
Chloräther	= 0,874	Milch	= 1,02—1,04
Eiweiss	= 1,041	Perubalsam	= 1,14
Rüböl	= 0,9136	Brom	= 2,96
Leberthran	= 0,945		

Hat man eine Wage, welche mit einiger Genauigkeit zu wägen erlaubt, so ist es sehr rathsam, einige

Versuche in der Anstellung dieser Ermittlungen zu machen. Zu dem Ende lasse man an der unteren Seite der einen Wagschale ein kleines Häkchen zur Aufhängung der unterzutauchenden Körper anbringen, hänge diese Schale dann mittelst kurzer Fäden auf und bringe die Wage durch irgend ein Ausgleichgewicht in's Gleichgewicht. Die weitere Operation ergibt sich aus dem Vorhergehenden von selbst. Zur Controlirung der erhaltenen Resultate lassen wir hier eine kleine Tafel der specifischen Gewichte folgen.

Blei	= 11,445	Kork	= 0,240
Diamant	= 3,55	Kupfer	= 8,98
Eis	= 0,918	Marmor	= 2,37
Eisen, geschmiedet	= 7,788	Messing	= 8,440
„ gegossen	= 7,207	Platin	= 21,7
Glas	= 2,732	Stahl	= 7,795
Flintglas	= 3,442	Zink	= 7,213
Gold	= 19,26	„ gehämmert	= 7,861
Holz, Ahorn	= 0,760	Zinn	= 7,291
„ Buchen	= 0,724	„ gewalzt	= 7,475
„ Tannen	= 0,498		

Zur Vervollständigung dieser Angaben, sowie zu anderweitigem Nachschlagen empfehlen wir *Schubarth's* Sammlung physikalischer Tabellen (Berlin bei Rucker und Püchler).

§ 56. *Aufgabe 1.* Eine Bleikugel wiegt in der Luft 8 Pfund, wie viel wiegt sie, wenn man sie während des Wägens in Wasser einsenkt?

Antwort. 7,302 Pfund.

Aufgabe 2. Ein Mann kann einen Stein von 27 Kubikdecim. und 2,5 specif. Gew. im Wasser heben, aber keinen Theil über die Oberfläche hervorbringen; wie viel Kilogramm kann er ausserhalb des Wassers heben?

Antwort. 40,5 Kilogramm.

Aufgabe 3. Ein schwimmender Körper hat ein Volumen von 64 Kubikcentim. und ist beim Schwimmen zu $\frac{1}{4}$ in Wasser getaucht; wie viel wiegt der Körper?

Auflösung. Eingetauchter Theil = 16 K. C. C.; Gewichtsverlust desselben 16 Gramm; Gewicht des Körpers 16 Gramm.

Aufgabe 4. Ein homogener Körper von 6 Zoll Länge, 4 Zoll Breite und 3 Zoll Höhe und $1\frac{1}{2}$ Pfund Gewicht liegt mit seiner breiten Seite auf Wasser; wie tief sinkt er ein?

Auflösung. $24. x. 1\% = 48; x = 1\frac{1}{11}$ Zoll.

Aufgabe 5. Welches ist der nach aufwärts gerichtete Druck, welchen ein Stück Holz von 0,6 specif. Gew. und 3 Kubikfuss Inhalt im Wasser erleidet?

Antwort. 79,2 Pfund.

Aufgabe 6. Wie schwer muss das Korkstück sein, welches bei einem specif. Gew. von 0,24 einen Menschen von 130 Pfd., bei einem specif. Gew. von 1,1, im Wasser tragen kann?

Auflösung. Volumen des Menschen = 1,791 Kubikfuss; Gewicht desselben im Wasser = 11,794 Pfd.; Gewicht eines Kubikfusses Kork = 15,84 Pfd.; Tragkraft desselben 50,16 Pfd. Hieraus folgt leicht das Volumen des erforderlichen Korkes und dessen Gewicht mit 3,722 Pfd.

Aufgabe 7. Das Gewicht eines Stückes Blei würde zu 8 Gramm, sein Gewichtsverlust im Wasser zu 0,767 Gramm gefunden; wie hoch berechnet sich hieraus das specifische Gewicht des Bleies?

Antwort. 11,5.

§ 57. Mittelst der hydrostatischen Wage kann man nach derselben Weise, wie man das specifische Gewicht fester Körper ermittelt, auch das der Flüssigkeiten finden. Wenn man nämlich den Gewichtsverlust irgend eines festen Körpers bestimmt, welchen er in Wasser, und dann denjenigen, welchen er in der untersuchten Flüssigkeit erleidet, so sind beide Gewichte diejenigen gleicher Volumina beider Flüssigkeiten und ihr Verhältniss also das gesuchte specifische Gewicht.

Ist der feste Körper, dessen specifisches Gewicht verlangt wird, leichter als Wasser, so bringt man ihn mittelst eines daran gefügten schwereren, dessen absolutes und specifisches Gewicht bekannt ist, zum Untersinken; aus dem erhaltenen Gewichtsverlust und dem leicht zu berechnenden des angehängten Körpers erhält man dann denjenigen, welcher auf Rechnung des leichteren kommt.

Ein paar Beispiele mögen dieses erläutern.

Aufgabe 1. Ein Stück Eisen wog 21,17 Gramm, erlitt beim Wägen in Wasser einen Gewichtsverlust von 2,75 Gramm; in Terpentinöl einen solchen von 2,17 Gramm; wie gross ist das specif. Gew. des letzteren?

Antwort. 0,79.

Aufgabe 2. Ein Stück Holzkohle wiegt in der Luft 8 Loth. Man hängt daran ein Stück Blei von demselben Gewicht; beide wiegen unter Wasser noch 10,905 Loth; wie hoch findet man hiernach das specifische Gewicht des Tannenholzes?

Antwort. 0,55.

Ist der Körper in Wasser auflöslich, so verfährt man ähnlich, wie schon oben (§ 19) angegeben wurde, z. B.

Ein Stück Steinsalz wiege in freier Luft 20 Gramm, und in Oel von 0,919 specif. Gew. 12,345 Gramm; man findet hieraus das Gewicht des gleichen Volumens Oel mit 7,655 Gramm, woraus dasjenige des gleichen Volumens Wasser zu 8,33 folgt. Hieraus ergibt sich das specif. Gew. des Steinsalzes zu 2,4.

Auch zur Bestimmung des Volumens eines Körpers kann die Ermittlung des specifischen Gewichtes dienen. Man habe z. B. den Gewichtsverlust irgend eines Körpers beim Wägen unter Wasser zu 23,4 Gramm gefunden, so folgt daraus, dass sein gleiches Volumen Wasser 23,4 Gramm wiegt; da aber ein Kubikcentimeter Wasser 1 Gramm wiegt, so ist das Volumen des verdrängten Wassers und mithin das des fraglichen Körpers 23,4 Kubikcentimeter. Ebenso kann man durch Abwägen nach dem Füllen mit Flüssigkeiten von bekanntem specifischem Gewicht den Rauminhalt von Gefässen bestimmen.

Aufgabe 7. Ein Steinchen, dessen Volumen man kennen lernen will, wiege in der Luft 0,923 Loth, im Wasser 0,554 Loth; wie gross ist sein Volumen?

Antwort. 0,303 Kubikzoll.

§ 58. Ausser der hydrostatischen Wage dienen auch *Aräometer* zur Bestimmung der specifischen Gewichte fester und flüssiger Körper. Für erstere bedient man sich des *Nicholson'schen Aräometers* (Fig. 29).

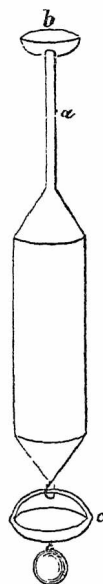
Dasselbe besteht aus einem hohlen Metallkörper, der durch schwere Körper in seinem unteren Theile so belastet ist, dass er im Wasser aufrecht schwimmt und bis zum Zeichen a einsinkt, wenn man eine bestimmte Menge Gewichte auf die obere Schale b legt. Das absolute Gewicht des zu untersuchenden Körpers ergibt sich, wenn man denselben auf die Schale b legt und um so viel Gewichte an seiner Stelle wegnimmt, bis das Instrument ebenfalls bis a einsinkt. Den Gewichtsverlust im Wasser erhält man, indem man den Körper in das Eimerchen c (oder bei leichteren Körpern unter dasselbe) bringt und so lange Gewichte zulegt, bis das Instrument wie früher einsinkt.

Besteht das Aräometer aus Glas und ist sein eigenes Gewicht genau bekannt, so kann man es auch zur Bestimmung des specifischen Gewichtes von Flüssigkeiten benutzen. Wenn man es z. B. erst in destillirtes Wasser taucht und so lange Gewichte auflegt, bis es zum Zeichen a einsinkt, so ist dieses Gewicht plus seinem eignen Gewicht sein Gewichtsverlust im Wasser; wiederholt man den Versuch für eine andere Flüssigkeit, so erhält man den Gewichtsverlust für diese, mithin durch Vergleich beider Gewichte der gleichen Volumina das specifische Gewicht der letzteren.

Zu Ermittlungen, bei denen es mehr auf Schnelligkeit als auf grosse Genauigkeit ankommt, wendet man indessen Aräometer an, welche anders construirt sind.

Versuch. Eine etwas weite Glasröhre erhitze man in der Lampe zum Schmelzen, ziehe sie zu einer Spitze aus und schmelze diese zu. Dann bringe man in die Röhre etwas feinen Schrot oder schweren Sand, bis sie im Wasser aufrecht schwimmt und bis zu einer gewissen Stelle eintaucht. Nun tauche man sie in eine andere Flüssigkeit, z. B. in Spiritus; man wird finden, dass sie in diesem tiefer einsinkt; in Schwefelsäure wird sie weniger tief einsinken u. s. w. Je schwerer nämlich eine Flüssigkeit ist, desto weniger braucht davon verdrängt zu werden, um das Instrument so viel leichter zu machen, dass es sein Gewicht trägt und umgekehrt.

Fig. 29.



Ist die Röhre sehr genau cylindrisch, so stehen die specifischen Gewichte der verschiedenen Flüssigkeiten im Verhältniss zur Tiefe, bis zu welcher sie einsinkt.

Die gebräuchlichsten Aräometer sind nach diesem Princip construirt, haben jedoch eine andere Gestalt. Sie bestehen nämlich aus zwei hohlen Glascylindern oder Kugeln, deren eine nur Luft enthält und das Instrument zum Schwimmen bringt, während die andere unten so beschwert ist (meist durch Quecksilber), dass der Schwerpunkt möglichst tief zu liegen kommt und das Instrument *senkrecht* schwimmt. Ein dünner Cylinder bildet den obersten verlängerten Theil des Aräometers und sinkt in verschiedenen Flüssigkeiten verschieden tief ein. Wenn man nun einige Grenzpunkte bestimmt, so ist es leicht, die Scala so zu construiren, dass sie unmittelbar die specifischen Gewichte angibt. Die Empfindlichkeit und also die Genauigkeit eines solchen Aräometers ist um so grösser, je grösser der Unterschied des einsinkenden Volumens sein muss, also je enger die Scalenröhre im Vergleich zum ganzen Volumen des Instrumentes ist. Um die unbequeme Länge zu vermeiden, welche hieraus für ein Aräometer für sehr verschiedene Flüssigkeiten erwachsen würde, stellt man eine grössere Anzahl von verschiedener Schwere, jedes nur für bestimmte Grenzen des specifischen Gewichtes her.

Diese Art von Aräometern ist die von *Gay-Lussac* angegebene und nach ihm benannte. Für eine Anzahl von Fällen, wo der Gehalt gewisser Flüssigkeiten an bestimmten Körpern mit ihrem specifischen Gewichte zusammenhängt, hat man eigene Aräometer construirt, welche statt des specifischen Gewichtes gleich den Gehalt auf ihrer Scala bemerkt tragen, und welche in diesen speciellen Fällen gute Dienste leisten. So hat man Alkoholometer, Sacharimeter u. s. w. Da aber das specifische Gewicht nicht immer in demselben Verhältniss wechselt wie der Gehalt der Flüssigkeiten, müssen *mehrere* Punkte der Scala durch directe Versuche bestimmt werden; die übrigen trägt man dann nach dem Verhältniss ein. Das *Gay-Lussac*'sche Instrument reicht indessen selbstredend für *alle* Fälle aus, indem das specifische Gewicht, genau ermittelt, stets den Schluss auf den entsprechenden Gehalt erlaubt. Um die jedesmalige Berechnung zu umgehen, hat man zu den einzelnen Lösungen Tabellen construirt, welche für die gefundenen specifischen Gewichte den jedesmaligen Gehalt angeben.

Bei den Alkoholometern unterscheidet man solche, welche den Alkoholgehalt nach dem Volumen (*° Tralles*) und solche, welche ihn nach dem Gewichte (*° nach Richter* u. A.) angeben, und endlich solche, welche nur „Grade“ anzeigen, die nicht unmittelbar mit dem Gehalt übereinstimmen, sondern ebenso wie die Aräometer mit willkürlicher Scala (*Beaumé*, *Cartier* u. A.) nur zum Vergleiche zwischen *gleichartigen* Flüssigkeiten von verschiedenem Gehalte angewandt werden können.

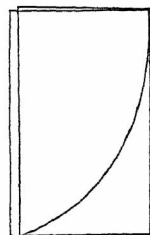
Da, wie wir später sehen werden, das Gewicht gleicher Volumina derselben Flüssigkeit bei verschiedenen Wärmegraden verschieden ist, so gelten alle Bestimmungen des specifischen Gewichtes, sowie daraus abgeleitete Schlüsse auf den Gehalt derselben nur für einen bestimmten Wärmegrad. Bei den verschiedenen Flüssigkeiten müssen für die vorkommenden Temperaturabweichungen bestimmte Abänderungen in den Resultaten (Correctionen) vorgenommen werden, welche man für die am häufigsten vorkommenden Fälle durch genaue Versuche ermittelt und in Tabellen zusammengestellt hat, wonach man sich in den einzelnen Fällen zu richten pflegt.

§ 59. *Versuch 1.* Man verschaffe sich eine Anzahl Glasröhren von verschiedener Weite, benetze sie mit Wasser, indem man sie völlig darin untertaucht, und stelle sie alsdann in ein Glas, worin sich Wasser befindet, das mittelst einer Lösung von Indigo und Schwefelsäure dunkelblau gefärbt ist. Man wird sofort bemerken, dass die Flüssigkeit in den Röhren in die Höhe steigt und, den Gesetzen der communicirenden Röhren entgegen, höher darin steht als in dem umgebenden Glase. Ordnet man die Röhren in eine Reihe je nach der Höhe, welche das Wasser darin erreicht, so wird man sich überzeugen, dass diese von der Weite der Röhren abhängt und bei den engsten Röhren am grössten ist. Dieses Aufsteigen der Flüssigkeit im Inneren enger Röhren rührt von der Anziehung der Wandungen auf dieselbe her und ist natürlich dann am hervortretendsten, wenn die Masse der Wandung im Vergleich zur emporzuhebenden Flüssigkeit am grössten ist, d. h. um so bedeutender, je näher die Wandungen an einander stossen, oder je geringer die Durchmesser der Röhren sind. Weil die engsten Röhren mit den Haaren Aehnlichkeit haben, hat man diesen eigenthümlichen Fall der Anziehung *Haarröhrchenanziehung* oder *Capillarität* genannt.

Andere Flüssigkeiten werden weniger hoch emporgezogen, einige, wie Quecksilber, sogar herabgedrückt; sie stehen in der Röhre tiefer; solche Flüssigkeiten *benetzen* das Glas *nicht*, es findet eher eine Abstossung als eine Anziehung statt.

Versuch 2. Man lasse sich zwei rechtwinkelige und möglichst ebene Glasstücke schneiden, lege an der einen ihrer langen Seiten ein schmales und dünnes Messing- oder Eisenblech zwischen beide und binde sie mit einem gewichsten Bindfaden fest auf einander. Sie werden dann, wenn man sie auf die schmale Kante stellt, an der einen Seite dicht an einander schliessen, nach der anderen hin aber einen bis zur Dicke des Blechs wachsenden Abstand besitzen. Benetzt man nun diese Platten durch Eintauchen in Wasser und stellt man sie aufrecht in die blaue Flüssigkeit, so wird diese an der schmalsten Stelle des Zwischenraumes am höchsten, an der weiteren am niedrigsten stehen und ihre Oberfläche dann bei völliger Reinheit und Gleichheit des Glases eine regelmässige (hyperbolische) Linie zeigen, wovon Fig. 30 eine Vorstellung geben soll.

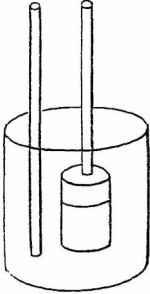
Fig. 30.



Versuch 3. Man halte in eine mit Wasser gefüllte Röhre, etwa eine Reagenzröhre, eine andere einige Linien engere Röhre. Wenn die innere Röhre concentrisch mit der äusseren ist, so wird eine gleichförmige Erhebung des Wasserringes stattfinden; zugleich aber wirkt auch die innere Röhre für sich in derselben Weise; je nachdem der Radius derselben grösser oder kleiner als die Breite des ringförmigen Raumes ist, wird die innere Erhebung grösser oder kleiner als die äussere sein. Nähert man nun die innere Röhre der Wandung der äusseren, so steigt das Wasser mit der Verengerung des Zwischenraumes an der einen Seite mehr und mehr und es bildet endlich seine Oberfläche eine regelmässige doppelt gekrümmte Linie.

Versuch 4. Man stelle in ein Gefäss mit der blauen Flüssigkeit eine sehr enge Röhre — ein Stück Thermometerröhre — und daneben ein Stück derselben Röhre, welche mit ihrem unteren Ende mittelst eines Korkes in eine weitere Röhre gesteckt worden (Fig. 31 f. S.) Sind beide Röhren durch Untertauchen benetzt worden, so wird man bemerken, dass in beiden die Flüssigkeit gleich hoch stehen bleibt, zum Beweise,

Fig. 31.



dass die Höhe der gehobenen Säule nur von dem Durchmesser der Säule an der Stelle abhängt, welche dieselbe begrenzt.

Durch die *Haarröhrchenanziehung* sind eine Menge von Erscheinungen bedingt, welche man im täglichen Leben beobachtet; das Aufsaugen des Wassers durch Löschpapier, Schwämme, Dochte, Tücher, das Haftenbleiben der Tinte in der Feder, das Aufsaugen des Wassers in der Erde aus tiefer liegenden Behältern, das Benetzen von Stricken, die nur mit einem Ende im Wasser eingetaucht sind u. s. w. Es ist indessen zu bemerken, dass ein Uebersteigen der Flüssigkeiten nicht durch Capillarität bewirkt wird, indem wir ja gesehen haben, dass nur die oberhalb derselben befindliche Wand das

Emporsteigen bewirkt. Wenn man z. B. einen Haufen Sand in eine Schüssel mit Wasser bringt, so wird zwar der ganze Haufe feucht, indem die feinen Zwischenräume der Sandkörner als Haarröhrchen wirken; wenn man aber eine Vertiefung in dem oberen Theil des Sandes anbringt, so sammelt sich hier *kein Wasser*, obwohl die Stelle tiefer als das umstehende *aufgesaugte* Wasser ist. Erst wenn die Vertiefung unter die Oberfläche des unteren freien Wassers kommt, sammelt sich dies nach dem Gesetze der communicirenden Röhren zu gleicher Höhe darin an.

§ 60. So wie die Haarröhrchenanziehung, so ist auch die Gestalt der Oberfläche der Flüssigkeiten unter verschiedenen Umständen eine *Oberflächenwirkung*, eine Folge der Anziehung der Stoffe, und man könnte also die hierher gehörigen Erscheinungen eben so gut den Adhäsionserscheinungen zuzählen.

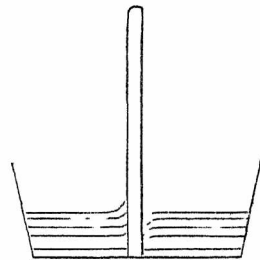
Die Formveränderung der Oberfläche einer Flüssigkeit ist bei den vorhin angegebenen Versuchen leicht zu beobachten: es zeigt sich in allen Fällen eine Krümmung derselben an der Berührungsstelle, und zwar ist die Flüssigkeit hohl oder concav gekrümmt, wenn sie die Gefäßwand benetzt, sie ist erhaben oder convex gekrümmt, wenn dies nicht der Fall ist.

Versuch 1. Man tauche eine Glasplatte in Wasser, nachdem man die eine Seite durch Ueberstreichen mit einem fetten Läppchen mit einer dünnen Schichte Oel überzogen, die andere aber mit Weingeist abgewaschen und dann mit Wasser benetzt hat. Die Oberfläche des Wassers wird auf beiden Seiten verschieden gekrümmt erscheinen (Fig. 32).

Versuch 2. Man bringe zwei Korkkugeln oder zwei hohle Glaskugeln, welche mit Wasser benetzt worden, in einiger Entfernung von einander auf eine Wasserfläche; es wird sich keinerlei Wirkung zeigen. Nähert man sie einander, so veranlasst die Krümmung der Wasserfläche eine gegenseitige Anziehung. Dasselbe bemerkt man, wenn benetzte Krümmchen oder Brotkugelchen auf der Oberfläche einer in einer Tasse befindlichen Flüssigkeit schwimmen und in die Nähe der Krümmung am Rande der Tasse gerathen, wo sie lebhaft angezogen werden.

Versuch 3. Man ziehe eine Nähnadel einige Male durch die Finger und lege sie dann, etwa mittelst einer Gabel, vorsichtig auf's Wasser; sie wird auf der Oberfläche liegen bleiben und nicht einsinken; dagegen

Fig. 32.



zeigt das Wasser zu beiden Seiten eine Depression, weil die Nadel fettig geworden und nicht mehr benetzt wird. Dadurch befindet sich eine Luftschicht um die Nadel, mit welcher zusammen sie leichter als das Wasser ist, weshalb sie nicht untersinkt. Wäscht man dagegen die Nadel mit Spiritus ab, oder reibt man sie mit einem Tuche völlig rein, so gelingt es nicht, sie zum Schwimmen zu bringen, weil nun in Folge der Benetzung der *reinen* Oberfläche kein hohler Raum um sie gebildet wird.

§ 61. Von der Benetzung und Nichtbenetzung gewisser poröser Stoffe durch Flüssigkeiten oder von dem Aufsaugungsvermögen der einen für die anderen hängt auch die Erscheinung der *Endosmose* ab.

Versuch. Um ein cylindrisches Gefäß, welches an beiden Enden offen und wo möglich an dem einen etwas enger ist, ¹⁾ lege man (an der weiteren Seite) ein schmales Streifchen erhitzte Guttapercha dicht an und überfahre dasselbe dicht am Glase mit einem heissen Eisen, damit es nach dem Erkalten einen festen Wulst am Rande bilde, welcher dazu dient, nach dem völligen Erkalten eine befeuchtete Thierblase gespannt über die somit mit einem vorspringenden Rande versehene Oeffnung befestigen zu können.

Hierauf stecke man mittelst eines passenden Korkes eine nicht zu enge Glasröhre in die andere Oeffnung des Glases, dichte diese, wenn nöthig, durch Aufschmelzen von etwas Guttapercha und befestige die ganze Vorrichtung mittelst eines Drahtes in und über einem grösseren Glase (Fig. 33). Hierauf fülle man in das innere Glas eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol, in das äussere reines Wasser so, dass beide Flüssigkeiten gleich hoch stehen.

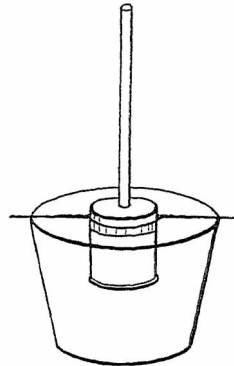
Nach einiger Zeit wird man bemerken, dass die innere Flüssigkeit sehr an Volumen zugenommen hat, was man an ihrem Steigen in der engen Röhre beobachten kann.

Dies rührt nicht von der Capillarwirkung der engeren Röhre her, was sich leicht durch Umkehrung des Versuches zeigen lässt, indem man die Kupfervitriollösung in die äussere und das Wasser in die innere Röhre bringt und wo alsdann ebenfalls die Niveauerhöhung bei der Kupfervitriollösung stattfindet. Die Erklärung der Erscheinung ist vielmehr die, dass die thierische Blase mehr von dem Wasser aufzunehmen vermag, als von der Salzlösung und daher fortwährend von dieser abgibt, um von jenem aufzunehmen, was so lange fort dauert, bis die Concentration der Lösung, welche mit der Blase in Berührung steht, nicht mehr erheblich ist.

Für viele Salzlösungen gilt Aehnliches; auch Weingeist verhält sich ebenso. Absoluter Weingeist benetzt die Blase gar nicht und es nimmt daher die Blase, zwischen diesem und reinem Wasser, letzteres sehr rasch auf, um es an den Weingeist wieder schnell abzugeben.

Die Erscheinungen der Endosmose zeigen sich nicht allein bei der thierischen Blase, sondern auch noch bei manchen anderen porösen Körpern, die als Zwischenwand dienen. Sie können in mehreren Fällen zur Erklärung von Säftebewegungen benutzt werden.

Fig. 33.



¹⁾ Wer im Glassprengen geübt ist, wird von irgend einer Flasche den Boden glatt absprengen.

§ 62. Die *Gesetze der Bewegungen* von Flüssigkeiten in möglichst einfacher und bündiger Fassung zu geben, hält aus dem Grunde schwer, weil mancherlei Umstände modificirend auf die Erscheinungen einwirken und diese daher in theoretischer Reinheit nie auftreten und deshalb auch nicht einmal annähernd beobachtet werden können. Ausserdem gehören zur Ableitung und Erklärung der verschiedenen hierher gehörigen That-sachen längere mathematische Entwicklungen.

Als Grundgesetz gilt das *Toricellische Theorem*: Wenn eine Flüssigkeit aus einer Seitenöffnung in einem gefüllten, oben offenen Gefässe ausströmt, so ist die Ausflussgeschwindigkeit eben so gross, wie die Geschwindigkeit, welche ein frei fallender Körper erlangen würde, wenn er vom Spiegel der Flüssigkeit bis zur Ausflussöffnung herabfiel.

Aus diesem Gesetze, welches sich durch ziemlich einfache, rein mathematische Schlüsse aus den allgemeinen Gesetzen über die beschleunigte Bewegung ableiten lässt, folgen unmittelbar folgende Sätze:

Die Ausflussgeschwindigkeit ist nur von der Tiefe der Ausflussöffnung unter der Oberfläche, aber *nicht* von der Natur der Flüssigkeit abhängig. Quecksilber hat dieselbe Geschwindigkeit wie Wasser, obwohl der Druck, durch den es bewegt ist, 13,6 mal so gross ist; denn es ist dagegen auch die zu bewegende Masse 13,6 mal so gross.

Die Ausflussgeschwindigkeiten verhalten sich wie die Quadratwurzeln der Druckhöhen. Wenn z. B. unter sonst gleichen Umständen eine Oeffnung 100 mal so tief unter der Oberfläche liegt, wie eine andere, so ist die Ausflussgeschwindigkeit aus ersterer 10 mal so gross, wie die aus letzterer.

Es ist jedoch zu bemerken, dass das ganze Gesetz und mithin auch diese Folgesätze nur für die Fälle gelten, *wo die Oeffnung im Vergleich zu den Dimensionen des Gefässes klein ist*.

Es folgt aus dem Gesetze ferner:

Wenn bei sonst gleich bleibenden Umständen die Flüssigkeit ohne Zufluss abfließt, so nimmt die Ausflussgeschwindigkeit ab in dem Maasse, als die Druckhöhe sich vermindert. Wenn man eine constante Ausflussgeschwindigkeit erzielen will, so hat man entweder dieselbe Menge oben zufließen zu lassen, welche unten abfließt, oder auf irgend eine andere Art wenigstens die drückende Höhe constant zu erhalten, was auf verschiedene Weise geschehen kann, wie wir später sehen werden.

§ 63. Da beim Ausfliessen aus einer Seitenöffnung die Druckhöhe allein auf die Geschwindigkeit von Einfluss ist, so ist klar, dass nicht alle Wassertheilchen des Strahles gleiche Geschwindigkeit haben können, da die Druckhöhe nur für einen horizontalen Querschnitt dieselbe ist. Man nimmt daher eine mittlere Geschwindigkeit an, welche das Wasser haben müsste, wenn dieselbe Menge ausfliessen sollte.

Auch bei Oeffnungen am Boden stellen sich Hindernisse in der Geschwindigkeit ein, indem die Wassertheilchen am Rande ihre Adhäsion zu überwinden haben und ausserdem in ihrer Bewegung nach der Mitte zu die mittleren Theilchen stören. Wenn nun schon diese Umstände auf eine Zusammenziehung des Wasserstrahls hinwirken, so tritt auch noch die Thatsache hinzu, dass nach dem Ausfluss die Fallgeschwindigkeit wegen der Beschleunigung jeder Fallbewegung wächst und mithin ein Losrennen der weiter unterhalb befindlichen Wassertheilchen erfolgen muss; dies kann nur durch eine Verengerung des Strahls und endlich sogar durch ein Losreissen einzelner Theile oder ein Vertheilen in Tropfen ermöglicht werden.

Die Grösse der Zusammenziehung des Strahls ist derart, dass der Querschnitt desselben bei einer Entfernung von der Ausflussmündung, welche dem Durchmesser derselben gleich ist, nur noch 0,62 bis 0,64 des ursprünglichen beträgt.

Dieser Umstand ist der Grund, weshalb die beobachtete *Ausflussmenge* mit der aus der Ausflussgeschwindigkeit und dem Querschnitte der Oeffnung berechneten nicht übereinstimmt; sie beträgt dann etwa 62 bis 64 %.

Bringt man am Boden des Gefässes eine konische Ausflussöffnung an, deren untere Oeffnung dem Querschnitt des zusammengezogenen Strahls entspricht, so ist die beobachtete Ausflussmenge derjenigen gleich, welche man aus der *unteren* Oeffnung berechnet.

Ein vertikaler Cylinder, dessen Länge den Durchmesser der Oeffnung zwei- bis dreimal übersteigt, erhöht den Ausflusscoefficienten von 0,64 auf 0,82. Bei quadratischen Oeffnungen bringt die Zusammenziehung des Strahls eine solche Veränderung in seiner Gestalt hervor, dass die Winkelspitzen des Strahls schraubenförmig um seine Achse gewunden erscheinen.

Bei genauer Beobachtung des unteren Theils der Ausflussstrahlen findet man, dass unterhalb des zusammenhängenden Theils sich abwechselnd breite und schmale Stellen zeigen, welche davon herrühren, dass die einzelnen Tropfen sich bald in die Breite, bald in die Länge ausdehnen. Die Gegenwart der Luft ist auf diese Erscheinung, welche sich bei gleicher Druckhöhe stets in derselben Ausdehnung zeigt, ohne Einfluss.

Wenn man an eine kurze, sich konisch verengernde Ausflussröhre eine andere ansetzt, welche sich nach aussen wieder erweitert, so kann sich unter günstigen Umständen die Ausflussmenge bis auf das $1\frac{1}{2}$ fache der theoretischen vermehren; dies rührt von der grösseren Geschwindigkeit des aus der weiteren Oeffnung ausfliessenden Wassers her, welches nach rückwärts eine Art Saugung bewirkt.

Macht man in die Seitenwand einer Ausflussröhre ein Loch, so übt der Strahl ebenfalls dieses Saugen aus, die einströmende Luft stört dann den Wasserstrahl so, dass er aufhört, continuirlich zu sein.

Die *Richtung*, welche ein seitwärts ausfliessender Strahl einschlägt, ist natürlich anfangs eine horizontale; durch die Anziehungskraft herabgezogen, ändert sich dieselbe aber endlich in eine nahezu verticale um; hierin folgt der Strahl dem Gesetze der Wurfbewegung und seine Form ist also die einer *Parabel*.

§ 64. Der Druck, welchen das Wasser nach allen Punkten der Seitenwände ausübt, ist überall derselbe und das Gefäss, wenn es frei aufgehängt ist, also im Gleichgewicht; der Druck, welchen das Wasser nach einem bestimmten Punkte ausübt, wird genau durch denjenigen aufgehoben, welchen es in entgegengesetzter Richtung auf den gegenüber liegenden ausübt. Macht man nun in einem Punkte eine Oeffnung, aus welcher das Wasser ausströmen kann, so kann hier auf die Seitenwand kein Druck ausgeübt werden und der Druck auf die entgegengesetzte Seite bleibt allein übrig. Daher wird beim seitlichen Ausfliessen des Wassers rückwärts ein der Richtung des Strahls entgegengesetzter Druck bewirkt, welcher bei einem frei aufgehängten Gefässe eine Abweichung von der verticalen Richtung veranlasst, bei einer um eine verticale Achse drehbaren Vorrichtung mit zweckmässigen Ansatzröhren und senkrecht auf die Radialen stehenden Oeffnungen eine Drehung her-

vorbringt, welche bei dem *Segner'schen* Wasserrade, sowie bei dem *Althans'schen* Reactionsrade als Triebkraft benutzt wird.

Auch bei der *Turbine* wirkt der Rückstoss des ausfliessenden Wassers als bewegende Kraft; das Wasser lässt man dabei aus zweckmässig gekrümmten Zwischenräumen zwischen schaufelartigen Verlängerungen des horizontalen Rades ausfliessen.

§ 65. Die Menge des Wassers, welches durch Röhrenleitungen fliesst, wird durch die Adhäsion desselben an die Wandungen sehr vermindert; unter gleichen Umständen fliesst mehr warmes als kaltes Wasser durch. Flüssigkeiten, welche nicht adhären, fließen bei *engen* Röhren so langsam durch, dass bei geringem Drucke Quecksilber z. B. ganz aufhört zu fließen.

Bei Springbrunnen, welche nach dem Gesetze der communicirenden Röhren eigentlich die Höhe der drückenden Wassersäule erreichen sollten, ist dieser Umstand nicht ohne Einfluss; er verändert die Springhöhe um so mehr, je kürzer die Leitungsröhre ist. Die Höhe des springenden Strahls lässt sich durch richtiges Verhältniss der Röhrenöffnung und durch die Maassregel etwas erhöhen, dass man die Ausflussöffnung in einer dünnen, die Röhre verschliessenden Platte anbringt. Jedoch ist die Reibung in der Röhre und an der Ausflusswandung, sowie der Widerstand der Luft und die Verzögerung durch die zurückfallenden Wassertheilchen nie zu beseitigen. In letzterer Beziehung muss ein Strahl, welcher um einen *sehr* geringen Winkel geneigt ist, höher springen, als ein genau senkrechter, weil die niederfallenden Tropfen nicht den steigenden Strahl treffen.

Die Wirkung, welche durch den *Stoss* des fließenden Wassers hervorgebracht wird, wächst mit der Menge der in einer Secunde zum Stosse kommenden Wassermasse und mit dem Quadrat seiner Geschwindigkeit. Sie geht zum Theil verloren, wenn der gestossene Körper selbst eine Bewegung in der Richtung des Stosses hat; sie wird vermehrt, wenn man die gestossene Fläche vermehrt. Bei Schiffmühlen und bei einigen einfachen Radconstructions in hohen Gebirgen zur Benutzung kleiner, hoch herabfallender Wassermengen wendet man den Stoss des Wassers als Triebkraft an; bei den gewöhnlichen Mühlrädern, besonders den oberflächtigen wird aber zugleich das *Gewicht* der Wassermenge zur Wirkung gebracht.

§ 66. *Aufgabe 1.* Das specifische Gewicht eines Diamanten soll aus folgendem Resultate des Versuches mit dem *Nicholson'schen* Aräometer bestimmt werden: Gewicht, welches nach Wegnahme des Diamanten zugelegt werden musste, um das Instrument bis zum selben Zeichen wie vorher einsinken zu lassen: 1,8 Gramm; Gewicht, welches nach Einlegung des Diamanten in's Schälchen eben dahin wirkte, 0,51 Gramm.

Antwort. 3,53.

Aufgabe 2. Wie hoch ist das specifische Gewicht eines Weingestes, in welchem ein *Nicholson'sches* Aräometer von 50 Gramm Gewicht mittelst 2,1 Gramm eben so tief einsinkt, wie in Wasser mittelst 10 Gramm Zusatzgewicht?

Antwort. 0,868.

Aufgabe 3. Ein *Gay-Lussac'sches* Aräometer ist so eingetheilt, dass es in reinem Wasser bis zu einem Theilstrich 100 einsinkt; wenn es nun seiner ganzen Länge nach in durchaus gleiche Volumentheile getheilt ist und diese von unten an gezählt werden, wie gross ist alsdann das speci-

fische Gewicht einer Flüssigkeit, in welcher es bis zu Theilstrich 130 einsinkt?

Auflösung. Da die Flüssigkeitsmengen, welche das Aräometer verdrängt, bei allen das gleiche Gewicht — nämlich das des Aräometers — haben, und sich ihre Volumina wie die Theile des Aräometers verhalten, so ergeben diese die Volumina der verschiedenen Flüssigkeiten, welche dasselbe Gewicht haben; ihre specifischen Gewichte verhalten sich *aber umgekehrt* wie diese Volumina oder wie die Theile; daraus folgt das verlangte specifische Gewicht als 0,769.

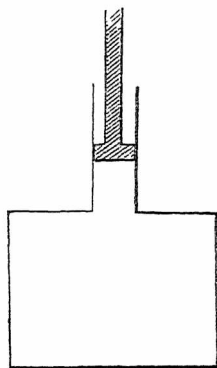
IV. Gleichgewicht und Bewegung elastisch-flüssiger Körper.

§ 67. Wenn ein nach allen Seiten geschlossenes Gefäß atmosphärische Luft oder irgend einen andern luftförmigen Körper enthält, und durch eine Oeffnung desselben ein dicht schliessender Kolben gedrückt wird (Fig. 34), so widersteht die Luft dem ausgeübten Drucke mit einer gewissen Kraft, welche man ihre *Spannkraft* oder *Expansivkraft* nennt. Sie ist dem ausgeübten Drucke gleich und wird in Folge der Beweglichkeit der Lufttheilchen, wie bei tropfbarflüssigen Körpern, nach allen Seiten fortgepflanzt. Es erleidet daher jedes gleich grosse Stück der Wandung einen gleichen Druck. So oft irgend ein Lufttheilchen einen Druck erleidet, äussert es eine entsprechende Spannkraft. Der Druck, welchen die Luftschichten an der Oberfläche der Erde auf die darunter befindlichen festen oder flüssigen Stoffe ausüben, ist daher bedingt von dem Druck, welchen sie selbst durch die auf ihnen ruhende Luftsäule erleiden. Dass dieser wirklich ein Gewicht zukommt, vermuthete man schon vor *Aristoteles*, bis die Thatsache durch *Galiläi* 1640 nachgewiesen und der Druck von *Toricelli* später gemessen wurde.

Um durch den directen Versuch die Schwere der Luft nachzuweisen, wägt man einen geschlossenen Glasballon, zuerst völlig leer, dann mit Luft gefüllt; der Unterschied ist das Gewicht der eingeschlossenen Luft. Man findet für einen Inhalt von 1 Liter einen Unterschied von etwas über 1 Gramm, d. h. von etwas mehr als $\frac{1}{1000}$ des Gewichts des Wassers (genau $\frac{1}{1200}$).

Wenn man den Ballon mit Luft aus verschiedenen Höhen über der Erdoberfläche anfüllte, so würde man das Gewicht desselben verschieden finden, zum Beweise, dass das Gewicht der Luft von der auf derselben lastenden Luftschicht oder von dem auf sie ausgeübten Druck abhängt. In der That breiten sich die Moleküle der Luft bei nachlassendem Druck sofort weiter aus, nehmen einen grösseren Raum ein und zerstreuen sich, wenn sie keinen Druck und mithin keinen Widerstand erfahren, voll-

Fig. 34.

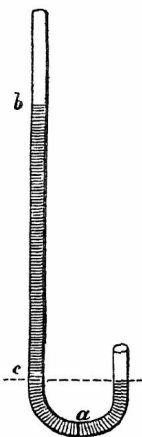


ständig so weit, bis sie irgend einem begrenzenden Raume oder einem anziehenden Körper begegnen. Wenn man z. B. eine abgeschlossene Quantität Luft in einen Raum bringt, aus welchem man alle übrige Luft derart entfernt, dass kein Druck von aussen nach dem inneren Raume fortgepflanzt werden kann, so übt die eingeschlossene Luft auf die Wandungen des einschliessenden Gefässes den ganzen Druck aus, unter welchem sie vor dem Absperren befindlich gewesen war, und wenn das Gefäss nicht stark genug ist, diesen Druck ohne äusseren Gegendruck auszuhalten, so wird es gesprengt.

Eine gewisse Menge einer Luftart kann nur unter einer Bedingung im Gleichgewicht sein, nämlich dann, wenn die Elasticität in einer und derselben horizontalen Schicht überall gleich ist. Bei grösseren Luftmassen sind, wie schon vorhin angegeben, die unteren Schichten die dichtesten; bei völliger Ruhe die Dichtigkeit in derselben Höhe gleich. Eine freie Oberfläche können die Gase nicht haben, weil sie sich, vermöge ihrer Repulsivkraft, nach allen Seiten ausbreiten würden. Danach scheint es, als ob die Atmosphäre ebenfalls unbegrenzt sein müsse; dies ist jedoch, wie wir später sehen werden, nicht der Fall, obwohl wir die Grenze mit Bestimmtheit anzugeben nicht im Stande sind.

Einen indirecten Beweis für das Vorhandensein und zugleich einen Maassstab für die Grösse des Luftdruckes und mithin der Schwere der Luft gibt auch folgender Versuch: Wenn man eine Glasröhre, die etwa 30 Zoll und darüber lang ist und welche vorher an einem Ende zugeschmolzen worden, mit Quecksilber füllt und darauf umkehrt und das offene Ende in ein Gefäss mit Quecksilber taucht, so fällt das Quecksilber nicht vollständig aus der Röhre, wie es der Fall sein müsste, wenn es durch keinen Druck aufgehalten würde, sondern es bleibt bei einer Höhe von etwa 28 Pariser Zoll über der Oberfläche des Quecksilbers im offenen Gefässe stehen und in ruhigem Gleichgewicht. Da hier kein anderer Druck entgegenwirken kann, so folgt, dass der Druck der Luft eben so gross ist, wie der einer Quecksilbersäule von 28 Zoll Höhe. Hieraus berechnet man leicht das Gewicht der Luftsäule über einer bestimmten Fläche. Der Druck einer Quecksilbersäule von der genannten Höhe und einem Quadratzoll Querschnitt hat nämlich ein Gewicht von

Fig. 35. $13,6 \frac{11}{9}$. 28 Loth oder nahe 15 Pfund. Der Druck auf



einen Quadratcentimeter beträgt, wie leicht zu berechnen, 1,033 Kilogramm, derjenige auf einen Quadratmeter ungefähr 20000 Pfund. Dieser Druck pflanzt sich nach allen Seiten gleichartig fort und es erleidet daher z. B. ein Würfel von 1 Meter Seitenlänge einen Druck von 6. 20000 Pfund.

§ 68. Um sich das Gesagte deutlich zu machen, kann man den beschriebenen

Versuch selbst anstellen. Man bedarf dazu nur eines Barometerrohres und etwas Quecksilber, womit man wie oben angegeben verfährt; das Rohr muss etwa 30" lang sein; man stürzt es in einem Schälchen mit Quecksilber um. Dabei lässt es sich nicht vermeiden, dass zwischen dem Quecksilber und der Glaswand einzelne Luftbläschen haften bleiben, die zum Theil nachher aufsteigen und wodurch der Versuch ungenau wird. Hat man ein heberförmig gekrümmtes Rohr (Fig. 35), dessen langer Schenkel zugeschmolzen ist, so lässt es sich zwar schwerer füllen als

eine einfache gerade Röhre, allein die Ursache des Gleichgewichts ist hierbei leichter einzusehen. In der That erkennt man, dass ein Theilchen a von der einen Seite den Druck der ganzen Quecksilbersäule, von der anderen den der kleinen Säule und den der Luftsäule trägt. Da nun der Druck des Quecksilbers in dem kleinen Schenkel einem gleich hohen Stücke im grossen das Gleichgewicht hält oder denselben aufhebt, so muss der Druck der Luft gleich dem des Quecksilbers im längeren Schenkel sein, gerechnet von einem Punkte, der in derselben Horizontalen liegt wie der der freien Oberfläche des Quecksilbers, also gleich dem der Säule zwischen b und c.

Wenn man statt Quecksilber Wasser nähme, so müsste die Säule davon, welche der Luft das Gleichgewicht halten soll, 13,6 mal so hoch sein, wie die des Quecksilbers. Demnach hält eine Wassersäule von 10,33 Meter oder nahe 33 preussischen oder 32 Pariser Fuss der Luft das Gleichgewicht und so hoch und nicht höher steigt das Wasser in einer Röhre, wenn in dieser die darin enthaltene Luft oben weggenommen wird. Füllt man also kürzere Röhren oder Gefässe mit Wasser und kehrt sie derart um, dass die Luft nicht eindringen kann, so kann das Wasser nicht ausfliessen, weil es durch den Gegendruck der Luft mehr als im Gleichgewicht gehalten wird. Es ist leicht, sich hiervon durch den

Versuch zu überzeugen. Sowohl beim Umkehren solcher gefüllten Gefässe in grössere, mit Wasser versehene, als auch beim behutsamen Umkehren eines vollen Glases, welches man mit einem Papier derart bedeckt hat, dass kein Wasser ausfliesst, bleiben die Gefässe gefüllt. In diesem Falle drückt die Luft sogar das schliessende Papier dicht an den Rand des Glases an. Erst wenn durch ungleichen Druck eine Luftblase eindringen kann, fliesst Wasser aus, welches dann leicht die Oeffnung so erweitert, dass Luft und Wasser zugleich durchfliessen können.

Versuch. Wenn man eine an beiden Enden offene Röhre durch Untertauchen mit Wasser füllt, dann das obere Ende verschliesst und nun die Röhre frei aus dem Wasser zieht, so fliesst kein Wasser aus, wenn die Röhre nicht so weit ist, dass die Luft eindringen und *zugleich* Wasser ausfliessen kann. Bei engen Röhren ist die Anziehung der Wandung so gross, dass kein ungleicher Druck stattfinden kann, was bei weiten Röhren stets in der Mitte der Fall sein muss.

Lässt man durch Lüften des Fingers etwas Luft in die gefüllte Röhre treten und verschliesst sie sogleich wieder, so fällt die Wassersäule nicht ganz heraus und es nimmt die eingetretene Luft einen vergrösserten Raum ein, weil sie nicht unter dem gesammten Druck der ganzen Luftsäule steht, indem ja ein Theil desselben von der noch übrigen Wassersäule getragen wird. Natürlich fällt alles Wasser aus, wenn so viel Luft eintreten kann, wie dem Inhalt der Röhre entspricht.

§ 69. Da in der oben geschlossenen Röhre, wenn das Quecksilber in's Gleichgewicht gekommen ist — bei Anwendung der gehörigen Sorgfalt — kein Quecksilber mehr ist und keine Luft eindringen konnte, so ist der Raum *leer*. Man bezeichnet diesen Raum mit dem Namen *Toricelli'sche Leere*. Wenn eine Luftblase hineingelangt, so sinkt das Quecksilber so lange, bis (wie oben) der Druck der inneren Luft und der des Quecksilbers gleich dem der äusseren Luft ist.

Der Druck, welchen die Atmosphäre auf alle Körper ausübt, erscheint Vielen unwahrscheinlich, indem man glauben möchte, so weiche Körper, wie z. B. der menschliche, müssten diesem Eindrücke nachgeben; allein es ist zu bedenken, dass die im Körper eingeschlossene Luft sich unter demselben Druck befindet und also einen gleichen Gegen-

druck ausübt. Die 30 bis 40 Tausend Pfund, welche also auf dem Körper ruhen, sind keine einseitige Last, sondern es wird dieser Druck von allen Seiten ausgeübt und daher nicht als solcher empfunden. Ausserdem können die zarten Häutchen und Gewebe, welche die Hüllen der Gefässe bilden, dadurch nicht zerreißen, weil zu einem Zerreißen ein *einseitiger* Druck gehört und zum Zerquetschen ist dennoch der Druck nicht stark genug. Es kommt nämlich dabei stets nur ein sehr kleiner Druck in Betracht, insofern derselbe bei einer Oberfläche von einem Quadratcentimeter nur etwa 1 Kilogramm oder 2 Pfund, und bei einem Quadratmillimeter gar nur 10 Gramm oder etwa $\frac{2}{3}$ Loth beträgt.

Der Luftdruck im Inneren des Körpers zeigt sich, wenn man den äusseren Druck durch irgend ein künstliches Mittel, wie z. B. eine Luftpumpe oder einen Schröpfkopf, aufhebt: es dehnen sich dann die Gefässe an der betreffenden Stelle aus.

Wenn man sich auf hohe Berge begibt, wo der Luftdruck weit geringer ist, so bemerkt man grosse Müdigkeit. Dies rührt daher, dass die Arme und Beine in die Gelenkpfannen luftdicht einpassen und daher schon durch den Luftdruck allein darin zurückgehalten werden. Auch ohne Muskelspannung bleiben sie in ihrer Lage, selbst bei hängender Richtung. Wenn nun der äussere Luftdruck nachlässt, so wird die zurückhaltende Kraft geringer und es gehört eine gewisse Spannung der Muskeln dazu, dasselbe zu bewirken, wodurch bald Müdigkeit empfunden werden muss.

Dies ist so wahr, dass wenn man alle Sehnen und Muskeln, welche Schenkel und Becken verbinden, durchschneidet, ersterer dennoch in seiner Lage bleibt. Er fällt erst aus der Gelenkpfanne, wenn man diese von hinten so weit durchbohrt, dass durch das Loch die Luft Zutritt zum Schenkelkopf erhält und dieser nunmehr von beiden Seiten dem Luftdruck ausgesetzt wird.

§ 70. Beobachtet man den Standpunkt des Quecksilbers in der *Toricelli'schen* Leere, so findet man, dass derselbe nicht constant ist, sondern nach mancherlei Umständen wechselt. Dieses muss natürlich mit dem Luftdruck ebenso der Fall sein und man hat daher nach dem oben ausgesprochenen Princip Instrumente construiert, um den Druck der Luft unter verschiedenen Umständen und die Veränderungen, welche er erleidet, zu messen. Dieses Instrument nennt man *Barometer*.

Für jedes Barometer ist es vor Allem Hauptsache, dass dasselbe vollkommen *luftleer* sei. Um die Luftblasen daraus zu entfernen, die man zwischen Quecksilber und Glas bemerkt, wenn man die Röhre anfüllt, wird das Barometer, nachdem es mit völlig reinem Quecksilber gefüllt worden, ausgekocht, wodurch die Luft vollständig verdrängt und an ihre Stelle Quecksilberdampf gebracht wird, welcher sich beim Erkalten zu Quecksilber verdichtet. Das Quecksilber muss, damit es sich leicht im Glase bewegt, von allen fremden Körpern, namentlich von Metallen und von Quecksilberoxyd frei sein. Man reinigt es durch längeres Schütteln mit verdünnter Salpetersäure, Waschen mit Wasser und Abtrocknen. Um das Auskochen, eine sehr schwierige Operation, zu vermeiden, kann man auch das Quecksilber unter besonderen Vorsichtsmaassregeln heiss einfüllen, wobei das Anhaften von Luftblasen vermieden wird. Wenn das Barometer völlig luftfrei ist, so muss das Quecksilber beim Neigen des Instrumentes die Röhre vollständig ausfüllen, es darf kein Luftbläschen übrig bleiben, und wenn das Neigen etwas schnell geschieht, so muss das Metall mit einem kurzen, scharfen Ton, mit einer

Art Knacken an das Gefäss anstossen; ein dumpfer und weicher Ton deutet stets auf etwas Luft. Es ist aber natürlich, dass ein Barometer, in welchem eine auch noch so geringe Menge Luft vorhanden ist, durch deren Expansivkraft einen Widerstand erfahren muss, der es weniger empfindlich für alle Veränderungen des Luftdruckes macht.

Die Röhre des Barometers darf nicht zu eng sein, damit der Reibungswiderstand und die Capillarität die Beweglichkeit des Quecksilbers nicht vermindern. Man sollte nie ein Rohr unter $1\frac{1}{2}$ —2^{'''} Durchmesser nehmen. Enge Röhren machen eine Erschütterung des Instrumentes vor der Beobachtung und bei genauen Messungen selbst Correctionen nothwendig.

Um die Höhe der Quecksilbersäule mit Schärfe zu messen, muss das Barometer eine verticale Stellung und einen genauen Maassstab besitzen. Dieser muss mit einem Nonius versehen sein, mit dessen Nullpunkt ein Zeiger verbunden ist, den man genau in die Höhe des Gipfels des Quecksilbers bringen kann. Dazu soll das Auge in gleicher Höhe mit der Oberfläche des Quecksilbers gehalten werden. Von dieser ist stets der höchste Punkt der Krümmung zu beachten und nicht selten ist an dem Nonius ein Vergrösserungsglas angebracht, um ihn genau einstellen und ablesen zu können.

§ 71. Man unterscheidet nach der Construction vorzüglich zweierlei Arten von Barometer, die *Heberbarometer* und die *Gefässbarometer*.

Letztere bestehen aus einem einfachen, nicht gekrümmten Rohre, das mit seinem offenen Ende in einem grösseren Gefässe mit Quecksilber steht. Man pflegt den Stand der Quecksilbersäule nur nach ihrer oberen Fläche zu beurtheilen, indem auch bei grösseren Veränderungen die Oberfläche in dem unteren Gefässe nur wenig wechselt, weil dessen Durchmesser im Verhältniss zu dem der Röhre gross ist. Soll indessen die Beobachtung mit Genauigkeit gemacht werden, so muss auch hier die Veränderung des Quecksilberstandes im Gefässe in Rechnung gezogen werden, indem ja nur der Unterschied zwischen dem Stande unten und oben die Höhe der Quecksilbersäule ist. Man hat dies auf verschiedene Weise bewerkstelligt. Bei dem *Fortin'schen* Barometer z. B. wird der Boden des Gefässes aus einem beweglichen Material genommen und eine Schraube darunter angebracht, durch welche man denselben so weit herauf- und herunterschrauben kann, dass die Oberfläche des Metalls auf einen genau bestimmten Punkt kommt, welches der Nullpunkt der Höhenscala ist; hierauf braucht man nur noch den oberen Stand des Quecksilbers abzulesen.

Das *Heberbarometer* besteht aus einem gekrümmten Rohre mit kürzerem offenem und längerem geschlossenem Schenkel (s. Fig. 35). Bei dieser einfachsten Einrichtung muss man den Stand des Quecksilbers in beiden Röhren ablesen, da sich dessen Veränderungen aus diesen beiden Theilen zusammensetzen. Blicke das Volumen der ganzen Quecksilbermasse stets dasselbe, so brauchte man nur eine Beobachtung und hätte das Resultat der bemerkten Veränderung in der Höhe zu verdoppeln; allein bei wechselnder Temperatur ändert sich das Volumen und daher ist die doppelte Beobachtung nöthig; der Nullpunkt der Scala ist entweder fest in der Mitte des Instruments und man addirt die Höhe des Quecksilbers darunter und darüber, oder die Scala ist beweglich und man stellt ihren Nullpunkt in die Höhe der kleineren Säule ein. Dass bei allen diesen Messungen die Quecksilbersäule, so weit sie in beiden Schenkeln gleich steht, nicht berechnet werden darf, ist selbstredend.

Wenn bei dem Heberbarometer die Weite der Röhre an beiden Beobachtungsstellen gleich ist, so hat die Capillarität gleichen Einfluss und braucht daher nicht berücksichtigt zu werden.

Da der kürzere Schenkel immer offen sein muss, so hat man das Barometer mit verschiedenen Einrichtungen versehen, welche das Verschütten des Quecksilbers beim Bewegen verhindern; die Oeffnung braucht nur so klein zu sein, dass Luft durchdringen kann, d. h. dass diese nicht völlig abgeschlossen ist. Diese Einrichtungen, wie sie namentlich bei Reisebarometern angebracht werden und wie man sie auch für Gefässbarometer ausführen kann, übergehen wir hier flüchtig ganz. Im Allgemeinen gründen sie sich darauf, dass man die Röhre durch Neigen bis oben hin mit dem Quecksilber sich füllen lässt und dasselbe dann in dieser Stellung befestigt, welche es dann nicht mehr verändern kann.

Für die Beobachtung im täglichen Leben, wo man das Barometer zu Schlüssen auf die Witterung benutzt, welche jedoch nur einen sehr relativen Werth haben, ist das Gefässbarometer das geeignetste, weil es nur eine Beobachtung (des oberen Endes der Quecksilbersäule) erfordert und dennoch hinreichend genaue Resultate gibt.

§ 72. Ganz verschieden in dem Princip von den Quecksilberbarometern ist das *Metalbarometer* von *Bourdon* und das *Aeroidbarometer*. Ersteres gründet sich darauf, dass eine biegsame Röhre, die etwas plattgedrückt und in einer Ebene aufgerollt ist, die zur plattgedrückten Seite senkrecht steht, gerade zu werden strebt, wenn der Druck von innen zunimmt, und sich weiter krümmt, wenn der äussere Druck wächst.

Man wendet eine solche nahezu luftleer gemachte Röhre an, um durch die Veränderung ihrer Krümmung die Veränderungen des Luftdruckes zu beobachten; eine *Messung* kann jedoch nur insofern stattfinden, als das Instrument mit einem guten Quecksilberbarometer verglichen ist und einige Hauptpunkte der *Scala* entsprechend bezeichnet sind.

Das *Aeroidbarometer* ist nach einem ähnlichen Princip construiert; der den Luftdruck empfindende Theil desselben ist eine cylindrische Büchse, welche einen dicken Boden und einen dünnen, elastischen Deckel hat. Die Büchse ist luftleer gemacht und der Deckel wird um so tiefer eingedrückt, je stärker der Luftdruck ist; bei nachlassendem Druck hebt er sich dann wieder. Durch ein sehr empfindliches Hebelsystem wird diese Bewegung auf eine Nadel fortgepflanzt, welche an einem Gradbogen beweglich ist.

Zu bemerken ist, dass bei diesen beiden Arten Barometern die Biegung des Metalls nach längerer Zeit zum Theil bleibend wird, weshalb eine wiederholte Vergleichung mit einem anderen Barometer vorgenommen werden muss.

§ 73. Der Stand des Barometers zeigt, wie schon mehrfach erwähnt, eine Veränderung in der Grösse des Luftdruckes an; der Wechsel der Temperatur, der Windrichtung und des Feuchtigkeitsgehaltes der Atmosphäre führen fortwährend Schwankungen herbei, welche als unregelmässige den regelmässigen Aenderungen gegenüberstehen, die von den Tages- und Jahreszeiten abhängen. Als Normal-Barometerstand nimmt man den „mittleren“ Stand am Meeresufer an, d. h. diejenige Höhe der Quecksilbersäule, welche das arithmetische Mittel aus einer grossen Anzahl von Beobachtungen an diesem Orte ergibt. Allein selbst nach dieser Bezeichnung ist der Barometerstand nicht constant, sondern er ist nach der geographischen Länge und Breite verschieden; in Bezug auf letztere ist der Einfluss der Schwerkraft auf das Quecksilber leicht zu bemerken.

Als Normalbarometerstand am Ufer des Meeres nimmt man 760 Millimeter allgemein an. Regelmässige Schwankungen des Barometers treffen zu denselben Tagesstunden ein: um 4 Uhr Morgens und 4 Uhr Nachmittags hat es den niedrigsten und um 10 Uhr Morgens und 10 Uhr Abends seinen höchsten Stand, wenn man nämlich von den inzwischen eingetretenen unregelmässigen Aenderungen absieht. Doch sind die angegebenen Stunden nach den Jahreszeiten etwas wechselnd, besonders aber in solchen Gegenden auffallend und leicht zu beobachten, wo der Barometerstand keine starken unregelmässigen Veränderungen erleidet, wie z. B. in den Tropenländern.

Die Wichtigkeit der Barometerbeobachtungen in Bezug auf die Verhältnisse der Atmosphäre ist eine grosse, wenn zugleich auf Temperatur, Feuchtigkeitszustand und Windrichtung Rücksicht genommen wird. Wir kommen daher auf diese *meteorologische* Anwendung des Barometers noch später zurück; für jetzt gilt uns das Barometer nur als Instrument zur unmittelbaren und einfachen Messung des Luftdruckes, und wir wenden uns daher wieder zu den Gesetzen, welchen derselbe unterworfen ist.

§ 74. Nach dem Ergebnisse aller Beobachtungen nimmt die Expansivkraft der Gase innerhalb gewisser Grenzen ihrer Dichtigkeit mit der Temperatur und dem Drucke zu. Auf den Einfluss der ersteren kommen wir später zurück. Der Druck wirkt aber derart auf das Volumen der Gase, *dass dieses sich umgekehrt wie der Druck verhält, welchem sie ausgesetzt sind (Mariotte'sches Gesetz)*. Man kann sich dieses Gesetz auf folgende Weise veranschaulichen:

Es sei a, c eine gekrümmte, bei b mit einem Hahne verschliessbare Röhre (Fig. 36). Gesetzt, man habe in dieselbe etwas Quecksilber gegossen, den Hahn b geöffnet, damit das Quecksilber sich in's Gleichgewicht stelle und die Luft keinen anderen Druck erleide, als den der Atmosphäre, und nun den Hahn wieder geschlossen. Das Volumen der eingeschlossenen Luft nennen wir v und nehmen an, es sei durch eine Scala messbar. Wenn man nun bei c Quecksilber zugiesst, so wird dasselbe, wegen des Widerstandes, welchen die eingeschlossene Luft im kürzeren Schenkel leistet, in diesem nicht so hoch steigen, wie in dem längeren offenen; es erleidet einen um so höheren Druck, je stärker die Expansivkraft wird, d. h. je höher die Quecksilbersäule steigt. Wenn der Unterschied der Quecksilberoberfläche in beiden Schenkeln 28 (Pariser) Zoll beträgt, so ist die Luft auf die Hälfte ihres Volumens zusammengedrückt; sie befindet sich alsdann unter dem doppelten Druck wie am Anfange des Versuchs, nämlich unter dem der Atmosphäre, mit welchem sie eingeschlossen wurde, und unter dem, diesem gleichen der Quecksilbersäule von 28 Zoll. Wenn der *Barometerstand* zu Anfang des Versuchs einen Luftdruck von nur 27 Zoll anzeigte, so wird das Volumen schon bei einer Quecksilberhöhe von 27 Zoll auf ihr halbes Volumen kommen.

Fig. 36.



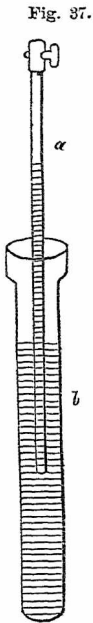
Ist der Apparat zweckmässig eingerichtet, so kann man beobachten, dass das Volumen der eingeschlossenen Luft beim dreifachen Druck $\frac{1}{3}$, beim vierfachen $\frac{1}{4}$, beim n-fachen Druck $\frac{1}{n}$ des ursprünglichen, also $\frac{v}{3} \frac{v}{4} \dots \frac{v}{n}$ beträgt.

Der Versuch ist, wengleich mit anderen Apparaten, bis zu einem Druck von 100 Atmosphären, d. h. bis zu einem Druck, der 100 mal so stark war, wie der einer Atmosphäre, fortgesetzt worden, und man hat für die atmosphärische Luft das *Mariotte'sche* Gesetz stets bestätigt gefunden.

Dasselbe gilt für alle *permanenten* Gase. Bei denjenigen Gasen aber, welche unter einem bestimmten Drucke flüssig werden, zeigt sich die Erscheinung, dass sie *in der Nähe dieses Punktes in unregelmässiger Weise zusammengepresst werden.*

Dasselbe Gesetz gilt auch für eine Verdünnung der Gase, d. h. für einen Druck unterhalb einer Atmosphäre.

Wenn man eine an beiden Enden offene und oben durch einen Hahn verschliessbare Röhre a (Fig. 37) in eine weitere mit Quecksilber gefüllte Röhre b eintaucht, den Hahn verschliesst, wenn das Quecksilber eine gewisse Luftmenge darin absperret, und die Röhre allmählich in dem Quecksilber in die Höhe zieht, ohne sie doch ganz herauszunehmen, so bemerkt man eine regelmässige Zunahme des Volumens der eingeschlossenen Luft. Wenn z. B. das Quecksilber (bei einem Barometerstand von 28 Zoll) in der inneren Röhre 14 Zoll höher steht, als in der äusseren, so ist das Volumen der eingeschlossenen Luft auf das Doppelte gewachsen; denn diese 14 Zoll Quecksilber halten der Hälfte des Atmosphärendrucks das Gleichgewicht, und es steht also die innere Luft nur noch unter dem halben Druck, als der war, unter welchem sie eingeschlossen wurde. Steht das Quecksilber im Inneren um 7 Zoll höher als aussen, so steht die Luft nur unter einem Druck von $\frac{3}{4}$ des früheren und ihr Volumen beträgt also $\frac{4}{3}$ des vorigen u. s. w.



Da die Dichtigkeit einer gewissen Menge Luft in demselben Verhältniss zunimmt, als sie in einen kleineren Raum gepresst wird, und also der Raum, welchen sie unter dem jedesmaligen Druck erfüllt, sich umgekehrt verhält, wie der Druck, unter welchem sie steht, so folgt, dass das *Mariotte'sche* Gesetz auch so ausgesprochen werden kann: Die Dichtigkeiten derselben Gasart verhalten sich, unter sonst gleichen Umständen, wie die Kraft, durch welche sie gedrückt wird, oder wie die Expansivkraft (welche dieser gleich ist).

Hieraus folgt, dass die Dichtigkeit aller Gase einen steten Wechsel erleidet, weil der Luftdruck veränderlich ist. Es folgt ferner, dass unter übrigens gleichen Umständen die Dichtigkeit derselben Luftart sich in verschiedenen Zeiten verhält, wie die Barometerstände in diesen Zeiten. Bei allen Berechnungen, durch welche man von einem beobachteten Volumen eines unter dem Atmosphärendruck befindlichen Gases auf dessen Gewicht schliessen will, ist hierauf zu achten und nach diesem Gesetze entweder das spezifische Gewicht oder das Volumen erst im Verhältniss des zugleich beobachteten Barometerstandes zu corrigiren.

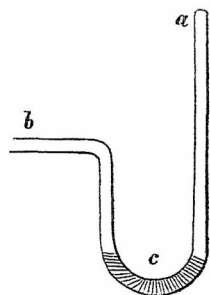
Dasselbe *Mariotte'sche* Gesetz gilt auch für alle festen und tropfbar flüssigen Substanzen innerhalb der Elasticitätsgrenze, nur ist in allen solchen Fällen die Zusammendrückbarkeit so gering, dass die Unterschiede im Volumen in der Regel der Beobachtung entgehen und bei Rechnungen nicht in Betracht zu ziehen sind.

§ 75. Umgekehrt kann man nach dem Vorhergehenden die Volumenänderung, welche eine eingeschlossene Luftmenge unter einem ge-

wissen Druck erleidet, zu dessen Bestimmung benutzen. Wenn man nämlich eine gewisse Luftmenge in einer an einem Ende geschlossenen Röhre am anderen durch Quecksilber absperrt, dessen freie Oberfläche unter dem zu messenden Druck steht, so zeigt eine Zusammendrückung des Luftvolumens auf $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, \dots $\frac{1}{n}$ das Wachsen des Druckes auf das 2, 3 \dots n-fache des Atmosphärendruckes an.

Die Figur 38 zeigt einen nach diesem Princip construirten Druckmesser, wie man ihn als „Manometer“ zur Bestimmung des Druckes in den Dampfkesseln anwendet. Das Ende a des Rohres ist zugeschmolzen, nachdem man in die Krümmung c Quecksilber gebracht und dieses in beiden Schenkeln einen gleich hohen Standpunkt eingenommen hat. Bei b ist die Röhre offen und an dem Dampfkessel befestigt, so dass der Druck innerhalb desselben sich dem Quecksilber mittheilt und dieses auf die eingeschlossene Luft drückt. Eine Scala an dem geschlossenen Schenkel gibt an, auf welchen Bruchtheil des Volumens die Luft zusammengepresst ist, oder zeigt auch unmittelbar den Dampfdruck in Atmosphären an. Jede Atmosphäre entspricht einem Druck von nahe 15 Pfd. auf den Quadratzoll Kesselfläche.

Fig. 38.



Natürlich kann die Einrichtung eines solchen Manometers auch eine andere sein; es kann z. B. nach Art der Gefäßbarometer construiert, die Röhre aber oben offen gelassen werden, wo dann die Länge der gehobenen Quecksilbersäule das Maass des Dampfdruckes ist. Natürlich muss dann die Röhre sehr lang gewählt werden.

Es gibt noch einige Instrumente, deren Construction auf dem *Mariotte'schen* Gesetze beruht. Dahin gehört z. B. das Manometer von *Bourdon*, welches nach demselben Principe construiert ist, wie dessen Barometer (s. o.), ferner das *Stereometer* von *Leslie*, dessen man sich zur Bestimmung des Raumes bedient, welchen pulverförmige Körper einnehmen.

Wenn z. B. an der Figur 37 gezeichneten Röhre sich am oberen Ende ein etwas erweiterter Raum zur Aufnahme solcher Körper befindet, den man mittelst einer aufgeschliffenen Platte luftdicht verschliessen kann, und man nun die Röhre bis zum Punkt a in Quecksilber taucht und dann verschliesst, so wird beim Herausziehen bis zur halben Höhe des Barometerstandes die Luft genau ihr doppeltes Volumen einnehmen. Bringt man nun den pulverförmigen Körper in das kleine Gefäss und wiederholt denselben Versuch, so ist natürlich, dass die Luft zwar ebenfalls ihr doppeltes Volumen einnehmen, aber dass dieses nicht so gross sein wird als früher, indem das ursprüngliche Volumen derselben um das Volumen des Körpers kleiner geworden ist. Aus dem Unterschiede des beobachteten Volumens ist es leicht, das Volumen des Körpers zu finden; und dieses dient, nach genauer Bestimmung seines Gewichts, zur Berechnung seines specifischen Gewichts, welches bei der Schwierigkeit, alle Luft aus den Poren pulverförmiger Substanzen zu verdrängen, auf anderem Wege schwer zu ermitteln gewesen wäre.

Kopp's Volumenmeter und das *Differentialbarometer* gehören ebenfalls hierher, doch würde ihre Beschreibung zu weit führen.

§ 76. *Aufgabe 1.* Wie gross ist der Druck der Luft auf die Oberfläche einer Kugel von 6 Zoll Durchmesser, bei einem Barometerstand von 28,98 preuss. Zoll.

Antwort. 1702 Pfund.

Aufgabe 2. Welche Höhe muss eine Weingeistsäule haben, um dem mittleren Atmosphärendruck von 760 Mm. das Gleichgewicht zu halten? (specif. Gewicht des Weingeistes 0,872).

Antwort. 11,62 Meter.

Aufgabe 3. Mit welcher Kraft wird die Platte an ein umgestürztes, mit Wasser gefülltes Glas angedrückt, wenn dieselbe 0,25 Quadrat-Decimeter Oberfläche und das Glas eine Höhe von 1 Decimeter hat, und das Gewicht der Platte 20 Gramm ist? (der Barometerstand soll zu 750 Millimeter angenommen werden).

Auflösung. Druck der Atmosphäre = 0,25. 7,50. 13,6 = 22,5 Kilogramm. Gewicht des Wassers und der Platte = 0,27 Kilogramm. Folglich Druck gegen die Platte 22,23 Kilogramm.

Aufgabe 4. Wie gross ist der Druck in einer Tiefe des Meeres von 1033,6 Metern? (die Dichte des Wassers = 1 angenommen).

Antwort. 100 Atmosphären.

Aufgabe 5. Wie hoch müsste die atmosphärische Luft reichen, wenn sie überall und bis zu ihrer Grenze dieselbe Dichtigkeit, nämlich $\frac{1}{10}$ von der des Wassers hätte? (der mittlere Quecksilberstand soll zu 29 preuss. Zoll angenommen werden).

Auflösung. 25307 $\frac{1}{2}$ Fuss oder etwas über eine Meile.

Aufgabe 6. Wenn man die Luft in dem verschlossenen Schenkel einer Glasröhre, welcher 6 Decimeter lang ist, auf $\frac{1}{2}$ ihres Volumens zusammendrücken will, wie hoch muss dann, bei einem Barometerstande von 760 Millimeter, das Quecksilber in dem längeren, weiteren Schenkel stehen?

Auflösung. 3. 7,6 + $\frac{2}{3}$. 6 = 26,8 Decimeter.

Aufgabe 7. Man hat bei einem Barometerstande von 26 Zoll das Volumen eines Gases als 4,5 Kubikzoll beobachtet; wie gross ist das Volumen, auf den Normalbarometerstand von 28,98 Zoll reducirt?

Auflösung. 4,038 Kubikzoll.

Aufgabe 8. Die Dichtigkeit eines Gases sei 1,230 (atmosphärische Luft = 1 gesetzt) bei dem Normalbarometerstand von 770 Mm. Wie gross ist dessen Dichtigkeit bei einem Barometerstande von 747 Mm?

Antwort. 1,209.

Aufgabe 9. Wenn in einem geschlossenen Manometer an einem Dampfkessel die Luft auf $\frac{2}{3}$ ihres Volumens zusammengedrückt ist, wie viel beträgt alsdann der Druck auf einen Quadratfuss Kesselfläche?

Antwort. 3600 Pfund.

Aufgabe 10. Wie hoch muss man die Quecksilberröhre eines oben offenen Manometers nehmen, wenn der Druck bis zu 4 Atmosphären gemessen werden soll, und wie viel Kilogramm Quecksilber müssen mindestens dazu genommen werden, wenn der Querschnitt der Röhre = 1 Quadratcentimeter ist?

Antwort. Höhe der Röhre 3,040 Meter. Gewicht des Quecksilbers $\frac{304. 13,6}{1000}$ Kilogramm = 3,534.

§ 77. Wenn man sich mit einem Barometer über die Erdoberfläche erhebt, so bemerkt man, dass die Quecksilbersäule an Höhe abnimmt.

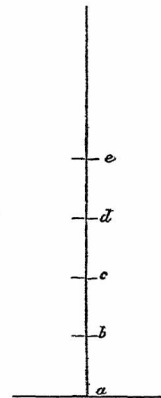
Diese Abnahme tritt zwar schon bei der geringsten Höhenveränderung ein, ist jedoch erst bei beträchtlicheren Unterschieden so gross, dass sie messbar wird.

Das Barometer kann demnach zum Messen von Höhenunterschieden oder von Bodenerhöhungen über einem gewissen Niveau — der Meeresoberfläche — benutzt werden, wenn man das Gesetz kennt, wonach diese Veränderung seines Standes erfolgt.

Wenn die Luft überall gleiche Dichte hätte, so würde ihr Druck in demselben Maasse abnehmen, als die drückende Schichte abnimmt, und es würden die Höhenunterschiede einfach den Unterschieden in der Länge der gehobenen Quecksilbersäule proportional sein. Allein dem ist nicht so; die Luft ist an der Oberfläche der Erde in Folge des auf ihr lastenden Druckes viel dichter und daher viel schwerer; je höher man steigt, desto grössere Höhenunterschiede sind erforderlich, um dieselbe Barometerstandsveränderung hervorzubringen.

Die Beobachtung lehrt, dass bei einem Barometerstande von 760 Millimetern eine Veränderung der drückenden Luftschicht von 11,5 Metern eine Veränderung der Quecksilberhöhe von 1 Millimeter hervorbringt. Steht also im Punkt a (Fig. 39) das Barometer auf 760 Millimetern, so wird es, wenn b 11,5 Meter über a liegt, in b auf 759 Mm. stehen. In c, welches wieder 11,5 Meter über b liegt, wird aber das Barometer nicht abermals um 1 Millimeter gefallen sein, denn die Dichtigkeit der Luftschicht b c ist nicht dieselbe, wie die der Luftschicht a b; sie beträgt vielmehr, weil der bestehende Druck sich auf

Fig. 39.



759 Mm. vermindert hat, nur $\frac{759}{760}$ von derjenigen der Schichte a b, wenn man, was ohne merklichen Fehler geschehen kann, ihre Dichtigkeit in allen Theilen gleich und zwar gleich ihrer Dichtigkeit am unteren Theile annimmt. Wenn also durch die Schichte a b das Barometer um 1 Mm. sinkt, so kann es durch die Schichte b c, welche nur $\frac{759}{760}$ so dicht ist, nur um $\frac{759}{760}$ Mm. sinken. Steigt man also

bis c, so muss das Barometer auf $759 - \frac{759}{760}$ oder, was dasselbe ist,

$$\begin{aligned} \text{auf } 760. \quad & \frac{759}{760} - \frac{759}{760} = \frac{759}{760} (760 - 1) \\ \text{oder } & \frac{759^2}{760} \text{ oder endlich } = 760. \left(\frac{759}{760} \right)^2 \text{ fallen.} \end{aligned}$$

Da nun die Dichtigkeit der Luft in der Schichte c d wieder $\frac{759}{760}$ mal geringer ist als die Schichte b c, so wird auch eine $\frac{759}{760}$ mal geringere Quecksilbersäule dadurch gehoben und füglich durch deren Abnahme die Höhe des Quecksilbers um $\frac{759}{760}$ dessen kleiner, was durch die vorhergehende Schichte gehoben wurde. So erhalten wir für die Abnahme des Barometerstandes von Punkt c bis d $\left(\frac{759}{760} \right)^2$, und für den Stand bei

d, am Ende der dritten Schichte von 11,5 Metern, die Höhe

$$760 \left(\frac{759}{760} \right)^2 - \left(\frac{759}{760} \right)^2, \text{ woraus ähnlich wie oben, folgt}$$

$$760 \left(\frac{759}{760} \right)^3.$$

Erhebt man sich demnach 4. 11,5 Meter über a, so erhält man $760 \left(\frac{759}{760} \right)^4$ u. s. w.: im Allgemeinen ist der Stand, in einer Höhe von n. 11,5 Metern

$$760. \left(\frac{760}{759} \right)^n$$

Dieser Ausdruck führt, wenn man ihn verallgemeinert, zu der Höhenbestimmung in allen Fällen; denn es ist klar, dass er seine Richtigkeit behält, wenn man für 760 Mm. den Barometerstand an irgend einem Orte, den wir B nennen wollen, und für 759 denjenigen B' an einem um eine gewisse Einheit (1 Meter, 1 Fuss, Zoll, wie man gerade die Höhe berechnen will) höheren setzt. Diese beiden Grössen müssen zu der verlangten Ermittlung bekannt sein; ihr Quotient (vorhin $\frac{759}{760}$) ist es also auch; nennen wir ihn der Kürze halber q, so ist der Barometerstand in irgend einer in derselben Längeneinheit ausgedrückten Höhe $q^m B$

In unserem obigen Ausdruck war nämlich m die Anzahl der Einheiten von 11,5 Metern, für welche die Differenz 759 zu 760 ausmachte; hier wo die Differenz für eine bestimmte Längeneinheit B' zu B ist, drückt m die Anzahl eben derselben Längeneinheiten aus.

Bestimmt man nun mittelst des Barometerstandes die Höhe eines Ortes über einem anderen, so ist der Barometerstand oder die Grösse $q^m B$ bekannt; man kennt ferner als Grundbeobachtungen B und B', folglich deren Quotienten q und es bleibt als Unbekannter nur m. Nennen wir die an dem fraglichen höheren Orte beobachtete Barometerhöhe h, so haben wir demnach

$$h = q^m B$$

Hieraus folgt, da wir den Werth von m, als den einzigen Unbekannten, zu suchen haben

$$q^m = \frac{h}{B}$$

eine Gleichung, aus welcher wir m durch Logarithmirung finden können, denn es ist ja

$$m \log q = \log h - \log B,$$

$$\text{folglich } m = \frac{\log h - \log B}{\log q}$$

Diese Gleichung gibt also an, wie man aus dem Barometerstand die Höhe eines Ortes über einem anderen, senkrecht darüber liegenden finden kann; es gehören dazu 3 Beobachtungen: der Barometerstand am tiefsten und am höchsten Punkt und derjenige an einem um eine *Längeneinheit* höher oder tiefer liegenden; alsdann erhält man die Höhen *ausgedrückt in diesen Längeneinheiten*. *Da nun der Luftdruck an allen Punkten einer horizontalen oder mit der Erdoberfläche parallelen Schichte derselbe ist, so ist es nicht erforderlich, dass die Punkte senkrecht über einander liegen;*

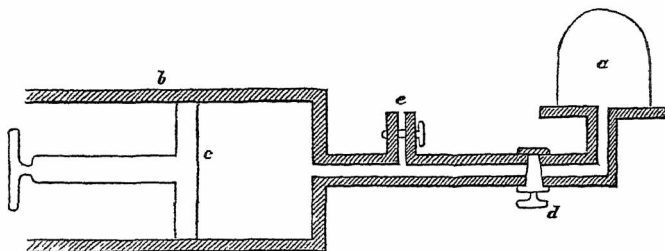
man erhält dennoch stets den Unterschied in ihrer Höhe, auf die Verticale bezogen. Da nun der Stand des Luftdruckes zu verschiedenen Zeiten auch an demselben Orte wechselt, so müssen eigentlich die Beobachtungen an den beiden Orten gleichzeitig gemacht werden. Um diese Schwierigkeit zu vermeiden, pflegt man von beiden Orten das Mittel aus möglichst zahlreichen Beobachtungen anzunehmen.

Endlich gehört zu genauen Höhenmessungen auch die Rücksicht auf die Feuchtigkeit und die Temperatur der Luft und des Quecksilbers im Barometer selbst, welche bestimmte Correctionen des erlangten Resultates nothwendig machen; wir können jedoch hier nicht näher auf das Einzelne dieses Gegenstandes eingehen.

§ 78. Um die Erscheinungen zu beobachten, welche durch die Verdünnung der Luft hervorgerufen werden, wie dieselbe sich in verschiedenen Graden bewerkstelligen lässt, bedient man sich der *Luftpumpe*.

Dieselbe besteht in ihrer einfachsten Form aus 5 Theilen (Fig. 40):

Fig. 40.



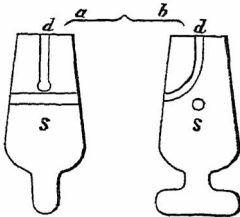
dem Recipienten a, dem Stiefel b mit dem Kolben c, und den beiden Hähnen d und e. Der Kolben schliesst in dem Stiefel luftdicht, der Recipient ist ebenfalls luftdicht auf den darunter befindlichen Teller aufgestellt. Wenn dann der Hahn d geöffnet, der Hahn e aber geschlossen ist, so dass im Inneren die Luft sich bewegen kann, nicht aber mit der äusseren in Verbindung steht, und der Kolben von der Schlusswand des Stiefels zurückgezogen wird, so muss die im Recipienten und der Röhre enthaltene Luft sich in dem grösseren Raume so weit ausdehnen, wie dem Verhältniss des früheren und des neuen Raumes entspricht. Nehmen wir, um das Maass dieser Ausdehnung zu übersehen, z. B. an, der Raum, welchen der Stiefel durchläuft, sei eben so gross, wie der des Recipienten und der Röhre; dann wird sich die Luft auf ihr doppeltes Volumen ausdehnen. Wenn man nun den Hahn d schliesst, so bleibt die im Recipienten abgesperrte Luft in dem Zustande der bewirkten Verdünnung; öffnet man nun e, so strömt Luft ein, um die im Stiefel verdünnte Luft mit der äusseren in's Gleichgewicht zu bringen. Wenn nun der Kolben wieder nach dem Recipienten hin bewegt wird, so verdrängt er alle Luft aus dem Stiefel, welche bei e entweicht, und die Verdünnung kann durch Schliessung von e, Oeffnen von d und Zurückziehen des Kolbens wieder hervorgebracht werden; sie kommt beim zweiten Kolbenzug, wie leicht einzusehen, auf $\frac{1}{4}$ der ursprünglichen Spannkraft; eine richtige Einstellung der Hähne und Wiederholung der ganzen Operation bringt sie beim dritten Kolbenhub auf $\frac{1}{8}$, beim vierten auf $\frac{1}{16}$ u. s. w.

Bei dieser Berechnung haben wir davon abgesehen, dass nach jedem Öffnen und Schliessen des Hahnes e die Röhre zwischen dem Hahne d

und dem Kolben mit Luft von gewöhnlicher Spannung gefüllt ist, welche sich dem Recipienten mittheilt und die Spannung der darin enthaltenen Luft erhöht. Dadurch wird es unmöglich, die Verdünnung eine gewisse Grenze überschreiten zu lassen, denn es ist leicht einzusehen, dass es einen Punkt geben wird, wo die Luft, welche auf diese Weise in den Apparat gelangt, die Verdünnung der in demselben enthaltenen gerade so vermindern muss, wie sie durch den vorigen und den nächsten Kolbenhub vermehrt wird. Bis zu diesem Punkte kann man also die Verdünnung treiben und nicht weiter. Natürlich ist diese Grenze abhängig von der Grösse des Raumes zwischen dem Hahn d und dem Kolben, des sogenannten *schädlichen Raumes*; sie ist aber auch ferner abhängig von der ganzen Construction des Apparates. Bei guten Luftpumpen geht sie bis auf $\frac{1}{1000}$ der ursprünglichen Dichtigkeit.

In dieser einfachsten Construction ist die Luftpumpe indessen mit mancherlei Unbequemlichkeiten behaftet, welche auf verschiedene Weise beseitigt worden sind. Wir kommen gleich auf die einzelnen Aenderungen zurück, welche man in der Construction dieses Instrumentes getroffen hat, und führen hier nur noch an, dass man die beiden Hähne d und e auch durch einen einzigen ersetzen kann, welcher je nach seinen verschiedenen Stellungen die verschiedenen Zwecke erfüllt. Diesen *Senquerd-*sehen Hahn, welcher zwei Durchbohrungen besitzt, die mit einander nicht in Verbindung stehen, zeigt Fig. 41 in seinen beiden Stellungen.

Fig. 41.



Dieser Hahn wird an der Stelle des Hahns d angebracht und bringt in der Stellung a durch die gerade Bohrung den Stiefel mit dem Recipienten (beim Zurückziehen des Stempels) in Verbindung; dreht man ihn dann durch eine Drehung um 90° in die Stellung b, so wird diese Verbindung aufgehoben und der krumme Kanal d, welcher eben durch die Wand geschlossen war, setzt nun (für das Hinausdrücken der Luft) den Stiefel mit der äusseren Luft in Verbindung. Beim Zurückziehen des Stempels wird der Hahn wieder umgedreht u. s. w.

Nach den oben angestellten Betrachtungen ergibt sich für die mögliche Verdünnung, dass dieselbe auch ohne Rücksicht auf den schädlichen Raum doch *nie* bis zur *Luftleere* gebracht werden kann; denn es wird stets nur dadurch eine Wirkung hervorgebracht, dass die vorhandene Luft nicht *fortgeschafft*, sondern zur Einnahme eines grösseren Volumens gebracht und dann *ein Theil* der ausgedehnten Luft entfernt wird. Je kleiner das Volumen des Recipienten und je grösser das des Stiefels ist, desto weiter kann demnach die Verdünnung gehen, doch stehen der Benutzung dieses Umstandes Hindernisse in der Ausführung entgegen.

Die Grösse der Verdünnung für allgemeine Fälle lässt sich leicht berechnen. Es sei der Raum des Stiefels, welcher leer gemacht werden kann, a, der Raum des Recipienten b, die Dichte der Luft in dem Recipienten zu Anfang d, und nach dem *ersten Kolbenzug* x, so finden wir den Werth von x (abgesehen von dem schädlichen Raum) durch die Betrachtung, dass sich die Luft des Volumens b in dem Raume b + a ausgedehnt hat, nach dem bekannten Gesetze durch

$$x : d = b : a + b$$

$$\text{oder } x = \frac{d b}{a + b}$$

Nach dem zweiten Kolbenzug tritt — immer abgesehen von dem schädlichen Raume — Aehnliches ein, indem sich die Luft abermals von b nach $a + b$ ausdehnt und deshalb statt der erlangten Dichte x die Dichte

$$\frac{x \cdot b}{a + b}$$

annimmt; setzen wir hier für x seinen oben gefundenen Werth, so erhalten wir als Dichtigkeit nach dem zweiten Kolbenzug

$$\frac{d \cdot b^2}{(a + b)^2}$$

Durch weitere, ähnliche Schlüsse folgt für die Dichtigkeit nach dem n -ten Kolbenzug

$$\frac{d \cdot b^n}{(a + b)^n}$$

Diese Formel beweist ebenfalls, dass eine Verdünnung auf 0 nie stattfinden kann.

§ 79. Um den Grad der Verdünnung zu messen, welcher in dem Recipienten hervorgebracht worden ist, kann man denselben durch eine verschliessbare Röhre mit einer langen, senkrechten, in ein Gefäss mit Quecksilber tauchenden Barometeröhre in Verbindung bringen (Fig. 42). Je höher in dieser das Quecksilber gehoben wird, desto grösser ist die Verdünnung, und wenn man das Quecksilber bis auf den augenblicklichen Stand des Barometers heben könnte, so wäre oberhalb desselben der leere Raum; steht also das Quecksilber auf der halben Höhe des Barometers, so beträgt die Verdünnung $\frac{1}{2}$ u. s. w.

Es ist indessen leicht einzusehen, dass eine solche Einrichtung unbequem ist; man wendet daher in der Regel eine sogen. *verkürzte Barometerprobe* oder ein *Manometer* an. Wenn man nämlich bei einem gewöhnlichen Heberbarometer die Luft, mit welcher der offene Schenkel in Verbindung steht, verdünnt, so muss das Quecksilber im anderen Schenkel zu sinken anfangen, und zwar um so mehr, je weiter die Verdünnung geht. Hat der offene Schenkel die erforderliche Höhe, so wird bei eintretender *Luftleere* das Quecksilber in beiden Schenkeln gleich hoch stehen müssen; der Unterschied des Standes in beiden Schenkeln ist also das Maass für die Verdünnung der Luft im offenen Schenkel. Bei der Anwendung dieser Einrichtung verkürzt man den geschlossenen Schenkel, so dass er nicht allein von Anfang an, sondern auch noch während der ersten Kolbenzüge *ganz* mit Quecksilber gefüllt bleibt; denn es braucht die Verdünnung nicht beim Beginn, sondern nur dann gemessen zu werden, wenn sie nur noch einige Zoll Quecksilber beträgt. Eine Scala zeigt alsdann den Unterschied der Höhe beider Quecksilbersäulen, und der Quotient dieses Unterschiedes in den Barometerstand gibt den Grad der Verdünnung in Bezug auf die ursprüngliche Dichte an.

Wenn man z. B. (Fig. 43) die mit dem Schenkel a in Verbindung stehende oder die unter der Glocke b befindliche Luft so weit verdünnt hat, dass das Quecksilber

Fig. 42.

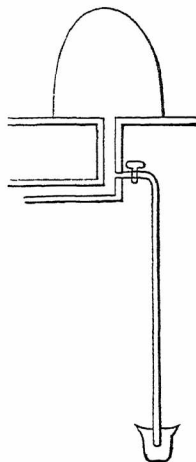
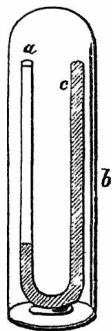


Fig. 43.

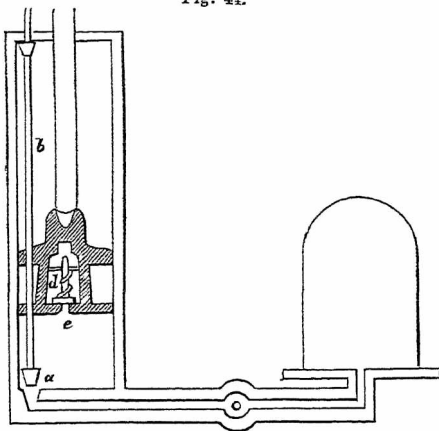


bei c unterhalb des Verschlusses zu sinken und in a zu steigen beginnt, so ist bei einem Unterschiede von 1 Zoll in ihrer Stellung der Druck der verdünnten Luft gerade ausreichend, um 1 Zoll Quecksilber zu tragen; da nun die nicht verdünnte Luft beiläufig 28 Zoll trägt, so beträgt die hervorgebrachte Verdünnung $\frac{1}{28}$.

Es bleibt sich gleich, ob man die Barometerprobe in einer Glocke eingeschlossen mittelst einer Metallfassung mit der Röhre in Verbindung bringt, welche zum Recipienten führt, oder ob man sie einfach unter den Recipienten stellt; im ersteren Falle ist es bequem, sie absperrn und nur gerade zur Beobachtung durch einen Hahn in Verbindung mit der verdünnten Luft setzen zu können.

§ 80. Von den verschiedenen Einrichtungen und Verbesserungen, welche man äusserst zahlreich an der Luftpumpe angebracht hat, mögen nur folgende erwähnt werden.

Fig. 44.



Um das lästige Drehen an den Hähnen zu vermeiden, hat man dieselben durch Ventile zu ersetzen gesucht. Eine solche Einrichtung zeigt Fig. 44, wo die überflüssigen Theile, wie der Bewegungsmechanismus für den Kolben, die Barometerprobe u. s. w., weggelassen sind.

Am Boden des Stiefels befindet sich das Ventil a, d. h. eine kegelförmige, nach oben erweiterte Oeffnung (welche zum Verbindungskanal mit dem Recipienten führt), in welche ein metallener Kegel, das eigentliche Ventil passt. Derselbe ist an der Stange b befestigt, die luftdicht und mit

Reibung durch den Körper des Stiefels geht und oben bis an den Deckel desselben reicht, wo sie durch einen Wulst an einer grösseren Bewegung verhindert wird. Ausserdem befindet sich im Kolben eine durchgehende Oeffnung e, welche durch ein Metallstück dicht verschlossen werden kann, wenn dasselbe durch den Druck der Feder d dagegen gepresst wird; ein Druck von unten, stärker als der der Feder, hebt es dagegen in die Höhe. Dieses Ventil im Kolben dient dazu, den Raum innerhalb des Stiefels mit der Luft in Verbindung zu setzen, indem der Kolben oberhalb nicht luftdicht anschliesst; das an der Stange befindliche Ventil stellt je nach Erforderniss die Verbindung zwischen Stiefel und Recipient her. Beide wirken in folgender Weise: Wenn der Kolben niedergeht, so nimmt er die Stange mit, welche schon nach einer sehr geringen Bewegung die Oeffnung bei a verschliesst und dadurch die Verbindung des Recipienten mit der äusseren Luft absperrt. Dann öffnet sich durch den Druck der durch den Kolben comprimirten Luft des Stiefels das Ventil e und lässt die Luft des Stiefels nach oben in die äussere Luft austreten. Wenn der Kolben unten angelangt ist, so ist alle Luft entfernt, mit Ausnahme des auch hier unvermeidlichen schädlichen Raumes zwischen Boden des Stiefels und Kolben. Geht nun der Kolben wieder in die Höhe, so schliesst sich durch den Druck der äusseren Luft sofort das Ventil des

Kolbens und die Stange b wird so weit mitgenommen, bis sie durch den Vorsprung an ihrem oberen Ende an weiterer Bewegung verhindert wird; dadurch kommt aber die Luft im Recipienten mit der im Stiefel in Verbindung und wird durch den Kolbenhub verdünnt; dieses Spiel wiederholt sich bei jedem Kolbenhub, wie schon oben gezeigt. Der Hahn in der Verbindungsröhre ist ähnlich wie der oben (§ 78) beschriebene durchbohrt und dient dazu, je nach Bedürfniss den Recipienten durch Schliessung des Kanals abzusperrern oder nach Beendigung des Versuchs Luft in den Apparat eintreten zu lassen.

Natürlich hat man bei jedem Kolbenhub ausser der Reibung gegen die Wand des Stiefels auch die Last der drückenden Atmosphäre zu überwinden. Diese wird dann fühlbar, wenn die Verdünnung unterhalb des Kolbens grösser wird, und das Pumpen ist dann sehr mühsam. Deshalb wendet man meistens zweistiefelige Luftpumpen an, da beide Stiefel durch ein Zahnrad sich *abwechselnd* heben und senken, so dass die Last der Atmosphäre bei dem einen Kolben gehoben werden muss, bei dem anderen aber als Druck fördernd wirkt und nur noch die Reibung zu überwinden bleibt. Zugleich gewinnt man dabei bedeutend an Zeit.

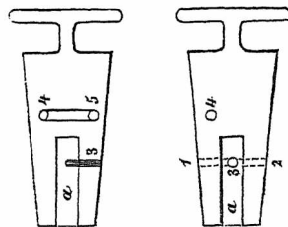
Bei der zweistiefeligen Luftpumpe ist es möglich, die Ventile, welche immer einen unvollkommeneren Erfolg als die Hähne haben, indem sie nicht plötzlich, sondern allmählich zur Wirkung kommen, durch einen gemeinschaftlichen Hahn zu ersetzen, der nach ähnlichem Princip wie der oben gezeichnete construiert ist und durch eine mechanische Vorrichtung *gesteuert*, d. h. gerade zur rechten Zeit nach und vor jeder Kolbenbewegung gestellt wird.

Der schädliche Raum ist aber durch keine dieser Vorrichtungen zu vermeiden und daher eine sehr hohe Verdünnung nicht zu erreichen.

Wenn man aber anstatt die äussere Luft in den schädlichen Raum gelangen zu lassen, an ihrer Stelle die schon sehr verdünnte Luft *aus dem anderen Stiefel* dazu nimmt, so kann man eine weit grössere Verdünnung hervorbringen. Dies gelingt durch den *Grassmann'schen* oder *Babinet'schen* Hahn, welcher in dem Verbindungspunkt der beiden Stiefel mit dem Kanale angebracht wird, der nach dem Recipienten führt.

Der Hahn hat die Einrichtung, welche die Figuren 45—47 in verschiedenen Stellungen zeigen. Die Bohrung a führt in den Kanal zum Recipienten. Die Bohrung 1, 2 bei Fig. 45 steht senkrecht auf dieser und dient dazu, die beiden Stiefel mit einander zu verbinden. Eine weitere Bohrung 3 steht senkrecht auf der Ebene, worin sich diese beiden befinden; seitwärts von allen, aber parallel mit 3 befindet sich ein anderer Kanal, ganz für sich bestehend, 4, 5, welcher dazu dient, in einer gewissen Stellung des Hahns die Verbindung in dem Kanal 6, 7 herzustellen, die in anderen Stellungen des Hahns abgesperrt ist.

Fig. 45.



Anfangs hat der Hahn die Stellung der Figur 46 (f. S.); dabei ist die Verbindung in dem Kanal 6, 7 unterbrochen. Man setzt bei dieser Stellung des Hahns so lange das Auspumpen fort, bis das Barometer nicht mehr fällt; dann gibt man dem Hahn die Stellung der Figur 47 (f. S.), sobald der Kolben D unten angelangt ist; dann ist der Kanal a von dem Stiefel abgesperrt (denn der Verbindungskanal 4, 5 befindet sich in einer *anderen* Ebene als 1, 2 und 3, und kreuzt dieselbe nicht). Geht nun der

Fig. 46.

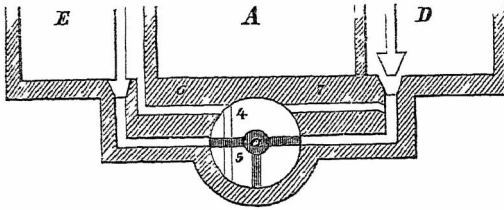
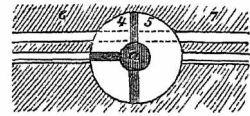


Fig. 47.



Kolben E herab, so schliesst sich das Ventil am Boden seines Stiefels, ohne dass aber die Luft zusammengepresst würde; denn sie geht nun durch den Kanal 6, 7 nach dem Stiefel D und breitet sich hier im verdünnten Raum aus. Daher bleibt im schädlichen Raum von E dieselbe verdünnte Luft wie in D während des Aufgangs, oder wie im Recipienten selbst; sie entweicht aus D, wenn sie beim Niedergang des Kolbens D die Dichte der äusseren Luft übersteigt, weil hier das Bodenventil zugleich den Gang 6, 7 mit absperrt. Die Luft aus dem schädlichen Raum von D kann aber nicht wieder in den Recipienten entweichen, weil sich beim Oeffnen des Bodenventils bei D gleichzeitig das Ventil in E schliesst und somit keine Verbindung mit dem Recipienten stattfindet.

Durch diese Vorrichtungen kann daher die Verdünnung viel weiter als durch jede andere getrieben werden.

§ 81. Von den Versuchen, zu welchen man die Luftpumpe benützt, um den Einfluss der Verdünnung der Luft zu zeigen, mögen hier einige nur angeführt werden, da die Gesetze und Grunderscheinungen, woraus sie zu erklären sind, bereits hinreichend erörtert wurden, um ein tieferes Eingehen in die Ursachen der Erscheinungen überflüssig zu machen. Zur Uebung werden dann einige Zahlenaufgaben folgen.

Der erste Versuch, welcher von dem Erfinder derselben, *Otto von Guericke*, mit der Luftpumpe gemacht wurde, waren die sog. *Magdeburger Halbkugeln*. Wenn man aus zwei dicht schliessenden Halbkugeln die Luft auspumpt, so werden sie durch den Druck der Atmosphäre so stark zusammengehalten, dass eine grosse Gewalt dazu gehört, sie wieder zu trennen (s. d. Aufg.).

Wenn eine Glasplatte oder eine Thierblase auf einem hohen Ringe fest aufsitzt, aus welchem man von unten die Luft auspumpt, so wird sie durch den Luftdruck oder durch einen leisen Druck, der hinzukommt, zersprengt. Eine Blase, die etwas Luft enthält, dehnt sich unter der Luftpumpe aus, weil die eingeschlossene Luft unter dem veränderten Druck ein grösseres Volumen einnimmt; dünne geschlossene Gläser können in demselben Falle zersprengt werden.

Pumpt man die Luft aus Holzstücken aus und lässt dann eine Flüssigkeit hinzutreten, so wird diese von den leeren Poren weit leichter als von den luffterfüllten absorbiert.

In einer luftleer gemachten Röhre fallen alle Körper gleich schnell; der Grund dieser auffallend erscheinenden Thatsache ist bereits früher erörtert worden.

In dem luftverdünnten Raume sterben Thiere, verlöschen die Lichter. Eine hohle Kugel wiegt mehr, wenn sie mit gewöhnlicher Luft gefüllt ist, als wenn dieselbe erst durch einige Kolbenzüge theilweise entleert worden. Wenn man eine zugeschmolzene Glaskugel an einer

kleinen Wage in's Gleichgewicht bringt und dann das Ganze unter die Glocke der Luftpumpe stellt, so sinkt die Kugel an der Wage tiefer und erscheint also schwerer. Dies rührt indessen nicht von der in der Glas- kugel eingeschlossenen Luft her; es würde dieselbe Erscheinung eintreten, wenn die Kugel luftleer wäre. Es gilt vielmehr das Archimedische Gesetz natürlich auch für elastische Flüssigkeiten, und es verliert also jeder Körper in der Luft eben so viel an Gewicht, wie die verdrängte Luft wiegt. Wenn nun der gewogene Körper dasselbe Volumen hat, wie das Gewicht, so verlieren sie beide gleich viel und müssen auch in jeder irgendwie verdünnten oder verdichteten Luft im Gleichgewicht sein. Wenn aber, wie dies in der Regel der Fall ist, der gewogene Körper ein grösseres Volumen hat, als das Gewicht, so verliert er in verdünnter Luft weit weniger als zuvor, während der Unterschied für das Gewicht geringer ist; daher erscheint er und ist in der That schwerer als früher. Ist das Gewicht grösser als der Körper, so tritt der umgekehrte Fall ein.

Es folgt hieraus unmittelbar, dass fast alle Wägungen streng genommen unrichtig sind, indem es nur selten eintreffen wird, dass Gewicht und gewogener Körper gleiches Volumen haben, und nur in diesem Falle verdrängen sie gleich viel Luft und verlieren sie also gleich viel an Gewicht. In allen anderen Fällen können genaue Wägungen eigentlich nur im luftleeren Raume ausgeführt werden; indessen ist der beim Wägen in der Luft entstehende Irrthum so gering, dass er in den meisten Fällen vernachlässigt werden kann. Es wiegt nämlich der Kubikfuss Luft $2\frac{3}{4}$ Loth, woraus sich in jedem einzelnen Falle die Unrichtigkeit berechnen lässt, wenn man das Volumen oder doch das spezifische Gewicht der gewogenen Stoffe und des Gewichtes kennt.

Hieraus erhellt leicht, welcher Fall eintritt, wenn man zwei Körper von verschiedenem Volumen erst in Luft von gewöhnlicher Spannkraft in's Gleichgewicht bringt und dann in verdichteter Luft wägt.

Einige andere Erscheinungen im luftverdünnten Raume werden wir noch später (bei der Lehre von der Wärme und von den Tönen) kennen lernen.

Um einen völlig *luftleeren* Raum zu erhalten, muss man entweder die *Toricelli'sche* Leere in etwas grösserem Umfange herstellen oder sich der Luftpumpe in Verbindung mit chemischen Mitteln bedienen. Man lässt nämlich in den Recipienten, nachdem er möglichst ausgepumpt ist, reine Kohlensäure strömen und wiederholt dies so oft, bis derselbe keine Luft, sondern nur noch Kohlensäure enthält; dann lässt man diese durch kaustisches Kali absorbiren; zugleich muss die Feuchtigkeit durch Schwefelsäure weggenommen werden. Auch ohne die Luftpumpe kann man durch zweckmässige Einrichtung des Apparates einen Raum ganz mit luftfreier Kohlensäure anfüllen und diese dann wie vorhin absorbiren lassen; indessen gehört dazu grösserer Zeitaufwand.

§ 82. *Aufgabe 1.* Der Stiefel einer Luftpumpe enthält, den Kolben abgerechnet, 40 Kubikzoll, der Recipient nebst dem Kanal 160 Kubikzoll, die Dichtigkeit der darin enthaltenen Luft sei 1; wie gross ist dieselbe nach 16 Kolbenzügen?

Antwort. 0,028156 . . . (s. die oben gegebene Formel.)

Aufgabe 2. Wenn die Barometerprobe nach einer gewissen Anzahl Kolbenzügen einen Stand von 4 Millimetern im verschlossenen Schenkel über dem offenen zeigt; wie stark ist alsdann die Luftverdünnung, wenn das Barometer auf 740 Millimeter steht?

Antwort. $\frac{4}{740} = \frac{1}{185}$

Aufgabe 3. Wenn die Verdünnung der Luft durch eine in Quecksilber getauchte, vom Recipienten abzweigende Röhre angegeben wird und hierin das Quecksilber bei einem äusseren Stande des Barometers von 27'' 6''' auf 25'' gehoben wurde; wie gross war dann die Dichtigkeit der Luft im Recipienten, wenn die der freien Luft mit 1 bezeichnet wird?

$$\text{Auflösung. } x : 1 = (330 - 300) : 330$$

$$x : 1 = 30 : 330$$

$$x = \frac{1}{11} = 0,0909 \dots$$

Aufgabe 4. Die von *Otto v. Guericke* im Jahre 1654 vor dem Reichstag zu Regensburg angewandten Halbkugeln, welche 24 Pferde nicht aus einander reissen konnten, hatten einen Durchmesser von 22 Zoll. Welcher Druck sollte hier überwunden werden, wenn man den Atmosphärendruck zu 15 Pfd. auf den Quadratzoll annimmt?

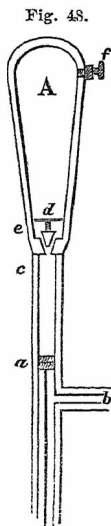
Antwort. 5702 Pfd.

Aufgabe 5. Welchen Druck hat man zu heben, wenn man den Kolben einer Luftpumpe von 3 Pariser Quadratzoll, bei einem inneren Barometerstand von 1 Linie und einem äusseren von 28 Zoll, emporheben will? Es soll von der Reibung abgesehen werden.

Antwort. 41,866 Pfd.

Aufgabe 6. Ein Körper von 12 Kubikdecimeter Inhalt wog in der Luft 6 Kilogramm. Wenn nun das spezifische Gewicht der angewandten Gewichte so viel grösser ist, als das des gewogenen Körpers, dass man den durch dieselben in der Luft erlittenen Gewichtsverlust demjenigen des gewogenen Körpers gegenüber vernachlässigen kann; wie viel würde dann das Gewicht im luftleeren Raum betragen? (Gewicht eines Kubikdecimeters Luft $\frac{1000}{770}$ Gramm).

Antwort. 6015,84 Gramm.



§ 83. Wenn man die Hähne oder Ventile der Luftpumpe in ihrer gegenseitigen Stellung ändert, so wird aus der Verdünnungspumpe eine Verdichtungs- oder *Compressionspumpe*. Dazu müssen beim Niedergang des Kolbens die Hähne d und e (s. Fig. 40) geschlossen, beim Aufgang der Hahn d geschlossen, e geöffnet sein. Bei der, Fig. 44 gezeichneten Ventilluftpumpe muss ebenfalls beim Niedergang alles, auch das Ventil im Kolben geschlossen, beim Aufgang das Bodenventil geschlossen, das Kolbenventil geöffnet sein.

Soll ferner die Compression auf die Luft im Recipienten ausgeübt werden, so muss dieser, der bei der Luftverdünnung durch den äusseren Luftdruck an den Teller angeedrückt wird, durch eine mechanische Vorrichtung daran festgehalten werden. Es ist im Vorigen schon auf einige Erscheinungen aufmerksam gemacht worden, welche sich in dieser comprimierten Luft beobachten lassen.

Sollen grössere Quantitäten von Luft oder anderen Gasen einem sehr hohen Drucke ausgesetzt werden, so bedient man sich der *Nutterer'schen* Druckpumpe, deren Haupttheile in der Fig. 48 gezeichnet sind. Sobald der Kolben a bei seiner durch ein Getriebe veranlassten, auf-

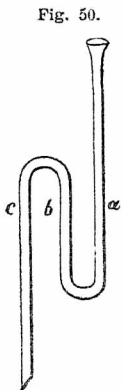
und niedergehenden Bewegung unter die Seitenöffnung *b* kommt, so strömt durch diese in den Stiefel *c* das zu comprimirende Gas aus einem Entwicklungsapparat oder einem anderen Behälter und erfüllt denselben. Beim Aufgang des Kolbens verschliesst dieser erst die Seitenöffnung, sperrt ihre Verbindung mit dem oberen Theile des Stiefels dann ab und presst endlich das Gas in demselben zusammen; dieses hebt dann das Kegelventil *e*, welches durch die Feder *d* an seine Oeffnung ange-drückt wird, und tritt in das eiserne Gefäss *A* ein, wo es durch seinen eigenen Druck gleich beim Rückzug des Kolbens das Ventil wieder einpresst, bis beim Zusammendrücken wieder der Druck im Stiefel grösser als der im Gefässe wird, wo es dann wieder gehoben wird und so weiter. Eine durch eine Schraube verschlossene Oeffnung bei *f* dient nach dem Oeffnen zum Austretenlassen des comprimierten Gases in ein luftdicht anzuschraubendes Gefäss aus starkem Glase.

Mittelst dieses Apparates sind die auf den Druck von 1—2 Tausend Atmosphären ausgedehnten Versuche angestellt worden, welche bisher als Maassstab für die Verdichtbarkeit oder Nichtverdichtbarkeit der Gase gelten.

Sollen nun kleinere Mengen eines Gases einem nicht allzu hohen Drucke ausgesetzt werden, so kann man sich auch eines Glasgefässes bedienen, in welchem die Röhre mit dem Gase in einem Quecksilbergefässe steht, worauf man das Ganze mit Wasser füllt und dann noch mehr Wasser in das überall dicht geschlossene Gefäss pumpt. Dadurch wird das Quecksilber in der Röhre in die Höhe getrieben und presst das Gas darin mittelst einer Kraft zusammen, welche durch ein daneben stehendes Manometer gemessen wird.

Endlich kann man auch geringe Mengen von Gasen durch ihren eigenen Druck zusammenpressen. Wenn man z. B. in einem geschlossenen Raum, etwa einer zweckmässig geformten, sehr starken Glasröhre 10 mal so viel einer gewissen Gasart entwickelt, als sie bei gewöhnlichem Luftdruck enthalten kann, so muss das Gas, wenn die Röhre vollkommen dicht bleibt, auf $\frac{1}{10}$ seines Volumens zusammengepresst sein; es befindet sich also dann unter einem Drucke von 10 Atmosphären. Auf diese Weise werden in Kleinem diejenigen Gase zu Flüssigkeiten comprimirt, bei welchen kein allzuhoher Druck dazu erforderlich ist.

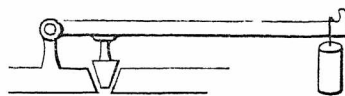
Um den Druck von comprimierten Gasen zu messen, bedient man sich



entweder des Manometers oder der belasteten Ventile. Diese bestehen aus kegelförmigen Metallstücken, welche genau in eine Oeffnung des Gefässes passen und entweder

direct oder mittelst eines Hebelarmes (Fig. 49) belastet sind. Aus dieser Last und der unteren Oberfläche (Druckfläche) des Ventils berechnet man leicht den Druck auf einen beliebigen Theil des Gefässes in dem Momente, wo das Ventil gehoben wird, d. h. wo der Druck im Inneren eben beginnt, den Druck auf das Ventil zu überwinden.

Sicherheitsventile für chemische Apparate, worin der Druck plötzlichem Wechsel unterworfen ist, bilden auch die Welter'schen Sicherheitsröhren. Wenn z. B. die S-förmig gekrümmte Röhre Fig. 50 mit einem solchen Apparate in Verbindung steht, so muss eine Flüssigkeit in derselben



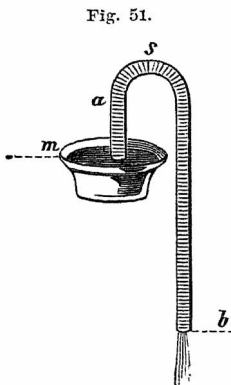
in den beiden Schenkeln a und b gleich hoch stehen, so lange im Inneren des Apparates gar keine Spannung stattfindet; so wie aber durch Erhitzung, Gasentwicklung u. s. w. der Druck im inneren steigt, so steigt die Flüssigkeit in dem Schenkel a und der Unterschied der Flüssigkeitsoberfläche bei a und b gibt die Höhe des inneren Druckes an. Wenn dieser nun aus irgend einer Ursache (durch Absorption der Gase u. s. w.) tiefer sinkt als der Atmosphärendruck, so wird die Flüssigkeit in a sinken und b steigen, und endlich, wenn die dem Apparate zugekehrte Krümmung bei c überschritten ist, in diesen abfließen. Dadurch wird die Verbindung mit der äusseren Luft und das Gleichgewicht mit derselben hergestellt, mithin jede nachtheilige Wirkung der Druckveränderung, ein Aufsaugen der Sperrflüssigkeit u. s. w. unmöglich gemacht. Die hier gezeichnete Form der Sicherheitsröhren ist die einfachste; alle anderen beruhen auf demselben Princip.

§ 84. Durch den Druck der Atmosphäre und die Wirkung der comprimirtten Luft erklären sich noch mehrere Apparate und Instrumente, welche wir hier näher besprechen wollen.

Von dem *Stechheber* ist schon früher die Rede gewesen; seine untere Oeffnung muss so klein sein, dass nicht die Luft neben dem austretenden Wasser eintreten kann.

Der *Heber* ist eine gekrümmte Röhre (Fig. 51), deren Schenkel ungleiche Länge haben. Füllt man dieselbe mit einer Flüssigkeit und taucht den kürzeren Schenkel in ein damit gefülltes Gefäss, so dass das Ende des längeren tiefer liegt, als das des kürzeren Schenkels, so läuft die Flüssigkeit durch den Heber aus. Wenn der längere Schenkel ebenfalls in Flüssigkeit taucht, so dauert das Ausfließen so lange, bis diese und die ausfließende gleiche Oberflächen haben. Die Ursache dieser Erscheinung ist folgende: Auf ein Wassertheilchen im oberen Theile des Hebers s finden von beiden Seiten verschiedene Drucke statt. An der Seite des Schenkels a ist der Druck auf den Theil s gleich dem Atmosphärendruck, minus dem Druck der Flüssigkeitssäule von m (Spiegel der Flüssigkeit) bis s. An der anderen Seite ist er gleich dem Atmosphärendruck minus dem Drucke der Säule von b nach s. So lange die senkrechte Höhe dieser Säule grösser ist als jene, so lange ist der Druck an der Seite von b geringer und das Wasser muss nach dieser Seite ausfließen; dass dadurch nicht bei s ein leerer Raum entsteht, erklärt sich daher, dass wenn ein solcher auf einen Augenblick entstehen sollte, er sofort durch den Luftdruck von a her ausgefüllt werden würde, was natürlich so lange der Fall ist, als in s nicht über 32 Fuss hoch ist.

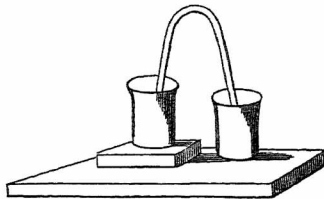
Der Druck an der einen Seite ist so lange geringer als der an der anderen, als daselbst nicht die Oberfläche der Flüssigkeit gleich hoch oder höher als an jener Seite steht. So lange das Wasser frei ausfließt, reicht es also hin, dass das freie Heberende unterhalb des eingetauchten Heberendes steht. Wenn aber beide Heberenden eintauchen, so hängt das Ausfließen von der gegenseitigen Höhe der Flüssigkeit ab. Der untergetauchte Theil des Hebers nämlich kommt bei seiner Wirkung nicht in Betracht, indem sich in demselben der äussere und innere Druck aufhebt. Nur in dem freien Theil bedingt der Unterschied des Druckes von



Wasser und Luft eine Differenz und mithin eine Bewegung. Die Menge des ausfliessenden Wassers ist abhängig von der Grösse des wirksamen Druckes, d. h. von dem Unterschiede in der Oberfläche des Wassers und der Mündung des Hebers. Folgende

Versuche werden die verschiedenen Fälle augenscheinlich machen. Man krümme eine Glasröhre über einer Spiritusflamme nach der Gestalt eines Hebers mit gleich langen Schenkeln (Fig. 52), fülle sie (nach dem Erkalten) durch Saugen oder behutsames Eingiessen mit Wasser und tauche jedes Ende in ein Glas mit Wasser. Wenn man beide Gläser

Fig. 52.



sie nicht bis zu gleicher Höhe gefüllt sind, Wasser aus dem volleren in das leerere fliessen, bis die Oberfläche des Wassers in beiden gleich steht. Giesst man dann in das eine Wasser nach, so wird so viel davon zum anderen übergehen, dass das Niveau stets gleich bleibt. Hebt man das eine Glas in die Höhe, ohne den Heber aus dem Wasser im anderen herauszuziehen (s. d. Fig.), so fliesst aus dem höheren in das tiefere Wasser, und wenn man kurz, ehe das Fliessen aufhört, das andere Glas in die Höhe hebt, so fliesst das Wasser wieder zurück in das vorhin leer gewordene.

Auch wenn man den längeren Schenkel eines ungleichschenkligen Hebers in's Wasser taucht, kann unter Umständen dasselbe ausfliessen. So lange nämlich der Spiegel desselben höher als die äussere Mündung steht, fliesst das Wasser ab. In diesen und allen ähnlichen Fällen wird man bemerken, dass die Geschwindigkeit des ausfliessenden Wassers durch die drückende Höhe bedingt ist.

In manchen Fällen ist es sehr unbequem, den Heber durch Saugen oder Eingiessen zu füllen; man bringt dann wohl ein besonderes Saugrohr an demselben an, oder man füllt jeden Schenkel von oben durch ein Ventil und giesst dann, ehe man den am Ausflussschenkel befindlichen Hahn öffnet, durch ein ganz oben befindliches Ventil die letzte Krümmung voll.

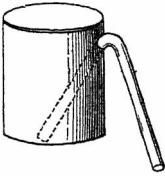
Wenn man einen Heber erst in einem bestimmten Zeitpunkt wirken lassen will, ohne einen Hahn daran anbringen zu können, so braucht man nur das Gefäss, in welches die Flüssigkeit fliessen soll, so hoch zu halten, dass die darin befindliche Flüssigkeit mit derjenigen, welche abfliessen soll, in gleicher Höhe steht, und in dem bestimmten Momente etwas tiefer sinken zu lassen, so wird in diesem der Ausfluss beginnen.

Endlich kann man auch den Heber ohne weitere Vorrichtung von dem gefüllten Gefässe aus füllen, wenn man ihn so anbringt, dass die Flüssigkeit bis über seine Krümmung steigen kann. Dann wird er durch den inneren Druck gefüllt und fängt gleich, nachdem die Flüssigkeit einen Punkt erreicht hat, welcher über dem höchsten Punkte der Heberkrümmung liegt, in Folge des inneren höheren Druckes an zu fliessen. Einmal voll, hört er nicht eher auf, bis er — bei freier *äusserer* Oeffnung — nicht mehr in die innere Flüssigkeit eintaucht. Auf dieser Erscheinung beruhen eine Menge physikalischer Spielereien, wie der Zauberheber und Ähnliches, sowie manche Anwendungen des Hebers in der Technik!

Man kann sich leicht einen Apparat construiren, welcher dieses deutlich zeigt.

Aus einem rechteckigen Stück Guttapercha rolle man einen Cylinder, schmelze die Enden des Stückes durch Erwärmen mit einem heissen Eisen und Zusammenpressen zwischen zwei Brettchen aufeinander, und passe auf die eine Oeffnung einen runden Boden durch Zusammenschmelzen der Ränder auf. Wenn nach hinlänglichem Erkalten das Ganze Festigkeit erlangt hat, so prüfe man das Gefäss auf seine Dichtheit durch Eingiessen von Wasser und schmelze etwa undichte Stellen nach dem Erkalten durch Ueberfahren mit einem heissen Eisen zu. Nun biege man eine Glasröhre nach der Gestalt eines ungleichschenkligen Hebers, bohre mit einem Messer ein Loch in die Wand des Gefässes, etwa 1 Zoll unterhalb des offenen Randes desselben, in welches die Glasröhre mit Mühe eingepasst werden kann, schneide den kürzeren Schenkel des Hebers genau so weit ab, dass er von diesem Loche an bis sehr nahe auf den Boden des Cylinders reicht, setze den Heber in diesen ein und kitte ihn in die Wandung fest. Dies geschieht am leichtesten, indem man innen und aussen ein Streichen Guttapercha an die Berührungsstelle von Glasröhre und Cylinderwand legt und mit einem heissen Stück Glasröhre fest anschmilzt. Der so hergestellte Apparat hat dann die Gestalt der Fig. 53.

Fig. 53.



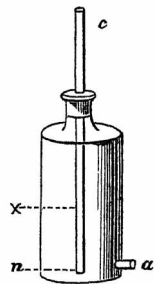
Wenn man ihn nun etwas höher stellt als ein unter das offene Heberende gestelltes Gefäss, und ihn dann allmählich mit Wasser füllt, so wird nicht eher etwas auslaufen, bis das Gefäss bis über die Biegung des Hebers, also beinahe gänzlich gefüllt ist, wo dann aber das ganze Gefäss entleert wird.

Eine Anwendung dieser Vorrichtung zum Entleeren von grossen Gefässen, ohne vorläufige besondere Füllung des Hebers, findet z. B. in der Zuckersiederei zum Entleeren der Scheidekessel statt. Natürlich muss alsdann, um die Entleerung in einem bestimmten Momente je nach Belieben geschehen lassen zu können, der Heber mit einem Hahn versehen sein.

§ 85. Die *Mariotte'sche Flasche* (Fig. 54) ist ebenfalls unschwer herzustellen. Das Loch a in der Seitenwand irgend einer Flasche bohrt man mittelst des viereckigen Stieles einer runden Feile unter Benetzung mit etwas Kampherlösung in Terpentinöl. Der Kork b muss mittelst einer runden Feile durchbohrt sein und recht luftdicht in die Flasche passen. Bei a setzt man zweckmässig ein kleines Röhrchen, am einfachsten aus Guttapercha, ein, welches leicht in die Oeffnung zu dichten ist.

Wenn nun das Ganze die gezeichnete Anordnung hat, d. h. wenn die Röhre c bis zu einem Punkte n unterhalb der Oeffnung a reicht, so fliesst anfangs ein wenig Wasser bei a aus, was aber nur so lange dauert, bis das Wasser in der Röhre bei der Höhe von a steht, weil alsdann der Druck der Luft dem Druck des Wassers und der über demselben befindlichen Luft das Gleichgewicht hält. Zieht man nun die Röhre so in die Höhe, dass ihr unteres Ende oberhalb a, etwa bei x steht, so beginnt der Ausfluss wieder und zwar mit einer Geschwindigkeit, welche durch die Höhe x a bedingt ist, indem die Spannkraft der Luft über dem Wasser durch Blasen, welche durch die Röhre eindringen, stets auf derselben Grösse gehalten wird. Je weiter man die Röhre hinaufzieht, desto höher wird die unterhalb des Luft Eintritts befindliche,

Fig. 54.



also wirksame Wassersäule. Der Ausfluss ist so lange constant, als die Oberfläche der Flüssigkeit nicht unterhalb dieser Röhrenöffnung sinkt.

Statt das Wasser seitlich durch ein directes Rohr ausfliessen zu lassen, kann man auch einen Heber anwenden, der es an diese Stelle befördert (Fig. 55). Dieses Experiment ist dann leichter anzustellen und man kann sogar dazu, wenn man nicht im Korkbohren geübt ist, die jetzt im Handel vorkommenden durchbohrten Kautschukhütchen oder Stöpsel anwenden.

Solche Flaschen sind auch in chemischen Laboratorien häufig im Gebrauch, um regelmässig ausfliessende Flüssigkeitsmengen zu erhalten, deren Grösse leicht zu reguliren ist.

Fig. 55.

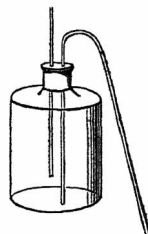
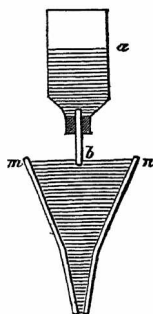


Fig. 56.



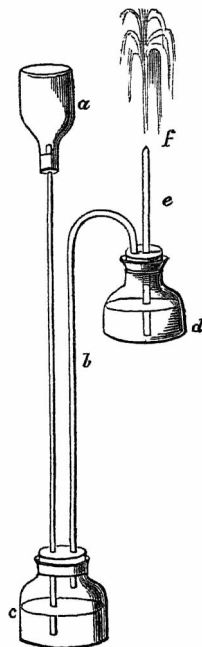
Dasselbe lässt sich auch auf andere Weise bewirken. So lange die Mündung des Gefässes a (Fig. 56) unter Wasser taucht, kann keine Luft in dasselbe eindringen, folglich kein Wasser ausfliessen; so wie aber die Oberfläche des Wassers unterhalb der Oeffnung der Röhre b sinkt, tritt, wenn dieselbe nicht zu klein ist, Luft ein und Wasser aus, welches dann sogleich den Flüssigkeitsspiegel hebt; so dass der weitere Ausfluss wieder gehemmt wird. Daher bleibt der Spiegel m n so lange auf derselben Höhe, wie die Flüssigkeit in a ausreicht, oder es sinkt und steigt vielmehr deren Oberfläche abwechselnd mit unbedeutenden Unterschieden. Statt das Wasser durch einen Trichter, den man bei dem anzustellenden

Versuche mit einem Papierfilter zu versehen hat, damit der Abfluss langsam geschehe, abfliessen zu lassen, kann man auch bei jeder anderen Art Abfluss den Zufluss auf diese Weise reguliren oder mittelst communicirender Gefässe in einem entfernteren Behälter den Flüssigkeitsstand gleich erhalten, wie dies z. B. bei den sog. Schiebelampen der Fall ist.

Den *Heronsball* und den *intermittirenden Brunnen* wollen wir gleichfalls hier erwähnen; bei ersterem wird das heftige Ausströmen des Wassers durch comprimirte Luft, bei letzterem das abwechselnde Fliessen und Stillstehen des Wassers durch Oeffnen und Schliessen des Luftzutrittkanals hervorgerufen. Der *Heronsbrunnen* lässt sich aber so leicht herstellen, dass wir diesen interessanten

Versuch nicht übergehen wollen. Der Apparat Fig. 57 ist unschwer aus Glasröhren und Fläschchen herzustellen. Der Behälter a ist ein umgekehrtes Medicinglas, von welchem man den Boden abgesprengt hat. Auch ein Trichter kann statt desselben gebraucht werden, nur muss er nicht zu klein sein. Die übrige Einrichtung ist aus der Figur ersichtlich. Die Wirkung wird dadurch hervor-

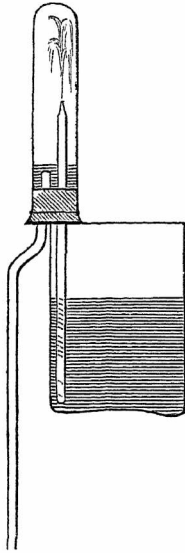
Fig. 57.



gebracht, dass die Luftsäule bei b durch die Wassersäule a bis c comprimirt wird und durch ihren Druck das Wasser bei d durch die Röhre e zum Steigen und Ausspritzen bei f bringt. Wenn man die Ausströmungsspitze etwas krümmt, so kann man es leicht dahin bringen, dass der etwas geneigte Strahl von f aus wieder in's Gefäß a zurückfällt, wodurch dieses Gefäß nicht so gross genommen zu werden braucht und doch das Spiel so lange dauert, wie Wasser in c ist. (Dass die Korke bei Anfertigung einer solchen Vorrichtung ebenfalls durch diejenigen aus vulkanisirtem Kautschuk ersetzt werden können, ist selbstredend.)

Endlich sei hier für Diejenigen, welche etwas geübter in Glasröhren-constructionen sind, ein

Fig. 58.



Versuch angeführt, welcher eine schöne Erläuterung mehrerer im Vorhergehenden erwähnten Gesetze gibt. Die Figur 58 gibt ohne Beschreibung den erforderlichen Apparat an. Die weite Röhre muss oben geschlossen sein; man nimmt dazu entweder eine Flasche mit weitem Halse oder eine durch ein Guttaperchastückchen verschlossene weite Glasröhre. Der Pfropf derselben muss sehr dicht schliessen und wird am besten aus einem Korkstöpsel gemacht, den man mit Guttapercha sorgfältig verkittet.

Wenn der Apparat zusammengestellt ist, so saugt man unten, bis das Wasser über der Mündung dieses Rohrs steht. Es entsteht dann durch dessen Ausfliessen ein luftverdünnter Raum darüber, in welchen das Wasser aus der zu einer Spitze ausgezogenen Röhre in Gestalt eines Springbrunnens durch den Luftdruck getrieben wird.

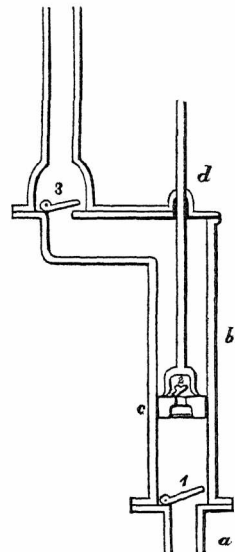
Auch kann man den Apparat als einen unterbrochenen Heber betrachten.

§ 86. Der Druck der Luft erklärt ferner auch die Wirkung der *Pumpen*, deren wir mehrere Arten zu unterscheiden haben:

1) Die *Saug- und Hebe-
pumpe* (Fig. 59) besteht aus

dem Saugrohr a, dem Stiefel b, dem Kolben c, dem Steigrohr d und den drei Ventilen 1, 2, 3, welche sich sämmtlich von unten nach oben öffnen. Das Saugrohr a taucht in's Wasser, welches zu heben ist; der Schluss des Kolbens im Stiefel, wie seiner Stange in der Stopfbüchse d muss vollkommen dicht sein. Die Wirkung ist folgende: Wenn der Kolben steigt, so schliesst sich 2; dagegen öffnen sich 1 und 3, ersteres durch die Verdünnung unter, letzteres durch die Verdichtung über dem Kolben. Zugleich steigt durch die Verdünnung unterhalb des Kolbens in Folge des grösseren äusseren Druckes das Wasser in die Saugröhre bis zu einer dem Grade der Verdünnung, also dem Verhältniss des Stiefelraumes zum Volumen der Steigröhre entsprechenden Höhe. Wenn nun der Kolben wieder niedergeht,

Fig. 59.



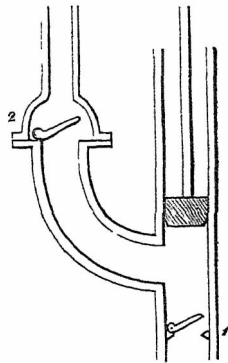
so schliessen sich 1 und 3 und es öffnet sich 2; das Wasser im Steigrohr bleibt in Folge des oberen Verschlusses auf seiner Höhe stehen. Beim nächsten Kolbenhub steigt das Wasser weiter, bis es endlich über das Ventil 1 kommt, das Ventil 2 hebt und alle Luft verdrängt hat. Bei jedem nun folgenden Niedergange des Kolbens geht eine neue Quantität Wasser durch 2 hindurch und wird beim nächsten Hub in die Höhe gehoben, worauf durch das Saugrohr eine gleiche Menge an ihre Stelle tritt. Auf seinem weiteren Wege steigt das Wasser natürlich über das Ventil 3, welches später dessen Zurückfallen verhindert, wenn etwa die Stopfbüchse nicht ganz dicht sein sollte. Natürlich hat der Kolben bei jedem Hub die ganze Wassermasse von seinem Ventil bis zur Ausflussöffnung zu heben und ausserdem das Wasser von seinem Ventil an bis zum Spiegel des Wasserbehälters. Es ist also im Ganzen eine Wassersäule zu heben, welche zur Basis den Querschnitt des Kolbens und zur Höhe die verticale Entfernung von der Wasserfläche zur Ausflussmündung hat; ausserdem ist auch noch die Reibung zu überwinden. Da das Eindringen des Wassers durch den Druck der Atmosphäre bewirkt wird, so kann das Wasser nur dann bis zum Ventile 1 dringen, wenn der Druck der Atmosphäre es so hoch heben kann, d. h. wenn das Ventil 1 nicht höher als 32 Fuss über dem Wasserspiegel steht, unter der Voraussetzung, dass der Wechsel des Barometers nicht einen niedrigeren Luftdruck anzeigt, und dass man im Stiefel einen vollkommen luftleeren Raum hervorbringen kann. Dies ist indessen bei dem unvermeidlichen schädlichen Raum zwischen 1 und 2 unmöglich und die zu hebende Wassersäule also stets geringer.

2) Die *Saug- und Druckpumpe* (gewöhnlich Druckpumpe genannt) unterscheidet sich von der vorhergehenden dadurch, dass der Pumpenkolben nicht durchbrochen ist und kein Ventil enthält, dass also auch das Steigrohr unterhalb demselben befindlich sein muss. Die Figur 60 zeigt die einfachste Construction derselben. Beim Aufgang des Kolbens tritt das Wasser durch 1 ein; beim Niedergang schliesst sich dieses Ventil und es öffnet sich 2; wenn das Wasser über 1 steht, so wird es beim Niedergang des Kolbens durch 2 hinausgedrückt, um bis zur Ausflussmündung zu steigen.

Die Ausführung dieser Pumpen ist ziemlich verschieden, je nach den Zwecken, welche sie erfüllen; so z. B. bringt die im Wasser enthaltene Luft die Nothwendigkeit mit sich, bei grossen Druckhöhen dieselbe fortzuschaffen, was durch zweckmässig im Kolben angebrachte verschliessbare Oeffnungen geschieht u. s. w.

3) Die *Feuerspritze* ist eine Druckpumpe, welche durch starke mechanische Kraft das Wasser auf grosse Entfernungen treiben kann. Damit der Strahl nicht bei jedem Hub unterbrochen wird, verbindet man nicht allein zwei Pumpen mit einander, von denen die eine niedergeht, während die andere steigt, sondern man bringt auch noch einen Druckbehälter an, den sogenannten Windkessel, in welchen das Wasser gepumpt wird, um von dort durch die eingeschlossene und durch das Eindringen des Wassers comprimirt Luft in einem continuirlichen Strahle fortgetrieben zu werden. Die Einrichtung des Getriebes u. s. w. ist sehr

Fig. 60.

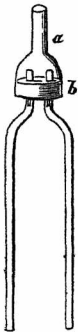


verschieden, das Princip aber stets dasselbe. Nur bei den neueren *Centrifugalpumpen* benutzt man die Centrifugalkraft des im Kreise herum bewegten Wassers, um es fortzutreiben. Dieselben sind gewissermaassen umgekehrte Turbinen, indem hier das Rad bewegt und dadurch das Wasser zu folgen gezwungen wird, während bei der Turbine umgekehrt das fallende Wasser das Rad im Kreise bewegt.

Bei der schon früher erwähnten *hydraulischen Presse* ist der den Druck ausübende Theil eine Saug- und Druckpumpe und nach dem oben Gesagten eine weitere Erklärung desselben nicht mehr nöthig; das emporgehobene Wasser wird dabei nur nicht nach einem Steigerrohr mit Ausflussmündung, sondern nach dem geschlossenen Raume mit beweglichem Einsatzcylinder gepresst. Dies wird nebst dem Früheren genügen, den Apparat verständlich zu machen.

§ 87. Es bleibt uns endlich noch das Aräometer von *Ham* (für Flüssigkeiten) zu erwähnen; dasselbe besteht aus einer zweiseitenkligen Röhre, deren Schenkel unten offen sind und aus deren oberer Krümmung ein drittes Rohr mit Sperrhahn sich abzweigt. Die beiden Schenkel tauchen in 2 Gefässe mit verschiedenen Flüssigkeiten, deren Dichtigkeiten verglichen werden sollen. Saugt man nun an dem Ansatzrohr; bis die leichtere Flüssigkeit möglichst hoch kommt, und verschliesst man dann den Sperrhahn, so steht die relative Höhe der gehobenen Flüssigkeitssäule im umgekehrten Verhältniss ihrer Dichtigkeit. Um sie genau messen zu können, dient eine Scala, an deren Nullpunkt die Oberflächen der Flüssigkeiten in den beiden Gefässen eingestellt werden müssen, was durch Stellschrauben geschieht. Die Erklärung dieses Apparates ergibt sich von selbst; er ist interessant genug, um ihn durch einen

Fig. 61.



Versuch nachzuahmen. Die Figur 61 zeigt den herzustellenden einfachen Apparat. a ist ein schmales Fläschchen mit engem Halse, dessen Boden abgesprengt ist, oder eine weite Röhre, welche man in eine enge Spitze ausgezogen hat. Die beiden Röhren müssen in den Stöpsel b dicht schliessen; dazu nimmt man entweder einen solchen aus vulkanisirtem Kautschuk oder einen gewöhnlichen Kork, der mit Guttapercha verkittet ist.

Tauchen die beiden Röhren in verschiedenen schwere Flüssigkeiten und saugt man bei a beide in die Höhe, so kann man die Oeffnung, wenn sie fein genug ist, mit dem Finger schliessen und dann beobachten, dass die gehobene Flüssigkeitssäule bei der dichten Flüssigkeit niedriger ist, als bei der weniger dichten.

§ 88. Die *Luftpumpe* dient auch dazu, die *specifischen Gewichte der Gase* zu bestimmen. Man nimmt dazu eine grosse Glaskugel, welche mit einem Hahn und einer Schraube versehen ist, mittelst deren man sie auf die Mündung des Kanals der Luftpumpe schrauben kann. Man macht diese Kugel luftleer, wägt sie, lässt sie dann sich mit trockener und kohlenstofffreier Luft anfüllen und wägt sie wieder. Mit dem erhaltenen Gewicht dieses Volumens Luft vergleicht man nun dasjenige desselben Volumens der anderen Gase, indem man die Kugel leer pumpt und mit einem anderen Gase sich anfüllen lässt, welches rein und namentlich von Feuchtigkeit frei sein muss.

Die Dichtigkeit folgt aus der Division des einen Gewichtes in das andere. Wenn z. B. das Gewicht der Luft im Ballon 200 Gramm und

das des anderen Gases 150 Gramm betragen hat, so ist das spezifische Gewicht des letzteren $\frac{150}{200} = 0,75$.

Wie schon früher erwähnt, ist die Dichtigkeit der Gasarten von dem Luftdruck abhängig und es muss also auf den Barometerstand Rücksicht genommen werden. Stellt man gleichzeitig den Versuch für die Luft und das andere Gas an, so ist die Veränderung, welche beide erleiden, gleich und man hat dann den Barometerstand nicht weiter zu beachten; anders verhält es sich, wenn ein für allemal das Gewicht der Luft bestimmt und nur noch das des gleichen Raumtheiles der Gase zu ermitteln ist.

Auch auf die Temperatur ist Rücksicht zu nehmen. Alle Dichtigkeiten der Gase werden auf 0° bezogen und bei anderen Temperaturen die Reduction auf diese Normaltemperatur vorgenommen, wie wir später noch näher ersehen werden. Wie die Dichtigkeiten der festen Körper und Flüssigkeiten auf die des Wassers, so werden die der Gase auf die der Luft als Einheit bezogen. Sollen also Dichtigkeiten der Gase auf Wasser als Einheit bezogen werden, so hat man folgende Zahlen, welche durch das Experiment, wie oben angegeben, gefunden worden sind, durch 770 zu dividiren, indem die Dichtigkeit der Luft bei 0° und dem Normalbarometerstand $\frac{1}{770}$ von derjenigen des Wassers, unter den Umständen, wo sie als Einheit gilt, beträgt:

Ammoniakgas	0,596	Phosphorwasserstoff	1,175
Atmosphärische Luft	1,000	Salzsäure	1,247
Chlor	2,470	Sauerstoff	1,105
Fluorsilicium	3,600	Stickstoff	0,972
Kohlenoxyd	0,967	Wasserstoff	0,068
Kohlensäure	1,525		

§ 89. Wenn mehrere Gase von ungleicher Dichtigkeit in demselben Raume befindlich sind, so ordnen sie sich nicht nach ihrer Dichtigkeit an, sondern sie vertheilen sich im Raume, als ob derselbe für jedes derselben luftleer wäre. Es gehört zwar eine gewisse Zeit dazu, ehe die Mischung vollständig geschieht, allein man findet schliesslich dennoch in jedem Theile des Raumes jedes der vorhandenen Gase. Diese *Diffusion* der Gase kann man dadurch nachweisen, dass man in einen Ballon z. B. die schwere Kohlensäure, in einen anderen das leichte Wasserstoffgas bringt und beide durch eine enge Röhre mit einander in Verbindung setzt. Man findet dann nach einigen Tagen in beiden sowohl Kohlensäure wie Wasserstoff, wenn auch der Ballon mit ersterer tiefer gestanden hatte, als der mit Wasserstoff.

Dieser Diffusion der Gase ist es zuzuschreiben, dass die Atmosphäre, obwohl aus verschiedenen Gasen von verschiedenem spezifischem Gewichte bestehend, dennoch überall gleiche Zusammensetzung zeigt.

Eine Ausnahme von diesem Gesetze der gleichmässigen Verbreitung in jedem, auch mit einem Gase erfüllten Raume, macht der Umstand, dass dasselbe Gas, wenn es im Zustande verschiedener Dichtigkeit *in Folge verschiedener Temperatur* in einen Raum kommt, darin nach seiner Dichtigkeit sich ordnet, so dass die kälteren, schwereren Schichten unten, die wärmeren, leichteren sich oben befinden. Auf diesen Fall kommen wir noch später zurück.

Eine Folge des oben ausgesprochenen Gesetzes ist es auch, dass die Expansivkraft oder der Druck mehrerer Gase in einem Raume gleich ist der Summe der Pressungen der einzelnen Gase. Der Luftdruck ist z. B. gleich der Summe der Pressungen des Sauerstoffs, Stickstoffs, der Kohlensäure und des vorhandenen Wasserdampfes.

Wer mit chemischen Operationen etwas vertraut ist, kann folgenden Versuch leicht anstellen: Man fülle von zwei gleichen Cylindergläsern das eine mit Wasserstoff und lasse in dem anderen die atmosphärische Luft; dann stelle man sie mit den Mündungen so auf einander, dass sich der Wasserstoff oben befindet. Wenn man nun nach einigen Minuten den Inhalt der beiden Gläser mit einem brennenden Fidibus untersucht, so wird man finden, dass, wenn die Mündungen nur einigermaßen dicht auf einander schliessen, Wasserstoff sowohl im oberen, wie im unteren Glase befindlich ist. Wenn man das Glas mit dem Wasserstoff zu unterst stellt, so findet man zwar nach sehr kurzer Zeit den Wasserstoff fast allein im oberen Glase, aber einige Minuten später befindet sich Wasserstoff sowohl im oberen wie im unteren.

Die Diffusion ist für manche Gase, z. B. Wasserstoff, so stark, dass dieselben selbst in Flaschen, die mit ihrer Oeffnung in Quecksilber eingetaucht sind, entweichen, um sich mit der Luft aussen und innen zu vermischen und ein vollkommener Schluss nur durch Zuschmelzen zu erzielen ist.

§ 90. Zwischen *Flüssigkeiten* und *Gasen* findet eine eigenthümliche Anziehung statt, welche sich durch Absorption der letzteren äussert. Die Quantität des von einer bestimmten Menge einer Flüssigkeit absorbirten Gases ist sehr von der Natur beider abhängig. Ausserdem ist sie bei *denselben Stoffen* von der Temperatur bedingt, indem sie von einem gewissen Punkte an sowohl mit steigender als mit wachsender Temperatur nach einem noch unbekanntem Gesetze abnimmt, das wohl für jeden Fall ein anderes sein dürfte.

Bei derselben Temperatur ist die Quantität des absorbirten Gases *abhängig vom Druck und demselben proportional*, wenn keine chemische Verwandtschaft im Spiel ist. Es nimmt z. B. 1 Volumen Wasser bei 15° und gewöhnlichem Atmosphärendrucke ein Maass Kohlensäure auf; befindet sich aber die Kohlensäure (und mithin das damit in Berührung stehende Wasser) unter einem Druck von 2, 3, 4 . . . n Atmosphären, so werden 2, 3, 4 . . . n Volumina aufgenommen. Wenn nach erfolgter Lösung der Druck nachlässt, so entweicht wieder ein entsprechender Theil des Gases, welcher dann nicht selten noch mehr davon mit herausreisst, so dass eine geringere Quantität zurückbleibt, als dem geringeren Drucke wirklich entspricht.

Die Gewichte der absorbirten Gase verhalten sich demnach, bei sonst gleich bleibenden Verhältnissen, wie der Druck, unter welchem die Absorption stattfindet, während das Volumen stets dasselbe bleibt, wenn man es auf ein Volumen bei gewöhnlichem Drucke reducirt.

Wenn man eine Flüssigkeit, welche von einem Gase eine gewisse Menge aufgenommen hat, mit einer anderen in Berührung bringt, so kann ein Theil des ersteren wieder daraus verdrängt werden. Die relativen Verhältnisse sind jedoch noch nicht allgemein bestimmt.

Auch die Berührung mit einigen festen Körpern oder mit Flüssigkeiten von geringerem Absorptionsvermögen kann die Menge absorbirbaren Gases vermindern. So entwickelt sich absorbirtes Gas, wenn man Metalle, Kohlen, auflöslliche Körper in die Lösung bringt. Daher kocht das Wasser in einem Gefässe leichter als im anderen, daher wird das

Sieden erleichtert, wenn man Kohlenstückchen oder Platinadraht in die Flüssigkeit bringt.

§ 91. Feste Körper üben ebenfalls auf die Gase eine Anziehung aus; poröse Körper einen um so grösseren, je zahlreicher die Poren in demselben Volumen, je grösser also die Oberfläche ist. Auch hier nennt man dieses Verdichten Absorption. Dass wir alle festen Körper als mit einer Atmosphäre des umgebenden Gases überzogen zu betrachten haben, welches sich darauf in einem Zustande der Verdichtung befindet, ist schon früher erwähnt worden; bei porösen Körpern ist die absorbirte Menge mancher Gase sehr bedeutend. Besonders zeigt die Kohle eine grosse Absorptionskraft. Ein Raumtheil frisch ausgeglühter Holzkohle vermag $1\frac{3}{4}$ Raumtheil Stickstoff, $9\frac{1}{4}$ Sauerstoff, 35 Kohlensäure, 90 Ammoniakgas zu verschlucken, Erscheinungen, welche in der Chemie einer genaueren Prüfung unterworfen zu werden pflegen und deren Gründe allein in einer Oberflächenwirkung zu suchen sind. Ueber die Art und Weise, wie diese Verdichtung stattfindet und in welchem Zustande sich das in die Poren aufgenommene Gas befindet, hat man noch keine Vorstellung; jedenfalls erlangt das Gas dadurch eine grosse Neigung, sich mit anderen Körpern chemisch zu verbinden. Da ausserdem auch bei starker Verdichtung Wärme frei wird, so entsteht nicht selten auf diesem Wege eine directe Verbindung des absorbirten Gases mit einem anderen oder mit dem absorbirenden Körper. Dies geschieht z. B. unter Umständen bei der Kohle, welche sich in dem verdichteten Sauerstoff entzündet, bei dem Wasserstoff, welcher sich mit dem gleichzeitig im Platinaschwamm absorbirten Sauerstoff verbindet u. s. w.

Die absorbirende Kraft der porösen Körper hängt namentlich von der Reinheit ihrer Oberfläche ab. Schon sehr geringe Mengen fremder Körper können dem Platinaschwamm seine Fähigkeit nehmen; es reicht alsdann eine Reinigung oder ein Ueberzug der Poren mit frischem Metall hin, die frühere Kraft herzustellen.

Durch Glühen, Behandeln mit Wasser und anderen Flüssigkeiten kann den porösen Körpern das verdichtete Gas wieder entzogen werden.

Dieselbe Anziehung, meist in noch grösserem Maasse, findet zwischen festen Körpern und Dämpfen, d. h. Substanzen, welche bei gewöhnlicher Temperatur sowohl gasförmig wie flüssig sein können, statt. Man lässt z. B. die Feuchtigkeit, welche in der Luft enthalten ist, durch Chlorcalcium absorbiren; thoniger Boden und Ackererde sind feucht, auch wenn es lange nicht geregnet hat, in Folge der absorbirten Feuchtigkeit der Luft. Natürlich erfolgt die Verdichtung von Gasen und Dämpfen an Oberflächen, die mit anderen Gasschichten überzogen sind, in anderer Weise, als an solchen, welche vollkommen rein sind, und es äussert sich diese Anziehungsveränderung namentlich auf Dämpfe, welche an der Oberfläche der festen Körper im festen oder flüssigen Zustande verdichtet werden. Aus diesem Umstande sind folgende Erscheinungen zu erklären, welche leicht zu bestätigen sind durch den

Versuch. Wenn man ein Petschaft von Metall oder Stein, welches nicht frisch gereinigt ist, auf eine frisch mit geglühtem Trippel abgeriebene Glasplatte setzt und es darauf etwa eine Stunde stehen lässt, so wird beim dann erfolgenden Anhauchen des Glases die Feuchtigkeit von der Stelle, die mit dem Metall in Berührung war, weniger verdichtet und das Bild des Petschaftes zeigt sich deutlich in der condensirten Feuchtigkeit.

War der Stempel durch starkes Erhitzen und Abreiben mit Trippel vorher ebenso wie die Glasplatte präparirt, so findet diese Erscheinung nicht statt.

Dieselbe lässt sich aber fixiren, wenn man statt der Glasplatte eine versilberte Metallplatte und statt des Hauches Quecksilberdampf anwendet.

Noch einfacher kann man den Versuch anstellen, indem man auf eine Glasplatte Figuren legt, die aus Kartenpapier ausgeschnitten sind, die Platte behaucht und nach dem Verschwinden der Feuchtigkeit die Figuren wegnimmt. Wenn man nun die Platte wieder behaucht, so zeigen sich dieselben Figuren und man kann den Versuch noch öfter und noch längere Zeit mit demselben Erfolge wiederholen.

Auf der Absorptionsfähigkeit der Kohle für manche Dämpfe und Gasarten beruhen viele ihrer Anwendungen in der Technik und in der Medicin. Man braucht sie nicht selten zur Aufnahme von Krankheitsstoffen aller Art, nicht allein zum Reinigen der Zimmerluft, sondern auch zur Wegnahme krankhafter Ausdünstungen in unmittelbarer Berührung mit den Kranken.

§ 92. Die *Dämpfe* verhalten sich den Gasen ganz analog; sie üben in Vermischung mit Gasen, zu denen sie keine chemische Verwandtschaft haben, bei gleicher Temperatur gleichen Druck wie in luftleeren Räumen aus und verändern bei zunehmender Dichte jener Gase ihre eigene Dichte und Expansivkraft nicht. Die Dämpfe verbreiten sich demnach, ebenso wie die Gase, in der Atmosphäre ganz so, als ob keine Luft vorhanden wäre; sie sind wohl zu unterscheiden von den nicht durchsichtigen, verdichteten Theilchen derselben, welche als Dunst oder Nebel auftreten, und die vielleicht einen Mittelzustand zwischen Gas und Flüssigkeit darstellen, jedenfalls aber den Gesetzen der letzteren mehr folgen als denen der ersteren.

Auch auf die Dämpfe wird durch feste und flüssige Körper Anziehung ausgeübt; wir kommen hierauf und auf die übrigen auf die Dämpfe bezüglichen Erscheinungen noch später bei Betrachtung der Wärme und der damit zusammenhängenden Erscheinungen zurück.

§ 93. Für die *Ausflussgeschwindigkeit der Gase* gelten dieselben Gesetze wie für die der Flüssigkeiten; der Druck, welcher bei diesen unmittelbar durch die Höhe der drückenden Flüssigkeit gemessen wird, wird jedoch bei den Gasen durch ein Manometer angegeben. Wenn z. B. Luft von atmosphärischem Druck in den luftleeren Raum einströmt, so ist der Druck, unter welchem dies geschieht, gleich dem einer Wassersäule von 10,4 Metern oder einer Luftsäule von 8008 Metern. Aus diesem Druck kann man nach denselben Formeln wie für die Geschwindigkeit des Wassers die der ausströmenden Luft berechnen. Ist der Druck in dem Gefässe, aus welchem die Luft ausströmt, nur gleich dem einer halben Atmosphäre, so ist zwar die drückende Säule nur halb so gross, aber auch die ausfliessende Luft nur halb so dicht; daher bleibt die *Ausflussgeschwindigkeit* beim Ausströmen in *den leeren* Raum stets dieselbe; die Ausflussmengen sind jedoch nach dem Druck verschieden.

Enthält der Raum, in welchen die Luft einströmt, bereits Luft von einer bestimmten Spannung, so wird nur die Differenz der Spannungen wirksam sein. Man kann sie durch eine Luftsäule ausdrücken und aus dieser als der allein drückenden die Ausflussgeschwindigkeit berechnen.

Die beobachtete Ausflussmenge ist auch für Gase geringer als die berechnete; der Unterschied ist sehr veränderlich und namentlich von der Druckhöhe abhängig und von ähnlichen Ursachen bedingt, wie bei den Flüssigkeiten. Ein Beobachten der Form des ausfliessenden Strahles ist für Gase nicht wohl möglich; doch ist es anzunehmen, dass Aehnliches wie bei den Flüssigkeiten auch hier stattfinden wird.

§ 94. Ebenso wie die Flüssigkeiten üben auch die Gase bei ihrem Ausströmen eine rückwirkende Kraft aus; dieselbe kommt bei dem Steigen der Raketen zur Anwendung und äussert sich beim Stossen der abgefeuerten Schiesswaffen. Dieser Stoss wächst im Allgemeinen mit dem Quadrate der Geschwindigkeit und mit der Masse der in einer Secunde zum Stossen kommenden Luft.

Eine eigenthümliche Erscheinung bietet die Luft dar, wenn sie aus einer Oeffnung gegen eine Scheibe ausströmt; die Scheibe wird dann nicht fortgeblasen, sondern vielmehr mit einiger Gewalt gegen die Ausströmeöffnung angedrückt. Der

Versuch ist leicht anzustellen. Ueber das Ende einer Glasröhre stecke man einen Kork, schneide denselben mit dem Ende der Röhre glatt ab und leime eine dünne Pappscheibe von 2—3 Zoll Durchmesser und einem Mittelloch, welches der Röhrenöffnung entspricht, daran. Dann schneide man eine zweite dünne Pappscheibe von gleicher Grösse (Fig. 62). Wenn man nun durch die Röhre bläst und die lose Scheibe in geringer Entfernung vor die Oeffnung hält, so fällt sie nicht herab, sondern oscillirt vor der Oeffnung so lange, bis man zu blasen aufhört.

Es muss sich nämlich der Luftstrom zwischen beiden Scheiben nach allen Seiten ausbreiten, und zwar um so mehr, je weiter er nach dem Rande kommt. Daher bildet sich hier ein luftverdünnter Raum, gegen welchen die Scheibe von aussen angedrückt wird.

Es zeigt sich dieselbe Erscheinung, wenn man ein Blättchen Papier unter die nahe zusammengedrückten Finger der Hand hält und dann zwischen zwei Fingern hindurch stark bläst. Das Blatt fällt dann ebenfalls nicht ab, sondern wird an die Hand angezogen.

Ob in Folge einer ähnlichen Erscheinung die Sicherheitsventile gleich nach dem Öffnen durch den ausströmenden Dampf nicht weiter abgeworfen, sondern angezogen werden und dadurch ihren Dienst versagen, ist zwar nicht mit Sicherheit ermittelt, scheint aber sehr wahrscheinlich.

§ 95. *Aufgabe 1.* Der Rauminhalt des Recipienten einer Compressionspumpe sei 36 Kubikzoll, der des Stiefels 12 Kubikzoll; wie viel Kolbenzüge sind erforderlich, um das Gas im Recipienten auf $\frac{1}{100}$ seines eigentlichen Volumens zusammenzupressen?

Auflösung. Es müssen noch 99. 36 Kubikzoll hinzugepumpt werden, was durch 297 Kolbenzüge geschieht.

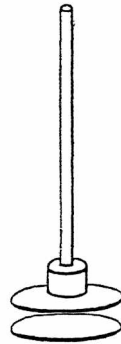
Aufgabe 2. Welchen Druck hat eine cylindrische Compressionsbüchse auszuhalten, wenn ihre Gesammtoberfläche 40 Quadratcentimeter beträgt und das darin befindliche Gas auf $\frac{1}{50}$ seines Volumens zusammengepresst ist?

Antwort. 1487,52 Kilogramm.

Aufgabe 3. Die Oberfläche des Kolbens einer Pumpe sei 5 Quadrat-zoll, die Höhe vom Wasserspiegel zur Ausflussmündung sei 15 Fuss; die Reibung betrage $\frac{1}{5}$ der theoretischen Kraft; durch wie viel Pfund wird die Kraft ausgedrückt, welche gerade ausreicht, dem Druck des Wassers und der Reibung das Gleichgewicht zu halten?

Antwort. Nahe 51 Pfund.

Fig. 62.



§ 96. Da, wie oben gesagt, das Archimedische Princip für Gase wie für Flüssigkeiten gilt, so müssen Körper, welche dasselbe Gewicht wie das gleiche Volumen Luft besitzen, ihr ganzes Gewicht in der Luft verlieren, folglich darin schweben bleiben; ist ihr Gewicht noch geringer, so müssen sie darin in die Höhe steigen. Des Diffusionsvermögens der Gase wegen findet dieses bei *freien* Gasen nur in beschränktem Maasse, d. h. auf kurze Zeit statt; wenn aber die Gase in eine dichte Hülle eingeschlossen sind, so kann man die Verhältnisse so treffen, dass diese *mit* dem Gase zusammen leichter als das gleiche Volumen Luft ist. Dies ist das Princip des *Luftballons*.

Der erste Luftballon, welchen die Gebrüder *Montgolfier* im J. 1783 construirten, war mit erwärmter Luft angefüllt. Später wandte *Charles* das Wasserstoffgas dazu an, welches eine weit geringere Dichtigkeit und daher eine grössere Steigkraft besitzt, so zwar, dass sehr kleine Ballons leicht in die Höhe gehen. Seit man in neuester Zeit das Leuchtgas in so grosser Menge zu billigen Preise fabricirt, ist dieses zum Füllen grosser Luftballons am häufigsten angewandt worden. Sein specifisches Gewicht ist zwar weit höher, als das des Wasserstoffes, allein wo es nicht darauf ankommt, sehr bedeutende Höhen zu erreichen, kann man mit einem *sehr grossen* Leuchtgasballon denselben Effect erzielen wie mit einem kleineren Wasserstoffballon, und demnach weit billiger das Experiment ausführen. Dass ein grosser Ballon verhältnissmässig grössere Steigkraft besitzt als ein kleiner, rührt, unter sonst gleichen Verhältnissen, daher, dass das Volumen desselben, mithin auch das der verdrängten Luftmasse, im Verhältniss des Cubus des Radius wächst, während die Oberfläche, also das Gewicht der Hülle, nur im Verhältniss des Quadrats des Radius zunimmt. Eine grössere Masse Gas bedarf also *nicht* in demselben Verhältniss auch einer grösseren Hülle und hat daher verhältnissmässig weniger an dieser zu tragen. Es bleibt also bei einem grossen Ballon weit mehr für die noch möglicherweise zu hebende Anhängelast übrig als bei einem kleineren.

Wenn der Luftballon höher steigt, so gelangt er in immer dünnere Schichten der Atmosphäre; er wird endlich in eine solche kommen, dass das Gewicht der verdrängten Luft nicht mehr grösser ist, als sein eigenes; dann wird er die Grenze seines Steigens erreicht haben.

Auf der anderen Seite dehnt sich das im Luftballon enthaltene Gas durch den verminderten Luftdruck aus. Deshalb muss der Ballon anfangs nicht ganz gefüllt werden, oder man muss einen Theil des Gases durch ein Ventil hinauslassen können. Dieses ist auch erforderlich, wenn der Ballon wieder herabfallen soll. Kennt man das Volumen des aufgeblasenen Ballons und das Gewicht der Hülle nebst angehängter Last, so lässt sich nach dem Barometerstand im Voraus die möglicherweise erreichbare Höhe berechnen und daraus die Quantität Gas ermitteln, welche der Ballon, ohne zu platzen, erhalten darf. Indessen geschieht dies in der Praxis selten, indem die Temperatur des Gases und der Luft ohnehin zu umständliche Correctionen erforderlich machen würden.

Zur Uebung und zur Einprägung der ausgesprochenen Gesetze mögen hier einige Aufgaben folgen.

§ 97. *Aufgabe 1.* Ein Luftballon von 25 Fuss Durchmesser soll mit so viel Wasserstoff gefüllt und alsdann so beschwert werden, dass er bis zu einer Höhe aufsteigt, wo der Druck noch 700 Millimeter beträgt; wie viel Wasserstoff ist zur Füllung erforderlich?

Auflösung. Inhalt des Ballons 8181,25 Kubikfuss; Volumen des Wasserstoffs, welches bei dem gegebenen Druck diesen Inhalt erfüllt, 7535,362 Kubikfuss.

Aufgabe 2. Wenn man das Gewicht der Hülle zu 50 Pfund 862 Loth annimmt und das specifische Gewicht des Wasserstoffs bei der Temperatur der Füllung 0,0693 beträgt; wie viel Belastung kann alsdann der Ballon tragen?

Auflösung. Die durch obige Menge Wasserstoff verdrängte Luft
wiegt 20722,24 Loth;
der Wasserstoff 1436,04 „

Aus der Differenz und dem Gewichte der Hülle folgt als Tragkraft
550 Pfund.

DRITTER ABSCHNITT.

WÄRMELEHRE.

V. Die Wärme überhaupt und die Wärmemesser.

§ 98. Ueber die Natur der *Wärme* haben wir noch keine sichere Vorstellung; wir bemerken nur ihre Wirkungen auf das Gefühl, auf die Form und den Zustand der Körper. Am verbreitetsten ist jetzt die neuere Ansicht, dass die Wärmerscheinungen durch die *Bewegungen* eines Aethers hervorgebracht werden, in derselben Weise, wie wir dies später für das Licht erfahren werden. Allein diese Theorie ist noch zu wenig ausgebildet und eignet sich zu wenig zur leichtfasslichen Erklärung mancher Thatsachen, als dass es nicht gerathener erschiene, die ältere Meinung anzunehmen, wonach die Wärme ein eigenthümlicher, unwägbarer Stoff ist, durch dessen Eintreten in die Körper das Gefühl der Wärmezunahme und bei dessen Austreten das Gefühl der Wärmeabnahme oder der Kälte hervorgebracht wird.

Dass die Wärme in der That unwägbar sei, das thun zahlreiche Versuche dar, welche alle ergeben, dass derselbe Körper bei den verschiedensten Wärmegraden stets genau dasselbe Gewicht besitzt, wenn nicht durch die zu grosse Erhitzung eine chemische Veränderung hervorgebracht worden ist.

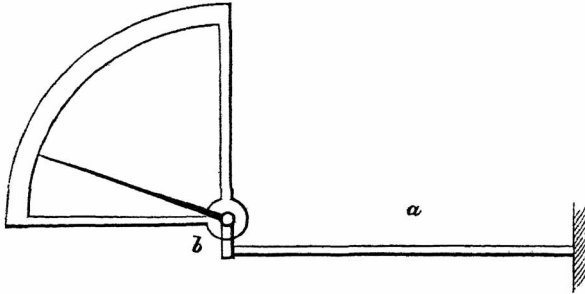
Dagegen verändert die Wärme das *Volumen der Körper*, und dies ist die Wirkung derselben, welche uns zunächst beschäftigen soll.

Als Grundgesetz gilt folgendes: Alle Körper werden durch Wärmezunahme ausgedehnt, durch Wärmeabnahme zusammengezogen.

Versuch. Man suche eine nicht zu kleine Kugel von Blei, Eisen oder Messing, und einen Metallring zu erhalten, in welchen sie bei gewöhnlicher Temperatur gerade hindurchgesteckt werden kann. Wenn man nun die Kugel durch eine Spirituslampe oder auf einem stark erhitzten Ofen heiss werden lässt, so wird sie nicht mehr durch den Ring hindurchgehen, sondern so lange darauf liegen bleiben, bis sie beim Abkühlen ihre frühere Grösse wieder angenommen hat.

Genauer zeigt man diese Ausdehnung durch die Wärme durch den auf folgender Seite gezeichneten Apparat.

Fig. 63.



Die erwärmte Metallstange *a* (Fig. 63) stösst mit ihrem freien Ende gegen das kürzere Ende des Hebels *b*, welcher an seinem längeren Ende mit einem Zeiger versehen ist, wodurch die Längenunterschiede deutlicher sichtbar werden.

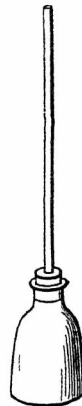
Dasselbe wird durch folgende Erscheinungen bewiesen: Ein Topf, welcher in der Kälte lose in den Ofenring passt, geht, nachdem er erhitzt, der Ring aber kalt geblieben ist, nur mit Mühe hinein; Plättbolzen dürfen nicht knapp in die Eisen passen, weil sie sonst in der Hitze gar nicht hineinzubringen wären. Eiserner Radreifen spannt man heiss um das Rad, damit sie sich durch das Zusammenziehen beim Erkalten fest daran anlegen; Eisenbahnschienen dürfen nicht dicht an einander stossen, weil sie sonst bei Temperaturerhöhungen der Atmosphäre an der Ausdehnung verhindert würden und sich krümmen müssten.

Ähnliche Erscheinungen trifft man in der Technik und der Metallbearbeitung in zahlloser Menge an und es möge nur noch hier eine Anwendung angedeutet sein, welche man davon gemacht hat, um grosse Kräfte auszuüben; dieses einzelne Beispiel von vielen möge hiefür genügen. Um zwei etwas gewichene Mauern an einander zu ziehen, verankerte man in die eine sehr fest einige eiserne Stangen, die durch die andere hindurchgingen und von aussen erst mit weit übergreifenden Schraubenmuttern versehen wurden, als man sie durch Hitze möglichst ausgedehnt hatte; beim Erkalten zogen sie sich mit solcher Gewalt zusammen, dass die Mauern gerade gerichtet wurden.

Was für die festen Körper gilt, gilt auch für die flüssigen und gasförmigen.

Versuch. In eine Medicinflasche passe man einen genau schliessenden Kork ein, durch welchen ein Loch gebohrt ist zur Aufnahme einer langen und engen Glasröhre (Fig. 64). Man fülle die Flasche vor dem Einsetzen des Korkes mit Wasser oder bequemer mit der blauen, schon früher (§ 59) angewandten Flüssigkeit so an, dass, wenn man den Kork einsetzt, die Flasche ganz und ohne Luftblasen gefüllt ist und die Flüssigkeit noch einige Linien hoch in der Glasröhre steht (s. d. Figur). Dazu muss diese glatt an der unteren Fläche des Korkes abgeschnitten sein. Nun erwärme man die Flüssigkeit in der Flasche, indem man das Ganze in warmes, allmählich zu erhitzen Wasser eintaucht. Man wird die Flüssigkeit in der engen Röhre durch die Ausdeh-

Fig. 64.



nung der ganzen Menge mehr und mehr steigen sehen. Diese wird hier dadurch sichtbar gemacht, dass man den Raum, in welchem sie sich ausdehnen kann, im Verhältniss zu der sich ausdehnenden Menge sehr klein nimmt.

Versuch. Man leere die vorhin angewandte Flasche aus, stecke die Röhre etwas tiefer hinein und halte diese so geneigt, dass das freie Röhrende in eine Schale mit Wasser taucht; dann erwärme man die Flasche erst mit der Hand, dann mit einer Spirituslampe. Zahlreiche Luftblasen werden durch das Wasser austreten, indem sich die Luft in der Flasche ausdehnt und in dem Raum nicht mehr Platz hat. Lässt man während des Erkaltes die Röhre ebenfalls untergetaucht, so tritt eben so viel Wasser, als vorhin Luft entwichen war, in den Raum zurück, da sich die Luft auf ihr früheres Volumen zusammenzieht und Wasser in den leeren Raum gedrängt wird.

Sollte der Versuch nicht so gelingen, dass schon bei der geringsten Erwärmung mit der Hand Luftblasen erscheinen, so ist dies ein Beweis dafür, dass der Kork nicht dicht schliesst; man kann dem Uebelstande durch das schon mehrfach erwähnte Dichten mit Guttapercha leicht abhelfen.

Auch auf andere Weise noch kann man die Ausdehnung der Luft sichtbar machen. Die enge Röhre lasse man so tief in die Flasche reichen, dass sie deren Boden fast berührt, giesse dann so viel von der blauen Flüssigkeit in die Flasche, dass sie etwas über der Röhrenöffnung steht, und erwärme nun den oberen Theil der Flasche mit der Hand. Die sich ausdehnende Luft drückt dann die Flüssigkeit in die Röhre und in dieser aufwärts. Ist die Erwärmung hinreichend stark, so tritt die Flüssigkeit wohl oben hinaus, und beim Erkalten dringt dann durch die Röhre Luft in die Flasche.

Alle diese Versuche beweisen, dass sich *alle* Körper in der Wärme ausdehnen. Verwandte Erscheinungen gibt es eine Menge. Namentlich ist die Ausdehnung der Flüssigkeiten in manchen Fällen ein sehr hervortretender Umstand; so bei der Ausdehnung des Oeles, des Spiritus u. s. w. in Fässern, die, wenn sie bei niedriger Temperatur ganz gefüllt sind, in grösserer Wärme gesprengt werden.

§ 99. Alle Instrumente, die Wärme zu messen, beruhen darauf, dass man die Ausdehnung misst, welche gewisse Körper in der Wärme erleiden, und diese in verschiedenen Stadien der Erwärmung vergleicht. Die Instrumente, welche hierzu dienen, heissen *Thermometer*.

Meistens bedient man sich des *Quecksilbers* zur Construction der Thermometer; man bringt dasselbe in eine Glaskugel, welche mit einer engen Röhre verbunden ist. Beim Erwärmen tritt das Quecksilber um so weiter in die enge Röhre, je stärker die Erwärmung ist, und zwar nimmt es bei derselben Erwärmung stets denselben Stand in der Röhre ein. Zwei Thermometer werden zusammen steigen und fallen, aber der Unterschied des Quecksilberstandes für gleichen Wärmeunterschied hängt von dem Verhältniss der Röhrenweite zum Kugelhinhalt ab.

Um ein solches Instrument zum Messen der Wärme zu gebrauchen, muss es *graduirt* werden; dazu benutzt man den Umstand, dass bestimmte Erscheinungen stets bei bestimmten Temperaturen eintreten, bezeichnet den Standpunkt des Quecksilbers in diesen Temperaturen und theilt den Unterschied in eine bestimmte Anzahl gleicher Theile, welche man Grade nennt.

Sollen diese Grade auch genau dieselbe Ausdehnung des Quecksilbers darstellen, so müssen die dadurch angegebenen Röhrentheile

gleich viel Quecksilber enthalten, d. h. die Glasröhre muss überall vollkommen gleich weit, also genau cylindrisch sein.

Um die mit dem Behälter für das Quecksilber versehene, der Empfindlichkeit wegen sehr feine Glasröhre mit Quecksilber zu füllen, treibt man durch Erhitzen einen Theil der Luft aus dem Ganzen aus und lässt es erkalten, während das offene Röhrenende in Quecksilber getaucht ist. Das eintretende Quecksilber erhitzt man dann zum Sieden, um alle Luft auszutreiben, kehrt wieder die offene Spitze in Quecksilber um und lässt so viel davon eintreten, dass die Kugel und ein Theil der Röhre erfüllt wird. Hierauf schmilzt man die Röhre so zu, dass entweder keine Luft darin bleibt (was man durch Ausdehnung des Quecksilbers bis an die zuzuschmelzende Spitze bewirkt), oder man bringt an der Spitze ein kleines Behältniss für die Luft an, welche beim Steigen des Thermometers sich darin sammelt. Versäumt man diese Maassregeln, so kann das starke Steigen des Quecksilbers die Luft in der Röhre so zusammendrücken, dass diese gesprengt wird.

§ 100. Die beiden festen Punkte, welche zur Eintheilung des Thermometers dienen, sind der des schmelzenden Schnees und des siedenden Wassers. Eine Mischung von Wasser und gestossenem Eis oder Schnee besitzt nämlich eine unveränderliche Temperatur und das Quecksilber steht in einer solchen Mischung stets auf demselben Punkt.

Diesen Punkt nennt man den *Gefrierpunkt* und bezeichnet ihn mit 0. Wird das Wasser zum Kochen erhitzt, so erhöht es auch bei Vermehrung der zuströmenden Hitze seine Temperatur nicht. Der Punkt, bis zu welchem ein Thermometer steigt, welches in siedendes Wasser getaucht ist, heisst der *Siedepunkt*. Seine Lage hängt, wie wir später sehen werden, von dem atmosphärischen Druck, von der Reinheit des Wassers und der Natur des Gefässes ab. Unveränderlich bleibt er, wenn der Barometerstand 760 Millimeter beträgt und man das Thermometer in den entweichenden Dampf taucht und von demselben ganz umhüllen lässt.

Der Raum zwischen dem Siedepunkt und dem Gefrierpunkt wird verschieden eingetheilt. Beim *Reaumur'schen* Thermometer wird er in 80, beim *Celsius'schen* oder *hunderttheiligen* Thermometer in 100 gleiche Theile getheilt. Das Wasser kocht also unter den angegebenen Umständen bei 80° Reaumur (80° R) oder bei 100° Celsius (100° C). Die einzelnen Grade sind demnach bei diesen beiden Thermometerarten ungleich; ein Grad Reaumur ist gleich $\frac{4}{5}$ ° Celsius. Bei den *Fahrenheit'schen* Thermometern wird der Gefrierpunkt mit 32°, der Siedepunkt mit 212° bezeichnet und der Zwischenraum also in 180 gleiche Theile getheilt. Der Nullpunkt dieses Thermometers liegt demnach 32 Fahrenheit'sche Grade unterhalb des Gefrierpunktes.

Bei allen Thermometern setzt man die vorstehend angegebene Eintheilung nach unten und oben noch fort; die Temperaturgrade über dem Nullpunkt bezeichnet man mit +, die unter demselben mit —. Zu bemerken ist dabei, dass die Ausdehnung des Quecksilbers, wie wir später noch näher erfahren werden, in der Nähe seines Siedpunktes und seines Gefrierpunktes nicht gleichmässig ist, dass also die Angaben eines Quecksilberthermometers über + 360° und unter — 30° ungenau sind.

Da 4° R = 5° C, so ist die Umwandlung der Angaben nach der einen in solche nach der anderen Scala sehr leicht; sollen aber Fahrenheit'sche Grade (das Fahrenheit'sche Thermometer ist in England besonders üblich) z. B. in hunderttheilige umgewandelt werden, so ist erst die Zahl 32 abzuziehen, weil der Nullpunkt 32 Fahrenheit'sche Grade höher liegt als beim Celsius'schen Thermometer, und dann die bleibende

Anzahl mit $\frac{5}{9}$ zu multipliciren, indem ja $180^\circ \text{ F} = 100^\circ \text{ C}$ sind. Bei einer umgekehrten Reduction sind die Celsius'schen Grade erst mit $\frac{9}{5}$ zu multipliciren und dann 32 zum Product hinzu zu zählen. Sollen zur Reduction Reaumur'sche Grade angewendet werden, so ist $\frac{4}{5}$ für $\frac{5}{9}$ zu setzen u. s. w.

Um Temperaturen zu beobachten, welche tiefer als -30° liegen, wendet man Weingeistthermometer an und färbt den Weingeist, um ihn in der engen Röhre besser sehen zu können, mit Cochenille. Da der Weingeist bei allen bisher hervorgebrachten niederen Temperaturen noch nicht erstarrte, so kann er für alle Kältegrade dienen. In höheren Temperaturen sind aber die Weingeistthermometer wegen der Nähe des sehr niedrig liegenden Siedepunktes des Weingeistes nicht genau, indem die Ausdehnung des Weingeistes dabei sehr unregelmässig erfolgt.

Sollen die Thermometer zu sehr scharfen Beobachtungen dienen, so hat man dafür zu sorgen, dass die Zwischenräume für jeden Grad möglichst gross ausfallen. Je grösser die Kugel und je enger die Röhre, desto grösser die Grade, desto weniger leicht empfindlich wird aber auch die grössere Metallmasse für schnelle Aufnahme der Temperaturveränderungen. Um bei solchen Thermometern die unbequeme Länge zu vermeiden, construirt man sie jedesmal nur für geringe Temperaturunterschiede.

§ 101. Um den höchsten und den niedrigsten Stand der Temperatur während eines gewissen Zeitraumes auch noch *nach* Ablauf desselben zu beobachten, bedient man sich des *Maximum-* und des *Minimumthermometers*, welche folgende Einrichtung haben. Auf einer kleinen Tafel sind *horizontal* ein Quecksilber- und ein Weingeistthermometer befestigt. In dem ersteren befindet sich an der Spitze der Quecksilbersäule ein kleiner Metallstift, welcher das Quecksilber bei seiner Ausdehnung vor sich her stösst, beim Zusammenziehen aber liegen lässt, weil er nicht davon benetzt wird. Das dem Quecksilber zugekehrte Ende des Stiftes gibt also die höchste Temperatur an, zu welcher das Thermometer gestiegen war. In dem Weingeistthermometer dagegen befindet sich ein kleiner Cylinder von Glas mit einem Knöpfchen, welches von Weingeist benetzt, umhüllt aber nur beim Fallen des Thermometers mitgezogen wird, weil das Knöpfchen am Ende der Flüssigkeitssäule liegt und die Adhäsion derselben durch seine Trägheit nicht zu überwinden vermag; beim Steigen jedoch bleibt es an seiner Stelle liegen, weil das Knöpfchen nicht mehr am Ende der Flüssigkeit befindlich ist; mithin zeigt das Ende dieses Cylinders den tiefsten Punkt an, bis zu welchem das Thermometer gefallen war.

Um die höchste Temperatur zu messen, welche z. B. in der Tiefe eines Bohrloches stattfindet, senkt man in dasselbe ein oben offenes, mit einem kleinen Gefässe versehenes und ganz mit Quecksilber gefülltes Thermometer hinab. Bei steigender Temperatur fliesst das sich ausdehnende Quecksilber in das zweckmässig angebrachte Gefäss über und aus seiner Menge kann man nach dem Herausziehen leicht die stattgefundene Temperatur ermitteln.

§ 102. Auch andere Körper als Quecksilber und Weingeist benutzt man zur Herstellung von Thermometern. Die Ausdehnungsgrösse der verschiedenen Körper ist für gleiche Temperaturunterschiede verschieden, und wenn man daher einen Stab, welcher aus zwei verschiedenen Metallstäben besteht, die der Länge nach zusammengesetzt sind, einer wechselnden Temperatur aussetzt, so muss er eine entsprechende Krümmung annehmen, und wenn er schon gekrümmt war, so muss sich seine

Krümmung vermehren oder vermindern. In dem *Metallthermometer* wird diese Krümmungsänderung in ähnlicher Weise auf einen Zeiger übertragen, wie bei dem Aeroidbarometer, und durch Vergleich mit einem gewöhnlichen Thermometer die Scala entsprechend bezeichnet.

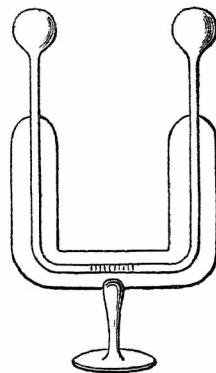
Bei *Breguet's* Thermometer ist der für die Wärme empfindliche Körper ein aus mehreren Metallen zusammengelötheter Streifen, der spiralförmig gewunden ist, an einem Ende aufgehängt ist und am anderen einen Zeiger trägt, welcher auf einer kreisförmigen, nach einem gewöhnlichen Thermometer regulirten Scala die Temperatur anzeigt.

Auch die Luft kann man zu Temperaturbeobachtungen benutzen, insofern ihre Ausdehnung ebenfalls zwischen gewissen Grenzen eine gleichmässige ist. Dazu sperrt man ein gewisses Volumen Luft durch etwas Quecksilber ab und beobachtet deren verschiedenes Volumen an den Bewegungen des Quecksilbertropfens. Diese Thermometer erfordern aber, wenn ihre Angaben maassgebend sein sollen, umständliche Correctionen in Bezug auf die Ausdehnung des Glases. Wie empfindlich sie sein müssen, davon kann man sich leicht durch den

Versuch überzeugen, indem man in die Röhre des oben (§ 98) beschriebenen Versuchs einen Tropfen Wasser bringt: schon die Wärme der in die Nähe der Flasche gebrachten Hand wird ihn zu einer Bewegung veranlassen. Ausser durch diese Empfindlichkeit haben die Luftthermometer auch noch den Vortheil, dass sie in allen Temperaturgraden gebraucht werden können, und es kann die Luft, wenn auch nicht zum genauen Messen, so doch zum vergleichungsweise Beobachten von Veränderungen sehr hoher Temperaturen benutzt werden.

Um sehr geringe Temperaturdifferenzen zu beobachten, benützt man das *Differentialthermometer* (Fig. 65), welches ebenfalls ein Luftthermometer ist. Beide Kugeln sind mit Luft angefüllt, in der Verbindungsröhre befindet sich ein Tropfen gefärbter Flüssigkeit, welcher bei dem geringsten Temperaturunterschied nach der kälteren Kugel hinbewegt wird. Durch Vergleich mit einem gewöhnlichen Thermometer kann man eine Scala auch hier anbringen. Das Instrument wird vorzüglich benützt, um die von gewissen Wärmequellen ausstrahlenden geringen Wärmemengen zu beobachten, indem man leicht die eine Kugel denselben aussetzt, die andere durch einen Schirm davor schützen kann. Schon die in die Nähe gebrachte Hand bewirkt eine starke Bewegung des Anzeigetropfens.

Fig. 65.



Wenn man die Glaskugeln durch sehr dünnwandige Metallkugeln ersetzt, so wird das Instrument noch empfindlicher, und wenn man eine flüchtige Flüssigkeit zum Index wählt, so addirt sich der aus derselben in beiden Kugeln in ungleichem Maasse entwickelte Dampf noch zu der Wirkung der Luft.

Endlich benützt man die unter gewissen Umständen sich durch die Wärme entwickelnde Electricität zum Messen sehr geringer Wärmemengen. Wir werden dies später unter dem Abschnitt *Thermo-Electricität* weiter besprechen.

§ 103. Um hohe Wärmegrade zu beobachten, bedient man sich der *Pyrometer*. Die bekanntesten dieser noch sehr unvollkommenen und keine bestimmte Vergleichungspunkte darbietenden Instrumente sind

folgende: der *Luftpyrometer* besteht aus einer hohlen Platinakugel, aus welcher um so mehr Luft entweichen muss, je höher die Temperatur steigt. Die während des Erkalten in die mit Wasser abgesperrte Kugel eindringende Wassermenge dient als Maassstab für die Hitze. Das Pyrometer von *Daniell* besteht aus einem Cylinder von Platina, welcher in einem hohlen Cylinder von Reissblei (Graphit und Thon) so befindlich ist, dass noch ein hohler Raum über ihm übrig bleibt. In der Hitze dehnt sich das Platina mehr aus, als der umgebende Cylinder von Reissblei, und treibt dadurch einen Porzellancylinder, welcher dicht auf dem Platina ruht, hervor. In Folge der Zusammenziehung des Reissbleies wird beim Erkalten das Zurücktreten des Porzellancylinders verhindert, und die Länge, um welche er hervorgetrieben worden, kann also gemessen und als Maassstab für die Temperatur benutzt werden.

Bei dem Pyrometer von *Wedgewood* wird die Eigenschaft des Thons benützt, in der Hitze, um so mehr zusammenzusintern, je höher die Temperatur steigt, und nach dem Erkalten das geringere Volumen beizubehalten. Ein aus zwei etwas gegen einander geneigten Metallstäben bestehendes Instrument dient dazu, die Thoncylinder vor und nach dem Versuch genau zu messen.

In der Porzellanmanufactur bedient man sich einer Porzellanplatte, auf welcher eine Goldverbindung aufgestrichen ist, um aus den Farbenveränderungen, welche dieselbe bei verschiedenen Temperaturen erleidet, die Hitze des Ofens zu bemessen.

Da alle diese Instrumente eines regelmässigen und gleichmässigen Ganges entbehren, so sind auch alle Bestimmungen über höhere Temperaturen nur als sehr ungenau zu betrachten. Diejenigen, welche am häufigsten vorkommen, sind die nach *Wedgewood's* Pyrometer, obwohl das Luftthermometer, wenn es gut mit einem Quecksilberthermometer verglichen ist, am ehesten genaue Resultate liefern kann.

VI. Die Ausdehnung durch die Wärme.

§ 104. Die Ausdehnung der verschiedenen Körper ist, wenn sie ein regelmässiges, nach allen Richtungen hin gleichförmiges Gefüge haben, eine nach allen Richtungen gleichförmige. Wo dies nicht der Fall ist, z. B. bei Krystallen, welche nicht zum regulären System gehören, ist die Ausdehnung nach verschiedenen Richtungen ungleich. Einige wenige Körper machen eine Ausnahme von dem allgemeinen Gesetze, so das *Wasser* (s. u.) und viele Metalle, welche vor dem Schmelzen eine Zusammenziehung oder vor dem Erstarren aus dem flüssigen Zustande eine Ausdehnung erfahren.

Die Ausdehnung der Körper steht zur Wärme innerhalb der Grenzen von 0° bis 100° C im Verhältniss zur Wärme; in höheren Temperaturen und in der Nähe des Schmelz- oder Siedepunktes ist die Ausdehnung verhältnissmässig grösser.

Die Zahl, welche ausdrückt, um wie viel ein Meter, Zoll oder andere Längeneinheit eines Körpers sich bei der Erwärmung um 1° C ausdehnt, heisst der *Ausdehnungscoefficient der Länge* für diesen Körper. Wenn z. B. eine Meterlänge Zink sich von 0° — 100° so ausdehnt, dass das Metall

die Länge von 1,0033 Meter erhält, so ist die Ausdehnung für diesen Temperaturunterschied 0,0033 und der Ausdehnungscoefficient mithin 0,000033.

Um die Längenausdehnung der verschiedenen Körper zu bestimmen, kann man sich eines Instrumentes bedienen, welches der oben, Figur 63, gezeichneten Vorrichtung entspricht. Natürlich gehört eine genaue Messung der Länge und ein Mittel dazu, dem untersuchten Körper in seiner ganzen Länge dieselbe Temperatur zu ertheilen, für welche die Ausdehnung gemessen werden soll.

Bei einem anderen Instrumente zu demselben Zwecke lässt man den zu untersuchenden Körper durch seine Ausdehnung einen verticalen Stab um eine Achse sich bewegen, wodurch ein horizontales Fernrohr aus seiner Lage gebracht wird. Durch Messung der Verrückung des Fernrohrs an einer entfernt angebrachten Scala kann man die Ausdehnung sehr genau ermitteln.

Auch durch zwei Fernrohre kann man namentlich für hohe Temperaturgrade die Ausdehnung mit grosser Schärfe messen, indem man dieselben für 0° parallel und so stellt, dass man durch jedes ein Ende des Stabes, dessen Ausdehnung gemessen werden soll, sehen kann. Nach der Erwärmung ist eine Drehung des einen Fernrohrs (wenn der andere Endpunkt des Stabes unveränderlich bleibt) nothwendig, um das entsprechende Ende wieder durch das Rohr sehen zu können. Der Winkel, um welchen das Fernrohr gedreht werden musste, gibt den Anhaltspunkt für die Berechnung.

Auf diese oder ähnliche Art ist der Ausdehnungscoefficient für die meisten festen Körper bestimmt worden. Um einen Begriff ihrer Grösse zu geben, lassen wir hier nur einige Angaben folgen und verweisen wegen grösserer Tafeln auf speciellere Werke und Tafelsammlungen, z. B. die schon früher angeführte von *Schubarth*.

Blei . . .	0,00002848	Kupfer . . .	0,00001717
Stabeisen . . .	0,00001167	Zink . . .	0,00003331
Glas . . .	0,00000862	Eis . . .	0,00005180
Gold . . .	0,00001552		

Nennt man a den Ausdehnungscoefficienten (für 1° C), t die Anzahl Grade, um welche eine gewisse Temperatur höher als diejenige ist, bei welcher die Länge eines Stabes gemessen worden, so folgt aus dem Begriffe des Ausdehnungscoefficienten, dass die Länge eines Stabes, welcher bei irgend einer Temperatur l ist, bei der um t ° höheren Temperatur $l + a l t = l(1 + a t)$ sein muss.

§ 105. Ein Würfel, dessen Seite l ist und sich bei einer bestimmten Temperaturerhöhung um die Länge l' ausdehnt, hat also bei dieser höheren Temperatur die Seite $l + l'$. Sein Volumen war früher l^3 , jetzt ist es also

$$l^3 + 3l^2 l' + 3l l'^2 + l'^3$$

Die Vergrösserung des Volumens oder die körperliche Ausdehnung beträgt demnach

$$3l^2 l' + 3l l'^2 + l'^3$$

Betrachtet man die ursprüngliche Länge als die Einheit, so reducirt sich dieser Ausdruck auf $3l l' + 3l'^2 + l'^3$.

Nun ist aber l' stets ein sehr kleiner Bruch; daher ist die Grösse l'^2 und l'^3 gegen die übrigen verschwindend klein und kann vernachlässigt werden. Es bleibt also für die körperliche Ausdehnung nur der

Werth $\frac{1}{31}$ übrig. Ohne bemerkliche Fehler kann man also sagen: Die körperliche Ausdehnung ist gleich dem Dreifachen der linearen oder Längenausdehnung.

Directe Versuche, welche zur experimentellen Bestimmung der kubischen Ausdehnung verschiedener Körper dienten, haben dieses Gesetz bestätigt.

Man wendet die Ausdehnung der Metalle mit Erfolg zur Compensation der Uhrpendel und der Uhrunruhen an. Man stellt die Pendel nämlich aus mehreren Metallstäben so zusammen, dass das Gewicht an seinem Ende zwar durch die Ausdehnung der Stange vom Aufhängepunkt entfernt, durch diejenige anderer Metallstäbe aber wieder um eben so viel genähert wird, so dass schliesslich die Länge des Pendels dieselbe bleibt. Auch bei der Unruhe bewirkt die Wärme die Annäherung eines daran befestigten Gewichtes zum Centrum, wodurch die Verlängerung der Feder gerade ausgeglichen wird.

§ 106. Für *elastisch flüssige* (gasförmige) Körper kann natürlich nur von der körperlichen Ausdehnung die Rede sein. Dieselbe wird durch den directen Versuch gefunden, indem man ein Instrument anwendet, welches mit dem Luftthermometer viel Aehnlichkeit hat; dabei ist jedoch wohl auf die Ausdehnung des Glases, worin das Gas eingeschlossen ist, Rücksicht zu nehmen, indem man dieselbe vorher genau bestimmen und dann in Rechnung ziehen muss. Dass die zu untersuchenden Gase vollkommen rein und namentlich frei von Wasserdampf sein müssen, versteht sich wohl von selbst.

Die Ausdehnungscoefficienten, wie sie für die einzelnen Gase gefunden worden sind, ergeben das Mittel, die Volumina bei verschiedenen Temperaturen zu berechnen. So lange nämlich das Gas nicht dem Punkte nahe ist, wo es flüssige Form annimmt, ist die Ausdehnung der Wärmezunahme proportional, und wenn wir also den Ausdehnungscoefficienten a nennen, so wird das Volumen v bei einer Wärmezunahme von t° zum Volumen

$$v + a v t = v (1 + a t)$$

Ist v das Volumen bei 0° , so ist für die Temperatur t° überhaupt das Volumen

$$v (1 + a t)$$

Hieraus folgt auch der Weg, wie man aus dem bei t° beobachteten Volumen v_t das Volumen v_0 für 0° berechnen kann, denn, wenn

$$v_t = v_0 (1 + a t) \text{ ist, so ist}$$

$$v_0 = \frac{v_t}{1 + a t}$$

In allen chemischen Berechnungen, bei welchen vom Volumen der Gase auf deren Gewicht zu schliessen ist, findet dies Anwendung (s. u. Aufgaben).

Der Ausdehnungscoefficient für die atmosphärische Luft beträgt 0,003665; derjenige der anderen Gase ist davon nur wenig verschieden und man hat sogar lange Zeit angenommen, dass *alle* Gase sich um dieselbe Grösse ausdehnen. Auch der Druck ist nicht ohne Einfluss auf die Grösse der Ausdehnung, indessen kann für die gewöhnlichen Fälle dieser Einfluss vernachlässigt werden.

Die Ausdehnungscoefficienten — unter der oben angegebenen Beschränkung — sind für

Wasserstoff . . . 0,0036613
Kohlensäure . . . 0,0037099

Sauerstoff 0,003685
Schweflige Säure . 0,003856

Man wird nicht übersehen, dass sie bedeutend grösser, zum Theil mehr als hundertmal so gross wie die der festen Körper sind.

Die Beschreibung der Versuche, welche zur Ermittlung dieser Werthe, von denen besonders derjenige für die Luft von der grössten Wichtigkeit für andere physikalische Versuche ist, übergehen wir hier als zu umständlich.

Die Ausdehnung der *tropfbar flüssigen* Körper ist ebenfalls für viele derselben mit grosser Genauigkeit bestimmt worden. Von der grössten Wichtigkeit ist die des Quecksilbers und des Wassers, als der bei physikalischen Versuchen oder in der Natur am häufigsten vorkommenden Flüssigkeiten. Man unterscheidet die relative und die absolute Ausdehnung. Erstere ist diejenige Volumenvermehrung, welche man bei in Gefässen eingeschlossenen Flüssigkeiten beobachtet; letztere ist die eigentliche Ausdehnung derselben, wenn man sie frei, uneingeschlossen denkt. Da sich hohle Gefässe wie die ausgefüllten Körper ausdehnen, so wirkt die Ausdehnung des Gefässes derjenigen der darin enthaltenen Flüssigkeit entgegen und die absolute Ausdehnung ist also grösser als die relative. Letztere bezieht man in der Regel auf *Glasgefässe* als die am meisten angewandten. Der Einfluss der Gefässe ist nicht bei allen Temperaturen derselbe, indem die Ausdehnung in höheren Temperaturen sehr ungleichförmig wird. Die Ausdehnungscoefficienten für einige Flüssigkeiten sind folgende:

Quecksilber . . .	0,00018	Leinöl	0,00072
Wasser	0,00042	Alkohol	0,00111
Schwefelsäure . . .	0,0085		

Für die Wärmezunahme von 0°—100° beträgt demnach die Ausdehnung für

Quecksilber	$\frac{1}{55,55}$	Leinöl	$\frac{1}{13,8}$
Wasser	$\frac{1}{23,8}$	Alkohol	$\frac{1}{9}$

Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme bedingt nothwendig eine Aenderung des specifischen Gewichtes. Indem nämlich dieselbe Masse ein grösseres Volumen einnimmt, wird die Quantität der in *einem bestimmten* Raume befindlichen Masse mit steigender Temperatur *geringer*, das Gewicht des *gleichen* Raumes und also das specifische Gewicht ebenfalls kleiner. Umgekehrt wird beim Zusammenziehen durch Erkalten mehr Masse in denselben Raum gebracht und das specifische Gewicht also erhöht. Wenn alle Körper gleiche Ausdehnung erlitten, würden die specifischen Gewichte bei allen Temperaturen in *demselben* Verhältnisse bleiben; da jenes aber nicht der Fall ist, so müssen die einmal bestimmten Verhältnisse sich mit jeder Temperaturveränderung ändern. Man bestimmt daher die specifischen Gewichte alle für dieselbe Temperatur von 0°, auf welche erforderlichen Falls auch sämtliche Reductionen zu machen sind. Dies ist namentlich für die Gase, deren Ausdehnungscoefficienten verhältnissmässig sehr bedeutend sind, von grossem Einflusse.

§ 107. Von allen bekantnen Körpern macht das *Wasser* in Bezug auf den Einfluss der Wärme auf sein Volumen eine merkwürdige Aus-

nahme. Dasselbe zieht sich nämlich beim Erkalten aus höheren Temperaturen allerdings zusammen, jedoch nicht so, dass diese Contraction wie bei anderen Körpern regelmässig der Temperaturabnahme entspräche. Es hört vielmehr die Zusammenziehung bei 4° (nach Anderen bei $4,1^{\circ}$ oder bei $4,08^{\circ}$) auf und geht bei einer Erkalting unterhalb dieser Temperatur in eine Ausdehnung über, so dass wir hier den eigenthümlichen Fall haben, dass eine Wärmeabnahme (von 4° bis 0°) eine Ausdehnung bewirkt. Da mit der Ausdehnung des Volumens die Abnahme des specifischen Gewichtes zusammenhängt, so folgt, dass das Wasser beim Erwärmen von 0° bis 4° sein specifisches Gewicht vergrössert und von 4° bis weiter wieder vermindert. Das Wasser besitzt also, abweichend von allen anderen Substanzen, ein *Dichtigkeitsmaximum* bei 4° .

Setzt man das Volumen des Wassers bei 0° gleich 1, so ist sein Volumen bei 4° 0,999877 und wird bei 8° 0,999986, bei 9° 1,000048.

Aus diesem Grunde hat man als Einheit der specifischen Gewichte dasjenige des Wassers bei 4° angenommen.

Unterhalb 0° , also nach dem Gefrieren folgt das Wasser, als Eis, dem Ausdehnungsgesetz aller festen Körper, d. h. es zieht sich bei weiterem Erkalten zusammen.

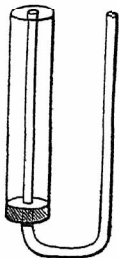
Die Ausnahme, welche das Wasser von dem allgemeinen Gesetze der Ausdehnung bildet, bedingt eine Menge Erscheinungen in der Natur, ja die Möglichkeit des ganzen organischen Lebens in den gemässigten und kalten Klimaten der Erde überhaupt. Wenn das Wasser nämlich beim Erkalten bis 0° immer dichter würde, so würden wir die kältesten Schichten stets am Boden der Gewässer finden und es würde sich das Eis an dieser Stelle bilden und so das Wasser von unten nach oben schnell zu einer Masse gefroren sein, welche durch später eintretende Wärme nur äusserst langsam, bei grosser Tiefe und kurzem Sommer gar nicht zum Aufthauen kommen könnte, weil das oben schwimmende Wasser das Eindringen der Wärme verhindern würde.

Indem aber das Wasser nur bis zu 4° an Dichtigkeit zunimmt, so sinkt es beim weiteren Erkalten so lange zu Boden, bis die ganze Masse die Temperatur von 4° besitzt; bei fortgesetztem Erkalten aber bleiben die kälteren Schichten, weil specifisch leichter, oben und gefrieren also auch hier zuerst; das Eis, welches leichter als das Wasser ist, schwimmt darauf und schützt sogar das Wasser vor der Abnahme der Temperatur. Beim Schmelzen fliesst das schwerere Wasser stets vom Eise ab und setzt dieses also der Wärme frei aus. Eine Ausnahme machen stark fliessende Wässer; hier mischt sich das Wasser derart, dass auch die unteren Schichten bis auf den Gefrierpunkt kommen, und da ohnehin das Eis sich am leichtesten an feste Körper ansetzt, so bildet es sich häufig zuerst am Grunde des Wassers als *Grundeis*. Indessen steigt dieses bald in die Höhe und die Eisbildung schreitet dann von oben weiter fort.

Die grössere specifische Leichtigkeit des warmen Wassers kann man anschaulich machen durch folgenden

Versuch. Eine nicht zu enge Glasröhre biege man nach der Gestalt eines U; dann wähle man eine um einige Linien weitere Glasröhre, von gleicher Länge wie der eine Schenkel, und stecke diese mittelst eines dicht schliessenden (erforderlichen Falls mit Guttapercha zu verschmelzenden) Korkes über denselben; das Ganze wird dann die Gestalt Fig. 66 zeigen und kann leicht an einem Brettchen

Fig. 66.



oder mittelst einiger Ziegelsteine vertical gestellt werden. Nun fülle man die enge Röhre mit Wasser, welches man blau gefärbt hat; dasselbe wird sich natürlich in beiden Schenkeln gleich hoch stellen; darauf fülle man in den hohlen Raum, welcher durch die weitere Röhre um den einen Schenkel gebildet wird, siedendes Wasser ein; das Wasser in diesem Schenkel wird erhitzt und also specifisch leichter; seine Oberfläche wird höher stehen als die der kalten Säule.

§ 108. *Aufgabe 1.* Die Länge einer Eisenbahnschiene ist 8 Fuss bei 0°; welche Länge hat sie bei 4°?

Antwort. 8,00352 Fuss.

Aufgabe 2. Welchen Raum nehmen 24 Kubikzoll Quecksilber von 15° ein, wenn man sie auf 100° erwärmt? (Ausdehnungscoefficient des

Quecksilbers = $\frac{1}{5550}$)

Antwort. 24^{204/555} Kubikzoll.

Aufgabe 3. Der bei 20° beobachtete Barometerstand von 764,4 Millimeter soll auf 0° reducirt werden, ohne auf die Ausdehnung des Glases Rücksicht zu nehmen.

Antwort. 761,65 Millimeter.

Aufgabe 4. Welchen Raum nehmen 20 Kubikfuss Luft von 0° ein, wenn sie auf 100° erwärmt worden sind?

Antwort. 27,33 Kubikfuss.

Aufgabe 5. Eine Luftmasse von 800 Kubikfuss Inhalt, bei 15 Pfund Spannkraft auf den Quadratfuss und 10° Wärme, wird auf 200° erwärmt und erhält eine Spannkraft von 19 Pfund. Welchen Raum nimmt sie alsdann ein?

Auflösung. $^{15/19} \frac{1 + 0,003665 \cdot 200}{1 + 0,003665 \cdot 10} \cdot 800 = 1056$ Kubikfuss.

Aufgabe 6. Das Wasser absorbirt bei 16° und 760 Mm. Druck das 33fache seines Volumens schweflige Säure; wie gross ist das Volumen des Gases, welches 10 Pfund Wasser aufnehmen können, wenn das Gas im Apparate eine mittlere Temperatur von 80° hat, und bei einem Barometerstande von 758 Mm. die Flüssigkeitssäulen des Apparates einen Druck ausüben, der dem von 5 Mm. gleich kommt? Auf die Ausdehnung des 10° warmen Wassers soll keine Rücksicht genommen werden.

Antwort. 6,5167 Kubikfuss.

Aufgabe 7. Welchen Raum nehmen unter den Normalumständen 40,72 Kubikcentimeter Stickstoff ein, welche bei 730 Mm. Druck und 12° beobachtet wurden? (Ausdehnungscoefficient des Stickstoffes 0,003665.)

Antwort. 37,46 Kubikcentimeter.

VII. Verbreitung der Wärme durch Leitung.

§ 109. Schon die einfache Thatsache der Erwärmung irgend eines Körpers durch einen damit in Berührung stehenden von höherer Temperatur, das Steigen des Thermometers, wenn die warme Hand daran liegt u. s. w. beweist, dass die Wärme bei der Berührung zweier Körper vom einen zum anderen übergeht, oder dass sie sich *durch Leitung verbreitet*.

Dasselbe gilt natürlich von den verschiedenen erwärmten Theilen desselben Körpers. Ein in eine Flamme gehaltener Draht zeigt auch an dem freien Ende eine steigende Temperatur, zum Beweise, dass er die Wärme fortpflanzt.

Die Geschwindigkeit, womit dies geschieht, ist für die verschiedenen Körper verschieden; es gibt *gute* und *schlechte Wärmeleiter*. Alle Metalle z. B. sind gute *Wärmeleiter*, wovon man sich durch folgende

Versuche überzeugen kann. Man wickle um einen Metallcylinder, etwa um einen dicken Schlüssel, straff einen Faden, so dass dessen Windungen glatt am Metalle anliegen. Wenn man nun das Ganze in die Flamme einer Kerze bringt, so verbrennt der Faden nicht, wie er es doch sonst augenblicklich thun würde. Denn das Metall entzieht durch seine starke Wärmeleitung dem Faden die Hitze, so dass derselbe nicht eher bis zur Anzündungstemperatur kommen kann, bis der Schlüssel dieselbe gleichfalls erhalten hat.

Wickelt man den Faden dagegen um ein Stück Holz, so wird er augenblicklich verbrennen oder verglimmen, weil das Holz ein *schlechter* Wärmeleiter ist und daher die dem Faden mitgetheilte Wärme demselben nicht wieder entzieht.

Man halte in gleicher Entfernung von einer Flamme einen Metall- und einen Holzstab von gleicher Grösse und Dicke. Der Unterschied in der Erhitzung des von der Flamme entfernten Endes wird sich empfindlich fühlbar machen, indem man das Metall sehr bald nicht mehr mit den blossen Fingern anfassen kann, während das Holz schon brennen darf, ehe es am anderen Theile sehr heiss geworden.

Schlechte Wärmeleiter sind ausser dem Holze alle (nicht metallischen) pulverförmigen Körper, ferner alle Faserstoffe, wie Wolle, Baumwolle, Stroh u. s. w., sowie Glas, Kohle, Schnee, Wasser und Eis.

Bringt man auf die Hand eine mehrere Linien dicke Aschenschicht, so kann man eine glühende Kohle darauf legen, ohne sich zu verbrennen. Mehrere glühende Kohlen auf eine Metallunterlage gelegt, verlöschen sehr bald, weil ihnen die Wärme schnell entzogen wird; auf einem Brette dagegen bleiben sie lange glühend; ein Räucherkerzchen verbrennt auf Holz bis zur letzten Spitze; auf einer Metallplatte verlischt es bald.

Auf einen erhitzten Ofen lege man ein Stück Holz und ein Stück Metall; nach einiger Zeit werden sie nothwendigerweise die gleiche Temperatur erhalten haben. Dennoch fühlt sich das Metallstück heisser an als das Holz, weil es als guter Leiter schneller die Wärme, selbst aus den nicht unmittelbar berührten Theilen, der Hand mittheilt. Auch bei niedriger Temperatur zeigt sich derselbe Unterschied. Jedermann weiss, dass Metall, Marmor, Stein sich kalt anfühlen, während Holz, Glas u. s. w. es bei gewöhnlicher Temperatur nicht thun. Sehr empfindlich macht sich dies bei niedrigen Wärmegraden im Winter fühlbar, wo man sich beim Anfassen kalter Metalltheile die Hände durch Frost beschädigen kann, was bei Holz, Wolle u. s. f. von derselben Temperatur nicht der Fall ist. Dies rührt daher, dass die guten Wärmeleiter auch die Wärme der berührenden Hand viel schneller aufnehmen und fortpflanzen, ihr also weit mehr Wärme entziehen als die schlechten Leiter.

Dass das *Wasser* zu den schlechten Wärmeleitern gehört, kann man zeigen durch folgenden

Versuch. Man erhitze in einer unten zugeschmolzenen Glasröhre Wasser so über der Spirituslampe, dass nur der *obere* Theil der schräg gehaltenen Röhre von der Flamme getroffen wird. Schon das Gefühl der

Hand, sicherer ein Thermometer zeigt an, dass das Wasser in dem unteren, nicht direct erhitzten Theile der Röhre nur sehr langsam erwärmt wird. Ja man kann an diese Stelle Eis bringen und das Wasser im oberen Theile lange Zeit im Sieden erhalten, ehe dieses geschmolzen wird, und selbst dann noch geschieht es mehr durch die von der Flamme ausstrahlende (s. u. VIII), als durch die vom warmen Wasser mitgetheilte Wärme.

Der schlechteste Wärmeleiter ist die atmosphärische Luft. Wenn man ein oben geschlossenes Gefäss, etwa einen umgekehrten weiten Probircylinder am oberen Ende erwärmt, so zeigt die Luft am unteren Ende, so lange sie nicht von den Seitenwänden erwärmt wird, nur geringe Erhitzung; anders verhält es sich freilich, wenn die Luft, durch die Wärme verdünnt, frei circuliren kann.

§ 110. Um die Verbreitung der Wärme in demselben Leiter oder in verschiedenen Leitern auf eine genauere Weise als durch die vorhergehenden Versuche zu zeigen, bedient man sich verschiedener Apparate, welche indessen sämmtlich nicht geeignet sind, um genaue Resultate und bestimmte Gesetze zu ergeben. Wenn man z. B. an einer Metallstange in gleichen Abständen Thermometer anbringt und diese Stange an dem einen Ende erhitzt, so beobachtet man das Steigen der Thermometer um so schneller und stärker, je näher dieselben der Wärmequelle befindlich sind, und zwar kann man annäherungsweise erkennen, dass die Wärme in einer geometrischen Reihe abnimmt, wenn die Entfernung von der Wärmequelle in arithmetischer Reihe zunimmt.

Befestigt man mittelst dichter Korke Stäbe von verschiedenen Stoffen so in der Seitenwand eines Gefässes, dass sie einige Linien hineinragen und aussen einige Zoll vorstehen; überzieht man dann den vorstehenden Theil mit Wachs und füllt man das Innere mit einer heissen Flüssigkeit, so schmilzt das Wachs bei den besseren Wärmeleitern früher und schneller als bei den schlechteren.

Auf der schlechten Leitung der Wärme durch die Luft beruht die Wirkung der doppelten Fenster, das Warmbleiben oder Kaltbleiben von Gegenständen, welche zwischen doppelten Wandungen eingeschlossen sind, ja das Warmhalten durch Kleidungsstücke und die schlechte Leitungsfähigkeit der meisten Faserstoffe. Das Warmhalten durch Decken, Stroh u. s. w. überhaupt ist nur eine Verhinderung der Ausgleichung der Temperatur, denn dieselben Mittel dienen zum Kalthalten von kalten Körpern, z. B. von Eis. In dieser Beziehung sind solche Körper am wirksamsten, welche neben eigener schlechter Leitung auch noch das Stagniren von Luftschichten zu bewirken im Stande sind. Selbst der Schnee dient als Hinderniss gegen Temperaturerniedrigung, indem die dazwischen festgehaltene Luft die Mittheilung der Wärme des Erdbodens an die kältere Luft verhindert; ähnlich wirkt auch Bedeckung mit Laub, Asche u. s. w. Pumpen umwickelt man mit Stroh, um das Gefrieren des Wassers zu verhüten, indem dadurch die Mittheilung der Wärme des Wassers an die umgebende kalte Luft erschwert wird. Ist aber einmal das Wasser gefroren, so schützt, bei eintretendem warmem Wetter, dieses Mittel auch das Eis vor dem Schmelzen. Umgibt man die Wasserbehälter mit Mist, so tritt dagegen eine wirkliche Wärmequelle in dem chemischen Vorgange der faulenden Bestandtheile hinzu und es wird also eine wirkliche Temperaturerhöhung bewirkt.

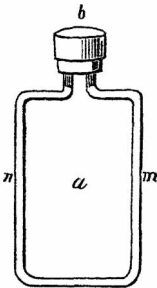
In unbewegter Luft empfindet man stets eine höhere Temperatur als in bewegter, indem die Wärmeabgabe (die Fälle ausgenommen, wo die Luft wärmer als der Körper wäre), der geringen Leitungsfähigkeit der

Luft wegen, eine sehr geringe ist; bei der Bewegung der Luft dagegen kommen stets neue Theile mit dem Körper in Berührung und entziehen ihm die Wärme; dies ist (abgesehen von der dadurch erhöhten Verdunstung — s. u.) die Ursache, weshalb das Fächeln Kühlung verschafft und weshalb die Winterkälte bei windstillem Wetter weniger empfunden wird als bei windiger Luft.

§ 111. Trotz der geringen Leitungsfähigkeit der Luft und des Wassers kann man doch durch diese Stoffe die Wärme regelmässig und rasch fortpflanzen, wenn man den Umstand benutzt, dass dieselben durch die Wärme ausgedehnt, mithin specifisch leichter werden. Ist die Einrichtung nun so getroffen, dass die erwärmten Schichten durch die Abnahme des specifischen Gewichtes ihren Ort verlassen und anderen, noch nicht erwärmten Platz machen können, so findet eine schnelle Ausgleichung der Temperatur statt. Es ist leicht, sich durch einen

Versuch davon zu überzeugen. Man biege eine

Fig. 67.



nicht zu enge Glasröhre *a* nach der beistehenden Figur 67, schneide dann von einer etwas weiteren Röhre ein kurzes Stück *b* ab und passe zwei dicht schliessende Korke hinein. In einen derselben bohre man zwei Löcher zur Aufnahme der beiden Schenkel *m* und *n* und dichte diese darin mit Guttapercha. Dann fülle man durch die weite Glasröhre das Ganze mit Wasser und setze den zweiten Kork auf, der indessen nicht dicht zu schliessen braucht. Es ist zur Verdeutlichung des Experimentes gut, in das Wasser etwas fein gepulverte Kohle, Bernsteinpulver oder dergl. zu bringen, woran die Strömung des Wassers besser gesehen werden kann. Wenn man nun durch eine Spirituslampe den unteren Theil der einen senkrechten Röhre erwärmt, so sieht man das erwärmte Wasser in dieser aufsteigen und kaltes aus der anderen an dessen Stelle treten, wodurch eine Circulation bewerkstelligt wird, in Folge deren nach und nach alle Theile des Wassers sich mehr und mehr erwärmen können.

Eine eben solche Circulation findet bei den Einrichtungen statt, welche zur Erwärmung der Räume eines Hauses mittelst Wasser dienen. Ein Ofen im untersten Theile, meist im Keller, erwärmt das Wasser eines Kessels, aus welchem eine zweckmässig geleitete Röhre nach dem obersten Theile des Hauses und wieder zurück zu dem Kessel führt. Das Ganze ist wie bei unserem Versuche mit Wasser gefüllt, welches sich unten erhitzt, durch die eine Leitung emporsteigt, durch die andere zurückfliesst und unterwegs seine Wärme an die Luft der Zimmer abgibt.

Dieselbe Circulation ist die Ursache, weshalb sich das Wasser bei der von unten angebrachten Heizung trotz seiner geringen Leitungsfähigkeit dennoch schnell erhitzt; die unteren Schichten steigen fortwährend in die Höhe und werden durch herabfallende kältere ersetzt, bis Alles eine gleiche Temperatur angenommen hat. Eine oben angebrachte Wärmequelle würde dagegen nur die oberen Schichten erhitzen.

Die Strömung erwärmter Luft findet in derselben Weise statt, tritt jedoch noch intensiver auf, weil die Ausdehnung der Luft stärker, die dadurch bewirkte Veränderung des specifischen Gewichtes also grösser ist. Leichte Körper schweben über einer Lichtflamme, über und neben einem warmen Ofen, über einer durch die Sonne erwärmten Stelle in die Höhe. Einige auf dieser aufsteigenden Strömung beruhenden Spielereien sind hinreichend bekannt. Die Bewegung wird durch den Stoss der sich

erhebenden Luft gegen die geneigte Fläche einer beweglich aufgehängten Spirale oder eines windmühlenflügelartig gebogenen Blattes hervorgebracht. In grösserem Maassstabe dient diese Luftströmung zur Hervorbringung des Zuges bei Lampen und Oefen.

Bei unseren mit einem Zugglas (Cylinder) versehenen Lampen wird nämlich die Luft in demselben stark erhitzt; sie wird dadurch leichter, steigt empor und wird von unten durch neue ersetzt. Unter sonst günstigen Umständen ist also die Wirkung des Zugglases am grössten, d. h. der dadurch hervorgebrachte Zug am stärksten, wenn die Luftsäule die grösste Verdünnung erfährt, wenn also der Cylinder verhältnissmässig sehr hoch und möglichst eng ist. Diese Dimensionen dürfen jedoch ein gewisses Maass nicht übersteigen, weil auf der einen Seite die Schnelligkeit des Strömens durch die Reibung an einer verhältnissmässig grossen und einen geringen Raum umschliessenden Wandfläche leidet und andernteils ein allzu starker Zug der Lichtentwicklung schadet. Die Wirkung des Zuges beobachtet man aber täglich, wenn man die Lichthelle der freien Flamme mit derjenigen vergleicht, welche sich nach dem Aufsetzen des Zugglases zeigt.

Ganz Aehnliches findet bei unseren Oefen statt; die Luft in der Ofenröhre und im Kamin steigt vermöge ihres veränderten specifischen Gewichtes in die Höhe und dadurch wird stets neue Luft durch die Zugöffnung *nachgesaugt*. Bei weiten Schornsteinen ist die Erwärmung der ausgebreiteten Luftschicht zu gering, bei allzu engen die Reibung der bewegten Luftsäule an der Wand zu gross.

Das ungleiche Gewicht der Luft bei verschiedener Temperatur ist die Ursache des Zuges durch Fenster und Thüren, der um so heftiger wird, je grösser die Temperaturdifferenz im Zimmer und im Freien ist. Hält man in die Spalte einer wenig geöffneten Thüre eine Lichtflamme, so findet man, dass unten ein Luftzug nach dem wärmeren Zimmer stattfindet, indem hier die kältere, schwerere Luft einströmt, während oben die wärmere, leichtere nach aussen abfliesst, also einen Strom aus dem wärmeren Zimmer nach aussen bildet. Ziemlich in der Mitte des Spaltes findet sich eine Stelle, wo zwischen beiden Strömen Ruhe eintritt. Aehnliches findet in geringerem Maasse durch alle Fugen von Fenstern und Thüren statt und dieser Luftaustausch ist für die Gesundheit und für die Heizung und Beleuchtung selbst nothwendig, obwohl er nie so stark zu sein braucht, dass er sich als empfindlicher Zug fühlbar machen müsste, wodurch eine zu starke Abkühlung hervorgebracht werden würde. Die Luft ist aber ein so feines, bewegliches Fluidum, dass man mit der grössten Sorgfalt die Ritzen und Spalten vermeiden kann, ohne besorgen zu müssen, dass sie nicht dennoch hinreichend Gelegenheit zum Austausch mit der äusseren Luft finden könnte.

Die *Luftheizung* beruht auf ähnlichen Erscheinungen. Man erwärmt in einem Ofen mittelst eingemauerter Röhren die durchströmende Luft und leitet sie dann mittelst einer der Wasserleitung ähnlichen Röhrenconstruction nach den oberen Theilen des Hauses, wohin sie vermöge ihrer Leichtigkeit strömt. Durch Schieber kann diese erwärmte Luft am Fussboden der Zimmer nach Belieben eingelassen werden. Zugleich muss aber Sorge getragen werden, dass durch eine Zugvorrichtung die Luft der Zimmer entfernt und dass die einströmende, sehr trockne Luft durch Wasser feucht erhalten werde.

Die Erwärmung jedes luffterfüllten Raumes muss natürlich von unten stattfinden, da oben sich ohnehin die erwärmte, leichtere Luft ansammelt, wie man schon bemerkt, wenn man in einem geheizten Zimmer auf einen

Stuhl steigt. Jedermann weiss, dass ein Raum, welcher sich über einem anderen, stets warmen befindet, sich viel leichter heizen lässt, als wenn dies nicht der Fall ist, während das Heizen eines über einem Zimmer belegenen anderen keine Wirkung auf dieses untere ausübt. In Zimmern, welche über kalten Räumen, wie Gängen u. s. f., oder unmittelbar auf der Erde belegt sind, leidet man an kalten Füßen, namentlich wenn die bis zum Boden reichende Thüre einen freien Spalt für den Eintritt der kalten Luft am Boden lässt. Eingeschlossene Luftschichten wirken am kräftigsten dagegen; doppelte Böden, doppelte Thüren, Vorplätze u. s. w. halten am besten die Kälte ab.

VIII. Verbreitung der Wärme durch Strahlung.

§ 112. Auch ohne unmittelbare Berührung kann ein Körper dem anderen Wärme mittheilen. Wir wissen, dass die Sonne die Erde erwärmt, ohne dass eine materielle Verbindung zwischen beiden Himmelskörpern stattfindet, ja ohne dass die Luft in der unmittelbaren Nähe der erwärmten Fläche dieselbe Temperatur zeigt. Wir empfinden die Wärme der Sonne, sowie die unerträgliche Hitze eines stark erwärmten Ofens augenblicklich in einiger Entfernung, obwohl wir wissen, dass der dazwischen befindliche Körper, die Luft, ein so schlechter Wärmeleiter ist, dass er es unmöglich sein kann, der die Fortpflanzung der Wärme bewirkt hätte.

Hält man zwischen die Wärmequelle und den Beobachter einen *Schirm*, ein Blatt Papier oder dergl., so wird das Gefühl der Wärme unterbrochen, zum deutlichen Beweise, dass die umgebende Luft nicht dieselbe Temperatur besitzt, welche vorher empfunden wurde.

Schon die einfache Beobachtung zeigt, dass die *Fortpflanzung der Wärme auf Entfernungen in gerader Linie* stattfindet, was sich auch durch die genaueren Versuche bestätigen lässt. Diesen geradlinigen Weg der Wärme nennt man einen *Wärmestrah*, diese geradlinige Verbreitungsweise die *Wärmestrahlung*. Sie entspricht der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes und die Wärmestrahlen zeigen ganz ähnliche Erscheinungen und Eigenschaften wie die Lichtstrahlen, welche wir noch später kennen lernen werden.

Den einfachsten Weg, die Existenz der geradlinigen Strahlung der Wärme nachzuweisen, bietet das Differentialthermometer (s. o. § 102). Wenn man zwischen dasselbe und eine beliebige Wärmequelle, etwa ein erhitztes Metallstück, einen Schirm aufstellt, welcher ein verdecktes Loch enthält, und diese drei Körper so richtet, dass letzteres, die Wärmequelle und die eine Kugel des Thermometers in gerader Linie stehen, so bemerkt man beim Oeffnen des Loches *augenblicklich* die Temperaturerhöhung der der Strahlung ausgesetzten Kugel. Sehr geringe Mengen strahlender Wärme werden indess mittelst der *Melloni'schen* Apparate mit Hülfe der durch Erwärmung erregten Electricität nachgewiesen.

Die Intensität der Wärmestrahlen nimmt mit dem Quadrate der Entfernung von der Wärmequelle ab. Hierin stellt sich die Fortpflanzung der Wärme derjenigen des Lichtes gleich; auch die Geschwindigkeit beider

ist nicht bedeutend verschieden, indem genaue Untersuchung diejenige der Wärme auf $\frac{4}{5}$ von der des Lichtes schätzen lässt.

Ueber den näheren Vorgang bei der Strahlung der Wärme hat man noch keine bestimmte Vorstellung, eben so wenig wie über das Wesen der Wärme selbst; dass dabei kein Stoff aus dem erwärmten Körper ausströme, darüber herrscht wohl kein Zweifel; vielmehr scheint hier, wie beim Lichte, die Oscillation eines überall verbreiteten, unendlich feinen und unwägbaren Aethers stattzufinden. Die Annahme oder vielmehr die Bezeichnung von Strahlen erklärt aber so leicht alle vorkommenden Erscheinungen, dass es einfacher ist, diesen älteren Begriff beizubehalten; indessen bemerken wir ausdrücklich, dass dadurch nur der *Weg* der Wärme, nicht die Wärme selbst oder ein materieller Stoff bezeichnet wird und dass durch dieses Wort eine Erklärung des inneren Wesens der Erscheinungen nicht gegeben werden soll.

Von den Erfahrungen des täglichen Lebens möge hier nur noch angeführt werden, dass wir die Nähe des stark erhitzten Ofens nur dann gerne ertragen, wenn wir vor der unmittelbar ausstrahlenden Wärme desselben durch einen Schirm geschützt sind, und dass im Winter die Scheiben eher aufthauen, ehe die Luft des Zimmers dazu hinreichend erwärmt wäre. Ja, wenn man zwischen den Ofen und das Fenster einen Schirm von beliebiger Form bringt, so findet das Aufthauen da *nicht* statt, wo der Schatten des Schirmes hinfallen würde, wenn der Ofen leuchtend wäre.

§ 113. Die auf einen Körper fallenden Wärmestrahlen werden theils zurückgeworfen, theils durchgelassen, theils absorbirt. Von der Zurückstrahlung der Wärme gilt dasselbe, wie von derjenigen des Lichtes, und wir kommen daher erst bei der Betrachtung des Lichtes auf die Gesetze derselben näher zurück. Es genüge, hier zu bemerken, dass man mittelst zweckmässig eingerichteter Wärmespiegel die Strahlen, welche von einer entfernten Wärmequelle herkommen, beliebig in ihrer Richtung verändern kann und dass es hier eben so wie beim Lichte möglich ist, viele Strahlen, welche aus verschiedenen Punkten herkommen, auf einen einzigen Punkt zu vereinigen und hier also die von zahlreichen Punkten ausstrahlenden, mithin im Verhältniss grossen Wärmemengen zu concentriren.

§ 114. Die Menge Wärme, welche ein Körper ausstrahlt, sein *Emissionsvermögen*, hängt nicht allein von seiner Temperatur, sondern auch von der Natur seiner Oberfläche ab. Im Allgemeinen gilt die Erfahrung, dass metallische Oberflächen weniger Wärme ausstrahlen als andere, und rauhe mehr als glatte. Man pflegt dieses dadurch nachzuweisen, dass man einen hohlen Würfel von Eisenblech an seinen einzelnen Seiten mit verschiedenen Stoffen (Glas, matt und polirt, Metall, matt und polirt, Kienruss, Papier u. s. f.) überzieht, ihn dann mit heissem Wasser füllt und den verschiedenen Flächen gegenüber die ausgestrahlte Wärmemenge mittelst empfindlicher Instrumente misst.

So hat man vergleichungsweise das Ausstrahlungsvermögen folgender Körper durch die beistehenden Zahlen ausdrücken können: Kienruss 100; Wasser 100; Bleiweiss 100; Schreibpapier 98; Glas 90; Quecksilber 20; polirtes Eisen 15; Zinn, Kupfer, Gold 12; Silber 3.

Man kann sich leicht davon überzeugen, dass die rauhen Oberflächen weit stärker ausstrahlen als die glatten, wenn man zwei gleich grosse Gläser, deren eines mit geglättetem, das andere mit rauhem (Stroh-) Papier umgeben ist, auf den Tisch stellt und mit kochendem Wasser füllt. Nach einiger Zeit wird ein eingetauchtes Thermometer in dem ersteren eine

höhere Temperatur zeigen als in letzterem. Bringt man an einem schlecht strahlenden Körper auch eine glatte Oberfläche an, so kann man die Wärme der erhitzten Körper lange Zeit bewahren. So bleiben die Kachelöfen weit länger heiss als die eisernen, und wenn ihre Oberfläche polirt ist, so theilen sie die intensive Hitze des Feuers nur langsam an den umgebenden Raum mit, erhitzen denselben also weit gleichmässiger als eiserne Oefen, welche dagegen viel besser im Stande sind, die Wärme plötzlich und rasch zu verbreiten.

In leeren Räumen kann die Wärmemittheilung nur durch Strahlung stattfinden. Sie ist alsdann dem Temperaturüberschuss nahezu proportional; in höheren Temperaturen erfolgt sie weit schneller.

Alle diejenigen Körper, welche die Wärme leicht ausstrahlen, absorbiren auch die von anderen ausgestrahlte leicht, und umgekehrt. Das Absorptionsvermögen für gestrahlte Wärme ist also dem Wärmestrahlungsvermögen gleich.

Eine constante Temperatur kann demnach ein Körper, welcher keine Wärme durch Leitung abgibt oder empfängt, nur haben, wenn er gleich viel Wärme durch Strahlung abgibt, wie er eben dadurch erhält.

§ 115. Man kann sich durch folgende

Versuche von der Verschiedenheit in der Wärmeabsorption bei verschiedenen Oberflächen leicht überzeugen:

Man construire zunächst ein möglichst empfindliches Luftthermometer, indem man in ein kleines und sehr dünnwandiges Glasfläschchen, welches wenig blaue Flüssigkeit enthält, luftdicht eine sehr enge Röhre einpasst, welche bis zum Boden reicht. Die geringste Erwärmung des Glases, ein Anhauchen schon, oder das Auflegen eines Fingers, wird hinreichen, um die Flüssigkeit in der Röhre zum Steigen zu bringen. Man suche nun eine Entfernung vom Ofen, in welcher dessen Wärmestrahlung nur ein geringes Steigen hervorbringt, entferne dann den Kork mit der Röhre und schwärze das Glas in einer Lichtflamme. Darauf bringe man das ganze Instrument nach dem völligen Erkalten in die bemerkte Entfernung vom Ofen, und man wird ein schnelles Steigen der Flüssigkeit beobachten, indem das geschwärzte Glas weit mehr Wärmestrahlen aufsaugt als das ungeschwärzte.

Dasselbe Thermometer (oder vielmehr Thermoskop) setze man den Sonnenstrahlen aus und bemerke sich die Zeit, in der die Flüssigkeit die Spitze der Röhre erreicht, wenn das Glas frei, geschwärzt, mit weissem oder schwarzem Papier umgeben war. Die Verschiedenheit der Absorptionsfähigkeit wird sich daraus unmittelbar ergeben.

Im Winter lege man weisse, schwarze und anders gefärbte Tuchstückchen auf den Schnee. Scheint nun die Sonne darauf, so wird der Schnee unter dem weissen Tuch unverändert bleiben, unter den anderen Stücken aber um so schneller wegschmelzen, je dunkler deren Farbe ist. Während also die weisse Farbe alle Wärmestrahlen *zurückwirft*, werden diese von den dunkeln Farben und von der schwarzen am meisten *absorbirt*. Dasselbe hat man im Sommer vielfach zu beobachten Gelegenheit, indem bei gleichem Einfluss der Sonnenstrahlen und bei sonst gleichen Umständen helle Gegenstände weniger heiss erscheinen als dunkle, matte oder rauhe heisser als glatte und polirte. Am deutlichsten tritt die geringe Absorption beim Glase hervor; die Fensterscheiben zeigen stets eine weit geringere Temperatur, als das dahinter liegende Zimmer, und das Brennglas, welches die Wärmestrahlen so vereinigt, dass sie Papier entzünden, bleibt selbst uerwärmt.

Auch die Luft absorbiert wenig Wärmestrahlen; die Sonne erhitzt nur die festen Körper, während die Luft fast keine Wärme direct aufnimmt. In hinreichender Entfernung von der Erde findet man die Luft stets kalt, obwohl die Sonnenstrahlen fortwährend hindurchgehen; an der erwärmten Erde aber erwärmen sich durch Leitung die nächsten Luftschichten, die dann durch die Veränderung des specifischen Gewichtes emporsteigen und anderen Platz machen u. s. w.

Von einer Messung der Temperatur in den unmittelbaren Sonnenstrahlen kann nach dem Angeführten nicht die Rede sein, da die verschiedenen Oberflächen auch eine verschiedene Wärme besitzen werden. Ein Thermometer, dessen Kugel matt oder gar geschwärzt ist, steht unter dem Einfluss strahlender Wärme bedeutend höher als ein solches, dessen Kugel wie gewöhnlich glatt und farblos gelassen wurde, und auch hierbei ist die Natur des Glases nicht ohne Einfluss.

Helle und glatte Kleider wären hiernach, wenn nicht noch andere Umstände einwirkten, sowohl im Sommer wie im Winter die angemessensten, indem sie in der Sonne die Aufnahme der Wärmestrahlen und in der Kälte die Abgabe derselben verhindern. Indessen bewahrt man seine Wärme besser durch einen schlechten Leiter, wie eine eingeschlossene Luftschicht u. dgl.

§ 116. Die Ausstrahlung ist natürlich unter sonst gleichen Umständen um so grösser, je grösser die ausstrahlende Oberfläche ist. Soll eine Flüssigkeit in einem Gefässe schnell erkalten, so sucht man dessen Wandflächen, bei gleichem Inhalt, zu vergrössern, im anderen Fall gibt man ihm eine compacte Gestalt von geringerer Oberfläche.

Auch die Entstehung von Thau und Reif ist eine Folge der Ausstrahlung. In heiteren Nächten, wo die Ausstrahlung der bei Tage erwärmten Erde gegen den Himmelsraum nicht durch eine Wolkenschicht verhindert wird, findet diese natürlich in um so stärkerem Maasse statt, je grösser der Unterschied in der Temperatur der durch die Sonne erwärmten Erde und der Luft, namentlich der oberen Schichten ist. Dadurch wird bei starker Ausstrahlung die Temperatur der Körper bis unter die der umgebenden Luft herabgestimmt und durch diese starke Abkühlung die Feuchtigkeit der Luft je nach der Temperatur als Thau oder Reif niedergeschlagen. Nach dem oben Gesagten findet dies namentlich da statt, wo die vergrösserte Oberfläche die Ausstrahlung begünstigt, also bei Gras, Bäumen u. s. w. Thau und Reif bilden sich nicht an bedeckten Orten, weil die Ausstrahlung gegen den freien, kalten Raum verhindert ist, auch weniger auf Metallen und glatten Flächen, als auf rauhen und mit zahlreichen Vorsprüngen versehenen Gegenständen.

§ 117. Diejenige Wärme, welche von der Oberfläche der Körper nicht zurückgeworfen und von deren Masse nicht absorbiert wird, geht unverändert durch dieselbe hindurch. Diese Eigenschaft der Körper, die Wärme hindurchzulassen, nennt man *Diathermanität*, die Körper, welche diese Eigenschaft besitzen, *diatherman*, diejenigen, welche sie nicht besitzen, *atherman*. Sie hängt nicht mit der *Durchsichtigkeit* der Körper zusammen, obwohl man diathermane Körper als für die Wärme durchsichtig bezeichnen kann. Es gibt Körper, welche alles Licht und keine Wärme durchlassen und umgekehrt; dünne Platten von Alaun z. B. lassen fast keine Wärmestrahlen durch, während das Licht unverändert hindurchgeht, und dicker Rauchtopas und schwarzes Glas sind undurchsichtig und dennoch für die Wärmestrahlen kein Hinderniss.

Merkwürdig ist, dass sich die Wärme aus verschiedenen Quellen in Bezug auf ihre Fähigkeit, durch die Körper hindurchzugehen, verschieden verhält. Man spricht in dieser Beziehung von Wärmefärbungen, indem auch das verschieden gefärbte Licht nicht durch alle Körper gleichmässig leicht hindurchgelassen wird. Vergleicht man die Leichtigkeit, mit der die Wärme, welche von einer Oelflamme, von glühendem Platin, von schwarzem, auf 390° erhitzten Kupfer und von in einem kupfernen Gefässe siedenden Wasser herrührt, durch die verschiedenen Körper hindurchgelassen wird, so erhält man, wenn man das freie Strahlen der Wärme mit 100 bezeichnet, für das Durchlassungsvermögen folgender Körper die beistehenden Zahlen:

	Oelflamme.	Platina.	Kupfer.	Wasser.
Steinsalz	92	92	92	92
Kalkspath	39	28	6	0
Spiegelglas	39	24	6	0
Bergkrystall	38	28	6	0
Gyps	14	5	5	0
Alaun	9	2	0	0

Steinsalz verhält sich also gegen alle Wärmequellen gleich und die Wärme des geschwärzten Kupfers zeigt bei den übrigen Stoffen die geringsten Unterschiede.

Dieser Verschiedenheit entsprechend, hat es sich bei genauen Untersuchungen auch herausgestellt, dass die Wärme von verschiedenen Quellen nicht allein in verschiedenem Grade durchgelassen, sondern von derselben Oberfläche auch in verschiedener Menge absorbiert wird, dass also die Natur der Oberfläche auf die Absorption nicht *allein* von Einfluss ist. Ohne hier weiter auf diese wissenschaftlich zwar sehr interessanten, praktisch aber von geringer Bedeutung bleibenden Erscheinungen einzugehen, lassen wir nur zur Erläuterung des Gesagten die von *Melloni* gegebene Tafel folgen, welcher sich um diese feinen Untersuchungen über die strahlende Wärme das grösste und bleibendste Verdienst erworben hat.

	Glühendes Platina.	Kupfer m 400°.	Kupfer m 100°.
Kienruss	100	100	100
Bleiweiss	56	89	100
Hausenblase	54	64	91
Tusche	95	87	85
Gummilack	47	70	72
Blankes Metall	13,5	13	13

§ 118. Wie die Wärmestrahlen eben so wie die Lichtstrahlen zurückgeworfen werden, so werden sie auch in derselben Weise *gebrochen*, d. h. beim Durchgange durch verschiedene Mittel von ihrem geraden Wege *abgelenkt*. Sie verhalten sich in dieser Beziehung den Lichtstrahlen so analog, dass wir eine nähere Betrachtung dieser Erscheinungen auf die Lehre vom Lichte verschieben können. Wir wollen hier nur bemerken, dass, so gross auch die Aehnlichkeit zwischen Licht und Wärme ist, dennoch bei näherer Untersuchung sich auch wieder Unterschiede zeigen, die namentlich in der Art der Brechung hervortreten und welche be-

weisen, dass, wenn auch Licht und Wärme aus *ähnlichen* Ursachen entspringen, sie dennoch nicht aus *gleichen* herrühren.

Dem entsprechend, hat man es durch geeignete Disposition der Apparate dahin bringen können, Licht und Wärme, welche von demselben Körper herkommen, so zu trennen, dass man das Licht oder die Wärme ganz allein behielt, während Wärme oder Licht vollständig durch die zwischenliegenden Substanzen absorbiert wurde. Eine ähnliche Erscheinung bietet auch der Mond dar, welcher zwar nicht ganz ohne alle Wärmestrahlung ist, aber doch im Verhältniss zu dem ausgestrahlten Lichte so wenig Wärme versendet, dass es nur durch die mühsamsten Untersuchungen gelungen ist, dieselbe nachzuweisen.

IX. Aenderung des Aggregatzustandes durch die Wärme.

§ 119. Indem die Wärme als eine den Abstand der einzelnen Atome und deren gegenseitige Repulsion vermehrende Kraft auftritt, bewirkt sie die Aenderung des Aggregatzustandes bei fast allen bekannten einfachen und bei sehr vielen zusammengesetzten Körpern. Der Uebergang eines festen Körpers in den flüssigen Zustand, unter alleinigem Einfluss der Wärme, heisst *Schmelzung*, der Uebergang aus dem festen oder flüssigen in den gasförmigen, *Verdampfung*. Von fast allen einfachen Körpern kennen wir bis jetzt zwei, von vielen drei Zustände; da, wo sie noch nicht beobachtet worden sind, ist anzunehmen, dass unsere Mittel nicht ausreichen, entweder die nöthige Temperatur hervorzubringen, oder die Körper vor der gleichzeitigen Einwirkung fremder Stoffe zu schützen. Dasselbe gilt von den zusammengesetzten Stoffen in noch höherem Grade. Die Veränderungen der Affinität bei wechselnder Temperatur sind es namentlich, welche es häufig unmöglich machen, eine einfache Aenderung des Aggregatzustandes beobachten zu lassen. Es treten bei wechselnder Temperatur andere Anordnungen der Atome auf, in Folge deren eine *Zersetzung* sich bemerklich macht, wodurch die einfache Wirkung der Temperatur auf den Aggregatzustand verhindert wird. Zuweilen gelingt es, diese Zersetzungen zu verhüten, und dann zeigt es sich, dass auch hier, wie bei den einfachen Körpern, der höchsten Temperatur der gasförmige, der niedrigsten der feste Zustand entspricht, und dass der flüssige in der Mitte zwischen beiden liegt.

§ 120. Die Temperatur, bei welcher feste schmelzbare Körper zu schmelzen beginnen, ist für jeden eine andere. Jedermann weiss, dass Wachs und Talg eine niedrigere Temperatur erfordern, um zu schmelzen, als Zinn, Eisen und Silber. Der *Schmelzpunkt* der einzelnen Stoffe ist (unter der Voraussetzung gleicher Beschaffenheit) stets derselbe, d. h. es tritt das Schmelzen für dieselben Substanzen unter gleichen Umständen stets bei demselben Temperaturgrad ein. Es mögen hier die Schmelzgrade für einige der wichtigeren Substanzen Platz finden, wobei jedoch zu bemerken ist, dass für Temperaturen über 300° eine genaue Bestimmung nicht möglich ist.

Gehämmertes Eisen	1600	Zinn	230
Stahl	1300—1400	Schwefel	110
Gusseisen	1200	Staerinsäure	70
Gold	1250	Wachs	61
Silber	1000	Eis	: 0
Antimon	432	Terpentinöl	— 10
Zink	360	Quecksilber	— 39

Ausser der *Beständigkeit* des Schmelzpunktes tritt beim Schmelzen noch eine zweite unveränderliche und stets wahrnehmbare Erscheinung auf, nämlich die *Wärmeverschluckung*.

Wenn man nämlich einen festen Körper so weit erhitzt, dass er anfängt zu schmelzen, so hört beim *Eintritt des Schmelzens das Steigen der Temperatur so lange auf*, wie noch ungeschmolzene Theile vorhanden sind. Die Temperatur des Gemisches geschmolzener und ungeschmolzener Theile, wie dasselbe während des Schmelzens existirt, ist eine *unveränderliche*, nämlich dem Schmelzpunkt gleich bleibende, und bei fortgesetzter Erhitzung tritt eine Erhöhung der Temperatur erst dann ein, wenn der Schmelzprocess vollendet und keine festen Theile mehr vorhanden sind. Alle während des Schmelzens hinzuströmende Wärme wird nur zum Schmelzen und nicht zur Erhöhung der Temperatur verwendet; da sie von dem Momente an, wo die Schmelzung beginnt, trotz ihres fortgesetzten Zuströmens aufhört, durch Erwärmen, also am Thermometer, bemerkbar zu sein, so sagt man, sie werde *verschluckt*. Es ist demnach zum Uebergange aus dem festen in den flüssigen Zustand die Aufnahme einer gewissen Wärmemenge nöthig, welche keine Temperaturerhöhung bewirkt. Diese Wärme nennt man *gebundene* oder *latente* Wärme. Sie befindet sich im geschmolzenen Theile des Körpers, welcher sie aufnahm, ohne wärmer zu werden, und sie natürlich auch wieder abgeben muss, wenn er wieder fest wird.

§ 121. Das Gebundenwerden der Wärme kann man am leichtesten im Winter nachweisen.

Versuch. Man bringe ein Gefäss mit Schnee oder mit gestossenem Eise auf den warmen Ofen und tauche ein Thermometer hinein. Man wird bemerken, dass dasselbe, wenn es anfangs unter 0° stand, bis auf diesen Punkt steigt, dann bei 0° so lange stehen bleibt, bis das letzte Eistheilchen geschmolzen ist, und dass dann erst die zuströmende Wärme zum Erwärmen des Wassers verwendet wird. Verstärkt man unterdessen das Feuer, so wird das schnelle Einströmen der Wärme nur ein schnelleres Schmelzen, nicht ein Steigen der Temperatur hervorbringen.

Um die Menge der Wärme annähernd zu messen, welche zum Schmelzen einer gewissen Menge Schnee oder Eis von 0° erforderlich ist, kann man folgende

Versuche anstellen. 1) In zwei gleich grosse und gleich beschaffene Gefässe, etwa zwei Glaskolben, bringe man in das eine eine gewisse Menge Schnee oder gestossenes Eis von 0° , in das andere genau die gleiche Menge Schnee- oder Eiswasser, welches eben geschmolzen ist und ebenfalls noch die Temperatur 0° hat. Dann stelle man beide auf eine erwärmte Platte, so dass sie dieselbe Menge Wärme erhalten. Der Schnee schmilzt nach und nach und das Wasser erwärmt sich unterdessen. Endlich hat man in dem einen Gefässe Wasser von 0° und in dem anderen heisses Wasser, dessen Temperatur, wie ein eingetauchtes Thermometer zeigen wird, etwa $78-79^{\circ} \text{C}$ beträgt.

2) Man erhitze eine gewisse Menge Wasser auf 79° C und wäge davon 1 Pfund ab; auf der anderen Seite bringe man 1 Pfund Schnee oder gestossenes Eis in ein Gefäß von geringem Wärmeleitungsvermögen. Dann giesse man das Pfund Wasser von 79° darauf und vermische Alles durch Umrühren. Man wird bemerken, dass der Schnee flüssig wird und dass, wenn aller Schnee geschmolzen ist, Alles die Temperatur 0° zeigt.

Diese Versuche können natürlich, wegen des Einflusses der Zimmerwärme, keine scharfen Resultate geben; sie zeigen jedoch annähernd, was man durch zweckmässige Experimente mit Genauigkeit ermitteln kann, dass diejenige Wärme, welche 1 Pfund Wasser von 0° auf 79° erhitzt, gerade erforderlich ist, um 1 Pfund Eis von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln. Da man nun, um einen Vergleichungspunkt zu haben, diejenige Wärmemenge *eine Wärmeinheit* nennt, welche die Temperatur eines Pfundes Wasser um 1° C erhitzt, so sind zum Schmelzen eines Pfundes Wasser 79 Wärmeinheiten erforderlich.

Dasselbe geht aus Folgendem hervor: Wenn man in einem Zimmer, dessen Temperatur 12° ist, ein Pfund Eis von 0° mit $45\frac{1}{2}$ Pfund Wasser von 14° mischt, so erhält man Wasser von 12° . Es war also hier die Wärme, welche $45\frac{1}{2}$ Pfund um 2° erhöht, erforderlich, um 1 Pfund Eis zu schmelzen und in Wasser von 12° zu verwandeln. Von den 91 Wärmeinheiten sind also die zur Erwärmung auf 12° erforderlichen 12 Einheiten abzuziehen, und es bleiben, wie oben, 79 Wärmeinheiten als *die beim Schmelzen des Eises latent werdende Wärme*.

Das Latentwerden der Wärme findet bei allen schmelzenden Körpern statt, jedoch in sehr verschiedenem Maasse. So bindet Blei 5,37, Zink 28,13, Zinn 14,25, Wismuth 12,64 Wärmeinheiten.

In Bezug auf die Schmelztemperatur ist noch zu erwähnen, dass manche Metalllegirungen bei einer viel niedrigeren Temperatur schmelzen, als die einzelnen Metalle. Eine Legirung aus 4 Th. Wismuth, 1 Th. Blei und 1 Th. Zinn schmilzt schon bei 94° C (*Rose's Metall*) und wird also schon in siedendem Wasser flüssig. Da nun eine Legirung derselben Metalle nach anderem Verhältniss in höherer Temperatur schmilzt und es sogar eine Mischung gibt, welche erst bei 380° flüssig wird, so hat man durch zweckmässige Vermischung dieser Metalle das Mittel, jedwede Temperatur anzugeben und dadurch constant zu erhalten, dass man das Gemisch nur eben bis zum Schmelzen erhitzt.

§ 122. Wenn einem flüssigen Körper Wärme entzogen wird, so geht er bei einem bestimmten Punkte in den festen Zustand über, er *erstarrt*. Die Temperatur des Erstarrens ist in der Regel etwas geringer als die Schmelztemperatur; indessen können manche Körper unter gewissen Umständen noch mehrere Grade unter ihrer eigentlichen Erstarrungstemperatur flüssig bleiben. So kann man z. B. Wasser bei vollkommener Ruhe bis auf $5-6^{\circ}$ unter Null erkalten lassen. Dann aber erfolgt die Erstarrung bei einem äusseren Anstosse plötzlich durch die ganze Masse.

Es ist schon oben angedeutet worden und liegt ganz in der Natur der Sache, dass beim Erstarren flüssiger Körper diejenige Menge Wärme *frei* werden muss, welche beim Flüssigwerden *gebunden* wurde. Dieselbe entgeht zwar in der Regel der Beobachtung, allein es ist dennoch jedesmal der Fall. Wenn z. B. die Temperatur der Luft auf 0° sinkt, so müsste, wenn dies nicht der Fall wäre, alles Wasser, welches damit in Berührung ist, plötzlich gefrieren. Dies findet aber nicht statt, sondern die Eisbildung geschieht nur allmählich, denn während ein Theil Eis sich bildet, wird das angrenzende Wasser durch die gebunden gewesene Wärme

über 0° erwärmt und gefriert erst, wenn diese Wärme sich wieder zerstreut hat und so fort, bis die ganze Masse nach einiger Zeit gefroren ist.

Wenn man einen Körper bis unterhalb seiner Erstarrungstemperatur erkalten lässt, so tritt die gebundene Wärme in messbarer Menge aus. So z. B. gefriert Wasser, welches unterhalb 0° erkaltet war, beim Schüttern nicht vollständig, sondern es bleibt eine gewisse Menge Wasser übrig, und diese zeigt die Temperatur 0° , ist also durch das Erstarren des übrigen erwärmt worden. Folgender

Versuch kann diese Erscheinung ebenfalls deutlich machen. Man löse 3 Th. Glaubersalz in 2 Th. Wasser durch Erhitzen desselben auf, fülle die Lösung in eine Medicinflasche und lasse sie in vollkommener Ruhe erkalten. Die angegebene Menge Glaubersalz müsste schon bei 25° fest werden; unberührt erkaltet sie aber auf die gewöhnliche Temperatur, ohne sich zu verändern. Wenn man nun den Stöpsel öffnet und mit einem harten Körper die Oberfläche der Flüssigkeit berührt, so erstarrt fast die ganze Masse plötzlich und die frei werdende Wärme zeigt sich durch bedeutende Temperaturerhöhung derselben. Indem hier die gebunden gewesene Wärme plötzlich frei wird, tritt sie in solcher Menge auf, dass sie beobachtet werden kann; in der Regel erfolgt das Erstarren aber unter solchen Umständen, dass sich die frei werdende Wärme allmählich anderen Körpern mittheilt und daher der Wahrnehmung entgeht.

Beim Festwerden nehmen manche Körper *Crystallgestalt* an, andere nicht. Diejenigen, welche krystallisiren, zeigen um so deutlichere und vollkommener ausgebildete Krystalle, je langsamer die Erkaltung stattfindet und je grösser die erstarrende Masse ist.

Manche Metallegirungen zeigen das eigenthümliche Verhalten, dass sie beim Erkalten, noch ehe sie die Erstarrungstemperatur erreicht haben, bei einer bestimmten Temperatur eine Zeit lang stationär bleiben, dann erst bis zum Erstarrungspunkt erkalten und hier also zum *zweitenmale* einige Zeit dieselbe Temperatur besitzen. Der Punkt, wo dieses Stehenbleiben des eingesenkten Thermometers eintritt, ist für die verschiedenen Mischungen der Metalle ein verschiedener.

§ 123. Wie sich beim Schmelzen, d. h. beim Flüssigwerden durch alleinige Wirkung der Wärme, das Latentwerden von Wärme zeigt, so auch *vielfach* beim Flüssigwerden unter Einwirkung einer Flüssigkeit, beim *Auflösen*. Wenn man z. B. feingepulverten Salmiak mit Wasser übergiesst und die Auflösung durch Umrühren befördert, so sinkt die Temperatur so bedeutend, dass das Gefäss sich mit Wassertropfen behaut und die berührende Hand die Kälte wahrnehmen kann. Aehnliches, obwohl in weit geringerem Grade, zeigt der Salpeter und einige andere Salze. Es ist indessen diese Temperaturerniedrigung nicht allein von dem Flüssigwerden des sich auflösenden Körpers abzuleiten, denn bei manchen Auflösungen zeigt sich keine Veränderung, bei sehr vielen aber eine Erhöhung der Temperatur. Ob und in wie fern hier die chemische Anziehung zwischen den Theilen des festen Körpers einer- und dem Wasser andererseits störend einwirkt und durch die Temperaturerhöhung das Gebundenwerden der Wärme verdeckt, ist nicht anzugeben und es bleiben alle Versuche, die hierher gehörigen Erscheinungen durch *bloßes* Latentwerden der Schmelzwärme zu erklären, eitle Bemühungen.

Noch weit mehr gilt dies von den meisten *Kältemischungen*. Es gibt nämlich Gemische von zwei oder mehreren Stoffen, welche die Eigenschaft besitzen, eine grosse Menge Wärme zu verschlucken und alle diejenigen Körper, mit welchen sie in Berührung kommen, *zu erkalten*. Wenn auch bei einigen dieser Mischungen ihre Wirkung durch die Auf-

nahme der Schmelzwärme erklärbar scheint, so trifft dies doch bei weitem bei den meisten nicht zu, und schon der Umstand, dass bei einigen eine kleine Veränderung in den Verhältnissen die Erkaltung auf ein Minimum reducirt, ja sogar in eine Wärmeerhöhung verwandeln kann, beweist die Mangelhaftigkeit einer allgemeinen Erklärung. Es scheint vielmehr, dass bei diesen Mischungen Wirkungen eintreten, welche sowohl chemischer wie physikalischer Natur sind und deren Erfolg unter anderen eine Temperaturerniedrigung ist, ohne dass wir bis jetzt im Stande wären, uns darüber genaue Rechenschaft zu geben.

Diejenige Mischung, welche sich durch ihre Wohlfeilheit zu Versuchen am meisten eignet, bei denen man nicht durch Rücksichten auf Schädlichkeit der chemischen Wirkung gebunden ist, ist eine aus 5 Th. gewöhnlicher Salzsäure und 8 Th. Glaubersalz bestehende. Der

Versuch ist leicht anzustellen: Das Glaubersalz wird fein gepulvert und mit der Säure rasch gemischt; ein eingetauchtes Thermometer wird eine Temperatur weit unter 0° zeigen, und wenn man ein Glasgefäss mit Wasser in die Mischung taucht, so verwandelt sich dieses bald in Eis. Schützt man die Kältemischung durch Umgeben mit Stroh vor der Wärmeaufnahme von aussen, so kann man darin nicht unbeträchtliche Mengen von Eis darstellen, und es eignet sich diese Mischung besonders dazu, um mit geringen Kosten Eis, z. B. zu medicinischen Zwecken zu erzeugen. Die Mischung selbst kann bei grösseren Portionen in hölzernen oder glasirten eisernen und mit Holz oder Stroh umgebenen Gefässen vorgenommen werden. Zum Gefrierenlassen des Wassers eignen sich am besten — da dünne Eisstücke zu bald wieder schmelzen — dünnwandige Medicinflaschen, die man nach der Eisbildung zerbricht.

Wegen der Leichtigkeit in ihrer Anwendung, der Wirkungslosigkeit auf jede Art von Gefässen und der Abwesenheit aller Schädlichkeit der Gemengtheile verdient noch folgende Mischung hier angeführt zu werden:

9 Th. Salpeter,
10 „ Salmiak,
14 „ Glaubersalz

werden in frischem, krystallisirtem, nicht verwittertem Zustande fein gepulvert, sorgfältig gemischt und mit

70 Th. Wasser

übergossen, das Ganze wohl umgerührt. Die Erniedrigung der Temperatur ist so gross, dass in dem Gemische 7 Th. Wasser, in einem metallenen oder dünnwandigen gläsernen Gefässe tief eingetaucht, in 5 Minuten gefrieren. Auch durch Vermischen von

16 Th. Wasser,
5 „ Salmiak,
5 „ Salpeter

erhält man eine sehr bedeutende Temperaturerniedrigung.

Zahlreiche andere Kältemischungen finden sich angegeben in specielleren physikalischen und chemischen Werken, auf welche wir hier alle Diejenigen verweisen müssen, die sich für diesen Gegenstand noch mehr interessiren.

§ 124. Bei steigender Temperatur nehmen alle flüssigen Substanzen, welche nicht eine Zersetzung erleiden, Luft- oder Gasgestalt an. Man nennt diesen Vorgang *Verdunstung* oder *Verdampfung*, die gasförmige Substanz *Dunst* oder *Dampf*. Geschieht die Verdunstung in der ganzen Masse der Flüssigkeit, so heisst der Vorgang Sieden oder Kochen. Auch hier treten ähnliche Erscheinungen auf, wie beim Schmelzen. Das Sieden findet unter sonst gleichen Umständen (wozu besonders gleicher Luft-

druck gehört) bei derselben Flüssigkeit stets bei derselben Temperatur statt und es wird während der Dampfbildung Wärme derart gebunden, dass keine weitere Erhitzung der Flüssigkeit stattfindet, sondern alle zutretende Wärme zur Dampfbildung verwendet wird. Der

Versuch ist leicht anzustellen. Man braucht nur ein Thermometer in siedendes Wasser zu tauchen und, nachdem sein Standpunkt fest geworden ist (er wird *nahe* 100° C betragen) die zugeführte Wärme zu verstärken. Man wird dadurch zwar eine beschleunigte Dampfbildung, aber nicht eine Erhöhung der Temperatur bewirken können. Wir werden später sehen, dass der Druck der Luft von Einfluss auf den Siedepunkt der Flüssigkeit ist; zur Bestimmung desselben wird deshalb stets der Normaldruck angenommen. Bei demselben sieden folgende Flüssigkeiten bei der nebenstehenden Temperatur:

Schweflige Säure	— 10	Wasser	100
Chloräther	+ 12	Meerwasser	104
Conc. Salzsäure	+ 20	Conc. Schwefelsäure	327
Aether	36	Quecksilber	360
Alkohol	78		

Wenn zwei Flüssigkeiten von verschiedenem Siedepunkt, welche nicht chemisch auf einander wirken, mit einander gemengt und zum Sieden erhitzt werden und die flüchtigere von beiden *unter* der schwerer verdampfbar liegt, so wird dadurch der Siedepunkt etwas über denjenigen der flüchtigsten Flüssigkeit erhöht; die Temperatur des Dampfes ist aber niedriger, als die der siedenden Flüssigkeit. Es steigen alsdann zugleich Dämpfe von beiden Flüssigkeiten auf, bis die flüchtigere vollständig verdampft ist, worauf die Verdampfung so lange aufhört, bis die weniger flüchtige bis zu ihrem Siedepunkt gestiegen ist. Befindet sich indessen die weniger flüchtige über der anderen, so sieden sie als ob sie allein wäre.

Wenn Flüssigkeiten zusammen erhitzt werden, welche sich mit einander mischen und gegenseitig durchdringen, so treten andere Verhältnisse ein, indem meistens der Siedepunkt des Gemisches höher liegt als derjenige der flüchtigsten und von diesem Punkte an steigt, bis er den Siedepunkt der weniger flüchtigen erreicht hat.

Salzlösungen sieden stets bei höherer Temperatur als reines Wasser, doch hat der Dampf immer die Temperatur des reinen kochenden Wassers; der Siedepunkt der Salzlösungen hängt von der Natur und Menge der aufgelösten Substanzen ab.

Bei vielen Lösungen, auch bei ganz reinem Wasser zeigt sich, wenn sie in vollkommen reinen Glasgefäßen erhitzt werden, ein eigenthümliches Stossen während des Siedens, was von der Schwierigkeit herrührt, mit welcher der Dampf die Flüssigkeit durchbricht. Vermehrt man die Dampf bildende Oberfläche, indem man Stückchen Kohle, Platinadraht, Zink oder Eisen in das Wasser bringt, so entwickelt sich der Dampf gleichmässiger, ruhiger und ohne Stossen.

§ 125. Die aus einer siedenden Flüssigkeit entwickelten Dämpfe haben nicht allein den Druck der Flüssigkeit, sondern auch den der darüber befindlichen Atmosphäre mit den darin enthaltenen Wassertheilchen zu überwinden, um aufsteigen zu können. Daher siedet eine Flüssigkeit um so schwerer und also bei einer um so höheren Temperatur, je höher die Flüssigkeitssäule und der Barometerstand sind. In vollkommen *luftleeren Räumen* siedet das Wasser bei jeder Temperatur, und

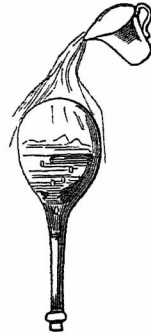
wenn der Raum über dem Wasser zwar luftfrei, aber mit dem sogleich entwickelten Wasserdampf erfüllt ist, bei jeder Temperatur, welche höher als diejenige dieses Wasserdampfes ist.

Man kann dies sowohl mittelst der Luftpumpe, als auch mittelst des *Pulshammers* zeigen. Dieser besteht aus zwei Kugeln von Glas, welche durch eine Röhre verbunden sind und etwas Wasser enthalten. Der Apparat ist dadurch luftleer gemacht worden, dass man das Wasser zum Sieden erhitzte und dann die Röhre zuschmolz. So wie man nun das Wasser, welches nur von Wasserdampf bedeckt ist und den Druck der Luft nicht zu tragen hat, über dessen Temperatur durch Anlegen der Hand bringt, so geräth dasselbe sofort in's Kochen.

Dasselbe zeigt folgender

Versuch. Man fülle einen Kolben von dünnem Glas, der jedoch an seiner Oeffnung eine Verstärkung durch einen umliegenden Glasstreifen besitzt, über die Hälfte mit Wasser und erhitzte dieses zum Sieden; hat die Dampfbildung eine Zeit lang gedauert, so dass alle Luft ausgetrieben ist, so verschliesst man den Kolben mit einem *vorher ausgewählten* passenden, dichten und weichen Korke, entfernt *in demselben Augenblicke* den Kolben von der Lampe und kehrt ihn dann um. Wenn man nun nach einigem Erkalten das im Kolben befindliche Wassergas durch aufgegossenes kaltes Wasser (Fig. 68) verdichtet, so kommt das Wasser im Kolben zum Sieden. Hört man mit dem Abkühlen auf, so hört auch das Sieden auf, weil es durch den Druck der Wasserdämpfe verhindert wird. Man kann das Kochen so lange wieder hervorrufen, als das aufgegossene Wasser kalt genug ist, um die Wasserdämpfe niederzuschlagen; dann aber reicht schon eine gelinde Erwärmung des Wassers im Kolben hin, um dasselbe zum Kochen zu bringen.

Fig. 68.



Aus dem oben erwähnten Einfluss des Atmosphärendruckes auf die Siedetemperatur folgt, dass das Wasser nicht an allen Orten der Erde dieselbe Hitze beim Sieden zeigt, sondern dass diese mit wachsender Höhe, d. h. mit abnehmendem Barometerstande abnehmen muss. In Quito z. B., wo das Barometer im Mittel auf 527 Millimetern steht, siedet das Wasser schon bei 90° C. Selbstredend kann es daselbst nicht zu allen denjenigen Zwecken verwendet werden, zu denen wir es gebrauchen; zu anderen muss man die geringere Höhe des Siedepunktes durch längeres Sieden ausgleichen. Es folgt aus dem Gesagten, dass Speisen, die sehr empfindlich in dem Verhalten zu verschiedenen Temperaturen sind, wie z. B. weich zu siedende Eier, bei verschiedenem Barometerstand an demselben Orte verschiedener Zeit bedürfen, um denselben Grad von Weichheit etc. zu erreichen.

Reines Wasser kocht z. B. an folgenden Orten bei den nebenstehenden Temperaturen:

Meierei Antisana (Südamerika)	bei	86,3 Grad,
Quito	„	90 „
Mexiko	„	91 „
Hospiz St. Gotthard	„	92,9 „
Madrid	„	97,8 „
München	„	98,1 „
Regensburg	„	98,7 „
Prag	„	99,3 „

Wien	bei 99,5 Grad,
Dresden	„ 99,6 „
Paris	„ 99,7 „
Rom	„ 99,8 „
Berlin	„ 99,8 „

Bei diesen Bestimmungen sind natürlich für jeden Ort die *mittleren* Barometerhöhen angenommen. Für eine Veränderung derselben von 62 Millimetern, wie sie wohl an einzelnen Orten vorkommt, ändert sich der Siedepunkt des Wassers um $2,3^{\circ}$ C.

Aus dem Gesagten folgt, dass wenn einmal die Höhenunterschiede genau ermittelt sind, welche eine bestimmte Veränderung im Siedepunkt bewirken, es auch umgekehrt möglich sein muss, aus dem Unterschiede des Siedepunktes auf die Veränderungen des Luftdruckes oder der Höhe zu schliessen. Von *Wollaston* ist nach diesem Princip ein Thermometer construirt worden, welches so eingerichtet ist, dass es bei den wenigen in der Nähe des Siedepunktes belegenen Graden, die es allein angibt, ein sehr lange Scala besitzt und daher das Ablesen auch sehr kleiner Theilchen von Graden möglich macht. Wenn man nun mittelst dieses Thermometers den Siedepunkt des Wassers an verschiedenen Orten beobachtet, so kann man daraus auf die Höhenunterschiede derselben schliessen. Das Instrument ist so empfindlich, dass man sogar die Höhe eines Stockwerkes über dem anderen mittelst desselben messen kann. Es hat den Namen Thermobarometer.

§ 126. So wie bei vermehrtem Luftdruck der Siedepunkt des Wassers steigt, so wird er auch durch alle Mittel erhöht, welche den Dampfdruck über demselben vermehren. Wenn man das Wasser in einem *vollkommen* verschlossenen Gefässe zum Sieden erhitzt, so steigt, indem der gebildete und sich allmählich vermehrende Dampf über dem Wasser auf dasselbe einen wachsenden Druck ausübt, der Siedepunkt des Wassers fortwährend. Natürlich wächst auch der Druck des Dampfes auf die Gefässwände und, wenn ihm nicht rechtzeitig eine Ausströmungsöffnung geboten wird, wird das Gefäss zersprengt. Aehnlich wie ein dichter Verschluss wirkt eine enge Ausströmungsöffnung, nur sammelt sich dabei der Dampf weniger schnell an und sein Druck nimmt also langsamer zu. Dasselbe bewirkt jedes Hinderniss, welches dem freien Ausströmen des Dampfes entgegen gesetzt wird. So bei den Dampfmaschinen und bei dem *Papinischen Topfe*. Letzterer besteht aus einem Kochgefässe mit luftdicht aufgeschraubtem Deckel und einem Sicherheitsventil. Durch die Spannung des nicht entweichenden Dampfes erhöht sich die Temperatur des siedenden Wassers, die man zur Bereitung mancher Speisen, zur vollständigeren Extraction der Knochen u. s. w. benutzen kann. Das Sicherheitsventil, welches bei einem bestimmten inneren Druck aufschlägt, verhindert eine zu grosse Vermehrung des Druckes, mithin ein Springen des Gefässes.

Aehnliches kann man auch dadurch bewirken, dass man auf den zweckmässig geformten Rand der Kochgeschirre den Deckel luftdicht, aber ohne anderen Druck als seine eigene Schwere, aufsetzt. Alsdann ist zwar die Erhöhung des Siedepunktes nicht so bedeutend wie bei der vorhin beschriebenen Einrichtung; allein bei hinreichender Schwere des Deckels lassen sich doch schon erwünschte Wirkungen hervorrufen und der Deckel selbst wirkt dabei als Sicherheitsventil. Solche Kochtöpfe sollten, wo eine vollkommenere Extraction oder überhaupt eine höhere

Siedehitze verlangt wird, wegen ihrer Wohlfeilheit eine allgemeinere Anwendung finden.

§ 127. Wenn man auch unter den gewöhnlichen Umständen die Temperatur der siedenden Flüssigkeiten nicht erhöhen kann, so haben doch auf die *Menge* des in einer bestimmten Zeit erzeugten Dampfes manche Umstände Einfluss. Die wichtigsten derselben sind:

1. Die Wirksamkeit des Feuers, insofern verschiedene Brennmaterialien und verschiedene Heerdvorrichtungen in derselben Zeit verschiedene Wärmemengen abgeben.

2. Die äussere Oberfläche des Kochgefässes, indem dieselbe je nach ihrer Beschaffenheit mehr oder weniger zur Aufnahme der Wärme geeignet ist. Rauhe und dunkle Flächen sind demnach für die Theile der Kochgeschirre, welche der Hitze ausgesetzt werden, am geeignetsten.

3. Die innere Fläche des Gefässes, welches die Wärme an das Wasser abgeben soll, indem eine um so grössere Menge Dampf gebildet wird, je grösser die Berührungsfläche des Wassers mit der Wandung ist, vorausgesetzt, dass hinreichend Wärme vorhanden ist, um dadurch ausströmen zu können.

Als allgemeine Regel kann in dieser Beziehung gelten, dass unter günstigen Umständen, bei möglichst lebhaftem Feuer, jeder Quadratmeter Oberfläche 2—3 Kilogramm Wasser in einer Minute verdampft.

§ 128. Es ist schon vorhin erwähnt worden, dass bei allen Temperaturen *an der Oberfläche* der flüchtigen Flüssigkeiten *Dampf* gebildet wird, d. h. dass die Flüssigkeiten sich in Gas verwandeln. Es ist dies nicht als eine Auflösung der Flüssigkeit in der Luft zu betrachten, etwa so wie sich Salze im Wasser auflösen; denn es bilden sich die Dünste auch in luftleeren Räumen. Man weist dies am leichtesten in der Toricelli'schen Leere nach. Bringt man nämlich etwas Wasser in das Quecksilber einer Toricelli'schen Röhre, so steigt es darin in die Höhe und es sinkt sogleich die Quecksilbersäule. War das Wasser ausgekocht, so kann dieses Sinken nicht von der darin enthaltenen Luft herrühren, sondern nur durch den aus dem Wasser sich entwickelnden Dampf hervorgebracht werden. Die Grösse der Depression des Quecksilbers ist das directe Maass für die Spannkraft des Wasserdampfes bei dieser Temperatur. Sie beträgt bei gewöhnlicher Temperatur etwa 15 Millimeter, d. h. es ist der Druck des bei dieser Temperatur aufsteigenden Wasserdampfes gleich demjenigen, welchen eine Quecksilbersäule von 15 Mm. ausübt. Die Spannkraft anderer Dämpfe ist nicht dieselbe; Aether, in die Toricelli'sche Leere gebracht, bringt z. B. bei gewöhnlicher Temperatur eine Depression von fast der halben Quecksilberhöhe hervor. Die Spannkraft des Aetherdampfes ist also unter diesen Umständen fast derjenigen einer halben Atmosphäre gleich.

Bietet man den Dämpfen einen grösseren Raum dar, so breiten sie sich darin vermöge ihrer derjenigen der Gase gleichen Expansivkraft so aus, dass sie den ganzen Raum erfüllen. Vermindert man aber den Raum, in welchem sie sich befinden, durch Vermehrung des Druckes, so wird ihre Expansivkraft dadurch nicht unbeschränkt, wie bei den Gasen, vermehrt, sondern man gelangt bald zu dem Punkte, wo die Dämpfe *verdichtet* werden und in den flüssigen Zustand zurückkehren. Die Grenze des Widerstandes, bei welcher jede weitere Compression nicht die Vermehrung der Spannkraft, sondern das Flüssigwerden des Dampfes bewirkt, nennt man das *Maximum der Tension des Dampfes*.

Man kann dies ebenfalls mittelst einer Toricelli'schen Röhre leicht nachweisen. Dazu eignet sich indess der Aether besser als das Wasser;

man bringt ihn in den leeren Raum einer Barometerröhre. Nun beobachtet man die bewirkte Depression, welche bei einem Barometerstand von 760^{mm} etwa 360^{mm} beträgt, und drückt die Röhre dann in das nach unten verlängerte Quecksilbergefäß hinab (ähnlich wie bei dem früher beschriebenen Versuche). Dadurch wird der Raum, worin der Aetherdampf befindlich ist, verkleinert, und man bemerkt, dass der Standpunkt des Quecksilbers dennoch unverändert bleibt. Wäre Luft statt Aetherdampf in der Röhre gewesen, so würde dies nicht stattfinden, sondern es würde durch die Zunahme der Expansivkraft derselben beim Zusammenpressen auch das Quecksilber tiefer hinabgedrückt worden sein. Beim Aetherdampf aber wird durch die Compression flüssiger Aether gebildet und die Spannung des übrig bleibenden Dampfes bleibt dieselbe, mithin auch die Höhe der Quecksilbersäule. Wenn man den Raum, worin der Aetherdampf sich befindet, auf $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ u. s. w. vermindert, so wird auch $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$ u. s. f. des Aetherdampfes condensirt und es bleibt nur $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ u. s. f. in Dampfgestalt. Ist endlich das Rohr so weit niedergedrückt, dass aller Aetherdampf verschwunden ist, so bleibt es nur mit Quecksilber und Aether gefüllt, falls nicht etwas Luft mit hinein gelangt war. Hebt man die Röhre wieder, so behält stets die Quecksilbersäule ihre Höhe, zum Beweise, dass sich augenblicklich wieder Aetherdampf bildet; dies dauert so lange, bis aller Aether verdunstet ist, wo dann die Quecksilbersäule bei weiterem Heben der Röhre mit in die Höhe steigt, indem alsdann der Aetherdampf nicht mehr das Maximum seiner Spannkraft hat und sich von da ab wie ein Gas verhält.

Natürlich wird, wenn der Aetherdampf zu Anfang des Versuches nicht das Maximum seiner Spannkraft hatte, wenn also nicht ein kleiner Aetherüberschuss vorhanden war, beim ersten Sinkenlassen der Röhre das Quecksilber anfangs gleichfalls sinken, weil sich der Aetherdampf wie ein Gas verhält, bis er auf das Maximum seiner Tension comprimirt wird, worauf beim nächsten Comprimiren sich flüssiger Aether bildet und die Höhe des Quecksilbers dann constant bleibt.

Gleichzeitig kann man sich von dem Einfluss der Temperatur auf die Spannkraft der Dämpfe überzeugen; sie beträgt z. B. für Aether bei 30° 630^{mm}, während sie bei 0° nur 180^{mm} ausmacht. Die Tension des Wasserdampfes beträgt bei gewöhnlicher Temperatur etwa 15^{mm}. Bei 100° erreicht sie diejenige einer Atmosphäre, weshalb sich bei dieser Temperatur, wie wir wissen, der Dampf in der ganzen Masse des Wassers entwickelt. Bei höheren Temperaturen steigt die Spannkraft des Wasserdampfes sehr schnell und erreicht z. B. bei 200° eine solche von 15, bei 260° eine Spannkraft von 90 Atmosphären. Dass das Wasser diese hohen Temperaturen unter den gewöhnlichen Umständen nicht erhalten kann, sondern dass es dazu erforderlich ist, den Ausfluss des Dampfes zu verhindern, haben wir schon oben gesehen.

Auch noch als Eis verdampft das Wasser; die Wasserdämpfe haben selbst unter 0° noch eine Spannung; sie beträgt bei 0° etwa 5^{mm}.

Ist der Raum, worin sich Dämpfe befinden, an verschiedenen Stellen ungleich erwärmt, so hat der Dampf überall nur diejenige Spannung, welche der niedrigsten Temperatur entspricht.

Wir werden hier die Apparate und Versuche, womit die Grösse des Maximums der Tension des Wasserdampfes für alle Temperaturen von — 20° bis + 200° bestimmt worden ist, nicht specieller beschreiben; auch wegen der genaueren Tabellen hierüber, welche besonders für die Meteorologie und Dampfmaschinenlehre von Wichtigkeit sind, müssen

wir auf grössere Werke verweisen; es mögen zur Uebersicht folgende Angaben genügen:

Tempera- tur.	Spannkraft in Millim.	Druck auf 1 Quadratcentim. in Kilogr.
— 20	1,333	0,0018
— 10	2,631	0,0036
0	5,059	0,0069
20	17,314	0,0235
40	52,998	0,0720
60	144,660	0,19653
80	352,080	0,47834
99	733,46	0,99448
100	760,00	1,03253

Für höhere Temperaturen gelten folgende Angaben:

Spannkraft in Atmosphären.	Tempera- tur.	Druck.
1 $\frac{1}{2}$	112,2	1,549
2	121,4	2,066
5	153,1	5,156
10	181,6	10,33
20	214,7	20,66
30	236,2	30,99
50	265,9	51,65
100	311,36	103,3
500	444,7	516,5
1000	516,7	1033,0

§ 129. Die Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten haben bei gleichen Temperaturen sehr verschiedene Spannkraften. Bei ihrem Siedepunkte, wobei sich ja der Dampf im Inneren derselben bildet, ist stets die Spannung des Dampfes gleich dem Drucke der Atmosphäre. Der Unterschied der Temperatur über und unter dem Siedepunkt bringt zwar ungefähr auch einen gleichen Unterschied in den Spannkraften hervor, allein es ist dies doch nicht ganz streng der Fall. Es werden z. B. die Spannkraften der Dämpfe von Weingeist, Schwefelkohlenstoff und Schwefeläther bei den verschiedenen Temperaturen durch folgende Werthe ausgedrückt:

Tempera- tur.	Weingeist.	Schwefel- kohlenstoff.	Aether.
— 5	—	90 Mm. Quecks.	108 Mm. Quecks.
+ 10	18 Mm. Quecks.	192 „ „	237 „ „
40	111 „ „	594 „ „	855 „ „
50	189 „ „	828 „ „	1,6 Atmosph.
60	310 „ „	1134 „ „	2,3 „
80	769 „ „	—	4,4 „
100	2,37 Atmosph.	—	7,8 „
250	145,2 „	—	151 „

Die Dichtigkeit des Wasserdampfes beträgt bei den verschiedenen Temperaturen $\frac{5}{8}$ s von der der Luft. Um dieselbe zu finden, hat man nur das Gewicht eines bestimmten Volumens Dampf bei einer gewissen Temperatur zu ermitteln und gleichzeitig dessen Spannkraft zu messen; da man leicht das Gewicht des gleichen Raumtheiles Luft von derselben Temperatur und derselben Spannkraft berechnen kann, so ergibt sich aus jenen Beobachtungen die Dichtigkeit des Dampfes durch eine sehr einfache Rechnung. Auf diese Weise ist die Dichtigkeit des Wasserdampfes für alle Temperaturen ermittelt worden. Sie beträgt z. B. für das Maximum der Spannkraft bei folgenden Temperaturen, wenn das Volumen und die Dichtigkeit des flüssigen Wassers bei 0° als Einheit genommen wird:

Bei —	Grad	Dichtigkeit.	Volumen.
20		0,00000154	650588
0	”	0,00000540	182323
+ 10	”	0,00000974	
+ 20	”	0,00001718	102670
+ 30	”	0,00002938	34041
100	”	0,00058955	1696
121,4	”	0,0011147	897,1
153,1	”	0,0025763	388,2
200,5	”	0,006944	144,0
311,4	”	0,037417	26,72
(100 Atmosph.)			
444,7	”	0,15202	6,578
(500 Atmosph.)			
516,76	”	0,276	3,622
(1000 Atmosph.)			

Die Dichtigkeit der Dämpfe anderer Flüssigkeiten wird in ähnlicher Weise wie diejenige des Wasserdampfes bestimmt, nur beschränkt man sich in der Regel auf diejenige beim Siedepunkt der Flüssigkeiten; die Operation, ein bestimmtes Volumen des Dampfes abzuwägen, wird in einem durch Zuschmelzen verschliessbaren Glasballon vorgenommen, dessen Inhalt durch die Menge Quecksilber gemessen wird, die er, luftleer gemacht, aufnimmt. Man beobachtet gleichzeitig genau Temperatur und Luftdruck und berechnet daraus das Gewicht des gleichen Volumens Luft. Das Einzelne dieser Ermittlung, welche in der Chemie namentlich zur Bestimmung des Atomengewichts u. s. w. vorkommt, können wir hiernach übergehen, indem das Princip derselben aus dem Gesagten hinlänglich klar sein wird.

§ 130. Die Dämpfe dehnen sich, wie bereits mehrfach erwähnt worden, in einem mit Luft erfüllten Raume eben so aus, wie wenn dieser Raum luftleer wäre. Die Spannkraft oder der Druck einer feuchten Atmosphäre besteht also aus der Summe der Spannkraften der Luft und des darin enthaltenen Wasserdampfes. Wenn man z. B. in einem Raume von 1700 Kubikcentim., welcher bereits Luft von 100° und einer Tension von 760^{mm} enthält, Wasser bringt, so verdampft darin 1 Gr. Wasser gerade so, als ob der Raum luftleer wäre. Die Spannkraft des so entwickelten Wasserdampfes beträgt unter diesen Umständen 1 Atmosphäre und die Gesamttension der Gase in dem Raume folglich 2 Atmosphären. Die Wahrheit dieses Gesetzes kann man für niedrigere Temperaturen in

demselben Apparate nachweisen, mit welchem das Gesetz (§ 129) bewiesen wird. Für höhere Temperaturen ist jedoch eine andere Construction desselben erforderlich, auf die wir indessen hier nicht näher eingehen wollen.

§ 131. Die Wärmemenge, welche beim Entstehen von Dünsten unterhalb des Siedepunktes gebunden wird, ist eben so gross wie diejenige, welche beim Sieden derselben Menge gebunden wird (die Bestimmung dieser letzteren s. u.). Deshalb wird bei jeder Verdunstung einer Flüssigkeit der Umgebung Wärme entzogen. Beim Kochen geschieht dies gleichfalls, doch wird dabei die Wärmeentziehung weniger empfunden, weil stets eine besondere Wärmequelle vorhanden ist. Beim Verdunsten wird die Menge der gebundenen Wärme zwar auf einen grösseren Zeitraum vertheilt, allein sie wird bei der Umgebung mit wenig erhitzten Gegenständen leichter fühlbar. Je flüssiger die verdampfende Flüssigkeit ist, desto mehr wird sie auch bei niedriger Temperatur verdunsten, desto mehr Wärme entzieht sie also der Umgebung; Flüssigkeiten, welche bei gewöhnlicher Temperatur sieden, erkälten daher die berührenden Körper am stärksten. Jede Verdunstung erzeugt also Kälte, und zwar um so mehr, je schneller sie vor sich geht.

Wenn man z. B. eine Thermometerkugel mit Baumwolle umwickelt, darauf Aether oder flüssige schweflige Säure bringt und das Thermometer schnell im Kreise schwingt, oder die Verdunstung dadurch erhöht, dass man die Luft umher verdünnt, so kann das Quecksilber durch die Entziehung der latenten Wärme zum Gefrieren gebracht werden.

Mittelst der Luftpumpe kann man auch Wasser in folgender Weise gefrieren lassen: Man bringt unter den Recipienten eine Schale mit Wasser und eine andere mit concentrirter Schwefelsäure und beschleunigt die Verdunstung durch Auspumpen der Luft; die Schwefelsäure absorbiert den Wasserdampf und befördert somit die Dampfbildung; die Verdunstungswärme wird hierbei auch dem Wasser selbst entzogen, an dessen Oberfläche die Verdunstung stattfindet, und es wird dadurch so erkältet, dass es gefriert. Befindet sich das Wasser in einem geschwärzten Uhrglase, so ist die dadurch beförderte Wärmeabgabe so gross, dass es ohne Schwefelsäure gefriert.

Bringt man zwei Gefässe unter dem Recipienten mit einander in Berührung, von denen das eine Aether, das andere Wasser enthält, so wird die Verdunstung des Aethers durch die Luftverdünnung so beschleunigt, dass das Wasser durch die bei niedriger Temperatur rasch entzogene Wärme zum Gefrieren kommt.

Auf der Verdunstungskälte beruht auch das Gefrieren des Wassers in *Wollaston's Kryophor*. Er besteht aus zwei luftleer gemachten, durch eine Glasröhre verbundenen Kugeln, deren eine etwas Wasser enthält. Wenn man die leere Kugel durch eine Kältemischung abkühlt, so gefriert das Wasser in der *anderen* Kugel, weil in der ersteren die Wasserdünste eben so schnell verdichtet werden, wie sie sich in jener bilden, und daher eine sehr rasche Verdunstung, mithin eine grosse Wärmeentziehung in der gefüllten Kugel bewirkt wird.

Auch die Abkühlung des Wassers in porösen Gefässen (*Alkarazza's*), an deren äusserer Oberfläche das durchsickernde Wasser rasch verdunstet, beruht auf dieser zur Dampfbildung auch bei anderer Temperatur erforderlichen Wärmeverschluckung. Dadurch gelingt es, das Wasser in den Gefässen bis auf mehrere Grade unter die Temperatur der umgebenden Luft abzukühlen, wenn diese trocken genug ist, um noch viel Wasserdampf aufnehmen zu können.

Eine der flüchtigsten Flüssigkeiten, welche wir kennen, ist die flüssige Kohlensäure. Wenn man dieselbe aus dem Gefässe, worin sie comprimirt worden, durch einen feinen Strahl austreten lässt, so verdunstet sie so rasch in der weit über ihren Siedepunkt erwärmten Luft, dass die Wärme dazu keinem anderen Körper entzogen werden kann, als von den Theilen der Kohlensäure selbst. Diese werden dadurch so stark erkaltet, dass sie die feste Form annehmen, und man erhält also statt der austretenden flüssigen Kohlensäure einen Theil derselben als Gas, einen anderen als feste Krystalle — in Gestalt schneeähnlicher Flocken.

Auch die feste Kohlensäure zeigt natürlich eine sehr grosse Neigung zum Verdunsten und ist mehr als jeder andere Körper geeignet, eine niedrige Temperatur hervorzurufen, nur muss man die Berührung der Kohlensäure und des zu erkaltenden Körpers durch Auftröpfeln von etwas Aether inniger machen. Es gelingt dann, auf diese Weise Temperaturen bis zu -90° zu erhalten, die natürlich nicht mit dem schon weit früher erstarrenden Quecksilber, sondern mittelst eines Alkoholthermometers gemessen werden müssen.

Noch niedrigere Temperaturen können durch Anwendung von flüsigem Stickstoffoxydul erhalten werden, mit welchem man eine Kälte von -115° erreicht hat.

§ 132. Wenn ein Raum, welcher bei seiner Temperatur mit Wasserdampf gesättigt ist, d. h. Wasserdampf vom Maximum der Tension enthält, abgekühlt wird, so muss ein Theil des Wasserdampfes abgeschieden werden, weil bei einer niedrigeren Temperatur auch die Tension des Wasserdampfes geringer ist, ebenso, wie derselbe sich verdichtet, wenn der Raum verkleinert wird, in welchem er befindlich ist. Bei der Verdichtung des Wasserdampfes nimmt er die Gestalt von *Nebel* oder *Wolken* an, welche aus kleinen Bläschen bestehen, deren Wandung aus Wasser, deren Inneres vermuthlich aus Wasserdunst gebildet ist. Man pflegt solchen Nebel im gewöhnlichen Leben *Dampf* zu nennen, was aber unrichtig ist, da der Dampf durchsichtig wie die Luft ist. Beobachtet man z. B. den aus einer Röhre mit Kraft ausströmenden Dampf, so bemerkt man in der sich bildenden weissen Wolke eine nach oben spitz zulaufende kegelförmige Stelle über der Ausströmungsöffnung, welche vollkommen durchsichtig ist, während rings umher, da wo die Abkühlung durch die umgebende Luft bereits bewerkstelligt worden, die weissen Bläschen des Nebels erscheinen. Man kann sich bei jedem Kessel mit siedendem Wasser, bei jeder Locomotive hiervon überzeugen, und Alles, was man im gewöhnlichen Leben *Dampf* zu nennen pflegt, ist bereits *verdichteter Dampf*, d. h. Wasser in Gestalt von Bläschen. Manche Physiker haben diesen eigenthümlichen Zustand des Wassers als einen besonderen Aggregatzustand betrachtet, und es spricht hierfür allerdings die grosse Leichtigkeit, womit diese Bläschen nach Art der warmen Gase in der Luft schweben bleiben.

Bei der näheren Betrachtung der atmosphärischen Erscheinungen werden wir noch einmal hierauf zurückkommen.

§ 133. Zur Erläuterung des in den letzteren Paragraphen Gelehrten können folgende leicht anzustellende

Versuche dienen, bei denen wir die täglich zu machenden Beobachtungen über den Einfluss der Trockenheit der Luft, der Oberflächen und des Luftzuges ganz weglassen können.

Man stelle, um den Einfluss der Oberflächen allein zu beobachten, gleiche Mengen Wasser in einer flachen Schale oder Untertasse und in einer Reagenzröhre neben einander an einen etwas warmen Ort; der

Unterschied in der zu gleicher Zeit verdunstenden Wassermenge wird sich sehr bald bemerklich machen.

Die Vergrößerung der Oberfläche ist eine derjenigen Bedingungen, welche man im gewöhnlichen Leben, beim Aufhängen der Wäsche u. s. w., sowie bei der Verdampfung des Soolwassers auf den Gradirwerken und bei manchen anderen Gelegenheiten als sehr wirksam zur Beförderung der Verdunstung anwendet.

Die Verdunstungskälte kann man leicht durch Umwickeln der Kugel eines Thermometers mit Watte und Anfeuchten derselben mit Aether an dem augenblicklichen Sinken des Quecksilbers, und namentlich beim Hin- und Herbewegen unter wiederholtem Befeuchten wahrnehmen. Dasselbe zeigt sich, obwohl in geringerem Maasse, bei Anwendung von Wasser statt des Aethers.

Man umwickle ferner eine Flasche mit einem Tuche, fülle sie mit Wasser und warte so lange ab, bis dieses an einem engesenkten Thermometer die Temperatur der umgebenden Luft anzeigt; dann befeuchte man wiederholt das Tuch mit Wasser von gleicher Wärme: das Thermometer wird sofort um mehrere Grade sinken.

Nasse Kleider bewirken daher eine starke Wärmeentziehung an dem Körper, mithin Erkältungen; Besprengen der Strassen u. s. f. mit Wasser gibt in heissen Sommertagen fühlbare Kühle, obwohl das Verfahren für geschlossene Räume nicht zu empfehlen ist, indem sich in diesen gleich nachher die vermehrte Feuchtigkeit der Luft durch das Gefühl der Schwüle sehr unangenehm bemerklich macht; Abkühlung von Wasser oder Wein bewirkt man besser durch Benetzen der mit Tuch umgebenen Gefässe, als durch blosses Eintauchen in Wasser, es sei denn, dass man *sehr kaltes* Wasser zur Verfügung habe.

Man giesse in ein kleines Kölbchen, welches oben einen umgebogenen Rand besitzt, etwas Wasser, stelle einen kurzen Eisendraht hinein, befestige das Kölbchen mittelst eines umgewickelten Fadens an einer längeren Schnur (Fig. 69) und umgebe den unteren Theil mit etwas Watte. Alsdann tröpfe man auf diese Aether, bewege das Ganze an dem Faden rasch hin und her und wiederhole das Benetzen noch mehrmals. Nach einiger Zeit wird sich der herausgezogene Draht mit Eisnadeln bedeckt zeigen.

Fig. 69.



§ 134. Folgende *Aufgaben* geben Gelegenheit, sich das Vorhergehende noch besser klar zu machen:

Aufgabe 1. Durch Mischen von 3 Pfund Eis von 0° mit 7 Pfund Wasser von 100° C hat man Wasser von $46,2^{\circ}$ C erhalten; wie gross berechnet sich hieraus die beim Schmelzen gebundene Wärme?

Auflösung. Die in den 7 Pfd. heissen Wassers enthaltenen Wärmeinheiten sind = 700; die in dem durch Mischung entstandenen 462. Hieraus folgt, dass zum Schmelzen des Eises 238 Wärmeeinheiten oder für ein Pfund 79,3 Wärmeeinheiten erforderlich waren.

Aufgabe 2. Wie viel Pfund Schnee muss man mit 6 Pfund Wasser von 95° mischen, um Wasser von 10° zu erhalten?

Antwort. $5\frac{2}{3}$ Pfund.

Auflösung. Man berechne die Anzahl zu entziehender Wärmeeinheiten, und hieraus die Quantität Schnee, welche durch ihr Schmelzen diese Entziehung bewirkt.

Aufgabe 3. Bis zu welcher Temperatur würde gefrorenes Wasser von 0° , wenn es keine latente Wärme zum Schmelzen gebrauchte, über

seinen Schmelzpunkt erhöht werden, wenn es eben so viel erwärmt würde, wie es jetzt zum Schmelzen braucht?

Antwort. Auf 79° C.

Aufgabe 4. Wie gross ist die Dichtigkeit des Wasserdampfes (auf die des Wassers als Einheit bezogen) von 40° beim Maximum der Tension? Der Ausdehnungscoefficient der Luft werde $= \frac{1}{273}$ gesetzt.

Auflösung. Nach der oben (§ 129) gegebenen Tabelle ist der Druck des Wasserdampfes von $40^{\circ} = 53^{\text{mm}}$; die Dichtigkeit der Luft von 40° und unter 53^{mm} Druck ist aber $\frac{53}{760} \cdot \frac{273}{313 \cdot 770}$, da die Dichtigkeit der Luft unter den Normalumständen $\frac{1}{770}$ von der des Wassers beträgt. Hieraus berechnet man leicht die verlangte Dichtigkeit als sehr nahe $\frac{1}{20000}$.

Aufgabe 5. Nach § 130 nimmt man die Dichtigkeit des Wasserdampfes von 100° gleich $\frac{1}{1700}$ an; wie gross ist hiernach das Volumen, welches der Dampf von 1 Pfund Wasser einnimmt?

Antwort. 25,7 . . . Kubikfuss.

Aufgabe 6. Wie viel wiegt ein Kubikfuss gesättigten Wasserdampfes von 30° ?

Antwort. 0,001914 Pfund.

Aufgabe 7. Welchen Druck erleidet jeder Quadratfuss der inneren Fläche eines Kessels, in welchem das Wasser auf $153,1^{\circ}$ erhitzt wird?

Antwort. 11800 Pfund.

Aufgabe 8. Wie viel Wasser ist in der 1000' hohen Luftschicht über $\frac{1}{4}$ Quadratmeile bei 20° enthalten, wenn die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist?

Antwort. 2448000 Kubikfuss.

§ 135. Bei Flüssigkeiten, welche erst in sehr hoher Temperatur in's Sieden kommen, ist die Verdunstung in gewöhnlicher Temperatur so gering, dass sie durch die Abnahme des Gewichts nicht erkannt werden kann. Dass indessen dennoch Dämpfe gebildet worden, kann man auf anderem Wege, z. B. beim Quecksilber dadurch beweisen, dass man ein Goldblättchen in einer über Quecksilber befindlichen Glocke befestigt; nach einiger Zeit ist das Blättchen durch Verbindung mit den sich entwickelnden Quecksilberdämpfen weiss geworden. Dass auch feste Metalle, wie Zinn und Kupfer, bei gewöhnlicher Temperatur Dämpfe bilden müssen, geht aus ihrem eigenthümlichen Geruch hervor; obwohl man bei diesen und manchen anderen festen, riechenden Körpern auch nach Jahren noch keine Gewichtsabnahme nachweisen kann.

Eine andere eigenthümliche Erscheinung ist der sogen. *Leidenfrost'sche Tropfen*. *Versuch.* Ein Schälchen von Blech erhitze man über der Lampe zum Glühen und lasse dann aus einer feinen Röhre einen Tropfen Wasser hineinfallen; derselbe wird nicht sogleich darin verdampfen, sondern die Gestalt einer Kugel annehmen, äusserst schnell sich in dem Schälchen hin und her bewegen und nur sehr langsam sein Volumen vermindern; setzt man das Hinzufügen des Wassers langsam und behutsam fort, so kann man einen ziemlich grossen Tropfen in dieser Weise rotirend erhalten, der alsdann die merkwürdige Gestalt eines regelmässi-

gen Sterns oder auch zweier gekreuzter Sterne annimmt. Wenn durch das Hinzufügen von Wasser oder durch Wegnahme des Schälchens von der Flamme die Temperatur desselben etwas tiefer sinkt als die Glühhitze, so tritt unter Zischen eine plötzliche, sehr heftige Dampfbildung und ein schnelles Verschwinden des Tropfens ein.

Diese Erscheinung, welche man nach Belieben hervorrufen und auf verschiedene Weise abändern kann, hat mehrere Erklärungen erfahren. Am einfachsten dürfte folgende sein. Die plötzliche Dampfbildung an der Oberfläche des glühenden Metalls, verbunden mit der in dieser Temperatur nicht mehr stattfindenden Adhäsion, die vielmehr in eine Repulsion verwandelt ist, bringt einen Zwischenraum zwischen der Metallfläche und der Flüssigkeit hervor, welcher mit Dampf, einem schlechten Leiter, angefüllt ist und daher eine nur sehr geringe Mittheilung von Wärme möglich macht. Diese Dampfschicht umhüllt und schützt den ganzen Tropfen.

Bei sehr flüchtigen Flüssigkeiten ist die zum Auftreten dieses Phänomens erforderliche Temperatur viel niedriger; es zeigt sich sogar bei Flüssigkeiten, die bei mehreren Graden unter 0° bereits sieden. Wenn man z. B. flüssige schweflige Säure in einen glühenden Platinatiegel bringt, so nimmt sie darin, ohne zu sieden, die Kugelgestalt an und erkaltet das Platina nur sehr wenig; giesst man aber Wasser darauf, so wird demselben durch die Verdampfung der schwefligen Säure so viel Wasser entzogen, dass es sofort zu Eis erstarrt. Selbst Quecksilber kann man auf ähnliche Weise in einem glühenden Tiegel zum Gefrieren bringen, wenn man darin zuerst ein Gemisch von Aether und flüssiger Kohlensäure in den rotirenden Zustand versetzt.

Hierher gehören auch die Erscheinungen, dass Kampher auf warmem Wasser sich hin und her bewegt, dass Weingeisttropfen auf erwärmtem Wasser hinrollen, dass Tropfen Wasser auf der heissen Herdplatte nicht sogleich verdampfen, sondern, in feine Kügelchen zertheilt, mit grosser Geschwindigkeit sich fortbewegen, sowie dass feste Kohlensäure, auf die Hand gelegt, nicht das Gefühl der Kälte hervorbringt, ja dass man sie in den Mund nehmen und verschlucken kann, ohne deren niedrige Temperatur zu empfinden. Wenn man sie aber mit der Hand durch einen Druck in innige Berührung bringt, oder diese durch Aether vermittelt, so wird eine heftige Kälte empfunden. Es befindet sich nämlich die feste Kohlensäure durch die Temperatur der Hand, welche weit über ihrem Siedepunkt liegt, in jenem eigenthümlichen Zustand, den man aus allen diesen Gründen auch mit dem Character eines besonderen Aggregatzustandes hat belegen wollen. Allein der Umstand, dass man bei grossen rotirenden Tropfen deren innere Temperatur als bedeutend unterhalb des Siedepunktes liegend gefunden hat, lässt diese Ansicht nicht rechtfertigen.

Umgekehrt können auch sehr heisse feste oder flüssige Körper auf leicht verdampfenden oder auf feuchten Körpern ähnliche Erscheinungen hervorrufen. Es ist bekannt, dass man die Hand in geschmolzenes, sehr stark erhitztes Blei, in flüssiges Eisen u. s. f. tauchen kann, ohne sie zu verbrennen; der Versuch gelingt nicht so wohl, wenn die Hand vollkommen trocken, als wenn sie etwas feucht ist, und namentlich, wenn sie mit einer leicht flüchtigen Flüssigkeit überzogen ist; indessen reicht die gewöhnliche Feuchtigkeit der Haut schon hin, um eine unmittelbare Berührung zwischen der Hand und dem heissen Körper zu verhindern und durch Hervorbringung des sogen. sphäroidalen Zustandes die directe Einwirkung der Hitze unmöglich zu machen.

Ungestraft kann man z. B. durch den schwach fliessenden Strom Gusseisens, wie es aus dem Hochofen kommt, die Hand hindurchziehen. Ist indessen der Stoss durch die Schnelligkeit der Bewegung der Hand oder des Eisens zu heftig, so ist derselbe wohl im Stande, die Repulsion zu überwinden, worauf eine Verbrennung erfolgen muss.

§ 136. Die Feuchtigkeit aus der Luft wird durch viele feste Körper angezogen und verdichtet. Die meisten Körper besitzen diese Eigenschaft in einem mehr oder weniger hohen Grade; pulverförmige und überhaupt solche Substanzen, die Gase in grösserer Menge aufnehmen, thun dies auch für den Wasserdunst mehr als andere. Gewisse Körper zeichnen sich aber ganz besonders dadurch aus; man nennt sie *hygroskopisch*. Dazu gehören ausser Chlorcalcium, Kali u. s. w. besonders Haare, Fischbein, Federkiele, Darmsaiten u. a. Jene, welche sich in dem aufgenommenen Wasser auflösen, nennt man deshalb auch zerfliesslich. Letztere hat man in Folge der Formveränderung, welche sie durch Aufnahme der Feuchtigkeit erfahren, dazu benutzt, die Menge der Feuchtigkeit, welche sich in der Luft befindet, zu messen oder vielmehr dieselbe zu beobachten, da eine wirkliche Messung auf diesem Wege nicht möglich ist. Die eigentlich hygroskopischen Körper nämlich richten ihren Feuchtigkeitsgehalt, mithin ihre Gestalt und Grösse nach demjenigen der Luft; sie dehnen sich in feuchter Luft aus und ziehen sich in trockener Luft wieder zusammen, während zerfliessliche Körper und alle diejenigen, welche eine gewisse chemische Verwandtschaft gegen das Wasser äussern, zwar in feuchterer Luft *schneller* Feuchtigkeit aufnehmen, diese aber nicht wieder in trockenerer abgeben. Sie könnten also nur *einmal* und zwar so zur Messung des Wasserdampfgehaltes der Luft benutzt werden, dass man beobachtete, wie viel Wasser von einem bestimmten Gewichte derselben in einer bestimmten Zeit aufgenommen würde. Indessen stellen sich dieser Methode zahlreiche Schwierigkeiten in der wechselnden Beschaffenheit jener Substanzen entgegen.

Um mittelst eines Haares den Feuchtigkeitsgehalt der Luft zu beobachten, bringt man dasselbe so an einem eigenen Apparate an, dass die kleinste Veränderung in seiner Länge durch einen Zeiger angezeigt wird. Den Nullpunkt bestimmt man durch die Länge des Haares in vollkommen trockener, den Endpunkt der Scala durch seine Länge in vollkommen feuchter Luft. Auch Fischbein kann man in ähnlicher Art anwenden; doch zeigt sich die Ungenauigkeit dieser Instrumente, in Folge der Ungleichmässigkeit in der Verlängerung und Verkürzung, schon in dem Mangel an Uebereinstimmung, welche ein *Haarhygrometer* und ein *Fischbeinhygrometer* zeigen; man würde sie also besser Hygroscope nennen.

Darmsaiten verlängern sich ebenfalls durch Feuchtigkeitsaufnahme; diese Verlängerung zeigt sich durch eine *Drehung* in Folge der Beschaffenheit der (*gewundenen*) Darmsaite. Man pflegt verschiedene Apparate, die wohl nur als *Spielereien* zu betrachten sind, hiernach zu construiren, so dass die Drehung der Saite sich an irgend einem Gegenstande zeigt. Folgender

Versuch kann dazu dienen, diesen Einfluss der Luft auf die Gestalt der Saite zu zeigen. Man feuchte eine Darmsaite stark an, befestige ein kurzes Stück davon an einen wagerechten Draht und spanne sie in senkrechter Richtung straff an; dann stecke man durch das untere Ende eine Nähnadel und beobachte während des Trocknens das Drehen derselben an einer untergelegten Papierscala, wenn die Saite nur am anderen Ende befestigt ist. Wird später die Luft feuchter, so dreht sich die Nadel nach entgegengesetzter Richtung u. s. w.

Wir werden später andere Instrumente kennen lernen, um die Feuchtigkeit der Luft sehr genau zu messen.

§ 137. Der Dampf bildung ist die Condensation, die Zurückführung der Dämpfe in den tropfbar flüssigen Zustand entgegengesetzt. So wie indessen manche Körper unter gewöhnlichen Umständen unmittelbar aus dem festen Zustand in den gasförmigen übergehen, so gehen auch manche direct aus dem gasförmigen in den festen Zustand über.

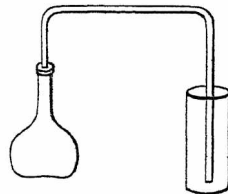
Aehnlich wie beim Erstarren der flüssigen Körper die gebundene (latente) Wärme wieder frei wird, so tritt auch bei dem Flüssigwerden der Dämpfe die zur Dampf bildung verwendete latent gewordene wieder aus. Die Menge der Wärme, welche bei der Verdichtung des Dampfes wieder frei wird, ist sogar leichter zu finden, als diejenige, welche zur Dampf bildung gebunden wird. Die Ermittlung dient rückwärts zur Bestimmung der letzteren. Wenn man z. B. ein Pfund Wasser in einem Gefässe verdampft, von welchem eine Röhre die entwickelten Dämpfe in ein anderes Gefäss mit kaltem Wasser führt, worin sie vollständig verdichtet werden und die sämmtliche verschluckte Wärme an das kalte Wasser abgeben müssen, so kann man aus der Erhöhung von dessen Temperatur auf die Menge der letzteren einen Schluss ziehen. Wenn z. B. 20 Pfund kaltes Wasser von 10° vorhanden waren, so wird eine Erhöhung von dessen Temperatur auf 40° stattfinden. Es sind in diesem Falle also 600 Wärmeeinheiten aufgenommen worden; sie rühren indessen nicht allein von der latenten Wärme des Dampfes her, denn das eine Pfund Wasser, welches als Dampf 100° besass, finden wir in dem erwärmten Wasser ebenfalls mit 40° wieder. Es sind also von jenen 600 die von dem übergegangenem Wasser verlorenen 60 Wärmeeinheiten abzuziehen; es bleiben demnach noch 540. Die Wärme also, welche erforderlich ist, um 1 Pfund Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln, würde, wenn keine Dampf bildung einträte, 1 Pfund Wasser von 0° auf 540° oder 540 Pfund Wasser überhaupt um einen Grad erwärmen.

Genauere Versuche ergeben die Zahl 537 als das mittlere Resultat mehrerer Beobachtungen. Die latente Wärme, welche zur Dampf bildung erforderlich ist, beträgt demnach 6,8 mal so viel, wie diejenige, welche beim Schmelzen des Eises aufgenommen wird.

Wenn auch nur annähernd, so lässt sich doch diese grosse Menge zur Dampf bildung erforderlicher Wärme folgendermaassen durch einen

Versuch nachweisen: Man construire aus einem Kölbchen, einer gebogenen Röhre und einem beliebigen Glase den neben gezeichneten Apparat (Fig. 70) und stelle ihn so auf, dass das Kölbchen durch eine Spiritusflamme erhitzt werden kann. Man bringe nun in das Glas und in das Kölbchen gleiche gewogene Mengen Wasser, z. B. 10 Loth, und erhitze darauf das Wasser in dem letzteren zum Sieden, indem man sich die dazu erforderliche Zeit merkt. Hierbei ist es gerathen, die Verbindungsröhre nicht eher in das Wasser im Glase einzutauchen, bis das Sieden begonnen hat; alsdann fahre man mit dem Kochenlassen fort, bis der durch das kalte Wasser streichende und sich in demselben verdichtende Dampf dasselbe ebenfalls zum Sieden gebracht hat. Bemerkt man sich die dazu erforderliche Zeit, so wird man sie der vorhin beobachteten sehr nahe gleich finden. Gleich zu Anfang

Fig. 70.



des Siedens nimmt man den Stöpsel aus der Flasche und entfernt die Lampe. Um nun zu finden, welche Menge Wassers verdampft werden musste, um die im Glase befindliche Quantität in's Sieden zu bringen, wiegt man nach dem Versuche Kolben und Glas. Man wird (nach Abzug des Gewichtes der leeren Gefässe) finden, dass in letzterem (nahezu) 12 Loth, in ersterem nahe 8 Loth Wasser befindlich sind. Mithin sind 2 Loth Wasser in Dampf verwandelt worden, und zwar ist nach dem Obigen die hierzu erforderliche Zeit dieselbe gewesen, wie die zur Erhitzung der 10 Loth Wasser zum Sieden nothwendige, denn die übrigen 2 Loth kommen mit ihrer eigenen Temperatur von 100° im Wasser vor.

Es folgt daraus, dass durch die Rückkehr des Dampfes in die tropfbare Gestalt eine bedeutende Menge und zwar so viel Wärme frei wird, dass etwa die 5 fache Menge Wasser dadurch zur Siedehitze gebracht werden könnte.

In ähnlicher Weise, jedoch mit weit empfindlicheren Apparaten und unter Maassregeln, die die Abgabe von Wärme an die Umgebung verhindern, bestimmt man die aus den Dämpfen anderer Flüssigkeiten frei werdende, oder bei ihrer Dampfbildung latent werdende Wärme; sie beträgt beim

Wasser	537	Citronenöl	80
Alkohol	214	Terpentinöl	74
Aether	90		

Wärmeeinheiten; die grosse Menge von latenter Wärme, welche der Wasserdampf enthält, macht ihn mehr als andere geeignet, zum Erhitzen von Wasser, von grösseren Räumen, zum Trocknen u. s. w. benutzt zu werden. Es würde zu weit führen, wenn wir die zahlreichen Anwendungen besprechen wollten, welche er in dieser Beziehung in den Gewerben erfährt; es versteht sich von selbst, dass dabei von einer Ersparniss an Brennmaterial im strengen Sinne nicht die Rede sein kann, indem der Dampf nur eine Uebertragung der Wärme bewirkt. Die Ersparung liegt darin, dass man die Hitze *einer* und zwar einer möglichst vollkommen anzulegenden und zu benutzenden Feuerung an beliebig viele und beliebig entfernte Stellen hinüberleiten kann, und es eignet sich gerade der Wasserdampf dazu am besten, weil er eine so sehr grosse Menge Wärme in latentem Zustande bei sich führt, welche er bei der sehr geringen Erkaltung schon vollständig abgibt. Natürlich müssen die Dampfleitungen vor dem Wärmeverlust durch Strahlung und Leitung geschützt sein, weil sich sonst in der Leitung schon das Wasser condensirt.

§ 138. Da nach dem früher (§ 125 ff.) Angeführten die Luft bei verschiedenen Temperaturen verschiedene Mengen Wasserdampf enthalten kann, so ist sie durch dieselbe Menge je nach ihrer Temperatur mehr oder weniger gesättigt. Enthält die Luft so viel Wasserdampf, wie sie überhaupt bei der vorhandenen Temperatur aufnehmen kann, so ist sie vollkommen feucht, und je näher ihr Wassergehalt diesem Maximum kommt, desto mehr macht sie auf unseren Körper den Eindruck der Feuchtigkeit; wenn sie noch bedeutend an Wassergehalt zunehmen kann, so trocknet sie feuchte Körper aus und bringt auf uns daher das Gefühl der Trockenheit hervor. Wenn sehr feuchte Luft stark abgekühlt wird, so wird bald eine Temperatur eintreten, in welcher das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes geringer ist, als die des vorhandenen, oder in welcher sie nur eine geringere Menge davon in Gasgestalt ent-

halten kann. Das *Mehr* muss sich alsdann verdichten — es entsteht ein Niederschlag von Wassertröpfchen. Tritt die Erkaltung durch eine grössere Menge der Luft hindurch ein, so wird der Wasserdampf an allen Stellen der erkalteten Luft condensirt und also Nebel (oder bei noch grösserer Abscheidung Regen) gebildet. Wird aber nur durch Hinzukommen eines kälteren Körpers eine gewisse Fläche der Luft erkaltet, so tritt die Wasserbildung als *Thau* an der Oberfläche des kalten Körpers ein.

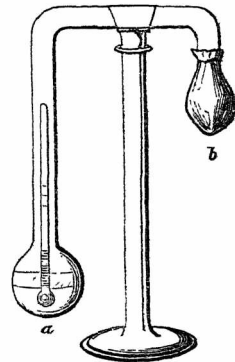
Versuch. In ein Trinkglas giesse man etwas Wasser, welches ungefähr die Temperatur des Zimmers besitzt, und stelle ein Thermometer hinein; dann füge man nach und nach unter Umrühren recht kaltes Wasser oder in Ermangelung desselben eine frisch bereitete Salmiakauflösung (§ 124) hinzu. Durch die am Thermometer zu beobachtende Temperaturerniedrigung wird die Luft in der Nähe des Glases erkaltet und endlich kommt sie bei derjenigen Temperatur an, für welche sie durch den vorhandenen Wasserdampf gesättigt sein würde. Eine geringe weitere Erkaltung muss dann eine Abscheidung von Wasser bewirken. Dies geschieht, indem das Glas sich mit Wassertröpfchen (*Thau*) beschlägt. Das eingetauchte Thermometer zeigt die entsprechende Temperatur, welche man den *Thaupunkt* nennt.

Je feuchter die Luft bereits ist, je näher sie ihrem Sättigungspunkte steht, desto geringer ist die zum Eintreten des Beschlagens erforderliche Temperaturerniedrigung, welche also als Mittel zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft benutzt werden kann. Dies geschieht durch die folgenden Instrumente:

1. *Daniell's Hygrometer* besteht aus einem Glasrohr mit zwei Glaskugeln (Fig. 71), deren eine etwas Aether und ein Thermometer enthält, während die andere leer und nur mit etwas feinem Zeuge umgeben ist. Die erstere ist zum Theil vergoldet, beide sind luftleer und also mit Aetherdampf angefüllt. Wenn man nun auf die Kugel b etwas Aether tröpfelt, so wird durch dessen Verdunstung der im Inneren befindliche Aetherdampf zum Verdichten erkaltet, dadurch in der anderen Kugel nun Dünste gebildet, diese wieder verdichtet u. s. w. Mithin wird die Temperatur in der Kugel a sinken, wie das darin befindliche Thermometer anzeigt, und endlich durch diese niedrige Temperatur das Beschlagen derselben herbeigeführt, welches sich auf der Vergoldung am leichtesten zeigt. Nach einiger Zeit, wenn der Aether bei b vollkommen verdunstet ist, gleicht sich die Wärme wieder aus und der Beschlag verdunstet wieder bei einer etwas höher gelegenen Temperatur. Die Mitte dieser und der beim Beschlagen beobachteten Temperatur nimmt man als den *Thaupunkt* an, für welchen also die in der Luft vorhandene Feuchtigkeit dieselbe sättigen würde.

Kennt man den *Thaupunkt*, so kennt man folglich auch die Dichtigkeit des Wasserdampfes, weil derselbe hierbei das Maximum seiner Tension besitzt, und aus einer Tabelle, wovon § 129 den Auszug enthält, berechnet man hiernach den Druck des Wasserdampfes oder auch die ganze in einem bestimmten Raume enthaltene Menge desselben. Dass dabei vorher eine Reduction von dem beobachteten auf den Normal-

Fig. 71.



barometerstand vorgenommen werden muss, versteht sich, weil es sich um die Dichte des Wasserdampfes handelt, wohl von selbst.

Es sei z. B. die Temperatur der Luft 20° C, der Barometerstand der Einfachheit halber 760 Mm., der Punkt des Beschlagens $9,5^{\circ}$, der des Verschwindens des Beschlages $10,5^{\circ}$, so ist der Thaupunkt 10° ; bei 10° würde also die Luft durch die vorhandene Wassermenge gesättigt sein; die Dichte des Wasserdampfes bei 10° ist nach der Tabelle 0,0000938; in einem Kubikmeter sind also 9,38 Gr. Wasser enthalten. Bei 20° würde die Luft durch Wasserdampf von 0,00001723 specif. Gew. gesättigt sein und also ein Kubikmeter 17,23 Gr. enthalten müssen; sie enthält also

jetzt nur $\frac{938}{1723}$ derjenigen Feuchtigkeit, welche sie enthalten könnte,

oder $54,4^{\circ}$ davon und erscheint daher verhältnissmässig trocken. Wenn die Temperatur der Atmosphäre auf 10° sänke, so würde sie vollkommen feucht sein und bei 9° würde schon ein Theil des Wasserdampfes als Thau oder Nebel abgeschieden werden müssen.

Beim Gebrauche des Instrumentes benutzt man Tabellen, welche gleich die Menge des Wasserdampfes in einem bestimmten Luftvolumen oder auch für den jedesmaligen Unterschied der Temperaturen die Procente des Wasserdampfes von der vollkommenen Sättigung angeben.

2. Das *Hygrometer von Regnault* ist nur eine Abänderung des vorigen, indem die Verdunstung des Aethers und mithin die Abkühlung der einen Glaskugel nicht durch Condensation des Aetherdampfes durch Erhaltung, sondern durch Beschleunigung der Verdunstung durch einen Luftstrom bewirkt wird, welchen ein Aspirator hervorbringt. Das Instrument erlaubt die Beobachtung aus der Ferne und wird also nicht durch die Nähe des Beobachters ungenau gemacht.

3. Das *Psychrometer von August* besteht aus zwei Thermometern, welche neben einander aufgehängt sind und in ihrem Gange sehr genau mit einander übereinstimmen. Die Kugel des einen ist mit etwas Musselin umhüllt und wird bei jeder Beobachtung mit Wasser befeuchtet. Dieses verdunstet, wenn die Luft das Maximum von Feuchtigkeit besitzt, gar nicht, entzieht daher dem Thermometer keine Wärme, und in diesem Falle zeigen beide Thermometer gleiche Wärme an. Je weiter aber die Atmosphäre von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, desto rascher muss das Wasser verdunsten, desto tiefer muss also das Thermometer sinken. Der Unterschied des Standes der beiden Thermometer, nachdem das benetzte nicht mehr weiter sinkt, gibt also einen Maassstab ab für den Feuchtigkeitsgehalt der umgebenden Luft.

Es kann hier die Entwicklung der Formel, nach welcher diese Differenz zur Berechnung benutzt wird, füglich weggelassen werden. Man hat danach Tabellen construiert, welche das Gewünschte für jede Beobachtung direct angeben.

§ 139. Die specielleren Folgerungen, welche mit Hülfe der Thermometer-, Barometer- und Psychrometer-Beobachtungen über die Verhältnisse der Atmosphäre und der Erde gezogen werden können, werden wir bei der zusammenfassenden Betrachtung aller atmosphärischen Erscheinungen später erwähnen; um jedoch einen Zusammenhang anzuzeigen, wozu die Kenntniss dieser Verhältnisse führt, möge hier noch Folgendes Platz finden:

Der Feuchtigkeitsgehalt der Luft ist, ebenso wie ihr Druck, vielen Schwankungen unterworfen; diese sind entweder regelmässige oder unregelmässige. Die letzteren sind derart, dass in Folge der verschiedenen

Temperatur täglich ein oder zwei Maxima und Minima, je nach der Jahreszeit, beobachtet werden.

Da die Luft bei gleichem Wassergehalt dennoch bei niedrigerer Temperatur viel feuchter ist, als bei höherer, so ist es begreiflich, weshalb sie zur Zeit des Sonnenaufgangs (bei dem niedrigsten Stande des Thermometers) am feuchtesten ist, obwohl die absolute Menge des in ihr enthaltenen Wasserdampfes geringer ist, als zu jeder anderen Tageszeit.

Wenn man die relative Feuchtigkeit als maassgebend betrachtet, d. h. die Nähe des Feuchtigkeitsgehaltes an dem der Temperatur entsprechenden Sättigungsgrade, so findet man als Mittel vieler Beobachtungen, dass die Luft im December am feuchtesten (ihrem Sättigungspunkt am nächsten), im August am trockensten ist, obwohl der absolute Wassergehalt in diesem Monat am grössten ist. In diesem Sinne ist die feuchteste Luft zu Niederschlägen am meisten geneigt.

Für den Feuchtigkeitszustand der einzelnen Orte ist die Beschaffenheit der Erdoberfläche von dem grössten Einflusse; dass Binnenländer trockner sind als Küsten- oder Insel-Länder, versteht sich wohl von selbst, und in der Mitte grosser, ununterbrochener Binnenländercomplexe findet man daher stets die trockensten Klimate.

X. Specifiche Wärme und Wärme-Capacität. Calorimetrie.

§ 140. Um die Wärmemengen zu vergleichen, welche zu irgend welchen Temperaturerhöhungen erforderlich sind, nimmt man nicht allein an, dass dieselbe Erwärmungsgrösse stets durch dieselbe Menge Wärme hervorgebracht wird, sie mag von noch so verschiedenen Quellen herrühren, sondern auch, dass bei gleicher Erwärmung gleicher Substanzen die erforderlichen Wärmemengen sich verhalten wie die Gewichte der erwärmten Substanzen, dass also z. B. zum Erwärmen von 100 Pfd. Eisen von 10° auf 20° hundertmal so viel Wärme nöthig ist, wie zur Erwärmung von 1 Pfd. Eisen um dieselbe Grösse. Geht man nun von einer bestimmten Erwärmung eines bestimmten Körpers als Einheit aus und vergleicht man damit die durch dieselbe Ursache hervorgebrachte Erwärmung anderer Körper, so findet man, dass dieselbe Wärmemenge verschiedene Körper um sehr verschiedene Thermometergrade erwärmen kann, dass also jede Substanz eine andere Wärmemenge bedarf, um eine Temperaturerhöhung von z. B. 1° zu erleiden. Diese grössere oder geringere zu gleicher Erwärmung erforderliche Wärmemenge nennt man die *specifiche Wärme* des Körpers, und diese Eigenschaft der Körper selbst deren *Wärmecapacität*.

Die Wärmecapacität der meisten Körper ist veränderlich, d. h. sie erfordern andere Wärmemengen zur Erhöhung von z. B. 10° auf 11° als zu einer solchen von 100° auf 101° . So weit die Beobachtungen bis jetzt darüber Aufschluss gegeben haben, ist die Wärmecapacität des Wassers constant und sie ist daher zur Einheit gewählt worden.

Um die spezifische Wärme der Körper zu bestimmen, befolgt man drei Methoden; alle diese Ermittlungen fasst man unter dem Worte *Calorimetrie* zusammen.

§ 141. Für den Fall, dass die Wärmecapacität constant ist, kann man beim Vermischen von bekannten Mengen gleicher Flüssigkeiten von verschiedener Temperatur die Temperatur des Gemisches im Voraus bestimmen. Für das Wasser gilt dies in ganzer Strenge. Wenn man z. B. 6 Pfd. Wasser von 20° und 9 Pfd. von 10° mit einander mischt, so ist die Summe der Wärmeeinheiten, welche in der Mischung enthalten ist, 210 , und da diese auf 15 Pfd. vertheilt wird, so ergibt sich als Temperatur derselben 14° . Mischt man dagegen zwei Körper von verschiedener Wärmecapacität zusammen, oder zwei verschieden erwärmte Mengen desselben Körpers, welcher bei verschiedenen Temperaturen verschiedene Wärmecapacitäten besitzen, so kann dies nicht mehr gelten; wohl aber kann die Beobachtung der hervorgebrachten Temperatur als Mittel dienen, um die jedesmalige Wärmecapacität zu bestimmen. Wenn man z. B. 1 Pfd. Wasser von 7° mit 1 Pfd. Quecksilber von 109° mischt, so nimmt die Mischung nicht eine Temperatur von 58° , sondern nur von 10° an. Die Abgabe der 99 Wärmeeinheiten des Quecksilbers an das Wasser hat also nur eine Temperaturerhöhung von 3° bewirkt. Man sagt daher, die Wärmecapacität des Wassers sei 33 mal so gross, wie die des Quecksilbers, indem dasselbe 33 mal so viel Wärme zu einer Temperaturerhöhung braucht, wie das Quecksilber. Setzt man also die Wärmecapacität des Wassers als Einheit, so ist die des Quecksilbers $\frac{1}{33}$ oder 0,0303.

Dies ist die *Methode der Mischung* zur Ermittlung der Wärmecapacität; die Mischung muss natürlich sehr rasch und in solchen Gefässen vorgenommen werden, welche ohne erheblichen Einfluss auf den Wechsel der Temperatur sind.

Die spezifische Wärme ist der Wärmecapacität proportional und, da man diejenige des Wassers gleich 1 annimmt, mit ihr von gleicher Grösse.

Wenn man die Wärmecapacität der Körper nicht auf gleiches Gewicht, sondern auf gleiches Volumen beziehen will, so muss das spezifische Gewicht in Betracht gezogen werden; es ergibt sich leicht, dass man die Capacität nach dem Gewichte nur mit dem spezifischen Gewichte zu multipliciren hat, um diejenige nach dem Volumen oder die *relative Wärme* zu erhalten; die des Quecksilbers ist demnach 0,4121.

Die *zweite Methode* der Ermittlung der in Rede stehenden Grösse ist die *der Erkaltung*. Man lässt nämlich die zu vergleichenden Körper, nachdem sie zu gleicher Temperatur erhitzt worden sind, in polirten Gefässen aus Silber, welche sie vollkommen ausfüllen, im luftleeren Raume erkalten. Die verschiedenen Erkaltungsgeschwindigkeiten sind alsdann der Maassstab für die Wärmecapacitäten. Da nämlich das Volumen sehr klein genommen wird und die ausstrahlende Oberfläche dieselbe ist, so hängt die Erkaltung nur von dem spezifischen Gewichte und der Wärmecapacität ab. Wenn z. B. von zwei Körpern der eine 8 Loth, der andere 4 Loth wiegt, und ersterer in 7 Secunden von 15° auf 10° , der andere in 9 Secunden eben so viel erkaltet, so beträgt die verlorene Wärmemenge für den ersteren bei einer Capacität = c , wie leicht zu finden, 8. c. 5, für den letzteren 4. c'. 5, bei einer Capacität c' . Erstere wurde in 7, letztere in 9 Secunden abgegeben; es verlor aber jede Silberkugel in

einer Secunde dieselbe Wärmemenge, und diese muss also für beide gleich sein; daher ist $\frac{8. c. 5}{7} = \frac{4. c'. 5}{9}$ oder es ist $c : c' = \frac{7}{8} : \frac{9}{4}$; d. h. es verhalten sich die Wärmecapacitäten wie die Erkaltungszeiten, dividirt durch die Dichtigkeiten. Da nun das specifische Gewicht der untersuchten Körper stets genau bekannt ist, so kann hiernach die Wärmecapacität leicht gefunden werden.

Bei Anwendung der *dritten*, der *Schmelzmethode*, wird die Menge Eis bestimmt, welche durch die zu einer gewissen Temperatur erhitzte Substanz geschmolzen wird. Man nimmt dabei an, dass die aufgenommene Wärme oder die Wärmecapacität dieser Menge proportional sei.

Man bedient sich dazu des *Calorimeters* von *Laplace*. Dieses Instrument besteht aus drei in einander geschachtelten Metallgefässen, deren innerstes den erhitzten Körper, die beiden anderen dasselbe umgebende Eisstückchen von 0° enthalten. Die im äussersten Gefässe befindlichen dienen nur dazu, die Wärme der Luft abzuhalten, welche theilweise zum Schmelzen dieses Eises aufgenommen wird. Dadurch ist die Wirkung des warmen Körpers auf das in der mittleren Hülle befindliche Eis ungestört und das gebildete Wasser von 0° musste seine latente Wärme allein von demselben aufnehmen. Aus der bekannten Schmelzwärme des Eises und der beobachteten Temperatur des zu untersuchenden Körpers findet man leicht dessen specifische Wärme.

Auf die eine oder andere Art, namentlich aber durch Vervollkommnung der Mischungsmethode, ist die specifische Wärme für viele Körper bestimmt worden. Es mögen hier nur einige Zahlen als Anhaltspunkte Platz finden:

Wasser . . .	1,0000	Quecksilber . . .	0,0333
Eisen	0,1138	Glas	0,1977
Zink	0,0955	Salpetersäure . .	0,6610
Silber	0,0570	Leinöl	0,5280
Blei	0,0314	Alkohol	0,7000
Platina	0,0324	Eis	0,5130

Sinkt demnach die Temperatur einer gewissen Masse Eisen um 1°, so reicht die verlorene Wärme nur hin, um die der gleichen Masse Wasser um 0,11° zu erhöhen. Durch das Erkalten des Wassers dagegen wird mehr Wärme frei als durch das irgend eines anderen Körpers, daher eignet sich das Wasser mehr als jeder andere dazu, um einen Raum durch seine Erkaltung zu erwärmen, indem zu derselben Temperaturerhöhung vom Wasser eine geringere Masse oder eine solche von niedrigerer Temperatur erfordert wird, als von jedem anderen Körper.

Die mittlere specifische Wärme des Erdbodens beträgt ungefähr 0,25, woraus die schnellere Erkaltung des Landes, dem Wasser gegenüber, und zum Theil der erwärmende Einfluss grosser Wassermassen auf das Klima benachbarter Länder folgt.

Für das Wasser ersieht man aus obiger Angabe, dass es im festen Zustande eine weit geringere specifische Wärme hat; auch für andere Substanzen wechselt dieselbe je nach dem Aggregatzustande; dass sie nicht bei allen Temperaturen dieselbe ist, wurde bereits oben bemerkt.

Kennt man die Wärmecapacität einer bestimmten Substanz, z. B. des Platina's, genau, so kann man dieselbe benutzen, um hohe Temperaturen zu ermitteln. Man bringt nämlich eine Kugel von bestimmtem

Volumen an die Stelle, deren Temperatur zu ermitteln ist, und wirft die vollständig erhitzte Platinakugel plötzlich in kaltes Wasser von bestimmter Temperatur und bestimmtem Gewicht. Aus der Wärmezunahme des Wassers und der Wärmecapacität des angewandten Metalls kann man alsdann die Temperatur der Kugel und mithin des untersuchten Ortes berechnen; doch ist diese Methode der Pyrometrie in ihrem Erfolg sehr von der Geschicklichkeit des Experimentators abhängig.

§ 142. Die spezifische Wärme *der Gase* findet man, indem man sie, auf eine bestimmte Temperatur erhitzt, durch ein Schlangenrohr gehen lässt, welches sich in einem mit Wasser gefüllten Cylinder befindet. Je mehr — dem Gewichte nach — Gas erforderlich ist, um dieselbe Temperaturerhöhung der constanten Wassermasse hervorzubringen, desto geringer ist die Wärmecapacität des Gases. Aus allen erforderlichen Daten ergibt sich diese dann mit grosser Genauigkeit; als Beispiele mögen hier stehen:

Sauerstoff . .	0,2182	Ammoniak . .	0,5080
Wasserstoff . .	3,4046	Alkoholdampf .	0,4513
Atmosph. Luft .	0,2377	Wasserdampf .	0,4750
Kohlensäure . .	0,2164		

Dieselbe Menge Wärme also, welche ein Pfund Wasser um 1° erwärmt, reicht aus, um $\frac{1}{0,24}$ Pfd. oder etwa 4 Pfd. Luft um eben so viel zu erwärmen.

Die spezifische Wärme des Wasserdampfes übertrifft — das Wasserstoffgas ausgenommen — die der meisten übrigen Gase; sie ist jedoch weit kleiner als die des Wassers und ungefähr so gross wie die des Eises.

Wenn man das Atomgewicht eines einfachen Stoffes mit der spezifischen Wärme desselben multiplicirt, so erhält man als Product jedesmal nahezu eine constante Zahl, nämlich zwischen 38 und 42; d. h. also es verhalten sich die Atomgewichte umgekehrt, wie die spezifischen Wärmen. Diese letzteren kann man also aus der constanten Zahl und dem Atomgewicht durch Rechnung finden.

Bei zusammengesetzten Körpern von *ähnlicher chemischer Constitution* gilt das Gesetz, dass ihre spezifischen Wärmen in umgekehrtem Verhältniss zu ihren Atomgewichten stehen; das Product ist hier ebenfalls ein constantes, jedoch von dem der einfachen Körper verschieden. Hierdurch erhält man Mittel, die Atomgewichte, wie sie auf anderem Wege gefunden werden, durch die beobachtete spezifische Wärme zu controlliren. Das Product ist indessen nicht genau constant, und zwar schon aus dem Grunde, weil die spezifischen Wärmen nur in gewissen Grenzen gleich bleiben, bei grösseren Temperaturveränderungen aber unveränderlich sind.

Für die Oxyde mit einem Atom Sauerstoff ist das Product z. B. 72; für die entsprechenden Schwefelverbindungen 74,5, für Chlormetalle mit 1 Atom Chlor 117 u. s. w.

XI. Quellen der Wärme.

§ 143. Die wichtigste Quelle der Wärme für unsere Erde ist die Sonne; die von derselben ausgehenden Wärmestrahlen wirken um so er-

wärmender, je mehr der Winkel, unter welchem sie die Erdoberfläche treffen, sich dem rechten nähert, indem dieselbe Wärmemenge sich beim senkrechten Auffallen auf den kleinsten Raum verbreitet und eine um so grössere Fläche zu erwärmen hat, je mehr diese gegen die Richtung der Strahlen geneigt ist. Daher nimmt die Erwärmung durch die Sonne nach den Polen hin ab und ändert sich mit der Stellung der Erde gegen die Sonne, wodurch zum Theil der Unterschied der Jahreszeiten bewirkt wird. Diese verschiedene Neigung der Strahlen, verbunden mit dem Einflusse der Dauer der Bestrahlung, bewirkt auch die wechselnde Wärme bei den verschiedenen Tageszeiten, wie wir noch später sehen werden.

Die Luft wird, wie schon früher erwähnt, nicht direct durch die Sonnenstrahlen erwärmt, indem sie sehr diatherman ist, sondern sie empfängt vielmehr ihre Wärme von dem Erdboden und vertheilt dieselbe durch ihre Strömungen in die höheren Schichten.

Die Verbreitung der Wärme nach den Luftschichten und nach den Orten der Erde werden wir in dem Kapitel der Meteorologie näher betrachten.

Zum Messen der directen Wärmekraft der Sonne dient das *Actinometer* von *Herschel*. Es ist ein dem Thermometer ähnliches Instrument, welches aus einem grossen cylindrischen Behälter von farblosem Glase besteht, welches mit einer dunkelblauen Flüssigkeit gefüllt ist, in welche eine mit einer entsprechenden Scala versehene Röhre hinabreicht. Die blaue Flüssigkeit absorbiert *alle* Wärmestrahlen und zeigt die erhaltene Wärme durch ihre Volumenvergrößerung an. Der Unterschied des Standes im Schatten und in den Sonnenstrahlen gibt die Erwärmung in einer bestimmten Zeit an, woraus man die gewünschte Angabe leicht erhalten kann. Mittelst dieses Instrumentes ist z. B. die Beobachtung gemacht worden, dass die Sonnenstrahlen beim Durchgange durch die Atmosphäre etwa $\frac{1}{5}$ von derjenigen Wärme verlieren, welche sie in einer Höhe von 6000 Fuss besitzen. Auch ist eine periodische, von der Rotation abhängige Zu- und Abnahme der Wärme der Sonnenstrahlen nachgewiesen worden. Diese Periode soll 27,68 Tage betragen. Nach anderen Beobachtungen gelangen nur $\frac{6}{10}$ der Sonnenwärme bis zur Erdoberfläche und diese sollen gerade ausreichen, um ein Kubikcentimeter Wasser in einer Minute um $6,7^{\circ}$ zu erwärmen.

Dass die vom Monde reflectirten Wärmestrahlen nur sehr unbedeutend sind, ist schon früher erwähnt worden.

Auch der Weltraum sendet Wärmestrahlen nach der Erde. Die Wirkung derselben hat *Pouillet* mittelst seines Actinometers, eines vor den Wirkungen der Erdwärme geschützten Thermometers, welches bei Nacht beobachtet wird, erforscht; er schloss aus seinen Beobachtungen, dass die Temperatur des Weltraumes etwa -142° sei, dass aber dennoch die von dort der Erde zukommende Wärme $\frac{5}{6}$ von der Sonnenwärme beträgt, weil die Oberfläche der Sonne mehr als 200000 mal kleiner ist, als das Himmelsgewölbe.

§ 144. Die eigenthümliche innere Wärme der Erde ist ebenfalls eine Quelle der Wärme an der Erdoberfläche. Unmittelbar unter der Oberfläche findet man die gleiche oder nahezu die gleiche Temperatur, wie sie die Luft zeigt; bei tieferem Eindringen folgt der Temperaturwechsel in der Erde nur langsam dem an der Oberfläche, und in einer gewissen, nach den Klimaten verschiedenen Tiefe hört aller Einfluss der äusseren Temperatur auf, fahrbar zu sein; von da ab trifft man natür-

lich nur noch die eigenthümliche Wärme der Erde an; das Nähere hierüber gehört nicht sowohl in ein Lehrbuch der Physik, als zur Geologie.

Ausser der Sonne und der eigenthümlichen Temperatur des Erdinneren ist die Entwicklung von Wärme bei *chemischen Processen* die wichtigste Quelle derselben. So wenig die Gesetze bekannt sind, nach welchen diese Wärmeerzeugung stattfindet, so weiss man doch so viel, dass bei *jeder chemischen Verbindung* Wärme frei wird, und dass diese für dieselbe Verbindung derselben Körper stets gleich viel beträgt, mag die Verbindung plötzlich oder langsam eingegangen werden. Alle Versuche, eine genügende Erklärung dieser Erscheinung zu geben, sind bisher gescheitert, namentlich sind diejenigen, welche die Wärmeentwicklung aus der Aenderung des Aggregatzustandes abzuleiten streben, ganz verfehlt, indem die dabei latent oder frei werdende Wärme wohl *störend* für das Gesamtergebnis auftritt, keineswegs aber die Ursache sein kann.

Die Menge der Wärme, welche bei den verschiedenen Verbindungen frei wird, gilt als ein Beweis für die Grösse der jedesmaligen chemischen Verwandtschaft; nur für wenige Fälle ist sie genau gemessen worden und es sind die Regeln, welche für die einzelnen Classen von Verbindungen aufgestellt worden sind, nur als sehr unvollständig zu betrachten. Man erkennt jedoch — so allgemein gilt das Hauptgesetz — den Umstand, dass wirklich eine chemische Verbindung stattfindet, daran, dass Wärme entwickelt wird, und in manchen Fällen ist dies das einzige Mittel, darüber Sicherheit zu erhalten.

Diejenige Verbindung, wobei am meisten Wärme entwickelt zu werden scheint, ist die Verbindung der Körper mit Sauerstoff, oder die *Verbrennung*. Die Verbrennung dient daher auch fast ganz allein zur *künstlichen Erzeugung* von Wärme. Nach dem oben Gesagten bleibt die Summe der frei werdenden Wärme ganz gleich, ob die Verbrennung in mehreren Stufen, ganz allmählich, oder ob sie plötzlich stattfindet. Für die Benutzung ist die schnelle Verbrennung die vortheilhafteste, weil die unvermeidlichen Verluste durch Abkürzung der Zeitdauer verringert werden. Man sucht daher bei jeder Verbrennung zur Wärmeentwicklung gleich die Verbindung mit der grössten Menge Sauerstoff zu erzielen.

Wegen der vielfachen Anwendung der Verbrennung ist es von grossem Interesse, die Wärmemengen zu kennen, welche aus gleichen Gewichten verschiedener Brennmaterialien beim Verbrennen entwickelt werden, und zahlreiche Versuche sind in dieser Richtung angestellt worden, welche so eingerichtet waren, dass die Temperatur der Verbrennungsproducte möglichst vollständig an eine Wassermenge abgegeben werden konnte, deren Temperatur den Grund der Berechnung abgab. Die Menge der mit einem Pfund des Brennmaterials zu erzeugenden Wärmeinheiten, d. h. die Anzahl Pfunde Wasser, welche durch deren Verbrennung von 0° bis 1° erwärmt werden kann, beträgt für

vollkommen trocknes Holz	3600
lufttrocknes Holz . . .	2900
Graphit	7800
Holzkohle	7500
Steinkohle	6—7000
Coaks (?)	6600
Torf	2000
Baumöl	11200
Rüböl	9300

Weingeist	7200
Talg	8000
Terpentinöl	11000

Auch die bei der Verbrennung der verschiedenen Gase entwickelte Wärme ist bestimmt worden, sie beträgt z. B. für

Wasserstoff	34500
Sumpfgas	13000
Kohlenoxyd	2400
Oelbildendes Gas	12000

Wenn man bei zusammengesetzten Körpern die Wärme, welche sich aus ihrer Verbrennung entwickeln soll, aus derjenigen berechnet, welche die einzelnen Bestandtheile geben, so erhält man ein Resultat, welches, bei gehöriger Berücksichtigung aller Umstände, wenig von der Wahrheit abweicht.

Der wirkliche Effect der Brennmaterialien beträgt stets bei weitem weniger als der durch die obigen Versuche ermittelte. Dies hat in zahlreichen Umständen seinen Grund, welche theils in den unvermeidlichen Fehlern der Feuerungseinrichtungen, theils aber auch in der höchst unvollkommenen Beschaffenheit der meisten derselben liegen. Ohne eine speciellere Betrachtung aller zur Heizung angewandten Apparate und Materialien, ist eine nähere Bezeichnung dieser Umstände und ein Vergleich der wirklichen mit den theoretischen Effecten unthunlich.

Eine Folge der Temperaturerhöhung durch die Verbrennung ist auch die *thierische Wärme*. Dieselbe ist in der Regel von der Temperatur des Mittels verschieden, worin die Thiere leben, also eine *eigenthümliche*. Die Temperatur des menschlichen Körpers beträgt z. B. 37°, und ändert sich durch Alter, Klima und Gesundheitszustand nur sehr unbedeutend, indem die niedrigste beobachtete Temperatur 35,8, die höchste 38,9° gewesen ist.

Aehnlich verhält es sich mit den Säugethieren; ihre Temperatur wurde stets zwischen 37 und 40° gefunden; die Temperatur der Vögel ist etwas höher (41°—43,9°), die der Fische wurde zu 14 und zu 25°, d. h. jedesmal nur sehr wenig höher, als die der Umgebung gefunden. Bei Mollusken und Krustenthiere beträgt die Körperwärme so viel, wie die der Umgebung, bei Insecten ist sie bald etwas höher, bald etwas niedriger beobachtet worden.

Die Quelle dieser eigenen Wärme, namentlich der höheren Thierklassen, ist die Verbrennung der Producte der Verdauung durch den eingeathmeten Sauerstoff, und es erklärt sowohl diese Theorie alle Erscheinungen der Ernährung, als sie selbst durch alle bisher beobachteten Thatsachen bestätigt wird.

§ 145. Wärme wird ferner erregt durch *mechanische Mittel*. Durch Reiben, durch Compression, Schlagen und Hämmern wird Wärme frei. Es ist bekannt, dass man durch Aneinanderreiben zweier Holzstücke deren Entzündung bewirken kann; durch Zusammenpressen der Luft kann man ein damit in Berührung befindliches Stück Zunder entzünden (pneumatisches Feuerzeug). Durch fortwährendes Hämmern kann Eisen bis zum Glühen gebracht werden, und Jedermann weiss, dass beim Feilen, ja schon beim blossen Hin- und Herbiegen von Metallen viel Hitze entwickelt wird. Durch Umdrehung einer zur Entwicklung von Reibungswärme geeigneten Vorrichtung hat man sogar Wasser so weit er-

hitzt, dass daraus stark gespannter Dampf entwickelt wurde. Beim Aneinanderreiben von Eis wird dasselbe geschmolzen, beim Feuerschlagen durch die Reibungshitze der Stahlsplitter entzündet.

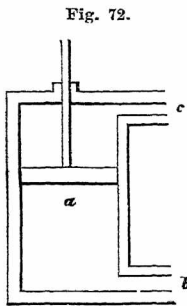
Bei allen Compressionen, selbst wenn damit keine Aenderung des Aggregatzustandes bewirkt wird, wird Wärme frei; die Münze erhitzt sich beim Prägen, die durch poröse Körper condensirten Gase erhitzen dieselbe nicht selten bis zum Glühen. Auch bei der Absorption von Flüssigkeiten durch poröse Körper entsteht Wärme, selbst wenn dabei keinerlei chemische Thätigkeit im Spiele ist.

Umgekehrt wird bei starker Ausdehnung Wärme gebunden. Wenn man aus einem grossen Gefässe die darin comprimirte und dann erkaltete Luft ausströmen lässt, so sinkt die Temperatur an der Oeffnung so weit, dass Wassertropfen daselbst gefrieren.

Wärme wird ferner entwickelt bei der Aenderung der Krystallform dimorpher Körper, wie z. B. beim Schwefel, bei der Electricitätsausgleichung und in einigen anderen weniger häufigen Fällen.

XII. Die Dampfmaschine.

§ 146. Die Expansivkraft des Dampfes wird in sehr ausgedehnter Weise zur Hervorbringung mechanischer Effecte benutzt. Dazu dient die *Dampfmaschine*. Die einfachste Art der Dampfmaschinen ist die Hochdruckmaschine, d. h. diejenige, welche nicht anders als mit Dampf von *mehr* als einer Atmosphäre Druck arbeitet. Das Princip der Anwendung



des Dampfes ist folgendes: Wenn man auf den Kolben *a* (Fig. 72) von oben Dampf von grösserer Spannung einwirken lässt, als der Druck der von unten gegen den Kolben drückenden Atmosphäre beträgt, so wird der Kolben nach abwärts bewegt werden müssen; setzt man in dem Momente, wo er unten angelangt ist, den oben befindlichen Dampf mit der Atmosphäre in Verbindung, so kommt dadurch seine Expansivkraft auf diejenige der Atmosphäre zurück und er entweicht zum Theil in dieselbe, indem er ein grösseres Volumen annimmt. Der Kolben hat also in diesem Augenblicke keinen anderen Druck an seiner oberen Fläche zu tragen, als den gewöhnlichen der Atmosphäre. Wenn nun gleichzeitig dem

Dampf von unten bei *b* der Zutritt *unterhalb* des Kolbens geöffnet wird, so wird er den Kolben nach oben bewegen. Wird dem Dampf bei der Ankunft des Kolbens am oberen Deckel des Kastens der Austritt nach aussen geöffnet und zugleich wieder Dampf bei *c* zugelassen, so wird der Kolben wieder abwärts bewegt und diese Bewegung setzt sich so lange fort, wie das abwechselnde Ein- und Austreten des Dampfes von oben und unten stattfindet.

Die mechanische Einrichtung, wodurch dieses bewirkt wird, heisst die *Steuerung*; sie ist bei verschiedenen Maschinen verschieden construirt, obwohl das Princip stets dasselbe bleibt; eine der einfachsten Steuerungen

Fig. 73.

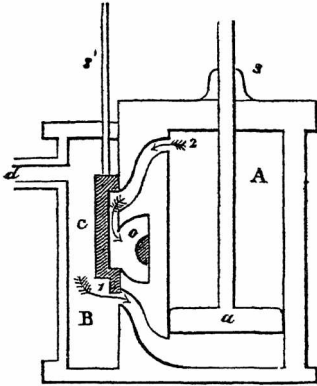
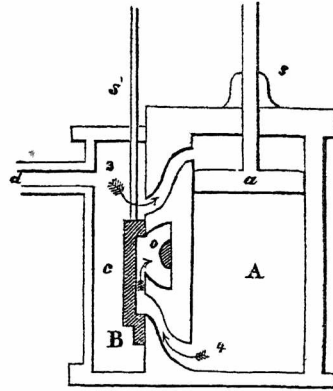


Fig. 74.



zeigen vorstehende Figuren 73 und 74. In dem *Dampfcylinder* A ist der Kolben a leicht beweglich; er steht mittelst der *Kolbenstange*, welche luftdicht in der *Stopfbüchse* s schliesst, mit der Maschine, welche er treibt, in Verbindung. Neben dem Dampfcylinder und zwar zwischen demselben und dem Rohre d für den eintretenden Dampf befindet sich der Kasten B mit der Steuerung, welche in dem vorliegenden Falle eine *Schieber-Steuerung* ist. Es bewegt sich nämlich darin durch die Schieberstange s' der Schieber c auf und nieder. In dem Momente, wo er die in der Figur 73 gezeichnete Stellung hat, hat der Dampf den Weg in der Richtung des Pfeiles 1 nach dem unteren Theile des Cylinders und treibt den Kolben nach aufwärts; die über demselben befindliche Luft und der daselbst vom vorigen Male zurückgebliebene Dampf entweichen in der Richtung des Pfeiles 2 nach der im Cylinder befindlichen Oeffnung o und von da in's Freie.

Wenn der Kolben nun in seinem Gange bis nahe an den unteren Boden des Dampfcylinders in die Stellung der Figur 74 gelangt ist, so bewegt sich, gleichgültig auf welche Weise, der Schieber nach abwärts und nimmt die in dieser Figur angegebene Stellung an. Der nunmehr durch d eintretende Dampf findet den Weg nach dem unteren Theile des Cylinders durch den Schieber verschlossen und muss in der Richtung des Pfeiles 3 über den Kolben gehen, um ihn abwärts zu treiben. Der unterhalb desselben befindliche Dampf findet nun den Weg zur Luft offen, folgt der Richtung des Pfeiles 4 und lässt daher unterhalb des Cylinders nur einen Druck von einer Atmosphäre bestehen.

Ist der Kolben wieder unten angelangt, so nimmt der Schieber die Lage der ersteren Figur an und der Dampf strömt wieder von unten ein, von oben aus, und es wird also in dieser Weise durch rechtzeitige Verstellung des Schiebers ein abwechselndes Auf- und Niedergehen des Kolbens hervorgebracht. Diese Bewegung wird durch mancherlei mechanische Einrichtungen in eine drehende umgewandelt oder auch als hin- und hergehende auf andere Maschinentheile übertragen. Es ist nicht schwer, an diesen eine solche Verbindung mit der Schieberstange anzubringen, dass diese im richtigen Momente die erforderliche Stellung einnimmt. Sie wird stets durch die Maschine selbst bewegt. Die genauere Art und Weise, wie dieses hervorgebracht wird, sowie die Einrichtungen,

welche zur Umwandlung der Bewegung der Kolbenstange dienen, wollen wir hier, als rein mechanischer Natur, übergehen. Auch gibt es der einfachen Hochdruckmaschinen jetzt aller Orte so viele, dass diese Theile, welche sämmtlich leicht zugänglich sind und deren Wirkung sich ohne Mühe übersehen lässt, am besten durch wirkliche Maschinen erläutert werden.

Der Effect der Hochdruckmaschine ist natürlich — ausser von der Vollkommenheit und der Zweckmässigkeit der mechanischen Construction im Einzelnen — von dem Druck abhängig, welcher auf den Kolben ausgeübt wird und welcher diesen mit der entsprechenden Kraft oder Geschwindigkeit bewegt. Dieser Druck aber ist der Druck oder die Expansivkraft des Dampfes, wenn man von derselben den Druck einer Atmosphäre, welche dem Dampfe von der anderen Seite des Kolbens entgegenwirkt, abzieht. Wenn z. B. der Dampf unter solchen Umständen in dem bis auf das Dampfrohr verschlossenen Kessel entwickelt wird, dass er in demselben nicht anders als mit einem Drucke von 5 Atmosphären (wobei also das Wasser bei 153° siedet — s. Tabelle § 128) entweichen kann, so wirkt er mit einer freien Expansivkraft von 4 Atmosphären oder von 60 Pfund auf den Quadratzoll. Mit der Grösse des Querschnittes des Kolbens wächst auch die Grösse des Druckes, mithin die Wirkung; die erforderliche Menge Dampf steht natürlich in demselben Verhältnisse, oder es ist bei gleicher Dampfmenge die Geschwindigkeit in demselben Verhältniss geringer.

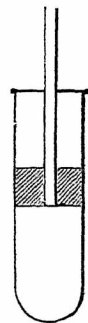
§ 147. Bei der *Niederdruckdampfmaschine* kommt die *ganze* Expansivkraft des Dampfes zur Wirkung, und es ist bei derselben also auch möglich, mit Dampf von nur 1 Atmosphäre eine Wirkung zu erzielen, überhaupt ist bei *niederen* Drucke der Unterschied der Wirkung verhältnissmässig grösser als bei höherem, indem in jedem Falle der für die Hochdruckmaschine in Abzug kommende Gegendruck von einer Atmosphäre hier *nicht* entgegenwirkt.

Dieser Erfolg wird dadurch hervorgebracht, dass man den Dampf, welcher bei der Hochdruckmaschine in die Atmosphäre entweicht, durch Einspritzen von kaltem Wasser *condensirt* und also an die Stelle desselben wenig Wasser und leeren Raum, also *keinen* Druck setzt. Zur Veranschaulichung dieser Wirkung dient folgender

Versuch. Um das untere Ende eines Holzstäbchens schneide man eine fingerbreite Rinne, umwicke dieselbe mit Werg oder Flachs, bestreiche diesen mit Talg und stelle so einen *Kolben* her, der in eine Reagenzröhre (Fig. 75) etwas schwer passt und ziemlich luftdicht darin schliesst. Vorher bringe man etwas Wasser in die Röhre und erhitze dieses dann zum Sieden, wobei man zweckmässig ein mehrfach zusammengefaltetes Papier zum Festhalten anwendet. Die sich ausdehnende Luft und der Wasserdampf treiben den Kolben aus der Röhre; man lasse dann eine kurze Zeit sieden und stecke, indem man die Röhre von der Lampe entfernt, den Kolben hinein. Dann tauche man die Reagenzröhre in kaltes Wasser: die Wasserdämpfe werden sich verdichten und der Kolben wird durch den Druck der Atmosphäre in den entstehenden leeren Raum herabgedrückt werden. Erhitzt man das Wasser wieder zum Sieden, so treibt der Dampf den Kolben wieder in die Höhe u. s. w.

Durch diesen Versuch wird die Maschine als *einfach* wirkende dargestellt; man hat sich aber zu denken, dass jedesmal das Einströmen des

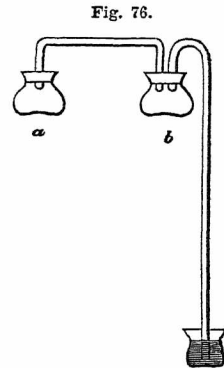
Fig. 75.



Dampfes auf der einen und die Condensation desselben auf der anderen Seite bewirkt und somit der Effect ein doppelter ist. Dazu ist es nur nöthig, dass eine *Steuerung* angebracht und ein Einspritzen von kaltem Wasser in den jedesmal zu verdichtenden Dampf bewirkt wird.

Damit letzteres nicht in dem Dampfeylinder selbst zu geschehen braucht, wendet man besondere *Condensatoren* an. Nach dem früher (§ 129) ausgesprochenen Princip ist es nämlich gleichgültig, ob man den Dampf gleichzeitig im ganzen Raume erkaltet, oder ob man nur einen damit in Verbindung stehenden Raum abkühlt, indem stets die Spannung des Dampfes im ungleich erwärmten Raume der *niedrigsten* Temperatur entspricht. Hiernach braucht man nur den Raum unter oder über dem Kolben, in welchem die Condensation stattfinden soll, mit einem, wenn auch entfernteren Raume in Verbindung zu setzen, in welchen fortwährend kaltes Wasser eingespritzt wird. Dadurch findet die Condensation der ganzen Dampfmenge, auch im Dampfeylinder statt. Die *Steuerung* der Niederdruckmaschine kann also der oben beschriebenen ganz gleich sein, nur darf die Oeffnung o nicht in's Freie, sondern in den Condensator führen. Die Wirkung dieses letzteren zeigt folgender

Versuch. Aus ein paar kleinen Kőlbchen und einigen gebogenen Glasröhren kann man leicht den neben gezeichneten Apparat (Fig. 76) zusammensetzen. In die beiden Kőlbchen a und b bringe man etwas Aether, erhitze denselben durch Eintauchen der Kőlbchen in heisses Wasser zum Sieden und senke, wenn alle Luft aus dem Apparate verdrängt ist, das Ende der offenen senkrechten Röhre in ein kleines Gefäss mit Quecksilber. Entfernt man nun das heisse Wasser von den Kőlbchen, so sinkt die Spannkraft der darin befindlichen Aetherdämpfe und das Quecksilber steigt entsprechend in die Höhe, indem es die Höhe des Barometers *minus* derjenigen Höhe einnimmt, welche dem Druck der Aetherdämpfe bei der Temperatur der umgebenden Luft entspricht.



Bei einer Temperatur der Luft von 20° behalten z. B. die Aetherdämpfe eine Spannung von 378^{mm}. und es steigt also das Quecksilber etwa auf 382^{mm}. Wenn man nun *einen* der Kolben durch Eintauchen in *kaltes Wasser* noch weiter erkaltet, so wird zunächst *in diesem*, dadurch aber nach obigem Gesetze in dem *ganzen Raume* die Spannung der Aetherdämpfe entsprechend vermindert und dies durch das Steigen des Quecksilbers angezeigt. Wenn z. B. die Temperatur des Wassers 10° beträgt, so wird dadurch die Spannung der Dämpfe noch um 141^{mm}. verringert und das Quecksilber entsprechend gehoben, und zwar gerade so, als ob beide Kolben, überhaupt der ganze mit Dampf erfüllte Raum auf 10° abgekühlt worden wäre.

Die Niederdruck- oder besser Condensationsmaschine erfordert hiernach ausser den bei der Hochdruckmaschine nothwendigen Theilen, noch den Condensator, eine Pumpe, die das Wasser in denselben spritzt, und eine andere, welche das Condensationswasser fortschafft und gleichzeitig die in dem Wasser stets enthaltene und bei der Condensation übrig bleibende Luft aus dem Condensator entfernt.

Beide Pumpen werden natürlich so mit der Maschine verbunden, dass sie durch diese selbst mit der erforderlichen Geschwindigkeit be-

wegt werden. Der Haupttheil derselben, an welchem die Pumpenstangen aufgehängt werden und von welchem auch die übrigen Bewegungen ausgehen, ist ein meistens horizontaler Arm, welcher durch die Kolbenstange in osillirende Bewegung gesetzt wird und *Balancier* heisst.

Selbstredend können die Condensations- oder Niederdruckmaschinen nur da angebracht werden, wo eine hinreichende Menge Wasser zur Condensation vorhanden ist oder ohne Mühe herbeigeschafft werden kann, so wie wo der Raum nicht beschränkt ist, indem die Hochdruckmaschinen fast nur aus dem Dampfeylinder und der Steuerung zu bestehen brauchen. Wir finden daher an Locomotiven Hochdruck-, an unseren meisten Dampfschiffen Niederdruckmaschinen. Wo aber die Maschine nur einen kleinen Raum einnehmen darf, oder wo sehr grosse Wirkungen hervorgebracht werden sollen, also auf unseren *kleinen* Dampfbooten und auf den grossen Seeschiffen, da treten die sonstigen Vortheile der Condensationsmaschine zu sehr in den Hintergrund, um nicht lieber die Hochdruckmaschine anzuwenden, welche für die hervorgebrachte Wirkung allerdings mehr Dampf gebraucht.

Indessen sind hier noch ausserdem so viele Umstände und Verhältnisse zu berücksichtigen, dass ein näheres Eingehen auf dieselben an dieser Stelle nicht stattfinden kann.

Bei allen Arten Dampfmaschinen kann man mit der gleichen Menge Dampf eine weit grössere Wirkung erreichen, wenn man denselben mit *Expansion* wirken lässt, d. h. wenn der Dampf in dem Augenblicke abgesperrt wird, wo der Kolben erst einen Theil (die Hälfte oder $\frac{2}{3}$) des Cylinders durchlaufen hat und durch die Expansivkraft des Dampfes vollends bis an's Ende bewegt wird. Verschiedene Systeme sind in Anwendung gebracht worden, um der Dampfmaschine eine hierhin zielende Einrichtung zu geben; die einfachste ist eine doppelte Steuerung, deren erstere in gewöhnlicher Art wirkt, während die zweite ausserhalb derselben angebracht, dazu dient, den Dampf rechtzeitig abzusperren.

§ 148. *Aufgabe 1.* Welche Temperatur wird Wasser von 0° annehmen, wenn man auf je 5,4 Pfd. davon den Dampf von 1 Pfd. Wasser einströmen lässt? Die latente Wärme des Dampfes werde zu 540 Wärmeinheiten angenommen.

Antwort. 100°.

Aufgabe 2. Welche Temperatur erlangt das Wasser, wenn man den Dampf von 4 Pfd. in 28 Pfd. von 10° leitet?

Antwort. 70°.

Aufgabe 3. Wie viel Dampf von 1 Atmosphäre Druck ist erforderlich, um 200 Pfd. Wasser von 10° auf 80° zu erhitzen?

Antwort. 25 Pfd.

Aufgabe 4. Wie gross ist das Gewicht des in einem Kubikfuss Luft von 25° C enthaltenen Wasserdampfes, wenn das Psychrometer den Thaupunkt bei 12° zeigt?

$$\text{Auflösung. } \frac{5}{s} \cdot \frac{66}{770} \cdot \frac{10,7}{760} \cdot \frac{273}{298} = 0,000688 \text{ Pfd.}$$

VIERTER ABSCHNITT.

DER MAGNETISMUS.

XIII. Wirkung der Magnete im Allgemeinen.

§ 149. Manche Eisenerze, namentlich gewisse Sorten des unter dem Namen Magneteisenstein vorkommenden Eisenoxydoxydul besitzen die Eigenschaft, kleinere oder grössere Eisenstücke anzuziehen. Unter gewissen Umständen kann auch das Eisen und der Stahl diese Eigenschaft erlangen und längere oder kürzere Zeit behalten. Die Körper, welche diese besitzen, nennt man *Magnete*, die Ursache dieser Erscheinung *Magnetismus*. Ausser dem Eisen kommt der Magnetismus auch dem Nickel, obwohl in geringerem Grade zu.

Diejenigen Körper, welche von dem Magnet angezogen werden, ohne an und für sich das Vermögen zu besitzen, andere anzuziehen, wie dies beim Eisen und Nickel der Fall ist, nennt man *paramagnetisch*. Nur wenige Körper sind dies und diese nur in geringem Grade; es gilt namentlich vom Kobalt, Mangan, Chrom u. m. a. Der geringste Gehalt an Eisen, oder nur einer seiner vielen paramagnetischen Verbindungen, reicht indessen sehr oft aus, andere Stoffe paramagnetisch zu machen.

Der von Natur magnetische Magneteisenstein zeigt seine Anziehungskraft für Eisen nicht im Innern der Lager, sondern nur da, wo er offen an der Luft liegt. Wir werden später verschiedene Methoden kennen lernen, Stahlstäbe bleibend magnetisch zu machen; der erste Ursprung des Magnetismus ist aber mit wenigen Ausnahmen in den natürlich vorkommenden Magnetsteinen zu suchen, wenn man von der später erst zu erörternden Erregung des Magnetismus durch Electricität absieht. In dieser Beziehung unterscheidet man *künstliche* und *natürliche* Magnete.

Das künstlich dargestellte Eisenoxydoxydul ist nicht magnetisch, wohl aber paramagnetisch, nur nach gewissen Methoden bereitet soll es auch für sich Magnetismus zeigen.

§ 150. Die magnetische Kraft wirkt nicht allein in unmittelbarer Nähe, sondern auch auf Entfernungen und zwar in gleicher Stärke durch

alle Körper hindurch, wenn dieselben nicht selbst vom Magnete gezogen werden; mit wachsender Entfernung nimmt die Anziehungskraft sehr rasch ab.

Jede Anziehung ist gegenseitig; also wird der Magnet ebenso gut vom Eisen angezogen, wie umgekehrt, was leicht auch durch den Versuch nachzuweisen ist.

Die magnetische Kraft äussert sich nicht mit gleicher Stärke an allen Theilen einer magnetischen Masse. Sowohl bei jedem künstlichen, wie bei jedem natürlichen Magnete bemerkt man, dass die magnetische Kraft an zwei entgegengesetzten Enden am stärksten ist, während sie an allen Punkten dazwischen sich schwächer oder gar nicht äussert. Namentlich bei magnetischen Stäben von irgend welchem Querschnitte findet man diese beiden stärksten Punkte, die man *Pole* nennt, sehr leicht. Ungefähr in der Mitte kann man sich eine Linie denken, welche diejenigen Punkte vereinigt, die keine Anziehung auf Eisen äussern; man nennt sie *Mittellinie* oder *neutrale Linie*.

Unter *Pol* kann man sich ausser dem oben angegebenen Begriff auch einen Punkt im Innern des Magnets vorstellen, in dem man sich die magnetische Kraft dieser Hälfte in derselben Weise vereinigt *denkt*, wie man die ganze Schwerkraft der Erde als in ihrem Mittelpunkte vereinigt annimmt. Es ist der Angriffspunkt der Resultirenden aller anziehenden Kräfte der einzelnen Moleküle.

Jeder Magnet hat mindestens zwei Pole und eine Mittellinie; in manchen Fällen, namentlich bei langen Stäben und Nadeln, kommen auch mehre Punkte der grössten Anziehung vor; die zwischenliegenden Punkte ohne magnetische Wirkung heissen dann *Folgepunkte*.

Wenn man einen Magnet an der Stelle seiner Mittellinie entzwei bricht, so hat jedes der beiden Stücke seine *beiden* Pole, indem an den beiden der Mittellinie zugekehrten Enden neue Pole erscheinen. Ein Magnet mit *einem* Pole ist undenkbar.

Unter dem Einflusse eines Magnets wird das Eisen selbst magnetisch. In der unmittlebaren Nähe eines Magnets werden Eisenstücke nicht allein von diesem angezogen, sondern ziehen auch selbst andere, kleinere gerade so an, als ob sie irgendwie magnetisch gemacht wären; sie zeigen natürlich auch 2 Pole und eine Mittellinie und verlieren diese Eigenschaften sofort wieder, wenn man sie vom Magnet entfernt. Dies geschieht nicht allein in unmittelbarer Berührung, sondern sogar noch in einiger Entfernung vom Magnet; natürlich ist die Entfernung, über welche hinaus der magnetisirende Einfluss aufhört, je nach der Stärke des Magnets verschieden.

§ 151. Die beiden Pole eines Magnets sind ungleicher Natur, oder wie man sagt ungleichnamig. Versucht man nämlich die Wirkung zweier Magnete auf einander, so findet man dabei diejenige der einzelnen Pole ungleichartig. Wenn der eine Magnet in solcher Weise frei aufgehängt ist, dass er sich um seine Mittellinie bewegen kann, so wird derselbe Pol dieses Magnets von dem einen Pole eines zweiten *angezogen*, von dem andern abgestossen. Nennen wir die beiden Pole des aufgehängten Magnets a und b, und denjenigen des andern, welcher a anzieht, b' und den, welcher a abstösst, a', so findet man, wenn man a' und b' dem Pole b nähert, das umgekehrte; b wird von b' abgestossen und von a' angezogen. Es verhalten sich also die beiden Pole des zweiten Magnets nicht allein verschieden in Bezug auf *denselben* Pol des ersteren, sondern sie wirken auch entgegengesetzt auf dessen *beide* Pole. Hängt man demnach beide Magnete frei und unter einander parallel auf,

so ist eine gegenseitige Lage denkbar, in welcher sich die gegenüberliegenden Pole je zwei und zwei anziehen und eine andere, wozu der eine Magnet umzukehren wäre, in welcher sie sich je zwei und zwei abstossen. Dagegen ist eine Lage *undenkbar*, in welcher sich zwei abstossen und die andern anziehen.

Untersucht man die beiden Pole der beiden Magnete, welche sich *anziehen*, in Bezug auf ihre Wirkung auf *denselben* Pol eines dritten Magnets, so findet man, dass sie ungleiche Wirkung auf denselben äussern, indem der eine ihn anzieht, der andere aber abstösst. Diese beiden Pole also, welche sich einander anziehen, sind *ungleichartig* oder *ungleichnamig*. Umgekehrt wird man zwei sich abstossende von gleicher Wirkung auf einen dritten, also *gleichartig* oder *gleichnamig* finden. Man sagt daher: *Gleichnamige Pole stossen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an*. Nach dem Gesagten sind die beiden Pole desselben Magnets stets ungleichnamig.

§ 152. Die im Vorhergehenden ausgesprochenen Gesetze und Erscheinungen lassen sich leicht durch folgende

Versuche darstellen und weiterhin erläutern. Dazu bedarf man nur eines gewöhnlichen kleinen Magnets, wie solche in Gestalt von Hufeisen, als Feuerstahl u. s. w. im Handel vorkommen und billig zu haben sind. Auch kleine magnetische Stäbe, wie man sie bei magnetischen Spielzeugen, Fischen oder dgl. findet, reichen für diese Versuche aus. Endlich kann man auch beliebige Stücke guten, harten Stahls schmieden und von einem Mechaniker magnetisiren lassen. Ausserdem bedarf man etwas reiner Eisenfeile, einiger Stückchen weichen, d. h. leicht biegsamen und unelastischen Eisendraths und einiger Nähnadeln oder Stücke von Stricknadeln. Die gegenseitige Anziehung von Magnet und Eisen kann man auf verschiedene einfache Weise, u. A. auch dadurch zeigen, dass man den einen an einem Faden aufhängt und die Abweichung desselben von der Verticalen bei der Annäherung des andern beobachtet.

Die Wirkung des Magnets durch andere Körper hindurch kann man auf mancherlei Weise zeigen. Schon der Umstand, dass ein Stückchen Weissblech, wie gewöhnliches Eisen angezogen wird, beweist, dass die magnetische Kraft durch den Ueberzug von Zinn hindurch wirkt.

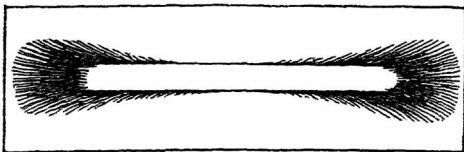
Ferner hänge man ein Stückchen Eisen mittelst eines Fadens senkrecht auf und beobachte die Abweichung dieses Fadens bei der Annäherung des Magnets auf eine gewisse Entfernung. Bringt man nun ein Stückchen Pappe, Glas, Holz oder dgl. zwischen Magnet und Eisen, so wird bei gleichbleibender Entfernung desselben auch die Abweichung dieselbe bleiben. Schiebt man dagegen ein Eisenblech oder eine Messerklinge zwischen Magnet und Eisen, so wird augenblicklich die magnetische Wirkung bedeutend geschwächt erscheinen.

Man halte einen Magnet dicht hinter ein senkrecht aufgestelltes Blatt steifen Papiers; ein vor die Stelle, wo der Magnet befindlich ist, gehaltenes Stückchen Eisen, kleines Schlüsselchen oder dgl., wird — den Gesetzen der Schwere entgegen — an dieser Stelle der senkrechten Fläche haften bleiben.

Man lege nun den Magnet auf den Tisch, darüber ein Blatt Papier und streue langsam etwas feine Eisenfeile auf dasselbe. Die einzelnen Stückchen werden sich nach der magnetischen Anziehung richten, sich dadurch, dass sie selbst magnetisch werden, in Linien anordnen und diese sich strahlenförmig von den Punkten der stärksten Anziehung ausbreiten.

So bilden die Eisenthcilchen die nebenstehende Fig. 77, wenn der Magnet die Form eines Stabes oder eine ähnliche, entsprechend abgeänderte, wenn er die eines Hufeisens hat. Bewegt man den Magnet unter dem Papier hin, so folgen die Eisenthcilchen demselben oder nehmen doch mit grosser Beweglichkeit eine stets veränderte Lage an. Ist der Magnet stark genug, so bilden sie auch wohl Spitzen, die weit vom Papier ab und in die Höhe stehen.

Fig. 77.



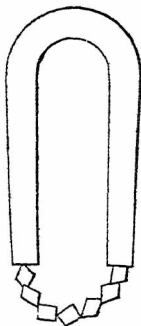
Auf diese Weise kann man am leichtesten die Pole und die Mittellinie des Magnets erkennen; nur ist zu beachten, dass man bei schwachen Magneten sehr feine Eisenfeile nehmen und die Anordnung derselben durch leises Klopfen auf das Papier erleichtern muss.

Ganz das Aehnliche zeigt sich, wenn man den Magnet geradezu in Eisenfeile taucht. Die Eisenthcilchen bleiben dann, etwa dieselbe Figur wie vorhin bildend, in langen Fäden daran haften und lassen sich sogar bei etwas stärkeren Magneten nur schwer wieder vollkommen abstreifen.

Auch mittelst eines kleinen an einem Faden aufgehängten Eisenstückchens kann man Pole und Mittellinie des Magnets erkennen, indem man die Verschiedenheit der Kraft beobachtet, mit welcher dasselbe an verschiedenen Punkten des Magnetstabes angezogen wird. Man sieht gleich, dass dieselbe an den Enden am grössten, nach der Mitte abnehmend, in der Mitte Null ist.

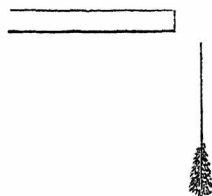
Dass das Eisen durch die Berührung des Magnets selbst magnetisch wird, kann man leicht dadurch zeigen, dass man an ein kleines Stück Eisen, welches vom Magnet getragen wird, ein kleineres, an dieses noch ein drittes, vielleicht ein viertes hängen kann; dass aber hierbei nur ein vorübergehender Magnetismus erregt wird, erkennt man daran, dass sämtliche Eisenstückchen abfallen, so wie man den Magnet vom obersten trennt. Bei einem hufeisenförmigen Magnete ist es leicht, auf ähnliche Weise eine Kette von einem Pole zum andern zu bilden (Fig. 78) und das Aneinanderreihen aufgestreuter Eisenfeile zu zusammenhängenden Fäden ist ebenfalls eine hieher gehörige Erscheinung.

Fig. 78.



Dass auch bei grosser Nähe, ohne unmittelbare Berührung des Magnets das Eisen selbst magnetisch wird, zeigt ein Stückchen Draht, an welchem in der Nähe eines Magnets (Fig. 79) Eisenfeile haften bleibt, welche aber bei grösserer Entfernung wieder abfällt.

Fig. 79.



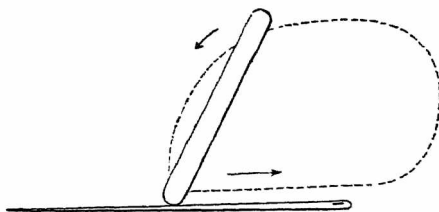
§ 153. Zu den folgenden Versuchen bedarf man häufig mehrerer, wenn auch schwacher, Magnete zu gleicher Zeit. Da man nun nicht immer einige Magnetnadeln zugleich besitzt,

so kann man sich solche leicht aus Nähnadeln selbst herstellen.

Zu diesem Ende lege man eine Nadel auf den Tisch, halte sie mit der einen Hand an der Spitze fest und streiche mit dem einen Ende eines Magnetstabes, den man in der andern Hand hält, von der Mitte aus nach dem Ende etwa 20 bis 30 Mal über die eine Hälfte der Nadel, indem man jedesmal den Magnet, ohne seine Richtung zu ändern, in einem Bogen einige Zoll über der Nadel nach deren Mitte zurückführt, wie es die punktirte Linie in der nebenstehenden Figur 80 andeutet.

Alsdann fasse man das andere Ende, den Kopf der Nadel, mit der Hand fest und führe mit der freien Hand den Magnet in einem Bogen entfernt von der Nadel nach deren Mitte, indem man denselben so umgekehrt, dass jetzt *sein anderer Pol* die Nadel berührt. Dann streiche man mit diesem in derselben Weise wie vorhin über die andere, noch nicht magnetisirte Hälfte der Nadel, und zwar *ebenso oft*, wie vorhin über die erste Hälfte.

Fig. 80.



Es ist gut, sich einige solcher kleinen Magnetnadeln herzustellen; ist man im Besitze eines etwas starken Magnetstabes, so kann man damit statt der Nähadeln auch Stücke von Stricknadeln magnetisiren. Die Magnetnadeln legt man dann in ein kleines, zusammengefaltetes Stückchen Papier und befestigt an diesem einen Faden von *ungedrehter* Seide, damit die Nadeln sich möglichst leicht um diese verticale Achse bewegen können.

Es ist vermittelt einer solchen Nadel und eines Magnetstabes leicht, die oben (§ 151) bezeichneten Erscheinungen hervorzurufen und zu zeigen, dass die beiden Pole der Nadel von denen des Magnets entgegengesetzt afficirt werden, indem von demselben Pole das eine Ende der Nadel angezogen, das andere abgestossen wird, und der andere Pol die umgekehrte Wirkung äussert. Man bezeichne auf irgend eine Weise, etwa durch einen schwarzen Punkt, die gleichnamigen, sich abstossenden Pole; alsdann werden auch die beiden anderen gleichnamig sein und sich abstossen müssen. Nun untersuche man eine zweite Nadel mittelst des Magnets ebenso und bezeichne den einen Pol, welcher mit dem bestimmten des grösseren Magnets gleichnamig ist, ebenfalls. Bringt man nun die beiden Nadeln so einander nahe, dass die mit demselben dritten gleichnamig befundenen Pole einander gegenüberstehen, so wird man finden, dass sich dieselben abstossen, also ebenfalls gleichnamig sind, was auch damit übereinstimmt, dass sie von denselben Polen abgestossen, folglich gleichartig waren. Auch die beiden andern Pole der beiden Nadeln stossen sich ab; kehrt man aber die Nadeln einander so zu, dass die ungleichnamigen (d. h. von demselben Pole des Magnets ungleichartig afficirten) einander gegenüber stehen, so wird man finden, dass diese eine Anziehung gegen einander äussern.

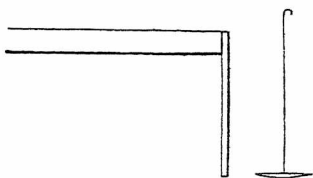
Hängt man endlich beide Nadeln in geringe Entfernung parallel auf, so wird man in der einen Lage ihre Fäden sich einander zu — in der andern von einander abneigen sehen, je nachdem die ungleichnamigen oder die gleichnamigen Pole einander gegenüber stehen.

Hiernach ist es leicht, zu unterscheiden, ob man ein bleibend magnetisirtes Eisen, also einen wirklichen Magnet oder nur ein unter dem Einfluss des Magnets augenblicklich magnetisch gewordenes vor sich hat. Wird nämlich ein Ende des fraglichen Stückes von den beiden Polen eines Magnets gleichartig afficirt d. h. angezogen, so ist das Eisen nicht selbst magnetisch; wird es aber von dem einen Pole angezogen, von dem andern abgestossen, so hat man es mit dem Pole eines wirklichen Magnets zu thun.

Man hänge eine nicht magnetisirte Nadel so über den Tisch auf, dass man unter dieselbe einen Magnetstab schieben kann; man wird bemerken, dass dieselbe sich sobald wie möglich parallel mit dem Magnete stellt, und dass sie bei jeder Abweichung von dieser Lage auf dem kürzesten Wege dahin zurückkehrt. Dann hänge man eine magnetisirte Nadel in derselben Weise auf; sie wird sich ebenfalls in paralleler Lage über dem Magnete zur Ruhe stellen, bei jeder Ablenkung auch zur parallelen Lage kommen, nicht immer aber auf dem kürzesten Wege, indem sie nur in einer Stellung, wo nämlich die ungleichnamigen Pole über einander befindlich sind, in Ruhe sein kann, während sie z. B. aus der entgegengesetzten ebenfalls parallelen Lage durch die gleichzeitige Abstossung beider Pole erst durch eine volle Umkehrung zur Ruhe gelangen kann.

Auch das Eisen, welches unter dem Einflusse des Magnets befindlich ist, zeigt dieselbe Polarität wie bleibende Magnete, jedoch selbstredend nur so lange, wie die Nähe des Magnets dauert. Wenn man eine Magnetnadel in die Nähe eines an einem Magnete hängenden Eisenstückes bringt, (Fig. 81) so findet man, dass von dessen freiem Pole das eine Ende der Nadel angezogen, das andere abgestossen wird und zwar in derselben Weise wie von demjenigen Pole des Magnets, an welchem das Eisenstück hängt. Dieses besitzt also in dem vom Magnet abgekehrten Theile einen dem entsprechenden Pole desselben gleichnamigen Pol; dass im andern Ende ein ungleichnamiger Pol befindlich, ist nun wohl erlaubt durch die Analogie, nicht durch

Fig. 81.



directen Versuch zu erschliessen.

Nimmt man das Eisenstückchen vom Magnet ab, so kann man es auch umgekehrt daran aufhängen, zum Beweise, dass nur vorübergehend die Polarität erzeugt war, sonst dürfte das früher freie Ende von dem gleichnamigen Pole nicht jetzt angezogen werden. In dem nunmehr freien Ende findet man wieder denselben Magnetismus wie vorhin.

Hieraus folgt, dass ein Eisenstab, welcher in einiger Entfernung von einem Magnet durch dessen Einfluss magnetisch wird, ebenfalls zwei Pole zeigen muss, denn die Wirkung muss hier eine ganz gleichartige sein. Am einfachsten kann man dies auf folgende Weise nachweisen. Man hänge auf irgend eine Weise zwei kleine gerade Drathstückchen dicht neben einander senkrecht auf und bringe den Pol eines Magnets unter dieselben in geringer Entfernung davon (Fig. 82). Als bald müssen beide Eisenstückchen sich von einander entfernen. Dieselben werden nämlich durch die Nähe des Magnets magnetisch und zwar nehmen sie an der demselben zugekehrten Seite denselben, nämlich den mit dem

betreffenden Pole ungleichnamigen Magnetismus an; am abgewandten Ende werden sie ebenso beide den gleichen Magnetismus zeigen und daher sich gegenseitig abstossen müssen.

§ 154. Alle bisher angeführten Erscheinungen leiten auf den Schluss hin, dass sich im nicht magnetischen Eisen zweierlei unwägbarere Flüssigkeiten befinden,

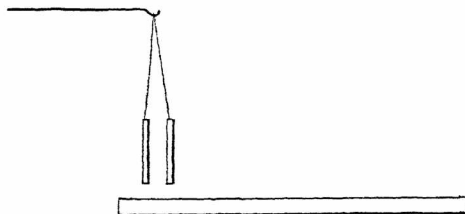
welche unter dem Einflusse eines Magnets *getrennt* werden, so dass jede an einer Seite des Eisenstückes bemerklich wird. Dass kein Theil der Flüssigkeit vom Magnet auf das Eisen übergeht, ist daraus ersichtlich, dass der Magnet durch häufiges Magnetisiren von Eisen oder Stahl nicht schwächer wird und dass das Eisen auf die Dauer seiner Annäherung an den Magnet auch ohne Berührung damit magnetisch wird.

Die Richtigkeit dieser Annahme einer unwägbareren magnetischen Flüssigkeit, welche doppelter Natur ist, lässt sich zwar weder durch ein Experiment noch durch eine Schlussfolge mit *Gewissheit* nachweisen, allein es können mittelst dieser Annahme alle bis jetzt beobachteten Erscheinungen zur Genüge erklärt werden und es widerspricht derselben bisher noch keine einzige Thatsache.

Dieser Theorie zufolge besitzen die Theilchen einer jeden der beiden Fluida, welche man (wir werden später sehen, weshalb) Nord- und Südpol-Magnetismus genannt hat, die Eigenschaft, einander abzustossen und die Theilchen der andern Flüssigkeit anzuziehen. Bei der Annäherung eines magnetischen Pols an ein unmagnetisches Eisen erfolgt in diesem eine Trennung der beiden Fluida. Das gleichnamige Fluidum *jedes Massentheilchens* wird von dem Magnetpol zurückgedrängt, das ungleichnamige angezogen und dadurch das Eisen selbst zum Magnet. Diese Wirkung nennt man *die magnetische Vertheilung*. Es ist indessen nicht anzunehmen, dass durch dieselbe die ganze Masse der beiden Flüssigkeiten im Eisen sich nach dessen beiden Enden hinbegebe, denn sonst müsste beim Zerbrechen eines magnetisch gewordenen Eisens jeder Theil einen anderen, aber nur *einen* Magnetismus zeigen. Es trennen sich vielmehr die beiden Fluida *in den einzelnen Massentheilchen*, indem sich in allen das eine nach der einen, das andere nach der entgegengesetzten Seite dieses Theilchens begibt. Die Polarität an den beiden Enden ist, wie sich leicht erweisen lässt, nur eine Folge davon, dass die resultirende Gesamtwirkung aller einzelnen magnetisch gewordenen Theilchen auf einen ausserhalb des Magnets befindlichen magnetischen Körper in der Nähe der Enden am stärksten hervortritt. Die Richtung eines einem Magnete genäherten Eisenstabes entspricht der Resultirenden aller von den einzelnen Massentheilchen ausgehenden Anziehungen, und der Angriffspunkt dieser Resultirenden trägt den Namen *Pol*.

§ 155. Wenn man die Wirkung des Magnets auf ein Stück Eisen und ein Stück Stahl (etwa einen feinen Eisendrath und eine Nähnadel) von gleicher Grösse untersucht, so findet man, dass Anfangs das Eisen stärker angezogen wird und dass die Wirkung auf den Stahl erst später derjenigen auf das Eisen gleichkommt. Indem das Angezogenwerden nur eine Folge der magnetischen Vertheilung ist, so geht hieraus hervor,

Fig. 82.



dass diese in den Stahltheilchen einen grösseren Widerstand findet, als in den Eisenheiligen. Die Kraft, welche die magnetische Vertheilung hindert, nennt man *Coercitivkraft*.

Auf der anderen Seite verliert das weiche Eisen, wenn es auch noch so lange mit einem Magnete in Berührung geblieben ist, den Magnetismus sofort nach der Trennung von demselben wieder, während ein Stahlstück denselben noch sehr lange, bei guter Qualität des Stahls, auf immer behält.

Man kann sich leicht hiervon überzeugen, wenn man bei den oben angegebenen Versuchen Stahl statt Eisen und umgekehrt anwendet und den verschiedenen Erfolg beobachtet. Am einfachsten zeigt dies aber folgender

Versuch. Man hänge an den Pol eines Magnets einige Stahladeln und nach deren Wegnahme während derselben Zeit gleich lange Stücke weichen Eisendrathes. Dann bringe man sie sämmtlich in feine Eisenfeile; diese wird an den magnetisch gebliebenen Stahladeln haften bleiben, an den Drahtstäben aber nicht. Dasselbe wird man noch Tage, ja Wochen und Monate nachher finden.

Die Kraft, womit magnetische Körper die einmal bewirkte Vertheilung festhalten, nennt man *ebenfalls Coercitivkraft*. Ob sie mit der vorhin als solche bezeichneten identisch ist, lässt sich nicht entscheiden; wenigstens treten beide stets in gleichem Verhältniss auf. Die Coercitivkraft des weichen Eisens ist äusserst gering, die des gehärteten Stahles sehr gross; dazwischen finden sich in den verschiedenen Zwischenstufen der Eisen- und Stahlarten auch verschiedene Abstufungen der Coercitivkraft. Selbst gewöhnliches Eisen besitzt, wenn es auf verschiedene Weise bearbeitet worden ist, (z. B. gehämmert, gezogen u. s. w.) einige Coercitivkraft. *Weich* nennt man in magnetischer Beziehung solches Eisen, welches *gar keine* Coercitivkraft besitzt.

Es geht aus dem Gesagten hervor, dass man durch hinlängliche Einwirkung eines Magnets auf Stahl aus diesem ebenfalls einen Magnet machen kann; wir haben hievon schon bei unseren Versuchen Anwendung gemacht.

Wenn man eine Stahladel an einen Magnet hängt und eine Zeit lang in Berührung damit lässt, so wird sie, nach der Abnahme mit dem anderen Ende daran gebracht, nicht mehr hängen bleiben, weil dieses Ende nunmehr der mit diesem Pole gleichnamige Pol der magnetisch gebliebene Nadel ist. Von dem anderen Pole des Magnets aber wird sie wieder angezogen.

Wenn man ein Eisenstück an den Pol eines Magnets hängt und dann demselben den ungleichnamigen Pol eines anderen Magnets von gleicher Stärke nähert, so wird die durch den ersten Magnet bewirkte Vertheilung durch den zweiten wieder aufgehoben, indem dieser die Flüssigkeiten nach entgegengesetzter Richtung trennt, und das Eisenstück muss abfallen. Auch wenn beide Magnete ungleich stark sind, geschieht dasselbe, wenn das Eisenstück so schwer ist, dass der Magnet nicht wohl mehr tragen könnte.

XIV. Magnetische Wirkungen der Erde.

§ 156. Wenn man eine magnetisch gemachte Stahladel so aufhängt, dass sie um eine verticale Axe sich frei bewegen kann, so nimmt sie eine *bestimmte Richtung* an, welche von dem Meridian des Ortes nur um wenig abweicht. Sie zeigt also nahezu mit dem einen Pole nach Norden, mit dem anderen nach Süden. Die verticale Ebene, in welcher sich die Magnetadel befindet, nennt man den *magnetischen Meridian* und den Winkel, welchen dieser mit dem geographischen Meridian bildet, die *Abweichung* oder die *Declination* der Magnetadel.

Wenn man eine Magnetadel in ihrem Schwerpunkte so aufhängt, dass sie um eine *horizontale* Axe beweglich ist, so nimmt sie nicht, wie dies andere Körper thun, eine horizontale Lage an, sondern sie neigt sich und bildet bei uns einen Winkel von etwa 70 Graden mit der Horizontalebene. Hierin erleidet die Magnetadel genau den Einfluss von der Erde, welchen ein grosser Magnet, der etwa vom Süd- nach dem Nordpole reichte, auf dieselbe ausüben würde. Um dieses durch den

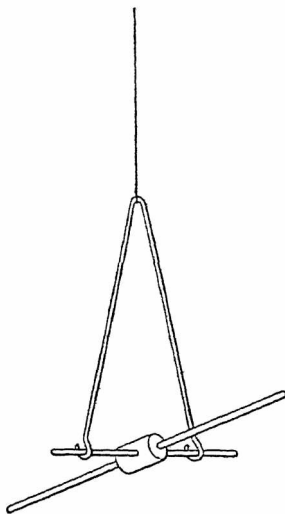
Versuch nachzuweisen, braucht man ausser der gewöhnlichen Magnetadel einen grossen Magnetstab und eine eigens zu construirende *Inclinationsadel*. Diese verfertigt man aus einem magnetisirten Stück einer Strickadel und hängt sie mit Hülfe eines Eisendrathes, eines Stückes nicht magnetisirter Nähadel und eines kleinen Korkes nach der durch Fig. 83 erläuterten einfachen Art auf. Man richte für jetzt durch Abschneiden des Korkes oder Zufügen von etwas Wachs die Nadel so, dass sie horizontal stehe.

Bringt man nun die gewöhnliche Magnetadel über den grossen Magnet, so wird sie sich genau parallel zu demselben stellen und zwar so, dass sich die ungleichnamigen Pole über einander befinden. Lenkt man die Nadel aus dieser Lage ab, oder kehrt man sie vollends um, so wird sie stets in dieselbe zurückkehren und nach einigen Schwingungen in derselben zur Ruhe kommen.

Wenn man nun die eben beschriebene Inclinationsadel genau über die Mitte des Magnetes und in die gleiche Richtung so hält, dass die ungleichnamigen Pole über einander stehen, so wird sie die horizontale Lage behalten, weil die Anziehung und Abstossung zu beiden Seiten gleich ist.

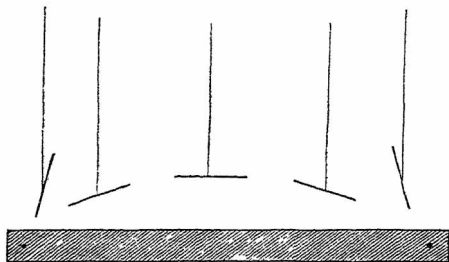
Nähert man sie aber dem einen oder andern Pole, so neigt sie das entsprechende Ende demselben zu und nimmt daher eine immer mehr von der Horizontalen abweichende Richtung an, bis sie endlich oberhalb der beiden Pole eine senk-

Fig. 83.



rechte Stellung (Fig. 84) zeigt, indem hier die Anziehung stark genug ist, um das bestehende Gleichgewicht zu überwinden.

Fig. 84.



Hat man die Gabel der Inclinationsnadel an einem feinen Faden aufgehängt, so kann man beide Versuche zugleich mit derselben machen, indem sie sich alsdann in horizontaler, wie in verticaler Richtung allein von dem Magneten leiten lassen kann.

Nun hänge man die Inclinationsnadel in ihrer Mitte auf, wozu man den durch einen Versuch vor der Magnetisirung bestimmten Schwerpunkt wählt

(dazu braucht man nur den Punkt zu suchen, wo sie aufgehängt werden muss, um horizontal zu schweben). Man wird finden, dass sie sich mit dem nach Norden zeigenden Ende stark nach unten neigt und eben den oben bezeichneten Winkel mit der Horizontalebene bildet. Diese Lage, welche derjenigen entspricht, welche sie beim vorigen Versuche in der Nähe des Poles einnahm, zeigt, dass der Ort der Erde, wo wir uns befinden, dem Pole derselben, als Magnet betrachtet, entsprechend nahe liegt. An andern Orten der Erde zeigt die Inclinationsnadel natürlich eine andere Gleichgewichtslage (s. u.)

Wenn die Erde auf Magnete ganz wie ein grosser Magnet wirkt, so muss sie es auch auf weiches (nicht magnetisirtes, aber magnetisches) Eisen thun. Dies ist in der That der Fall und es lässt sich die Erscheinung ohne Mühe durch den

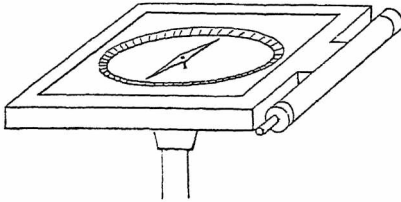
Versuch zeigen. Man halte eine vorher ausgeglühte, aber dann nicht mehr gehämmerte Stange von ganz weichem Eisen in die Richtung, wie sie die frei auch um die senkrechte Axe schwingende Inclinationsnadel (wenn sie in ihrem *Schwerpunkte* aufgehängt ist) oder die nur um eine horizontale Axe bewegliche, aber in die Richtung der Delinationsnadel gebrachte anzeigt. Untersucht man in dieser Lage den Zustand der Eisenstange mittelst einer feinen Magnetnadel, so wird man finden, dass sie zwei Pole besitzt und dass das nach Norden zeigende Ende derselben den gleichnamigen Magnetismus hat, wie die nach Norden zeigende Spitze der Magnetnadel u. s. w. Beim Umkehren der Stange bleibt die Lage der Pole in Bezug auf die Erde dieselbe, kehrt sich also für die Stange um.

Alle mehr oder weniger in dieser Richtung befindlichen Eisenstücke zeigen demnach einen stärkeren oder schwächeren Magnetismus und wenn die Stäbe in Folge früherer oder späterer mechanischer Behandlung einige Coercitivkraft besitzen, so ist der Magnetismus sogar mehr oder weniger dauernd.

Es geht hieraus hervor, dass die Erde eine magnetische Kraft besitzt, und dass die Pole derselben ziemlich nahe mit den geographischen Polen zusammenfallen. Nennt man den dem Nordpol entsprechenden magnetischen Pol der Erde ebenfalls Nordpol, den dem Südpol nahe liegenden Südpol, so sind die entsprechenden nach dieser Richtung zeigenden, also ungleichnamigen Pole der Magnetnadel Südpol und Nordpol zu nennen. Will man aber den Pol der Nadel, welcher nach Norden gerichtet ist, Nordpol nennen, so muss man den Magnetismus im Norden der Erde Südmagnetismus nennen u. s. w.

§ 157. Zur Bestimmung der Declination bedient man sich des *Declinatoriums*. Je nachdem es hierbei auf geringere oder grössere Genauigkeit ankommt, ist dasselbe von mehr oder weniger zusammengesetzter Construction. Figur 85 zeigt ein solches in möglichst einfacher Aus-

Fig. 85.



führung. Die Magnetnadel dreht sich in horizontaler Ebene um eine Spitze von hartem Stahle, auf welcher sie mittelst eines Achathütchens ruht. Damit sie nicht wie eine Inclinationsnadel eine Neigung gegen die Horizontalebene mache, muss sie nach dem Magnetisiren ins Gleichgewicht gebracht werden. Die Nadel befindet sich in einem rechtwinkligen

Glaskästchen, von welchem zwei Seiten mit der Linie parallel sind, die vom Nullpunkte der Kreistheilung durch den Mittelpunkt geht. Genau dieselbe Richtung hat die Axe des an der Seite angebrachten Fernrohrs. Richtet man dieses also in die Lage der Mittagslinie, so liegt die Linie, welche durch den Nullpunkt des Kreises und die Mitte der Nadel geht, ebenfalls im Meridian und die Richtung der Nadel gibt unmittelbar durch die angezeigte Abweichung in Graden die *Declination* an.

Umgekehrt kann auch, wenn die Declination der Magnetnadel für einen bestimmten Ort bekannt ist, die Declinationsnadel zur Bestimmung des Meridians dienen; hierauf beruht ihr Gebrauch bei der Schifffahrt; der Compass ist nichts anderes als eine Declinationsnadel. Natürlich fällt die Ermittlung des Meridians um so ungenauer aus, je ungenauer die Declination für den betreffenden Ort ermittelte ist, und eine sichere Orientirung mittelst des Compasses allein ist also nur dann möglich, wenn man die Declination genau kennt.

Die Declination ist nicht allein nach der Lage des Ortes, sondern auch zu verschiedenen Zeiten sehr verschieden. Sie nimmt augenblicklich von Jahr zu Jahr um eine ungleiche Grösse (4 bis 5 Minuten) ab; wir kommen hierauf noch weiter unten specieller zurück.

Die *Inclination* wird mittelst des *Inclinatoriums* gemessen, welches aus einer Magnetnadel besteht, die in ihrem vor dem Magnetisiren bestimmten Schwerpunkte aufgehängt und wie die Nadel Fig. 83 um eine horizontale Axe beweglich ist. Die Stellung der Nadel wird auf einem dieselbe umgebenden getheilten Kreise abgelesen und das Ganze ist nach verschiedenen Richtungen beweglich, so dass die Nadel genau in die Ebene des magnetischen Meridians eingestellt werden kann. Da es immer schwer hält, die Nadel *genau* in ihrem Schwerpunkte zu unterstützen, so ist die Inclination nicht leicht mit grosser Schärfe zu bestimmen und es gehören dazu mehre Beobachtungen mit der einige Male umgekehrten oder umgekehrt magnetisirten Nadel, aus welchen alsdann das Mittel zu ziehen ist.

Auch die Inclination ist für dieselben Orte Schwankungen unterworfen.

§ 158. *Versuch*. Man lege eine Magnetnadel auf ein kleines Stückchen Kork und bringe sie mittelst desselben zum freien Schwimmen auf einem Gefässe voll Wasser. Man wird bemerken, dass die Nadel sich in eine bestimmte Richtung einstellt und in derselben in Ruhe verbleibt. Die magnetische Kraft der Erde wirkt also auf die Nadel nur als richtende, nicht als bewegende, anziehende Kraft, sonst müsste die

Nadel nach dem Nordpole hingezogen werden. Hieraus erhellt, dass die anziehende Kraft des Erdmagnetismus seiner abstossenden gleich ist, das heisst, dass der nach Norden gerichtete Pol der Magnetnadel ebenso stark vom Nordpol angezogen, wie der nach Süden gerichtete abgestossen wird. Als Resultierende dieser beiden gleichen und entgegengesetzten Kräfte erscheint also die *Drehung*, nicht aber die Fortbewegung der Nadel.

Die magnetische Kraft nimmt, wie alle anziehenden Kräfte, mit der Zunahme der Entfernung in einem bestimmten, später näher zu erörternden Verhältnisse ab; bei der geringen Dimension der Nadel im Vergleich zu der grossen Entfernung vom wirkenden Pol ist der Unterschied in der Entfernung der beiden Pole der Nadeln vom Nordpol der Erde völlig verschwindend. Bringt man dagegen den Pol irgend eines stärkeren Magnets in die Nähe der Nadel, so beobachtet man nicht allein eine Richtung, sondern auch eine Bewegung der schwimmenden Nadel. Hier ist nämlich der Unterschied in der Entfernung der beiden Nadelpole von dem richtenden Pole merklich verschieden und daher die abstossende und anziehende Kraft ungleich.

Ausserdem folgt aus der schwimmenden und durch den Erdmagnetismus nur gedrehten Nadel, dass die Intensität des Magnetismus von ihren beiden Polen genau gleich ist.

§ 159. Eine *genaue Messung* der Declination und ihrer Veränderung, so wie der Intensität des Erdmagnetismus, welche mittelst der eben angegebenen Nadel unmöglich ist, wird mittelst der von *Gauss* angegebenen Instrumente ausgeführt. Dieselben bestehen im Wesentlichen aus sehr grossen Magnetstäben, welche an langen Seidenfäden äusserst beweglich aufgehängt sind und deren Bewegungen, ohnehin durch die Länge der Stäbe leicht sichtbar, noch deutlicher und messbarer dadurch werden, dass der Magnetstab an seinem Ende einen Spiegel trägt, auf welchen ein gegenüber aufgestelltes Fernrohr gerichtet ist. In einer bestimmten Lage erscheint im Sehfeld des Fernrohrs das Spiegelbild des Nullpunktes einer am Fernrohr befestigten Skala, bei jeder anderen Lage ein anderer Theilstrich derselben, der dann einer bestimmten Abweichung des Stabes von der eben bezeichneten Lage entspricht.

Mittelst Apparaten, welche nach diesem Princip construirt sind und welche ausserdem noch mit mancherlei dem bestimmten Zwecke entsprechenden Abänderungen und mit verschiedenen die äusseren Störungen vermeidenden Einrichtungen versehen sind, hat man zahlreiche Beobachtungen über die Erscheinungen angestellt, welche die frei schwingende Magnetnadel zeigt, von denen die folgenden Sätze die Hauptumrisse geben.

Die Declination und die Inclination ist für denselben Ort nach den Jahren veränderlich; so hat sich erstere z. B. seit dem Jahre 1580 für Paris um mehr als 30° geändert; sie war nämlich daselbst im Jahr 1580 $11,5^\circ$ östlich (d. h. die Magnetnadel machte mit dem astronomischen Meridian diesen Winkel, indem sie nach Osten davon abwich) sie wurde im Jahr 1663 gleich Null und blieb von da ab westlich. Im Jahr 1814 war sie am stärksten westlich ($22,5^\circ$) und erleidet seither eine rückgängige Bewegung nach Osten, so dass sie nach einiger Zeit wieder Null werden wird.

Die Inclination ändert sich gleichfalls, und zwar ist sie, so weit die Beobachtungen reichen, für Paris z. B. im Abnehmen. Sie betrug daselbst im Jahr 1671 etwa 75° , jetzt nicht ganz 67° .

In München betrug die Inclination im Jahr 1841 $65^{\circ} 22'$, im Jahr 1852 $64^{\circ} 64,5'$ (sie nimmt daselbst jährlich um etwa 2,3 Minuten, die Declination um etwa 6,5 Minuten ab).

Auch in kurzen Zeiträumen bleibt die Declination nicht gleich; die Nadel zeigt vielmehr Schwankungen, indem sie sich bald nach der einen, bald nach der anderen Seite von ihrer mittleren Lage entfernt. Diese Schwankungen sind bald zufällig und plötzlich, bald regelmässig und periodisch; erstere heissen *Störungen*, letztere *tägliche Variationen*. Letztere richten sich nach der Tageszeit und sind von der verschiedenen Erwärmung der Erde durch die Sonne bedingt. Im Allgemeinen ist in Europa zwischen 7 und 8 Uhr Morgens die westliche Abweichung am kleinsten; sie nimmt dann zu und erreicht zwischen 1 und 2 Uhr ihr Maximum, um gegen Morgen wieder auf das kleinste Maass zu kommen. Die Grösse der Abweichung wechselt mit den Jahreszeiten; sie ist im Allgemeinen im April am beträchtlichsten, im December am kleinsten. Sie ist z. B. in Göttingen im Mittel des Jahres $10' 24''$, und zwar in den Wintermonaten $7' 58''$, in den Sommermonaten $12' 48''$. Die unregelmässigen Variationen der Magnetnadel kommen häufig vor und übertreffen die regelmässigen an Grösse, indem die Nadel nicht selten um mehr als einen Grad ausschlägt. Sie werden durch verschiedene atmosphärische und kosmische Erscheinungen hervorgebracht, von denen das Nordlicht den hervorragendsten Einfluss übt, selbst auf Entfernungen, in denen es für das Auge nicht mehr wahrnehmbar ist. Zahlreiche Beobachtungen haben eine merkwürdige Uebereinstimmung in den *gleichzeitigen* Störungen der Magnetnadel ergeben. Auch der Mond, sowie die Richtung des Windes, sind auf die Variationen der Magnetnadel von Einfluss.

Aehnliches, wie das für die Declination Gesagte, gilt auch für die Inclination.

§ 160. Aus den früher angeführten Beobachtungen ergibt sich, dass die Declination und Inclination an den verschiedenen Orten der Erde verschieden gross ist. Die Declination betrug z. B. zu gleicher Zeit in Potsdam $17^{\circ} 28'$, in Petersburg $6^{\circ} 45'$ westlich, in San Francisco $14^{\circ} 55'$, in Rio Janeiro $2^{\circ} 4'$ östlich u. s. w. Die Inclination betrug ebenfalls zu gleicher Zeit in Brüssel $67^{\circ} 32'$, in Petersburg 71° , in Rom $61^{\circ} 42'$ nach Norden, in St. Helena $14^{\circ} 50'$, in Rio Janeiro $13^{\circ} 30'$ nach Süden.

Alle Orte, welche *gleiche* Declination haben, nennt man *isogonisch* (weil an denselben die Magnetnadel denselben Winkel mit dem Meridian macht); alle Orte, welche dieselbe Inclination haben, *isoclinisch*; die Linien, welche erstere unter einander verbinden, *Isogonen*, die, welche letztere verbinden, *Isoclinen*.

Die Inclination ist natürlich unmittelbar über den magnetischen Polen 90° und man kann daher aus der Lage der Isogonen für die von 0° bis gegen 90° hin wechselnden Inclinationen schon annähernd auf die Lage der magnetischen Pole schliessen. Man glaubte früher, zwei Nord- und zwei Südpole annehmen zu müssen, bis Gauss zeigte, dass nur *ein* Nord- und *ein* Südpol existiren können. In der That ist von Ross unter $280^{\circ} 54' 42''$ östlicher Länge und $70^{\circ} 5' 17''$ nördlicher Breite die Inclination so nahe an 90° gefunden worden, dass man an dieser Stelle den magnetischen Nordpol der Erde *in jenem Jahre* annehmen kann; denn seine Lage muss, wie die jährliche Aenderung der Inclination und Declination zeigt, im Laufe der Zeiten wechseln.

Der magnetische Südpol der Erde ist noch nicht erreicht worden, doch lassen die in der Nähe beobachteten Inclinationsgrössen von $88^{\circ} 37'$ u. a. auf seine Lage mit ziemlicher Genauigkeit schliessen.

Die Gestalt und Lage der Isogonen ist eine sehr verschiedene; sie sind bald geschlossene, dem Kreise nahe stehende Curven, bald nicht. Eine derselben verbindet die Orte mit *keiner* Declination; dazwischen liegen auf der einen Seite die Orte mit westlicher, auf der andern die mit östlicher Declination. Die Isoclinen nähern sich alle mehr oder weniger der Gestalt von Kreisen, welche mit dem Aequator der Erde annähernd parallel sind, in ihrem speciellen Verlaufe aber nach der Lage der Continente u. s. w. vielfach modificirt erscheinen. Die Isoclinen auf der nördlichen Hälfte der Erde zeigen im Allgemeinen eine nördliche, die auf der südlichen eine südliche Inclination. Dazwischen gibt es (s. § 156) eine Linie, welche diejenigen Orte verbindet, wo die Inclination Null ist; sie heisst der *magnetische Aequator* der Erde. Sie ist *annähernd* ein Kreis, zeigt aber viele Biegungen und Krümmungen; den Aequator der Erde durchschneidet sie in zwei Punkten, *Knoten* genannt, in deren Nähe die Krümmungen besonders auffallend sind. Ihre Lage ist, wie die Inclination, veränderlich und schreitet augenblicklich in der Richtung von Ost nach West fort. Nach Norden hat der magnetische Aequator eine grösste Entfernung vom Erdäquator von etwa 15° , nach Süden von etwa 12° . Wie schon oben angedeutet, sind die Isoclinen dem magnetischen Aequator nur *ungefähr* parallel.

Eine speciellere Auseinandersetzung dieser Verhältnisse und der Lage dieser Linie müssen wir hier übergehen.

§ 161. Die *Intensität der magnetischen Kraft der Erde* äussert sich an verschiedenen Orten der Erde verschieden. Um sie zu messen und zu vergleichen, bedient man sich verschiedener Methoden, die der Hauptsache nach in der Beobachtung der Schwingungen bestehen, welche eine Magnetnadel zeigt, wenn sie um ein Geringes aus ihrer Lage gebracht wird.

Im Allgemeinen nimmt die Kraft des Erdmagnetismus von den wärmeren nach den kälteren Gegenden zu, und ist da am kleinsten, wo in Südafrika der Ort der höchsten Temperatur befindlich ist. In Asien ist diese Kraft grösser als in Europa, in Amerika grösser als in Asien. Die Linien, welche die Orte gleicher Intensität der magnetischen Kraft verbinden, heissen *Isodynamen*. Sie sind in sich geschlossen und nähern sich den Linien gleicher Wärme, den Isothermen, am meisten. Am magnetischen Aequator ist die magnetische Kraft am geringsten, an den Magnetpolen ist sie $1\frac{1}{2}$ mal so gross. Indessen besitzen nicht alle Punkte des magnetischen Aequators gleiche Intensität und ihre Zunahme ist nicht immer der Zunahme der Inclination proportional.

Mit der Höhe über dem Meeresspiegel nimmt die Intensität ab; sie soll für 3000' Höhe um $\frac{1}{1000}$ abnehmen.

So wie die Temperatur der Erde auf die entsprechende magnetische Kraft von Einfluss ist, so wechselt auch die Stärke und Empfindlichkeit der Magnetnadel mit der Temperatur; sie bleibt ohnehin auch im Lauf der Zeit nicht constant und die Beobachtung der Intensität des Erdmagnetismus erfordert daher sehr sorgfältig construirte Instrumente und mancherlei Correctionen der Resultate.

§ 162. Zur Erforschung der Gesetze, welche den bisher erwähnten Erscheinungen des Erdmagnetismus zu Grunde liegen, sind ausgedehnte Beobachtungen an den entferntesten Orten der Erde, namentlich auf Anregung *Alex. v. Humboldt's* seit Jahren angestellt worden. Indessen haben dieselben nicht erlaubt, daraus in kurzer Zeit die Gesetze zu erschliessen, indem sich die localen Umstände von zu grossem Einflusse auf die Bewegungen der Magnetnadel erwiesen haben. Indessen haben sie dazu ge-

führt, unter Beihülfe der Berechnung einige allgemeine Thatsachen, festzustellen, welche wenigstens einiges Licht über die merkwürdige Kraft des Magnetismus verbreiten.

Es kann die erdmagnetische Kraft nach den bisher erlangten Ergebnissen ungefähr der vereinigten Wirkung von 8 einpfündigen Magnetstäbchen in jedem Cubikmeter der Erde gleichgesetzt werden. Die Ursachen derselben müssen hauptsächlich in die Erde selbst verlegt werden, wenn sie auch von ausserirdischen Kräften wesentliche Einflüsse erleidet. Von diesen ist der Sonnenwärme der grösste zuzuschreiben, nicht als ob die Sonne selbst eine magnetische Kraft äusserte, sondern in so fern der Magnetismus durch die Wärme geschwächt wird. Hieraus erklären sich leicht die täglichen und jährlichen Variationen der Magnetnadel, welche namentlich von *Dove* in dieser Weise mit einem hohen Grade von Wahrscheinlichkeit abgeleitet worden sind. Die tägliche Variation der Declination nimmt in einer Periode von 10 Jahren ab und zu und es trifft dieselbe mit der Periode der Sonnenflecken zusammen.

XV. Die Erregung des Magnetismus.

§ 163. Es gibt verschiedene Mittel, dem Stahle oder überhaupt dem Coercitivkraft besitzenden Eisen dauernden Magnetismus mitzutheilen. Es sind vornehmlich folgende:

1) Stoss, Schlag oder Windung; 2) Unterwerfung unter den freien Einfluss des Erdmagnetismus (auch in Verbindung mit 1); 3) Streichen mit einem Magneten; 4) Einfluss von Licht und Wärme; 5) Electricitätserregung.

Mehrere dieser Mittel zur Magnetisirung sind bereits hinreichend erwähnt worden; über das zuletzt angeführte wird später noch geredet werden. Nur über 3 und 4 bleibt ausser dem schon Gesagten noch einiges zu bemerken.

Das *Bestreichen* mit einem Magneten erregt den Magnetismus am kräftigsten, wenn man von der Magnetisirung durch Electricität, wodurch allein sehr grosse und starke Magnete erhalten werden können, absieht. Man unterscheidet den *einfachen Strich*, den *Doppelstrich* und den *Kreisstrich*. Alle übrigen Methoden kommen mehr oder weniger mit diesen überein. Den einfachen Strich haben wir schon früher (s. § 153) durch den Versuch kennen gelernt. Der Stab erhält in beiden Hälften den entgegengesetzten Magnetismus des bestreichenden Poles.

Beim *Doppelstrich* streicht man mit den beiden nahe gegenüberstehenden Polen desselben hufeisenförmigen Magnets oder mit den ungleichnamigen magnetischen Enden zweier gegen einander geneigter Magnetstäbe den zu magnetisirenden Stab in der ganzen Länge hin und her, ohne abzusetzen, und zwar so, dass, wenn man z. B. von der Mitte aus angefangen hat, man auch in der Mitte wieder aufhört. Ein Auflegen des zu magnetisirenden Stabes auf die ungleichnamigen Enden zweier Magnetstäbe befördert die Wirkung des Doppelstriches.

Beim *Kreisstrich* legt man vier Stahlstangen, von denen zwei Magnete sein können, in ein Viereck zusammen (wovon die Magnetstäbe zwei gegenüberliegende Seiten einnehmen und mit ihren Polen eine ungleiche Lage haben müssen) und führt die zwei Magnete, wie beim Doppelstriche, mehrmals in derselben Richtung über diese Stäbe herum.

Von diesen und ähnlichen Methoden gibt der *Kreisstrich*, wenn er auf beiden Seiten des Stabes ausgeführt wird, das beste Resultat. Sie wird indessen durch die Anwendung der Electricität noch bei weitem übertroffen.

Man hat in verschiedener Weise versucht, die Beziehungen zwischen Schwere und Tragfähigkeit der Magnete, also zwischen ihrer Form und Grösse und der ihnen zu ertheilenden magnetischen Kraft zu ermitteln, ohne jedoch zu bestimmten, allgemein gültigen Resultaten zu gelangen, weil die Coercitivkraft verschiedener Stahlsorten immer abweicht. Ausserdem hängt diese Stärke von derjenigen des streichenden Magnets ab.

Verbindet man die Pole eines hufeisenförmigen Magnets durch ein vorgelegtes Stück weichen Eisens, so heisst dieses der *Anker* des Magnets. Das Vorlegen eines Ankers wirkt eher erhaltend auf die Kraft des Magnets als schwächend; Abreissen desselben aber schwächt sie augenblicklich.

Im Allgemeinen werden kleinere Stäbe und hufeisenförmige kräftiger als grössere und gerade von gleichem Gewicht.

Aus einer Anzahl magnetischer Stäbe kann man durch zweckmässige Verbindung derselben sehr starke Magnetbündel, s. g. Magazine, herstellen. Auch kann man eine Anzahl von Magnetstäben, die keine grosse Kraft besitzen, dadurch bis zur Sättigung bringen, dass man je zwei davon mit den zu einem Bündel vereinigten übrigen dem *Kreisstrich* unterwirft und so oft umwechsetzt, bis alle gestrichen worden sind.

Bei magnetischen Magazinen ist es nur erforderlich, dass die gleichnamigen Pole einander berühren; eine Verbindung derselben durch weiches Eisen ist nicht erforderlich.

Allmähliche Vermehrung des Gewichts, welches ein Magnet trägt, vergrössert seine Tragfähigkeit, doch darf das aufgehängte Gewicht nie die Tragfähigkeit überschreiten, weil sonst durch das Abreissen eine Schwächung erfolgen würde.

§ 164. Durch das Licht wird der Magnetismus insofern erregt, als eine Stahlnadel in bestimmten Theilen des Sonnenspectrums magnetisch wird, namentlich in den violetten, blauen oder grünen Stellen. Durch Concentration dieses Lichtes mittelst einer Linse kann man die Wirkung verstärken. Bedeckt man eine Hälfte der Nadel, so erhält die freie, dem Lichte ausgesetzte, einen Nordpol. Im freien Sonnenlichte erhält eine Stahlnadel, auch unter Wasser, da einen Nordpol, wo sie besonders polirt ist; sind mehrere Theile polirt, so erhält sie bei hinreichender Dauer der Bestrahlung mehrere Nordpole. Umgekehrt wirkt auch der Magnetismus auf das Licht ein, indem er dessen Eigenschaften, wie wir später sehen werden, modificirt.

Taucht man einen rothglühenden Eisenstab in lothrechter Stellung in kaltes Wasser, so wird er magnetisch und zwar erhält er unter dem gemeinschaftlichen Einflusse der Wärmeabnahme und des Erdmagnetismus am unteren Ende einen Nordpol.

Erhöhte Temperatur wirkt übrigens auf paramagnetische Körper durch Zerstörung des Einflusses des Magnetismus. Weissglühendes Eisen bleibt gegen einen Magnet indifferent und ein Stahlmagnet verliert seine Wirkung schon im siedenden Oel. Nickel hört bei 350° , Kobalt aber noch nicht bei der stärksten Rothgluth auf, paramagnetisch zu sein.

XVI. Gesetze der magnetischen Wirkung.

§ 165. Das wichtigste Gesetz der magnetischen Anziehung und Abstossung ist, übereinstimmend mit allen anderen Anziehungskräften, folgendes:

Die magnetischen Kräfte nehmen im Verhältnisse des Quadrates der Entfernung ab.

Dieses Gesetz ist auf verschiedene Weise nachgewiesen worden:

Wenn man eine kleine Magnetnadel an einem feinen Coconfaden aufhängt und sie durch Ablenkung aus ihrer Lage schwingen lässt, so erkennt man an der Anzahl der Schwingungen in einer bestimmten Zeit die Wirkung des Erdmagnetismus allein. Bringt man nun den Pol eines grösseren Magnets in die Nähe, so dass er in derselben Richtung, wie der Erdmagnetismus, also im magnetischen Meridian darauf wirken kann, so schwingt die Nadel nunmehr unter der Summe der Einwirkungen des Erdmagnetismus und des Magnets bei der bestimmten Entfernung. Beobachtet man die Anzahl der Schwingungen, welche sie bei zwei verschiedenen Entfernungen des Magnets macht, so lässt sich aus diesen drei Angaben durch zwei Proportionen der Unterschied berechnen, welcher durch Aenderung des Abstandes hervorgebracht wird; denn nach dem allgemeinen Gesetze aller Schwingungen verhalten sich die anziehenden Kräfte, wie die Quadrate der Schwingungszahlen.

Eine andere Methode, jenes Gesetz nachzuweisen, ist die vermittelt der Coulombschen Drehwaage. Diese besteht aus einer Magnetnadel, welche in einem Glaskasten an einem feinen Drahte so aufgehängt ist, dass sie in jede beliebige Vertikalebene versetzt werden kann. Man beobachtet nun die Einwirkung des Erdmagnetismus allein auf die Nadel durch die Grösse der Torsion des Drahtes, welche er zu überwinden vermag und dann den Einfluss, welchen ein in die Nähe gebrachter Magnetstab auf die Nadel ausübt, wenn sie der Abstossung des gleichnamigen Poles in verschiedenen Entfernungen unterworfen wird. Diese Verschiedenheit der Entfernung wird durch die Drehung des Drahtes bewirkt. Berücksichtigt man nun den Umstand, dass der Widerstand der Torsion der Einwirkung der verschiedenen Kräfte proportional ist, so hat man die hinreichende Anzahl Momente, um den Einfluss verschiedener Entfernungen zu ermitteln.

§ 166. Die Pole eines Magnetstabes, wenn man darunter die Punkte der stärksten Anziehung versteht, befinden sich nicht unmittelbar an den Enden desselben, sondern in einiger Entfernung davon. Die Kraft des Magnetismus nimmt rasch gegen die Mitte ab und ist in gleichen Entfernungen von derselben gleich. Diese Thatsache kann in derselben Weise nachgewiesen werden, wie vorhin für das oben ausgesprochene Gesetz, indem man nämlich die Anzahl der Schwingungen beobachtet, welche eine Magnetnadel unter dem Einfluss der verschiedenen Stellen eines Magnetstabes nach geschehener Ablenkung macht.

Die Entfernung der Pole von dem Ende des Stabes ist nach dem Durchmesser desselben verschieden, bei cylindrischer Gestalt z. B. steht sie in geradem Verhältniss dazu.

Um die Lage der Pole zu ermitteln, kann man sich eines kurzen Stückes Draht aus weichem Eisen bedienen, welches in einer hohlen Glaskugel befindlich ist, die man an verschiedene Punkte des zu untersuchenden Stabes hält. Am Pole, aber nur an diesem, stellt sich das Eisenstückchen senkrecht.

§ 167. Bei der Wirkung zweier Magnetstäbe auf einander in verschiedener gegenseitiger Entfernung wird das oben ausgesprochene Gesetz dadurch modificirt, dass dieselbe aus der anziehenden Wirkung aller ungleichnamigen und der abstossenden aller gleichnamigen Theilchen zusammengesetzt ist, und daher von der Grösse und der Gestalt der Stäbe, so wie von der Stärke des Magnetismus abhängig ist. Wenn die Entfernung im Verhältniss zur Länge der Magnetstäbe sehr gross ist, so nimmt die Anziehung mit dem Cubus der Entfernung ab. Ausserdem ist die Wirkung eines Magnets auf einen andern dem Producte aus der magnetischen Kraft des einen in die des andern proportional. Wenn also die Wirkung eines Magnetes von der Kraft 1 gleich Eins ist, so ist die Wirkung zweier Magnete von der Kraft M und m in der Entfernung v gleich

$$\frac{M m}{v^3}$$

Die Wirkung eines Magnets von der Kraft M auf weiches Eisen ist demnach dem Quadrate von M proportional, weil der hervorgerufene Magnetismus des weichen Eisens selbst dem Magnetismus des Magnets proportional ist.

§ 168. Für Magnetstäbe, welche nicht ganz bis zur Sättigung magnetisirt sind, erleiden die vorhin angeführten Gesetze einige Modificationen. Ist der nicht ganz gesättigte Stab vertical so aufgestellt, dass der Nordpol oben ist, so hat der Südpol mehr Kraft als der Nordpol und der Indifferenzpunkt liegt demselben näher. Dreht man dann den Stab um, so erhöht der Einfluss des Erdmagnetismus die Kraft des angezogenen Nordpols und der Indifferenzpunkt nähert sich entsprechend der Mitte.

Das Zuspitzen des Polendes eines Magnetes schwächt daselbst den Magnetismus.

Die Kraft magnetischer Magazine, d. h. zu Bündeln vereinigt Magnetstäbe, nimmt nicht in demselben Verhältniss zu, wie die Anzahl der Stäbe und ist bei Büscheln mehrerer starker Nadeln nach der Mitte zu geringer. Doch scheint auch die magnetische Kraft einzelner Magnete nach der Oberfläche zu grösser zu sein, obgleich nach directen Untersuchungen diese Thatsache zweifelhaft bleibt.

Der Einfluss der Temperatur auf die Leichtigkeit, mit welcher die verschiedenen Eisen- oder Stahlsorten Magnetismus annehmen, ist ein verschiedener. Bei gewöhnlicher Temperatur z. B. wird ein Stab aus weichem Eisen unter dem Einfluss des Erdmagnetismus am stärksten magnetisch; bei zunehmender Temperatur aber werden einige Eisensorten, z. B. das Gusseisen, zwischen der Roth- und Weissglühhitze magnetisch, während der Magnetismus bei anderen erst beim Erkalten hervortritt; Schmiedeeisen bleibt z. B. in der Weissglühhitze ganz unmagnetisch. Auch die Schnelligkeit, mit welcher das Eisen abgekühlt wird; trägt zu dem Hervortreten von Unterschieden bei.

Manche nichtmetallische Substanzen, wie z. B. Lösungen von Eisen- salzen, die bei gewöhnlicher Temperatur von starken Magneten angezogen

werden, zeigen gar keine Verminderung dieser Eigenschaft beim Erhitzen.

Wiederholtes Erhitzen bringt bei magnetischen Stahladeln meist eine entsprechende Wiederholung des Verlustes an Magnetismus hervor, und es tritt endlich, wenn die Erhitzung nicht allzustark gewesen war, ein Punkt ein, wo keine weitere Verminderung stattfindet. Wenn man die Nadel nach dem Erkalten jedesmal wieder magnetisirt, so verliert sie immer weniger an Magnetismus, so dass man sie endlich von constanter Stärke erhalten kann.

Bei Eisen von *anderer Gestalt* als der Nadel- oder Stabform bringt der Erdmagnetismus eine entsprechend andere Vertheilung hervor: Eiserner Kugeln erhalten eine magnetische Axe in der Richtung der Wirkung des Erdmagnetismus und einen dazu senkrechten Aequator. Hohle Kugeln verhalten sich ebenso.

§ 169. Ausser den eigentlich paramagnetischen Körpern erleiden nach *Faraday's* Entdeckung auch alle übrigen, starren oder tropfbarflüssigen, selbst die gasförmigen Körper von sehr starken Magneten einen Einfluss, der ihnen, wenn sie frei beweglich sind, eine bestimmte Stellung zwischen den Polen des auf sie wirkenden Magneten gibt. Diejenigen Körper, welche von dem Magnete angezogen werden, nennt man, wie schon früher angegeben, paramagnetisch; es sind von einfachen Körpern hauptsächlich die oben (§ 149) bezeichneten; diejenigen, welche vom Magnete *abgestossen* werden, heissen *diamagnetisch*. Dahin gehören von den Metallen z. B. Blei, Silber, Kupfer, Gold, Antimon, Zinn, Zink u. s. w. Im Allgemeinen sind die Lösungen paramagnetischer Körper auch paramagnetisch. Wasser ist diamagnetisch.

Cylinder und Stäbchen diamagnetischer Substanzen, sowie die Lösungen derselben, wenn sie in feine Glasröhrchen gefüllt sind, stellen sich zwischen den Polen eines starken Magnets äquatorial, d. h. mit ihrer Hauptaxe senkrecht zur Verbindungslinie der Pole. Paramagnetische Gase breiten sich beim Aufsteigen zwischen den Polen in einer Ebene aus, die ebenfalls diese Richtung hat, wie man bei gefärbten Gasen direct beobachten kann.

Auf diese Weise untersucht, haben sich die meisten Körper, z. B. Papier, Flussspat, Graphit, Holzkohle u. s. w., sowie Sauerstoffgas paramagnetisch gezeigt, während sich Bergkrystall, Alaun, Wasser, Alkohol, Aether, Schwefelsäure, Phosphor u. s. w., sowie, ausser Sauerstoff, alle Gase und Dämpfe diamagnetisch verhalten.

Beim Vermischen paramagnetischer und diamagnetischer Lösungen zeigt sich, dass eine bestimmte Menge Diamagnetismus eine *grössere* Menge Magnetismus zur vollkommenen Neutralisation bedarf und dass dieses Verhältniss von der Stärke des einwirkenden Magnets abhängt, so dass ein vollkommen indifferentes Gemisch aufhört indifferent zu sein, wenn die Stärke des Magnets sich ändert.

Hängt man einen paramagnetischen Körper in einer ebensolchen und gleichstarken Flüssigkeit auf, so verhält er sich indifferent, in einer stärker paramagnetischen stellt er sich äquatorial, in einer schwächeren axial, ebenso in jeder diamagnetischen Flüssigkeit. Diamagnetische Körper dagegen, umgeben von magnetischer oder diamagnetischer Substanz, stellen sich stets äquatorial. Umgibt man aber eine mit Luft gefüllte oder auch ganz leere dünne Glasröhre mit einer paramagnetischen Flüssigkeit, so stellt sie sich äquatorial, in einer diamagnetischen Substanz dagegen axial.

Wenn man einen optisch einaxigen Krystall, z. B. einen parallel mit der Axe geschliffenen Turmalin der Wirkung eines starken Magnets aussetzt, so stellt er sich axial, wenn seine Axe mit der Richtung des Fadens parallel ist, äquatorial, wenn sie dazu senkrecht ist. Demnach gibt es, nach *Plückers* Untersuchungen, in allen Krystallen, die des regulären Systems ausgenommen, mehrere Richtungen, in denen sie von dem Pole eines Magnetes angezogen oder abgestossen werden; man nennt diese Richtungen *magnetische Axen*; sie heissen positiv oder negativ, je nachdem sie sich axial oder äquatorial stellen.

Auch auf die Bildung von Krystallen sind starke Magnete von Einfluss; so liegen z. B., wenn man geschmolzenes Wismuth erkalten lässt, die Hauptspaltungsflächen in äquatorialer Richtung.

Die diamagnetische Kraft nimmt übrigens mit der Entfernung rascher ab, als die magnetische.

Wie man die starken Magnete erzeugt, welche man zur Hervorbringung der angeführten Erscheinungen nöthig hat, werden wir später erfahren.

§ 170. *Aufgabe 1.* Eine Declinationsnadel macht an einem Orte der Erde 80, an einem anderen 90 Schwingungen in der Minute. Wie verhalten sich die Kräfte f_1 und f_2 , durch welche sie nach jeder Ablenkung vom magnetischen Meridian wieder in denselben zurückgeführt werden?

Antwort. Nach dem Pendelgesetze ist $f_1 : f_2 = 6400 : 8100 = 64 : 81$.

Aufgabe 2. Wenn eine Nadel unter dem alleinigen Einfluss der Erde in der Minute 40 Schwingungen, unter dem gemeinschaftlichen der Erde und eines Magnetstabes aber 50 Schwingungen macht, wie verhält sich die magnetische Intensität f des Magnets zu derjenigen F der Erde?

Antwort. Wie 9 : 16; oder sie ist davon 0,56.

Aufgabe 3. Wenn zwei magnetische Kräfte von der Grösse 1 und in der Entfernung 1 die Einheit der magnetischen Wirkung auf einander ausüben, wie gross ist dann die Wirkung der Kräfte, deren Grösse durch 3 und 4 und deren Entfernung durch 5 ausgedrückt wird?

Antwort. $\frac{12}{25}$ oder 0,48 der Krafteinheit.

Aufgabe 4. Eine Magnetenadel macht bloss durch den Einfluss des Erdmagnetismus 20 Schwingungen in der Minute. Nähert man ihren Südpol dem Nordpol eines Magnetstabes, dessen Axe in der Richtung des magnetischen Meridians liegt und der so lang ist, dass der Einfluss seines Südpols vernachlässigt werden kann, bis auf 3'', so macht sie 55 Schwingungen und bei einer Entfernung von 6'' 32,5 Schwingungen in der Minute. In welchem Verhältniss stehen die Kräfte, welche dieser Nordpol in beiden Lagen auf die Magnetenadel ausübt?

Antwort. Nennen wir die erdmagnetische Kraft f , so folgt für die Kraft des Magnetstabes in der Entfernung von 3''

6,56 f und in der Entfernung von 6''

1,64 f ;

beide stehen also im Verhältniss 4 : 1. Die Kraft nimmt also, wie bekannt, nach dem Quadrat der Entfernung ab.

FÜNFTER ABSCHNITT.

DER ELECTRICITÄT ERSTER THEIL: ELECTROSTATIK.

[Es werden hier zwar *vorsüglich* die Erscheinungen der statischen, ruhenden Electricität behandelt, während unter dem Abschnitt *Electrodynamik* vorzugsweise diejenigen der bewegten, in Strömung begriffenen vorkommen werden; allein eine scharfe Trennung beider Theile liegt weder in der Natur der Sache noch in unserem Zwecke; der Unterschied der in beiden Theilen betrachteten Erscheinungen wird indess schon im Verlaufe deutlich werden, ohne dass hier eine scharfe Characterisirung nothwendig wäre.]

XVII. Allgemeine Erscheinungen.

§ 171. Mit dem Worte *Electricität* bezeichnet man die unbekanntete Ursache einer Menge von Erscheinungen, welche durch einen eigenthümlichen Zustand der Körper hervorgerufen werden und hauptsächlich in einer gegenseitigen Anziehung und Abstossung bestehen.

Man nahm sonst, um diese Erscheinungen zu erklären, die Existenz eines eigenthümlichen, unwägbaren Fluidums, der electricischen Materie, an, allein es ist bisher nicht möglich gewesen, einen Beweis für die getrennte Existenz einer solchen Materie zu führen. Daher ist vielmehr anzunehmen, dass die Ursache dieser Erscheinungen darin zu suchen ist, dass die Körper durch ihre gegenseitige Wirkung unter gewissen Umständen im Stande sind, das Hervortreten entgegengesetzter, polarer Kräfte an verschiedenen Punkten der beiderseitigen Theilchen hervorzurufen.

Indessen hat man die Bezeichnungsweise der electricischen Materie u. s. w. beibehalten, weil sie eine leichtere Darstellung der Erscheinungen, sowie der Erklärung dafür gestattet.

§ 172. Die einfachsten und Grunderscheinungen der Electricität lassen sich durch folgende *Versuche* hervorrufen:

Bekannt ist es, dass eine geriebene Siegelackstange leichte Körper, wie Papierschnitzel u. s. w. in einiger Entfernung anzieht. Etwas deutlicher zeigt sich die Eigenschaft, wenn man ein an einem *leinenen* Faden befestigtes Papierscheibchen oder eine Kugel von Hollundermark ¹⁾ einer etwas grossen und dicken Siegelackstange nähert, die vorher mit einem wollenen Tuche gerieben worden ist. Das Papierscheibchen wird schon in einiger Entfernung angezogen, und haftet dann an der Stange fest,

¹⁾ Man bedarf solcher Kugeln, oder Kugeln aus Sonnenblumenmark in grösserer Zahl zu electricischen Versuchen; erstere verschafft man sich am besten im Winter, letztere im Herbste.

um nach dem Losreissen wieder angezogen zu werden u. s. w., bis endlich diese Anziehung ganz aufhört; sie tritt erst nach wiederholtem Reiben wieder auf.

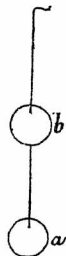
Aehnliches zeigt eine geriebene Glasstange oder eine Glasröhre, die am besten vorher erwärmt und dann mit einem Stücke Leder gerieben wird.

Um sehr geringe Mengen Electricität nachzuweisen, muss man noch empfindlichere und leichtere Körper anwenden; dazu eignet sich am besten Goldschaum, den man zwischen Papier in schmale Streifen schneiden. Von diesen klebt man eins an eine Papierscheibe, die an einem *leinenen* Faden befestigt ist. Ein solches Goldschaumblättchen wird bei der Annäherung eines jeden, auch noch so wenig electricischen Körpers angezogen.

Nähert man demselben ein Papierblättchen, welches (an einem leinenen Faden aufgehängt, oder mit der Hand gehalten und) von einer geriebenen Siegellackstange angezogen und dann wieder abgerissen worden, so zeigt die Indifferenz desselben, dass von der Electricität des Siegellacks nichts in dem Papierscheibchen verblieben ist. Demnach kann man die Electricität des Siegellacks durch häufige Berührung mit dem Papierblättchen ganz vernichten. Dies rührt daher, dass die demselben mitgetheilte Electricität durch den leinenen Faden und die ihn haltende Hand *abgeleitet* wird. Andere Körper, welche die Electricität *nicht leiten*, würde sich anders verhalten.

Man klebe z. B. den leinenen Faden, woran das Papier oder die Hollundermarkkugel befestigt ist, an ein ähnliches Scheibchen, welches an einem *seidenen* Faden aufgehängt ist (Fig. 86). Diesen nimmt man am besten aus ungedrehter Seide, um sicher zu sein, dass er leicht beweglich und ohne einen Einschluss von Baumwolle ist. Nähert man nun die *untere* Kugel a nach der Berührung mit der Siegellackstange dem Goldblättchen, so wird sie Electricität zeigen und nähert man die obere b demselben, nachdem *nur* die *untere* Electricität aufgenommen, so zeigt auch diese eine Ablenkung des Goldschaumes.

Fig. 86.



Demnach ist die Electricität von der Siegellackstange in den unteren Körper übergegangen und hat sich durch den *leinenen* Faden dem oberen mitgetheilt, während sie durch den *seidenen* Faden an der weiteren Ableitung verhindert wurde. Wir erkennen hierin schon den Unterschied zwischen leitenden und nicht leitenden Substanzen an; zu den ersteren gehört nach dem eben geführten Versuche die Leinenfaser, zu den letzteren die Seidenfaser.

Dass Glas und Siegellack Nichtleiter der Electricität sind, geht ebenfalls aus dem Früheren hervor, indem sonst die durch Reiben entwickelte Electricität ebenso wohl durch die Hand abgeleitet werden müsste, wie die dem Papierscheibchen mitgetheilte, wenn es durch einen leinenen Faden mit der Hand in Verbindung stand.

§ 173. Zu den Nichtleitern gehören ausser Glas, Siegellack und Seide, alle Harze, Schwefel und überhaupt alle Metalloide, Wachs, Talg, Zucker, fette Oele, Elfenbein, Haare, Pelz, Federn und trockene Luft; zu den Leitern die Metalle, Kohle, Wasser, Wasserdampf und daher alle feuchten Körper, die Körper der Thiere und Menschen, der Erdboden.

Der Unterschied der Leiter und Nichtleiter ergibt sich noch weiter aus folgenden

Versuchen. Man hänge ein Stückchen Metall an einem feinen Drahte auf und berühre damit eine durch Reiben electriche Siegellackstange. Nach der Entfernung von derselben wird das Metall nirgends

einen Einfluss auf das Goldblättchen ausüben; nichtsdestoweniger hat es die Electricität abgeleitet, und durch mehrmaliges Ueberstreichen der ganzen Stange mit dem Metall kann man ihr alle Electricität entziehen. Nun hänge man das Ganze an einem Seidenfaden auf und berühre mit einer beliebigen Stelle des Metalls die electricisirte Stange. Man wird hierauf nicht allein diese Stelle, sondern die ganze Oberfläche des Metallstückes und des Drahtes electricisch finden; das Goldblättchen wird an allen Stellen angezogen werden. Nur muss man sich hüten, dies nicht in Berührung mit dem Metall kommen zu lassen; denn geschieht dies oder berührt man *irgend eine Stelle* des Metalles oder Drahtes mit einem Leiter oder nur mit dem Finger, so verschwindet die Electricität zugleich an *allen* Theilen.

Berührt man dagegen eine electricische Siegelackstange oder Glasröhre an irgend einer Stelle mit dem Finger oder einem anderen Leiter, so findet man nachher mittelst des Goldblättchens, dass zwar an dieser Stelle die Electricität entfernt worden, dass aber alle anderen Theile der Oberfläche noch ihren electricischen Zustand behalten haben.

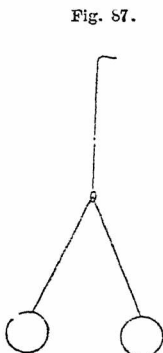
Leitern wird daher bei der Berührung mit einem Leiter die Electricität zugleich an *allen* Stellen entzogen, Nichtleitern *nur* an der *berührten* Stelle. Ebenso verhält es sich bei der Mittheilung der Electricität an solche Körper.

Zwischen den Leitern und Nichtleitern gibt es zahlreiche Abstufungen, so dass man auch *Halbleiter* (Kreide, Marmor, Alabaster, Papier, Holz, Horn u. s. w.) kennt.

Ueberhaupt ist das Nichtleitungsvermögen nicht absolut zu verstehen. Seidene Fäden z. B. leiten die Electricität bei geringer Länge allmählich ab, und wirken erst nicht leitend, wenn sie hinreichend lang sind. Eine vollkommene Nichtleitung ist ausserdem deshalb schwer zu bewerkstelligen, weil die Luft nie so trocken ist, dass sie nicht auf die Dauer ebenfalls die Electricität ableitete.

Wenn ein Körper so aufgehängt oder aufgestellt ist, dass er die empfangene Electricität nicht verliert, so nennt man ihn *isolirt*. Nichtleiter sind demnach stets an und für sich isolirt. Leiter aber müssen mit Nichtleitern umgeben sein, wenn sie isolirt sein sollen; die besten Nichtleiter sind die besten Isolatoren und ihr Isolirungsvermögen ist vornehmlich von ihrer Länge und dem Grade ihrer Trockenheit abhängig.

§ 174. Theilt man zwei Körpern aus derselben Quelle Electricität mit, so *stossen sie einander ab*.



Man hänge an jedes Ende eines mehrere Zoll langen leinenen Fadens eine Markkugel und isolire das Ganze (Fig. 87) mittelst eines längeren Seidenfadens, den man beliebig aufhängt. Berührt man nun diese beiden Kugeln mit einer geriebenen Siegelack- oder Glasstange, so gehen sie sofort auseinander und bleiben in der gespreizten Stellung so lange, bis die Electricität allmählich durch die Luft u. s. w. abgeleitet worden ist. Der Winkel, um welchen sie sich abstoßen, ist um so grösser, je mehr Electricität sie erhalten haben.

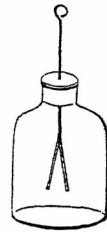
Dasselbe zeigt sich auch bei nicht isolirten Körpern, doch dauert hier, wegen der augenblicklichen Ableitung der Electricität das Abstoßen nur so lange, wie sie unter dem unmittelbaren Einfluss eines electricisirten Körpers sich befinden. Zwei, an ganz leinene Fäden oder an feinen Draht aufgehängte Kugeln gehen

bei der Berührung des Drahtes mit einer electricischen Siegelackstange durch Mittheilung von der Electricität an die Kugeln so lange auseinander, wie die Berührung dauert, nähern sich aber sofort wieder, wenn die Berührung mit der Electricitätsquelle aufhört, ohne dass sie zugleich isolirt werden. Hängt man also zwei Markkugeln mittelst eines nicht isolirten Fadens an eine Siegelackstange oder Glasröhre, so kann man erkennen, ob die Aufhängungsstelle electricisch ist oder nicht.

Electricisirt man zwei Streifen Papier, welche man vorher erwärmt hat, durch Reiben mit einem Stückchen Gummi auf der Tischplatte, so entfernen sie sich beim Aufheben durch die Abstossung der gleichen Electricität an ihren freien Enden.

§ 175. Die gegenseitige Abstossung gleichartig electricisirter Körper gibt ein weit empfindlicheres Mittel, geringe Mengen Electricität zu entdecken, als die blossе Anziehung leichter Körper. Auf derselben beruht die Construction der einfachsten Electrometer oder besser Electroscopе. Um ein solches von hinreichender Feinheit für unsere Versuche zu verfertigen, passe man einer Flasche mit etwas weitem Halse einen Kork ein, durchbohre denselben mit einem ziemlich weiten Loche und fülle dieses zunächst mit einem Stücke Guttapercha aus; durch dieses stecke man alsdann einen erwärmten Eisendraht, an dessen oberes Ende man einen Ring angebogen hat, und an dessen unteres, etwas abgeplattetes Ende man zwei Goldschaumstreifchen anklebt. Sie sind am besten $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll lang und 1 bis 2 Linien breit; an deren Stelle kann man auch ebenso gut Strohhalmе oder Stückchen Binsenmark von gleicher Grösse nehmen. Das Ganze zeigt dann die Gestalt Fig. 84.

Fig. 84.



Vor dem Einstecken des Korkes muss man durch allseitige Berührung des Flaschenhalses mit der Hand die daselbst etwa durch Reibung entwickelte Electricität wegschaffen, weil man sonst vergeblich sich bemühen würde, die Goldblättchen hindurch zu bringen.

Um etwas stärkere Mengen Electricität nachzuweisen, ist es zweckmässig, statt des allzu empfindlichen Goldschaumes etwas schwereres Metall, wie Staniol oder Rauschgold zu nehmen, weil die Goldblättchen leicht zerreißen, wenn man sie ihrer Electricität, etwa durch Herausziehen berauben will. Am besten thut man daher, sich zwei Electroscopе, eins für starke und eins für schwache Electricität herzustellen.

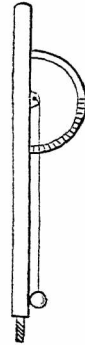
Bringt man nun eine auch nur sehr schwach geriebene Siegelack- oder Glasstange, oder ein damit in Berührung gewesenes, isolirtes Markkugeln mit dem Ringe des Electroscopes in Berührung, so bemerkt man sogleich ein Auseinandergehen desselben, welches so lange anhält, bis die aufgenommene Electricität durch die mangelhafte Isolirung einen Abfluss gefunden oder bis man diesen durch Berührung des Ringes mit der Hand bewirkt hat.

Auf gleichem Principe beruhen alle anderen Electroscopе, welche durch Vervollkommnung der einzelnen Theile empfindlicher als die beschriebene einfache Vorrichtung sind und zum Theil zu einer annähernden *Messung* der Electricitätsmenge dienen können. Bei dem Electroscopе von *Oerstedt* z. B. wird eine feine Metallnadel, welche mit einem schwach *magnetisirten* Bügel an einem Seidenfaden hängt, durch den Magnetismus des Bügels gegen die beiden Enden eines darüber herabreichenden gabelförmigen Drahtes angedrückt und bei der geringsten Menge von diesem mitgetheilte Electricität abgestossen.

Aehnlich der schon früher beschriebenen magnetischen Drehwage ist die electriche Drehwage von *Coulomb*, welche man zu Messungen benutzt. Die an einem feinen Faden aufgehängte Nadel ist hier ein Stäbchen von Schellak, welches an einem Ende eine kleine vergoldete Kugel oder ein Scheibchen von Flittergold, am anderen ein Gegengewicht trägt. Dem ersteren gegenüber befindet sich in dem das Ganze umschliessenden Glaskasten ein metallenes Probescheibchen an einem isolirenden Stäbchen. Theilt man demselben Electricität mit und lässt beide Stäbchen einander berühren, so werden sie sich um so stärker abstossen, je dichter die mitgetheilte Electricität gewesen. Die Grösse der Abstossung misst man durch die Torsion des Drahtes, woran die Probenadel aufgehängt wird und welche man so zu verändern hat, dass sie gerade durch die Ablenkung der Nadel überwunden werden kann.

Ein einfaches Instrumentchen, welches die electriche Kraft viel eher zu *schätzen* als zu messen erlaubt, ist das Electrometer *Henley's* (Fig. 85). Der graduirte Halbkreis besteht aus Elfenbein, der an einem leitenden Stäbchen befestigt ist. Um den Mittelpunkt desselben ist ein leichter Zeiger beweglich, dessen unteres Ende eine Kugel aus Hollundermark trägt, welches sich um so mehr von dem leitenden Stäbchen entfernen muss, je stärker die demselben mitgetheilte Electricitätsmenge ist.

Fig. 85.



§ 176. Bei Anstellung der verschiedenen hier erwähnten Versuche wird man die Erscheinung oft zu beobachten Gelegenheit gehabt haben, dass isolirt oder gar nicht aufgehängte Körper, nachdem sie durch die electriche Siegelstange u. s. w. angezogen worden, von derselben abgestossen werden, so wie sie dieselbe berührt haben. Während nämlich die Wirkung des electricchen auf den nicht electricchen Körper ist, tritt die Abstossung ein, sobald *beide* Körper gleichzeitig electricch geworden sind. Anders verhält es sich mit der aus *verschiedenen* Quellen stammenden Electricität.

Versuch. Man theile einem *isolirt* aufgehängten Kügelchen durch eine geriebene Siegellackstange deren Electricität mit und nähere demselben alsdann eine durch Erwärmen getrocknete und dann stark geriebene Glasstange oder Glasröhre, etwa einen Lampencylinder. Das Kügelchen wird von demselben angezogen, obwohl es mit Electricität beladen ist. Vermeidet man die Berührung des Kügelchens mit dem Glase, so kann man sich auch nachher wiederholt davon überzeugen, dass die Siegellackstange das Kügelchen immer noch abstösst.

Man electricisire von zwei isolirten einzelnen Kügelchen das eine durch Siegellack, das andere durch Glas: sie werden einander anziehen, während sie, aus derselben Quelle electricisirt, wie wir wissen, sich abstossen würden. Ist die Anziehung beider Kugeln derart, dass Berührung stattfindet, so theilen sie die beiderseitig empfangenen Electricitäten einander mit. Ist deren Menge eine genau gleiche gewesen, so erscheinen die Kugeln nach der Berührung unelectricch, war aber die der einen grösser, so bleibt dieselbe zum Theil im Ueberschuss, und die Kugeln stossen einander nunmehr ab. Mittelst einer dritten, durch Glas oder durch Siegellack electricch gemachten Probekugel kann man leicht erkennen, welche von beiden, die Glas- oder die Siegellackelectricität, vorwaltete.

Hiernach ist es klar, dass die Electricitäten, welche durch Glas oder durch Siegellack entwickelt werden, wesentlich verschieden sind, und man bezeichnet sie, weil sie sich, wie entgegengesetzte Grössen aufheben können, durch die Beiworte *positive* und *negative*, oder mit dem Zeichen $+E$ und $-E$, und zwar nennt man die Glaselectricität positiv, die Siegellack- oder Harzelectricität negativ.

Um die Aufhebung der electricischen Wirkung der einen durch die andere genauer zu zeigen, als durch den vorhin angedeuteten Versuch, braucht man nur die Goldschaumblättchen des Electroscoops durch etwas positive Electricität zum Abstossen zu bringen und hierauf das Ende der schwach geriebenen Siegellackstange auf den Ring zu legen und die so mitgetheilte negative Electricität durch Weiterschieben derselben allmählich zu vermehren. Man wird die Abstossung der Blättchen bis auf Null sich vermindern und dann erst wieder bei noch vermehrtem Zutritt der $-E$ wieder auseinander gehen sehen.

Aus dem Gesagten geht das Gesetz hervor: *Gleichartige Electricitäten stossen sich ab, ungleiche ziehen sich an*, und eine bestimmte Menge der einen wird durch eine bestimmte Menge der anderen Electricität aufgehoben oder neutralisirt.

§ 177. Es wird ohne Zweifel bei der Anstellung der bisherigen electricischen Versuche häufig schon aufgefallen sein, dass isolirt aufgehängte Kugeln auch in einiger Entfernung des genäherten electricisirten Körpers aus einander fahren, ehe also noch dessen Electricität sich denselben mittheilen konnte. Wir haben hier eine Erscheinung, welche der *Vertheilung des Magnetismus* im Eisen ohne unmittelbare Berührung eines Magnets entspricht. Diese *Hervorrufung des electricischen Zustandes durch Vertheilung* kann man durch folgenden

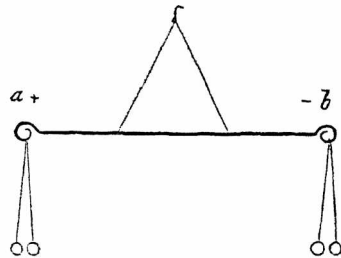
Versuch deutlich machen. Man hänge einen an beiden Enden ringförmig umgebogenen Draht (Fig. 90) an zwei isolirende Fäden auf und verbinde mit seinen Enden je zwei Markkugeln leitend, um daran den electricischen Zustand erkennen zu können. Alsdann nähere man dem einen Ende eine electricische Glasstange. Alsbald zeigen die beiden Kugelpaare einen electricischen Zustand des ganzen Drahtes an, und zwar findet sich bei *b* negative, bei *a* positive Electricität, denn wenn man eine isolirte Probekugel, die positiv electricisch gemacht worden ist, den beiden Paaren nähert, so wird man finden, dass jede Kugel bei *b* angezogen, bei *a* abgestossen wird.

Entfernt man die Glasröhre wieder, so fallen die Kugeln wieder zusammen; es dauert also die electricische Vertheilung nur so lange, wie der electricische Körper in der Nähe befindlich ist; nach seiner Entfernung vereinigen sich die zuvor getrennten Electricitäten und bringen daher wieder den früheren Zustand des Drahtes hervor.

Wiederholt man den Versuch mit einer (negativ electricischen) Siegellackstange, so findet man die gleiche Erscheinung, nur erhält man bei *a* negative, bei *b* positive Electricität.

Wir werden später noch auf die Erscheinungen näher zurückkommen, welche durch die Electricität durch Vertheilung hervorgerufen

Fig. 90.



werden können; für jetzt mögen noch folgende allgemeine Bemerkungen Platz finden.

So ähnlich in dieser Hinsicht die Electricität dem Magnetismus ist, so bestehen doch wesentliche Unterschiede zwischen beiden: der electriche Zustand kann nämlich in allen Körpern hervorgerufen werden, während der Magnetismus auf sehr wenige beschränkt ist; er kann ferner von einem Körper auf andere übertragen und durch viele Körper hindurch fortgeleitet werden; endlich kann man je nach Umständen alle zwei oder auch nur *eine* Art von Electricität hervorrufen, was bei dem Magnetismus nicht der Fall ist.

Jede electriche Anziehung, ja sogar jede Entwicklung von Electricität lässt sich auf eine *Vertheilung* der beiden Electricitäten zurückführen, welche im natürlichen Zustande der Körper vereinigt sind und sich neutralisiren. Wird z. B. ein Markkugelchen von einer Siegelackstange angezogen, so bewirkt diese erst eine Vertheilung der Electricitäten, indem sie die positive nach der ihr zugekehrten Seite zieht, worauf dann eine Anziehung zwischen den ungleich electricisirten Theilen erfolgt u. s. w.

Die Vertheilung wächst mit der Annäherung, und steigert sich bis zu einem bestimmten Grad, welchen man den Grad der *Ladung* nennt. Die Neutralisirung gleicher Mengen ungleichnamiger Electricitäten nennt man *Entladung*.

Wird einem electricch gemachten Körper ein Leiter genähert, welcher mit der Erde in Verbindung steht, so wird, wie wir schon öfter erfahren haben, derselbe *entladen*. Dies ist so zu verstehen, dass der electriche in dem leitenden Körper, etwa der Hand, eine Vertheilung hervorruft und denselben also mit der entsprechenden Menge ungleichnamiger Electricität *ladet*. In dem Momente der Berührung vereinigen sich beide Electricitäten zum neutralen Zustande. Die von dem electricchen Körper nach der anderen Seite abgestossene gleichnamige Electricität wird deshalb nicht bemerklich, weil sie durch den leitenden Körper in den Erdboden abgeführt wird.

Berührt man bei dem Versuche (s. oben Fig. 90), ohne die electriche Stange zu entfernen, das entgegengesetzte Ende a mit dem Finger, so wird man die Kugeln daselbst in demselben Augenblicke zusammenfallen, die Kugeln bei b aber ihren Abstand behalten sehen.

Wenn man zwei ungleichartig electricisirte Körper, die aber die gleiche Menge Electricität besitzen, durch einen Leiter in Verbindung setzt, so beginnt in diesem sofort die Vertheilung von beiden Seiten, welche darin rasch fortschreitet und durch die Vereinigung der so nach beiden Seiten entwickelten Electricitäten mit den vorhandenen die *Entladung* beider electricchen Körper zu Wege bringt. Es befindet sich also die Electricität in diesem Leiter gewissermaassen in einem Zustande der Bewegung, d. h. der Trennung und darauf folgenden Wiederausgleichung. Man sagt daher, es finde darin ein *electriccher Strom* statt, während man den Spannungszustand der Electricität in einem auf die eine oder andere Weise electricisirten Körper als Ruhe betrachten kann. Man unterscheidet hiernach die ruhende (statische) und die sich bewegende (dynamische) Electricität. Wir werden im Folgenden mehrfach Gelegenheit haben, die Unterschiede in der Wirkung beider Electricitäten kennen zu lernen und erfahren, wie man die in Ausgleichung begriffene Electricität durch die eigenthümlichen dadurch hervorgerufenen Erscheinungen erkennen kann.

§ 178. Wenn man einem leitenden isolirten Körper Electricität mittheilt, so verbreitet sich dieselbe *nur auf seiner Oberfläche*. Wenn man

z. B. eine metallene Kugel, die auf irgend eine Weise isolirt werden kann, mit zwei anschliessenden, auch noch so dünnen Metallschalen umgibt, welche man mittelst isolirender Griffe abheben kann, und dann dem *Ganzen* Electricität mittheilt, so findet man, nach Wegnahme der bedeckenden Schalen diese allein electriche, die Kugel aber vollkommen unelectriche.

Wenn man die Kugel ohne die Schalen electricirt und dann diese aufsetzt, so nehmen sie die gesammte Electricitätsmenge auf und man findet diese nachher nur in den Schalen, während auch jetzt die Kugel sich unelectriche zeigt.

Die Schicht der Körper, welche die Electricität an der Oberfläche einnimmt, ist eine ausserordentlich dünne, denn auch bei den dünnsten metallischen Ueberzügen, bleibt sie ganz in diesen, ohne sich der Masse des Körpers im geringsten mitzutheilen. Die Electricität würde sich gar nicht in der Oberfläche der Körper bleibend erhalten können, wenn die Luft dieselbe leitete. Früher glaubte man, dass der Druck der Luft sie zurückhalte, allein im leeren Raume wird sie ebenso wenig abgeleitet. Ist jedoch die Luft durch Wasserdünste leitend, so entweicht die Electricität dem Leitungsvermögen derselben mit entsprechender Schnelligkeit.

Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, dass das Gewicht der Körper durch Electricität nicht verändert wird, weshalb man diese, ehe man sie als *Kraft* erkannte, zu den Imponderabilien oder unwägbaren Flüssigkeiten zählte.

Als Maass für die Electricität kann man diejenige Quantität annehmen, welche, auf eine bestimmte Oberfläche (etwa 1 Quadratcentimeter) vertheilt, in einer bestimmten Entfernung (etwa 1 Centimeter) eine bestimmte Abstossungskraft gegen einen Körper von gleicher Oberfläche und gleicher Electricitätsmenge ausübt. Die Abstossungskraft für andere Electricitätsmengen ist dem Product aus beiden in den auf einander wirkenden Körpern proportional, wenn die Oberfläche dieselbe bliebe. Ist z. B. die Electricitätsmenge m auf einer 5 mal so grossen Oberfläche vertheilt, so ist ihre Dichte und mithin die bewirkte Abstossung nur $\frac{m}{5}$; diesen Quotienten der Electricitätsmenge und der

Oberfläche heisst auch die *Spannung*. Bei gleich bleibender Oberfläche ist die Spannung der Electricitätsmenge proportional. Daher ist bei Körpern von gleicher Oberfläche die anziehende oder abstossende Kraft dem Producte aus der Dichte der beiden Electricitäten proportional.

Ändern sich die Entfernungen zweier gleichartig electriche Körper, so ändert sich auch deren Abstossung und zwar im *umgekehrten Verhältnisse der Quadrate der Entfernungen*, wie wir dies Gesetz bereits mehrfach für anziehende oder abstossende Kräfte kennen gelernt haben.

Alle diese Gesetze sind durch Versuche und zwar namentlich mit der Coulomb'schen Drehwage nachgewiesen worden. Mittelst derselben kann man auch erkennen, dass die Ableitung der Electricität aus isolirten Körpern durch die feuchte Luft der Dichte der Electricität proportional ist, und dass die Natur der Körper darauf keinen Einfluss hat. Dasselbe gilt für den Verlust durch mangelhafte Isolirung.

Die Dichte oder Abstossungskraft der Electricität an der Oberfläche einer feinen Kugel ist überall gleich; bei anders gestalteten Körpern ist dies nicht der Fall. Bei einem Cylinder z. B. ist sie an beiden Enden grösser als in der Mitte und je dünner der Cylinder ist, desto mehr nimmt sie nach der Spitze hin zu. Diese Thatsache, deren Richtigkeit sich so-

wohl durch den Versuch beweisen, als durch mathematische Betrachtungen begründen lässt, ist die Ursache von der starken Ansammlung der Electricität in Spitzen, Ecken und Kanten. Da nun der Electricitätsverlust mit der Dichte der Electricität zunimmt, so folgt, dass sie aus den Spitzen electricisirter Körper sehr rasch in die Luft entweichen muss.

Wir werden später erfahren, welche Anwendung man von dieser Erscheinung macht, einstweilen genüge es, darauf hinzuweisen, dass man bei Körpern, welche mitgetheilte Electricität längere Zeit bewahren sollen, alle Spitzen möglichst zu vermeiden hat.

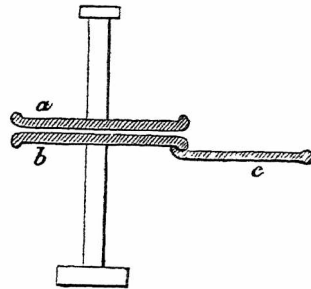
Bei Platten und Scheiben ist hiernach die Spannung und mithin der Verlust der Electricität am Rande grösser als in der Mitte.

§ 179. Um *sehr geringe* Mengen Electricität zu beobachten, bedient man sich bei den Electroscoopen der *Condensatoren*, wodurch auch mittelst sehr kleiner electricischer Spannungen deutliche Abstossungen hervorgebracht werden können. Einen solchen einfachen Condensator, der bei jedem Electroscope angebracht werden kann, zeigt Fig. 91.

Die beiden Platten a und b bestehen aus Messing oder aus geschliffenem Glase, das mit einem leitenden metallischen Ueberzug versehen ist; die Flächen, mit denen sie sich berühren sollen, sind stark gefirnisst, damit nach dem Aufeinanderlegen beide zwar möglichst nahe an einander befindlich, aber doch von einander isolirt sind. Beide Platten sind mit isolirenden Handgriffen, und die untere mit einem in einen Knopf endigenden Draht c verbunden. Die obere Platte heisst der Deckel oder *Collector*, die untere die Basis oder der *Condensator*. Soll nun ein Körper auf seinen electricischen Zustand untersucht werden, so berührt man damit den Deckel und versetzt ihn dadurch in den gleichen Zustand, ohne dass der Basis Electricität mitgetheilt würde.

Der Deckel wirkt aber vertheilend auf die Basis und zieht, wenn er z. B. + electricisch ist, die — Electricität nach der ihm zugekehrten Seite an. Berührt man nun c mit dem Finger, so wird die dorthin zurückgestossene + Electricität abgeleitet. Die in der Basis bleibende — Electricität hält alsdann die in den Deckel aus dem electricischen Körper aufgenommene + Electricität gleichmässig fest und verhindert sie, sich nach dessen Rändern hin auszubreiten und in die Luft auszuströmen; sie concentrirt sich vielmehr an der unteren Fläche des Collectors und macht die Spannung auf der oberen geringer und denselben deshalb geneigt, noch mehr Electricität aus dem zu untersuchenden Körper aufzunehmen, von welcher sich wieder ein Theil an der unteren Fläche anhäuft, um durch neue ersetzt zu werden, bis endlich auf der oberen Fläche die Dichte der Electricität derjenigen des Körpers gleich geworden ist. Je mehr positive Electricität nun der Collector enthält, desto grösser muss auch die im Condensator dadurch aufgehäufte oder gebundene negative sein und zwar ist ihre Menge am grössten an der dem Deckel zugekehrten oberen Fläche desselben; sie hält in der ihm zugekehrten Fläche des Deckels, wie eben nachgewiesen, *grössere* Menge Electricität fest, als der Körper selbst besass. Hebt man nun den Deckel

Fig. 91.



rasch vertical ab, so verbreitet sich die sämmtliche darin enthaltene Electricität gleichmässig darin an beiden Seiten und besitzt auch im Ganzen eine weit grössere Dichte, als die des Körpers, weshalb nun der Deckel deutlich die Electricität an einem Electroscope nachweisen lässt, das sonst gegen den Körper unempfindlich geblieben wäre.

Natürlich kann man auch das Verhältniss umkehren, den Deckel als Condensator betrachten, die Basis direct und leitend auf das Electroscope setzen, den zu untersuchenden Körper mit *c* in Berührung bringen und die abgestossene Electricität durch Berührung von *a* entfernen. Die Wirkung bleibt dann dieselbe, nur sammelt sich die mitgetheilte Electricität in *b* an und wird, so wie man sie sich in der ganzen Basis dadurch vertheilen lässt, dass man den Deckel abhebt, an dem darüber befindlichen Electroscope sichtbar. Feine Electroscopes pflegt man auf diese Weise mit einem Condensator zu versehen.

§ 180. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Electricität sich fortpflanzt, ist eine so grosse, dass sie bisher nur annähernd gemessen werden konnte. Wir werden später die hierzu angewendeten Mittel kennen lernen. *Wheatston* fand sie gleich 62000 deutsche Meilen in 1 Secunde, wenn sie durch einen Kupferdraht strömt. Sie ist demnach grösser, als die des Lichtes im Weltenraum. Andere Versuche haben andere Zahlen ergeben, allein sie wurden unter Umständen angestellt, unter denen die strömende Electricität durch den Einfluss auf ihre Umgebung sich selbst Hindernisse erzeugt. Dabei wurde die Geschwindigkeit im Eisendraht zu 4000 und zu 13500, im Kupferdraht zu 24300 Meilen gefunden.

Die Dicke des Drahtes und die Spannung der Electricität scheinen ohne Einfluss zu sein, wogegen die Natur des Drahtes einen wesentlichen Unterschied bedingt.

Die Electricität entsteht vorzugsweise durch Reibung, durch Vertheilung, durch Berührung, durch chemische und organische Processe, durch Temperaturveränderung, durch Haarröhrchen-Anziehung, durch mechanischen Druck, durch Einwirkung electricischer Ströme und durch den Magnetismus. Wenn auch die Natur der auf diese verschiedene Weise entwickelten Electricität gleich ist, so sind die unmittelbar dadurch veranlassten Erscheinungen meist abweichend, und wir werden diese daher im Folgenden nach dem verschiedenen Ursprung gesondert betrachten.

XVIII. Erscheinungen der Reibungs-Electricität.

§ 181. Wenn man zwei Körper, sie mögen Leiter oder Nichtleiter sein, an einander reibt, so wird stets Electricität entwickelt. Da dieselbe jedoch aus leitenden Körpern bei ihrer Verbindung mit Leitern sofort abgeleitet wird, so muss man, wenn die entwickelte Electricität beobachtet werden soll, die Leiter mit nicht leitenden Körpern umgeben, oder *isoliren*. Nicht leitende Körper behalten dagegen die auf ihnen entwickelte Electricität, wenn sie nicht auf ihrer ganzen Fläche mit ableitenden Körpern umgeben sind und sind daher unter gewöhnlichen Umständen zur Entwickelung der Electricität am geeignetsten.

Immer entwickeln sich bei der Reibung beide Electricitäten zugleich, und zwar die eine in dem geriebenen, die andere im reibenden

Körper. Wo sich die negative (Harz-) und wo sich die positive (Glas-) Electricität befindet, ist von der Natur der aneinander geriebenen Stoffe abhängig.

Man stelle sich ein Paar Electroscope aus isolirt aufgehängten Hollundermarkkugeln dar, welche man von Zeit zu Zeit, das eine mit positiver, das andere mit negativer Electricität ladet; sie sind dann vollkommen zur Untersuchung der durch Reiben verschiedener Körper entwickelten Electricität geeignet. Man wird dann folgende Thatsachen bestätigt finden:

Seide, Papier, Wolle gegen ein Thierfell gerieben, werden negativ, das Fell positiv electricisch. Collodium in dünnen Blättern, am besten in aufgeblasenen Kugeln, wird beim Reiben mit den Fingern sehr stark negativ electricisch; ebenso Gutta-percha, schon beim Durchziehen durch die Finger. Ein Glasstab, den man mehrmals durch eine Weingeistflamme gezogen hat, wird nachher beim Reiben durch ein Tuch nicht positiv, sondern negativ electricisch. Beim Reiben einer matten Glastafel auf einer Platte wird erstere negativ, letztere positiv. Ein seidenes Tuch wird beim Reiben an der Luft, also beim blossen Schwingen oder Schlagen durch die Luft, negativ-electrisch; reibt man zwei seidene Bänder kreuzweise übereinander, so nimmt das eine positive, das andere negative Electricität an. Harz wird mit Metall gerieben positiv, mit Elfenbein oder Wolle negativ. Auch bei *sehr geringen* Reibungen entwickelt sich häufig eine leicht nachweisbare Menge von Electricität, doch sind die dahin gehörigen Versuche nicht mit unseren unsicheren Instrumenten anzustellen. Selbst bei der Reibung von Wassertheilchen an festen Körpern wird Electricität entwickelt. Wenn z. B. Dampf aus einem Dampfkessel ausströmt, so wird die Kesselwand negativ, eine in dem Dampf gehaltene isolirte Metallkugel positiv electricisch, eine Erscheinung, von welcher allein die Reibung der condensirten Wassertheilchen, nicht die Veränderung des Aggregatzustandes die Ursache ist.

§ 182. Um durch Reibung grössere Mengen Electricität zu erzeugen, bedient man sich der *Electricirmaschine*. Die Haupttheile einer solchen sind der Electricitätsreger, welcher aus Glas, Harz, Gutta-percha oder einem anderen Nichtleiter besteht, das Reibzeug und der isolirte Conductor. Die Einrichtung im Einzelnen ist bei den verschiedenen Maschinen abweichend, die Wirkung der Theile aber überall dieselbe, so dass die folgende Beschreibung der von *Winter* in Wien¹⁾ verfertigten Maschine zur Erklärung für alle Fälle dienen wird.

Die Figur 92 (s. d. folg. Seite) zeigt die Maschine in perspectivischer Ansicht. Der Electricitätsentwickler ist eine dicke Glasscheibe A, welche zwischen hölzerne Fassungen geschraubt und mittelst der gläsernen Axe c und der Kurbel i um ihren Mittelpunkt gedreht werden kann. Den zweiten Unterstützungspunkt hat die Scheibe auf der anderen Seite in einem höl-

¹⁾ Für Liebhaber von electricischen Versuchen machen wir darauf aufmerksam, dass man kleinere dieser Maschinen für geringe Kosten erhalten kann. Nach dem Preisverzeichniss von Winter in Wien (s. Frick, physikal. Technik) liefert derselbe Maschinen mit einer Scheibe

von 10 Zoll Durchmesser, die Funken von 4—5" Länge geben, für 30 fl.

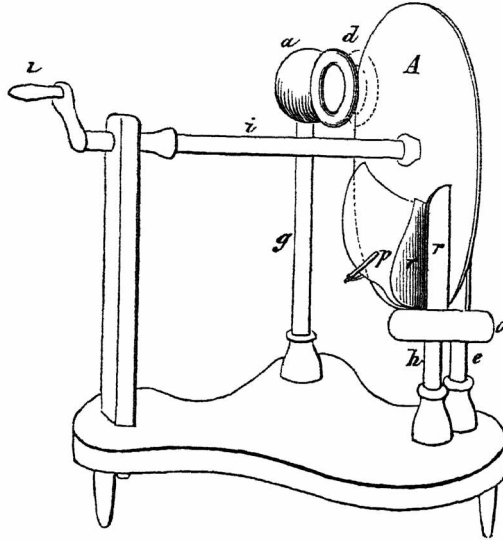
" 8 " " " " " " 3—4" " " " 20 fl.

" 6 " " " " " " 2—3" " " " 12 fl.

Bei weniger eleganter Arbeit sogar $\frac{1}{6}$ billiger. Für gewöhnliche Versuche dürften diese letzteren vollkommen ausreichen. Winter liefert Maschinen bis zu 40" Durchmesser, die Funken von 22—24" geben, für 300 fl.

zernen Knopfe, welcher durch eine gläserne Säule *e* isolirt ist. Das Reibzeug *r* besteht aus Holz, mit Leder überzogen und mit wenig Baumwolle gepolstert. Diese Kissen werden mit *Amalgam* (aus 2 Th. Quecksilber, 1 Th. Zinn und 1 Th. Zink) bestrichen und mittelst einer federnden Holzklammer gegen die Glasscheibe gedrückt.

Fig. 92.



Um diese auf ihrem Wege nach der Reibung bis zur Abgabe der Electricität an den Conductor vor Verlust zu schützen, befinden sich an dem Reibzeuge doppelte Flügel aus Wachstaffet, die durch die Klammer *p* gegen die Scheibe gedrückt werden.

Während der Reibung des Glases gegen das Metall des Reibzeuges entwickelt sich auf der Scheibe $+E$, in dem Reibzeug also $-E$. Um letztere sammeln zu können, befindet sich in metallischer Verbindung mit dem Reibzeug der Reibzeugconductor *o*, welcher, sowie das ganze Reibzeug durch die Glasfüsse *h* isolirt ist. Wenn dagegen, wie es in der Regel der Fall ist, die Electricität der Scheibe aufgesammelt werden soll, so muss die in den Reibkissen sich anhäufende $-E$ abgeführt werden, weil sie sonst eine zu grosse Spannung erlangt, und sich wieder mit der $+E$ auf der Scheibe ausgleichen würde. Dazu dient eine metallene Kette, mittelst welcher man den Conductor *o* mit dem Boden oder mit nicht isolirten metallenen Gegenständen in Verbindung bringt.

Der Conductor *a* wird von der Glassäule *g* getragen und besteht bei dieser Maschine aus einer Kugel von Messingblech. Man gibt demselben sonst meist die Gestalt eines dicken Cylinders mit abgerundeten Enden.

An der von der Scheibe abgekehrten Seite befindet sich noch, durch ein Blechröhrchen damit verbunden, eine kleine Kugel in der grösseren, welche bei mehreren Versuchen bequem ist.

Um die Electricität aus der Scheibe in den Conductor zu bringen, ist an diesem der Saugapparat *d* befestigt, welcher hier aus zwei hölzernen polirten Ringen besteht, welche an der Hälfte ihrer inneren Fläche,

die der Oberfläche der Scheibe zugekehrt ist, eine rinnenförmige Vertiefung besitzen. Diese ist mit Stanniol ausgelegt und enthält ausserdem eine dichte Reihe Stecknadeln, die mit ihren Spitzen nur wenig vorragen, und welche die Electricität aus der dicht vorübergehenden Scheibe aufnehmen und auf dem Conductor übertragen, mit welchen der Stanniolstreifen in leitender Verbindung steht. Zur Erhöhung der Wirkung dieser Maschine ist es zweckmässig, den Conductor durch einen grossen Ring zu vergrössern, welcher aus Holz mit einem Kern von Metalldraht besteht und mittelst eines Stieles in eine Vertiefung des Conductors gesteckt werden kann.

Um die Ableitung der auf der Oberfläche der Glasscheibe erregten Electricität zu verhindern, stellt man die Versuche in möglichst trockener Luft an; sie gelingen am besten im Winter im geheizten Zimmer, in welchem man die Luft selbst durch einzelne Kohlenfeuer noch mehr erwärmt.

Die Electricitätsmenge, welche durch eine gewisse Anzahl Umdrehungen hervorgerufen werden kann, ist nicht allein durch diese Anzahl bedingt, sie erlangt vielmehr nach einer gewissen Zeit ihr Maximum und wird dann durch weiteres Drehen nicht mehr vermehrt. Sie wird bei vollkommener Berührung zwischen Scheibe und Reibkissen durch erhöhten Druck nicht erhöht, ebensowenig durch Vergrösserung in der Breite der Kissen, wohl aber durch Verlängerung nach der Mitte zu. Die Geschwindigkeit der Drehung ist von wesentlichem Einfluss auf die Menge der entwickelten Electricität.

§ 183. Bei der *Hydroelectricirmaschine* ist der reibende Körper Wasser im Zustande der Vertheilung, wie es bei der Condensation des Dampfes sich bildet und der geriebene Holz in Gestalt von Ausströmungsröhren. Der Kessel, in welchem das Wasser zum Sieden erhitzt wird, ist ein gewöhnlicher von Innen heizbarer Dampfkessel, der auf Glasfüssen ruht. Auf dem Kessel befinden sich ausser dem Sicherheitsventil Ausströmungsöffnungen mit Hähnen, an welchen gusseiserne Röhren angeschraubt werden, deren eigenthümlich construirte Mündung den Dampf durch einen engen Schnitt in ein Röhrchen von Holz und aus diesem in die Luft zu gehen zwingt. Der Dampf condensirt sich zum Theil in den Röhren und das gebildete Wasser wird vom Dampfe auf demselben Wege hinausgetrieben, wo es dann durch die starke Reibung die Electricität erzeugt. Die Menge der Electricität ist der Anzahl der Ausströmungsöffnungen entsprechend. Sie ist, wie schon oben angegeben, am Kessel negativ, im Wasserdampf positiv. Man lässt den Dampf gegen einen Conductor strömen, der in ein dem Dampfe zugekehrtes Drahtgitter endigt und verbindet ihn leitend mit der Erde, um die positive Electricität abzuleiten. Natürlich kann man auch den Conductor isoliren und den Kessel mit der Erde leitend verbinden, dann erhält man die Electricität im Conductor gesammelt, im erstern Falle am Kessel selbst.

Um die Verdichtung des Dampfes zu befördern, umgibt man zweckmässig die Ausströmungsröhren mit einem Gefässe mit Wasser, welches von Zeit zu Zeit zu erneuern ist.

Die Menge der durch die Hydroelectricirmaschine gelieferten Electricität ist gegen die der gewöhnlichen Maschinen ausserordentlich gross; allein es geht durch die unregelmässige und unebene Oberfläche und durch den Kamin viel davon verloren, so dass sich diese Maschine nicht zu solchen Versuchen eignet, bei welchen eine sehr hohe Spannung der Electricität erforderlich ist.

Dass aber die Electricität der Reibung und nicht der Veränderung des Aggregatzustandes ihre Entstehung verdankt, erhellt u. A. aus folgenden Thatsachen: Wenn man die Condensation des Wasserdampfes durch Erhitzung der Ausströmungsröhren (was nach längerem Ausströmen ohne geeignete Abkühlung von selbst eintritt) verhindert, so entwickelt sich keine Electricität.

Durch Substitutionen von anderen Substanzen, wie Harz, Wachs oder Terpentinöl an die Stelle des Holzes, erhält man die Electricität in umgekehrter Anordnung, weil der Dampf sich nunmehr an diesen, nicht an dem Holz reibt. Elfenbeinröhren an die Stelle der Holzröhren gebracht, vernichten die Wirkung, obwohl ein in dem Dampf gehaltenes Stück Schellack dann negativ electrisch wird, als wäre es mit Wolle gerieben worden.

§ 184. Zu Versuchen im Kleinen, bei denen es mehr auf eine Sichtbarmachung der wichtigsten Eigenschaften der Electricität, denn auf Hervorbringung von grossen Effecten ankommt, eignet sich als Electricitätsentwickler der *Electrophor* sehr gut.

Derselbe besteht (Fig. 93 und 94) aus einem dünnen Harzkuchen a

Fig. 93.

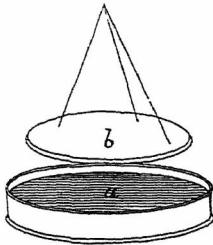
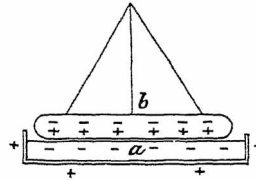


Fig. 94.



von runder Gestalt, der in einen Teller von Eisenblech oder von mit Stanniol überzogenem Holze gegossen ist und einem metallenen Deckel b, der wenig kleiner als der Harzkuchen ist, keine scharfe Kanten oder Spitzen haben darf und mittelst seidener Schnüre oder eines gläsernen Stieles vollkommen isolirt sein muss.

Der Harzkuchen wird durch Schlagen mit einem Fuchsschwanze oder einem Katzenfelle electrisch gemacht und zwar erhält er dadurch negative Electricität.

Legt man alsdann den isolirten Deckel darauf, so wird in demselben die Electricität durch Vertheilung erregt, indem (s. d. Figur) die positive Electricität an der dem Harze zugekehrten Seite festgehalten und die negative nach der oberen Fläche zurückgestossen wird. Wenn der Deckel nun wieder aufgehoben wird, so kehren beide Electricitäten, durch nichts zurückgehalten, wieder in ihren früheren, neutralen Zustand zurück. Berührt man aber vor dem Aufheben die obere Fläche des Deckels mit einem Leiter, so wird die daselbst angesammelte — E abgeleitet und beim Aufheben findet man den ganzen Deckel durch die nunmehr ungehindert sich darauf verbreitende + E der unteren Fläche positiv electrisch.

Da, in Ermangelung einer Electricitätsmaschine, ein Electrophor recht gute Dienste leistet, so empfehlen wir seine Herstellung, um die Erscheinungen der Electricität mit etwas mehr Deutlichkeit als durch Siegelack-

und Glasstange sichtbar zu machen. Die Harzmasse schmilzt man dazu aus 5 Th. Schellack, 1 Th. Terpentin und 1 Th. Wachs zusammen und giesst sie in die mit einem Rande versehene blecherne Form von 10—15“ Durchmesser. Dabei bilden sich stets und zwar besonders an dem Rande Blasen, welche man zweckmässig durch ein darüber gehaltenes erhitztes Eisen zum Platzen bringt, wodurch dann zugleich die entstehenden scharfen Ränder umgeschmolzen werden. Meistentheils bilden sich in dem Harzkuchen nach einiger Zeit Risse nach verschiedenen Richtungen; diese thun, wenn sie nicht überhand nehmen, der Wirkung keinen Eintrag; später ist es gut, durch Darüberlegen einer erhitzten Eisplatte die Fugen zusammenschmelzen, endlich aber wird ein Umschmelzen des ganzen Kuchens erforderlich.

Zum Schlagen oder Reiben kann man beim Kürschner leicht ein Stück Katzenfell erhalten; zur Erlangung deutlicher Wirkungen ist eine vollkommen trockene und stark erwärmte Atmosphäre erforderlich.

Den Deckel lässt man vom Drechsler aus einem etwas dicken, sehr trockenen Brette arbeiten; er darf keine Ecken oder Spitzen haben und wird mit *Stanniol* überzogen. Die Befestigung der Seidenschnüre ist ohne Mühe zu bewerkstelligen; dieselben dürfen nicht, wie es bei etwas dicken Schnüren in der Regel der Fall ist, einen baumwollenen Kern haben, wesshalb man sich hievon vorher überzeugen muss, wenn nicht alle Versuche misslingen sollen.

Man wird nun sehr leicht mittelst einigen Hollundermark-Electroscoopen das oben Erwähnte bestätigen können: dass nämlich der Harzkuchen durch Schlagen negativ electricisch wird, dass der Deckel, während er aufliegt, an seiner oberen Fläche dieselbe Electricität besitzt, dass er, wenn er ohne vorherige Berührung aufgehoben wird, keine Electricität zeigt, dass er aber, wenn man vor dem Aufheben die negative der oberen Seite abgeleitet hat, nachher positiv electricisch ist.

§ 185. Das Erste, was man hiernach beobachten kann, ist das *Überspringen eines Funkens*, wenn man einen abgerundeten Theil eines Leiters, etwa den Fingerknöchel dem geladenen Deckel des Electrophors nähert; dabei empfindet man zugleich ein stechendes Gefühl an dem betreffenden Theile und bemerkt ein knisterndes oder bei grösseren Funken ein knackendes Geräusch. Untersucht man nach dem Überspringen des Funkens den Deckel, so findet man ihn ganz oder doch grösstentheils *entladen*. Es findet also hier ein Uebertritt der Electricität nach dem *entfernteren* Leiter statt, ein Ableiten derselben ohne *unmittelbare* Berührung. Man hat sich diese Erscheinung so zu erklären, dass durch den Einfluss der gespannten Electricität die entgegengesetzte in dem gegenübergehaltenen Leiter angesammelt wird und die gemeinsame Spannung alsdann den Widerstand der nicht leitenden Luft überwindet und durch diese hindurch die Vereinigung zu Stande bringt. Der Funken und die denselben begleitende Erscheinung u. s. w. entsteht also bei der Vereinigung beider Electricitäten. Seine Grösse, d. h. die Entfernung, bei welcher er überspringt, ist abhängig von der Spannung und Menge der Electricität. Es gelingt sogar unter günstigen Umständen kleinere Funken aus stark geriebenem Siegellack hervorzulocken; sie sind jedoch wegen der langsamen Vertheilung der Electricität auf der Oberfläche von Nichtleitern unbedeutend und nur im Dunkeln sichtbar.

Aus den Conductoren guter Electricitätsmaschinen kann man in trockener Luft Funken bis zu 22“ Länge erhalten.

Auch auf andere Weise kann man mittelst des Electrophors einen Funken veranlassen: Wenn man die metallene Schale des Harzkuchens

und die *obere* Fläche des darauf liegenden Deckels durch einen leitenden Körper, also etwa durch die Hand verbindet, so bemerkt man in dem Augenblicke, wo der Leiter auf dem einen dieser Theile liegt und in die Nähe des anderen kommt, einen Funken. Derselbe rührt daher, dass die beim Reiben des Harzkuchens in die untere Fläche zurückgestossene $+ E$ sich mit der $- E$ des Deckels verbindet. Dieser Funke springt erst in kürzerer Entfernung über, als der der vollkommen freien Electricität des hiernach aufgehobenen Deckels, verursacht aber ein empfindlicheres Stechen. Er zeigt sich auch, wenn man zwischen beide Electricitäten einen grösseren Leiter, z. B. den ganzen Körper, einschaltet, indem man mit einer Hand die Form und dann mit der anderen den Deckel berührt.

Wenn man vor dem Aufheben des Deckels diesen nicht plötzlich berührt, sondern seine Oberfläche dem Knöchel allmählich nähert, so springt die daselbst zurückgestossene $- E$ ebenfalls in Gestalt eines Funkens über; legt man aber die ganze Hand auf, so erfolgt die Vereinigung der Electricitäten mit zu geringer Spannung und auf eine zu grosse Oberfläche, als dass ein Funken entstehen könnte.

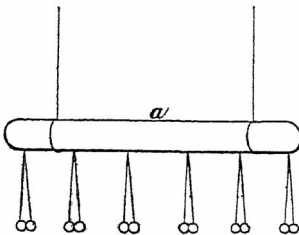
Da sich die Erscheinungen der Electricität mittelst des Electrophors allein nicht wohl deutlich machen lassen, wenn dieselbe nicht durch Vermittlung der Vertheilung verstärkt worden ist, so wollen wir, ehe wir die übrigen Wirkungen beobachten, diese noch näher erörtern, und die Apparate angeben, mit deren Hülfe eine Vermehrung der electricischen Spannung hervorgerufen werden kann.

XIX. Electricität durch Vertheilung.

§ 186. Wir haben schon mehrfach von der Vertheilung der Electricität in leitenden Körpern, die unter dem Einfluss electricischer Stoffe stehen, gesprochen; der Electrophor beruht selbst auf der Vertheilung; deutlicher kann man ihre Wirkung durch folgenden

Versuch zeigen. An einem Cylinder aus Metall oder aus irgend einem mit Stanniol überzogenen Stoffe *a* (Fig. 95), den man mittelst

Fig. 95.



seidener Schnüre isolirt aufgehängt hat, befestige man leitend mehrere Paare Markkugeln. Wenn man diesem Apparate einen electricischen Körper nähert, also z. B. den vorher berührten Deckel des Electrophors, so bemerkt man, dass die Markkugeln allmählich weiter auseinander gehen und zwar in ungleicher Weise: Die Paare, welche an den Enden aufgehängt sind, zeigen die grösste Abstossung, während diese in der Mitte Nullist. Untersucht man nun mit einer electricisirten und isolirten Markkugel die Electricitäten an beiden Enden, so findet

man hier an dem dem Electrophordeckel zugekehrten die $- E$, an anderen die $+ E$. Entfernt man den Deckel wieder, so tritt wieder alles in den früheren Zustand zurück und dieser zeigt keinen Verlust an Elec-

tricität. Berührt man aber während der Nähe des Deckels den isolirten Conductor an der von demselben abgewendeten Seite mit dem Finger, so wird die + E abgeleitet und nach Entfernung des Deckels findet man in dem ganzen Metallkörper gleichmässig vertheilt die — E. Es ist derselbe also durch *Vertheilung* oder *Influenz* electricirt worden. Auf diese Weise kann man mehrere isolirte Leiter hintereinander und getrennt aufstellen, und mittelst eines einzigen electricischen Körpers einen durch den Einfluss des anderen bis zum entferntesten hin electricisch machen. Diese Art der Vertheilung auf grössere Entfernungen kann eine Vorstellung von der Vertheilung der Electricität in grösseren Körpern geben; sie wird nicht verhindert durch Dazwischentreten eines leitenden oder isolirenden Körpers, kann aber durch die Influenzierung dieses letzteren unter Umständen vermehrt oder vermindert werden, wobei Vieles von der Natur und Gestalt des Zwischenkörpers abhängt.

Befindet sich ein leitender Körper in der Nähe eines stark electricischen, so ist er, so lange dessen electricischer Zustand dauert, durch Vertheilung electricirt. Wenn nun jener plötzlich entladen wird, so findet eine Ausgleichung der getrennten Electricitäten statt, indem die Ursache der Vertheilung aufhört. Die Wirkung dieses sogenannten *Rückschlages* empfindet man in der Nähe starker Conductoren einer Electricirmaschine, wenn dieselben plötzlich entladen werden. Während der Vertheilung war die eine der im Körper vertheilten Electricitäten in den Boden abgeleitet worden und strömt alsdann nach dem Aufhören der Influenz zur Wiedervereinigung mit der im Körper zurückgehaltenen zurück und verursacht durch diese Vereinigung den Rückschlag.

Versuch. Man überziehe eine Glasplatte auf beiden Seiten so mit Stanniol, dass rings eine Breite von zwei Zoll frei bleibt und klebe auf den Stanniol zwei leinene Fäden mit Markkugeln. Das Ganze stellt man in der Spalte eines Brettchens aufrecht (Fig 96). Den Rand der Scheibe bestreicht man zur sichereren Isolirung wiederholt mit einer Auflösung von Siegellack oder Schellack in Weingeist.



Man theile nun z. B. der Fläche b mittelst des Electrophors Electricität mit; diese wird auf der anderen Fläche a die entgegengesetzte anziehen und, wenn man a mit dem Boden durch Berührung in Verbindung setzt, die gleichnamige in diesen zurückstossen. Dann sind die beiden Electricitäten auf beiden Seiten der Tafel durch ihre gegenseitige Anziehung gebunden, gerade so, wie bei dem Condensator (§ 179) und man kann die Seite b nach und nach immer stärker laden, wenn die Seite a mit dem Boden jedesmal in Verbindung gesetzt wird. Das Kugelnchen d bleibt während dieser Zeit dicht am Stanniol, weil die Electricität bei a ganz durch die bei b gebunden ist. Bei b aber befindet sich ein kleiner Ueberschuss, was man daran erkennt, dass f abgestossen wird. Wenn man die Verbindung mit a mit Erde aufhebt, so kann man durch Berührung von b diesen Ueberschuss wegnehmen, zugleich aber wird etwas mehr als der Ueberschuss entfernt und es bleibt der Rest durch einen kleinen Ueberschuss bei a gebunden, in Folge dessen d abgestossen wird. Diesen kann man dann wieder ableiten, worauf d fällt und f wieder steigt, was so lange dauert, bis man durch abwechselnde Ableitung des Ueberschusses der einen und der anderen Seite die sämmtliche Electricität abgeleitet, d. h. die Tafel entladen hat.

Eine andere Entladungsart besteht in der Vereinigung beider Electricitäten, wenn man eine leitende Verbindung zwischen beiden Seiten

der Tafel herstellt. Dies geschieht entweder, indem man mit jeder Hand eine berührt, oder indem man einen gebogenen, nicht zu dünnen Draht mit einem Ende erst an die eine, dann, ohne ihn abzunehmen, mit dem anderen Ende an die andere Seite legt. Es springt dann mit starkem Knacken ein helleuchtender Funken über, der zwar an Intensität der Summe aller der einen Seite der Tafel mitgetheilten Electricität entspricht, aber doch erst in geringerer Entfernung entsteht, als dieser Dichte zu entsprechen scheint, welcher Umstand daher rührt, dass die Electricität an jeder Seite durch die an der anderen gebunden ist und daher nicht so leicht nach der entgegengesetzten Seite ein Hinderniss überwinden kann.

§ 187. Man nennt diese zur Erläuterung der electricischen Vertheilung dienende Tafel die *Franklin'sche*. Eine andere Gestalt desselben Apparates ist die *Kleist'sche* oder *Leydner Flasche*, auch bloss *Verstärkungsflasche* genannt, welche sich in der That von der Tafel nur durch die zweckmässigere Form unterscheidet. Man stelle sie sich zur Ausführung einiger weiteren Versuche her:

Fig. 97.



Eine Flasche (Fig. 97) mit etwas weitem Halse wird an der Aussenfläche bis etwa 3 Zoll unterhalb der Mündung mit Stanniol beklebt, dann im Innern ebenso hoch mit reiner metallischer Eisen- oder Messingfeile gefüllt, und in diese ein etwas dicker Eisendraht gesteckt, der oben in einen Knopf endigt oder in Gestalt eines Ringes umgebogen ist.

Die Fläche des im Innern an der Flasche anliegenden Metallpulvers stellt hier die eine, die äussere Stanniolfläche die andere Seite der Glastafel dar; zweckmässig ist es auch hier, den oberen, beide isolirenden Rand der Flasche mit einem Firniss zu überziehen, so wie man die Mündung derselben mit einem in Siegellack oder Harz getränkten und durchbrochenen Kork verschliesst, um das Anschlagen des Drahtes zu verhindern.

Grössere Flaschen pflegt man nicht mit Metallpulver zu füllen, sondern im Innern ebenfalls mit Stanniol bis zu gleicher Höhe wie an der äusseren Fläche zu belegen. Dazu müssen die Flaschen eine sehr breite Oeffnung haben und der Knopf in den Deckel desselben eingesetzt und mittelst einer Kette mit dem inneren Belege verbunden sein.

Man ladet die Leydner Flasche entweder, indem man in den Knopf die Funken des Electrophors oder der Electricirmaschine schlagen lässt, wobei der äussere Beleg durch Aufstellen der Flasche auf einen nicht isolirten Körper mit der Erde in Verbindung bleibt, oder umgekehrt von aussen, indem die Flasche durch einen gläsernen Untersatz isolirt, den inneren Beleg durch den Knopf in leitende Verbindung mit der Erde bringt, und den äusseren Beleg mit Electricität versieht. Wo in diesen beiden Fällen die positive, wo die negative und wo Anfangs der Ueberschuss an Electricität zu suchen ist, ist leicht zu erkennen. Die Entladung erfolgt, entweder durch abwechselnde Berührung der einen und der anderen Seite oder durch leitende Verbindung des Knopfes und der Bekleidung, wobei natürlich in dem Fall der Nichtisolirung der ganzen Flasche, also der *Ladung von innen* der Beleg zuerst und dann der Draht zu berühren ist. Geschieht dies mit der Hand, so erhält man einen je nach der zugeführten Electricitätsmenge schwächeren oder stärkeren *Schlag*, eine Erschütterung, welche durch die Vereinigung beider Electricitäten durch den Körper hindurch veranlasst wird. Man fühlt sie bei schwacher Ladung bis zum Handgelenk, bei stärkerer bis in den Arm

oder in die Brust; bei sehr starker mittelst grosser Flaschen und guter Maschinen erhaltenen Schlägen kann die Entladung nachtheilige Wirkungen auf die Gesundheit äussern. Um den Funken zu sehen, welcher nach hinreichender Ladung mit blendendem Glanze überspringt, kann man wie bei der Tafel einen starken in Ringe sich endigenden Draht, der zweckmässig gebogen ist, anwenden; wenn die Tension der Electricität nicht zu stark gegen die Dicke des Drahtes ist, so folgt sie dem besten Leiter, dem Metalle, ohne dass die berührende Hand einen Schlag mit erhalte.

Auch durch sehr lange Leitungen hindurch findet die Entladung statt; wenn mehrere Personen durch Berührung der Hände eine Kette bilden und von den beiden äussersten die eine die äussere Belegung, dann die andere den Knopf berührt, so fühlen Alle gleichzeitig die Entladung als Erschütterung in den Handgelenken.

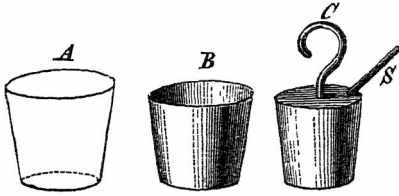
Da an derjenigen Seite der Flasche, welche die Ladung empfängt, in der Regel also an der inneren, ein Ueberschuss von Electricität entsteht, so bleibt nach der Entladung hier noch etwas davon zurück, welche dann wieder eine entsprechende Menge der entgegengesetzten Electricität an der gegenüberstehenden Fläche (aus der Erde her) bindet. Berührt man demnach nach der Entladung der Flasche den Knopf und den Beleg nochmals, so erhält man einen zweiten, schwächeren Funken und Schlag, herrührend von der Entladung dieses Restes von Electricität.

Eine Leydner Flasche kann nicht unbegrenzt Electricität aufnehmen, sondern sie erhält ihr Maximum von Ladung dann, wenn der freibleibende Ueberschuss an Electricität in der geladenen Fläche derjenigen an der freien, ladenden Fläche des Conductors oder Electrophordeckels gleich geworden ist. Nicht selten geschieht es, wenn man stärkere Spannungen in der Flasche hervorbringen will, dass die Ausgleichung der Electricitäten beider Flächen stattfindet, indem ein Funken von der einen zur anderen über die isolirende Zwischenschichte überspringt, oder auch, indem der Widerstand des Glases durch Durchbrechen desselben überwunden wird. Es ist daher gut, wenn das Glas der Flasche nicht zu dünn und der Hals nicht zu eng, also der Draht nicht zu nahe am Rande befindlich ist.

Um besonders heftige Wirkungen mittelst der Electricität auszuüben, wendet man electricische *Batterien* an, d. h. Zusammenstellungen von mehreren Leydner Flaschen, deren innere und äussere Belege unter sich alle verbunden sind. Ersteres bewirkt man durch Verbindung der Knöpfe durch Metallstäbe, letzteres, indem man alle Flaschen in einen mit Stanniol ausgelegten Kasten stellt, dessen innere Fläche dann aber mit der Erde in leitende Verbindung gebracht werden muss. Die Kraft einer solchen Batterie wächst mit der belegten Oberfläche, indessen ist es schwer, sie mit einer so schwachen Electricitätsquelle, wie mit einem Electrophor, zu laden, indem der Verlust durch Ableitung zu störend wirkt.

§ 188. Wenn man die Leydner Flasche oder die Franklin'sche Tafel so einrichtet, dass sich beide Belege vom Glase entfernen lassen, so kann man sich leicht überzeugen, dass die Electricität an der Glasfläche, nicht am Belege haftet. Wenn z. B. das Glas die Gestalt Fig. 98 A (s. d. folg. Seite) hat, so ist es leicht, den inneren Beleg durch einen passend geschnittenen Kork, der ganz mit Stanniol überzogen ist, den äusseren durch eine entsprechende Hülle herzustellen und dann nach dem Laden der Flasche den inneren Beleg durch das Glasstäbchen S herauszunehmen und auch A aus seiner Hülle B zu lösen und isolirt aufzustellen. Bringt man nun B und C mit einander in Berührung, so müsste, wenn diese Körper

Fig. 98.



die Ladung enthielten, Entladungserfolgen. Statt dessen findet man aber, dass der Apparat, nachdem B und C berührt und dann wieder an ihre Stelle gebracht worden, fast seine ganze vorige Ladung wieder hat. Demnach dienen die Belege nur zum Leiten der Electricität, welche an der Oberfläche des Glases bleibt.

Isolirt man eine Flasche, so kann man sie nicht laden; nähert man aber dann dem äusseren Belege einen Leiter in zweckmässiger Entfernung, so springt zwischen diesem und dem Belege bei jedem Funken, der in den Knopf geht, ebenfalls ein Funken über, der von der Vereinigung der zurückgestossenen Electricität des Beleges mit der von derselben herbeigezogenen des Leiters herrührt.

Das Licht des Funkens der Leydner Flasche ist kurz und geradliegend, wenn sie durch metallische Schliessungsbogen entladen wird, folglich die Entladung in kurzer Zeit geschieht; der Knall ist besonders stark, wenn der Entlader sich in einen Bleidraht endigt. Bei grossen Widerständen in der Leitung ist die Farbe des Funkens eine andere und der Knall geringer.

Entladet man eine Flasche durch eine Kette von feinem Draht, deren Glieder Spitzen haben, so sieht man im Dunkeln an jeder Spitze einen Lichtbüschel. Diese sind die Wirkung einer Seitenentladung, welche durch den Ueberschuss der Ladungselectricität hervorgebracht wird.

Setzt man die äusseren Belegungen einer geladenen und einer ungeladenen Flasche in Verbindung und verbindet man alsdann auch die inneren Belege leitend, so sind beim Trennen der beiden Flaschen dieselben in gleichem Sinne geladen. Dies ist durch zwei Ströme zwischen den Belegen hervorgebracht worden, welche man *Ladungsströme* nennt.

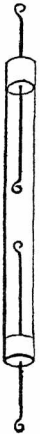
§ 189. Zur Erläuterung der Eigenschaften der electricischen Entladungen können mittelst des Electrophors und der Leydner Flasche ausser den bereits beschriebenen noch folgende *Versuche* angestellt werden.

Man beobachte die Entfernung, in welcher man mittelst des gewöhnlichen Ausladers den Funken der Leydner Flasche erhalten kann, und nehme statt dessen einen, an dieser Seite in eine Spitze ausgehenden Draht. Wenn man diesen, nachdem er mit dem anderen Ende an die äussere Belegung der Flasche angedrückt ist, dem Knopf gegenüber hält, so bemerkt man, dass der Funken entweder nur in weit geringerer Entfernung oder gar nicht überspringt, dass vielmehr schon aus grösserer Entfernung eine Ausgleichung der Electricitäten stattfindet, indem aus der Spitze Strahlen ausfliessen, die im Dunkeln leicht bemerkt werden. Bringt man an den Knopf ebenfalls eine Metallspitze an, so ist die Erscheinung noch auffallender. Auch mittelst des Electrophors allein kann man sich von diesem Ausflusse der Electricität aus der Spitze, in Folge der daselbst erlangten starken Spannung der Electricität überzeugen. Man braucht nur auf den Deckel einige Nadeln so zu legen, dass ihre Spitzen vorragen und man wird gar keinen Funken erhalten können, im Dunkeln aber die Electricität aus denselben strahlenförmig ausströmen sehen. Auch wenn man den geladenen Deckel in einige Entfernung über leitende Spitzen hält, sieht man aus denselben im Dunkeln büschelförmige Strahlen ausströmen und findet dann den Deckel entladen.

Man lege ein Kartenblatt an die äussere Belegung der Flasche, hält das eine Ende des Ausladers daran und nähere das andere dem Knopfe der Flasche; nach dem Ueberspringen des Funkens findet man das Kartenblatt durchbohrt und zwar mit nach *beiden Seiten* aufgeworfenen Rändern, zum Beweise, dass der Funken nicht eine Bewegung nach einer Seite, sondern eine gleichzeitige nach beiden Seiten gerichtete ist. Mittelst stärkerer Ladungen und unter Anwendung von mancherlei Maassregeln zu vollkommener Isolirung beider Belege u. s. w. kann man auch Glasplatten durchbohren; man findet dann in denselben in der Regel ein einfaches feines Loch.

Wenn der electricische Funken durch Wasser hindurch schlägt, so wird dasselbe so ausgedehnt, dass das Glasgefäss, in dem es eingeschlossen ist, springt. Man construirt zu diesem Experimente, das übrigens nur mit einer stark geladenen Flasche gelingt, eine Glasröhre mit zwei gut schliessenden Stöpseln, durch welche Messingdrähte mit Haken an beiden Enden führen (Fig. 99) und füllt dieselbe vor dem Einsetzen des letzten Pfropfes ganz mit Wasser. Die Drahtringe im Innern behalten einen Abstand von 2—3 Linien und werden aussen mittelst einer Kette mit ganz runden Gliedern oder mittelst eines dicken Drahtes erst mit dem äusseren Beleg und dann mittelst des Ausladers mit dem Knopfe der Flasche verbunden. Ist die Ladung stark genug und schliessen die Korke fest in die Röhre, so wird beim Ueberspringen des Funkens die Glasröhre zersprengt, weshalb es gut ist, das Gesicht etwas entfernt zu halten.

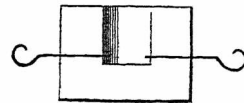
Fig. 99.



Um die *Hitze* zu zeigen, welche durch den electricischen Funken entwickelt wird, kann man mittelst desselben Schiesspulver oder, wenn man nur eine geringe Ladung bewirken kann, noch leichter Schiessbaumwolle entzünden; letzteres gelingt in allen Fällen, nur muss die Entladung durch einen in die Entladungskette eingeschalteten schlechteren Leiter etwas verlangsamt werden. Man bohrt zu diesem Versuche in ein Klötzchen ein Loch von etwa $\frac{1}{2}$ —1 Zoll Weite und eben solcher Tiefe und steckt durch zwei Seitenlöcher zwei passende und an den Spitzen rund gefeilte Messingdrähte, die aussen mit Haken versehen sind, so hinein, (Fig. 100) dass sie etwa

2 Linien Abstand erhalten. An *einen* der Drähte bindet man einen 3—5 Zoll langen, gut durchnässten Bindfaden und erst an diesen Draht oder die Kette, welche zum äusseren Beleg der Flasche führt. In das Loch schüttet man lose etwas Pulver oder steckt etwas Schiessbaumwolle hinein, worauf man einen Korkpfropf lose aber dicht darauf setzen kann. Beim Verbinden des anderen Drahtes mit dem Knopf der Flasche erfolgt die Entzündung, obwohl man den Versuch, je nach der Natur des zu entzündenden Stoffes bisweilen wiederholen muss.

Fig. 100.



Die Ausbreitung der Electricität über einen schlechten Leiter kann man leicht in den sogen. *Lichtenberg'schen* Figuren sichtbar machen, und dabei auch den Unterschied der beiden Electricitäten erkennen. Zu dem Ende schmelze man auf einer schwach erhitzten Platte von Eisenblech etwas Colophonium, so dass es darauf eine Schichte von etwa $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ Linie bildet, lade dann die Flasche wie gewöhnlich, fasse den äusseren Beleg mit der Hand und berühre mit dem Knopf die erkaltete Oberfläche der

Platte. Es wird ein Funken von positiver Electricität überspringen. Streut man nun aus einem Beutelchen von feinem Zeuge etwas Bärlappsamem über die Fläche, so ordnet sich derselbe nach einer unregelmässig strahlenförmigen Figur an, die auch erscheint, wenn man den Staub wegwischt und neuen darauf beutelt.

Um die negative Figur zu erhalten, braucht man nur die (durch Aufstellen auf ein Trinkglas) isolirte Flasche von aussen zu laden (wobei der Knopf anzufassen ist) und dann genau wie vorhin zu verfahren. Natürlich muss man dazu eine frische Platte nehmen oder wenigstens die alte durch Umschmelzen erneuern. Die nach dem Aufbeuteln von Bärlappsamem erscheinende Figur besteht aus rundlichen, zu Kreisen vereinigten Gruppen. Auch kann man mit dem Knopfe verschiedene Linien auf der Platte beschreiben, wodurch dann entsprechend abgerundete Zeichnungen erscheinen. Will man den Versuch nach längerer Zeit wiederholen, so ist es gut, die Oberfläche der Platte durch Umschmelzen zu erneuern.

Legt man auf ein Stativ eine Münze, hierauf ein Stück reines Fensterglas und auf dieses wieder eine Münze, so erhält man eine Art Franklin'sche Tafel, wovon die beiden Münzen die Belege bilden. Von der unteren Münze legt man einen Draht bis nahe an die obere, so dass, wenn man das Ganze unter den Conductor der Maschine bringt, beim Laden desselben Funken von einer Münze zur anderen überspringen, in dem sich der Apparat, wegen der durch den Draht nur theilweisen Isolirung, selbst entladet. Wenn man nun nach einigen hundert Entladungen den Apparat auseinander nimmt und die Glasplatte behaucht, so erscheinen darauf die Gepräge beider Münzen. Selbst nach öfterem Abwischen und nach vielen Monaten ist die Zeichnung noch deutlich zu erkennen.

Die Bewegung, wie dieselbe durch electricische Anziehung und darauf folgende Abstossung hervorgebracht wird, kann man mittelst der Scheibe des Electrophors, wenn auch nur auf kürzere Zeit, zeigen. Man lege auf den Tisch eine Metallplatte oder ein Stanniolblatt, etwa von der Grösse des Electrophordeckels und darauf eine Anzahl leichter Körper, wozu sich Hollundermarkkugeln sehr gut eignen. Bringt man dann den electricisirten Deckel des Electrophors in passender Entfernung darüber, so werden durch die Electricität die Kugeln angezogen, dann, nachdem sie die gleichnamige erhalten, wieder abgestossen, wenn sie dieselbe wieder durch die Leitung an die Erde abgegeben haben, wieder angezogen u. s. w., bis der Deckel vollständig entladen ist. Stellt man einen Metalldraht mit daran hängenden Hollundermarkkugeln auf den Deckel, so kann man an der Abnahme von dessen Abstossung die Abnahme der Electricität des Deckels beobachten. Durch das abwechselnde Auf- und Niedergehen der Kugeln entsteht eine recht artige tanzende Bewegung derselben.

§ 190. Endlich möge hier die Beschreibung der Wirkungen der Electricität folgen, wie sie sich bei grösserer Spannung derselben zu äussern pflegt und wie man sie daher nur mittelst stärkerer Erregungsapparate nachweisen kann.

Wird ein Mensch mittelst eines mit Glasfüssen versehenen Schemels isolirt, und berührt er alsdann den Conductor der Maschine, (wobei natürlich *kein* Funken überspringt) so kann man aus demselben, wie aus jedem anderen Conductor, an allen Theilen des Körpers Funken ziehen; derselbe kann dies seinerseits auch aus jedem anderen nicht isolirten Körper. Bei starker Electricisirung sträuben sich seine Haare durch das Ausströmen der Electricität. Wenn es nicht geschieht, kann

dies leicht dadurch hervorgerufen werden, dass man einen Leiter, etwa die flache Hand, über den Kopf der isolirten Person hält.

Lässt man die Electricität aus einer Spitze heftig ausströmen, so zeigt ein in die Nähe gehaltenes Licht den dadurch bewirkten Luftzug an und wenn man den zugespitzten Körper um eine Axe beweglich macht, so wird durch das Ausströmen eine Drehung um dieselbe bewirkt (electricisches Flugrad). Das electricische Glockenspiel, der electricische Regen und mehrere andere Spielereien sind ebenfalls leicht zu erklären.

Verbindet man zwei mit destillirtem Wasser gefüllte Gläser durch einen nassen Seidenfaden mit einander und setzt man das eine Glas durch einen Draht mit dem Dampfkessel einer sehr starken Hydroelectricirmaschine, das andere mit dem Conductor in Verbindung, so steigt das Wasser in dem ersten Glase. Zieht man den Faden allmählich in das andere nahe stehende Glas hinab, so bildet sich zwischen beiden eine kleine Wassersäule, indem im Innern des Fadens Wasser vom negativen zum positiven, an der Oberfläche vom positiven zum negativen Glase strömt.

Die Schlagweite des electricischen Funkens ist in verschiedenen Gassen von verschiedener Grösse; in der Luft ist sie unter sonst gleichen Umständen nicht von dem Druck, sondern von der Dichte abhängig. Bei grösserer Schlagweite zeigen die Funken eine gebrochene Gestalt, welche noch nicht hinreichend erklärt ist.

Die Farbe des Funkens ist von der Natur des Körpers und dem Drucke des Gases, durch welches er geht, abhängig; unter Umständen zeigt er alle Farben des Regenbogens gleichzeitig. Lässt man den Funken durch ein Ei schlagen, so erscheint dasselbe leuchtend. In verdichteter Luft ist das Licht weiss und glänzend, in verdünnter röthlich und violett. Macht man ein ellipsoidisches Gefäss luftleer, und lässt man dann zwischen den beiden Knöpfen, welche darin einander gegenüber befindlich sind, starke Ladungen überschlagen, so erscheinen in dem Gefässe prachtvolle rothe oder violette Strahlenbüschel.

Klebt man auf eine Glastafel Reihen von kleinen Stanniolstückchen, welche sich mit ihren spitzen Enden nicht berühren und lässt dann einen Funken darüber schlagen, indem man dieses Glas an einen Leiter bringt, der dem Conductor der Maschine gegenüber steht, so erscheint die ganze Figur durch die gleichzeitig überschlagenden zahlreichen Funken hell leuchtend. Verbindet man einen Conductor mit einem anderen durch einen langen dünnen Draht, so erscheint dieser beim Ueberschlagen von Funken leuchtend mit senkrecht entweichenden Strahlen.

Beim Ausströmen aus einer Spitze zeigen die positive und die negative Electricität nicht gleiche Erscheinung; erstere bildet einen Büschel, letztere ein mehr zusammengezogenes Licht.

Eine schöne Erscheinung bietet eine lange Glasröhre dar, welche an den Enden mit Messingplatten verschlossen und luftleer gemacht worden ist, wenn man dann das electricische Licht zwischen zwei an den Schlussplatten befindlichen Spitzen hervorbringt. Es bildet sich ein Lichtstrom durch die ganze Röhre, mit einer gegen die positive Spitze gerichteten Verästelung.

Dass durch Electricitätsausgleich Wärme entwickelt wird, haben wir schon bei der Entzündung des Pulvers erfahren; unter geeigneten Umständen kann man durch einen einfachen Funken Aether, Phosphor und Harzstaub entzünden; Knallgas wird in der *electricischen Pistole*, Pulver im sogen. Donnerhaus zur Explosion gebracht. Das Eudiometer von *Volta* beruht auf dieser Entzündung brennbarer Gasgemische; früher

bediente man sich des Funkens eines Electrophors zur Entzündung des Wasserstoffes der Zündmaschinen.

Schliesst man einen dünnen Draht, durch welchen die Entladung stattfindet, in ein Luftthermometer ein, so kann man die Menge der freigewordenen Wärme an der Ausdehnung der Luft erkennen. Die Zuströmung der mit Wasser gefüllten Entladungsröhre (§ 189) beruht ebenfalls auf dieser Wärmeerregung.

Leitet man die Entladung eines starken Schlages durch einen sehr dünnen Eisendraht, so kommt dieser zum Glühen und sogar zum glänzenden Verbrennen. Platindraht wird bei sehr starken Schlägen mit heftigem Knall in Dampf verwandelt. Leitet man den Schlag durch einen Streifen Blattgold, der sich zwischen zwei Glasplatten befindet, so wird das Gold in's Glas eingeschmolzen.

Bei jeder Entladung der Electricität wird der Sauerstoff der Luft in den eigenthümlichen activen Zustand versetzt, in welchem er den Namen Ozon erhalten hat und der durch einen eigenthümlichen Geruch kenntlich ist. Derselbe Geruch zeigt sich nicht selten im Freien nach heftigen Gewittern.

Ausser den bereits angeführten äussert der electricische Funke noch andere chemische Wirkungen: so verbinden sich Stickstoff und Sauerstoff nach oft wiederholten Entladungen zu Salpetersäure u. s. w. Indessen sind die chemischen Wirkungen der Reibungselectricität weit geringer als die der Contactelectricität oder der electricischen Ströme, wahrscheinlich, weil es zu schwer hält, mittelst ersterer continuirliche Strömungen zu erhalten, ihre Ausgleichung vielmehr durch plötzliche Entladung erfolgt.

Manche leicht phosphorescirende Körper, wie Zink, Flussspath u. a. leuchten im Dunkeln, wenn man vorher einen electricischen Schlag über sie geleitet hat.

Wenn man durch einen Draht, welcher um einen freien offenen Raum viele isolirte Windungen beschreibt, electricische Schläge sich entladen lässt, so gelingt es selten, auf eine in jenem Raum frei aufgehängten Magnetnadel eine Wirkung hervorzubringen; wenn man aber eine Zwischenleitung an beiden Enden einschaltet, welche die Entladung verlangsamt, so wird die Nadel von ihrer Richtung *abgelenkt*. Zu dieser Zwischenleitung eignen sich z. B. zwei mit reinem Wasser gefüllte Röhren; alsdann aber kann man schon mit sehr geringer Ladung diese Wirkung hervorbringen.

Stahl kann in ähnlicher Weise dauernd magnetisch gemacht werden.

Mittelst einer electricischen Entladung kann man auch in einem in der Nähe befindlichen, nicht ganz geschlossenen Leiter eine untergeordnete Entladung hervorrufen — *induciren*. Man bringt zu diesem Ende auf einem Brettchen eine Drahtspirale an, welche man zweckmässig mit Harz isolirt; die beiden Endé der Spirale ragen frei nach aussen vor. Darauf legt man eine Glasplatte und über diese ein zweites Brettchen mit ganz gleicher Drahtspirale, die möglichst genau auf die erste passen muss. Die beiden Enden des zweiten Drahtes befestigt man in sehr geringer Entfernung von einander. Alsdann entladet man durch den ersten Draht eine Leydner Flasche: bei jeder Entladung sieht man auch zwischen den Enden des anderen Drahtes Funken überspringen.

§ 191. Die Untersuchungen *Weathstones*, von denen schon oben gesprochen wurde, sind so angestellt worden, dass man die Art der Reflexion mehrerer in demselben Leitungsdrahte erregter Funken in einem äusserst schnell rotirenden Spiegelchen beobachtete. Die Dauer eines

Funkens wurde dabei geringer als ein Millionstel Secunde gefunden und es zeigte sich, dass derselbe an den beiden äussersten Enden der sehr langen Leitung gleichzeitig und nur in deren Mitte etwas später erschien, so dass man hieraus schliessen muss, dass die Electricitätsfortpflanzung von beiden Enden nach der Mitte hin fortschreitet. Aus dem späteren Erscheinen des mittleren Funkens lässt sich die Geschwindigkeit der Electricität berechnen, wenn die Länge der Leitung und die Umdrehungsgeschwindigkeit des Spiegels bekannt ist, indem bei späterem Erscheinen der Funken in einer anderen Lage des mittlerweile in seiner Stellung veränderten Spiegels reflectirt wird. Die Resultate dieser Berechnung haben wir schon oben mitgetheilt.

Die Beleuchtung mittelst des electrischen Funkens ist wegen dessen ausserordentlich kurzer Dauer derart, dass ein Körper, welcher sich rasch bewegt, beim Licht desselben beobachtet, still zu stehen scheint, weil man seine Lage nur in einem unendlich kurzen Zeitraum, also nur an einer Stelle und ohne Veränderung, beobachten kann, der Eindruck der Bewegung aber nur durch die Wahrnehmung der Ortsveränderung hervorgebracht werden kann.

§ 192. *Aufgabe 1.* Wenn man als Einheit der Electricitätsmenge diejenige annimmt, welche auf die eine ihr gleiche Menge in der Entfernung 1 die Kraft 1 ausübt, wie gross ist die Electricitätsmenge, welche auf die Menge 6 in der Entfernung 2 die Kraft 12 ausübt?

Antwort. 8.

Aufgabe 2. Wenn man als Einheit die Spannung der Electricitätsmenge 1 auf der Flächeneinheit annimmt, wie gross ist alsdann die Spannung der Electricitätsmenge 6 auf der Fläche 3?

Antwort. 2.

Aufgabe 3. Auf einer Fläche von 48 Quadratzoll befindet sich positive Electricität von der Spannung 3, auf einer anderen Fläche von 8 Quadratzoll negative von der Spannung 4; man berührt beide Flächen, welche Spannung findet alsdann noch auf beiden statt?

Antwort. 2.

Aufgabe 4. In einer Coulomb'schen Drehwage hat man den beweglichen Knopf mit dem festen in Berührung gebracht, ohne dass dabei eine Torsion des Fadens stattfindet. Wenn man nun dem festen Knopf eine solche Menge Electricität mittheilt, dass sich der bewegliche um 25° von ihm entfernt, dann aber nach einer Drehung des Fadens um 146° sich ihm wieder auf 10° nähert; welche Beziehung ergibt sich hieraus zwischen den Entfernungen und den Abstossungskräften der electrischen Kugeln?

Antwort. Die Kräfte, welche den Faden zu drehen streben, sind den Windungen desselben proportional, also verhalten sich die Abstossungen wie

$$25 : 156 \text{ oder nahezu wie } 5^2 : 12,5^2.$$

Demnach ersieht man leicht, dass sich die Abstossungskräfte umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten.

XX. Electricität durch Berührung. Galvanismus.

§ 193. Im Jahre 1789 machte zuerst *Galvani* die Beobachtung, dass Froschschenkel, welche er mittelst kleiner kupferner Haken an ein eisernes Geländer aufgehängt hatte, lebhaft Zuckungen zeigten. Seine Beobachtung verfolgte er weiter, indem er sogleich erkannte, dass diese Erscheinung nicht einerlei mit den Zuckungen sei, welche man häufig an getödteten oder verstümmelten Thieren bemerkte. Er gab davon eine Erklärung, nach welcher eine eigenthümliche Flüssigkeit (später die *galvanische* genannt), sich in den Nerven befinde und mittelst der äusseren Leitung zu den Muskeln überströmen sollte, wenn die Nerven mit Kupfer, die Muskeln mit Eisen in Berührung sind.

Diese Hypothese fand eine Zeit lang unter den Gelehrten, welche mit grossem Eifer diese und ähnliche Experimente wiederholten, vielen Glauben, und man verfolgte sie namentlich deshalb weiter, weil man damals sehr begierig war, das Princip und die Functionen des Lebens näher zu erforschen, dem man hier um einen bedeutenden Schritt näher gekommen zu sein glaubte.

Volta zeigte indessen bald, indem er den Versuch in vielerlei Weise abänderte, dass es zu seinem Gelingen erforderlich sei, den Leitungsbogen zwischen Nerven und Muskeln aus *zwei* mit einander in Berührung stehenden *Metallen* zusammensetzen. Hieraus schloss *Volta*, dass die Flüssigkeit nicht ihren Sitz in dem Körper habe, sondern durch den Contact der beiden Metalle entwickelt werde und mit dem electrischen Fluidum identisch sei.

Diese anfangs vielfach bekämpfte Ansicht ist seither fast ohne Ausnahme angenommen worden, und man rechnet jetzt zu den Umständen, unter denen sich Electricität entwickelt, ganz allgemein die Berührung zwischen verschiedenartigen festen, so wie die zwischen festen und flüssigen Körpern.

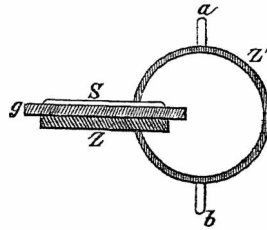
Der Fundamental-

Versuch, wodurch man die erstere Electricitätserregung nachweisen kann, ist folgender: Man versehe zwei runde Platten, die eine von *Zink*, die andere von *Kupfer*, jede mit einem isolirenden Glasgriffe und schleife sie auf einer Spiegelscheibe vollkommen eben und blank. Man setze diese Scheiben mit ihren reinen Flächen auf einander, berühre ihre äussere Fläche mit den Fingern, nehme sie dann mit den isolirenden Glasröhren auseinander und berühre mit einer derselben, z. B. der Zinkplatte, den Collector des Electroscoops und mit dem Finger dessen Knöpfchen. Wenn man diesen dann wieder entfernt und den Collector aufhebt, so findet man entweder gleich oder nach Wiederholung des Versuchs einen Ausschlag des Electroscoops. Bei näherer Untersuchung erkennt man unter obiger Annahme die mitgetheilte Electricität als positiv; hätte man statt des Zinkes die Kupferplatte an das Instrument gebracht, so würde man negative Electricität erhalten haben.

Wenn man zu beiden Platten dasselbe Metall anwendete, oder ihnen irgendwie die metallische Oberfläche nähme, etwa durch eine auch noch so dünne Lage Firniss, so würde man keine Wirkung erhalten. Hieraus ist unwiderlegbar zu schliessen, dass bei der Berührung von Zink und Kupfer Electricität entwickelt wird, und dass die positive sich nach der Zink-, die negative nach der Kupferseite dieses *electrischen* oder *galvanischen Elementes* gebt.

Um die zweite Art der Entstehung der Electricität durch Berührung nachzuweisen, kann man *Schwefelsäure* und *Zink* in folgender Weise anwenden, obwohl auch fast alle anderen Substanzen dasselbe zeigen würden: auf ein empfindliches Electroskop wird eine oben vollkommen ebene geschliffene Zinkplatte Z (Fig. 101) geschraubt, auf diese eine etwas grössere Glasplatte g gelegt und hierüber ein wenig verdünnte Schwefelsäure in eine dünne Schicht S ausgebreitet. Dann biegt man einen Zinkstreifen Z', kreisförmig, versieht ihn mit isolirenden Handgriffen a und b und bringt das eine seiner Enden mit der Schwefelsäure, das andere mit der Zinkplatte in Berührung. Nimmt man dann, um die entstandene und bisher noch gebundene Electricität frei zu machen, erst den Zinkstreifen, dann die Glasplatte weg, so zeigt das Electroskop *negative* Electricität.

Fig. 101.



Auch andere Stoffe kann man statt der Schwefelsäure und des Zinks anwenden, allein für unsere unvollkommenen Apparate eignen sich diese wegen der grösseren Menge der entwickelten Electricität am besten.

Nach angestellten Versuchen nehmen alle Metalle, wenn sie für sich und einzeln in irgend eine Flüssigkeit gebracht werden, es sei reines Wasser, eine saure oder eine alkalische Lösung, stets *negative* Electricität an, während die Flüssigkeit *positiv* *electrisch* wird. Den höchsten Grad der Spannung nach der eben erwähnten Erregung zeigen mit Schwefel- oder Salpetersäure Zinn, dann Blei, Eisen, Kupfer, Silber, Platina, Kohle. In diesen Flüssigkeiten sind daher Zinn und Zink die stärksten *Electromotoren*. Auflösungen von Metallsalzen bringen durch Berührung mit Metallen dieselbe Electricität hervor, wie die in ihnen enthaltenen Metalle.

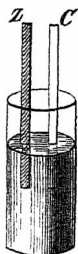
Die Entwicklung von Electricität bei Berührung von zwei Metallen, ist bald stärker, bald schwächer als diejenige bei Metall und Flüssigkeit. So ist z. B. die durch Berührung von Zink und Wasser entwickelte *negative* Electricität, weit stärker, als die bei seiner Berührung mit Kupfer frei werdende *positive*, während Kupfer mit Wasser schwächer *negativ* als es mit Zink *positiv* wird.

So oft Zink in Berührung mit Säuren angewendet wird, ist es zweckmässig, es an seiner Oberfläche mit Quecksilber zu verbinden, zu *amalgamiren*, indem dadurch seine Auflösung durch Säure sehr verlangsamt wird.

§ 194. Wenn Kupfer *gleichzeitig* mit Zink in verdünnte Schwefelsäure getaucht wird, so verhalten sich die gleichzeitig erregten Electricitäten wie folgt: die durch das Zink bewirkte Vertheilung muss die durch das Kupfer verursachte übertreffen, weil jenes in Schwefelsäure ein stärkerer *Electromotor* ist. Daher kann man die ganze Erregung als vom Zink ausgehend betrachten. Die Polarität theilt sich

vom Zink aus den einzelnen Flüssigkeitstheilchen mit und da das Metall selbst positiv ist, so sind die ihm zugewendeten Seiten derselben negativ, die abgewendeten positiv, mithin das Kupfer ebenso. Es wird sich demnach an dem hervorragenden Kupfertheilchen positive Electricität zeigen, und das hervorragende Zinktheilchen wird negativ electricisch sein, wie sich dies auch bei der in der Fig. 102 gezeichneten Einrichtung, welche man die *einfache offene Kette* nennt, nachweisen lässt.

Fig. 102.



An jeder galvanischen Kette hat man wesentlich zwei verschiedene Zustände zu unterscheiden, dieselbe kann nämlich entweder *geöffnet*, oder *geschlossen* sein. Sie ist geöffnet, wenn die beiden festen Electricitätserreger, z. B. Kupfer und Zink, *nur* durch die Flüssigkeit verbunden sind, und weder direct noch durch einen Draht oder auf eine sonstige *zweite* Weise in Verbindung stehen. Geschlossen ist die Kette, wenn ausser der Verbindung durch die Flüssigkeit noch eine zweite durch einen metallischen oder anderen Leiter, z. B.

durch einen Draht stattfindet (Fig. 103). Eine aus mehreren Elementen bestehende *Batterie* ist geschlossen oder geöffnet, je nachdem die äussersten, unverbundenen Polplatten ausser der Verbindung durch die Batterie hindurch noch eine andere leitende Verbindung haben oder nicht.

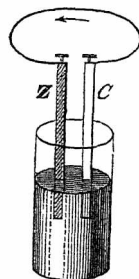
An der geöffneten Kette zeigt die unverbundene Kupferplatte freie positive, die unverbundene Zinkplatte freie negative Electricität, deren Menge mit der Anzahl der zur Kette vereinigten Elemente wächst, deren Spannung immer aber nur sehr gering ist. Werden nun die freien Pole durch eine Leitung verbunden, d. h. wird die Kette geschlossen, so gleichen sich die entgegengesetzten Electricitäten gegenseitig aus; zugleich aber wird durch die dauernde Erregung dieselbe Menge wieder frei, gleicht sich wieder aus u. s. w., so dass also in dem Schliessungsdraht eine fortwährende Ausgleichung der Electricitäten stattfindet, welche durch eine *Strömung* der positiven vom Kupfer- nach dem Zinkpole und eine zugleich stattfindende der negativen vom Zink- zum Kupferpole entsteht. In der Flüssigkeit (oder in der *Batterie*) findet dagegen die entgegengesetzte Strömung statt; hier geht die positive von Zink zum Kupfer und umgekehrt.

Der Kürze wegen ist man übereingekommen, nur denjenigen *den electricischen Strom* zu nennen, welcher vom *positiven* zum *negativen* Körper geht. Daher geht *der Strom* in der geschlossenen Batterie in der Richtung der Pfeile.

Ganz entsprechend hat man sich nach dem bereits früher hierüber Gesagten die Entladung einer mit Reibungselectricität geladenen Leydner Flasche zu denken, nur ist hier die Strömung momentan und vereinigt die stark gespannten und in grosser Menge frei gemachten Electricitäten, während sie bei der galvanischen Kette die jeden Augenblick continuirlich entwickelten und daher nur in geringer Spannung vorhandenen Electricitäten in einem daher schwachen aber andauernden Strom ausgleicht. Aus diesem Unterschiede erklären sich die Verschiedenartigkeiten in der Wirkung der beiden Entladungen, welche sich nicht in der Qualität, sondern in der Quantität des hervorgebrachten Effectes kund gibt.

Aus der geringen Spannung der galvanischen Electricität in den

Fig. 103.



Leitungen ergibt sich auch der Umstand, dass der ruhige Strom nicht direct sondern nur beim Aufhören und Anfangen *gefühlt* wird und dass dieser Strom leichter zu isoliren ist, indem er auch sehr geringe Leitungswiderstände, wie sie einigermaassen schlechte Leiter darbieten, nicht zu überwinden vermag.

Man bemerkt bei der einfachen geschlossenen Kette stets, dass am Kupfer Wasserstoffbläschen aufsteigen, indem das Wasser zersetzt wird; der Sauerstoff verbindet sich mit dem Zink, welches zu schwefelsaurem Zinkoxyd gelöst wird. Ist die Kette nicht mehr geschlossen, so findet die Wasserstoffentwicklung in Folge der chemischen Wirkung nur am Zink statt, während der Strom der geschlossenen Kette den positiven Wasserstoff vom positiven Zink entfernt.

Es ist oben schon angeführt worden, dass schwache electricische Entladungen die Magnetnadel ablenken; den in der geschlossenen Kette stattfindenden Strom kann man als eine Reihe sehr schwacher Entladungen betrachten, indem überall sowohl die Zerlegung, als auch die Wiedervereinigung der entgegengesetzt strömenden Electricitäten stattfindet. Wirklich nimmt eine Magnetnadel, unter dem Einfluss des Stromes in den Schliessungsdraht gebracht, eine bestimmte Stellung gegen denselben an.

Welches die Ursache der electromotorischen Kraft beim Contact der Flüssigkeiten mit den Metallen ist, hat man trotz vielfacher Versuche ebenso wenig ermitteln können, wie bei dem Contact von zwei Metallen allein. Dass nicht die chemische Wirkung der Flüssigkeiten die Grundursache sein kann, scheint unter andern eben aus dem Umstande hervorzugehen, dass beim Contact von zwei Metallen keinerlei chemische Einwirkung stattfindet und doch Electricität entwickelt wird. Ob aber die electricische Wirkung, wie die Anhänger der electrochemischen Theorie annehmen, die Ursache aller chemischen Erscheinungen sei, ist vielleicht ebenso wenig richtig, und es dürfte gewiss am gerathensten sein, die chemische und die electricische Wirkung ganz verschiedenen Kräften zuzuschreiben, ohne dass es darum auffallend erscheinen darf, wenn z. B. Körper von bestimmten electricischen Eigenschaften bestimmte und immer wiederkehrende chemische Wirkungen auf andere von eben solchen Eigenschaften ausüben.

§ 195. Untersucht man die electricischen Spannungen, welche durch verschiedene Metalle (und Kohle) in *derselben* Flüssigkeit hervorgerufen werden, und ordnet man dieselben nach der Stärke derselben in eine Reihe, so erhält man beispielsweise für Schwefelsäure die Reihe

Zink, Zinn, Blei, Eisen, Kupfer, Silber, Platina, Kohle,

von denen der früher genannte immer der stärkere Electromotor dem später genannten gegenüber ist, und worin je zwei und zwei Metalle stets eine stärkere Spannung bewirken, als die folgenden, Zinn und Blei also z. B. stärker als Blei und Eisen. Dabei findet das merkwürdige Gesetz statt, dass die electromotorische Kraft der beiden äussersten von dreien dieser Körper gleich ist der Summe der electromotorischen Kräfte zwischen dem ersten und zweiten und zwischen dem zweiten und dritten derselben. Stellt man *alle* Electromotoren in eine Reihe, so dass jeder vorhergehende ein stärkerer ist als der folgende, d. h. also, vervollständigt man obige Reihe, so ist jedes der aufgestellten Elemente, wenn es eines der folgenden berührt, positiv, und dieses selbst negativ electricisch und die Spannung ist um so grösser, je weiter die Körper auseinander stehen. Diese Reihe nennt man die electricische Spannungsreihe. Es ist jedoch zu bemerken, dass sie nur für bestimmte Fälle Geltung hat, wenn sich diese Körper nämlich unmittelbar berühren, oder wenn sie in

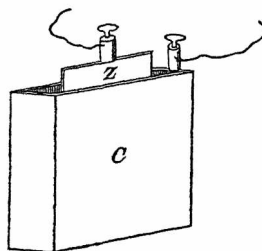
einer bestimmten Flüssigkeit stehen, indem die Natur der Flüssigkeiten einen wesentlichen Einfluss auf die Ordnung der Reihe ausübt.

Die Flüssigkeiten lassen sich noch weniger in eine electriche Spannungsreihe bringen, indem sie sich gegen die verschiedenen Körper sehr verschieden verhalten. Es scheint aus vielen Versuchen hervorzugehen, dass, übereinstimmend mit der electrochemischen Theorie, immer dasjenige Metall der stärkste Electromotor ist, welches von der betreffenden Flüssigkeit am stärksten angegriffen wird, allein es stimmen nicht alle Versuche und alle Physiker hiermit überein.

§ 196. Die einfachen Volta'schen Ketten, wie sie zu gewöhnlichen Versuchen zu dienen pflegen, sind verschiedener Art, die am meisten angewendeten sind folgende:

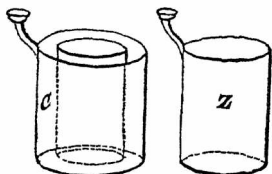
1) der Oersted'sche Trogapparat (Fig. 104). Derselbe besteht aus einem schmalen vierseitigen Kästchen von Kupferblech C, in welches eine Zinkplatte Z so eingesetzt ist, dass sie, durch Holzstückchen oder einen Rahmen verhindert wird, das Kupfer an irgend einer Stelle zu berühren. Am Kupfer sowohl wie am Zink befinden sich angelöthete kupferne Fortsätze mit Loch und Schraube, um an jedes dieser Metalle ein Ende des Schliessungsdrahtes befestigen zu können. Wird der Kupfertrog mit durch Schwefelsäure angesäuertem Wasser gefüllt und das Zink hineingestellt, so erhält man eine offene Kette; setzt man den Verbindungsdraht an beide Metalle an, so ist die Kette geschlossen.

Fig. 104.



Auch kann man dem Kupferkästchen die Form eines unten geschlossenen hohlen Cylinders, dem Zink die eines offenen Cylinders geben und alsdann die Verbindung beider Metalle mittelst eines an das Zink gelötheten Drahtes, das man in ein Nöpfchen mit Quecksilber taucht, herstellen, welches die Verlängerung des Kupfers bildet. Um den inneren Raum des Zinkes und dessen innere Fläche zu benutzen, ist es zweckmässig, dem Kupfer die Gestalt eines hohlen cylindrischen Ringes zu geben (Fig. 105). Natürlich muss man aber sorgen, dass sich die Metalle in diesem hohlen Raume nicht berühren.

Fig. 105.



Die Oberfläche beider Metalle kann in diesem Apparate, wenn er nicht unförmlich über ein bestimmtes Maass vergrössert werden soll, nicht wohl werden. Dies geschieht in

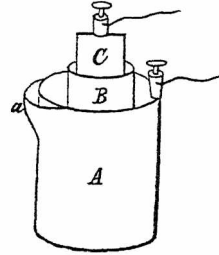
2) dem Hare'schen Apparate dadurch, dass man beiden Metallblechen die Gestalt einer lange Spirale gibt, und zwar so, dass die Zinkspirale sich überall zwischen den Windungen des Kupferblechs befindet, ohne es zu berühren, was durch hölzerne Leitkreuze an der oberen und unteren Kante bewirkt wird. Das ganze wird zur Erregung der Electricität in ein Gefäss mit verdünnter Schwefelsäure getaucht und der Schliessungsdraht wie vorhin angebracht.

Bei allen diesen Ketten lässt nach kurzer Zeit die Spannung der entwickelten Electricität durch die chemische Wirkung der Stoffe unter

einander nach; diesen Uebelstand vermeiden die *constanten Ketten*, von denen folgende die gebräuchlichsten sind:

3) die *Daniell'sche* oder *Becquerel'sche* Kette (Fig. 106) besteht aus einem Cylinder A von dünnem Kupfer, einem porösen (nicht glasirten) Thoncylinder B und dem (amalgamirten) Zinkstreifen C, welcher in dem letzteren steht. An beiden Metallen befinden sich Klemmschrauben für den Schliessungsdraht.

Fig. 106.



Der Thoncylinder ist von einer solchen Beschaffenheit, dass er Flüssigkeiten nicht tropfenweise durchfließen, sich aber doch so davon durchdringen lässt, dass eine vollständige Berührung der an beiden Seiten seiner Wandung befindlichen stattfindet.

In den Kupfercylinder kommt eine Lösung von Kupfervitriol, welche man entweder durch ein eingehängtes Säckchen mit Krystallen oder durch Krystalle, welche sich in einem angelötheten und durch Löcher mit dem Inneren verbundenen Theile des Kupfercylinders befinden, gefüllt ist, concentrirt erhält; in den Thoncylinder kommt verdünnte Schwefelsäure. Schliesst man nun die Kette, so bemerkt man alsbald einen metallischen Niederschlag von Kupfer an der Oberfläche des Kupfertroges; dies beweist, dass das Kupferoxyd des Kupfervitriols reducirt wird; sein Sauerstoff verbindet sich — wie man daraus erkennen kann, dass an dem Kupfer nicht, wie bei anderen Apparaten, Wasserstoff entwickelt wird — mit dem gleichzeitig frei werdenden Wasserstoff zu Wasser. Dieses Wasser löst dann von neuem Kupfervitriol auf, welcher wieder reducirt wird u. s. w. Das Zink wird, wie bei allen anderen Ketten allmählich oxydirt und in der Schwefelsäure gelöst. Die Wirkung, die hiernach an der Kupferseite keine Unterbrechung zu erleiden braucht, weil der zersetzte Stoff stets neu erscheint, würde an der Zinkseite ihr Ende erreichen, sobald die Schwefelsäure gesättigt ist, wenn nicht durch die Reduction des Kupfers aus dem Kupfervitriol stets neue Schwefelsäure frei würde, welche sich durch die Thonwand hindurch mit dem Wasser mischte. Daher kann die Wirkung dieser Kette so lange constant bleiben, als noch Kupfervitriol und Zink vorhanden sind und die Lösung des gebildeten Zinkvitriols nicht zu concentrirt wird, um die Einwirkung der Säure zu hindern.

Ganz ähnlich ist die Ursache der dauernden Wirkung der übrigen constanten Ketten.

4) Die *Grove'sche Kette* besteht aus Zink und Platina. Die Zinkplatte steht in einem Gefässe mit verdünnter Schwefelsäure. Innerhalb des Zinks befindet sich das Gefäss aus porösem Thon und in diesem die Platinaplatte in concentrirter Salpetersäure. Diese Säure dient dazu, die Ablagerung des Wasserstoffes an dem Platina zu verhindern, welches daselbst wie bei der ersten oben angeführten Kette durch seine überziehende Schicht die metallische Oberfläche vermindern und daher nach und nach die ganze Wirkung aufheben würde. Dadurch aber, dass die Salpetersäure durch den frei werdenden Wasserstoff (im Entstehungsmoment) reducirt wird, kann dieser nicht bis zum Metalle gelangen.

Die Verbindung zwischen Platina und Zink kann durch Klemmschrauben wie bei allen anderen Ketten hergestellt werden. Die electro-

motorische Kraft des Platinas, als Stellvertreter des Kupfers, ist in dieser Kette so gross, dass 6 Quadratzoll Platinafläche dieselbe Wirkung äussern wie 100 Quadratzoll Kupfer. Rechnet man nun hinzu, dass das Platina sich nicht abnützt, stets metallisch und zum Gebrauche geeignet bleibt, so erkennt man, dass der hohe Preis dieses Metalls mehr als aufgewogen wird durch die mit dessen Anwendung verbundenen Vortheilen.

Bequemer zum Gebrauche werden solche Ketten, wenn man ihnen die cylindrische Form gibt, wo dann das im Inneren des runden Thontroges stehende Platina die Gestalt eines S erhält, an dessen oberer Kante man einen Holzdeckel aubringt, um das Entweichen der sauren Dämpfe aus der Salpetersäure und deren schädliche Wirkung auf die Klemmschrauben und Schliessungsdrähte zu verhüten.

5) Statt Zink und Platina wendet man in der *Bunsen'schen Kette* Zink und Kohle an. Die Kohle hierzu bereitet man durch Erhitzen (in einer geschlossenen Form) eines Gemenges von 1 Th. pulverisirten Kohks und 2 Th. Steinkohle, wodurch man eine je nach der Beschaffenheit dieser letzteren mehr oder weniger gute und brauchbare feste Masse erhält, welche durch weitere Behandlung noch sehr verbessert werden kann. Dazu gehört Tränken mit Zuckerlösung, und heftiges anhaltendes Glühen. Dadurch werden die Kohlencylinder so hart und fest, dass man sie auf der Drehbank bearbeiten und mit Metallringen zum Anbringen der Klemmschrauben versehen kann. Diese feste und klingende Kohle hat dann zugleich die Eigenschaft erhalten, ein sehr guter Leiter der Electricität zu sein.

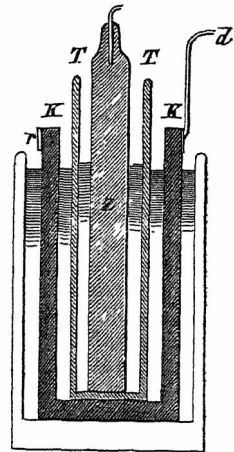
Die Zusammenstellung der Bunsen'schen Kette erleidet je nach den Umständen Abänderungen; im Allgemeinen aber bleibt sie die in Fig. 107 im Durchschnitt gezeichnete. Der Hohlcyylinder K besteht aus Kohle und steht in dem äusseren Glasgefässe mit Salpetersäure. Im Inneren des Kohlencylinders steht die poröse Thonzelle T mit Schwefelsäure und dem vierkantigen Zinkblock Z, in welchen ein Kupferdraht eingeschmolzen ist. Um die Kohle ist ein Metallring r mittelst einer Schraube gelegt, welcher einen kupfernen Bügel mit einem Leitungsdrahte d trägt. Wo die Entwicklung der salpetersauren Dämpfe allzu lästig wird, wendet man die Elemente von etwas anders construirter Form an. Der Kohlencylinder ist dann auch unten offen, oben mit einem Reifen von Blei umgeben, und steht ebenso wie das Zink in verdünnter Schwefelsäure.

6) Bei der *Smee'schen Kette* sind die angewandten Metalle Silber und Zink. Sie sind durch eine Schichte Sand getrennt, welche mit verdünnter Schwefelsäure befeuchtet ist. Der Strom ist zwar nicht ganz constant, hält aber lange aus.

7) Auch platinirtes Blei wird statt des Platinas angewendet (*Callan's Kette*). Das Blei steht nicht in Salpetersäure, sondern in einem Gemisch von Salpetersäure, Schwefelsäure und Salpeterlösung. Die Salpetersäure kann daher verdünnter sein. Die Wirkung dieser Kette ist derjenigen der Grove'schen gleich, die Kosten viel geringer.

8) Auch wendet man da, wo man sehr viele einfache Ketten nöthig hat, solche aus Eisen und Zink an; man gibt ihnen die Construction der Platina- und Zinkketten, nur ersetzt man das Platina durch Guss-

Fig. 107.



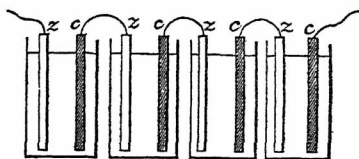
eisen, in Gestalt zweier schmaler, sich kreuzender Platten, die an ihrer gemeinschaftlichen Spitze den Ansatz für die Klemmschraube tragen. Die Anwendung des Eisens gründet sich auf dessen Eigenschaft von *concentrirter* Salpetersäure *nicht* angegriffen zu werden, da es darin in den sogenannten *passiven* Zustand geräth. Im Verlaufe des chemischen Vorganges bei dem electrischen Strome wird aber die Säure nach und nach verdünnter, weil, wie wir oben schon anführten, sich fortwährend Wasser neu bildet; da hierbei leicht ein Punkt eintreten kann, wo die Verdünnung so gross wird, dass plötzlich das Eisen angegriffen wird, so setzt man auch wohl Schwefelsäure zur Salpetersäure.

9) Endlich sind von constanten, aber freilich nur schwachen Ketten, diejenigen zu erwähnen, welche aus Zink und Kupfer bestehen und als Flüssigkeit Weinsteinlösung für das Zink, verdünnte Schwefelsäure für das Kupfer enthalten, welche letztere auch durch eine nicht ganz concentrirte Kupfervitriollösung ersetzt werden kann.

§ 197. Um die verschiedenen Wirkungen der electrischen Ketten zu untersuchen oder nachzuweisen, ist die Electricitätsmenge eines einzigen Elementes nicht immer hinreichend; man setzt deren alsdann mehrere zu einer „galvanischen Batterie“ zusammen, in welcher sich, wenn die einzelnen Elemente richtig verbunden sind, die Wirkungen derselben zu einer grösseren Gesamtspannung summiren. Damit dies geschieht, kann die Verbindung der Elemente z. B. von Kupfer und Zink auf zweierlei Weise getroffen werden. Nach der ersten Art werden alle Kupferplatten unter sich und alle Zinkplatten unter sich metallisch verbunden so dass das Ganze gewissermaassen nur ein einziges Element bildet, in welchem die Kupfer- und die Zinkplatte aus der Summe aller einzelnen Platten besteht.

Nach der zweiten Verbindungsart wird das Kupfer des einen Elementes mit dem Zink des folgenden, das Kupfer dieses mit dem Zink des dritten u. s. w. verbunden. Das Zink des ersten und das Kupfer des letzten Elementes (Fig. 108) bleiben dann frei und unverbunden und bilden die Ausgangspunkte für den Schliessungsdraht der Kette.

Fig. 108.



Man nennt die erste Verbindungsweise der Batterie *Verbindung zu einem Elemente*, die letztere *Verbindung zu einer Kette*.

Sie sind beide stets anwendbar, wo man eine aus Elementen von je zwei Metallen mit einer oder zwei Flüssigkeiten bestehenden Batterie zusammensetzen will.

Dabei ist nur darauf zu achten, dass bei der ersteren Verbindung nur gleiche, bei der zweiten nur ungleiche Metalle verbunden werden und dass bei dieser die Anordnung zwischen den Metallen und Flüssigkeiten in jedem Elemente dieselbe sein muss.

Um die Pole einer verbundenen Batterie zu finden, ist als allgemeine Regel festzuhalten, dass man von der *metallischen* Verbindung der beiden Metalle ausgeht und dann den positiven Pol stets an der *Zinkseite* derselben findet. Wenn auch die Electricitätserregung der Flüssigkeiten überwiegt, so kann sie doch nur — bei richtiger Einrichtung der Elemente — sich mit derjenigen aus den Metallberührungen summiren und daher die gleichen Pole erzeugen. Letztere ist aber in den meisten Fällen

leichter aufzusuchen. Dabei ist es gleichgültig, ob die Verbindung der Metalle durch einen Leitungsdraht oder durch unmittelbare Berührung stattfindet; so wie sie überhaupt metallisch ist, geht man dem Zink nach und findet da, wo die metallische Kette nach dessen Seite hin aufhört, wie gesagt, den positiven Pol.

Die zusammengesetzten Batterien entsprechen in ihrer Construction natürlich der oben genannten einfachen Kette. Es bleiben uns indessen noch einige Bemerkungen über dort nicht erwähnte Einrichtungen übrig, denen wir die Beschreibung solcher Batterien hinzufügen wollen, welche sich am einfachsten zu eigenen Versuchen construiren lassen.

§ 198. Die älteste Batterie war die *Volta'sche Säule*, die, wegen mancherlei Mängel, mit denen sie behaftet ist, und wozu namentlich die Kürze der Erregungsdauer gehört, nur noch sehr selten angewandt wird. Sie besteht aus einer grossen Anzahl von Kupfer- und Zinkscheiben, die mit zwischengelegten feuchten Filz- oder Pappstücken so auf einander geschichtet werden, dass immer Kupfer, Zink und Feuchtigkeit in derselben Ordnung aufeinander folgen; es bilden also Kupfer und Zink immer ein Element zusammen, das von dem folgenden, nach derselben Richtung ebenso zusammengesetzten durch Feuchtigkeit getrennt ist. Als Tränkungsmittel für die Filz- oder Pappstücken nimmt man einen besseren Leiter als das Wasser, nämlich Salmiak- oder Kochsalzlösung, verdünnte Schwefelsäure u. s. w.

Die Enden der Säule bestehen aus einer Kupfer- und einer Zinkplatte, an welchen die Schliessungsdrähte befestigt sind.

Die Electricität in einer solchen Säule ist so vertheilt, dass die Spannung in der Mitte Null ist und nach dem Pole zu im Verhältniss der angewendeten Plattenpaare wächst.

Die *trockenen Säulen* (zuerst von *Zamboni* construirt) bestehen nur aus einer grossen Anzahl dünner Platten von zwei Metallen mit eingeschalteten trockenen Leitern. Hierzu nimmt man weisses Papier, welches im Zustande der natürlichen Feuchtigkeit die Electricität hinreichend leitet. Klebt man z. B. unächtes Gold- und unächtes Silberpapier mit der Papierseite aneinander, so erhält man durch Ausschneiden von gleich grossen Scheibchen aus diesem mit doppeltem Metall überzogenen Papier die Theile einer trockenen Säule, welche nur in derselben Ordnung auf einander gelegt zu werden brauchen, um eine solche herzustellen. Zweckmässig werden die Papierstücke fest auf einander gepresst und vor dem Einfluss der Atmosphäre durch einen isolirenden Ueberzug geschützt.

Die hier angewandten Metalle sind Zinn (statt Zink) und Kupfer. Die Pole findet man nach der oben angegebenen Regel; dabei ist zu bemerken, dass das letzte Zinn und das letzte Kupfer ungepaart ist, dass also die *Berührung* beider Metalle *unterhalb* des letzten Scheibchens stattfindet und demnach der positive Pol sich da findet, wo das *Kupfer* offen liegt; dies ist nämlich die Richtung des Zinns in dem letzten, wie in allen Elementen, da jedes Element aus den Theilen zweier *verschiedener* Papierplatten besteht.

Etwas stärkere Wirkungen gibt jedoch folgende trockene Säule, deren Verfertigung wir als

Versuch empfehlen, indem sie nur geringe Mühe verursacht und sich damit einige recht instructive Erscheinungen hervorbringen lassen.

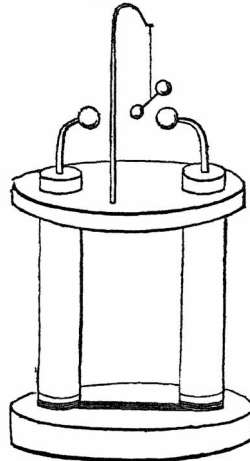
Eine Glasröhre von $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser überziehe man, wenn sie nicht schon für sich vollkommen (in der Richtung der Glasdicke) isolirt, im Inneren mit einer dünnen Lage Siegelack, indem man ein Körnchen davon hineinlegt und die Röhre von einem Ende aus erhitzt;

dann verseehe man dieselbe mit zwei gut passenden Korken, welche so durchbohrt sind, dass ein dicker rein gefeilter und zu Ringen an beiden Seiten abgerundeter Messingdraht mit Reibung hindurchgeht. Ferner bedarf man eines metallenen Durchschlages von solcher Grösse, dass die damit ausgeschlagenen Papierscheibchen leicht und ohne Reibung sich in die Röhre schieben lassen. Nun überziehe man unächtes Silberpapier auf der Rückseite mit einer Farbe aus dünnem Gummiwasser und fein abgeriebenem oder geschlämmttem Braunstein. Nach dem Trocknen schlage man mit der erwähnten Form eine grosse Anzahl runder Scheiben aus diesem Papier und bringe dieselben in die Röhre, nachdem man die eine Oeffnung mit dem Korke verschlossen und auf denselben ein Scheibchen von Messing gelegt hat. Natürlich müssen die Papierscheiben alle mit derselben Seite nach unten eingelegt werden. Gehen sie nicht leicht und ohne Reibung in die Röhre, so verhindert der sich abstreifende Metallstaub nachher alle Wirkung. Zuletzt setze man wieder ein Messingplättchen und den zweiten Kork auf, worauf man mittelst beider Drähte die ganze Säule gehörig zusammenpressen kann, um endlich die Korke mit Siegelack zu überziehen. Was die Anzahl der Scheiben anbetrifft, so genügen einige Dutzend schon, um mittelst eines Condensators zu zeigen, dass sich Electricität entwickelt. Ohne diesen sind etwa 1000 Paare erforderlich, um einen Ausschlag am Electroscope hervorzubringen, und wenn man den gleich zu erwähnenden Pendelapparat herstellen will, braucht man zwei Säulen, jede etwa von 2000 Paaren.

Der Strom, welchen eine solche trockene Säule liefert, ist zwar sehr schwach, reicht jedoch hin, um, wie bemerkt, seine Existenz nachzuweisen. Er dauert eine sehr geraume Zeit — viele Jahre hindurch, fast ohne Veränderung, wenigstens ohne merkliche Schwächung, fort und man wendet daher die Zamboni'sche Säule nicht selten in Apparaten an, wo man einen schwachen Strom nöthig hat und nicht gern die Säule öfters erneuert.

Auf dieser langandauernden Wirksamkeit beruht auch das *electriche* Pendel, auch *electriche* Perpetuum mobile genannt. Um dasselbe herzustellen, befestigt man die beiden vorhin construirten Säulen senkrecht so, dass die eine eine andere Anordnung hat, als die andere, so dass also die beiden nach oben gekehrten Pole ungleichnamig sind. Man bringt nun die unteren Pole dadurch mit einander in Verbindung, dass man die umgelegten und etwas platt gefeiltern Messingringe fest auf einen Stanniolstreifen setzt, welcher zwei entsprechende Vertiefungen in einem Brettchen verbindet (s. Fig. 109). Man befestigt nun an dem oberen Ende der Drähte kleine Kugeln und hängt mittelst eines Seidenfadens an einem zweckmässig angebrachten Stativ ein electriche Pendel auf, d. h. ein Glasröhrchen, welches an dem einen Ende eine sehr leichte hohle Kugel aus Messing, am anderen ein Gegengewicht trägt und so gestellt wird, dass im Zustande der Ruhe die erstere genau in der Mitte zwischen beiden Polen hängt. Um das Pendel vor dem Luftzuge zu schützen,

Fig. 109.



ist es gut, das Ganze mit einem Glase zu bedecken. Gibt man, nachdem sich an den Polen einige Spannung gesammelt hat, dem Pendel einen leichten Stoss, so bewegt es sich in Folge der Anziehung und Abstossung zwischen beiden Polen Jahre lang hin und her, kommt bisweilen zwar in Ruhe, fängt aber dann auch wieder die Oscillationen von selbst wieder an, indem die Temperatur und der Feuchtigkeitszustand der Luft von Einfluss auf diese höchst interessante Erscheinung sind.

Wenn man das Pendel in irgend einem Augenblicke zum Stillstehen bringen will, so braucht man nur durch Blasen über die Pole oder durch Berühren derselben mit der Hand die Spannung wegzunehmen; erst nach einiger Zeit ist, bei der schlechten Leitung des Papiers hinreichend Electricität an den Polen angesammelt, um das Pendel wieder zur Bewegung zu bringen.

§ 199. Von der trockenen Säule ist auch eine wissenschaftliche Anwendung gemacht worden, nämlich zur Construction eines sehr empfindlichen *Electroscops*, das von *Böhmenberger* herrührt und von *Fechner* auf seinen jetzigen Grad von Vollkommenheit gebracht worden ist. Dieses *Electroscop* hat nur ein Goldblättchen, welches in der Mitte zwischen den Polen einer trocknen Säule aufgehängt und daher in Ruhe ist. So wie ihm aber nur eine äusserst geringe Menge Electricität mitgetheilt wird, so muss es sich in Folge der dadurch bewirkten Abstossung von dem einen und Anziehung zu dem anderen Pole nach diesem letzteren hinbewegen. Die Säule liegt in einer Glasröhre horizontal unter dem Goldblättchen; ihre Pole bilden zwei Messingplatten, welche mittelst Drähten bis in die Nähe des Goldblättchens geleitet sind.

An dieser Stelle ist auch noch die sogenannte *secundäre Säule* zu erwähnen, welche nur aus einer Reihe auf einander folgender Kupfer- und feuchter Papierscheiben besteht. Eine solche Säule ist an sich kein *Electromotor*, kann aber mittelst irgend einer *Volta'schen Säule* dauernd geladen werden. Bringt man nämlich ihr Ende mit deren Polen in Verbindung, und trennt sie dann wieder davon, so kann sie selbstständig die Phänomene der Electricität, selbst nach der Entladung noch mehrere Male, hervorbringen. Dies wird nur durch die unvollständige Leitung der secundären Säule bewirkt, indem sich in derselben die electricischen Flüssigkeiten nicht sofort ausgleichen, sondern noch eine Zeit lang ihre Bewegungen fortsetzen. Ein Streifen feuchten Papiers zeigt dieselben Wirkungen, obwohl in geringerem Maasse.

§ 200. Diejenige Batterie, welche sich am leichtesten herstellen lässt, und welche wir für den Fall, dass man einen solchen einfachen nicht constanten Apparat sich beschaffen wollte, für eigene Construction empfehlen, zeigt nebenstehende Fig. 110. Zu seiner Zusammensetzung

Fig. 110.

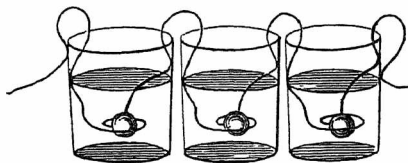


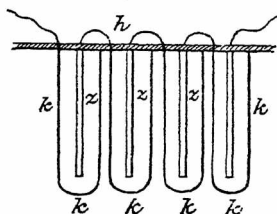
Fig. 111.



giesst man in einer Kugelform an einen hineingesteckten blankgefeilten Kupferdraht Zinkkugeln und krümmt dann den Draht nach der Form der Figur 111.

Stellt man nun gewöhnliche Trinkgläser in eine Reihe, so wird dieser federnde Draht je zwei und zwei zusammenhalten und der Draht jedes Paares die Kugel des folgenden in einiger Entfernung umgeben. In die Gläser giesst man dann Wasser mit $\frac{1}{20}$ — $\frac{1}{10}$ Schwefelsäure und $\frac{1}{30}$ — $\frac{1}{20}$ Salpetersäure. Bei Anwendung von 20 — 30 Paaren erhält man schon recht bemerkliche Wirkungen; der Apparat ist leicht zu reinigen und es muss dies jedesmal nach seinem Gebrauche geschehen. Die Electricitätserzeugung kann auch hier als von der Berührungsstelle von Zink und Kupfer ausgehend betrachtet werden und die Pole haben daher die oben bezeichnete Lage.

Fig. 112.

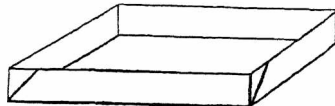


Die sehr einfache Construction des *Wollaston'schen Trogapparates* zeigt die Fig. 112. Die Kupferplatten *k k* sind um die Zinkplatten *z z* gebogen, und schliessen sie also an beiden Seiten ein. Jede Platte ist an der gemeinschaftlichen Holzleiste *h* befestigt und das Ganze kann also mittelst derselben in einen mit verdünnter Schwefelsäure versehenen Kasten gesenkt werden. Jede Zinkplatte ist mit der Kupferplatte des *folgenden* Elementes durch einen angelötheten Kupferstreifen verbunden; das erste Zink und das letzte Kupfer bleiben frei; der positive Pol befindet sich daher am *freien* Kupfer, der negative am freien Zink. Dasselbst sind Schliessungsdrähte angeheftet.

Diese Trogapparate haben die Bequemlichkeit, dass, wenn man sie nur auf Augenblicke gebrauchen will, man sie nur in den Kasten zu senken und gleich wieder herauszunehmen braucht, um eine momentane Wirkung zu erhalten; die freihängenden Platten sind durch Aufgießen von Wasser leicht zu reinigen. Dann leistet ein solcher Apparat unter zeitweiser Erneuerung der Säure sehr lange gute Dienste. Indessen können wir ihn zur eigenen Zusammensetzung nicht empfehlen. Hierzu eignet sich von nicht constanten Ketten zu einzelnen Versuchen recht gut der

Oersted'sche Trogapparat, welcher vorübergehend einen sehr starken Strom gibt. Dazu biegt man ein quadratisches Kupferblech, ringsum ein Zoll hoch auf und formt durch Umbiegung der Ecken ein Kästchen daraus (Fig. 113), in welches man verdünnte Säure giesst und dann eine etwas kleinere Zinkplatte auf einige Holzstückchen legt. Die Verbindung beider Elemente ist durch einen Draht leicht zu bewerkstelligen, die Wirkung, wenn die Platten gross sind, sehr energisch, und z. B. zu Glühversuchen geeignet.

Fig. 113.



§ 201. Am leichtesten herzustellen und am sichersten und dauerndsten in ihrer Wirkung zum Zwecke der Demonstration der Eigenschaften der galvanischen Electricität sind die *constanten Ketten*, von denen wir die Zinkkohlenkette zu den nachher zu beschreibenden

Versuchen empfehlen. Zu ihrer Herstellung verfährt man folgendermassen: Zunächst hat man sich die erforderlichen Thoncyliner und Kohlenzylinder zu verschaffen. Man erhält sie leicht vom Mechaniker in der erforderlichen Beschaffenheit; die eigene Herstellung, namentlich der letzteren steht mit dem Ankaufspreise der fertigen in keinem Verhältniss. Am billigsten sind die *massiven* Kohlenzylinder, weshalb wir

den Apparat als mit solchen construiert denken wollen; sollte man nur offene, hohle erhalten können, so ergibt sich die Abänderung durch die erforderliche Umkehrung der Reihenfolge von selbst.

Man wählt nun zu jedem zu construirenden Elemente ein Trinkglas aus, welches etwas höher als der Thoncylinder und etwa $\frac{1}{2}$ —1 Zoll weiter als dieser ist. Die Anzahl Elemente, welche man herstellen will, hängt natürlich von Umständen ab; das Minimum zur Hervorbringung einigermaassen sichtbarer Wirkungen ist wohl 4 Elemente. Je mehr desto besser. Nun lasse man von einem Zinkarbeiter zu jedem Elemente ein Stück Zinkblech schneiden, das zu einem Cylinder zusammengerollt, in den Zwischenraum zwischen Thoncylinder und Glas lose gestellt wird. An dieses Zinkblech wird ein Kupferdraht von einigen Zoll Länge angelöthet. Sind die Kohlencylinder noch nicht zum Gebrauche fertig, so muss man den oberen Rand derselben in geschmolzenes Wachs tauchen und dann mit einem Ring aus Kupfer (Fig. 114) versehen, welcher so genau darauf passt, dass er durch die Reibung vollkommen festsitzt.



Fig. 114.

Den ganzen oberen Theil der Kohle, woran dieser Ring befindlich ist, so wie diese selbst überzieht man endlich stark mit einem Firniss aus Siegelacklösung.

Will man die zur Verbindung der einzelnen Theile gewöhnlich angewendeten Klemmschrauben ersparen, so kann man sich auch aus Kupferdraht — der wie alle Verbindungstheile an den Berührungspunkten rein metallisch sein muss — Klammern durch blosses Biegen herstellen. Dazu empfehlen sich die beiden Formen Fig. 115 und 116.

Fig. 115.

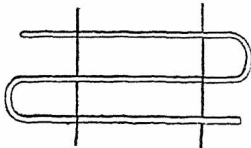
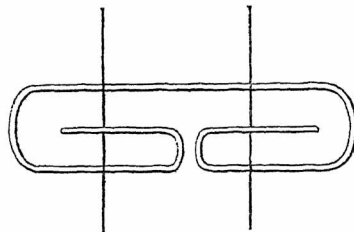


Fig. 116.



Endlich bleibt noch übrig, das Zink zu amalgamiren. Dazu bringt man in eine flache Schale oder Untertasse einige Tropfen Quecksilber, und gießt etwas Wasser mit etlichen Tropfen Schwefelsäure darüber. Dann vertheilt man Säure und Quecksilber über das hineingelegte Zink durch Reiben mit Papier, bis das Zink *überall* ganz hell und glänzend geworden ist.

Will man sich die Mühe nicht geben, die Batterie auf diese Weise herzustellen, so kann man auch fertig zusammengestellte kaufen. Bei Mechanikern trifft man sie in der Regel zu verschiedenen Preisen vorrätzig; bei *Gressler* in Erfurt oder bei *Lahme & C.* in Berlin erhält man Elemente von etwa 5'' Höhe und $2\frac{1}{4}$ '' Durchmesser zu $1\frac{1}{3}$ — $1\frac{1}{2}$ Thlr. Auf dem Buchhändlerwege sind dieselben von Körner's Verlag in Erfurt zu 1 Thlr. zu beziehen. Mit allen erforderlichen Schrauben und von sehr guter Wirkung erhält man die Elemente (mit *hohlem* Kohlencylinder) von *Stöhrer* in Leipzig zu 3 Thlr.

Ueber die Zusammensetzung der Batterien brauchen wir wohl nichts mehr zu sagen; nur empfehlen wir nochmals, genau auf reine metallische

Verbindungen und auf regelmässige Aufeinanderfolge von Zink und Kohle durch die ganze Batterie, so wie darauf zu achten, dass sich nirgendwo zwei Drähte ausser der richtigen Folge berühren; in die Thoncyliner kommt gewöhnliche Salpetersäure, in die Gläser Wasser mit $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{10}$ Schwefelsäure; beide Flüssigkeiten müssen gleich hoch stehen.

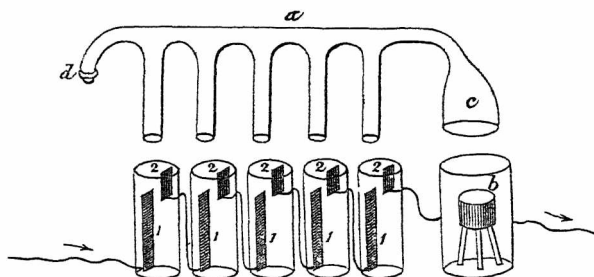
Ob die Batterie in gutem Zustande ist, zeigt sich im Allgemeinen aus dem Gelingen der damit angestellten Experimente. Um indessen schon bei der Zusammensetzung zu erfahren, ob dabei nichts verfehlt worden, kann man den Leitungsdraht des ersten freien Zinkeylinders auf eine Feile fest andrücken und mit dem Leitungsdraht des letzten freien Kohlencylinders über diesen hin und her reiben. Giebt die Batterie einen Strom, so zeigt sich dabei eine Anzahl glänzender Funken; man kann daher nach dieser Probe die Batterie wieder auseinander nehmen, die Flüssigkeiten einzeln sammeln und Alles reinigen, bis man die später zu beschreibenden Versuche anstellen will.

Beim Auseinandernehmen der Batterie sind die Thoncyliner jedesmal mehre Stunden in ein Gefäss mit viel Wasser zu legen, dann abzuspülen und an der Luft trocknen zu lassen. Ohne diese Vorsicht werden sie bald mürbe und zerbrechlich. Die Kohlencylinder lässt man ebenfalls einige Zeit in Wasser stehen und spült sie dann ab; die Zinkeylinder werden nur abgewaschen. Gut ist es, diese von Zeit zu Zeit neu zu amalgamiren, was einfach dadurch geschieht, dass man das Quecksilber in das Glas zum Zink giesst und die Batterie wie gewöhnlich in Thätigkeit setzt. Die Amalgamation erfolgt dann von selbst.

§ 202. Auch aus *zwei Gasen* und einem Metall hat *Grove* eine Kette zusammengesetzt, die freilich für den gewöhnlichen Gebrauch nicht geeignet ist.

Man bringt die Metallstreifen, welche aus mit Platinaschwamm überzogenem Platina bestehen, in oben zugeschmolzene Glasröhren, von denen die eine Hälfte Wasserstoff, die andere Sauerstoff enthält, welche Gase durch Schwefelsäure gesperrt sind. Statt des Sauerstoffs kann man auch atmosphärische Luft anwenden; die Batterie erhält dann die Gestalt Figur 117. An die gemein-

Fig. 117.



schaftliche Glasröhre a sind die unten offenen Glasröhren angeschmolzen, welche beim Eintauchen in die Gefässe die schmalen Platinastreifen 1, 1, 1 aufnehmen; in den Gefässen befinden sich ferner, zur Hälfte von Luft umgeben, die breiten Platinableche 2, 2, 2; jene Streifen sind mit Platinaschwamm überzogen, welche mittelst Drähten jedesmal mit den Streifen des folgenden Glases verbunden sind. In dem grösseren

Gefässe b befindet sich ein Zinkblock und Schwefelsäure, wodurch fortwährend Wasserstoff entwickelt und mittelst der darüber gestülpten weiteren Glasröhre c das Röhrensystem voll erhalten wird. Durch Saugen bei d wird aus demselben zu Anfang des Experiments die Luft entfernt.

Wird, nachdem hinlänglich Wasserstoff vorhanden ist, die Kette geschlossen, so beginnt die Wirksamkeit, welche in der Verdichtung des Wasserstoffes und des Sauerstoffes an den schmalen und den breiten Platinastreifen begründet ist. Der Strom geht vom letzten Sauerstoff zum ersten Wasserstoffelemente und verhält sich wie jeder andere. Er ist constant, weil der verschwindende Wasserstoff stets dadurch ersetzt wird, dass alsdann der Zinkblock mit der Schwefelsäure in Verbindung kommt.

Eine merkwürdige Batterie ist von *Gassiot* construirt worden; er stellte 3500 Kupfercylinder und Zinkstäbe paarweise in reines Wasser, und isolirte jedes Element sorgfältig. Die Batterie zeigte mehrere Monate eine sehr schwache und trotz häufig veranlasster Entladung constante Spannung. Eine chemische Veränderung der einzelnen Theile war dabei nicht zu bemerken.

§ 203. Die Wirkungen der Contact-Electricität, wie man sie durch die galvanische Batterie hervorbringen kann, sind von derselben Art, wie die der Reibungselectricität. Man kennt auch hier physiologische Wirkungen (Schläge), Licht- und Wärmeerregungen, Einwirkungen auf den Magnetismus u. s. w. Indessen treten die Erscheinungen in so fern modificirt auf, als wir es nicht sowohl mit ruhender Electricität in steter Spannung, sondern vielmehr mit dauernden starken Strömen von grösserer oder geringerer Heftigkeit und mit leicht zu bewirkenden Unterbrechungen zu thun haben. Man erinnere sich des Umstandes, dass zur Entzündung von Pulver mittelst einer Leydner Flasche, so wie zur Bewirkung einer Ablenkung der Magnetnadel, besondere Maassregeln zur Schwächung und Verlangsamung der Entladung erforderlich waren. Solche Erscheinungen sind es aber, welche bei der bewegten Electricität sich leichter hervorrufen lassen, während diejenigen, welche eine plötzliche Entladung bedingen, weniger ins Gebiet der Berührungs- als der Reibungselectricität gehören. Doch hat man in dem Umstande, dass man bei mehrelementigen Ketten nach Belieben einzelne grosse oder viele kleine Elemente je nach der Verbindung herstellen kann, die Möglichkeit gegeben, auch entsprechend verschiedenartige Effecte hervorzubringen.

Wir betrachten zunächst die *physiologischen Wirkungen*. So wie dieselben bei der Reibungselectricität nur während der Entladung der gespannten Electricitäten eintreten, so empfindet man auch, wenn man den Körper als Leiter in den Schliessungsdraht einschaltet, die Wirkung nur bei der Entladung, d. h. im Moment des Schliessens der Kette. Bleibt diese dann geschlossen, so bemerkt man das Durchziehen des Stromes fast gar nicht und nur bei sehr starken Säulen von zahlreichen Plattenpaaren wird der Strom empfindlich. Oeffnet man aber die geschlossene Kette, so erhält man ebenfalls einen, obwohl schwächeren Schlag.

Die Wirkungen auf die Bewegungen von lebenden und todtten Thieren und Menschen sind sehr mannichfaltig und je nach den Umständen und namentlich je nach der Stärke des Stromes verschieden; immer aber werden sie nur durch eine Unterbrechung oder doch durch eine Veränderung in der Stärke des Stromes, nie durch den mit gleicher Stärke fortdauernden Strom bewirkt.

Mit allen oben bezeichneten Ketten kann man, wenn sie nur einige Elemente haben, diese Wirkungen deutlich machen. Man muss nur Sorge tragen, dass die Enden des Schliessungsdrahtes in gut leitender Verbindung mit den Händen kommen, was wohl am besten durch messingene Handhaben von cylindrischer Gestalt geschieht, die man mit etwas Salzwasser befeuchtet. Das abwechselnde Schliessen der Kette hat alsdann an einer anderen Stelle des Drahtes zu geschehen.

Wiederholt man das Oeffnen und Schliessen in kurzer Zeit sehr häufig, so steigert sich die Empfindung durch die wiederholten schwächeren Stösse und Rückstösse zur unerträglichen krampfhaften Empfindung. Man erhält diese Wirkung am einfachsten, obwohl in etwas unvollkommener Weise, wenn man das Ende des irgendwo durchbrochenen Schliessungsdrahtes auf eine metallene Feile legt und mit dem anderen mehr oder weniger schnell über dieselbe hinfährt. Bei der gleichen Anzahl Elemente ist die Empfindung um so heftiger, je schneller und rascher das Oeffnen und Schliessen (das sogenannte Unterbrechen) des Stromes geschieht. Der

Versuch ist mit der Bunsen'schen Kette wie mit dem Oersted'schen Apparate leicht anzustellen.

Statt die Schliessungsdrähte mittelst zweier Griffe in die Hand zu nehmen, welche übrigens aus einem zusammengerollten Bleche mit angelöthetem Draht billig herzustellen sind, kann man auch die Enden desselben in zwei Gefässe mit angesäuertem Wasser tauchen und diese durch Einlegen der Hände verbinden.

Um die Unterbrechungen des Stromes regelmässiger zu machen, schaltet man bei vollkommeneren Apparaten ein Rad in den Leitungsdraht ein, welches dieselben rasch hintereinander hervorbringt. Dieses Rad ist mit Zähnen versehen, auf welchen der eine Draht federnd drückt, während der andere mit dem Rade irgendwie ununterbrochen in leitender Verbindung steht. Dreht man nun das Rad schnell um seine Axe, so tritt eine Schliessung des Stromes ein, so oft der erstere auf einen Zahn drückt, eine Unterbrechung, so oft er von einem Zahne abspringt und, ehe er auf den folgenden schlägt, in den Zwischenraum beider Zähne mündet.

Das *Neef'sche* Blitzrad ist ähnlich construirt, das Rad hat jedoch statt der Zähne an seinem Umfange rechteckige Ausschnitte, welche mit Buchsbaum- oder Ebenholz ausgelegt sind. Das eine Drahtende drückt ohne zu grosse Federkraft auf diesen Umfang, während das andere, wie bei der eben beschriebenen Einrichtung, durch die metallene Axe in ununterbrochener Verbindung mit der Masse der Scheibe bleibt. Die Verbindung beider, mithin auch der electriche Strom wird unterbrochen, so oft ein Holzstückchen unter das federnde Ende kommt und wieder geschlossen, wenn Metall darunter gelangt, was durch rascheres oder langsames Drehen des Rades veranlasst werden kann.

Zu der Hervorbringung physiologischer Wirkungen sind die nothwendigen Unterbrechungsapparate in sehr verschiedener Weise construirt worden und man hat namentlich das Augenmerk darauf gerichtet, dass der Strom durch seine Thätigkeit selbst diese Unterbrechung hervorbringe. Wir werden später, nach vollständiger Erörterung der Eigenschaften electriche Ströme, noch mehrere solcher Apparate kennen lernen, namentlich wenn wir die Anwendung der Electricität specieller betrachten. Zum Zwecke der Ausübung physiologischer Wirkungen pflegt man die durch eine Batterie unmittelbar erzeugte Electricität ohnehin nur ausnahmsweise anzuwenden, indem man secundäre,

sogenannte Inductionsströmungen, vorzieht, welche wir später betrachten werden.

Auch ohne eine Batterie, schon mit einem einfachen Elemente kann man die physiologische Wirkung des galvanischen Stromes bemerklich machen, wenn man denselben mit den Sehnerven in Verbindung bringt. Man braucht nur eine Zinkscheibe auf die Zunge zu legen und ein reines Silberstück zwischen die obere Lippe und die Vorderzähne zu stecken, um bei jedesmaligem Vorstossen der Zunge bis zur Berührung beider Metallstücke im geschlossenen Auge eine Lichterscheinung zu empfinden, die von der Afficirung des Sehnervs herrührt. Zugleich bemerkt man einen eigenthümlichen Geschmack auf der Zunge. Hält man die Metallstücke an einander, so bemerkt man den ruhig circulirenden Strom nicht, nur das Schliessen, weniger das Öffnen kann wahrgenommen werden.

§ 204. Die *physicalischen Wirkungen* der Berührungselectricität bestehen zunächst in der Entwicklung von *Licht* und *Wärme*.

Bringt man die Enden des unterbrochenen Schliessungsdrahtes, die einerseits an die Pole der Batterie befestigt sind, sehr nahe an einander, so springt ein Funken über; dasselbe geschieht beim Öffnen der Verbindung. Es gehört eine sehr grosse Spannung dazu, um den Funken in einiger Entfernung überspringen zu lassen; man verbindet daher, um ihn etwas zu verstärken, die Elemente einer Batterie am besten so, dass ein Element von grosser Oberfläche gebildet wird, also z. B. alle Kupferplatten einerseits und alle Zinkplatten andererseits. Indessen erhält man auch bei schwacher Batterie schon Funken, wenn man die Schliessungsdrähte zur öfteren Unterbrechung des Stromes häufig mit ihren Spitzen an einander reibt, besser noch, wenn man den eben erwähnten Versuch mit der Feile macht. Es kommt alsdann bei der abwechselnden Öffnung und Schliessung jedesmal auch diejenige Entfernung der Drahtenden vor, bei welcher der Funken überspringen kann.

Zu Glühversuchen eignet sich noch besser eine Kette mit wenigen aber grossen Plattenpaaren; ein einziges Zinkkohlenelement, wenn es nicht allzu klein ist (in diesem Falle zwei, in welchem die gleichen Metalle unter sich verbunden sind) geben die Erscheinung schon recht deutlich; noch zweckmässiger wendet man dazu den oben (S. 205) erwähnten einfachen Trogapparat an. Man befestigt am Kupfer und am Zinkende durch Auflöthen zwei messingene Klammern, die man einfach durch ein Stück Blech mit eingeschnittenem sehr *feinem* Schlitz herstellen kann. Zwischen diesem spannt man dann einen haarfeinen Platinadraht, welcher, wenn er für die Säule kurz und dünn genug ist, sofort in's Glühen kommt. Mit grösseren Batterien bringt man natürlich auch längere Drähte zum Glühen. Eiserne Drähte, wenn sie fein genug sind, leisten dasselbe, schmelzen und verbrennen wohl auch dabei. In Ermangelung sehr feiner Eisendrähte kann man gewöhnliche feine Klaviersaiten durch Einlegen in verdünnte Salpetersäure nach und nach so viel an Dicke verlieren lassen, bis sie dünn genug sind, um nach dem Abwaschen und Abtrocknen gebraucht zu werden.

Ist die Batterie stark genug, so kann man durch Andrücken des feinen Drahtes an die Schliessungsdrähte in geringerer oder grösserer Entfernung denselben erwärmen oder zum Glühen bringen.

Hängt man an das eine Drahtende ein Stück ächtes oder unächtcs Blattgold oder Blattsilber, und sucht man an diesem die Kette mittelst des anderen Drahtes zu schliessen, so verbrennt jedesmal das berührte Theilchen des dünnen Metalls, so oft man die Kette schliesst; dadurch wird die Kette wieder geöffnet, und wenn man daher mit dem Drahte

wie mit einem Messer über das Goldblatt fährt, so brennt sich derselbe unter lebhaften Funken einen Weg durch's Metall, so dass man an diesem beliebige Stücke abschneiden kann.

Verbindet man mit dem Pole einer Batterie von 12—24 guten und nicht zu kleinen *Bunsen'schen* Elementen cylindrische Kohlenstücke, die an der einander zugekehrten Seite zugespitzt sind, und hält diese Kohlen spitzen in geringer Entfernung von einander, so erhält man das schöne Phänomen des electricischen Lichtbogens. Die Kohle verfertigt man aus derselben Masse wie die *Bunsen'schen* Kohlencylinder oder auch aus der harten Kohle, die sich in Gasretorten absetzt; sie müssen durch mehrmaliges Umwickeln mit dem Drahte mit den Polen der Batterie verbunden sein und erst in Berührung mit einander gebracht und dann sehr wenig von einander entfernt werden, worauf man ihre Entfernung allmählich vergrössern kann.

Ausgezeichnet schön und wahrhaft grossartig wird die blendende Lichtentwicklung, wenn dazu eine Batterie von 50—100 und mehr Elementen angewendet wird. Da bei der grossen Hitze die Kohle allmählich verbrennt, so muss man die Erscheinung entweder im luftleeren Raume hervorrufen oder für längere Dauer des „electricischen Kohlenlichtes“ eine Einrichtung anbringen, wodurch die Kohlen spitzen stets in der geeigneten Entfernung gehalten werden.

Der Funke oder der Lichtstrom zeigt die merkwürdigsten Erscheinungen; so z. B. ist er nicht geradlinig, sondern nach einer Seite gekrümmt; er geht, wie Untersuchungen schwacher Lichtphänomene gezeigt haben, vom negativen Pole aus und zeigt fast alle Eigenschaften des Sonnenlichtes; bei einer Batterie von 50 Elementen hat das Licht die Stärke von 500—600 Wachskerzen; sein Glanz ist ungefähr dem vierten Theil desjenigen der Sonne gleich. Bei 100 Elementen kann das Auge das Licht ohne Schmerz nicht ertragen und bei noch grösserer Anzahl verursacht es heftige Kopf- und Augenleiden, wenn man es anders als mit einer farbigen Brille betrachtet.

Man benutzt das electricische Licht zu optischen Versuchen, namentlich zur Beleuchtung statt des Sonnenlichtes. Bei der Construction der hiezu benutzten „electricischen Lampe“ wird der oben angegebene Zweck, wobei die Fixirung des Mittelpunktes des Lichtes noch ausserdem nothwendig ist, auf verschiedenartige, mehr oder weniger einfache Weise erreicht; eine nähere Beschreibung der gebräuchlichsten Mechanismen können wir hier übergangen. Mancherlei Versuche sind gemacht worden, dieses hellste und intensivste aller künstlichen Lichter zur Beleuchtung von Strassen anzuwenden. Die Fälle, wo dieses wirklich geschehen, stehen indessen noch vereinzelt da und auch die Anwendungen zur Beleuchtung nächtlicher oder unterseeischer Arbeiten sind mehr als Versuche zu betrachten.

Die Helligkeit des electricischen Lichtes kann durch die Natur der Substanzen modificirt werden, zwischen denen es überspringt, indem diese dabei zum Theil verflüchtigt werden. Bei dem Kohlenlichte z. B. werden Theile der Kohle unverbrannt von einem Pole zum anderen übergeführt und an demselben manchmal in einem Zustand gefunden, der mit dem geschmolzenen Aehnlichkeit hat. Eine Substanz, welche das Licht besonders intensiv macht, ist Quecksilber, um so mehr, als der Funke durch die gleichzeitige Reflexion vergrössert erscheint. Wenn man also einen Draht in ein Näpfchen mit etwas Quecksilber taucht und den anderen abwechselnd ebenfalls eintaucht und herausnimmt, so springt in der entsprechenden Entfernung, also bei jedem Öffnen und Schliessen,

ein sehr heller Funken über; auch durch blosses Amalgamiren der Kupferdrahtenden erhält man sehr glänzende Funken.

Jede Entladung mittelst Funken ist auch bei der Contact-Electricität von einem eigenthümlichen Geräusch begleitet, welches von dem Knistern des einzelnen Funkens sich bis zum förmlichen Sausen bei dem Kohlenlichte steigert.

Die Wärmeezeugung mittelst der Batterie ist der Gegenstand längerer Untersuchungen in Bezug auf die Umstände gewesen, von denen sie abhängig ist. Dabei hat sich ergeben

1) dass die Erwärmung des Schliessungsdrahtes in gleichem Verhältniss mit dem Widerstande wächst, welchen er dem Strome entgegensetzt, und

2) dass die Erwärmung dem Quadrate der Stromstärke proportional ist.

Es stimmt das erste Gesetz mit der leicht zu bestätigenden Thatsache überein, dass feine Drähte weit früher Erhitzung zeigen, als dicke, indem, wie wir später sehen werden, die Electricität in dicken Leitungen weit weniger Widerstand erfährt, als in solchen von geringem Durchmesser. Wir werden später auch die Mittel kennen lernen, bestimmte Widerstände in die Leitungen einzuschalten, sowie die Stromstärke zu messen oder auf ein bestimmtes Maass zurückzuführen. Dies vorausgesetzt, denke man sich ein bestimmtes Volumen Weingeist, welches durch die feinen Spirale eines Plattenpaares erhitzt wird, die in den dicken Schliessungsdraht eingeschaltet wird und man wird leicht begreifen, wie es möglich ist, durch Beobachtung der Aenderung des Volumens bei verschiedenen Widerständen und Stromstärken, obige Gesetze zu bestätigen.

§ 205. Die *Wärmeentwicklung* im Entladungsdraht starker Batterien wird sowohl zu Schmelzversuchen schwer schmelzbarer Körper, als auch zum Entzünden von Sprengladungen auf grosse Entfernungen und unter Wasser benutzt. Man lässt zum letzteren Zwecke nicht den Funken überspringen, weil man hierauf nicht mit Gewissheit rechnen kann, sondern bringt einen dünnen Schliessungsdraht von Eisen oder Platina, welcher in den dickeren Hauptdraht eingeschaltet ist, zum Glühen.

Um den Versuch im Kleinen anzustellen, kann man eine Glasröhre an beiden Seiten mit dichtschiessenden Korken versehen, durch welchen zwei Kupferdrähte reichen, welche innerhalb der Röhren durch einen sehr feinen Draht verbunden sind. Man fülle dann die Röhre mit Pulver, befestige hinlänglich lange Drähte an die hervorragenden Enden und schliesse mittelst derselben die Batterie; wenn dieselbe stark genug ist, um den Draht zum Glühen zu bringen, so wird das Rohr gesprengt. Will man das Sprengen unter Wasser zeigen, so müssen die Korker wohl verkittet, die Drähte überspannen und noch mehrmals gefirnisst sein. Ist die Röhre hinlänglich gross, so wird der Kübel mit Wasser, worin sie gesprengt wird, auseinander gepresst.

Der kleinste Apparat, mittelst dessen man die Glüherscheinungen zeigen kann, ist *Wollstone's Fingerhutapparat*. Derselbe besteht aus dem etwas plattgedrückten unteren Theile eines silbernen Fingerhutes, in welchem mittelst Siegelack ein Stück Zink eingesetzt ist. Die metallische Verbindung beider Metalle wird durch ein äusserst dünnes Platinstreifchen bewirkt, welches beim Eintauchen des Elementes in verdünnte Säure bis zur Mitte sogleich in's Glühen geräth.

§ 206. Die wichtigsten Wirkungen der Kette sind die *chemischen*. Die einfachste Zersetzung ist die des Wassers, welche durch den

Versuch in folgender Weise veranschaulicht werden kann. Man schneide von einem Trichter mit weiter Röhre diese bis auf einen halben Zoll ab, passe in das stehenbleibende Stück einen guten Kork dicht ein, überziehe diesen innen und aussen mit Guttapercha und stecke zwei Platinadrähte hindurch, an welche man dann im Innern des Trichters zwei schmale Streifchen Platinblech befestigt (siehe Fig. 118). Beim Eingiessen von Wasser darf von diesem kein Tropfen durch den Kork sickern. Dem Wasser setze man etwas Schwefelsäure zu, und verbinde die beiden vorragenden Platinadrähte mit den beiden Polen einer zur Kette verbundenen Batterie von mindestens 4 Elementen. Es wird sich sogleich beim Schliessen derselben eine Gasentwicklung an beiden Platinablättchen zeigen. Mitteltst zweier Reagenzröhren, welche man mit angesäuertem Wasser füllt, mit dem Daumen verschliesst, um sie erst unter dem Wasser des Trichters wieder zu öffnen und über die Platinablättchen zu stülpen, kann man leicht beide Gase getrennt auffangen (s. d. Fig. 118.)

Fig. 118.

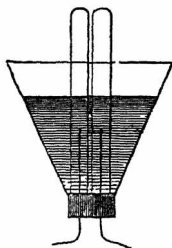
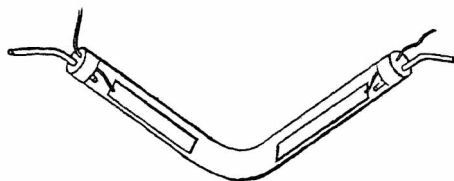


Fig. 119.



Recht bequem zur Veranschaulichung aber weniger zum directen Auffangen der beiden Gase ist auch der Apparat Fig. 119, welchen weiter zu beschreiben wohl nicht erforderlich ist. Die Gase, welche aus den engen Gasröhren entweichen, müssen zum Auffangen durch biegsame Röhren in Schalen mit Wasser geleitet werden, worin man über den Mündungen der Röhren wie oben die Glasröhren aufzustellen hat.

Man beobachtet sehr bald, dass das an einem Pole entwickelte Gas das doppelte Volumen des am anderen Pole erhaltenen beträgt. Wenn man, nachdem hinreichend Gas gesammelt worden, den Inhalt beider Röhren mit einem brennenden, resp. glimmenden Holzspan untersucht, so wird man finden, dass das Gas von grösserem Volumen mit blauer Flamme brennt, während das andere den glimmenden Holzspan zum hellen Brennen wieder entzündet. Ersteres ist also der Wasserstoff, letzteres der Sauerstoff.

Jener als der electropositive Bestandtheil des Wassers sammelt sich am negativen, dieser als der electronegative am positiven Polende der Batterie.

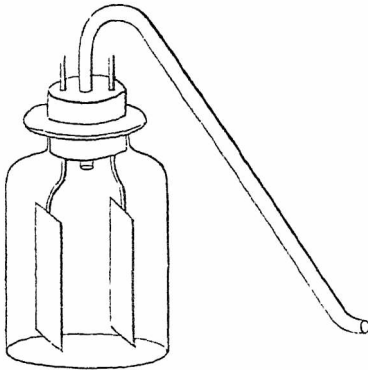
Das Ansäuern des Wassers ist strenggenommen nicht nothwendig; die Bestandtheile der Säure nehmen an der Zersetzung keinen Theil; allein für nicht sehr starke Batterien setzt das reine Wasser dem Strome einen solchen Widerstand entgegen, dass die Schliessung der Kette unterbrochen wird.

Die Anwendung der Platinableche ist durch die Affinität des Kupfers zum Sauerstoff geboten; lässt man die Kupferdrähte direct in's Wasser münden, so wird der positive Draht durch den frei werdenden

Sauerstoff oxydirt und bei Gegenwart einer starken Säure das entsprechende Kupfersalz gebildet, welches wieder selbst eine Zersetzung erleidet.

Indessen kann man auch blankes Eisenblech statt des Platinableches anwenden, wobei aber nicht angesäuertes Wasser, sondern eine Auflösung von 1 Th. Aetzkali in 9 Th. Wasser zur Zersetzung genommen werden muss, worin das Eisen sich nicht so rasch oxydirt. Wickelt man die Eisenplatte spiralförmig auf und hat man eine starke Batterie, so kann man grössere Quantitäten Sauerstoff und Wasserstoff in dieser Weise darstellen.

Fig. 120.



Leichter findet die Zersetzung des Wassers statt, wenn beide Polenden unter derselben Glocke münden und die Leitung also nicht durch den Weg unter beiden Glaswänden hindurch gehindert wird. Taucht man z. B. die Platina- oder Eisenenden, *Electroden* genannt, in ein Gläschen mit Wasser, in dessen Korkstopfen eine gebogene Röhre eingesetzt ist (Fig. 120), so erhält man an der Mündung dieser einen Strom *Knallgas*, welcher um so stärker ist, je energischer die Batterie wirkt, so dass man diesen und ähnliche Apparate als Messinstrumente für die Stromstärke benutzt, indem dieselbe der Menge des in einem bestimmten Zeitraume entwickelten Knallgases

proportional sein muss. Derartige Apparate hat man von verschiedener Form construirt.

Will man Knallgas anzünden, so hat man namentlich bei starker Entwicklung darauf zu achten, dass dies nicht unmittelbar über der Mündung der Glasröhre geschieht, weil, selbst bei Wasserabsperrung, leicht ein Zurückschlagen und Zersprengen des Glases erfolgen kann. Man wartet am besten ab, bis die Blasen nach dem Rand des Gefässes gegliedert sind, oder lässt sie in Seifenwasser ein zusammenhängendes Haufwerk bilden, welches man erst ansteckt, wenn der Apparat daraus entfernt ist. Auch kann man eine thünerne Pfeife an der Röhre anbringen und dann Knallgasseifenblasen aufsteigen lassen, die aber erst in einiger Entfernung über der mit der Hand zu verschliessenden Oeffnung angezündet werden dürfen.

§ 207. Alle zusammengesetzte Körper werden durch den galvanischen Strom zerlegt, indem stets die positiven Bestandtheile nach dem negativen Pole gehen und umgekehrt. Die Art dieser Zersetzungen ist indessen nicht so einfach, wie sie auf den ersten Blick scheint; die Gegenwart des Wassers als Leitungsmittel veranlasst selbst für sehr einfache Verbindungen eine Verwickelung des Vorganges und bei solchen Stoffen, welche aus mehreren Elementen gebildet sind, ist ohnehin die Möglichkeit vorhanden, dass die näheren oder die entfernteren Bestandtheile frei gemacht werden. Hierauf ist die Stromstärke, der Grad der Verdünnung, das Lösungsmittel und manches Andere von Einfluss, so dass sich keine allgemeinen Gesetze aussprechen lassen und dass das Studium der Zersetzungen durch die Electricität ein ausgedehntes und noch keineswegs

vollständig erforschtes Feld darbietet. Einige Beispiele über recht augenfällige Zersetzungen mögen hier noch Platz finden.

In eine Uförmige Glasröhre, wie die oben Figur 119 angegebene, bringe man die Lösung irgend eines neutralen Salzes, wie z. B. des schwefelsauren Kalis. Man färbe sie durch etwas Lackmuslösung violett und schliesse nach dem Eintauchen der beiden Electroden die Kette, (welche auch aus nur einem Elemente bestehen kann). Nach kurzer Zeit wird man die Flüssigkeit an dem einen Pole roth, am anderen blau werden sehen und zwar am negativen blau, am positiven roth, indem sich die (negative und Lackmus röthende) Säure nach dem positiven Pole, die (positive und Lackmus bläuende) Basis an den negativen Pol begibt. Aendert man die Drähte nun, ohne die Flüssigkeit umzuschütteln, so dass die entgegengesetzten Polenden einmünden, so geht jede Farbe durch das neutrale Violett in die entgegengesetzte über.

Bringt man die Salzlösung in zwei Schalen, welche durch ein heberförmiges, mit derselben Lösung gefülltes Glasrohr in Verbindung stehen, und taucht man in jede Schale einen Pol einer etwas starken Batterie, so erhält man nach einiger Zeit in der einen die Säure, in der andern die Basis allein in Lösung. Sehr starke Ströme bewirken sogar, wenn man den positiven Pol in die Lösung der Basis, den negativen in die der Säure taucht, die Umtauschung beider Lösungen, wenn sie auf die eben bezeichnete Art verbunden sind.

Leicht reducibare Oxyde kann man durch blosse Berührung derselben mittelst zweier Platinaelectroden in Metall und Sauerstoff trennen; andere erfordern wegen der Leichtigkeit, womit sich das ausgeschiedene Metall wieder oxydirt, besondere Vorkehrungen. Leitet man die Poldrähte in geschmolzenen Salpeter, so entwickeln sich am positiven Pol Sauerstoff und salpetrige Säure, am negativen wird das Kali, jedoch nicht im reinen Zustande frei, weil hier das Platina selbst oxydirt wird, indem die chemischen Affinitäten die electriche Zersetzung modificiren.

Bringt man ein Stückchen kaustisches Kali auf Platinblech, welches mit dem positiven Pole verbunden ist und taucht den negativen Pol draht in eine Aushöhlung desselben, so erhält man zwar das Metall rein abgeschieden, allein es verbrennt sogleich wieder; wenn man aber etwas Quecksilber in die Höhlung legt und in dieses den negativen Pol leitet, so erhält man das beständigere Amalgam des Kaliums, aus welchem das Metall durch Destillation abgeschieden werden kann. Sehr interessant ist die ähnliche Zersetzung des Chlorammoniums, welche man mittelst eines ausgehöhlten Stückes dieses Salzes ebenso bewerkstelligt. Ein Tropfen Wasser zum Quecksilber in die Höhlung gebracht, beschleunigt die Wirkung; es entwickelt sich am positiven Ende etwas Chlor, während am negativen das sehr voluminöse Ammonium-Amalgam gebildet wird.

Giesst man eine gesättigte Lösung von Salmiak in eine Schale und taucht man die Platinplatte einer starken Batterie von 6—8 Elementen hinein, so entwickelt sich an der etwas schief gehaltenen positiven Platte Chlorstickstoff; wenn man auf die Oberfläche der Flüssigkeit etwas Terpentinöl gegossen hat, so explodirt der Chlorstickstoff beim Aufsteigen in demselben sehr lebhaft; der Versuch gelingt namentlich, wenn man die Flüssigkeit erwärmt hat.

Mittelst starker electriche Batterien sind zuerst von *Davy* und in neuester Zeit nach einem eigenthümlichen Verfahren von *Bunsen* die Metalle der schwer reducibaren Oxyde auch in grösseren Quantitäten dargestellt worden. Aus leicht reducibaren Oxyden, wie Kupferoxyd-, Silberoxyd- und Goldoxydlösungen gelingt die Reduction auch mit ein-

zelen schwachen Elementen sehr schnell. Ein Beispiel davon bilden die *Nobilitischen Farbenringe*, deren mannichfache Farben durch die Lichtbrechung ¹⁾ in den dünnen Metallüberzügen hervorgebracht wird, welche der electriche Strom in einer auf einem anderen Metalle befindlichen Metalllösung bewirkt.

Am einfachsten erhält man diese Farbenringe auf einer kleinen Silbermünze von möglichst reinem Silber, welche man unter wiederholtem Ausglühen recht dünn auseinanderklopft. Man macht ihre Oberfläche durch Hämmern und Schleifen vollkommen eben und blank, und bringt dann einige Tropfen einer Lösung von essigsauerm Kupferoxyd (Grünspan mit etwas Essigsäure) darauf. Dann berührt man das Silber durch diese Flüssigkeit hindurch mit einem Stückchen zugespitzten Zinkblech oder einem zugespitzten runden Stäbchen dieses Metalls. Nach und nach bemerkt man das Entstehen der Ringe, welche schöner werden, wenn man beide Metalle mit einer Batterie von einigen Elementen verbindet, wobei aber das am positiven Pol befindliche Zinkstäbchen die mit dem negativen verbundene Silberplatte nicht ganz berühren darf. Die Ringe bestehen aus Kupfer und sind concentrisch um die Berührungsstelle gruppirt.

Den Niederschlag von Bleihyperoxyd, welcher in einer Auflösung von Bleioxyd in Alkali durch den electriche Strom hervorgebracht wird, wendet man jetzt häufig zur Verzierung von Gegenständen aus Metall, namentlich aus Neusilber und ähnlichen Legirungen an. Man löst zu diesem Ende 1 Th. Aetzkali in 5—6 Theilen Wasser auf und kocht die Lösung mit einem Ueberschuss von feingeriebener Bleiglätte einige Zeit lang. Die filtrirte Lösung wird in ein bleiernes oder messingenes Gefäß gegossen, in welches man den mit dem färbenden Ueberzuge zu versehenen Gegenstand in Verbindung mit dem positiven Pole einer drei- oder mehrpaarigen Kette einsenkt, ohne dass er das Gefäß berühren darf. Die Flüssigkeit verbindet man dann leitend mit dem negativen Pole. Man nimmt zur Ladung der Kette nur schwach gesäuerte Flüssigkeiten; damit der Niederschlag nicht zu rasch erfolgen und man bei der gewünschten Farbe stehen bleiben kann. Am negativen Pole scheidet sich gleichzeitig Blei aus. Der *Versuch* kann leicht angestellt werden.

Die Zersetzung des *Jodkaliums* durch den electriche Strom ist in neuester Zeit bei der chemisch-electrischen Telegraphie angewandt worden; man kann sie leicht durch Stärkekleister sichtbar machen. Man befeuchte Papier mit einer durch etwas Kleister verdickten Lösung von Jodkalium, verbinde dasselbe mit dem einen Pole einer schwachen Batterie und berühre es mit dem Drahte des anderen Poles; an der Berührungsstelle erscheint durch die Wirkung des augenblicklich ausgeschiedenen Jods auf die Stärke sofort ein blauer Fleck; durch Hin- und Herbewegen des Drahtes kann man beliebige kleine Zeichnungen und Züge auf dem Papiere hervorbringen. Manches Papier ist mit Stärke geleimt; hier genügt ein Befechten mit Jodkaliumlösung allein.

§ 208. Die wichtigste und ausgedehnteste Anwendung der chemischen Wirkung galvanischer Ströme ist in der *Galvanoplastik* gemacht worden.

Wir haben schon oben bei manchen Ketten erwähnt, dass sich an dem negativen (Kupfer-) Pole aus der daselbst befindlichen Kupferlösung

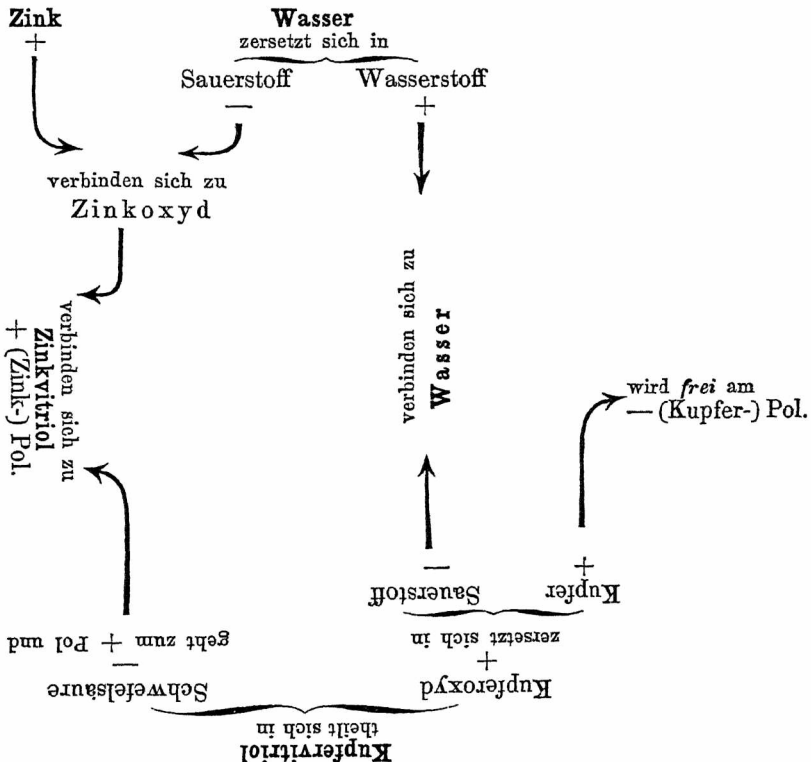
¹⁾ Ueber die Ursache dieser Erscheinung s. die Lehre vom Lichte.

fortwährend metallisches Kupfer abscheidet. Dasselbe nimmt genau die Form der Oberfläche des Metalls an, worauf die Ablagerung erfolgt, und wenn man das Ganze so einrichtet, dass man den Niederschlag abnehmen kann, so erhält man eine getreue *Copie* der niederschlagenden Oberfläche, in welcher die erhabenen Stellen derselben vertieft, die vertieften erhaben erscheinen.

Dieses ist das Grundprincip der Galvanoplastik, welche wir hier etwas näher betrachten wollen, um so mehr, als die Anstellung der betreffenden Versuche viel Lehrreiches und Interessantes darbietet.

Zu grösserer Deutlichkeit wiederholen wir noch einmal den chemischen Vorgang im Inneren der *Daniell*'schen Kette, welche aus Zink und Kupfer in metallischer Berührung, aus Schwefelsäure, worin das Zink und Kupfervitriol, worin das Kupfer befindlich ist, besteht.

Nach dem positiven oder Zinkpole geht der Sauerstoff des Wassers und bildet mit dem Zink Zinkoxyd; eben dahin geht der negative Bestandtheil des Kupfervitriols, die Schwefelsäure, so dass also schwefelsaures Zinkoxyd entsteht. Der Wasserstoff des Wassers geht zum negativen oder Kupferpole, trifft daselbst mit dem vom Kupfervitriole herrührenden (positiven) Kupferoxyde zusammen, dessen Sauerstoff sich mit dem Wasserstoff verbindet, wodurch also Kupfer metallisch ausgeschieden wird. Folgendes Schema wird dies verdeutlichen.



Wir haben früher schon erfahren, wie man durch entsprechende Vorkehrungen diese Zersetzung benutzt, um die Kette auf einer constanten Wirkung zu erhalten. Der dabei auf dem Kupfer selbst entstehende metallische Niederschlag brachte zuerst *Jacobi* auf den Gedanken, denselben zum Abdrücken von Münzen, Kupferplatten u. s. w. zu benutzen. Seither ist die Methode vielfach verbessert worden und man pflegt jetzt nicht mehr den Niederschlag in der Kette selbst vor sich gehen zu lassen, sondern diese abgesondert zur Electricitätserregung zu gebrauchen und in einem *besonderen Gefässe* die Zersetzung des Kupfervitriols und die Niederschlagung des Metalls auf eingelegte Formen zu bewerkstelligen. Indessen bleibt es stets auch hier Nothwendigkeit, eine Vorkehrung zu treffen, den Sauerstoff und die Schwefelsäure, welche nach der Niederschlagung von Kupfer aus Kupfervitriol frei werden, wegzunehmen, und die Kupfervitriollösung sowohl auf gleicher Concentration als auch frei von Schwefelsäure und unvermischt mit Sauerstoffblasen zu erhalten. In den getrennten Niederschlagszellen erreicht man dies einfach dadurch, dass man dem Polende, welches der abzuprägenden Form gegenüber in den Kupfervitriol taucht, die Gestalt einer Kupferplatte gibt. An dieses Kupfer geht dann bei der Zersetzung des Kupfervitriols der Sauerstoff und die Schwefelsäure, so dass hier eben so viel Kupfervitriol gebildet wird, als durch das Niederschlagen des Kupfers am anderen Pole zersetzt wurde.

Nach diesen allgemeinen Erörterungen gehen wir zur specielleren Beschreibung der gebräuchlichen Apparate über.

§ 209. Den einfachsten Apparat, bei welchem die Zersetzung des Kupfervitriols in der Erregungszelle vor sich geht, kann man sich folgendermassen darstellen.

Man nehme ein weites Glas A (s. d. folgende Fig. 121), in welches ein anderes etwas engeres, an beiden Seiten offenes B passt. Hierzu kann man entweder einen kurzen weiten Lampencylinder anwenden oder, wenn man den Apparat in etwas grösserem Massstabe construiren will, von einem Zuckerglase den Boden mittelst Sprengkohle absprengen. In letzterem Falle hat man die Bequemlichkeit, den eingezogenen Rand des Glases bequem zur Befestigung einer Schweins- oder Rinds-Blase b über dessen Mündung benutzen zu können. Diese wird im feuchten Zustande darüber gespannt und möglichst fest gebunden. Um das Glas dreht man einen starken Draht mit drei oder vier vorstehenden Enden, mittelst dessen der innere Cylinder auf den äusseren so aufgehängt werden kann, dass unter der Blase noch 1—2 Zoll Raum bleibt. Statt dieses Drahtes kann man auch einen kleinen Dreifuss aus Thermometeröhren zusammensetzen; man hat dann den Vortheil, dass die Blase zugleich etwas unterstützt wird. In den inneren Cylinder kommt ein Zinkblock Z, an welchem ein längerer Kupferdraht oder ein Kupferstreifen angelöthet ist. Man legt das Zink entweder, wenn es die Verengung des Zuckerglases erlaubt, auf dessen einspringenden Rand oder befestigt den Kupferdraht in ein auf den Rand gelegtes Brettchen, so dass das Zink frei im Cylinder hängt; es darf die Blase nicht berühren, muss jedoch möglichst nahe daran sein. Gut ist es, das Zink zu amalgamiren und in Fließpapier oder Flanell einzuschlagen, wodurch man das Herabfallen einzelner Theile verhütet.

Unter der Blase befindet sich die Form (ihre Heistellung soll gleich besprochen werden) in metallischer Verbindung mit einem Kupferdraht oder einem Streifen Kupferblech C. Sie muss etwas entfernt von der Blase sein und wird in ihrer Lage durch Aufhängen des Drahtes auf dem Glasrande erhalten oder durch einen hölzernen Untersatz gestützt. Ist

die Form aus Metall, so legt man sie nur auf den reinen metallischen Kupferstreifen; ist sie aus einer weichen Masse gebildet, so steckt man diesen seitwärts hinein. So weit beide Drähte in die Flüssigkeiten tauchen, werden sie mit Wachs oder Siegellack überzogen. Ihre Verbindung ausserhalb des Apparates kann man durch eine Klemmschraube, eine Drahtklemme oder auch so bewirken, dass man beide in ein Näpfchen mit Quecksilber tauchen lässt. Die Flüssigkeiten, welche man in die beiden Gefässe bringt, sind für das innere Wasser mit $\frac{1}{20}$ — $\frac{1}{30}$ Schwefelsäure, für das äussere eine concentrirte Kupfervitriollösung, in welche man ein Säckchen mit Kupfervitriolkrystallen einhängt.

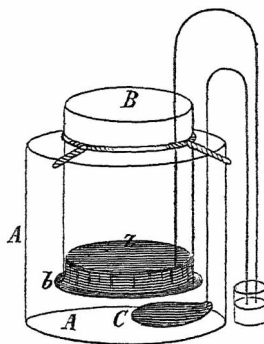
Den ganzen Apparat zeigt Fig. 121.

Als Form benutze man bei blossen Versuchen irgend eine Münze, welche man vor dem Einlegen gut reinigt, glättet und dann mit etwas Oel sorgfältig einreibt. Damit dieselbe nicht rings umher mit Kupfer überzogen werde, umgibt man sie, wenn sie auf dem Drahte oder dem Bleche aufliegt (das man zweckmässig etwas breiter als die Münze nimmt) an ihrem Rande mit Wachs und überzieht damit überhaupt alle Theile, auf welchen sich kein Kupfer niederschlagen soll, die Berührungsstelle mit der Leitung natürlich ausgenommen.

Nach dem Eintauchen und der Herstellung der Schliessung überzieht sich die Münze sofort mit einem dünnen Ueberzuge, der nach und nach dicker wird, und nach 24 Stunden hinreichend dick ist, um ihn ablösen zu können. Dieses geschieht entweder nach dem Abfeilen des Randes, mittelst einer Messerklinge, oder durch Erwärmen des Ganzen über einer Spiritusflamme, wobei die Trennung meist mit einem Knalle erfolgt.

Wenn man eine getreue Copie der Münze haben will, so muss man natürlich den so erhaltenen vertieften Abdruck nochmals wie die Münze selbst behandeln und davon einen Abdruck machen, der alsdann der einen Hälfte der Münze vollkommen gleich wird. Will man direct durch den ersten Niederschlag die erhabene Copie haben, so muss man die Münze erst abformen, was man am leichtesten mittelst eines leicht flüssigen Metallgemisches vornimmt, welches man über die schwach erwärmte und mit einem Papierrande umgebene Münze giesst (8 Wis-muth, 8 Blei und 3 Zinn geben z. B. eine gute Legirung zu diesem Zwecke). Auch kann man einen Abguss aus einem anderen Materiale, das an und für sich nicht leitend ist, machen, und die Oberfläche dieser Form durch einen zweckmässigen Ueberzug leitend machen. Dazu nimmt man z. B. Wachs mit $\frac{1}{4}$ Gyps, umgibt die Form mit einem Papierrand und überzieht sie vor dem Uebergiessen (mit der *möglichst wenig erhitzten* Masse) mit einer Lösung von Stearinsäure in Aether, welche rasch trocknet und das Loslösen des Abgusses sehr erleichtert. Um solche oder aus ähnlichen nicht leitenden Stoffen construirte Formen an der Oberfläche leitend zu machen und mit dem Leitungsdraht in leitende Verbindung zu bringen, überpinselt man sie mit fein geschlämmtem Graphit mittelst eines feinen Haarpinsels und führt einen Strich davon an der Seite der Form herunter, wo der Draht eingesteckt werden soll. Auch diesen

Fig. 121.



Strich muss man, ebenso wie den ganzen Rand der Form, durch Wachs vor dem Kupferüberzuge schützen.

Endlich ist auch die Guttapercha anzuführen, die sich trefflich zum Abklatschen von abzuformenden Gegenständen eignet. Man macht sie in heissem Wasser weich und drückt sie dann fest und sorgfältig an; die Oberfläche wird ebenso wie die der Wachsform leitend gemacht.

Man kann auch mittelst eines *Bunsen'schen* oder anderen constanten Elementes Verkupferungen vornehmen. Zu diesem Zwecke verbindet man die Form mit dem negativen Pole und bringt sie, in eine Kupfervitriollösung eingetaucht, einer Kupferplatte gegenüber, welche an allen Seiten etwas über die Form vorsteht und mit dem positiven Pole der Batterie verbunden ist.

Handelt es sich um sehr genaue und sorgfältige Arbeit, so schaltet man bisweilen Vorrichtungen ein (s. u. Rheostate), welche dazu dienen, den Strom auf einer bestimmten, für die Operation besonders geeigneten Stärke zu erhalten, welche man an der Ablenkung einer einfachen Magnetnadel leicht erkennen kann. Damit sich der Ueberzug fein und dicht an die Form anlege, muss man den Strom während des Anfanges des Niederschlages ziemlich schwach sein; später, wenn es sich nur um die Verstärkung der bereits gebildeten Schicht handelt, kann man den Niederschlag durch Verstärkung des Stromes beschleunigen. Als Mittel dazu dient sowohl die Concentrirung als auch die Erwärmung der Kupfervitriollösung und die Verstärkung der Säureflüssigkeit in der Batterie.

Eine sehr wesentliche Anwendung hat die Galvanoplastik dadurch erfahren, dass man sie zur Vervielfältigung der gravirten Kupferplatten anwendet. Da hier auch die feinsten Vertiefungen wiedergegeben werden müssen, so pflegt man auch den ersten Abdruck auf galvanischem Wege vorzunehmen. In der Regel bedient man sich hierbei, wie auch bei der Vervielfältigung der Holzschnitte zum Buchdruck, der ersten der oben angegebenen Zusammenstellungen, wo der Niederschlag sich auf dem Kupfer des galvanischen Elementes selbst bildet. Man benutzt dann aber nicht kleine runde Gefässe wie bei dem vorhin construirten Apparate, sondern viereckige hölzerne Kästen. Der innere Kasten wird dann nicht mit einer Blase, sondern mit Kalbleder überspannt, über welches die Zinkplatte zu liegen kommt. Bei dem Abdrücken der Holzschnitte pflegt man durchgängig Guttapercha-Matrizen anzuwenden, welche die Holzformen nicht verderben und wodurch es möglich wird, von einer Holzform eine ganz beliebige Anzahl von gleichen Kupferformen herzustellen, welche also zu einer unbeschränkten Anzahl von Abdrücken benützt werden können, wie sie eine Holzform gar nicht aushalten würde.

Nach dem eben Angegebenen scheint es nicht möglich, Gegenstände abzuformen, welche sich nicht mit Leichtigkeit von ihrem Abdrucke abheben lassen, welche also entweder ganz erhaben sind oder unterarbeitete oder übergreifende Theile haben, wie Statuen, Büsten u. s. w. Es ist indessen in neuester Zeit gelungen, jeden Gegenstand, von welcher Gestalt er auch sei, galvanoplastisch abzuformen. Man bildet entweder die Theile einzeln und setzt sie dann künstlich zusammen oder man stellt erst eine Hohlform durch einen galvanischen Niederschlag auf dem Gypsmodel, Durchschneiden, Herausnehmen des Gypses und Zusammenlöthen der beiden Hälften her und bewerkstelligt alsdann den Niederschlag in dieser Hohlform. Letzteres ist aber stets mit Schwierigkeiten verbunden. Wie dieselben überwunden werden, wollen wir jedoch hier nicht weiter erörtern.

Nur *eine* Methode möge noch erwähnt werden, wie man auf galvanischem Wege einen Gegenstand über einer Form, die alsdann zerstört wird, also nur ein Mal erhalten kann, eine Methode, welche sich zur Darstellung monumentaler Gegenstände u. s. w. eignet. Man überzieht das aus Wachs oder dergleichen verfertigte Modell mit Graphit und erzeugt darüber mittelst eines sehr schwachen Stromes einen dünnen und möglichst gleichförmigen Niederschlag. Wenn derselbe die Dicke des Papiers erhalten hat, so schmilzt man das Wachs aus, entfernt die letzten Reste aus der gebildeten hohlen Form mittelst chemischer Mittel und bewirkt dann, zur Verstärkung derselben *im Inneren* einen galvanischen Niederschlag. Da somit die *äussere* Fläche des zuerst gebildeten Niederschlages die Gestalt des Gegenstandes ausmacht, so erkennt man, dass es vor Allem auf die Gleichmässigkeit des ersten Ueberzuges ankommt.

§ 210. Auch andere Metalle können mittelst der Electricität in Gestalt von Ueberzügen auf leitende Körper niedergeschlagen werden. Namentlich befolgt man dieses Verfahren zur Vergoldung und Versilberung. Die geeignetsten Verbindungen, welche man anwendet, um Gold und Silber zu lösen, sind die *Doppelcyanküre*.

Um z. B. die Goldlösung (Goldcyankalium) zu erhalten, verfähre man wie folgt: Man löthe an den negativen Poldraht irgend einer galvanischen Batterie einen schmalen Platinastreifen, an den positiven ein Blatt aus reinem Golde; wozu man etwa ein Stück von einem Dukaten, zum Blech ausgeschlagen, verwenden kann. Beide Polenden tauche man dann in eine Lösung von *Cyankalium*¹⁾ in destillirtem Wasser und lasse sie nach dem Schliessen des Stromes so lange darin, bis auf dem Platinastreifen Gold anfängt niedergeschlagen zu werden, worauf die Lösung zum Gebrauche fertig ist.

Die Gegenstände, welche vergoldet (oder versilbert) werden sollen, müssen vollkommen rein und blank, von Staubtheilchen u. s. w. frei sein, weil sich alle fremden Körper später deutlich zeigen würden. Man wäscht sie am besten zuerst mit Lauge, dann mit verdünnter Salpetersäure und reibt sie dann noch mit Weinsteinpulver ab. Dazu bedient man sich einer steifen Bürste, und spült sie endlich unmittelbar vor dem Gebrauche mit reinem Wasser ab. Man *hängt* die Gegenstände mittelst eines Drahtes an dem negativen Pole in die oben bezeichnete Lösung, wechselt den Aufhängepunkt einige Male, und bringt an dem entgegengesetzten Pole eine Platte desselben Metalls, von welchem der Ueberzug erfolgen soll (in unserem Falle also von Gold) an, welche wo möglich dem Gegenstande parallel gestellt werden muss.

¹⁾ Diese Substanz, mit welcher man äusserst vorsichtig umgehen muss, weil sie höchst giftig ist, kann man, wenn man sie käuflich nicht erhalten sollte, sich selbst aus *Blutlaugensalz* darstellen. Zu diesem Zwecke werden von diesem letzteren 8 Theile nach dem Pulvern auf einem Eisenbleche getrocknet und mit 3 Theilen getrocknetem kohlenurem Kali gemengt. Dann erhitzt man einen hessischen Tiegel zum Rothglühen, bringt das Gemisch allmählich in denselben, und erhitzt es darin noch einige Zeit lang bis die Gasentwicklung aufhört, zur mässigen Rothgluht. Wenn eine herausgenommene Probe zur reinen weissen Masse erstarrt, so nimmt man den Tiegel vom Feuer und giesst nach einiger Ruhe den Inhalt auf eine reine Steinplatte aus. Hierbei hat man sich besonders vor den bisweilen umherspritzenden Theilen zu hüten. Die erkaltete Masse bewahrt man trocken in einem Glase auf und löst sie erst in Wasser, wenn man die Lösung benutzen will.

Die Gefässe, worin der Ueberzug bewirkt wird, sind stets von der Kette getrennt und bestehen aus Glas oder Porzellan. Als Kette benutzt man am besten ein *Daniell'sches* Element, in Ermangelung desselben ein *Bunsen'sches*. Beim Schliessen der Kette hat man zuerst den positiven Poldraht an die Kette zu befestigen und daran den negativen anzuhängen. Hierbei hat man sich vor dem Anfassen des Gegenstandes mit den blossen Fingern zu hüten und denselben auch vor jeder Berührung mit Quecksilber oder einer dieses Metall enthaltenden Lösung zu schützen.

Die Temperatur der Vergoldungsflüssigkeit muss mindestens 12 bis 15° R. betragen; eine Erhöhung bis auf 50° beschleunigt aber den Vorgang sehr. Stets setzt sich auch etwas Gold in Form eines losen Pulvers oder grösserer krystallinischer Haufen ab, wovon der Gegenstand durch Herausnehmen, Abspülen und Abbürsten mit Wasser und Weinsteinpulver gereinigt werden muss. Man kann diesen Uebelstand auch wenigstens theilweise dadurch vermeiden, dass man von Zeit zu Zeit Cyankalium zur Lösung bringt.

Die Stromstärke, welche sich nicht wohl ohne einen eigenen eingeschalteten Apparat erkennen lässt, darf nie so stark sein, dass der Niederschlag zu rasch erfolgt, oder dass Gasblasen sich in der Flüssigkeit zeigen. Man erkennt den ruhigen Fortgang des Absatzes an der reinen Farbe des Goldes und an dem Umstande, dass ein Leinwandlappen, wenn man damit über den herausgenommenen Gegenstand reibt, ungefärbt bleibt. Die Stärke der Vergoldung erkennt man an der verfloßenen Zeit, indem sich bei Gleichheit der Stromstärke in gleichen Zeiten gleiche Mengen Gold niederschlagen; auch an der Gewichtsabnahme des eingetauchten Gold-Electroden kann man die Menge des niedergeschlagenen Goldes ermessen.

Schaltet man einen Stromstärkemesser ein, so muss man durch Versuche ermitteln, wie viel für eine bestimmte Anzeige desselben in einer gewissen Zeit ausgefällt wird; dann lässt man die Vergoldung, welche bei zu grosser Dünne nicht halten würde, eine entsprechend lange Zeit dauern.

Gegenstände von *Eisen* oder *Stahl* müssen, wenn sie vergoldet werden sollen, vorher verkupfert werden (s. u.) weil die Vergoldung sonst nicht haftet.

Sehr befördert wird die Vergoldung, wenn man der Flüssigkeit eine geringe Menge Schwefelkohlenstoff zusetzt, ohne dass eine Erklärung für diese unbestrittene Thatsache gegeben werden könnte.

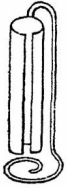
Während der Vergoldung entwickelt sich häufig Blausäure, vor deren Einathmung man sich zu hüten hat.

§ 211. Nach diesen allgemeinen Angaben, wonach man in den meisten Fällen sich hinreichend wird richten können, um ein günstiges Resultat zu erhalten, mögen hier noch einige specielle Beschreibungen sehr einfacher und leicht zu handhabender Apparate zum Vergolden folgen.

Man schleife eine etwa 2" lange und $\frac{1}{2}$ " weite Glasröhre an einer Seite eben, lege dann, wie schon früher angegeben, einen Rand von Guttapercha oder Siegelack darum und binde ein Stück Blase fest darüber; auch aus einem Opodokglas, von dem man den Boden absprengt, kann man eine solche Röhre erhalten. In die Glasröhre kommt eine zum offenen Cylinder gebogene Zinkplatte mit einem Kupferstreifen, welcher unterhalb des Zinkes in eine Spirale ausgeht. Fig. 122 zeigt beide vereinigte Metalle; das Kupfer ist an der senkrechten Stelle mit Wachs überzogen und dient mit seiner Spirale zur Aufnahme der zu

vergoldenden Gegenstände, die demnach nur klein sein dürfen, wie Münzen, Instrumententheile u. s. w.

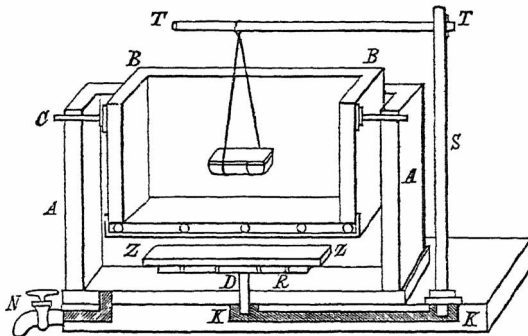
Fig. 122.



Man hänge nun den Zinkcylinder in die Glasröhre und diese mittelst eines darum geschlungenen Drahtes mit vorstehenden Enden auf ein Trinkglas; in die innere Glasröhre bringe man eine Lösung von Cyankalium, in das äussere Glas die oben bezeichnete Goldlösung; natürlich wird die Kupferspirale gleichfalls vergoldet und die Lösung nach und nach erschöpft. Die Kette wirkt sehr kräftig und eignet sich vorzüglich für kleine Gegenstände, die das Zusammensetzen eines grösseren Apparates nicht lohnen. Da der Versuch wenig Mühe und Kosten verursacht, so empfehlen wir diesen vor allen ähnlichen anzustellen, warnen aber vor der Entwicklung von Blausäure, welche hier immer stattfinden muss.

Einen anderen Apparat, bei welchem ebenfalls die Vergoldung innerhalb der Kette vor sich geht und welcher für grössere Gegenstände im Gebrauch ist, zeigt Fig. 123. In dem grösseren Kasten aus gefirnissetem Holz A A ist der Boden durchbohrt und ein Kupferstab D so eingekittet, dass er nach oben und unten etwas vorsteht, auf demselben ist eine Art Rost R von Kupfer befestigt, auf welchem die Zinkplatte L ruht. Das untere Ende von D taucht in den Kanal K K, der in die unterste Platte

Fig. 123.



gebohrt und mit Quecksilber gefüllt ist. Durch denselben steht er mit dem anderen Kupferstabe S in Berührung, welcher durch den horizontalen Arm T und Metalldrähte mit dem daran aufzuhängenden Gegenstande in leitende Verbindung gebracht ist.

Der innere Kasten B B ist zur Aufnahme der Goldlösung bestimmt; der Boden desselben ist durch ein Pergament oder Leder gebildet, dem man durch einen Rost von Holzleisten und gespannten Darmsaiten grössere Festigkeit gibt. In den Zwischenraum zwischen beiden Kästen giesst man sehr verdünnte Schwefelsäure oder gesättigte Kochsalzlösung, so dass sie mit der Goldlösung im inneren Kasten gleiche Höhe hat. Den zu vergoldenden Gegenstand hängt man so ein, dass er noch $\frac{1}{2}$ Zoll über dem Boden des inneren Kastens bleibt. Die Dicke des Goldüberzuges kann man hier nicht anders als aus der Gewichtszunahme des Gegenstandes erkennen; eine Entwicklung von Blausäure findet auch hier statt, weil kein Gold zur Lösung am positiven Pole vorhanden ist.

Etwas abweichend von diesen Methoden, aber sehr einfach in der Ausführung, ist die *Frankenstein'sche* Vergoldungsmethode, welche jetzt vielfach befolgt wird. Man umwickelt den zu vergoldenden Gegenstand lose mit Messingdraht, an welchem ein Stückchen Zink hängt, oder bes-

ser mit einem schmalen von einem Zinkblech abgeschnittenen Zinkstreifen und hängt ihn bei etwa 60° R. in das Goldbad. Dieses erhält man durch Kochen und Decantiren eines Gemisches von 1 Th. Chlorgold, 4 Th. kohlen-saurem Kali, 6 Th. Blutlaugensalz und 10 Th. Wasser, oder aus Goldcyan-kaliumlösung mit etwas Kali oder Natron. Man muss den Gegenstand alle 10 Minuten herausnehmen und reinigen, den Zinkstreifen auch über andere Theile wickeln.

Bei diesem Verfahren ist die Quantität des niedergeschlagenen Goldes ebenfalls nur aus der Gewichtszunahme oder aus der Untersuchung der Flüssigkeit vor und nach der Vergoldung ersichtlich. Dagegen hat derselbe den grossen Vortheil leichter Arbeit, kostenloser Apparate und der Möglichkeit, *Eisen und Stahl direct, ohne vorherige Verkupferung* vergolden zu können.

§ 212. Zum Versilbern bedient man sich im Allgemeinen derselben Apparate und ähnlicher Lösungen wie zum Vergolden. Das Silbercyan-kalium kann man aber auch darstellen, indem man salpetersaures Silberoxyd (Höllensteinlösung) mit Cyankalium ausfällt und den abfiltrirten und ausgewaschenen Niederschlag in Cyankalium auflöst.

Der Silberniederschlag erfolgt nicht so leicht wie der des Goldes; man muss schon eine stärkere Batterie anwenden; am besten lassen sich Kupfer, Messing und Neusilber versilbern. Die Oberfläche des gefällten Metalles ist in der Regel matt und muss also für glatte Gegenstände nach-polirt werden. Im Uebrigen gilt das bei der Vergoldung Gesagte auch hier.

Soll eine schon vorhandene aber abgenutzte Versilberung durch eine neue ersetzt werden, so muss die alte erst weggeschafft werden. Man bewerkstelligt dies am einfachsten in der Batterie, indem man den Gegenstand erst an dem positiven Pole befestigt (und an den negativen eine Silberplatte bringt) und die Ordnung umkehrt, wenn die Versilberung entfernt ist.

Eine *Verkupferung* ist nicht allein für zu vergoldende oder versilbernde Gegenstände aus Eisen und Stahl in der Regel erforderlich, sondern wird auch häufig zum Schutze des Eisens vor Rost angewendet. Die Kupferschicht, welche sich auf bloss chemischem Wege durch Eintauchen von Eisen in eine Kupferlösung bildet, ist nicht haltbar genug; man muss daher die Verkupferung auf galvanischem Wege bewirken. Man nimmt dazu eine Lösung von Cyankupferkalium, welches durch das Vermischen der Lösungen von 2 Theilen Kupfervitriol und 5 Theilen Cyankalium erhalten wird. Zur Zersetzung derselben ist eine starke Batterie von mindestens 3 Elementen erforderlich und eine Temperatur von 80—90° sehr zweckmässig.

Als positiver Pol dient natürlich ein Kupferblech. Es ist wesentlich, das Eisen vorher sorgfältig zu reinigen, an den negativen Pol zu befestigen, zuerst den positiven Pol und dann erst das zu verkupfernde Stück einzusenken. Wird der Kupferüberzug wieder mit Gold überzogen, wie z. B. bei chirurgischen Instrumenten, so macht man erstere nur schwach und legt den Gegenstand sogleich nach dem Abspülen in die Goldlösung, indem man auch hier den positiven Pol zuerst eintaucht; die Vergoldung darf nicht zu schwach sein.

Nicht immer gelingen beide Ueberzüge vollkommen; der Gegenstand muss, wenn alles gut ausfiel, ohne Nachtheil in verdünnte Schwefelsäure gelegt werden können.

Um dicke Gegenstände, wie Maschinentheile u. s. w. durch Kupfer zu schützen, ersetzt man die erste Kupferschicht mit Vortheil durch eine Bleischicht. Zum Verbleien nimmt man eine Auflösung von Bleioxyd

und verdünnter Aetzkalilösung und fällt daraus das Blei durch einen sehr schwachen Strom, worauf man zum Verkupfern eine Lösung von *Kupfervitriol* anwenden kann, wodurch die Gefährlichkeit bei der Behandlung der Cyanverbindungen vermieden wird.

Auch mit einem Ueberzug von *Messing*, also von zwei Metallen zugleich, kann man eiserne Gegenstände überziehen. Um das Messingbad zu erhalten, legt man einen Kupferstreifen als positiven Pol in eine Cyankaliumlösung, bis das am negativen Pole befindliche Platina verkupfert wird; dann vertauscht man das Kupfer gegen ein Stück Zink, bis das Platina eine messinggelbe Farbe angenommen hat. Die eisernen Gegenstände werden zuerst schwach verkupfert und dann in diesem Bade vermessingt, indem man an dem positiven Pole Kupfer und Zink zugleich einhängt.

Einen Ueberzug von *Platina* auf galvanischem Wege hervor zu bringen, hat man vielfach versucht, ohne jedoch bisher einen sicheren Weg zur Erreichung eines dauerhaften Niederschlages gefunden zu haben.

Interessant sind die Erscheinungen, welche das *Antimon* darbietet. Wenn man eine salzsaure Lösung von Chlorantimon durch einen schwachen Strom zersetzt, so scheidet sich das Metall in hellglänzenden Stücken aus, welche beim Ritzen mit einem harten Gegenstande, z. B. einer Feile, unter Explosion und Feuererscheinung zerspringen. Die Erscheinung soll von einem Gehalte von Antimonwasserstoff herrühren.

Die Anwendung der galvanoplastischen *Versilberung* hat in neuester Zeit dadurch eine sehr grosse Ausdehnung gewonnen, dass man fabrikmässig ohne grosse Mühe und mit geringen Arbeitskosten die schönsten Arbeiten nach Guttaperchamodellen ausführen kann, was früher nur durch Giessen, Schneiden, Ciseliren und Graviren zu erreichen war, ohne dass die Handarbeit das Modell so genau hätte wieder geben können, wie der galvanische Niederschlag.

Von weiteren Anwendungen der Galvanoplastik ist die Vervielfältigung genau eingetheilter Stücke von mathematischen Instrumenten zu erwähnen; dadurch wird es möglich, nach einem einzigen genau eingetheilten Modell eine beliebige Zahl genau stimmender Copien zu fertigen.

Ferner ist auch die von *Kobell* erfundene Galvanographie anzuführen, eine Methode zur Erzeugung von Druckplatten über Zeichnungen in Tuschmanier. Die Zeichnung wird mittelst eines Pinsels und einer Farbe von Firniss und einem feinen Pulver, wie Eisenroth oder dergl., auf die versilberte Platte gemalt; dann bringt man diese in den Apparat. Der Niederschlag von Kupfer, welcher Anfangs nur auf den metallischen Stellen stattfindet, breitet sich bald auch auf die nichtleitenden Theile aus und gibt die Zeichnung daher genau wieder; nach gehöriger Reinigung wird der Abdruck wie von einer geätzten Platte gemacht, indem die Schwärze an dem rauhen und etwas vertieften Metalle, wie es sich über den nichtleitenden Stellen absetzte, haftet, an den glatten Stellen aber nicht angreift.

Endlich bildet der Naturselbstdruck, wie er von *Auer* ausgebildet worden ist, eine wichtige Anwendung der Galvanoplastik. Man druckt dadurch namentlich Pflanzentheile und andere flache Naturgegenstände sehr getreu ab; dieselben werden erst zwischen Fließpapier gepresst und getrocknet, dann in Wasser eingeweicht und abermals gepresst, welches Verfahren man 4—5 Mal wiederholt. So verlieren die Pflanzen ihre löslichen Theile und gewinnen an Zähigkeit; auch kleine Insekten kann man ebenso behandeln, Spitzen und ähnliche Gegenstände

bedürfen dieser einleitenden Behandlung nicht. Die geebneten und getrockneten Gegenstände werden dann zwischen einer glatten und dünnen Bleiplatte und einer polirten Stahlplatte mittelst Walzen gepresst. So erhält man einen sehr getreuen vertieften Abdruck des Gegenstandes in der Bleiplatte. Derselbe wird entweder mit Guttapercha oder galvanoplastisch copirt, und auf dieser Copie eine galvanoplastische Druckform erzeugt, welche also der Bleiplatte genau entspricht und deren Abdruck ein getreueres Bild des Gegenstandes geben muss, als man auf irgend eine andere Weise zu erhalten vermöchte.

Der Naturselbstdruck eignet sich besonders für das Studium der lebenden und fossilen Pflanzen, der zarten Insekten, der Häute von verschiedenen Thieren u. s. w. Die dadurch erreichte Feinheit des Abdruckes ist der Art, dass sie erst bei der Betrachtung mit der Lupe recht hervortritt.

§ 213. Wenn man die Platinplatten eines Apparates, welcher zur Zersetzung des Wassers gedient hat, von demselben trennt und mit einem Instrumente verbindet, welches zur Entdeckung der kleinsten Menge Electricität geeignet ist (wir werden dasselbe später kennen lernen), so zeigt sich, dass sie einen dem früheren entgegengesetzten Strom geben. Man erklärt sich diese Erscheinung so, dass man annimmt, an der Oberfläche der einen sei Sauerstoff, an der der anderen Wasserstoff verdichtet worden und somit zwei verschiedenartige Körper vorhanden, welche einen Strom erregen können. Es geht nämlich der positive Strom von der Sauerstoffplatte durch den Schliessungsdraht nach der Wasserstoffplatte und von dieser durch die Flüssigkeit zur Sauerstoffplatte zurück. Da er mithin die entgegengesetzte Richtung des Stromes der Batterien hat, so muss er diesen nothwendig schwächen.

Auch bei anderen Flüssigkeiten als Wasser kommen ähnliche Ablagerungen auf der Polplatte vor, welche einen secundären, dem ursprünglichen entgegengesetzten Strom erzeugen. Man nannte diesen Widerstand des Gegenstromes sonst Polarisation oder Uebergangswiderstand. Sind die Ströme sehr stark so ist dieser Widerstand ohne besonderen Belang; bei sehr schwachen Strömen kann er aber die Wirkung bedeutend schwächen. Er ist z. B. die Ursache, warum man mit einem einzelnen Zinkkupfer-Elemente das Wasser nicht zersetzen kann; hier ist dieser Widerstand und der Leitungswiderstand grösser, als die electromotorische Kraft der Kette. Bei zusammengesetzten Batterien wird letztere vermehrt, jene Widerstände aber bleiben dieselben.

Ein einzelnes *Grove'sches* Element kann indess Wasser zersetzen; als Maassstab für die Stärke dieser Construction mag die Angabe dienen, dass 5 *Grove'sche* Elemente von 7" Länge und 2" Breite (am Platina gemessen) in einer Minute 9 Cubikzoll Knallgas liefern.

Chemische Wirkungen werden in kleinem Maassstabe auch oft unter Umständen hervorgebracht, wo die electriche Erregung nur sehr gering ist. Stellt man z. B. eine mit Platinadraht umwickelte Zinkstange in Wasser, oder berührt man eine darin liegende Silbermünze mit Zink, so entwickelt sich Wasserstoff in geringer Menge. Bringt man in einen Apparat, worin sich Zink, Wasser und Schwefelsäure zur Entwicklung von Wasserstoff befindet, einige Tropfen einer Lösung von Platinchlorid, so wird durch das sofort auf das Zink niedergeschlagene metallische Platina die Gasentwicklung plötzlich verstärkt.

Aehnliches zeigt sich bei der Behandlung von reinem Zink mit reiner Schwefelsäure, wie sie bei gerichtlichen Untersuchungen auf Arsen vorkommt. Es entwickelt sich oft lange Zeit kein Gas, indem beim käuf-

lichen Zink die Anwesenheit von Blei und anderen electronegativen Metallen die Zersetzung durch den entstehenden galvanischen Strom befördert. Im Augenblicke aber, wo etwas eisenhaltige Flüssigkeit zugesetzt wird, reducirt sich aus derselben Eisen und bildet mit dem Zink eine galvanische Kette, welche eine plötzlich eintretende, sehr heftige Gasentwicklung bewirkt.

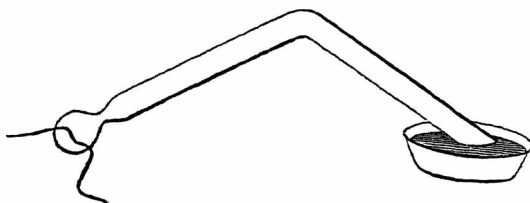
Zink allein, mit Alkalilösung erhitzt, wirkt nicht auf dieselbe ein; bringt man aber zu Zinkfeile, welche sich in einer Lösung von kaustischem Kali befindet, Eisenfeile, und erhitzt das Ganze, so erhält man einen sehr lebhaften Strom von reinem Wasserstoff, ohne dass das Eisen dabei angegriffen würde. In Salzsäure entwickelt sich am Zink wenig Gas; berührt man das Metall aber mit einem Gold- oder Platinablättchen, so beginnt eine sehr lebhaft Wasserstoffentwicklung. Taucht man Kupfer für sich in Salzwasser, so wird es nach und nach oxydirt. Löthet man aber einen Zinkstreifen an das Kupfer, dessen Oberfläche nur $\frac{1}{150}$ von der des Zinkes beträgt, so erfolgt die Oxydation des Zinkes rascher als sonst, das Kupfer aber bleibt unverändert.

Galvanisches oder galvanisirtes Eisen ist Eisen mit einem Ueberzuge von Zink (der aber durch Eintauchen in das geschmolzene Metall, nicht auf galvanischem Wege, erzeugt worden), wodurch das Rosten des Eisens, auch wenn das Metall entblösst worden, in Folge des gebildeten galvanischen Elementes verhütet wird. Eisen, mit Zinn bedeckt, wie es in Weissblech verarbeitet wird, verhält sich umgekehrt. Der Schutz dauert nur so lange, als das Eisen vollkommen bedeckt bleibt; ist es stellenweise, z. B. an Schnittflächen entblösst, so wird das Eisen, in Berührung mit dem sehr electronegativen Zinn stark electropositiv und vereinigt sich noch weit leichter als sonst mit dem Sauerstoff der Luft.

In einzelnen Fällen kann der electriche Strom auch benutzt werden, um die Verbindung zweier Körper hervorzurufen; in manchen der bisher angeführten Beispiele tritt die chemische Zersetzung in Folge einer vorgegangenen Verbindung auf. So kann man das Eudiometer dahin abändern, dass man, statt den electriche Funken zwischen zwei Platinspitzen überschlagen zu lassen, wodurch stets die Verbindung der gemischten Gase unter Explosion geschieht, einen ununterbrochenen Draht durch die Röhre gehen lässt und diesen durch eine nicht zu energische Batterie allmählich zum Glühen erhitzt. Dadurch wird die Vereinigung der zu untersuchenden Gase mit Sauerstoff oder Wasserstoff langsam hervorgebracht und die gefährliche Explosion vermieden.

Dieselbe Einrichtung kann man auch zur Zersetzung des Wassers anwenden, wenn man den weissglühend erhaltenen Draht auf Wasserdämpfe einwirken lässt und die gebildeten Gase fortwährend von demselben entfernt. Dies geschieht z. B. in dem Apparate Fig. 124. In die

Fig. 124.



Kugel a, welche an die gebogene und einerseits offene Glasröhre angeschmolzen ist, ist ein Platinadrahth unter mehrfachen Krümmungen eingeschmolzen. Wenn die Röhre mit Wasser gefüllt und mit dem offenen Ende unter Wasser getaucht ist, leitet man durch den Draht einen starken electrischen Strom; alsbald kommt das Wasser in der Kugel ins Sieden und zersetzt sich alsdann, indem das Knallgas sich in der Biegung der Röhre ansammelt.

§ 214. Es ist namentlich *Faraday*, welcher sich um die chemische Zersetzung durch Electricität verdient gemacht hat. Folgendes ist das Wesentliche der von ihm angenommenen Terminologie und hauptsächlichlichen Gesetze:

Die zur Zersetzung eingetauchten Polenden heissen, wie schon oben erwähnt, *Electroden* und zwar der positive Pol *Anode*, der negative *Kathode*. Die Körper, welche zersetzt werden, heissen *Electrolyten*, die Producte der Zersetzung *Jonen*, und zwar *Anionen* und *Kationen*, je nachdem sie an dem positiven oder negativen Pole ausgeschieden werden.

Nach *Faraday* gelten folgende Gesetze:

1) Es findet eine directe Zersetzung nur bei solchen Verbindungen statt, welche aus 1 Atom-Gewicht des einen und 1 Atom-Gewicht des anderen Körpers bestehen, wonach man sich also, den neueren Ansichten entsprechend, das Wasser ebenfalls in dieser Art zusammengesetzt zu denken hat. Salpetersäure (1 Atom-Gewicht Stickstoff und 5 Atom-Gewichte Sauerstoff) wird in ihrer Lösung im Wasser zwar ebenfalls zersetzt, aber indirect, indem erst das Wasser zerlegt wird und dessen Wasserstoff alsdann die Salpetersäure durch Verbindung mit einem Theile ihres Sauerstoffes reducirt. Das Gesetz hat jedoch nach den Untersuchungen von *Bequerel* keine allgemeine Gültigkeit.

2) Es findet keine eigentliche Anziehung der Elemente durch die Pole der Batterie statt, sondern sie werden durch den Strom zwischen beiden Polen zersetzt und können daher unter Umständen auch zwischen beide Electroden, ohne mit einem derselben in unmittelbarer Berührung zu sein, ausgeschieden werden.

3) Nur Leiter können electrisch zerlegt werden; gelingt es nicht, die Körper durch Auflösung und Schmelzung in leitenden Zustand zu versetzen, so findet keine Zersetzung durch den galvanischen Strom statt.

4) Nur Leiter können dem entsprechend als Flüssigkeiten in der Kette selbst gebraucht werden; die in der Zelle vor sich gehende Zersetzung der Bestandtheile derselben begünstigt und erhöht die Electricitätserregung. Ketten, welche so zusammengesetzt sind, dass keine Zerlegung der Flüssigkeiten stattfindet, haben daher nur geringe Spannung; selbst mangelhafte Leitung in einer Zelle übt einen schwächenden Einfluss auf die ganze Batterie aus.

5) Die Quantität der zersetzten Theile des Electrolyten ist der Quantität der durch denselben geleiteten Electricität proportional. In derselben Zeit und durch den gleichen Strom werden gleiche Atomenzahlen der verschiedenen Körper zerlegt; d. h. die Produkte der Zersetzung stehen bei sonst ganz gleichen Verhältnissen, im Verhältnisse der Atomgewichte.

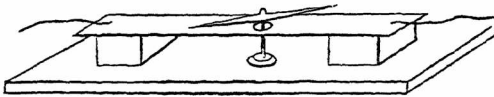
Diese Gesetze werden aber in ihren Erscheinungen dadurch getrübt, dass nicht in allen Fällen die gleichen Producte der galvanischen Zerlegung auftreten; bei secundären Verbindungen z. B. können sie je nach der Stromstärke, so wie nach der Natur der Substanzen sehr verschieden sein, und bald in den letzten Bestandtheilen, bald in einfacheren Verbindungen bestehen. Auch die übrigen Gesetze *Faraday's* sind noch keineswegs als allgemein gültig anerkannt, wie denn überhaupt auf dem Felde

der chemischen Zersetzung und Verbindung durch Wirkung des galvanischen Stromes noch manche Frage zu beantworten bleibt. Im Allgemeinen haben sich aus den verschiedenen Ansichten über die Ursache der chemischen Wirkungen der galvanischen Ströme zwei Theorien entwickelt, die Contact-Theorie und die chemischen Theorie. Eine nähere Erörterung derselben würde uns hier indessen zu weit führen.

§ 215. *Magnetische Wirkungen der galvanischen Electricität.* Mancherlei Erscheinungen hatten schon zu verschiedenen Zeiten darauf hingedeutet, dass die Electricität eine Wirkung auf Magnete äussern müsse; so hat man häufig nach heftigen Blitzschlägen eiserne Gegenstände, welche sich in der Nähe befanden, magnetisch gefunden, und mehr als einmal kamen Schiffe in grosse Verlegenheit, weil die Richtung der Magnetnadel durch electriche Entladungen verändert worden war. Aber erst im Jahre 1820 machte *Oersted* die Entdeckung, dass der Schliessungsdraht einer galvanischen Kette die Magnetnadel in bestimmter Weise ablenke. Um diesen Fundamentalsatz zu beweisen, kann folgender

Versuch dienen: Man leite den Strom irgend eines Elementes durch einen zwischen zwei Brettchen einige Zoll über dem Tische festgehaltenen durchlöchernten Kupferstreifen (Fig. 125). Dann bestimme man

Fig. 125.



mittelst einer Magnetnadel die Richtung des magnetischen Meridians und bringe den Kupferstreifen in die Richtung desselben, was am leichtesten so geschieht, dass man vor dem Schliessen

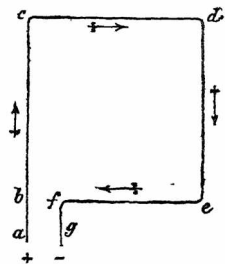
der Leitung den Kupferstreifen dicht unter der frei hängenden Nadel in der gleichen Lage mit derselben befestigt.

In dem Augenblicke nun, wo man den Strom mittelst Schliessung des Drahtes durch den Kupferstreifen gehen lässt, wird eine Ablenkung der Magnetnadel erfolgen; dieselbe verschwindet augenblicklich, wenn man die Leitung öffnet, indem die Nadel nach einigen Schwingungen in ihre ursprüngliche Lage zurückkehrt, tritt aber wieder bei dem Schliessen der Kette ein u. s. f. Bringt man die Nadel, indem man zum Aufhängen derselben einen Faden durch das Loch im Kupferstreifen gehen lässt, dicht unter diese, so erfolgt bei der Schliessung gleichfalls eine Ablenkung derselben aber nach der *entgegengesetzten* Seite.

Man kann sich leicht davon überzeugen, dass die Ablenkung um so grösser wird, je stärker der Strom ist und dass namentlich die *Oberfläche*, nicht die Zahl der Elemente, einen Einfluss darauf übt, so dass z. B. die Wirkung derselben Batterie grösser ist, wenn man die Theile zum Elemente, als wenn man sie zur Säule verbindet.

Man kann nun leicht einen Draht von beistehender Gestalt in den Strom einschalten; nehmen wir an, der Theil a sei mit dem Kohlenende, der Theil g mit dem Zinkende eines Bunsen'schen Elementes verbunden, so circulirt der positive Strom, welcher (von der Kohle) nach dem Zink, als dem positiven Pole, geht, in der Richtung der Pfeile. Wir nehmen ferner an, dieser Drahtrahmen sei in den magnetischen Meridian so befestigt, dass die Richtung des Pfeiles zwischen c und d von Süden

Fig. 126.



nach Norden gehe. Hält man dann eine Magnetnadel über das Drahtstück cd , so leitet der Strom dieselbe so ab, dass deren Südpol (das nach Norden gerichtete Ende) *östlich* vom Meridian zu liegen kommt. Hält man die Nadel unter das Stück cd , so wird dasselbe, wie schon oben bemerkt, westlich abgelenkt. Hält man nun die Nadel dicht über das Drahtstück ef , so bewegt sich hier der Strom in entgegengesetzter Richtung wie in cd ; er lenkt hier auch die Nadel entgegengesetzt, d. h. den Südpol nach Westen, oder eben so ab, wie der Strom in cd die Nadel *unterhalb* desselben. Hält man die Nadel unter ef , so findet die entgegengesetzte Ablenkung, also die nach Osten (ihres Südpoles) statt. Es folgt daraus, dass wenn man die Nadel zwischen die möglichst parallel genährten Theile eines solchen Vierecks hält, die Wirkungen des oberen und des unteren Theiles sich summiren und eine viel grössere Ablenkung hervorbringen müssen, als wenn die Nadel nur unter dem Einflusse eines einzigen Stromtheiles sich befindet.

Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man den Kupferstreifen nach Fig. 127 biegt und zwischen die beiden Theile a und b einen isolirenden Körper bringt; man halte dann die Nadel in der gezeichneten Weise in den Raum zwischen den Streifen und beobachte die Grösse der Ablenkung. Befestigt man dagegen den Poldraht, welcher bei b mündete, statt dessen bei c ; so wird sich unter dem Einflusse des einen Streifens

allein, eine weit geringere Ablenkung zeigen. Wir werden bald sehen, weshalb dieselbe jedoch mehr beträgt, als die Hälfte der zuerst beobachteten.

Um die Ablenkung der Nadel immer leicht bestimmen zu können, wofür sich nach dem Obigen keine kurzgefasste Anleitung aussprechen liess, hat *Ampère* die nach ihm benannte *Regel* folgendermassen gegeben. Man stelle sich vor, eine kleine menschliche Figur schwimme in dem Strome positiver Electricität, den Kopf voran, *das Gesicht der Nadel zugekehrt*, so wird immer das Nordende der Nadel nach *links* abgelenkt.

Es ist leicht, diese Regel in den oben erwähnten Erscheinungen bestätigt zu finden, wenn man nur bedenkt, dass die Figur in dem Strome unterhalb der Nadel auf dem Rücken schwimmen muss, und wenn man die Richtung des positiven Stromes (welche nach dem positiven Pole der Batterie hin gerichtet ist) richtig auffindet. Umgekehrt kann man auch aus der Ablenkung der Magnetnadel auf die Richtung des Stromes schliessen und somit bei dessen Austritt in die Flüssigkeit seine Pole erkennen.

Die senkrechten Theile des Drahtvierecks wirken gleichfalls auf die Magnetnadel und die Art dieser Wirkung lässt sich ebenfalls aus der *Ampère'schen Regel* finden; dabei steht natürlich die Figur im aufsteigenden Strome auf den Füssen, in dem niedergehenden auf dem Kopfe.

Wenn eine Magnetnadel sich mit ihrem Nordende in der Nähe eines *verticalen* Stromes befindet, so wird dieselbe bald angezogen, bald abgestossen, je nachdem der Pol sich auf der einen oder andern Seite des

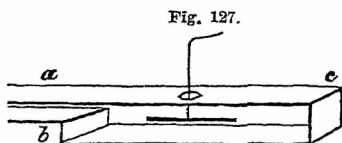
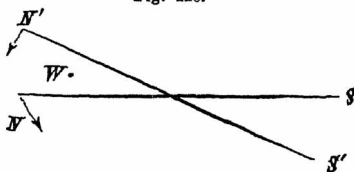


Fig. 127.

Fig. 128.



zu ihrer Lage verticalen Drahtes befindet. Die Nadel NS Figur 128 (vorige Seite) befindet sich z. B. auf der einen, die Nadel N'S' auf der andern Seite eines Stromes, der bei W in der Projection des Leitungsdrahtes angedeutet ist. Geht ein positiver Strom von unten nach oben durch diesen Draht, so sieht die Figur, welche man sich darin denkt, in aufrechter Stellung nach dem Nordende N und es dreht sich die Nadel nach links, in der Richtung des Pfeiles; dasselbe gilt für N' und man sieht daher, dass die Nadel in der einen Lage abgestossen und in der andern vom Strome angezogen wird.

Die Ablenkungen, welche eine Magnetnadel in ihren verschiedenen Stellungen zum electrischen Strome erleidet, kann man nun auch folgendermassen ausdrücken:

Wenn in der nebenstehenden Figur 129 der positive Strom die Richtung von S nach T in dem Leitungsdraht S T hat und man eine Magnetnadel an der Peripherie eines Kreises um diesen Draht herumführt, die an ihrem Schwerpunkte aufgehängt und keiner andern Kraft als der des Stromes unterworfen ist, so stellt sich die Nadel stets dem Kreise *tangent* und zwar so, dass, von S aus gesehen (der Seite woher der Strom kommt), die Nadel ihr Nordende in der obern Lage *rechts* hat und alle andere Stellungen dieser Stellung so entsprechen, dass jedem Nordpol ein Südpol gegenüber steht.

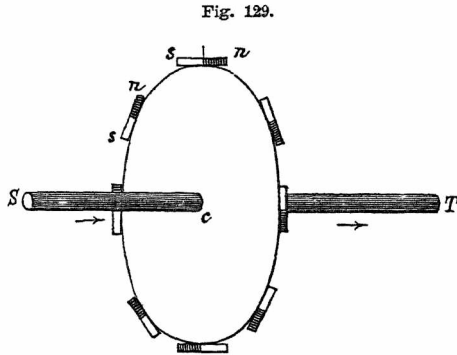


Fig. 129.

Da in der Wirklichkeit eine Magnetnadel ausser der Kraft des Stromes auch noch derjenigen des Erdmagnetismus unterliegt, so kann sie diese zur Richtung des Stromes *senkrechte* Lage niemals einnehmen; je stärker aber der electriche Strom ist, desto mehr nähert sich ihre Stellung dieser Lage.

§ 216. Es lässt sich denken, dass eine bestimmte Beziehung zwischen dem Winkel, welchen die Nadel unter dem Einflusse des Stromes mit dem magnetischen Meridian macht, stattfindet. Um dieselbe zu ermitteln, müsste man der Einfachheit wegen den Fall annehmen, dass die Wirkung der verschiedenen Stromtheile in allen Lagen der Magnetnadel gegen den Strom dieselbe bleibt; dies ist nur dann der Fall, wenn die Breite des Kupferstreifens, wodurch der Strom geht, bedeutend die Länge der Nadel übertrifft. Alsdann ist die Wirkung der Stromtheile, welche der Magnetnadel nahe liegen, so gross, dass diejenige der entfernten Theile als verschwindend betrachtet werden kann; indem der Unterschied in der Entfernung bei verschiedenen Lagen der Nadel unbedeutend ist.

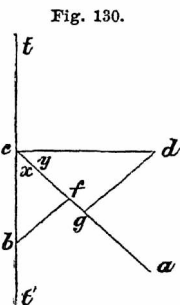


Fig. 130.

Nimmt man unter dieser Voraussetzung an, t , t' , (Fig. 130) stelle die Richtung des Stromes und der erdmagnetischen Kraft T und die Linie cb die Grösse der letzteren vor, so wird cd die Richtung sein, in

welcher dieselbe die Nadel zu stellen sucht. Wenn nun nach erfolgtem Gleichgewicht die Nadel als Resultante dieser beiden Kräfte die Richtung $c a$ annimmt, so ist x der beobachtete Ablenkungswinkel; y ist der Winkel, welchen die zum Strome senkrechte, die Nadel abstossende Kraft mit dieser Resultanten bildet. Die Grösse dieser Kraft S sei die Linie $c d$. Nun denke man sich die beiden Kräfte $b c$ und $c d$ derart zerlegt, dass nur solche Kräfte bleiben, welche der Richtung der Nadel parallel und solche, welche senkrecht darauf sind. Erstere, welche $c f$ und $c g$ sind, summiren sich in ihrer Wirkung, letztere aber, $b f$ und $g d$, sind entgegengesetzt und müssen also, bis das Gleichgewicht wieder eingetreten ist, einander aufheben; sie sind derselben Linie senkrecht, müssen also auch der Grösse nach gleich sein; es muss also $b f = g d$ sein. $b f$ ist aber $= c b \cdot \sin x$ oder $= T \sin x$ und $g d = c d \cdot \sin y = S \sin y$; also ist

$$T \sin x = S \sin y.$$

Dies gilt für den Fall, dass die magnetische Kraft der Nadel $= 1$ genommen wird. Ist dieselbe aber M , so wird die magnetische richtende Kraft der Nadel gleich dem Product aus ihrer und der erdmagnetischen Kraft; dieselbe Veränderung müsste mit S oder $c d$ vorgenommen werden; wir können also die magnetische Kraft der Nadel als gleichen Factor auf beiden Seiten weglassen. Aus dieser Gleichung folgt, weil $x + y = 90^\circ$ und also $\sin y = \cos x$,

$$T \sin x = S \cos x.$$

Es sind nun bei der Anwendung dieser Formel zwei Fälle zu unterscheiden.

1) Man lässt, wie bisher angenommen, den Strom nur in der Richtung des magnetischen Meridians auf die Nadel wirken, d. h. man lässt, nachdem er diese Stellung erhalten, denselben unverändert darin und beobachtet den Ablenkungswinkel; in diesem Falle wird der Werth S , welcher durch die Ablenkung bestimmt werden soll, aus obiger Gleichung gefunden, indem

$$S = T \frac{\sin x}{\cos x} = T \cdot \tan x$$

ist. Da es sich in der Praxis nicht um absolute Messung der Stromstärke handelt, wozu ein absoluter Werth für T gegeben sein müsste, sondern um eine Vergleichung verschiedener Ströme, so sieht man leicht, dass für einen anderen Strom, aber für dieselbe Magnetnadel, welche dann den Winkel x' mit dem Meridian bildet, die Stromstärke S' , gegeben wird durch die Formel

$$S' = T \tan x'$$

oder dass dies Verhältniss $S : S'$ gefunden wird (nach Weglassung des gemeinschaftlichen Factors T) durch

$$S : S' = \tan x : \tan x'.$$

Für diesen Fall der festen Einstellung des Stromes in die Richtung des magnetischen Meridians verhalten sich also die Stromstärken, wie die Tangenten des Ablenkungswinkel. Hierauf beruht die Tangenten-Boussole; ihre Beschreibung folgt unter § 217.

2) Man gibt dem Strom zuerst die Richtung des magnetischen Meridians und dreht ihn dann der abgelenkten Nadel nach, bis er mit dieser einerlei Richtung hat. Dieser Punkt tritt ein, wenn die Nadel so weit abgelenkt wird, dass der Strom, selbst in dieser Richtung seiner grössten abstossenden Kraft, die Wirkung des Erdmagnetismus nicht weiter überwinden kann.

Der Winkel, welchen die Nadel mit dem magnetischen Meridian bildet, sei auch hier x ; der Winkel, welchen sie mit dem Strome bildet, ist aber 0 ; der Winkel, welchen die abstossende Kraft mit dem Strome bildet, ist in diesem Falle $= 90^\circ$; wir nannten diesen Winkel in dem vorigen Falle y und haben in der ersten Formel nur diesen Werth zu substituiren; da nun $\sin 90^\circ = 1$ ist, so folgt für diesen Fall

$$S = T \sin x$$

und für einen anderen Strom bei derselben Nadel

$$S' = T \sin x'$$

oder

$$S : S' = \sin x : \sin x'$$

d. h. es verhalten sich die Stromstärken, wie die Sinus der Ablenkungswinkel. Hierauf beruht die Sinusboussole.

§ 217. Der Unterschied zwischen der Construction der Tangenten- und der Sinusboussole muss nach den vorhergehenden Entwicklungen einfach darin beruhen, dass bei der ersteren der Strom *unveränderlich* in der Richtung des magnetischen Meridians auf die Nadel wirkt, während er bei der zweiten um eine verticale Axe drehbar sein muss, um ihn, der Nadel folgend, mit dieser in einerlei Richtung zu bringen. Beide Instrumente müssen mit Einrichtungen zum Ablesen der Ablenkungswinkel versehen sein; dieser ist nothwendig bei der Sinusboussole grösser als bei der Tangentenboussole.

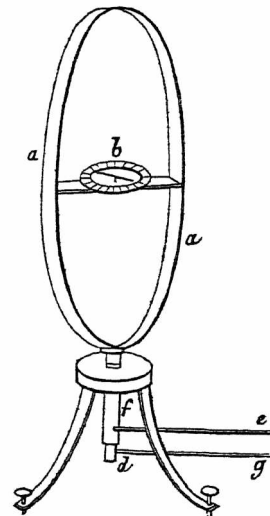
Die zu Anfang des vorigen Beweises ausgesprochene Bedingung wird dadurch erfüllt, dass man den Strom in einen kreisförmigen Leiter um die in seinem Mittelpunkte aufgehängte verhältnissmässig sehr kleine Nadel circuliren lässt; dadurch wird die Einwirkung aller Theile des Stromes möglichst gleichartig; der Durchmesser des Kreises muss mindestens 12 Mal die Länge der Nadel übertreffen.

Die *Tangentenboussole* zeigt Fig. 131. Der Strom umkreist in dem Kupferstreifen a die in seiner Mitte in einem getheilten Kreise aufgehängte Nadel b . Er tritt durch den Stab d in den Kupferring; dieser ist bei der Befestigung von d durch einen Nichtleiter unterbrochen und an der anderen Seite desselben mit der Metallhülse f in Verbindung, welche d umgibt, ohne ihn zu berühren, so dass der Strom durch d in den Ring und von dem Ringe durch f heraus tritt; die beiden Leitungsdrähte e und g werden mit den Polen des zu untersuchenden Electromotors verbunden.

Die Beobachtung besteht einfach darin, dass man den Ring in den magnetischen Meridian einstellt, die Drähte schliesst und den Ablenkungswinkel abliest. Damit der Ausschlag der Nadel, welcher bei einer sehr kleinen Nadel kaum genau zu beobachten sein würde, auf einem grösseren Kreise abgelesen werden kann, befestigt man die kleine Magnetnadel auf einer langen, leichten Kupfernadel.

Die Einrichtung der Sinusboussole ist derjenigen der Tangentenboussole sehr ähnlich; nur ist der Kreis a um seine verticale Axe beweglich und ein Index bewegt sich auf einem horizontalen Kreise, um die

Fig. 131.



Stärke der Drehung vom Meridian an bis zum Parallelismus mit der Nadel abzulesen.

Dass die Stärke des Magnetismus der Nadel auf das Resultat keinen Einfluss hat, haben wir schon oben gezeigt, indem der gleiche Factor auf beiden Seiten der Gleichung weggelassen werden konnte; es folgt ferner aus der Betrachtung, dass bei wachsender magnetischer Kraft der Nadel, sowohl der Einfluss des Erdmagnetismus als derjenige des Stromes auf die Nadel in gleichem Verhältnisse wachsen muss.

§ 218. Ein anderes Instrument zur Messung oder vielmehr Vergleichung der Stärke electricischer Ströme ist der *Multiplicator* oder das *Galvanometer*.

Dass die Wirkung eines Stromes auf eine Magnetonadel dadurch verstärkt wird, dass man denselben in einem Viereck um sie herumführt, haben wir schon früher gezeigt, indem dadurch die Wirkungen aller Seiten sich summiren; führt man nun einen zweiten, dritten u. s. w. Strom in derselben Richtung, aber isolirt von dem ersten um die Nadel, so muss die Wirkung auch verdoppelt, verdreifacht u. s. w. werden. Da nun in demselben Leitungsdraht der Strom überall gleich vertheilt ist, so folgt, dass man die Wirkung eines Stromes auf eine Magnetonadel beliebig verstärken kann, wenn man den Draht eine beliebige Anzahl Windungen um die Nadel machen lässt. Dies wird so ausgeführt, dass man einen langen Kupferdraht, der zur Verhinderung der leitenden Verbindung mit Seide übersponnen ist, um einen hölzernen Rahmen in parallelen Windungen aufwickelt, in deren Mitte die Nadel frei aufgehängt ist.

Durch Anwendung einer sehr grossen Anzahl von Windungen hat man es in der Gewalt, dem Instrumente eine bedeutende Empfindlichkeit zu geben und es eignet sich daher zur Beobachtung der allergeringsten Electricitätserregungen. Der Multiplicator kann noch empfindlicher gemacht werden, wenn man statt einer Magnetonadel zwei verbundene nimmt. Es sei z. B.

Fig. 132.

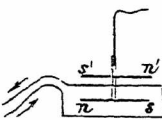


Fig. 132 n s eine Magnetonadel und n' s' eine andere, welche so verbunden sind, dass ihre Pole einander nicht entsprechen; die eine befindet sich in der Mitte der Windungen, die andere darüber. Nehmen wir an, dass beide Nadeln genau gleiche magnetische Kraft hätten, so würden sie in jeder Richtung (wenn *nur* unter dem Einfluss der magnetischen Kraft) im Gleichgewicht sein, da die Wirkung des Erdmagnetismus auf die eine Nadel genau durch diejenige auf die andere aufgehoben würde. Jede, auch noch so kleine magnetische Kraft wird also, weil sie keinen richtenden Widerstand zu überwinden hat, ihren ganzen Einfluss üben können. In der Wirklichkeit ist es indess so gut wie unmöglich, zwei Nadeln von ganz gleichem Magnetismus zu erhalten und diese sogenannten *astatischen Nadeln* sind nur eine Annäherung an die Richtungslosigkeit. Indessen reicht diese dennoch aus, um das Instrument ganz ausserordentlich empfindlich zu machen.

Nicht gegen jede anziehende oder abstossende Kraft verhält sich eine astatische Nadel, wie man vielleicht glauben sollte, in gleicher Weise; sie wird zwar durch die geringste Anziehung des Eisens stark abgelenkt, aber ein magnetisirter Körper, von dem *ein* Pol auf die Nadel wirkt, ist ohne Einfluss, weil die eine Nadel eben so stark abgestossen, wie die andere angezogen wird, wenn anders die Entfernungen zum Pole gleich sind. Ebenso würde sich ein electricischer Strom indifferent verhalten, wenn er auf beide Nadeln in derselben Richtung

wirkte, die eine also rechts, die andere links abtossien müsste. Durch die Aufhängungsweise aber wie sie oben (Fig. 132) gezeichnet ist, tritt das Gegentheil ein, indem die Wirkungen auf beide Nadeln sich nicht aufheben, sondern summiren. Man erkennt nämlich leicht, dass auf die verschieden gerichteten Nadeln der Strom auch in verschiedener Richtung, folglich nach derselben Seite ablenkend, seinen Einfluss üben muss, und daher ein doppelter Grund für die grosse Empfindlichkeit des Galvanometers vorhanden ist.

Dieses Instrument enthält ausser der astatischen, möglichst leicht und frei beweglich aufgehängten Nadel und dem Rahmen mit den Windungen des Leitungsdrahtes, zwischen dessen oberen Theilen der Aufhängefaden hindurch geht, eine Kreistheilung zur Beobachtung der Ablenkung, und eine Einrichtung, um zu Anfang des Versuches vor dem Schliessen des Drahtes die Windungen des Stromes in dieselbe Richtung mit der Nadel zu bringen.

Bei dem Galvanometer ist die Stromstärke eben so wenig dem Ablenkungswinkel proportional, wie bei den anderen Instrumenten; auch steht sie nicht in so einfachem Verhältnisse dazu, wie bei der Tangenten- oder Sinusboussole, weil hier der Einfluss der mehr oder weniger entfernten Windungen nicht gleichartig ist. Indessen ist es doch gelungen, das Galvanometer zu Messungen von Stromstärken anzuwenden, obwohl es in der Regel nur zur Beobachtung des Vorhandenseins und annähernder Vergleichung *sehr* schwacher Ströme benutzt wird.

Bei gewöhnlichen Versuchen mit electricen Strömen, wie z. B. zu galvanoplastischen oder anderen Arbeiten bedarf man nicht durchaus eines der oben angeführten Instrumente zur Vergleichung der Stromstärken; es reicht dazu hin, eine ziemlich lange Magnetnadel über einem Kupferstreifen aufzuhängen, durch welchen der Strom hindurchgeht, und ihre Ablenkung einfach auf einem graduirten Kreise abzulesen. Dies genügt, um zu zeigen, ob überhaupt Strom stattfindet oder nicht und ob derselbe eine bestimmte, durch Erfahrung als ausreichend erkannte, Stärke habe, welche von dem Ablenkungswinkel unmittelbar angegeben wird. Will man die galvanoscopische Nadel etwas empfindlicher haben, so kann man den Streifen rechtwinklig biegen und die Nadel im Inneren aufhängen. Immer muss sie sich möglichst dicht über oder unter dem Strome bewegen.

Es ist leicht, nach der Angabe dieses Instrumentes die Stromstärke je nach dem Bedürfniss zu vermehren oder zu vermindern, indem man die Säure durch Zugiessen von concentrirter Säure stärker macht, oder durch Verdünnen mit Wasser schwächt.

§ 219. Mittelst der im vorigen § beschriebenen Instrumente kann man die Kraft der electricen Ströme messen, wie sie unter verschiedenen Modificationen von derselben oder von verschiedenen einfachen oder zusammengesetzten Ketten geliefert werden. Einer der einfachsten Fälle ist z. B. die Schliessung einer Kette durch einen langen oder durch einen kurzen Draht von derselben Dicke. Die Boussole weist alsdann nach, dass die Wirkung im letzteren Falle eine grössere ist, als im ersteren. Hieraus ist zu ermessen, dass in dem Drahte ein *Widerstand* existirt, welcher bei langen Drähten grösser ist, als bei kurzen. *Ohm* hat auf mathematischem Wege gefunden, und Andere, namentlich *Pouillet*, durch Experimente dargethan, dass bei unveränderter vertheilender oder *electromotorischer* Kraft, die Stärke S des bewirkten Stromes dieser Kraft E *direct* und dem Widerstande in der ganzen Leitung W *umgekehrt* pro-

portional ist. Dieses Gesetz, welches das *Ohm'sche* genannt wird, kann also ausgedrückt werden durch die Formel

$$S = \frac{E}{W}$$

Der Widerstand in dem Leitungsdraht ist abhängig, einerseits von dessen Leitungsfähigkeit, andererseits von dessen Länge und Dicke, und zwar steht er in *directem* Verhältniss zu seiner Länge, im *umgekehrten* Verhältniss zu seinem Querschnitte und ebenfalls im *umgekehrten* zu seinem *Leitungsvermögen*. Nimmt man demnach für einen bestimmten Leiter von der Länge 1, dem Querschnitt 1 und dem Leitungsvermögen 1 den Widerstand gleich 1 an, so ist der Widerstand W eines solchen von der Länge l, dem Querschnitt q und dem Leitungsvermögen v

$$W = \frac{1}{q v}$$

Wenn der Draht von dem Querschnitt 1 und dem Leitungsvermögen 1 denselben Widerstand leisten soll, so braucht nur seine Länge auf die

$$\text{Grösse} \quad L = \frac{1}{q v}$$

gebracht zu werden. Diesen Ausdruck pflegt man die *reducirte Länge* zu nennen.

Zu den Leitungswiderständen, welche der Strom der Kette zu überwinden hat, sind auch die Widerstände in der Kette selbst zu rechnen; dies ist bei vergleichenden Versuchen zu berücksichtigen. Man kann diesen Widerstand immer durch ein Stück Kupferdraht von bestimmtem Querschnitt, bekannter Leitungsfähigkeit und von zu ermittelnder Länge ausdrücken.

Wie die Richtigkeit des *Ohm'schen* Gesetzes durch den Versuch zu beweisen ist, kann aus folgenden Experimenten ersehen werden:

Eine constante Kette zeigte bei der Schliessung mittelst des Drahtes der Tangentenboussole eine Ablenkung von $21\frac{3}{4}^{\circ}$. Hierauf wurde zwischen den Poldraht der Kette und die Boussole ein Draht von einem Meter, dann ein solcher von 2 Metern eingeschaltet und entsprechend geringere Ablenkungen, nämlich 18° und $15\frac{1}{4}^{\circ}$ beobachtet.

Setzt man nun den Widerstand bei dem ersten Versuch in Kette und Schliessung zusammen gleich demjenigen eines Kupferdrahtes von x Metern, so ist derselbe für die beiden folgenden Versuche gleich demjenigen eines eben solchen Drahtes von x+1 und von x+2 Metern. Wenn das *Ohm'sche* Gesetz richtig ist, so müssen sich also die drei Stromstärken verhalten wie

$$\frac{E}{x} : \frac{E}{x+1} : \frac{E}{x+2}$$

Da E stets gleich bleibt, so müssen also folgende Proportionen richtig sein:

$$\begin{aligned} \text{tang } 21\frac{3}{4}^{\circ} : \text{tang } 18^{\circ} &= \frac{1}{x} : \frac{1}{x+1} \\ \text{und } \text{tang } 21\frac{3}{4}^{\circ} : \text{tang } 15\frac{1}{4}^{\circ} &= \frac{1}{x} : \frac{1}{x+2} \end{aligned}$$

Um zu sehen, ob dies der Fall, ob also die Beobachtung mit dem Gesetze stimmt, hat man aus einer dieser Gleichungen x zu bestimmen, und in der anderen dessen Werth einzusetzen, um zu finden, ob dieselbe ebenfalls noch richtig bleibt. x findet man z. B. aus der 2. Gleichung

= 4,4 Meter; dieser Werth befriedigt die 1. Gleichung ebenfalls, woraus also die Bestätigung des Gesetzes folgt.

Um zu beweisen, in welchem Verhältniss der Widerstand zum Querschnitt steht, schaltet man Drähte von grösserem Durchmesser und verhältnissmässiger Länge ein; ein Draht von dem 4fachen Querschnitte des vorhin angewendeten muss z. B. dieselbe Ablenkung hervorbringen, wie jener, wenn seine Länge den 4. Theil von derjenigen des vorhin angewendeten beträgt u. s. w.

Zur Vergleichung der Leitungsfähigkeiten einzelner Substanzen schaltet man Drähte von verschiedenen Metallen ein und verkürzt oder verlängert sie, bis sie die gleiche Stromstärke bewirken. So findet man z. B., dass der Leitungswiderstand des Eisens 6 Mal so gross ist, wie der des Kupfers. Die Richtigkeit des *Ohm'schen* Gesetzes kann man auch auf andere Weise nachweisen, indem man nämlich die Anzahl der Schwingungen beobachtet, welche eine Magnetnadel unter dem alleinigen Einfluss des Erdmagnetismus macht, und dann derjenigen, welche sie in derselben Zeit ausführt, wenn man gleichzeitig Ströme von verschiedener Stärke in einer Richtung darunter herleitet, welche senkrecht zum magnetischen Meridian steht. Auch hier gehören mehr als 2 Beobachtungen zur Bestätigung des Gesetzes, weil der Widerstand in der Kette *ohne* die Einschaltung der Leitungsdrähte erst aus zwei Beobachtungen sich ergeben muss, ehe man dieselbe als bekannt für die dritte annehmen darf. Es folgt nämlich auch hier aus den Beobachtungen nicht direct das Verhältniss der Widerstände der eingeschalteten Drähte, sondern dasjenige dieser Widerstände plus dem unveränderten der Kette.

Das *Ohm'sche* Gesetz findet sich in jeder Weise bestätigt, und wenn man den entsprechenden Versuch mit einer Leydner Batterie anstellt, so zeigt sich, dass auch in dieser anderen Erscheinungs- und Spannungsweise die Electricität dieselben Gesetze befolgt.

§ 220. Wenn eine Kette aus mehreren Elementen von ungleicher Kraft besteht, so ist ihre electromotorische Kraft gleich der Summe der electromotorischen Kräfte der einzelnen Elemente. Der Widerstand, welchen die Stromstärke erfährt, ist natürlich gleich der Summe der Widerstände der einzelnen Glieder *plus* denen des Leitungsdrahtes. Nach dem *Ohm'schen* Gesetze ist also die Stromstärke dieser Kette

$$S = \frac{E + E' + E''}{v + v' + v'' + 1}$$

von E , E' u. s. w. die electromotorische Kraft, v , v' , v'' u. s. w. die (durch die reducirte Länge ausgedrückten) Widerstände der einzelnen Elemente und 1 den Widerstand im gemeinschaftlichen Schliessungsdrahte ausdrücken. Sind alle Elemente in jeder dieser Beziehungen gleich, so wird die Stromstärke demnach für n Elemente

$$S = \frac{n E}{n v + 1}$$

eine Formel, welche man, in ähnlicher Weise wie die obige, durch etwas abgeänderte Versuche bestätigen kann.

Wenn die Poldrähte nicht durch einen einfachen Leitungsdraht verbunden sind, sondern in eine Flüssigkeit eintauchen, wie etwa bei chemischen Zersetzungen, so tritt der Widerstand dieser Flüssigkeit zu obigem Widerstande hinzu. Ausserdem äussern die Platten durch den dabei entstehenden Gegenstrom einen Widerstand, welchen wir schon früher (§ 213) kennen gelernt haben. Nennen wir diesen beim Uebergang aus

einem Metalle zu einer Flüssigkeit auftretenden den Uebergangswiderstand u , jenen Widerstand der Flüssigkeit aber f , so haben wir diese Widerstände zu den übrigen in obiger Formel zu addiren und erhalten also die Formel

$$S = \frac{n E}{n v + l + u + f} \quad (1)$$

Wenn aber der Schliessungsdraht nicht unterbrochen und dabei der Widerstand der Leitung so klein ist, dass er gegen denjenigen der Kette als verschwindend betrachtet werden kann, so wird durch Weglassung von l aus unserer Formel

$$S = \frac{n E}{n v} = \frac{E}{v}$$

Diese Formel stimmt mit derjenigen für ein einzelnes Element überein und es ist also *für diesen Fall* die Stromstärke der zusammengesetzten Kette von n Elementen nicht grösser, als die eines einzelnen Elementes.

Wenn aber auf der anderen Seite der Widerstand in der Kette sehr gering und dagegen derjenige in der Leitung sehr gross ist, so können wir in der Formel (1) den Werth $n v$ vernachlässigen; dies geschieht allemal dann, wenn der Strom durch lange und dünne Drähte oder durch Flüssigkeiten gehen muss; alsdann wird

$$S = \frac{v E}{l + u + f}$$

und es wächst also, wenn die Leitung und ihre Widerstände dieselben bleiben, die Stromstärke in diesem Falle mit der *Anzahl der Elemente*.

Wenn man die Platte der Elemente m mal so gross nimmt, so bleibt die Spannung oder die electromotorische Kraft unverändert, aber der Widerstand in der Kette wird, weil der Querschnitt der m fache geworden ist (nach dem Ohm'schen Gesetze) auf $\frac{1}{m}$ des früheren ge-

bracht; für $n v$ ist alsdann der neue Werth $\frac{n v}{m}$ zu setzen und es wird also jetzt

$$S = \frac{n E}{\frac{n v}{m} + l} = \frac{m n E}{n v + m l} \quad (2)$$

Dieses ist der Ausdruck für die Stromstärke der Kette, deren einzelne Elemente die m fache Oberfläche derjenigen haben, welche die Stromstärke $S = \frac{n E}{n v + l}$ haben.

Nehmen wir die *Zahl* der Elemente = 1, so wird $S = \frac{m E}{v + m l}$; dies ist die Stromstärke für *ein* Element von der m fachen Fläche; diejenige des Stromes für m Elemente von der einfachen Fläche ist aber

$$S'' = \frac{m E}{n v + l}$$

Diese beiden Werthe werden einander gleich, wenn die Grössen v und l gleich sind.

Hieraus folgt, dass wenn der Widerstand in einem einfachen Elemente von einfacher Oberfläche demjenigen in dessen Schliessungsdraht

gleich ist, ein Element von m facher Oberfläche dieselbe Wirkung hat, wie m Elemente von der einfachen Oberfläche.

Aehnlich kann man die Erscheinung ableiten, dass, wenn der Widerstand im Schliessungsdrahte klein ist, der Strom zwar nicht durch die Zahl der Elemente, wohl aber durch deren Grösse verstärkt wird.

Auch die Thatsache kann man nach diesen Formeln erklären, dass bei einer bestimmten Oberfläche des zu einer Kette angewendeten Zinkes das Maximum der Stromstärke dann eintritt, wenn der Widerstand in der Kette gleich dem in dem Schliessungsdrahte ist.

Unmittelbar aus dem Ohm'schen Gesetze ergibt sich die für die Praxis höchst wichtige Thatsache, dass die Widerstände in den Leitungen im Verhältnisse des wachsenden Querschnittes abnehmen; hieraus folgt, dass jede Leitung durch Drähte von geringem Durchmesser die Stromstärke schwächen muss, und dass man also, um möglichst wenig an Stromstärke zu verlieren, zur Leitung Metallstücke von möglichst grossem Durchmesser, die Elemente von grosser Oberfläche nehmen muss, indem nicht die Masse der Leitungsdrähte ein Maass für den geleisteten Widerstand ist, sondern dieser zwar von ihrer Länge abhängt, aber mit dem Querschnitt in umgekehrtem Verhältnisse steht.

§ 221. Auf diese Folgerungen aus dem Ohm'schen Gesetze gründen sich die Instrumente, welche man zur genaueren Regulierung der Stromstärke durch Einschaltung von geeigneten Widerständen in die Leitung anwendet. Diese Apparate nennt man *Rheostaten* und es gibt deren von verschiedener Construction.

Der Rheostat von *Wheatstone* hat den Zweck, von einem sehr langen und dünnen Drahte ein beliebiges Stück in den Strom einzuschalten. Man denke sich den Draht ganz auf die Schraubengänge eines Holzcyinders aufgewickelt und die beiden Enden mit zwei festen Metallscheiben in Verbindung, welche einen Theil der Leitung ausmachen; so ist klar, dass der Strom den ganzen Draht durchlaufen muss, da die hölzernen Schraubenwindungen vollkommene Isolation bewirken. Wenn aber nun, ohne dass an der Befestigungsweise der Enden etwas geändert wird, ein Theil des Drahtes um einen neben dem hölzernen Cylinder stehenden Metallcylinder von jenem ab und auf diesen gewunden wird, so sind die Windungen dieses Theiles nicht mehr von einander isolirt und leisten also, des gemeinschaftlichen sehr grossen Querschnittes wegen, so gut wie keinen Widerstand.

Hieraus erhellt, dass wenn beide Cylinder so eingerichtet und mit einander verbunden sind, dass man eine beliebige Anzahl Drahtwindungen von dem einen ab und auf den anderen winden kann, man im Stande ist, jeden Widerstand von 0 bis zur Länge des Drahtes in die Kette einzuschalten. Die Anzahl der Windungen liest man an einer Scala zwischen beiden Cylindern ab; Bruchtheile einer Windung ergeben sich aus der Drehung des einen Cylinders, welche durch einen Gradkreis angezeigt wird.

Ein anderes Instrument, um grössere Widerstände einzuschalten, ist von *Eisenlohr* angegeben worden. Es besteht aus einem senkrecht stehenden Holzcylinder, in welchem ringförmige Vertiefungen von verschiedener Breite eingedreht sind. Auf den vorstehend bleibenden Rändern sind Messingstreifen befestigt, welche durch ein bewegliches Messingzüngelchen mit einander in Verbindung gesetzt werden können. In den Vertiefungen ist feiner, mit Seide übersponnener Neusilberdraht (von $\frac{1}{100}$ Zoll Durchmesser) aufgewickelt; die Enden des Drahtes sind bei jeder einzelnen Vertiefung mit den Messingstreifen verbunden. Wenn

nun alle Streifen durch die Messingzängelchen in Verbindung stehen, so geht ein Strom, der durch die beiden Klemmschrauben ein- und austritt; durch die Messingstreifen direct über das Instrument, ohne einen wesentlichen Widerstand zu erleiden; öffnet man aber ein Zängelchen, so ist die Verbindung von einem Messingstreifen zum folgenden nur durch den Draht möglich, und auf diese Weise kann man je nach Bedürfniss den einen oder anderen Draht einschalten, auch mehrere zu grösseren Widerständen summiren.

Diese Apparate dienen zu Experimenten für die Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes, zur Vergleichung zweier Ketten und zur Bestimmung der constanten Widerstände einer Kette.

Wenn es sich darum handelt, in einen Strom ohne viel Umstände einen nicht zu grossen Widerstand auf eine, wenigstens annäherungsweise, leicht zu regelnde Weise einzuschalten, so kann man dazu eine Röhre mit einer schlecht leitenden Flüssigkeit z. B. reinem Wasser nehmen, in welches der Strom an der einen Seite durch eine Metallplatte eintritt, um an der anderen durch einen beweglichen Metallstempel auszutreten, welchen man, etwa durch eine Schraube, der ersteren beliebig nähern kann, um so die ganze Wassersäule oder nur ein kleineres oder grösseres Stück derselben in die Leitung einzuschalten. Man wendet diese einfache Einrichtung z. B. bei den Apparaten an, welche zur Anordnung der physiologischen Wirkungen galvanischer Ströme dienen.

Bei den Bestimmungen des Leitungsvermögens der verschiedenen Körper pflegt man dasjenige des chemisch reinen Kupfers zu Grunde zu legen, indem dieses Metall von den gewöhnlichen Substanzen dem Strom den geringsten Widerstand entgegensetzt.

Die Principien, wonach die *Leitungswiderstände*, welche natürlich in umgekehrtem Verhältniss *des Leitungsvermögens* stehen, verglichen und auf ein bestimmten Maass zurückgeführt werden können, sind in dem Vorhergehenden schon ausgesprochen; die Methoden, welche von den einzelnen Beobachtern befolgt worden sind, weichen untereinander mehr oder weniger ab.

Eine dieser Methoden besteht z. B. in Folgendem: Man versieht den Multiplicator mit zwei ganz gleichen und gleich langen Drähten und leitet alsdann zwei Ströme durch dieselben. Sind diese beiden Ströme vollkommen gleich und entgegengesetzt gerichtet, so kann keine Wirkung auf die Nadel stattfinden; die Gleichheit beider Ströme wird nun dadurch hergestellt, dass man die Ketten durch Leitungsdrähte von verschiedenen Metallen schliesst und den einen so lange verkürzt oder verlängert, bis die Nadel nicht mehr abweicht. Aus der Vergleichung der Drähte folgt dann das Verhältniss ihrer Leitungsfähigkeit.

Nach anderen Methoden wendet man die durch die Ströme erzeugte Wärme, oder die durch dieselben inducirten Ströme zu ihrer Beurtheilung an. Auch durch Vergleichung der Widerstände eines bestimmten Drahtes und eines entsprechenden Theiles des Rheostates kann man zu denselben Resultaten gelangen. Zu allen Versuchen aber ist vollkommene Reinheit des untersuchten Metalls oder genaue Bestimmung seiner chemischen Zusammensetzung erforderlich, denn nach *Pouillet* ist z. B. das Leitungsvermögen des reinen Goldes fast 6 mal so gross, wie dasjenige des 18karätigen.

Um das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten zu vergleichen, kann man ähnliche Methoden anwenden, wie die oben angedeuteten, nur sind, wegen des grösseren Widerstandes der Flüssigkeiten weit geringere Schichten derselben in die Leitung einzuschalten.

Die Resultate aller dieser und ähnlicher Versuche haben ergeben, dass von allen Metallen Silber das grösste, Blei, Neusilber und Argentan die geringsten Leitungsvermögen besitzen; nennt man das Leitungsvermögen des reinen Kupfers 100, so drücken folgende Zahlen diejenigen der übrigen Metalle aus:

Silber	149	Platina	15
Kupfer	100	Zinn	15
Gold	89	Blei	10
Messing	28	Neusilber	11
Eisen	18	Quecksilber	2,5

Diese Zahlen entsprechen *nahezu* dem Leitungsvermögen für die Wärme. Indessen ist zu bemerken, dass sie nur annähernd sind, indem die verschiedenen Beobachter sehr abweichende Resultate erhalten haben.

Bei höherer Temperatur wird das Leitungsvermögen der Metalle verringert, das der Flüssigkeiten aber vermehrt, obwohl nicht im Verhältniss der Temperaturveränderung.

Das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten ist ein auffallend geringeres; es leitet z. B. die Lösung von 1 Th. Kochsalz in 100 Th. Wasser 2,750,000 mal schlechter als Neusilber, also etwa 31 millionenmal schlechter als Kupfer, das noch weit geringere Leitungsvermögen des Wassers ist wegen seiner sehr kleinen Grösse schwer zu bestimmen. Beispielsweise sind folgendes die *Leitungswiderstände* einiger Flüssigkeiten, den des *Neusilbers* gleich 1 gesetzt:

Schwefelsäure von 1,4 spec. Gew.	82520
Kupfervitriollösung (1,5 Th. in 100 Wasser . . .	972320
(7,5 Th. auf 100 Th. Wasser	1410200
Kochsalzlösung 5,5 Th. in 100 Th. Wasser . . .	577100
Zinkvitriollösung 7 Th. in 100 Th.	1896000

Im Allgemeinen ist das Leitungsvermögen bei den Auflösungen der Säuren am grössten, bei denen der Alkalien und neutralen Salze nur ein schwaches. Es wächst bei letzteren nicht im Verhältniss der aufgelösten Menge Salz.

Dass der Widerstand der Flüssigkeiten in den Ketten nicht so sehr gross ist, als er nach den obigen Zahlen erscheinen sollte, rührt von den ausgedehnten Querschnitten der durchlaufenen Flüssigkeiten her, die den Querschnitt der Leitungsdrähte sehr bedeutend übertreffen. Wenn z. B. das Wasser 4000 Millionen mal schlechter als Kupfer leitet, muss sein Querschnitt 4000 Millionen mal grösser sein, damit es ebenso gut leite.

Das Leitungsvermögen des menschlichen Körpers ist, wenn beide Hände befeuchtet in Quecksilber getaucht werden, nach *Pouillet* dem eines Kupferdrahtes von 1 Millimeter Dicke und 50000 Meter Länge gleich.

Die leicht schmelzbaren Körper sind grossentheils im festen Zustande Nichtleiter, im geschmolzenen Leiter der galvanischen Electricität; so z. B. Eis, Salpeter, Chlorsilber, Potasche, Borax u. s. w. In dem Zustande des Leitens werden sie dann durch den Strom zersetzt. Gegen die Reibungselectricität verhalten sie sich, der hohen Spannung entsprechend, im festen Zustande als bessere Leiter.

Es scheint, dass manche Körper nicht für beide Electricitäten gleiches Leitungsvermögen besitzen, indem sich bei manchen Versuchen Strömungen von Flüssigkeiten von dem einem Pol zum andern zeigen. Wenn man z. B. zwei Röhren mit porösen Stopfen schliesst, sie beide mit Was-

ser füllt, welches etwas Thon suspendirt enthält, sie dann in ein Glas mit Wasser stellt und in jedes einen Pol der Batterie leitet, so sieht man aus der positiven Röhre den Thon ausströmen, während er in der negativen ruhig bleibt.

Auch für die Luft ist ähnliches beobachtet worden. Wenn man ein Kartenblatt durch den Funken einer Leydnerflasche durchbohren will und die Drahtenden zwar beide das Blatt berühren, aber einander nicht gerade gegenüber stehen lässt, so wird dasselbe nicht in der Mitte zwischen beiden, sondern dem negativen Drahte gegenüber durchbohrt, indem auf der positiven Seite der Funke erst längs des Kartenblattes fortgeht und dann an dem negativen Drahte durchschlägt.

Endlich ist die Beobachtung zu erwähnen, dass gewisse Körper nur eine Art der Electricität vollkommen ableiten; so z. B. Seife, Bleiweiss, Phosphorflammen die positive und die Flammen von Alkohol, Wasserstoff und Wachs die negative. Ob die Ursache dieser Erscheinung in chemischen Zersetzungen, welche nicht leitende Schichten hervorgerufen, begründet sei, ist noch nicht erwiesen.

§ 222. *Aufgabe 1.* Eine Tangentenboussole und ein Apparat zur Wasserzersetzung sind in einem Strom eingeschaltet; man beobachtet bei einer Ablenkung von 30° die Entwicklung von 2,78 Cubikzoll Knallgas in einer Minute. Wie viel wird unter sonst gleich bleibenden Umständen der Strom entwickeln, wenn er die Nadel um 45° ablenkt?

Antwort: 4,81 Cubikzoll.

Aufgabe 2. Wenn ein Strom bei einer Ablenkung der Tangentenboussole von 45° in der Minute 4,54 Cubikzoll Knallgas entwickelt; und man die Stärke desjenigen Stromes gleich 1 setzt, welcher 1 Cubikzoll Knallgas in derselben Zeit frei macht, welches ist dann die Stärke des Stromes, welche die Nadel um 21° ablenkt?

Antwort: 1,74.

Aufgabe 3. Wie lang muss ein Draht von 0,25 Linien Durchmesser sein, um denselben Widerstand zu leisten, wie ein Draht desselben Metalls von 40 Fuss Länge und 0,5 Linien Durchmesser?

Antwort: 10 Fuss.

Aufgabe 4. Man nimmt den Leitungswiderstand eines Kupferdrahtes von 1 Fuss Länge und 1 Linie Durchmesser als Einheit an; wie gross ist der Leitungswiderstand

- a) eines Kupferdrahtes von 20 Fuss Länge und 0,4 Linien Dicke,
- b) eines Argentandrahtes von derselben Grösse, wenn der Leitungswiderstand des Argentans gleich 11,83 ist?

Antwort: a) 125.

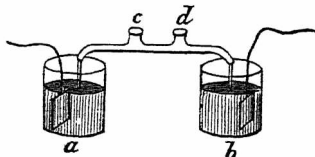
b) 1478,75.

XXI. Electricität durch chemische Prozesse und durch Lebensthätigkeit.

§ 223. Wenn es auch bei der Erregung der Electricität durch Contact der Metalle noch zweifelhaft ist, inwiefern dabei die chemischen Prozesse von Einfluss sind, so gibt es doch Erscheinungen, welche unbestreitbar der letzteren Ursache zuzuschreiben sind, obwohl auch hier,

selbstredend, der Contact nothwendig erforderlich ist. Eine ganz bestimmte Erklärung dieser Entstehungen der Electricität ist aus dem Grunde noch nicht gegeben worden, weil hier ohne Zweifel eine Anzahl Ursachen gleichzeitig mitwirken und weil es uns noch an Klarheit darüber fehlt, welche von beiden, die chemische oder die electricische Thätigkeit, die Ursache und welche die Wirkung ist.

Fig. 133.



Eine der hierher gehörigen Erscheinungen ist folgende: Man giesst in die beiden Gefäße a und b (Fig. 133) Salpetersäure, taucht die Platinplatten, welche die Enden des Multiplicators bilden, in dieselbe und legt eine Glasröhre, die mit befeuchtetem Asbest gefüllt ist, über beide Gläser, so dass der Asbest in beide Flüssigkeiten taucht; bringt man nun durch

die beiden Oeffnungen c und d, welche in der Glasröhre sich befinden, bei c einen Tropfen Säure, bei d einen Tropfen Alkali auf den Asbest, so entsteht bei deren Berührung sofort eine Ablenkung der Multiplicatornadel.

Wenn man zwei Schalen mit Kupfervitriollösung durch einen feuchten Asbeststreifen verbunden hat, so zeigt der Multiplicator, dessen Platinplatten in die beiden Schalen tauchen, keinen Strom an, wenn man aber in die eine Schale einen Tropfen Salpetersäure bringt, so zeigt sich das entsprechende Drahtende negativ electricisch; Schwefelsäure bewirkt ebenfalls einen Strom, aber den entgegengesetzten.

Auch bei allen Verbrennungen findet Electricitätsentwicklung statt, wie man durch Versuche mit dem Electroscope nachweisen kann; es gibt dann stets der Sauerstoff positive und der verbrennende Körper negative Electricität ab.

Setzt man in geeigneter Weise aus Salpetersäure und Alkali, die sich in porösen Scheidewänden berühren, eine Kette zusammen, deren Schliessung durch eingetauchte Platinplatten mit Platinadrahth erfolgt, so zeigt sich beim Schliessen des Drahtes in derselben ein electricischer Strom, während sich an der Platte im Alkali Sauerstoffblasen entwickeln, zum Beweise, dass diese Platte electro-positiv wird. Der Wasserstoff am negativen Pole wird nicht frei, sondern reducirt die Salpetersäure. Der Strom im Drahte zeigt alle Erscheinungen des auf andere Weise entwickelten Stromes.

§ 224. Manche Metalle zeigen, wenn sie in gewisse Flüssigkeiten getaucht waren, oder wenn sie als Austrittsplatte für die Electricität gedient hatten, die Eigenschaft, den dadurch bewirkten electricischen Zustand noch dauernd zu behalten. Hierher gehört der *passive* Zustand des Eisens. Dieses Metall wird von Salpetersäure nicht mehr angegriffen, wenn es eine Zeit lang mit dem positiven Pole einer Kette in Berührung gewesen ist, oder wenn es an dem einen Ende zum Rothglühen und zur anfangenden Oxydation erhitzt worden und dann erkalte ist. Taucht man nun das geglühte Ende in Salpetersäure, so wird auch das andere passiv; auch macht das durch den positiven Pol passiv gewordene Eisen durch seine Berührung auch dasjenige passiv, welches an dem negativen Pole gewesen war.

Die Passivität kann durch Berührung mit mehreren Metallen, oder durch Ritzen mit einer Feile aufgehoben werden und verschwindet *gänzlich*. Passives Eisen füllt Kupfer aus seiner Lösung nicht,

erlangt aber diese Eigenschaft wieder, wenn seine Passivität, wie eben gesagt, aufhört.

§ 225. Von den Fällen, in denen sich durch Lebensthätigkeit oder durch physiologische Prozesse Electricität entwickelt, sind noch wenige hinreichend untersucht, um als bestimmte Thatsache gelten zu können.

Die bekannteste Erscheinung dieser Art bieten gewisse Fische dar, wie namentlich der Zitteraal, der Zitterwels u. a., welche mittelst bestimmter Organe willkürlich electricische Schläge in grosser Kraft und bestimmter Richtung entwickeln, so dass sie sich derselben zur Vertheidigung bedienen können.

Das eigenthümliche Organ, welches der Sitz dieser Electricitäts-erregung ist, liegt beim Zitteraal im Schwanztheil und besteht aus säulenförmigen Abtheilungen, deren etwa 400 in mehreren Reihen liegen und zellenförmige Abtheilungen von mehreren Millionen an Zahl enthalten. Der Strom scheint von dem Vordertheil nach dem Hintertheil des Fisches zu gehen und ist so bedeutend, dass der Fisch durch einen einzigen Schlag andere Fische tödten und durch wiederholte Schläge selbst grössere Thiere, wie Pferde und Maulthiere schwächen und kampfunfähig machen kann. Nach wiederholten Schlägen aber tritt auch bei dem Aal eine bedeutende Erschlaffung ein, so dass er nach einiger Zeit nicht mehr im Stande ist, Schläge zu bewirken.

Ein Draht, welcher mit dem Rücken und Bauch des Zitteraales in Verbindung steht, bringt chemische, magnetische und Wärmewirkungen hervor, wie der Schliessungsdraht einer Volta'schen Säule; dabei verhält sich der Rücken des Fisches gegen die Magnetnadel wie das Kupferende, der Bauch wie das Zinkende. Es erfolgt auch eine Ablenkung, wenn man beide Drahtenden am Bauche oder beide an dem Rücken anlegt, wenn nur die berührten Stellen unsymmetrisch gegen die Mittellinie liegen. Unter geeigneten Umständen gibt der Verbindungsdraht auch Funken.

Auch an frisch getödteten Fröschen ist ein Strom beobachtet worden, wenn man die Drähte des Multiplicators an gewissen Stellen des Körpers anlegt; dieser Strom ist indess nur ein specieller Fall der allgemein von *Du Bois Raymond* nachgewiesenen Ströme, welche in allen Theilen des Nervensystems und der Muskeln aller Thiere vorkommen. Durch sehr empfindliche Instrumente, deren Haupttheil ein Galvanometer von 6000—7000 Umwindungen und eine sehr vollkommen astatische Nadel von dennoch stark magnetischer Kraft bildet, ist es ihm gelungen, eine Ablenkung der Magnetnadel allemal dann zu erhalten, wenn ein beliebiger Punkt des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes eines Muskels oder Nervs mit einem beliebigen Punkte des Querschnittes desselben in leitende Verbindung gebracht wurde. Der Strom geht von dem Berührungspunkte des Längsschnittes zu dem des Querschnittes, so wie von einem Punkte eines Schnittes zu einem entfernteren desselben.

Diese Ströme erleiden bestimmte Veränderungen in dem Augenblicke, wo der Nerv zur Vermittlung einer Bewegung dient und in Folge davon der Muskel zusammengezogen wird. Hierher gehört auch folgende Erscheinung: Wenn man die Enden des Galvanometers in zwei Glasgefässe leitet, worin sich Salzwasser befindet, dann in jedes eine Hand taucht, so entsteht in demjenigen Momente sofort ein Strom, wo man einen Finger der einen Hand stark krümmt und diese Muskelspannung eine Zeit lang dauern lässt. Die Ablenkung der Nadel findet auch noch statt, wenn man zwischen die Flüssigkeit und das Galvanometer Widerstände von sehr langen Kupferdrähten einschaltet. Auf diese Weise ist man im

Stande, gewissermaassen durch den Willen allein, electriche Ströme hervorzurufen, und der Gedanke liegt nicht fern, alle Bewegungen des Körpers umgekehrt von electricen Strömungen abzuleiten. Die Versuche sind sehr umständlich und schwer mit Zuverlässigkeit anzustellen, indem man vor Allem jede Ungleichartigkeit in den eingetauchten Metallplatten oder Drähten vermeiden muss, welche schon allein im Stande sein könnte, einen Strom hervorzurufen.

XXII. Electricität durch Wärme. (Thermoelectricität.)

§ 226. Durch die Wärme allein kann in einzelnen Fällen in einem Körper ein electricer Strom erzeugt werden. Die Fälle, in denen durch Erwärmung des Berührungspunktes zweier Körper ein Strom entsteht, sind häufiger und geben stärkere Electricität; allerdings ist in *diesen* Fällen die Wärme nicht die *alleinige* Ursache der Erscheinung.

Zu der ersten Art der Electricitätsentwicklung gehören folgende Thatsachen:

Wenn man in den Draht des Multiplicators, der zu diesem Versuche ebenso empfindlich sein muss, wie zu dem im vorhergehenden Paragraphen beschriebenen, eine Spirale aus Platinadraht einlöthet, und diese dann an dem einen Ende erhitzt, so findet ein Strom statt, welcher die Richtung von den erhitzten nach den übrigen Theilen der Spirale also diejenige der stärksten Fortpflanzung der Wärme besitzt.

Löthet man an die Enden des Multiplicatordrahtes zwei Spiralen und erhitzt die eine, so entsteht ein Strom, wenn man die kalte mit der erwärmten Spirale in Berührung bringt. Dabei ist es für die Regelmässigkeit der Stromrichtung von Wichtigkeit, dass die Metalle sehr gleichmässig seien, indem sonst leicht Gegenströme durch die Erwärmung ungleicher Stellen entstehen könnten.

Wenn an einem Kegel von Antimon die Basis erkaltet, so geht ein Strom von der Spitze zur Basis; wenn man die Basis erhitzt, so hat er die umgekehrte Richtung.

Wenn man eine stählerne Stricknadel an einem Ende ausglüht, so dass sie an diesem weich wird, sie dann mit den Multiplicatordrähten verbindet, und dann an derjenigen Stelle erwärmt, wo der ausgeglühte und der nicht ausgeglühte Theil einander berühren, so entsteht ein Strom vom weichen zum harten Theile, der so lange dauert, wie man die Lampe nach dem harten Theile so langsam fortrückt, dass immer ein Stück glühend erhalten und so die Nadel allmählich ganz weich wird.

Ausser den Metallen gibt es noch einige andere Körper, welche durch Erwärmung Electricität entwickeln. Dies ist namentlich der Fall bei einigen krystallisirten Mineralien, von denen der *Turmalin* das bekannteste ist. Kann man einen Turmalinkrystall von etwa einem Zoll Länge bei übrigens geringer Dicke erhalten, so ist es leicht den

Versuch anzustellen. Man hänge denselben in der Mitte an einem Seidenfaden auf und halte darunter ein Eisenblech in einer Entfernung

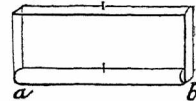
von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Zoll, welches man durch eine darunter gehaltene Spirituslampe erwärmt. Die Electricitätsentwicklung lässt sich leicht mittelst einer geriebenen Sieglackstange nachweisen, welche auch darthun wird, dass jedes Ende des Krystalls eine andere Electricität besitzt. Tritt diese nicht beim Erwärmen deutlich hervor, so zeigt sie sich doch jedenfalls, wenn man den Krystall nach der Wegnahme der Eisenplatte erkalten lässt. Es ändert sich dann aber die Polarität in die entgegengesetzte um. Manche Turmaline zeigen indessen auch beim Erkalten keine Electricität, erlangen aber diese Eigenschaft, wenn man sie in der Mitte entzwei bricht. Die verschiedenartige Ausbildung der Krystallflächen des Turmalins an beiden Enden der Säulen scheint mit dieser Polarität im Zusammenhang zu stehen.

Es gibt noch viele andere Krystalle, die ein ähnliches Verhalten zeigen; es gehören dazu z. B. der Topas, der Borazit, und die Weinsäure.

§ 227. Bei weitem hervorstechender und wichtiger ist die Electricität, welche sich entwickelt, wenn man die Berührungsstelle gewisser an einander gelötheter Metalle erhitzt. Besonders ausgezeichnet findet dies bei der Berührung von Kupfer und Antimon und von Kupfer und Wismuth statt. Es ist leicht, sich durch den

Versuch von dieser Erscheinung zu überzeugen. Man giesse aus Antimon in eine Form aus starkem Papier einen fingerdicken Streifen in der Länge von etwa 3 Zoll, feilt ihn nach dem Erkalten namentlich an den Enden ganz rein und verbindet ihn mit einem zweimal rechtwinklig gebogenen Kupferdraht oder Kupferstreifen zu einem Rechteck, wie es beistehende Figur 134 zeigt. Zur Bequemlichkeit kann man in das Kupfer und das Antimon eine feine Spitze befestigen, um darauf eine Magnetnadel aufhängen zu können. An den Punkten a und b werden beide Metalle durch Löthen verbunden und dass Ganze nach dem Erkalten so auf ein Bänkchen gestellt, dass man die an beiden Seiten vortretenden Löthstellen erhitzen kann. Hat man eine Magnetnadel eingefügt, so zeigt dieselbe während der Erwärmung einer Löthstelle eine bedeutende Ablenkung. Um dieselbe möglichst gross zu machen, stellt man den Apparat vorher in dem magnetischen Meridian auf. Man kann sich leicht überzeugen, dass der positive Strom vom Kupfer zum Antimon geht.

Fig. 134.



Auch mit Wismuth und Kupfer kann man dasselbe Experiment anstellen, nur ist das Zusammenlöthen dieser beiden Metalle etwas schwieriger; der Strom geht hier in umgekehrter Richtung, nämlich vom Wismuth zum Kupfer.

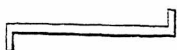
Versuche mit dem Multiplicator erläutern natürlich auch die Beobachtung und Messung derjenigen weit schwächeren Ströme, welche bei anderen Metallen entstehen. Man hat die Metalle in dieser Beziehung in eine Reihe zusammengestellt, welche für die Thermoelectricität dasselbe ist, wie die Spannungsreihe für die gewöhnliche Berührungselectricität. Dabei ist jedoch die Reinheit der Metalle von grosser Wichtigkeit. Die Stärke des Stromes ist von mancherlei Umständen bedingt, nicht aber von einer chemischen Veränderung der Metalle; bei einer Temperatur unter 50° ist sie unabhängig von der Länge des beiden Metalle verbindenden Drahtes.

Zwischen einem glühenden und einem kalten Thoncyliner ist die Entstehung eines Stromes ebenfalls nachgewiesen worden. Auch wenn

man ein geschmolzenes, die Electricität leitendes Salz mit zwei verschiedenen erwärmten Metallplatten in Berührung bringt, entsteht ein starker Strom vom heissen Metall durch das Salz zum kälteren, doch wird derselbe durch gleichzeitige chemische Einwirkungen nicht selten modificirt. Selbst bei Contact von warmem und kaltem Wasser wird ein Strom bemerklich und zwar vom ersteren zum letzteren.

Wenn man umgekehrt einen electricischen Strom durch die Verbindungsstelle zweier Metalle leitet, so bewirkt er daselbst eine Temperaturveränderung und zwar bald eine Erhöhung, bald eine Erniedrigung. So bringt z. B. der Strom, welcher durch die Löthstelle von Wismuth und Antimon geht, eine Erwärmung hervor, wenn der positive vom Antimon zum Wismuth, eine Erkaltung, wenn er in umgekehrter Richtung geht. Diese Aenderung der Temperatur ist gross genug, um sie durch die Volumenänderung der Luft in einer Glaskugel, worin die beiden Metalle sich berühren und worin sie luftdicht befestigt sind, anschaulich zu machen, und dann umgekehrt durch diese Erwärmung selbst einen galvanischen Strom hervorzurufen, der als Maass für die stattgefundene Erwärmung dienen kann.

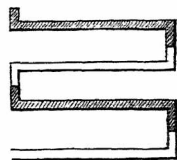
Fig. 135.



§ 228. Setzt man eine Anzahl Paare von Metallstäben, welche durch Erwärmung ihrer Lötstelle einen Strom erzeugen, zusammen, so erhält man eine *thermoelectrische Kette*. Man wählt dazu diejenigen Metalle, welche bei nicht zu hohem Preise die stärkste Wirkung geben, nämlich Antimon und Wismuth

und löthet die Stäbe, welchen man die Gestalt Fig. 135 gibt, in der Ordnung Fig. 136 zusammen. Man legt mehrere solcher Stäbchenpaare zur Vermehrung der Berührungsstellen zu einer Batterie zusammen, welcher man die Einrichtung gibt, dass man alle Lötstellen der einen Seite zugleich erwärmen kann. Schaltet man nun zwischen das letzte Antimon- und das erste Wismuthstäbchen einen Draht mit einem Multiplicator ein, so dass dadurch die Verbindung aller Stäbe in gleicher Ordnung hergestellt wird, so kann man schon mittelst

Fig. 136.



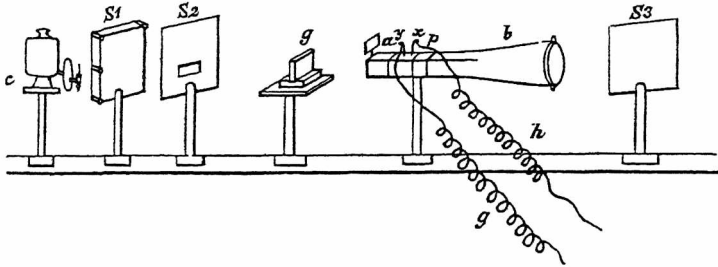
der geringsten Temperaturveränderung einen Strom erhalten. Bei der Verbindung der Stäbe ist es natürlich erforderlich, dass dieselben eine ununterbrochene Kette von Wismuth, Antimon, Wismuth, Antimon etc. bilden, dass immer nur die abwechselnden Lötstellen an der einen oder an der anderen Seite sich befinden, und dass die Metalle ausser an den Lötstellen nicht mit einander in Berührung stehen. Man trennt daher die einzelnen Schichten der Säulen durch Seide von einander, wie man denn auch die ganze Säule, vor ihrer Umgebung mit einer Metallhülse, mit Seide bewickelt.

Wenn man erst die eine und dann die andere Seite der Säule erwärmt, so erhält man jedesmal einen Strom, aber in entgegengesetzter Richtung. Findet daher eine Erwärmung an beiden Seiten zugleich statt, so zeigt die Nadel des Galvanometers den Unterschied beider Ströme, mithin auch denjenigen der beiden Erwärmungen an.

Die Thermosäule ist als das empfindlichste Instrument zur Messung geringer Mengen strahlender Wärme benutzt worden und übertrifft alle anderen Thermometer an Schärfe. Sie ist namentlich von *Melloni* zur Untersuchung der Gesetze der strahlenden Wärme angewendet worden und heisst daher auch die *Melloni'sche Säule*.

Natürlich muss ein Apparat, welcher eine so grosse Empfindlichkeit gegen Temperaturunterschiede zeigt, wie die Thermosäule, bei Versuchen derart aufgestellt werden, dass er keine Spur von anderer Wärme empfangen kann, als die zu messende von dem untersuchten Körper ausstrahlende. Der ganze in diesem Sinne zusammengestellte Apparat heisst *Thermomultiplicator* und ist in Fig. 137 in seinen Haupttheilen dargestellt.

Fig. 137



Die an beiden Seiten zur vollkommenen Wärmeabsorption geschwärzte Säule *p* steht auf einem Stativ und hat an jeder Seite eine Hülse *a* und *b*, welche nur nach derjenigen Seite geöffnet sind, von wo die strahlende Wärme kommt, so dass sie an allen anderen Seiten die Luftbewegung und Wärmestrahlung abhalten; die eine derselben besitzt zur Concentration der Wärme eine konische Gestalt (zu ihrer Anwendung wäre der oben gezeichnete Apparat umzukehren). Der Multiplicatordraht ist eisenfreies Kupfer und 40 bis 50 mal um die astatiche Nadel gewunden, welche in einem mit allen Einrichtungen zur Einstellung der Nadel und zur Messung des Stromes versehenen Galvanometer — in der Figur nicht gezeichnet — befindlich ist. Die Verbindung zwischen diesem und der Säule wird durch die elastischen Drähte *h* und *g*, welche an den Antimon- und Wismuthenden *x* und *y* befestigt sind, bewirkt.

Die Wärmequelle, welche zur Untersuchung dient, wird bei *c* befestigt; sollen die Wärmestrahlen derselben abgehalten werden, so wird der Schirm *S*₁ eingeschaltet, welcher aus zwei Metallblechen mit dazwischen befindlicher Luftschicht besteht. *S*₂ ist ein Schirm mit einer Oeffnung, welche einen Strahlenbüschel von bestimmtem Querschnitt durchlässt; bei *g* stellt man auf einem Tischchen die auf ihr Wärmedurchlassungsvermögen zu untersuchenden Körper auf. Der Schirm *S*₃ dient zur Abhaltung der Wärmestrahlen von der anderen Seite, wenn nicht der Unterschied zweier Wärmequellen untersucht werden soll. Alle Theile des Apparates sind auf einem horizontalen, genau eingetheilten Fusse in gerader Linie befestigt, um in jeder beliebigen Entfernung von einander aufgestellt werden zu können.

Bei der geringsten Wärmeentwicklung, schon bei der strahlenden Wärme eines in der Richtung der Oeffnung der Batterie gehaltenen Fingers zeigt die Nadel einen starken Ausschlag und kommt dann nach längerer Zeit in einer geringeren Abweichung zur Ruhe. Um diese nicht für jeden Versuch abwarten zu müssen, hat *Melloni* die Beziehungen zwischen dem ersten und dem definitiven Ausschläge vermittelt, so dass man aus jeder anfänglichen Ablenkung, ohne die Ruhe der Nadel beobachten zu müssen, das Endresultat erschliessen kann. Natürlich muss diese Ermittlung für jedes einzelne Instrument besonders angestellt werden.

Wenn das Instrument zu bestimmten Wärmemessungen dienen soll, so muss man das Verhältniss zwischen der Ablenkung der Nadel und der Stromstärke ermitteln; dies geschieht für jeden einzelnen Apparat durch eigene Versuche, in Folge deren man sich eine Tafel entwirft, welche für jede bestimmte Ablenkung der Nadel die Temperaturdifferenz zu beiden Seiten der Säule ergibt. Diese Ablenkung ist bei niederen Temperaturen, für gleiche Unterschiede eine andere, als bei höheren, und man hat stets die Einrichtung so zu treffen, dass die Nadel nicht über 30° abgelenkt werde, damit geringe Unterschiede noch leicht bemerkbar werden; für stärkere Erwärmungen bringt man daher auf der entgegengesetzten Seite der Säule eine constanten Wärmequelle mit bekannter Wirkung an, so dass die Nadel des Galvanometers in Folge des bleibenden Wärmeunterschiedes immer unter dem bestimmten Ablenkungsmaximum bleibt; dadurch erhält man den Vortheil, dass die Ablenkungen den Strömen proportional sind. Für sehr geringe Wärmestrahlungen ist dies natürlich nicht erforderlich und eine directe Beobachtung empfindlicher.

Diese allgemeinen Andeutungen mögen genügen, um ein Bild der bei diesen Untersuchungen befolgten Methoden zu geben und man wird darnach sich eine Vorstellung machen können, wie es mittelst dieses äusserst empfindlichen Instrumentes möglich gewesen ist, die Gesetze der strahlenden Wärme so genau festzustellen. Eine nähere Erörterung über diesen Gegenstand würde zu weit führen; ohnehin sind die Untersuchungen selbst zu feiner Art, als dass sie in kurzer Zeit anschaulich zu machen wären.

§ 229. Wenn man die Thermosäule in etwas grösserem Maassstabe ausführt und so einrichtet, dass man die eine Seite derselben durch eine glühende Platte stark erhitzen, die andere durch Eis erkalten kann, so erhält man thermoelectrische Ströme von grosser Spannung, wodurch man beim Oeffnen der Leitung Funken und dadurch alle Wirkungen der galvanischen Ströme hervorbringen kann.

Die thermoelectrischen Ströme sind sehr constant, wenn die Lötstelle einer gleichförmigen Temperatur ausgesetzt bleibt; man hat auch versucht, sie als Maass für *hohe* Temperaturen anzuwenden, allein genauere Untersuchungen haben sie in dieser Beziehung als unzuverlässig gezeigt. Wenn man z. B. einen Platinadraht von $\frac{1}{2}$ Millim. Dicke mit einem eben solchen, aber noch ein zweites damit legirtes Metall enthaltenen mittelst eines Knotens zusammenpresst, so reicht dieses einfache Element schon aus, an einem Galvanometer die Wärmezunahme eines Ofens zu beobachten; Messungen sind jedoch damit nicht vorzunehmen, weil die Ablenkung der Temperaturerhöhung nicht proportional ist.

Ein Vergleich mit den chemischen Wirkungen der Electricität mag nach *Pouillet* die *Schwäche* des thermoelectrischen Stromes zeigen. Nach ihnen ist die Electricitätsmenge, welche ein Gramm Wasser zersetzt, 13787mal grösser als die, welche in einer Wismuth-Kupferkette von 10 Meter langem und 1 Millimeter dickem Kupferdraht bei 100 Grad Temperaturunterschied an den Lötstellen in einer Minute übergeht.

§ 230. Nach *Bequerel* erregt auch *das Licht* die Electricität in geringer Menge. Wenn man zwei reine Platinableche in eine Säure taucht, und mit einem Multiplikator in Verbindung setzt, während die eine Platte vom Sonnenlichte beschienen ist, so wird sie positiv electrisch; die stärkste Wirkung hat das violette Licht. Diese Erscheinung ist noch nicht mit Sicherheit erklärt.

Auch durch *Haarröhrchenanziehung* ist in einem Falle eine Electricitäts-erregung beobachtet worden. *Becquerel* befestigte an einem Multiplicatorende einen Platinalöffel, an dem anderen einen Platinaschwamm; beide waren wiederholt mit Salpetersäure gereinigt und geglüht. Als er nun in den Löffel reine und stark concentrirte Salpetersäure brachte, und den Platinaschwamm hineintauchte, wurde derselbe negativ; in Salzsäure dagegen positiv electrisch. Umgekehrt wirkt auch die Electricität auf die Haarröhrchen Anziehung, indem z. B. die Depression, welche Quecksilber in engen Röhren erleidet, durch Electricität verringert wird.

§ 231. Durch Druck wird in mehreren Fällen ebenfalls Electricität obwohl in geringer Menge, entwickelt. Glasplatten zeigen z. B. nach dem Aufeinanderdrücken und Wiederlosreißen entgegengesetzte Electricität, ebenso Metallscheiben, wenn sie gehörig isolirt sind. Ueberhaupt kann man an isolirten Scheiben der meisten Körper, wenn man deren zwei an einander drückt und sie dann mittelst der Drehwage untersucht, Electricität bemerken. Am deutlichsten zeigen dies eine Scheibe von Kautschuk und von Korkholz; nicht leitende Körper überhaupt in höherem Grade als leitende.

Der Kalkspath zeigt die Electricitätsentwicklung durch Druck in besonderer Deutlichkeit, so dass man den

Versuch leicht anstellen kann, indem er durch den blossen Druck zwischen Fingern auf längere Zeit electrisch wird. Man biege ein Blechstreifchen von etwa einer halben Linie Breite nach der Gestalt der

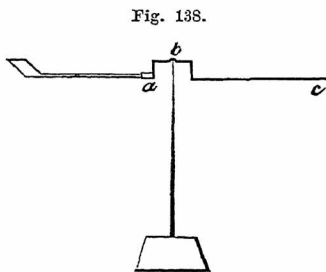


Fig. 138.

beistehenden Fig. 138 a b c; bei b schlage man mittelst eines etwas stumpfen Pflie- mens eine Vertiefung ein, kütte dann bei a einen Schelllackfaden von der Dicke eines dünnen Bindfadens an und auf denselben mittelst Klebwachs ein kleines Stückchen Kalkspath; das Ganze setze man auf eine in einen Kork gesteckte Nadel; das Gleichgewicht des Apparates kann man durch etwas Wachs oder durch Wegschaben des Blechs leicht herstellen. Nimmt man nun

den Kalkspath ab und drückt ihn zwischen den Fingern, so zeigt er nach dem Wiederaufsetzen eine lebhaftere Ab- stossung gegen eine geriebene Glasstange, eine Anziehung gegen geriebenen Siegellack.

Manche andere Krystalle verhalten sich ähnlich; der Versuch ist mittelst des beschriebenen Apparates sehr leicht anzustellen.

Mit diesen Electricitäts-erregungen hängt das Leuchten zusammen, welches z. B. Glimmerblätter im Dunkeln zeigen, wenn man sie spaltet; werden an beiden Seiten Glasgriffe angekittet, so zeigen die losgetrennten Theile nachher entgegengesetzte Electricität an. Viele Körper, wie Zucker, Borsäure u. A. zeigen in derselben Weise beim Zerspalten, so wie beim Krystallisiren das Freiwerden schwacher Electricitätsmengen.

SECHSTER ABSCHNITT.

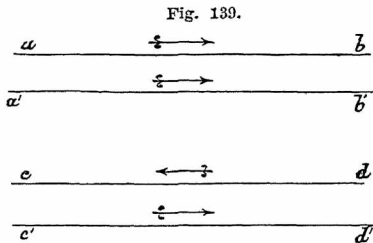
DER ELECTRICITÄT ZWEITER THEIL: ELECTRODYNAMIK.

Wirkung zwischen electrischen Strömen unter sich und zwischen electrischen Strömen und dem Magnetismus.

(Es ist schon früher erwähnt worden, dass durch diese Trennung eine scharfe Scheidung verwandter Erscheinungen nicht bezweckt werden soll; doch stehen die zu beschreibenden Wirkungen und Kräfte ziemlich charakteristisch als die der bewegten Electricität da.)

XXIII. Wirkung der electrischen Ströme auf einander.

§ 232. Wenn man zwei von einander getrennte electrische Ströme so in Wechselwirkung bringt, dass sich die ergebenden Anziehungen und Abstossungen an den *beweglichen* Leitern der Ströme unter den verschiedenen Umständen beobachten lassen, so macht sich in allen Fällen ein allgemeines Gesetz geltend, von dem sich alle Erscheinungen ableiten lassen; dieses heisst: *Zwei parallele Ströme ziehen sich an, wenn sie nach einerlei Richtung gehen, und stossen sich ab, wenn sie entgegengesetzte Richtung haben.* Die Ströme ¹⁾ a b und a' b' (Fig. 139) werden also eine Anziehung, die Ströme c d und c' d' eine Abstossung gegen einander zeigen.

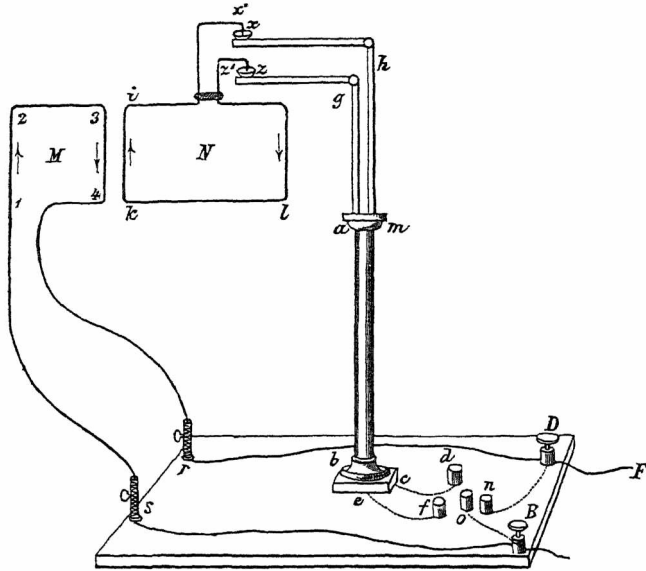


Es lassen sich alle Thatsachen, welche bei der Beobachtung der gegenseitigen Einwirkungen zwischen electrischen Strömen beobachtet werden, durch richtige Anwendung dieses Gesetzes auf die modificirenden Umstände deuten, wie wir dies gleich sehen werden.

¹⁾ Es ist auch hier der Einfachheit halber mit dem Worte *Strom* und Stromrichtung stets der Strom und seine Richtung verstanden, welcher vom positiven zum

Um die Richtigkeit des ausgesprochenen Fundamentalsatzes zu beweisen, bedient man sich des Apparates Fig. 140. Der Versuch kann, wenn man sich einen solchen Apparat anfertigen lassen will, leicht mit

Fig. 140.



Hülfe einer Batterie von 2—3 Elementen angestellt werden; allein es erfordern diese und ähnliche Instrumente sehr sorgfältige und feine Arbeit, daher wir auch nicht zur Anstellung des Fundamentalversuches rathen können. Auf dem mit den nöthigen Stellschrauben für die Kupferdrähte der Leitungen versehenen Brettchen befindet sich die hohle messingene Säule a b, welche mittelst des Messingdrahtes g mit dem metallenen Quecksilbernapfchen z in leitender Verbindung steht. Durch die Säule a b und von derselben durch Elfenbein vollkommen isolirt, geht der dicke Draht h e, welcher mit dem metallenen Quecksilbernapfchen x einerseits und mit dem von der Säule getrennten Drahte c d andererseits verbunden ist. d ist ein cylindrisches Kupferstückchen, ebenso wie f, welches durch e f mit der äusseren Säule und also mit z in Verbindung steht. Diese Verbindungen gehen *unter* dem Brette durch und sind federnd, so dass die durch das Brett *hindurch*gehenden Kupfercylinderchen hinabgedrückt werden können, gleich aber wieder in die Höhe gehen.

In die Schälchen x und z werden nun leichte Leiter gehängt, wovon die Figur einen in der Aufhängung zeigt; derselbe ruht mit der einen Spitze in dem Napfchen x, wozu dieses an seinem Boden ein Glasplätt-

negativen Pole geht, so dass z. B. hier von zwei positiven Strömen die Rede ist; dasselbe gilt also natürlich von zwei negativen; da diese in umgekehrter Richtung gehen, so kann das Gesagte aber nicht auf einen positiven und negativen Bezug haben, es sei denn, dass man diese, wie es in der That der Fall ist, als entgegengesetzt gerichtete betrachtet.

chen hat; mit der anderen Spitze *taucht* er nur in das Quecksilber bei z. Der Leiter muss also eine möglichst symmetrische Gestalt haben und so geformt sein, dass er auf der Spitze x vollkommen senkrecht schwebt und sich leicht darin drehen kann.

Die Drähte sind da, wo sie einander berühren würden, mit Seide umwickelt und an einander festgebunden.

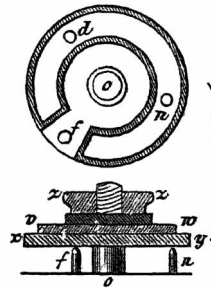
Die Klemmschrauben r und s dienen dazu, den Draht für den zweiten Strom einzuschalten, wie obige Figur beispielsweise zeigt. Sie stehen mit den Klemmschrauben D und B in Verbindung, welche zur Anlegung der Polardrähte der Batterie dienen.

Der Strom muss sich nun in diesen Klemmschrauben theilen, wesshalb er auch nicht zu schwach sein darf; er geht (nämlich der *positive*, den wir allein betrachten wollen) von B einerseits nach der Klemmschraube s und von dort durch den Leiter M in der Richtung der Pfeile, dann durch r nach D und in die Batterie zurück; andererseits geht ein Theil desselben nach dem Kupfercylinder o. Wird dieser nun mit f in Verbindung gebracht, während man eine Leitung zwischen d und n anbringt, so geht dieser Theil des Stromes durch ab in die Höhe, tritt bei z in den beweglichen Leiter ein, durchströmt denselben in der Richtung der Pfeile, steigt bei hm herab und tritt durch cd und n nach D, um sich dort mit dem ersten Stromtheil zu vereinigen; n D geht ebenso wie o B *unter* dem Brette durch und federt die Cylinder o und n gegen dasselbe.

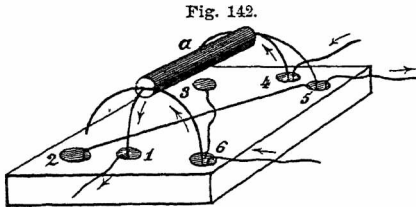
Die Verbindungen of und nd sind desshalb nicht bewirkt, weil man auch die Verbindung od und fn herstellen muss; in diesem Falle geht nämlich der Strom durch die Säule und den beweglichen Leiter in umgekehrter Richtung von der eben beschriebenen und man kann daher im ersten Falle die Einwirkung von ungleich gerichteten und im zweiten die von gleich gerichteten in den Theilen 1, k und 3,4 auf einander beobachten.

Um nach Willkür die Verbindungen of und dn oder od und fn herzustellen, wendet man verschiedene Einrichtungen an, die unter dem Namen *Gyrotrop*, *Commutator* oder Stromwender bekannt sind. Die einfachste derselben dürfte in derjenigen bestehen, welche Fig. 141 im Grundriss und Durchschnitt zeigt. Den Haupttheil bildet eine Kupferscheibe xy, welche durch eine Schraube zz, die in dem verlängerten Zapfen o befindlich ist, an die Holzscheibe vw angedrückt wird. Wie der Grundriss zeigt, besteht sie aus zwei Theilen, welche durch Holz- oder Elfenbeinstreifen isolirt sind. Diese Scheibe kann nun, ohne ihre Verbindung mit o zu verlassen, gedreht werden und steht dann, durch das Federn der betreffenden Leitungen mit den von unten dagegen drückenden Cylindern d, n und f in Verbindung. In der in der Figur gezeichneten Lage verbindet sie z. B. d mit n und f mit o; dreht man sie aber so weit, dass der innere Theil mit seiner Verlängerung über d zu liegen kommt, so stellt sie die umgekehrte Verbindung her, da alsdann o mit d und f mit n verbunden sind; endlich kann auch o mit n und d mit f verbunden werden, wodurch dieser ganze Theil des Apparates aus der Leitung ausgeschaltet wird.

Fig. 141.



Eine andere Einrichtung, die *Wippe*, setzt die Einmündung sämtlicher Leitungen in 6 Quecksilbernäpfchen voraus, welche in dem Brette eingeschnitten, oder auch auf einem besonderen Gestellehen irgendwo in den Apparat eingeschaltet sein können. Die einfachste Construction



der *Wippe* zeigt Fig. 142. Durch die Drähte 1 und 4 tritt der Strom ein und aus; die 4 Löcher 2, 3, 5 und 6 dienen zur Veränderung der Richtung des eingeschalteten Stromes, der bei 5 aus- und durch 6 zurück tritt. Die Leitungen 2, 5 und 3, 6 sind von einander isolirt.

Die Axe der *Wippe* bildet das Holzstäbchen *a*, an welches die Kupferdrähte in der Weise befestigt sind, wie es die Figur zeigt. Dieselben sind so lang geschnitten, dass der Apparat entweder in den Löchern 1, 6 und 4, 5 stehen muss, oder dass er durch Umkippen in die Löcher 1, 2 und 3, 4 kommt. Die Löcher enthalten Quecksilber, die Drahtenden sind amalgamirt, die Verbindung derselben an den Enden von *a* sorgfältig hergestellt.

Man sieht nun leicht, dass in der Stellung der Figur der Strom folgende Richtung hat:

4, 5 — Leiter — 6, 1; dass

er aber, wenn die *Wippe* umgekippt ist, die Richtung nimmt:

4, 3, 6 — Leiter — 5, 2, 1,

so dass er also das eine Mal den Leiter von 5 aus, das andere Mal von 6 aus durchströmt, und also jedes Mal eine andere Richtung hat.

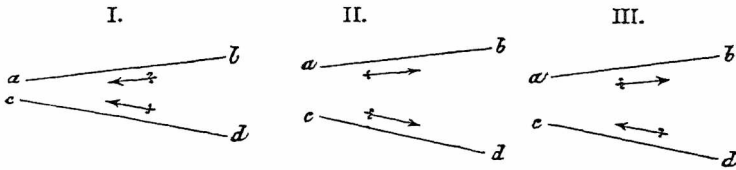
Aus dieser Beschreibung der Apparate ist zu ersehen, wie man mittelst derselben die gegenseitige Wirkung der parallelen, geradlinigen und entweder gleich oder entgegengesetzt gerichteten Ströme beobachten kann. Dabei wird das oben ausgesprochene Gesetz leicht erkannt. Da der Strom sich in den Apparaten in zwei Arme theilen muss, so kann man vorab ermessen, dass er nicht zu schwach sein darf. Zwei bis drei *Grove'sche* Elemente liefern ihn in hinlänglicher Stärke.

Natürlich gelten diese Abstossungen und Anziehungen auch für parallele Theile *desselben* Stromes. Wenn man z. B. eine Drahtspirale, deren Mündungen einander nicht berühren, in eine Stromleitung in verticaler Richtung so einschaltet, dass ihre untere Spitze in ein in der Leitung befindliches Quecksilbergefäß taucht, so findet beim Stromdurchgang eine Anziehung der parallelen Windungen, mithin eine Zusammenziehung der Spirale statt; dadurch wird das Ende aus dem Quecksilber gehoben, also die Leitung unterbrochen, die Spirale dehnt sich wieder aus, schliesst die Leitung wieder und setzt diese Oscillation so lange fort, wie der Strom dauert.

§ 233. Die Wirkung *nicht* paralleler Ströme folgt als ein specieller Fall aus dem allgemeinen Gesetze: Wenn die *geradlinigen* Ströme *ab* und *cd* (Fig. 143 folg. Seite) selbst, oder in ihrer Verlängerung einen Winkel bilden, so ziehen sie sich an, wenn sich beide nach dem Scheitel gehen,

oder sich beide davon entfernen (I, II), sie stoßen sich aber ab, wenn der eine sich vom Scheitel entfernt, der andere auf denselben hingehet. (III).

Fig. 143.

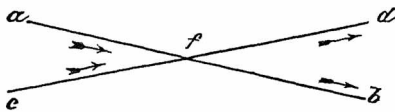


Wenn die beiden Ströme nicht in derselben Ebene liegen, so ist als der Scheitel die kürzeste senkrechte Linie zu betrachten, welche zu beiden Leitern gedacht werden kann.

Diese Gesetze lassen sich durch denselben Apparat, den wir oben beschrieben haben, beweisen, indem man die Leiter entsprechend ändert.

Wenn die Richtungen zweier geradliniger Ströme a b und c d sich scheiden (Fig. 144), natürlich ohne dass diese einander in f berühren, so folgt aus dem Vorhergehenden, dass sie ein Bestreben zeigen müssen, sich parallel und so zu stellen, dass die Ströme in einerlei Richtung gehen. Alle ähnlichen Fälle lassen sich, wie diese, leicht auf den oben ausgesprochenen all-

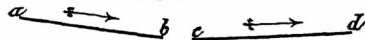
Fig. 144.



gemeinen zurückführen, und ebenso durch passend geformte Leiter mittelst des obigen Apparates erläutern.

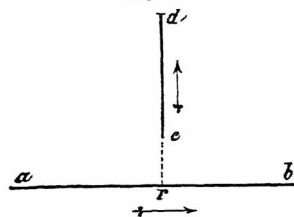
Aus dem Gesagten folgt auch, dass sich die Theile desselben geradlinigen Stromes abstoßen: die Theilchen b und c (Fig. 145) stoßen, wenn der Winkel abcd auch ein sehr stumpfer ist, einander ab; wird der Winkel allmählich zur geraden Linie, so muss aber dieselbe Abstoßung der zunächstliegenden Theile b und c bestehen bleiben. Man kann auf mehrfache Weise diese Abstoßung der Theile desselben Stromes nachweisen.

Fig. 145.



Wenn zwei Ströme c d und a b (Fig. 146) auf einander wirken, von denen der erstere beweglich aber in seiner Grösse beschränkt ist (indem der Strom etwa bei c senkrecht zum Papier ein- und bei d ebenso austritt) während a b eine unbeschränkte Länge hat, so können wir uns den Kreuzungspunkt bei r denken; alsdann findet zwischen c d und r b eine Anziehung, zwischen c d und a r aber eine Abstoßung statt. Jede dieser beiden Kräfte lässt sich in zwei andere zerlegen, von denen die eine parallel mit a b und die andere rechtwinklig dazu ist. Ist nun c d nur in einer zu a b parallelen Richtung beweglich, so können nur die zu a b parallelen Componenten eine Wirkung ausüben, indess die zu c d parallelen wirkungslos bleiben. Hieraus folgt, dass in diesem Falle

Fig. 146.



Jede dieser beiden Kräfte lässt sich in zwei andere zerlegen, von denen die eine parallel mit a b und die andere rechtwinklig dazu ist. Ist nun c d nur in einer zu a b parallelen Richtung beweglich, so können nur die zu a b parallelen Componenten eine Wirkung ausüben, indess die zu c d parallelen wirkungslos bleiben. Hieraus folgt, dass in diesem Falle

sich die wirkenden Componenten zu einer Bewegung des Stromes *cd* in der Richtung von *a* nach *b* vereinigen müssen.

Ist nun der unbewegliche Strom *ab* kreisförmig gebogen, so muss sich der Strom *cd* im Kreise um den Punkt *d* bewegen und zwar in einer Richtung, die derjenigen des kreisförmigen Stromes entgegengesetzt ist. Ist *cd* fest und der kreisförmige Leiter beweglich, so erfolgt die Bewegung des *letzteren*, aber in umgekehrter Richtung (s. d. Fig. 147). Ist der geradlinige Leiter so eingerichtet, dass (Fig. 148) der Strom in der *Mitte* eintritt, und nach beiden Enden in entgegengesetzter Richtung und auf den kreisförmigen Leiter hinströmt, so wird die Ursache der Drehung und mithin die Geschwindigkeit derselben verdoppelt.

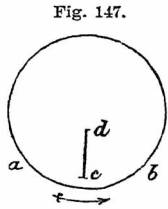


Fig. 147.

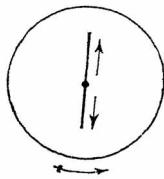


Fig. 148.

Verschiedene sehr einfache Apparate sind construiert worden, um diese Drehung eines Stromes um einen anderen darzustellen.

Eingeradliniger unbegrenzter Strom *cd* (Fig. 149) bewirkt in einem um einen festen Punkt *a* beweglichen geradlinigen *a1* eine fortwährende Drehung, wenn sich beide in keiner Lage durchschneiden; letzterer wird z. B. in der Lage *a1* von *od* angezogen; ebenso in der Lage *a2* von *cf*, von *fd* aber abgestossen; in der Lage *a3* wird er von *co* angezogen, von *od* abgestossen u. s. w., so dass der bewegliche Strom in jeder Lage eine Drehung nach derselben Richtung erfährt.

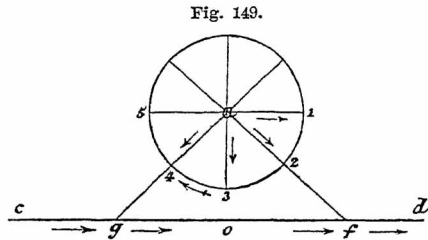


Fig. 149.

§ 234. Wenn der begrenzte Strom *ab* (Fig. 150) um die Axe *mn* beweglich ist und sich unter dem Einflusse des unbegrenzten Stromes *pq* befindet, so muss er sich, wie aus den allgemeinen Gesetzen leicht zu folgern ist, in die Lage *a'b'* stellen.

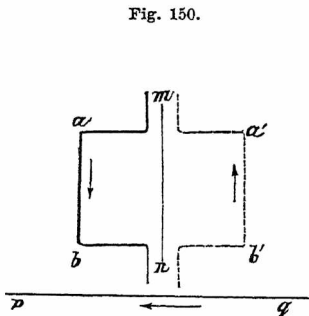


Fig. 150.

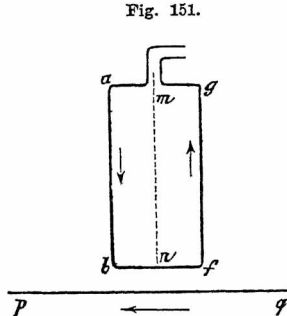


Fig. 151.

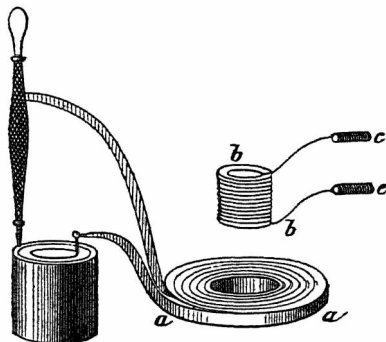
Ein Strom *a'b'* in umgekehrter Richtung gehend, würde nach *ab* sich drehen müssen. Wenn aber *ab* und *a'b'* mit einander fest verbunden sind und nach derselben Richtung gehen, so heben die Wirkungen

von $p q$ auf beide sich gegenseitig auf, vorausgesetzt, dass die Entfernung so ist, dass die Wirkungen auf die entgegengesetzt gerichteten Theile $a a'$ und $b b'$ als gleich gross gelten können; es muss also das System in jeder Lage zu $p q$ in Ruhe bleiben. Gehen dagegen die beiden verticalen Ströme in entgegengesetzter Richtung, so muss sich die Ebene $a f$ parallel mit $p q$ stellen, so dass der aufwärts gehende Strom in die Lage von $a b$ und der abwärts gehende in die Lage $f g$ kommt. Ist der Strom $p q$ kreisförmig, so erfolgt auch hier eine Drehung.

XXIV. Erregung electricischer Ströme durch andere.

§ 235. Schon bei der Reibungselectricität haben wir die Entstehung von electricischen Strömen während der Entladung starker Spannungen kennen gelernt. Aehnliches findet bei der galvanischen Electricität statt. Wenn man nämlich eine Batterie schliesst, deren Leitung bei einem anderen, in sich geschlossenen Leiter nahe vorübergeht, so entsteht bei der Schliessung der Kette in dem zweiten Leiter ein secundärer Strom, der aber nur einen Augenblick dauert und nach vollbrachter Schliessung und während derselben nicht mehr vorhanden ist; öffnet man die Kette wieder, so entsteht zum zweiten Male in dem geschlossenen Leiter ein momentaner Strom. Beide Ströme heissen *inducirte* oder *Inductionsströme*. Die Richtung des ersten, durch Schliessen der Kette inducirten, ist dem Hauptstrom *entgegengesetzt*, die Richtung des zweiten, während des Oeffnens inducirten, ist der Richtung des Hauptstromes *gleich*. Bringt man also die Spirale eines Galvanometers, die in sich geschlossen worden, in die Nähe einer Spirale, welche in der Leitung einer Kette befindlich ist, und schliesst und unterbricht man abwechselnd den Strom, so schlägt die Nadel des Galvanometers bald nach der einen, bald nach der anderen Seite aus. Richtet man den Apparat so ein, dass die Oeffnung und Schliessung des Stromes sehr rasch hinter einander erfolgt, und schliesst man die zweite Spirale mit den befeuchteten Händen, so erhält man durch den raschen Wechsel der electricischen Ströme sehr heftige Erschütterungen. Den einfachsten Fall einer solchen Einrichtung zeigt Fig. 152. Die Unterbrechung und Schliessung

Fig. 152.



geschieht durch das schon früher angewendete Mittel des Reibens an einer Feile; der Hauptstrom circulirt in der Kupferstreifenspirale $a a$, deren Windungen natürlich durch Seide von einander isolirt sind. Die Induction findet in der zweiten Spirale $b b$ statt, welche man in die erstere stellen und deren Enden $c c$ man mit den Händen schliessen oder anderweitig zur Nachweisung der Wirkung electricischer Ströme benutzen kann. Die Wirkungen der Inductionsströme sind nämlich denjenigen der Hauptströme völlig gleich. An der Stelle der beiden getrennten

Spiralen kann man die beiden überspannenen Drähte neben einander aufwinden, so dass jeder Windung des einen auch eine des anderen entspricht und sich in deren unmittelbaren Nähe befindet.

Die wichtigsten Gesetze über die Abhängigkeit des inducirten vom inducirenden Strome sind folgende: 1) die Wirkung eines geradlinigen Leiters auf einen anderen nimmt mit der Entfernung beider von einander ab. 2) Die Stärke des inducirten Stromes wird nicht vermindert, wenn ein *offener* Draht zwischen beide Drähte gelegt wird, wohl aber, wenn dieser Draht geschlossen ist und in demselben also ebenfalls ein Strom inducirt wird. 3) Die inducirende Wirkung auf mehrere Nebendrähte theilt sich unter sie und ist also in jedem schwächer, als bei einem einzigen von gleicher Länge. 4) Wenn der Abstand zwischen beiden Drähten unverändert bleibt, so ist die Wirkung dieselbe, man mag den Zwischenraum ausfüllen, mit welchem *Nicht*-Leiter man will.

§ 236. In unmittelbarem Zusammenhang mit dieser Art von Induction steht diejenige, welche sich bei der Annäherung und Entfernung eines Stromes an einem geschlossenen Leiter zeigt.

Es entsteht nämlich in dem zweiten Leiter allemal ein Strom, wenn man denselben dem durchströmten Leiter nähert, oder ihn davon entfernt, und zwar hat der so inducirte Strom gerade die entgegengesetzte Richtung von derjenigen, welche er hätte haben müssen, wenn er jene Annäherung oder Entfernung hätte bewirken sollen.

Bei dieser Wirkung entspricht die *Annäherung* des Stromes dem *Schliessen*, die *Entfernung* dem *Öffnen* der Kette und es wird, wie man sich leicht nach dem Gesetze der Anziehung und Abstossung der Ströme erklären kann, auch die entsprechende Wirkung hervorgebracht.

Was von der Induction eines Stromes in einem *anderen* Leiter gilt, gilt auch für die Induction in einem anderen Theil *desselben* Leiters, wenn dieser mehrere Windungen enthält. Es entsteht demnach in einer Spirale beim Schliessen der Kette ein momentaner, gleichzeitiger, sogenannter *Extrastrom*, oder Gegenstrom; dasselbe geschieht bei Unterbrechung der Kette. Im ersten Falle ist der Extrastrom entgegengesetzt gerichtet und daher wenig bemerklich; im zweiten aber hat er gleiche Richtung wie der Hauptstrom, verstärkt diesen und kann direct nachgewiesen werden. Es kann z. B. die gleiche Kette, welche beim Schliessen kaum eine Lichterscheinung zeigt, doch einen sehr intensiven Funken geben, wenn man eine Spirale mit sehr vielen Windungen einschaltet, und somit den gleichgerichteten starken Extrastrom zur Mitwirkung bringt. Bei öfterem Unterbrechen und Schliessen einer solchen Leitung ist daher die Wirkung ungleich heftiger als bei einem *einfachen* ungewundenen Schliessungsdrahte.

Die *Intensität* des inducirten Stromes ist von der des inducirenden verschieden; sie ist wesentlich *stärker*. Der Schlag, welchen man beim einfachen Schliessen einer Batterie von 6 oder 10 Paaren empfindet, ist ein sehr geringer; allein schon mit einem Paare kann man einen *inducirten* Strom hervorrufen, welcher einen kräftigen Schlag liefert. Man hat sich dies so vorzustellen, dass der nur *momentan* inducirte Strom die ganze Quantität des Hauptstromes, welche sich in diesem auf längere Zeit entwickelt, in einer einzigen Entladung von grosser Intensität zusammen vereinigt. Sehr vermehrt werden die physiologischen Wirkungen noch dadurch, dass man die Inductionsschläge durch rasches Wechseln der Oeffnung und des Schliessens schnell auf einander folgen lässt. Wir werden später, wenn wir die magnetischen Inductionsercheinungen kennen gelernt haben, die verschiedenen Apparate

beschreiben, welche zur Anwendung der physiologischen Inductionswirkungen dienen.

XXV. Wirkung des Erdmagnetismus auf electriche Ströme.

§ 237. Wenn man bewegliche Ströme so aufhängt, dass sie unter dem Einflusse des Erdmagnetismus eine bestimmte Richtung annehmen können, so findet man als allgemeines Gesetz, dass derselbe so auf die Ströme wirkt, als ob die ganze Erde von Ost nach West parallel mit dem magnetischen Aequator von electriche Strömen umkreist wäre, deren resultirende Kraft durch einen einzigen Strom im magnetischen Aequator vorgestellt werden kann.

Als Folgerungen aus diesem allgemeinen Gesetze ergeben sich nachstehende einzelne Thatsachen:

Ein geschlossener Strom, welcher sich frei um eine horizontale Axe bewegen kann, die senkrecht zum magnetischen Meridian gestellt ist, nimmt eine Lage an, welche zur Inclinationsnadel senkrecht steht, und zwar geht der Theil des Stromes, der vom Aequator angezogen wird, von Ost nach West, derjenige, welcher abgestossen wird, von West nach Ost.

Ein Strom, welcher die Gestalt *a b c d* (Fig. 153) hat, bei *e* ein- und bei *f* austritt, und in diesen Punkten leicht auf den metalenen Stützen beweglich ist, richtet sich, wenn *ef* senkrecht zum magnetischen Meridian gestellt ist, so, dass der Theil, worin der Strom von Ost nach West geht, nach Süden gerichtet ist, und es wird zugleich die Ebene des Stromes senkrecht zur Inclinationsnadel, so dass also der nördliche Theil nach oben zu stehen kommt. Für starke Ströme reicht ein einziger in der angegebenen Form gebogener Draht aus; bei schwächeren Strömen muss der (überspannene) Draht mehrmals um ein Holzrähmchen von der bezeichneten Gestalt gewunden sein.

Ein um eine *verticale* Axe beweglicher Strom wird durch den Erdmagnetismus stets senkrecht zum magnetischen Meridian gestellt und zwar mit demjenigen Theile nach Osten, worin der Strom von oben nach unten geht. Zur Bestätigung dieses Satzes hängt man in dem oben (Fig. 140) beschriebenen Gestelle einen Leiter auf, der ein einfaches Rechteck oder einen Kreis bildet, und lässt einen starken Strom hindurch gehen, natürlich, ohne einen zweiten von diesem abzuzweigen. Es stellt sich dann der Leiter aus jeder Lage so, dass in seinem unteren Theile der Strom von Ost nach West geht. Wenn man dagegen den Leiter so formt, dass je zwei und zwei Theile entgegengesetzte Ströme enthalten (Siehe nachst. Fig. 154) so bleibt ein solcher Leiter, wie eine astatische Magnetonadel in jeder Lage im Gleichgewicht.

Fig. 153.

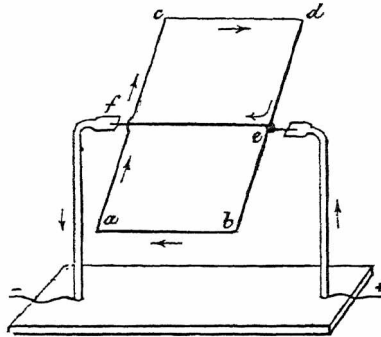
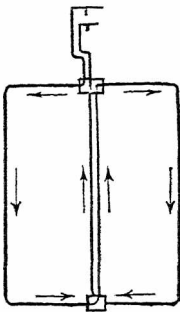


Fig. 154



früher beschriebene Gestell frei schwebend aufhängt und dann einen Strom hindurch gehen lässt, so stellt sich derselbe in die Richtung der Magnetnadel und verhält sich also in Bezug auf den Erdmagnetismus wie ein magnetischer Stab. Natürlich muss der Draht so gebogen sein, dass der Strom *alle* Windungen in *derselben* Richtung durchläuft. Es ist leicht einzusehen, dass in diesem Falle alle Stromtheile die durch das oben ausgesprochene Gesetz erlangte Stellung eingenommen haben. Auch folgt aus demselben, dass der Südpol dieser Spirale, d. h. das nach Norden zeigende Ende derselben dasjenige ist, für welches der aufsteigende Strom zur *Rechten* liegt, wenn man es *von vorn* betrachtet.

Eine solche Spirale nennt man einen electro-dynamischen Cylinder oder ein Solenoid. Wir werden später noch weiter auf die Analogien zurückkommen, welche er mit einem Magnetstabe bietet. Nur Einiges darauf Bezügliche möge hier eine Stelle finden.

Dass wirklich die Richtung des Solenoids durch einen wie oben bezeichnet gedachten Strom um die Erde verursacht wird, kann man leicht zeigen, wenn man einen starken geradlinigen Strom auf das Solenoid wirken lässt; dasselbe stellt sich alsdann mit seiner Axe *senkrecht* zu dem unbegrenzten Strom und zwar so, dass die Ströme in den unteren Theilen der Windungen gleiche Richtung mit dem geradlinigen Strom haben. Stellt sich also das Solenoid (unter dem Einfluss des Erdmagnetismus) von Süd nach Nord und so, dass der Strom in den unteren Theilen der Windungen von Ost nach West geht, so geschieht dies gleichsam unter dem Einfluss eines die Erde von Ost nach West umkreisenden Stromes.

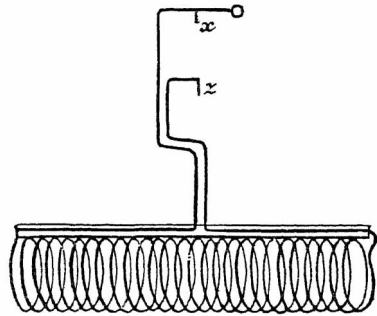
Man kann sich leicht vergegenwärtigen, dass bei dem Solenoid dasjenige Ende nach Süden zeigt, in welchem der Strom in derselben Richtung sich bewegt, wie der Zeiger einer an diesem Ende gedachten Uhr. Hiernach kann man, die Spirale mag rechts oder links gewunden sein, und der Strom nach der einen oder anderen Richtung hindurch gehen, das Ende bestimmen, welches sich nach Süden und dasjenige, welches sich nach Norden stellen wird.

Es ist unschwer einzusehen, dass ein solcher Strom, welcher sich unter dem Einfluss des geradlinigen Stromes senkrecht zu diesem stellt,

Bei der Untersuchung der Wirkung der Ströme auf einander ist es für die früher beschriebenen Leiter stets nothwendig, vor den Versuchen den einen beweglichen Leiter erst die Richtung annehmen zu lassen, welche er unter dem Einfluss des Erdmagnetismus annimmt und dann erst den festen Strom wirken zu lassen. Benutzt man aber einen solchen *astatischen* Leiter, so kann man natürlich jede beliebige Lage desselben anwenden.

Wenn man einen Leiter (Fig. 155), welcher aus einer grossen Anzahl von freien spiralförmigen Windungen besteht, mit feinen Stahlspitzen *x* und *z* auf das

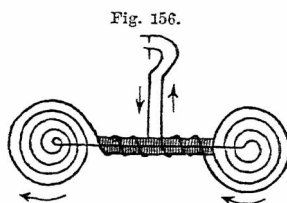
Fig. 155.



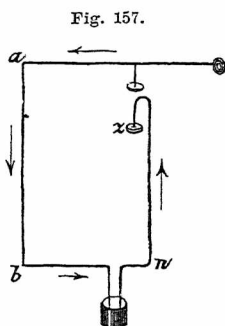
sich auch in dieser Beziehung wie eine Magnetnadel verhält und zwar, dass sein Nordende ebenso abgestossen wird, wie das der Nadel u. s. w.

Bestimmt man nach dem Gesagten auch in einem zweiten Solenoide die Pole und bringt man alsdann dieses in das Gestell, so dass es auf das frei schwebende seinen Einfluss ausüben kann, so findet man, dass sich auch hier, wie bei zwei Magneten, die gleichnamigen Pole abstossen, die ungleichnamigen anziehen.

§ 238. Hängt man einen Leiter, in welchem die Windungen in der Ebene der horizontalen Axe befindlich sind (Fig. 156) an dem Gestell auf, so stellt sich derselbe senkrecht zum magnetischen Meridian, weil nur in dieser Lage der Strom dem Erdstrom parallel ist.



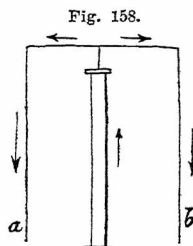
Um den Einfluss des Erdmagnetismus auf die verticalen Ströme allein zu zeigen, kann der Leiter a n (Fig. 157) dienen.



Der eine Theil ab, in welchem der Strom abwärts steigt, ist beweglich, seine horizontalen Arme enthalten entgegengesetzte Ströme, auf die also der Erdmagnetismus keine Wirkung übt; der Theil n z, in welchem der Strom nach aufwärts zum zweiten Quecksilbernapfchen steigt, ist selbständig und vom beweglichen Leiter getrennt. Die Drehung erfolgt also allein durch den absteigenden Strom und zwar stellt sich derselbe nach Osten; dagegen würde sich der aufsteigende Strom nach Westen stellen.

Wie die unbegrenzten Ströme unter gewissen Verhältnissen eine Drehung der beweglichen Leiter hervorrufen, so kann dies unter denselben Umständen auch durch den Erdstrom geschehen.

Der Leiter (Fig. 158), in welchem der Strom aus der Mitte (dem Stützpunkt des horizontalen Theiles) nach den beiden Enden desselben zieht, dreht sich in der Richtung von Ost nach Nord. Natürlich muss man die Enden a und b beständig in ein ringförmiges Gefäß mit der gesäuerten Flüssigkeit tauchen lassen, wodurch der Strom geschlossen wird; ausserdem muss die Batterie zu diesen Versuchen eine sehr starke sein. Wir werden dergleichen Rotationsapparate noch später kennen lernen und dann ausführlicher beschreiben.



§ 239. Zur Erläuterung der Hauptthatsachen der Einwirkung des Erdmagnetismus auf geschlossene Ströme dient folgender, leicht anzustellender

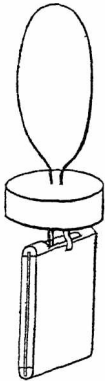
Versuch. Aus Kupfer und Zinkblech verfertige man ein *Wollaston'sches* Element; beide Metalle müssen so dünn wie möglich sein, das Zink aber $1-1\frac{1}{2}$ Quadratzoll Oberfläche haben. Das Kupferblech biege man recht flach und das Zink parallel um dieses, die Trennung wird durch passende Holzstückchen bewerkstelligt.

Nun biege man einen Kupferdraht in Gestalt eines Ringes, wozu man denselben, wenn er umspinnen ist, mehrere Windungen machen lassen kann; jedenfalls werden die freien Enden von einander isolirt, einige Linien weit gestreckt und platt geschlagen; hierauf stecke man sie

durch einen Kork, welcher gross genug ist, um Ring und Metallplatten auf dem Wasser schwimmend zu erhalten.

Hierauf löthe man das eine Drahtende an das Zinkblech, biege dann das Kupferblech um dieses, binde es nach dem Einschleiben der Holzstückchen mit etwas gewichstem Faden zusammen und löthe dann das andere Drahtende an das Kupfer an. Der ganze Apparat zeigt dann die Gestalt (Fig. 159). Lässt man ihn dann auf angesäuertem Wasser schwimmen, so wird er sich so stellen, dass der Ring senkrecht zum magnetischen Aequator steht.

Fig. 159.



Leitet man einen starken geradlinigen Strom über den Ring, so stellt dieser sich parallel dazu, und bringt man einen Magnet in die Nähe (diesem Versuch kann man hier vorgreifen), so folgt er dessen Einwirkung, welche am stärksten auftritt, wenn derselbe wenig grösser als der Durchmesser des Ringes ist und parallel dem horizontalen Durchmesser desselben nahe an den Draht gehalten wird.

§ 240. Der Einfluss des Erdmagnetismus auf elektrische Leiter entspricht auch noch in anderer Beziehung demjenigen eines wie oben angenommenen Erdstromes. Wie man durch Näherung und Entfernung eines geschlossenen Leiters an einen Strom in demselben abwechselnd einen oder den anderen Strom induciren kann, so kann man auch durch Annähern oder Entfernen von dem Erdstrom die gleiche Wirkung hervorbringen. Wenn man z. B. einen rechteckig gebogenen Leiter, dessen längere Seite parallel zum magnetischen Meridian steht, um diesen wie um eine Axe rasch dreht, so dass der bewegte Schenkel anfangs etwas nördlich von dem ruhenden liegt und nun südlich zu liegen kommt, so zeigt ein im ruhenden Theil eingeschalteter Multiplicator die Entstehung eines Stromes durch diese Annäherung an den Erdstrom an; der entgegengesetzte Strom entsteht beim raschen Umlegen des Leiters von Süd nach Nord u. s. w. Wenn man den Strom durch zahlreiche Windungen des Drahtes hinlänglich verstärkt, so kann man durch diesen mittelst des Erdstromes inducirten Strom alle Wirkungen eines gewöhnlichen Stromes erzeugen; am stärksten sind dieselben, wenn der Stromleiter nicht in Gestalt eines Rechteckes, sondern in der einer flachen Ellipse gebogen wird.

Auf der Induction durch den Erdstrom beruht auch folgende, von *Faraday* angegebene Erscheinung. Eine Kupferscheibe, deren Rand amalgamirt ist, wird in rasche Drehung um eine verticale Axe versetzt. Ein gleichfalls amalgamirter Kupferstreifen nimmt die sich entwickelnde Electricität auf; dieser Streifen bildet mit einem Multiplicator, dessen anderes Ende mit der Axe der Scheibe in Verbindung steht, einen geschlossenen Leiter. Dreht man nun die Scheibe in der Richtung der Zeiger einer Uhr, deren Zifferblatt nach oben gekehrt ist, so zeigt die Galvanometernadel einen Strom von der Axe der Scheibe zum Umfang hin, und umgekehrt.

XXVI. Wirkung der Magnete auf die electricischen Ströme und umgekehrt.

§ 241. Es ist schon im Vorhergehenden mehrfach auf die Analogie hingewiesen worden, welche zwischen einem Magnet und gewissen electricischen Strömen besteht. Alle in dieser Richtung angestellten Versuche beweisen, dass man jeden Magnetstab betrachten kann, wie einen electrodynamischen Cylinder oder wie einen Körper, um dessen Längsachse ein spiralförmiger Strom kreist, dessen Windungen zur Axe ganz oder nahe senkrecht sind. Die Pole liegen an denjenigen Enden eines solchen gedrehten Solenoides, welche wie oben (§ 238) bestimmt sind; der Strom umkreist nämlich das nach Süden zeigende Ende (den sogenannten Südpol) des Magnetes in der Richtung der Zeiger der Uhr, das andere Ende in umgekehrter Richtung, wenn man die Pole von vorne ansieht.

Diese Betrachtungsweise ist zu einer vollkommenen Theorie des Magnetismus ausgebildet worden, in deren Einzelheiten wir hier nicht eingehen wollen, da die bereits angeführten und noch anzuführenden Thatsachen hinlänglich für die vielfachen Wechselbeziehungen zwischen beiden Kräften sprechen. Eine *ganz vollkommene Gleichheit* zwischen einem electricischen Solenoid und einem Magnetstab findet indessen, so gleichartig auch sonst die von denselben hervorgerufenen Erscheinungen sind, *nicht* statt. Das Maximum der Wirkung des Solenoids zeigt sich nämlich in seiner Mitte, das des Magnets an den Polen. Wenn man z. B. einen hohlen Magnetstab über eine Glasröhre schiebt, denselben senkrecht hält und dann eine leichte Magnetnadel hineinsteckt, so fällt diese nicht durch, sondern bleibt oben so hängen, dass sie noch etwas vorsteht; nimmt man aber einen Schraubendraht statt des Magnetes, so begibt sich die Nadel in die Mitte desselben und bleibt selbst schweben.

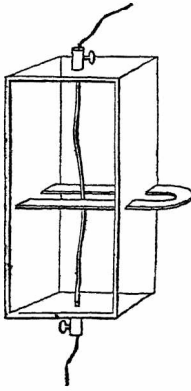
Indessen lassen sich alle magnetischen Anziehungen und Abstosungen durch die allgemeinen Gesetze der Wirkungen der Ströme auf einander leicht erklären, wie schon oben gezeigt worden, und die Analogie geht so weit, dass eine Spirale, so lange ein Strom hindurch geht, Eisenfeile anzieht, welche nach dem Oeffnen der Leitung sofort abfällt. Es ist dies so zu erklären, dass in den Eisenstückchen einzelne Ströme inducirt werden, in Folge deren die Anziehung derselben an die Stromtheile der Spirale stattfindet.

Die folgenden Erscheinungen werden die nahe Beziehung zwischen Electricität und Magnetismus noch weiterhin feststellen.

§ 242. Die Wirkung der Magnete und electricischen Ströme lässt sich im Allgemeinen voraus bestimmen, wenn man in den ersteren einen, wie oben gesagt, gerichteten Strom annimmt und das allgemeine Gesetz der gegenseitigen Wirkungen der Ströme auf die speciellen Fälle anwendet. Ist der Strom fest und der Magnet beweglich, so muss sich letzterer so lange drehen, bis er in die nach jenem Gesetze zu ermittelnde Stellung zum Strome gelangt und umgekehrt.

Folgender *Versuch* zeigt in sehr einfacher Weise den Einfluss des Magnetismus auf die electricischen Ströme: In ein Kästchen, dessen vordere und hintere Fläche durch eine Glasplatte gebildet ist, befestige man einen Hufeisenmagnet (oder in Ermangelung desselben die ungleich-

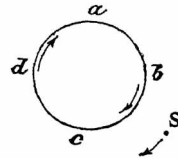
Fig. 160.



namigen Pole zweier Magnetstäbe), so wie es die Fig. 160 zeigt; zwischen beiden Polen hindurch bringe man ein Goldblattstreifen so an, dass es oben und unten an einem Metallstück befestigt ist und schlaff zwischen den Polen herabhängt. Die Metallstäbe seien so eingerichtet, dass man sie mittelst Klammern mit den Leitungsdrähten einer schwachen Batterie verbinden kann. Im Momente, wo dies geschieht, wird das Goldblättchen nach der einen oder anderen Seite hin angezogen werden und zwar folgendermassen: Geht der Strom von oben nach unten, so wird das Goldblättchen sowohl vom Süd- wie vom Nordpol des Hufeisens abgestossen, weil in beiden die hypothetischen Ströme mit dem absteigenden Strome ungleich gerichtet sind. Geht der Strom von unten nach oben, so wird das Goldblättchen dagegen zwischen den Polen stark angezogen.

§ 243. Wenn ein verticaler Magnet sich in der Axe eines drehbaren Leiters befindet, dessen Richtung derjenigen des Magnets parallel ist, so muss der Leiter um den Magnet rotiren. Wenn z. B. $a b c d$ (Fig. 161) der Durchschnitt des Magnets ist, in welchem wir den durch die Pfeile angedeuteten Strom annehmen und s den zu einem Punkte verkürzten, der Axe des Magnets parallel erscheinenden Strom vorstellt, so wird nach den allgemeinen Gesetzen der Strom s , wenn man dessen Richtung aufsteigend annimmt, von dem Stück ab des Magnetstromes abgestossen, von dem Theil bc angezogen

Fig. 161.



werden. Er muss also eine rotirende Bewegung um den Magnet annehmen, denn in jeder anderen Stellung wiederholt sich dieses Verhältniss.

Geht der Strom s von oben nach unten, so findet die Rotation in entgegengesetzter Richtung statt. Dieselbe Umkehrung bewirkt Vertauschung der magnetischen Pole.

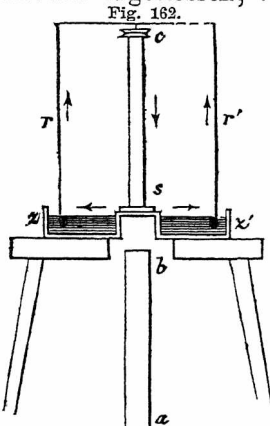
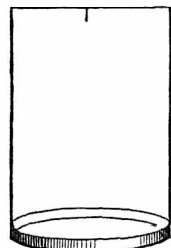


Fig. 162.

Beistehende Fig. 162 zeigt den Durchschnitt eines Apparates, welcher zur Veranschaulichung dieser Rotation dient. In dem ringförmigen Gefässe aus Zink $z z'$ befindet sich angesäuertes Wasser, in welchem ein Ring aus Kupferblech durch den Rahmen aus Kupferdraht $v v'$ schwebend erhalten wird; dieser ruht in dem Quecksilbernäpfchen c , welches sich auf dem Kupferstabe $s c$ befindet, der seinerseits auf einem Querstabe von Zink befestigt ist, welcher über die innere Oeffnung des Wassergefässes gelegt ist. Ist der Rahmen mit dem Ring (s. Fig. 163) eingehängt, so geht der positive Strom vom Zink durch die Flüssigkeit zum Kupferringe, steigt durch den Rahmen auf und durch den Stab cs wieder abwärts.

Bringt man nun einen Magnet ab unter das Gefäss, so dass er auf die aufsteigenden Ströme wirkt,

Fig. 163.



so rotirt der Rahmen rasch in der Richtung, wie sie aus der Stromrichtung zu erschliessen ist.

Ist der Apparat sehr leicht beweglich und empfindlich gebaut, so rotirt er schon unter dem Einflusse des Erdmagnetismus.

Dass man, anstatt den Strom im Apparate selbst zu erzeugen, auch den Strom einer besonderen Batterie anwenden kann, den man durch eine Rinne mit Quecksilber in den beweglichen Leiter führt, ist einleuchtend. Der stärkere Strom bedingt dann weniger fein und leicht construirte Apparate.

Einen anderen Apparat, um die Rotation nachzuweisen, zeigt

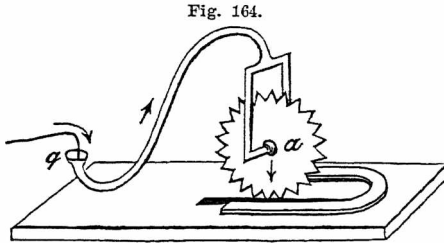


Fig. 164.

Fig. 164. Derselbe ist hauptsächlich eine Abänderung des oben beschriebenen einfacheren, nur zeigt sich hier die Anziehung und Abstossung in Gestalt einer raschen Drehung. Das gezahnte Rad *a* taucht mit seinen Spitzen in eine Rinne mit Quecksilber, welche sich in der Mitte zwischen den Polen des Hufeisenmagnetes befindet.

Der Strom geht in der Richtung der Pfeile durch das Quecksilbernapfchen *q* in die Axe des Rades, dann nach dessen Rand, durch das Quecksilber und von da nach der Batterie zurück; die Rotation des Rades geschieht, wenn der Nordpol westlich und der Südpol östlich davon liegt, in der Richtung der Zeiger einer nach Westen gerichteten Uhr, wie man sich leicht aus der Abstossung der ungleich gerichteten Ströme im Rade und in den zunächst gelegenen Theilen des Magnets erklären kann.

§ 244. Wenn der Strom *s* (s. oben Fig. 161) fest und der Magnet *a b c d* beweglich, d. h. um *s* drehbar wäre, so müsste natürlich der Magnet in Folge derselben Kräfte sich um den Strom drehen.

Dies geschieht auch wirklich, wenn man einen Magnetstab (oder zur Verstärkung der Wirkung zwei gleich gerichtete) so aufstellt, dass er leicht um einen festen starken Strom rotiren kann. Der einfachste dazu dienende Apparat ist folgender: Das Glasgefäss *g* (Fig. 165) ist mit Quecksilber gefüllt; ein Magnetstab *m* schwimmt in diesem und wird durch ein Platinstück *p* in aufrechter Stellung erhalten. In das Quecksilber taucht das Metallstäbchen *s*, welches mit seinem oberen Ende mit einer galvanischen Kette verbunden ist, deren anderer Leitungsdraht bei *l* in das Quecksilber eintaucht. Wenn die Batterie, welche nicht zu schwach sein darf, geschlossen ist, beginnt die Rotation des Magnetstabes um das Stäbchen *s*.

Man kann auch den Magnet um seine eigene Axe rotiren lassen, wenn man den Strom durch die eine Hälfte der Axe selbst gehen lässt. Zu diesem Zwecke bringt man an dem oberen Ende des schwimmenden Magnetes ein Quecksilbernapfchen an, in welches man den Stab *s* eintauchen lässt, ohne dass er den Magnet selbst berührt. Wird die Kette geschlossen, so dreht sich der Magnet rasch um den durch seine eigene Axe gehenden Strom.

Alle diese Versuche können auf mannigfache Weise abgeändert werden; wir haben hier nur die einfachste Construction der Apparate angegeben.

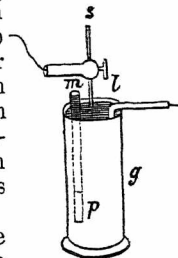


Fig. 165.

§ 245. Auch flüssige Leiter können zur Rotation gebracht werden.

Der *Versuch* ist unschwer anzustellen, er gelingt schon unter Anwendung eines einzigen starken Elementes. In die Mitte des Deckels einer runden Pappschachtel bohre man ein Loch und befestige darin eine Hülse, durch welche man einen Magnetstab hindurch stecken kann. In die gebildete und ringförmige Rinne giesse man 1—2 Linien hoch Quecksilber, in welches man die beiden Drähte einer Batterie so einmünden lässt, dass das Ende des einen am Rande, das des anderen mehr in der Mitte senkrecht eintaucht. Steckt man nun den Magnet in die Hülse, so dass seine Mitte ungefähr in gleicher Höhe mit dem Quecksilber ist, so beginnt die Rotation des Quecksilbers.

Wenn man zwischen die Pole eines sehr starken Magnets ein Gefäss bringt, in welchem durch einen durchgeleiteten Strom die Zersetzung des Wassers stattfindet, so kann man an der Bewegung der Gasblasen sehr deutlich die Rotation des leitenden Wassers beobachten. Selbst der Erdmagnetismus allein kann dasselbe bewirken; jedoch gehören hierzu sowohl sehr starke Ströme, als auch sehr kräftige (Electro-) Magnete. Endlich mögen noch folgende leicht anzustellende

Versuche hier eine Stelle finden. Auf den Pol eines starken Magnetes setze man ein Uhrglas mit Salpetersäure und etwas Salzsäure und tauche zwei Drähte aus Silber und Zink hinein, die sich mit ihren oberen Enden ausserhalb der Flüssigkeit berühren. Es tritt dann sofort die Rotation der Flüssigkeit ein.

Auf eine verticale Kupferdrahtspirale, in deren Mitte ein Stab von weichem Eisen steckt, setze man ein Uhrglas mit etwas Quecksilber. Nun leite man einen Strom durch die Spirale und einen anderen so in das Quecksilber, dass von den beiden eintauchenden Drahtenden das eine in der Mitte, das andere am Rande stehe. Beim Schliessen beider Ströme wird das Quecksilber durch die Rotation nach dem Rande des Glases getrieben, so dass der Strom unterbrochen wird, bis es eben durch diese Unterbrechung wieder zur Mitte zurückkehrt. In diesem Falle wird das weiche Eisen unter dem Einfluss der Spirale (wie wir gleich sehen werden) zum Magnet, um den alsdann der Strom im flüssigen Leiter rotirt.

§ 246. Ebenso wie ein electricischer Strom bei seiner Annäherung an einen geschlossenen Leiter und bei seiner Entfernung von demselben darin electricische Ströme erregt, so geschieht dies auch, wenn man einen Magnet statt des electricischen Stromes dem Leiter nähert oder davon entfernt; diese *Induction electricischer Ströme durch Magnete* nennt man *Magneto-Electricität*. Alle dahin gehörenden Erscheinungen lassen sich unter Annahme eines electricischen Stromes an der Stelle des Magnets, der die bekannte Richtung besitzt, und unter Zugrundlegung des Gesetzes für electricische Induction vollkommen erklären, wie man in jedem speciellen Falle leicht nachweisen kann. Zu bemerken ist dabei ganz allgemein, dass der Magnet *nur* durch Induction, nämlich während der Annäherung oder Entfernung, niemals aber im Zustande der Ruhe einen electricischen Strom hervorrufen kann.

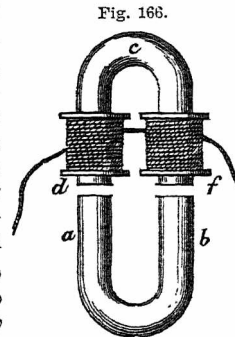
Das einfachste Experiment zur Nachweisung des Fundamentalsatzes ist folgendes. Man denke sich eine Spirale von Kupferdraht, die auf einen hohlen hölzernen Cylinder aufgewunden ist und deren Enden mit einem nicht zu nahe stehenden Galvanometer in Verbindung stehen. Steckt man nun einen Magnet in die offene von der Spirale umgebene Hülse, so bemerkt man augenblicklich einen Ausschlag der Galvanometernadel, die aber alsbald wieder zum Nullpunkt zurückkehrt; entfernt man dann

den Magnet wieder aus der Hülse, so zeigt sie einen Ausschlag nach der anderen Seite. Man findet dann leicht, dass die Richtung des ersten Stromes der Richtung des den Magnetstab umkreisend gedachten entgegengesetzt, die des zweiten mit demselben von gleicher Richtung ist.

Bei einem sehr empfindlichen Galvanometer ist die Spirale nicht einmal nöthig; es reicht die Annäherung oder Entfernung von dem geschlossenen einfachen Drahte des Multipliers zur Nachweisung des Inductionsstromes hin, dessen Wirkung man leicht vergrößern kann, wenn man den Magnet eben so schnell nähert und entfernt, wie die Oscillationen der Galvanometernadel stattfinden, wodurch sich die wiederholten Wirkungen zu einem grösseren Ausschlage addiren.

Als allgemeines Gesetz für diese Inductionserscheinungen haben die Versuche folgendes erwiesen: Die electromotorische Kraft, welche durch den Magnet in der Spirale erregt wird, verhält sich bei gleicher Grösse der Windungen und bei gleicher Dicke und Substanz des Drahtes direct wie die Anzahl der Windungen und ist aus der Summe der electromotorischen Kräfte aller Windungen zusammen gesetzt.

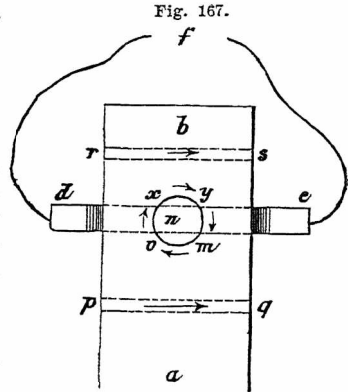
§ 247. Es ist zur Hervorbringung der Inductions-Erscheinungen nicht nothwendig, dass der Magnet direct auf die Spirale wirke; auch unter dem Einfluss des Magnetismus, welcher im weichen Eisen durch einen Magnet hervorgerufen wird, zeigen sich in einer das weiche Eisen umgebenden Spirale Inductionsströme. Es sei z. B. *d e f* (Fig. 166) ein hufeisenförmig gebogenes Stück weiches Eisen, welches an seinen beiden Schenkeln mit einer Kupferdrahtspirale versehen ist; die Richtung der Windungen muss derart sein, dass, wenn ein Strom durch den Draht geht, die beiden Schenkel entgegengesetzte Pole eines Solenoids bilden. Nähert man diesem Eisen einen Magnet *a b*, so zeigt sich in dem geschlossenen Drahte der Spirale ein Strom und beim Entfernen ein solcher in entgegengesetzter Richtung. Zur Nachweisung desselben ist ein Galvanometer nicht erforderlich: man bemerkt, wenn die Enden der Spirale einander nicht berühren, einen glänzenden Funken sowohl bei Annäherung, wie bei der Entfernung des Magnetes und erhält, wenn man die Leitung durch die Hände schliesst, jedesmal einen Schlag. Es zeigt diese Stärke des Stromes zugleich, dass er nicht direct durch die Annäherung des Magnets an die Spirale, sondern durch den im weichen Eisen hervorgerufenen Magnetismus bewirkt wird.



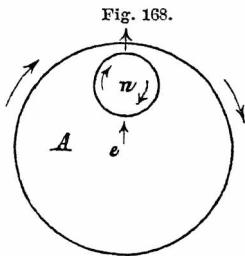
Auch durch den Erdmagnetismus kann in dieser Weise ein Strom inducirt werden: Wenn man einen Stab von weichem Eisen mit einer Spirale umwickelt, und denselben dann dadurch magnetisch werden lässt, dass man ihn in die Richtung der Inclinationsnadel bringt, so erhält man beim Umkehren desselben durch den Wechsel der Pole einen Strom in der Spirale.

§ 248. Unter geeigneten Umständen inducirt ein Magnet auch in einem einfachen Kupferstreifen einen Strom, wenn derselbe nämlich in einer bestimmten Richtung über den Pol des Magnets fortbewegt wird, wodurch immer andere Theile des Kupfers unter den Einfluss des Magnets gebracht werden.

Es sei z. B. a b (Fig. 167) der Kupferstreifen, n der Nordpol des zu demselben senkrecht stehenden Magnets, c und d die an dem Kupferstreifen fest anliegenden Enden eines durch diesen geschlossenen Multiplicatordrahtes, und man ertheile dem Kupferstreifen eine Bewegung von a nach b. In dem Augenblicke, wo Alles die gezeichnete Stellung besitzt, erregt der Magnet einen Strom von n nach d, f, e und n, wie sich aus der Richtung der um den Magnet gedachten Strömung ergibt. Es wird nämlich in dem Theilchen p q ein Strom in der Richtung des Pfeiles inducirt, weil hier der Theil v m stärker als x y wirkt. Kommt aber p q in die Lage d e, so entfernt es sich vom Strom v m und nähert sich dem Strom x q und erhält also aus doppelter Ursache den umgekehrten Strom (von e nach d), um später, wenn es sich wieder (in r s) von x q entfernt, die Richtung von r nach s zu erhalten. Ebenso werden in allen Theilchen des Kupferstreifens gleiche Ströme inducirt, die zwischen den Enden des Multiplicatordrahtes die gleiche Richtung von e nach d haben und sich zu einer Totalwirkung summiren. Diese ist umgekehrt, wenn der andere Pol des Magnetes an die Stelle des Südpoles tritt, wird aber durch den Südpol desselben Magnetes, *unter* dem Streifen angebracht, verstärkt. Dies geschieht, indem man den Kupferstreifen zwischen den Polen eines Hufeisenmagnets bewegt, indem zugleich die Leitungsdrähte an seiner Seite federnd andrücken.



Eine Folge der erwähnten allgemeinen Wirkung ist auch der Strom, welcher in einer unter einem Pole eines Magnets um ihren Mittelpunkt gedachten Kupferscheibe inducirt wird. Wenn z. B. (Fig. 158) die Scheibe A um ihre Axe e in der Richtung der Zeiger einer Uhr gedreht wird, während der Nordpol eines Magnets sich bei n darüber befindet, so entsteht ein Strom von der Mitte zum Rande der Scheibe.



Hiermit hängt die Erscheinung der Rotation zusammen, welche eine frei aufgehängte Magnetnadel zeigt, wenn unter ihr eine Kupferscheibe rotirt. Die Magnetnadel, deren Aufhängepunkt sich über dem Mittelpunkte der Scheibe befinden muss, dreht sich dann in derselben Richtung wie diese. Es inducirt nämlich der Magnet in der Scheibe Ströme, welche eine Anziehung und Abstossung auf die Ströme des Magnets selbst ausüben, als deren Rückwirkung sich diese Bewegung der Magnetnadel selbst zeigt.

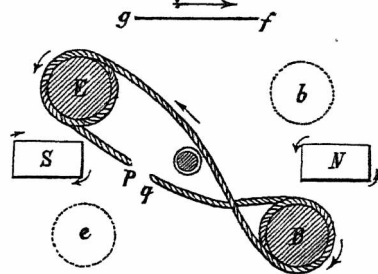
Wenn umgekehrt die Magnetnadel sich über einer Kupferscheibe dreht, so wird sie in der Scheibe eine Drehung im gleichen Sinne hervorrufen; ist dieselbe aber fest, so müssen die inducirt Ströme hemmend auf die Bewegung der Nadel wirken. Aus diesem Grunde wirken kupferne Scheiben, unter Magnetnadeln befestigt, beruhigend auf dieselben, indem sie deren Oscillationen verzögern und die Nadel eher zum Stillstande bringen.

§ 249. Es lag nach Entdeckung der magneto-electrischen Induction sehr nahe, nach einer Einrichtung zu suchen, durch die es möglich wäre, eine rasch auf einander folgende grosse Anzahl von electricischen Entladungen, also gewissermassen einen continuirlichen Strom mittelst eines Magnets, folglich ohne Anwendung einer Batterie, hervorzubringen. Den ersten Apparat dieser Art construirte *Pixii*; später wurde derselbe von Mehreren abgeändert und verbessert und er erreichte in der letzten Zeit durch *Stöhrer* den höchsten Grad von Vollkommenheit. Sämmtliche *magneto-electrischen Inductionsapparate* beruhen auf folgender Construction: Man bringt die beiden Enden eines beweglichen Hufeisens von weichem Eisen dicht vor die Pole eines festliegenden hufeisenförmigen Magnets und inducirt dadurch in der das weiche Eisen umgebenden Spirale einen Strom; unmittelbar darauf stellt man die Pole des weichen Eisens quer zwischen die Pole des Magnets, und dann nach einer halben Umdrehung vor die entgegengesetzten Magnetpole; auf diese Weise wird durch die Entfernung von dem einen und die Annäherung an den anderen Pol ein dem ersteren entgegengesetzter Strom inducirt; entfernt sich nun, durch eine zweite halbe Umdrehung der weiche Eisenkern von dem Pole, dem er sich eben näherte, um sich dem entgegengesetzten zu nähern, so wird in seiner Spirale abermals ein entgegengesetzter Strom inducirt. Man sieht hiernach, dass wenn man den Eisenkern mit seiner Spirale rasch vor den Polen des Hufeisenmagnetes rotiren lässt, eine Reihe von Strömen inducirt werden, deren Richtung mit jeder halben Umdrehung sich ändert.

Die Art und Weise, wie man die inducirten Ströme in einer Leitung vereinigt, und entweder die entgegengesetzten nach einander wirken lässt, oder daraus nur einen continuirlichen, nach *einer* Richtung gehenden, zu erhalten, ist bei den verschiedenen Apparaten sehr verschieden. Durch die folgenden eingehenden Beschreibungen wird das Gesagte noch deutlicher werden.

Es seien (Fig. 169) S und N der Nord- und Südpol des ruhenden Magnets; E und B die Enden des weichen Hufeisens, welches um die Axe c vor den Polen her, also in einer etwas tiefer oder höher gelegenen Ebene und in der Richtung von B b E e rotirt. Bei der Annäherung an S wird E ein Nordpol, B zugleich durch die Annäherung an N ein Südpol. Dadurch wird in dem Drahte, welcher um E und B gewunden ist, ein Strom inducirt, welcher bei E den Strömen von S und bei B den

Fig. 169.

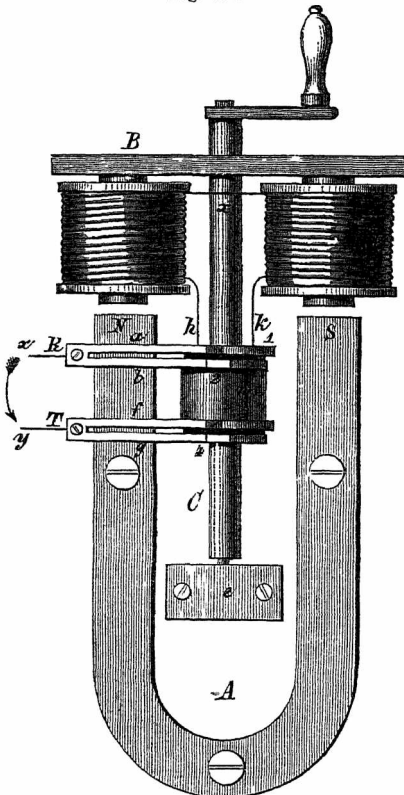


Strömen von N entgegen gesetzt ist. Ist nun die Spirale von E mit derjenigen von B in der angedeuteten Weise verbunden, so bilden beide Ströme nur einen, der in der Richtung der Pfeile geht, und bei p q, wo die Spirale unterbrochen ist, durch einen eingeschalteten Leiter von p nach q gehen muss. Wenn bei fortgesetzter Drehung E von S sich entfernt und nach e kommt, so entsteht der umgekehrte Strom; dasselbe geschieht bei B, indem sich B zugleich von N entfernt, um nach b zu gelangen. Die beiden neuen Ströme addiren sich wie früher und der eine Strom geht von q nach p. Während E aus der Stellung e sich N nähert, wird in seiner Spirale dieselbe Wirkung hervorgebracht, d. h. derselbe Strom inducirt,

wie durch seine gleichzeitige Annäherung an den entgegengesetzten Pol N; dasselbe gilt für B. Man ersieht also, dass der Strom *eine* Richtung hat, so lange sich jeder Theil des weichen Hufeisens in dem *einen* Halbkreis befindet und dass er seine Richtung wechselt, wenn sie in dem anderen Halbkreis befindlich sind.

Wenn man nur *einen* gleichgerichteten Strom erhalten will, so muss eine besondere Vorrichtung eingeschaltet werden, die der *Commutator* heisst und die folgende Bestimmung hat: Eine Leitung gf, (s. obige Figur), welche zu den einzelnen Versuchen beliebig unterbrochen werden kann, wird mittelst eines beweglichen Apparates so mit den Enden p und q verbunden, dass wenn der Strom von p nach q geht, p mit g und q mit f verbunden ist, während, wenn der Strom von q nach p geht, g mit q und mit p mit f in Verbindung kommt. Die Bewegung dieser Vorrichtung geschieht natürlich gleichzeitig mit der Rotation und die dazu dienende Einrichtung ist an der Rotationsaxe des weichen Eisens befestigt, so dass jedesmal bei der veränderten Stellung der Spiralen auch die veränderte Verbindung eintritt. Dadurch erhält man zwischen g und f einen constanten und gleichgerichteten Strom, welcher aus den einzelnen Strömen von ursprünglich verschiedener aber zum Theil veränderter Richtung zusammengesetzt ist. Wenn man mittelst desselben die Wirkungen der gewöhnlichen Ströme zeigen will, so braucht man nur den

Fig. 170.



entsprechenden Apparat in die Leitung gf einzuschalten. Sollen physiologische Wirkungen hervorgebracht werden, so muss der Apparat natürlich so eingerichtet sein, dass die einzelnen Ströme nicht unmittelbar auf einander folgen, sondern durch ebenso viele, wenn auch noch so kurze *Unterbrechungen* geschieden sind. Für Glühversuche und Wasserzersetzen ist dies aber ebenso wenig erforderlich, als die Einschaltung des Commutators. Nur ist zu bemerken, dass wenn die Richtung der Ströme fortwährend wechselt, die Bestandtheile des Wassers nicht getrennt aufgefangen werden können, weil sich an *jedem* Pole abwechselnd Sauerstoff und Wasserstoff entwickelt, so dass, ohne Commutator, nur Knallgas erhalten wird.

§ 250. Wir lassen hiernach die specielle Beschreibung einer einfachen magneto-electrischen Rotationsmaschine folgen, wonach alle übrigen, die nur Abänderungen derselben sind leicht verständlich sein werden (siehe Fig. 170, 171 u. 172).

Der kräftige Hufeisenmagnet A (Fig. 170) liegt in einer horizontalen Ebene fest; seinen Polen N und S gegenüber sind zwei Cylinder von

weichem Eisen an der Eisenplatte B befestigt, welche um die horizontale Axe C mittelst einer Kurbel oder einer anderen die Bewegung beschleunigenden Vorrichtung gedreht werden kann. Um die Eisenkerne sind die Inductionsspirale I und H gewunden, sie werden durch die Rotation abwechselnd durch Süd- und durch Nordmagnetismus inducirt. Die Drahtspiralen sind unter sich verbunden, die beiden Enden derselben sind h und k, welche abwechselnd den Ausfluss der positiven und der negativen Electricität bilden, je nachdem die Eisenkerne sich dem einen oder anderen Pole nähern. Den Commutator, welcher diesen abwechselnden Strömen eine stets gleiche Richtung gibt, zeigen die Figuren 171 und 172: das Rohr m besteht aus Messing; auf dasselbe sind zwei stählerne Halbreifen 2 und 3 so aufgelöthet, dass sie einander nicht genau gegenüber stehen und mit den Enden sich etwas überragen. Innerhalb des Rohres m befindet sich, durch das (im Durchschnitt ganz dunkel gehaltene) Buchsbaumrohr davon isolirt, ein zweites Messingrohr n, welches an beiden Enden vorragt und an diesen zwei Ringe 0, 0 trägt von gleichem Durchmesser mit dem Rohre m, so dass die auf diesen Ringen angebrachten Stahlkämme 1 und 4 den Kammern 3 und 2 entsprechend gross sind. Wir haben also hier 4 Leitungskämme, an denen zwei und zwei von einander isolirte Drähte neben einander befindlich, aber auf die entgegengesetzte Hälfte des gemeinschaftlichen Cylinders aufgesetzt sind. Dieser ist auf der Rotationsaxe befestigt und das Drahtende k führt zum Kamme 1, das Ende h zum Kamme 2, indem k mit der Axe oder dem inneren Rohre fest verbunden, h aber an dem äusseren Rohr befestigt und von dem inneren durch ein Elfenbeinrohr isolirt ist. Ausserdem stehen die Kämme mit den Stahlfedern R und T in Verbindung, welche mittelst ihrer gespaltenen Enden auf je zwei neben einander liegende Kämme aufdrücken; auf der anderen Seite sind die Drähte x und y an diese Federn befestigt, welche auf irgend eine Weise in Verbindung gebracht werden, um die Wirkung des Stromes zu untersuchen. Der Erfolg dieses Commutators ist nun folgender: In der Stellung der Fig. 170 schleift b auf dem Kamme 2 und g auf 4, während a und f, mithin auch 1 und 3 frei sind und durch diese also der Strom nicht gehen kann. Es kommt vielmehr der positive Strom von h auf 2, von dort nach b durch x, y auf g und 4 und von dort durch die innere Röhre nach dem negativen Ende k. Nach einer halben Umdrehung wird k das positive, h das negative Drahtende; dann ist aber b und g ausser Verbindung gesetzt und es schleift a auf 1, f auf 3, so dass der positive Strom nunmehr von k ausgehend, durch 1 auf a gelangt, also ebenfalls die Leitung von x nach y durchströmt, dann durch die jetzt hergestellte Verbindung von f auf 3 und somit wieder durch das äussere Rohr nach h gelangt. Man ersieht hieraus, wie der Strom stets die gleiche Richtung zu behalten gezwungen ist, nur muss die Construction genau so getroffen sein, dass das Freiwerden von je zwei Gabeln und das Aufliegen der beiden anderen auf ihren Kämmen genau in demselben Momente erfolgt, wo sich der Strom in den Inductionsrollen umkehrt. Es wird dies dadurch erleichtert, dass die Kämme etwas über einander greifen; zugleich aber entsteht dadurch bei jeder halben Umdrehung ein Moment, wo alle vier Federn schleifen; es geht der Strom direct durch dieselben und wird also in demselben Momente in der Leitung zwischen

Fig. 171.

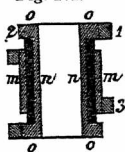
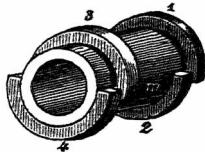


Fig. 172.



x und y unterbrochen. Daher erzeugt die Maschine wirklich keinen continuirlichen Strom und die Erscheinungen der Unterbrechung, namentlich die starken physiologischen Wirkungen werden bei dieser Construction des Apparates auch ohne Einschaltung eines Unterbrechers empfunden.

Während der Umdrehung erscheinen am Commutator jedes Mal, wenn die Federn die Kämme verlassen, durch die Unterbrechung des Stromes an dieser Stelle lebhafte Funken.

Wir erwähnen hier noch, dass die grössten, von *Stöhrer* construirten Maschinen je drei starke hufeisenförmige Magnete enthalten und dass mittelst derselben alle Wirkungen sowohl einer Electrisirmaschine als einer sehr starken Volta'schen Kette hervorgebracht werden können, vor welchen sie die Bequemlichkeit in der Behandlungsweise, so wie den Umstand voraus haben, dass sie immer zum Gebrauche bereit und im Stande sind, mittelst einfacher Vorrichtungen sowohl Ströme von starker Spannung als von grosser Quantität zu geben und dass die Heftigkeit der Wirkung jeden Augenblick durch die Geschwindigkeit der Umdrehung modificirt werden kann.

Zu den schönsten Wirkungen der Rotationsmaschine gehören die dadurch leicht hervorzurufenden Lichtphänomene, welche nur durch sehr grosse galvanische Batterien in demselben Maassstabe zu erhalten sind.

§ 251. So wie ein Magnet durch seine Nähe im weichen Eisen *Magnetismus hervorruft*, ebenso geschieht dasselbe durch einen *electrischen Strom*. Electriche Ströme wirken also nicht allein auf den vorhandenen Magnetismus, sondern *rufen denselben auch in weichem Eisen hervor*. Diese Erscheinungen fasst man unter dem Namen des **Electromagnetismus** zusammen. Die Wirkung der Electricität erstreckt sich jedoch nicht allein auf das weiche Eisen, sondern auch auf den Stahl, nur ist die Coercitivkraft des letzteren weit grösser und die magnetischen Flüssigkeiten werden also nur durch stärkere Ströme oder länger dauernde Einwirkungen getrennt, während beim weichen Eisen die Magnetisirung augenblicklich eintritt. Dagegen hat sie bei diesem auch nur eine momentane Dauer und verschwindet mit dem Aufhören des Stromes, während sie beim Stahl auf immer dauernd gemacht werden kann.

Dass die zweckmässigste Form, unter welcher man einen Strom auf Eisen oder Stahl wirken lässt, die der Spirale sein muss, ist aus den früher erwähnten Versuchen klar. Man kann sich leicht vergegenwärtigen, dass eine einfache Spirale, wenn sie um einen geraden Cylinder gewunden ist, (Fig. 173) an beiden Enden verschiedene Pole erzeugen muss,

Fig. 173.

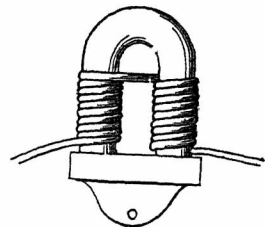


weil die Richtung des Stromes, von jeder Seite aus betrachtet, an jedem Ende eine andere ist. Windet man aber eine Spirale um ein Hufeisen, so müssen die Windungen an beiden Schenkeln verschieden gerichtet sein (Fig. 174), weil nur so die Windungen an jedem Pole, von vorn betrachtet, eine verschiedene Stromrichtung und also verschiedene Pole bedingen können.

§ 252. *Versuch*. Man wicke einen Kupferdraht in lockeren Windungen um eine Glasröhre, wie es obige Figur 173 zeigt, lege in die Röhre ein Stricknadelstück und lasse einen Strom durch die Spirale gehen. Man wird die Nadel nach einiger Zeit stark magnetisch finden.

weil die Richtung des Stromes, von jeder Seite aus betrachtet, an jedem Ende eine andere ist. Windet man aber eine Spirale um ein

Fig. 174.



Auch die Magnetisirung eines Hufeisens aus weichem Eisen gelingt schon mit einer Kette aus wenigen Paaren sehr leicht. Man lasse zu diesem Ende einen Stab aus rundem, recht weichem Schmiedeeisen biegen, mit einem Lehmüberzug versehen, in Holzkohlenfeuer ausglühen und mit den Kohlen zusammen erkalten. Alsdann umwinde man ihn in der oben (Fig. 174) gezeichneten Weise mit einem etwa liniendicken, mit Seide umwickelten Kupferdrahte, dessen beide Enden dann mit den Polen einer möglichst starken Batterie verbunden werden, welche zum Elemente zusammen gestellt ist. Man wird dann beim Anlegen eines Ankers die Tragkraft während der Dauer des Stromes beobachten können und zugleich finden, dass sie nach der Unterbrechung des Stromes sofort aufhört. Es geschieht zwar meistens, dass der Anker noch einige Zeit lang haften bleibt, allein nie wird man denselben, wenn er entfernt worden, an die Pole hängen können, wenn der Strom unterbrochen ist. Auch alle anderen Erscheinungen, die ein Magnet bietet, sind leicht mit diesem Electromagnet hervorzurufen. Unter anderen kann man mit demselben auch Stahlstücke magnetisiren; dabei befestigt man am besten den Magnet umgekehrt auf den Tisch und führt den zu magnetisirenden Stab darüber her. Es dürfte dies die einfachste Methode sein, um sehr kräftige Magnete zu erhalten, wenn nicht sehr starke Magazine zum Streichen zu Gebote stehen.

Wendet man als Anker des Electromagnets ebenfalls einen Electromagnet an, dessen Pole natürlich den ungleichnamigen entgegenstehen, und führt man den Strom von etwa 24 Paaren in einem $\frac{2}{3}$ Millimeter dicken und 1000 Meter langen Drahte um denselben, so erhält man einen Magnet, welcher die Last von etwa 1000 Kilogramm zu tragen im Stande ist.

Um Stahlstäbe durch den electricen Strom direct und dauernd zu magnetisiren, wendet man einen etwa 25' langen und $\frac{1}{8}$ " dicken Kupferdraht an, der zu einer Rolle gewunden ist, in welcher er in einer *kurzen Strecke* viele Windungen macht, so dass diese nicht neben, sondern auf einander liegen. Den Stahlstab steckt man während der Strom circulirt, in die Rolle, bewegt ihn mehrere Male in derselben auf und nieder und öffnet den Strom, wenn die Rolle über der Mitte des Stabes befindlich ist.

§ 253. Die *wichtigsten* allgemein gültigen Gesetze über die magnetisirenden Wirkungen der electricen Ströme, wie sie namentlich durch die Versuche von *Jacobi* und *Lenz* ermittelt wurden, sind folgende:

1) Die Grösse des Magnetismus ist bei übrigens gleichen Umständen den angewendeten Strömen proportional; die Stärke des im weichen Eisen durch verschiedene Ströme hervorgerufenen Magnetismus ist also den Tangenten der Ablenkungswinkel proportional, welche eine in den Strom eingeschaltete Magnetnadel unter dem Einfluss der verschiedenen Ströme erleidet.

2) Die Dicke des Spiraldrahtes hat keinen Einfluss auf die Stärke des erregten Magnetismus, wenn die Stärke des Stromes unverändert bleibt. Dabei ist aber zu bemerken, dass für einen dünneren Draht die *Kette* verstärkt werden muss, wenn der *Strom gleiche Stärke* behalten soll, weil der dünnere Draht einen grösseren Leitungswiderstand leistet, als der dickere. Bleibt aber die *Kette* dieselbe, so muss, wenn der Strom für den dünneren Draht gleich bleiben soll, der Draht verkürzt werden, wodurch freilich die Wirkung geschwächt wird.

3) Wenn das zu magnetisirende Eisen aus den Windungen weit hervorragt, so ist die Weite dieser letzteren ohne Einfluss auf die Stärke des Magnetismus.

4) Die Totalwirkung sämmtlicher Windungen ist der Summe der Wirkungen der einzelnen Windungen gleich.

5) Der Magnetismus, welchen Eisenstäbe von gleicher Länge annehmen, ist bei sonst gleichen Umständen ihrem Durchmesser proportional.

§ 254. In Bezug auf die Kraft der Magnete unterscheidet man *Tragkraft und Anziehungskraft*. Erstere ist das Gewicht, welches erfordert wird, um den Anker von der unmittelbaren Berührung mit dem Electromagnet abzureissen, letztere dasjenige, welches dazu erfordert wird, wenn zwischen Anker und Electromagnet ein unmagnetischer Körper von sehr geringer Dicke eingeschaltet ist. Die Anziehungskraft ist sehr bedeutend kleiner als die Tragkraft: sie beträgt z. B. bei $\frac{1}{182}$ Zoll Abstand nur $\frac{1}{3}$ derselben, und nimmt mit wachsender Entfernung *sehr* schnell ab.

Die wichtigsten Gesetze für die Anziehungs- und Tragkräfte von Stäben und Hufeisen, wie sie für die Praxis von vorzüglichem Interesse, sind folgende:

1) Die Anziehungs- und die Tragkraft der Stab- und Hufeisenmagnete verhält sich wie das Quadrat der Stromstärke multiplicirt mit dem Quadrate der Windungszahl.

2) Bei massiven Eiseneylindern von gleicher Länge, verhalten sich die Trag- und die Anziehungskräfte bei gleicher Stromstärke und gleicher Anzahl der Drahtwindungen wie die Cylinderdurchmesser.

3) Die Anziehung der Electromagnete nimmt zu, je näher die Drahtwindungen den Polen sind.

4) Die Entfernung der Schenkel von einander ist ohne Einfluss auf die Tragkraft.

5) Wenn die Windungen über die ganze Länge des Eisenkernes hingehen, so hat die Länge seiner Schenkel keinen Einfluss auf die Anziehungs- und Tragkraft.

§ 255. Von den mannigfachen Erscheinungen, welche bei den electromagnetischen Wirkungen hervortreten, seien noch folgende als besonders interessant bemerkt.

Alle electricen Ströme, sie mögen herrühren, woher sie wollen, auch die Inductions- und thermoelectricen Ströme, sowie die Entladungen der Reibungselectricität, rufen Magnetismus hervor oder ändern den schon vorhandenen unter geeigneten Umständen zur entgegengesetzten Polarität um.

Die Tragkräfte der gewöhnlichen und der Electromagnete unterscheiden sich (nach *Magnus*) darin, dass die Tragkraft einzelner Pole bei den ersteren einen weit grösseren Bruchtheil von derjenigen der geschlossenen Pole beträgt, als bei den letzteren. Dem entsprechend zeigen auch electromagnetische Stäbe nur eine sehr geringe Tragkraft, während zwei verschiedene Pole zweier Stäbe, durch einen Anker verbunden, weit mehr tragen können.

Wenn man auf die beiden Pole eines starken Electromagnets je einen Halbanker aus weichem Eisen legt, so dass eine Entfernung von einem Zoll dazwischen bleibt, so ist diese Einrichtung besonders geeignet, die starke magnetische Anziehung zu zeigen. Eine eiserne Kugel z. B., welche man ungefähr nach dieser Richtung wirft, trifft stets zwischen die Pole. Ein schwerer Schlüssel wird aus einer Entfernung von mehre-

ren Füssen angezogen und schwebt, wenn er durch eine Schnur zurückgehalten wird, horizontal neben den Ankern in der Luft. Legt man Eisenfeile auf ein Tischchen über die Pole, so wird sie im Augenblicke der Stromschliessung plötzlich zu einer starren Masse über jedem Pole zusammengezogen.

Die grosse Kraft, die man den Electromagneten durch starke Batterien ertheilen kann, macht sie vorzüglich geeignet zu Versuchen über den Einfluss des Magnetismus auf sonst nicht magnetische Körper; die wichtigsten Erscheinungen des bei diesen Versuchen entdeckten *Diamagnetismus* haben wir schon früher (§ 169) kennen gelernt.

§ 256. Die bedeutende Kraft, welche die Electromagnete ausüben können, hat vielfach die Idee angeregt, sie zum Betriebe von Maschinen zu benutzen. Dieser Verwendung stehen manche Hindernisse im Wege. Einmal kann die Anziehung allein keine dauernde Bewegung hervorbringen; diese kann nur durch den Wechsel der Anziehung und Abstossung bewirkt werden und obwohl das weiche Eisen bei der Stromunterbrechung *fast* augenblicklich seinen Magnetismus verliert, so ist doch eine gewisse Zeit dazu erforderlich, namentlich wenn irgend ein Anker angezogen worden war. Noch mehr entfernt sich die meistens angewendete *Umkehrung* der Pole von der Augenblicklichkeit und hierin ist ein Haupthinderniss für die Erzeugung sehr *schneller* Bewegungen zu suchen. Es wäre nur durch Auffindung eines Stoffes zu vermeiden, welcher in der That seine Anziehungskraft in einem gegebenen Momente *plötzlich* verlöre. Auf der anderen Seite aber ist, etwa für langsame Bewegungen, der Materialverbrauch, namentlich von Schwefelsäure und Zink keineswegs ein unbedeutender und die dadurch bei der erforderlichen starken Batterie erwachsenden Kosten, welche noch durch die unständliche Besorgung, Unterhaltung und Reparatur der sehr empfindlichen Apparate erhöht werden, so beträchtlich, dass sie gegenüber den Kosten anderer Betriebskräfte viel zu hoch ausfallen. So lange keine starke Batterie erfunden ist, welche weniger kostbare Materialien verbraucht, dürften die mancherlei Vortheile, welche die Anwendung der electromagnetischen Kraft bietet, nicht ausreichen, sie zu allgemeiner Benutzung zu befähigen, und in der angeführten Ursache sind die Haupthindernisse zu suchen, woran die zahlreichen Versuche scheiterten, welche in dieser Richtung angestellt worden sind. Interessant bleiben aber stets die zum Theil sehr einfachen Apparate, welche man zur Veranschaulichung einer durch Electromagnetismus hervorgebrachten Bewegung construiren kann. Es mögen ein Paar der am leichtesten verständlichen hier kurz beschrieben werden:

In einem Brottchen (Fig. 175) ist eine kreisförmige Rinne ab eingbohrt, die durch eine Scheidewand, welche um 1—2 Linien niedriger ist, in zwei gleiche Theile getheilt ist. Diese Scheidewand ist etwa zwei Linien breit und besteht aus einer isolirenden Substanz. In der Mitte ist eine stählerne Spitze eingesetzt, auf welcher das fast ganz durchbohrte Stück weiches Eisen NS leicht beweglich schwebend aufgehängt ist; dasselbe ist mit Seide umwickelt und dann mit einem Kupferdraht in losen Windungen umgeben, der mit seinen beiden Spitzen in die Rinne so tief reicht, dass sie ohne zu streifen, über die Scheidewände weggehen

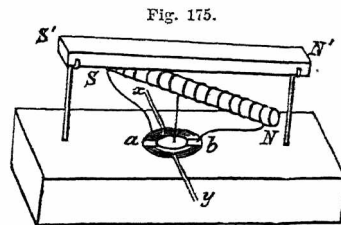


Fig. 175.

können. In die Rinne kommt so viel Quecksilber, dass es mit seiner erhabenen Oberfläche über der Scheidewand steht, ohne dass aber die durch diese getrennte Hälften einander berühren können. In die beiden Rinnenhälften tauchen die beiden Kupferdrähte x und y einer galvanischen Batterie. Ueber dem Electromagnet befindet sich der feste Magnetstab $S'N'$.

Wenn nun z. B. der positive Strom bei x eintritt, so entsteht bei N ein Nordpol, bei S ein Südpol, beide werden von den zunächst liegenden N und S' abgestossen, so dass der Electromagnet eine Drehung in der entsprechenden Richtung erhält; wenn dadurch der Pol N etwas über den Pol S' hinausgelangt ist, so haben die Drahtenden durch Ueberschreiten der Scheidewand die Hälften der Quecksilberrinne vertauscht und der Strom geht nun in umgekehrter Richtung durch die Spirale; dadurch wird der Pol N zum Süd-, S zum Nordpol und beide werden nunmehr von dem zunächststehenden S' und N' abgestossen, worauf sich beim Ueberschreiten der Scheidewand die Stromumkehrung wiederholt und somit eine fortwährende Drehung des Electromagnets bewirkt wird. Dass man an der Stelle des Stahlmagnets $S'N'$ auch einen Electromagnet anwenden kann, ist wohl selbstredend.

Eine sehr einfache Vorrichtung ist auch folgende: Zwei horizontale Spiralen von Kupferdraht können abwechselnd von einem Strom durchströmt werden. Ein Eisenstab ist durch Leitrollen so gestützt, dass er sich leicht hin- und herbewegen und bald in die eine, bald in die andere Spirale begeben kann. Geht nun der Strom durch die eine Spirale, so wird der Eisenstab hineingezogen; durch eine mit derselben verbundene Unterbrechungsvorrichtung wird aber zugleich der Strom in der ersten Spirale unterbrochen und durch die zweite geleitet, worauf der Eisenstab nach dieser gezogen wird, um zugleich den Strom zu unterbrechen und dann wieder von der ersteren angezogen zu werden. Mit dieser hin- und herfahrenden Bewegung ist es leicht, einen Mechanismus zu verbinden, der sie in eine drehende verwandelt oder sonst wie zur Anwendung bringt.

Die ausgedehnteste Benutzung erfährt die gegenseitige Wirkung der Magnete und electricischen Ströme, namentlich der Electromagnetismus bei den *electricischen Telegraphen*, von denen wir im nächsten Abschnitt das Wichtigste kennen lernen werden.

§ 257. Wenn durch den electricischen Strom Magnetismus in Eisen erzeugt wird, so wird dadurch der Gleichgewichtszustand der Moleküle in merkwürdiger Weise gestört. Man bemerkt nämlich unter geeigneten Umständen beim Schliessen oder Oeffnen der Kette ein Tönen des Stabes, welches beweist, dass derselbe abwechselnd verlängert und verkürzt wird, gerade so, als ob eine mechanische Kraft in der Richtung des Stromes auf die Eisenstange wirke. Hiermit stimmt die Erscheinung überein, dass kein Eisenstab, wenn man den Strom mittelst des Blitzrades oft unterbricht, bei dem Magnetischwerden erwärmt wird.

Den Einfluss, welchen der Magnetismus auf die Eigenschaften der Lichtstrahlen ausübt, werden wir in der Optik näher kennen lernen.

§ 258. So wie ein Magnet bei seiner Entfernung von einer Drahtspirale in derselben einen Strom inducirt, so entsteht auch ein Strom, wenn ein magnetisches Eisen plötzlich aufhört magnetisch zu sein. Wenn also ein Strom bei seinem Durchgange durch eine ein Eisenstück umgebende Spirale dasselbe magnetisch gemacht hat, und der Strom dann plötzlich unterbrochen wird, so ruft dies Verschwinden des Magnetismus augenblicklich einen Strom in derselben Spirale hervor. Wenn eine

zweite Spirale um den Eisenkern gewickelt ist, so wird in dieser also ein doppelter Inductionsstrom erzeugt, der eine entsteht durch das Aufhören des Stromes in der Spirale, der andere durch das gleichzeitige Aufhören des Magnetismus im Eisen.

Die Richtung des durch das Entmagnetisiren inducirten Stromes ist, wie leicht zu finden, gleich mit derjenigen des direct durch das Unterbrechen des Stromes inducirten und daher wird der Inductionsstrom durch Einschaltung eines Stückes weichen Eisens *verstärkt*. In jedem Apparate also, in welchem durch Unterbrechen electricischer Ströme andere inducirt werden, kann man die Wirkung der Induction bedeutend erhöhen, wenn man in der Spirale einen Kern von weichem Eisen anbringt. Unterbricht man den Strom durch eine Feile oder ein Blitzrad, so äussert der auf diese Weise verstärkte Inductionsstrom sehr heftige Wirkungen, die durch Anwendung eines Bündels (am besten isolirter) Drähte statt des massiven Eisenkerns noch sehr erhöht werden, und namentlich starke physiologische Wirkungen äussern. Diese Verstärkung der Inductionsströme durch eingelegte Drahtstücke wird daher auch bei vielen Apparaten angewendet, indem man durch die Zahl der eingesteckten Drähte die Erhöhung der Wirkung ganz in seiner Gewalt hat.

Aehnlich wie dieser Inductionsstrom wird auch der oben bezeichnete beim Oeffnen der Kette entstehende Extrastrom durch Einlegen von Eisenkernen sehr verstärkt.

§ 259. Einen Apparat, welcher vermöge der Stromverstärkung durch magnetische Induction so starke Inductionsströme liefert, dass dieselben nicht allein die Erscheinungen einer grossen Menge Electricität hervorbringen können, haben viele Physiker zu construiren sich bemüht, und es gibt in der That viele Apparate, welche in diesem Sinne die Erscheinung der galvanischen *und* die der Reibungselectricität zeigen. Es möge hier noch eine Zeichnung und Beschreibung des *Stöhrer'schen* Apparates ¹⁾ folgen; die einzelnen Theile finden auch sonst mannigfache Anwendung und es kann daher diese Erklärung zum Verständniss vieler electromagnetischer und Inductionsapparate sehr nützlich sein.

Die Haupttheile dieses Apparates (Fig. 176 f. Seite) sind folgende: die *Inductionsrolle* AA, in welcher der secundäre Strom inducirt wird; die innerhalb derselben befindliche (daher in der Figur nicht sichtbare) von derselben aber isolirte *Hauptrolle* für den ursprünglich von der *Batterie* als Electricitätsquelle kommenden Strom; das *Eisendrahtbündel* E innerhalb beider Rollen, welches zur Verstärkung des inducirten Stromes dient; der *Stromunterbrecher* B, der *Entlader* FR, der *Condensator* im Innern des Kastens K.

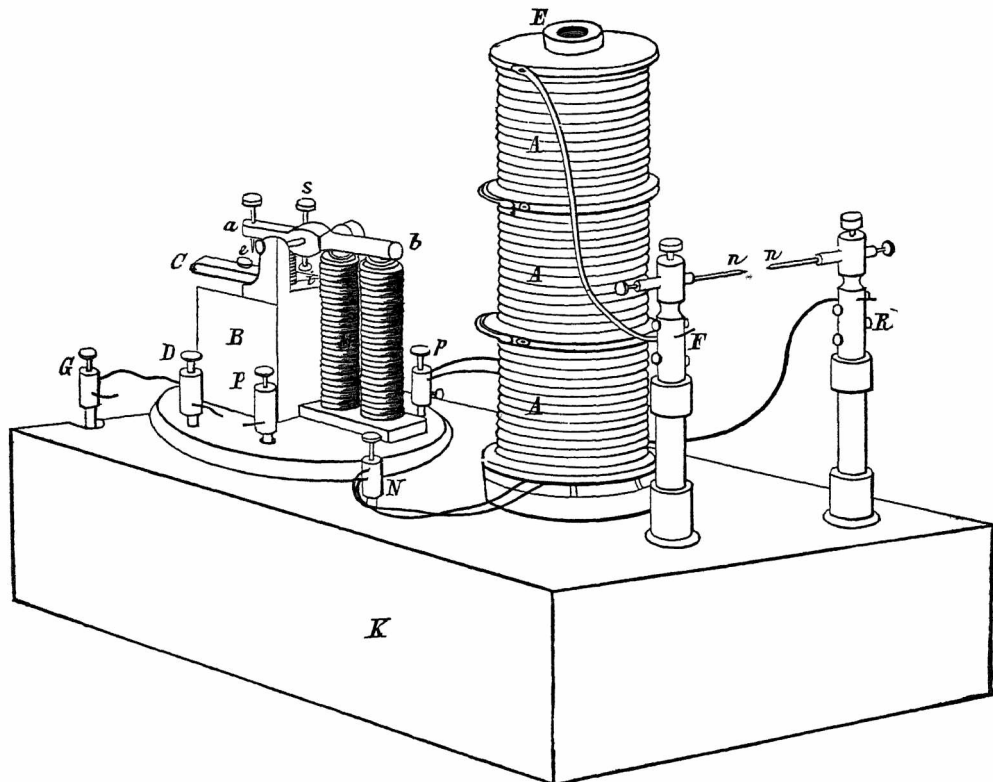
Die *Inductionsrolle* besteht aus den Abtheilungen AAA mit Seide überspannenen Drahtes, dessen einzelne Lagen noch durch isolirende Schichten von einander getrennt sind. Der Draht hat, bei 1000 Fuss Länge, eine Dicke von $\frac{1}{4}$ Millimeter. Die einzelnen Abtheilungen sind unter sich durch Drähte verbunden, so dass *eine* Spirale gebildet wird. Die mit der Inductionsrolle concentrische *Hauptrolle* ist ähnlich, nur aus dickerem und kürzerem Drahte verfertigt, das *Eisendrahtbündel* besteht aus etwa 1000 äusserst dünnen Drähten.

Der *Stromunterbrecher* besteht aus dem Electromagnet M, dessen bis a verlängerter Anker b um seine Axe drehbar ist; die Feder i, welche durch die Schraube S ²⁾ beliebig gespannt werden kann, zieht den Hebel

¹⁾ Nach *Eisenlohr*, Lehrb. d. Physik 1857.

²⁾ In der Figur etwas verzeichnet.

Fig. 176.



abwärts und strebt also, den Anker von dem Magnet loszureissen, was jedoch nur geschehen kann, wenn der Strom um denselben unterbrochen ist. Beim Niedergehen berührt der Stift *a* das Platinascheibchen *e*, welches auf dem Kupferbügel *C* befestigt ist und an dessen Stelle von den Unterbrechungsfunken getroffen wird, weshalb es auch gedreht werden kann.

Der *Condensator* wirkt als eine grosse Franklin'sche Tafel; er besteht aus einem breiten Streifen Wachstaffet, der auf beiden Seiten mit Stanniol belegt ist, welcher seinerseits durch zwei weitere Taffetlagen bedeckt wird. Der eine Stanniolstreifen steht mit dem Hebel *ab*, der andere durch *G* und *D* mit dem Kupferbügel *C* in leitender Verbindung.

Der *Funkenapparat* *FR* ist mit den beiden Enden der Inductionsrolle, wie es die Figur zeigt, verbunden; er ist isolirt und enthält ausser den verstellbaren Stahldrähten *nn* noch mehrere Klemmschrauben für beliebige Schliessungsdrähte. Der positive Pol der anzuwendenden galvanischen *Kette* wird mit der Klemmschraube *P*, der negative mit *N* verbunden; die Enden der *Hauptrolle* gehen, das eine nach *N*, das andere nach *p*.

Wenn die Verbindungen hergestellt sind, so geht der positive Strom der Batterie von *P* nach dem Kupferbügel *C* und durch die Platinaplatte *e* in den Stift *a*, (welcher durch die Feder so lange an dieselbe gedrückt wird, wie der Electromagnet *M* den Anker nicht anzieht). Von *a* geht der

Strom durch die Feder *i* in die Drahtspirale von *M*, von dort nach *p* und in die Hauptrolle innerhalb *AA* und über *N* zur Batterie zurück. Nun aber wird *M* durch diesen Strom zum Magnete, zieht den Anker *b* nieder und löst somit den Stift *a* von der Platinplatte *e* los, wodurch also hier der Strom unterbrochen wird. Durch diese Unterbrechung entsteht in der Inductionsrolle ein Strom, welcher bei *nn* als Funken übergeht, oder sonstwie durch *F* und *R* entladen werden kann.

Gleichzeitig mit dem Inductionsstrom entsteht aber in der Hauptrolle selbst bei deren Oeffnen, wie früher erwähnt, der Extrastrom; dieser geht in den *Condensator*, aus welchem er beim Schliessen der Kette durch diese selbst wieder zurücktritt, wodurch seine nachtheiligen Wirkungen verhindert werden.

Beim Schliessen der Kette entsteht ein zweiter Inductionsstrom von entgegengesetzter Richtung. Der erstere ist jedoch bei weitem der stärkere und es summiren sich die Ströme bei den rasch auf einanderfolgenden Unterbrechungen so sehr, dass die Wirkung dieser zweiten, weit schwächeren Ströme gegen die der Schliessungsströme verschwindet und nur die der letzteren bemerkbar wird.

Die Wirkung ist schon bei zwei Bunsen'schen Elementen so energisch, dass man Funken von 12—14 Linien erhalten kann; sind die Spitzen der Entlader auf 8 Linien einander genähert, so bildet sich ein beständiger Funkenstrom, der je nach den Stoffen, welche man zwischen die Spitzen bringt, verschiedenes Farbenspiel zeigt. Die Erscheinungen verändern sich augenblicklich sehr bedeutend, wenn man den *Condensator* ausschaltet, indem alsdann der Extrastrom nicht vermieden wird, sondern einen entgegengesetzten Inductionsstrom erzeugt, der die Stärke des eigentlichen Inductionsstromes herabstimmt.

Mitteltst dieses Apparates kann man auch eine Leydner Flasche, obwohl mit geringerer Spannung laden und damit überhaupt alle Wirkungen der Volta'schen Kette und der *Electrisirmaschine* hervorbringen. Das schönste Experiment ist das electrische Licht im luftleeren Raum.

