TARTU ÜLIKOOL · UNIV. TARTUENSIS · 1632

Grundzüge der Physik

für

Kreisschulen

des

Dorpatschen Lehrbezirkes.

Von

Heinrich Westberg.

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
61942

Mit 12 Figurentafeln.

Mitau, 1852.

Gedruckt bei J. H. Hoffmann und A. Johannsohn.

Der Druck wird gestattet

mit der Anweisung, nach Vollendung desselben die gesetzliche Anzahl von Exemplaren an das Rigische Censur-Comité einzuliefern.

Riga, den 24. Oktober 1852.

Dr. J. G. Krohl,
Censor.

Est. A
Tartu Ülikooli
Raamatukogu
25671

Seiner Hohen Excellenz,

dem Herrn Curator des Dorpatschen Lehrbezirks,

General der Infanterie,

Ritter der Orden: des St. Alexander-Newski in diamantenen Insignien, des weißen Adlers, der St. Anna erster Klasse mit der Kaiserkrone, des Großkreuzes St. Wladimir zweiter Klasse, des St. Georg vierter Klasse und des preußischen eisernen Kreuzes, Inhaber eines goldenen Degens mit der Aufschrift „für Tapferkeit", des Ehrenzeichens für Militair-Verdienst zweiter Classe, der Medaillen: vom Jahre 1814, für den türkischen Krieg, für die Einnahme von Warschau und des Ehrenzeichens tadellosen Dienstes am Georg-Bande für XLV. Jahre

von Graffström

in höchster Ehrerbietung und Ergebenheit

gewidmet

vom

Verfasser.

Vorrede.

Das in den Kreisschulen des Dorpatschen Lehrbezirkes, in Folge höherer Anordnung, dem Unterrichte in der Physik noch immer zu Grunde liegende Lehrbuch ist »Parrot's Naturkunde« (Dorpat 1816). Wiewohl dieses Büchelchen früher dem bei Kreisschülern beabsichtigten Zwecke hinlänglich entsprach, so kann es doch gegenwärtig bei dem weit höhern Standpunkte dieser Wissenschaft sein altes volles Recht in den Schulen nicht mehr behaupten. Es dürfte daher wohl an der Zeit sein, den Lehrern an den Kreisschulen ein neues Lehrbuch der Physik zu bieten, worin auch alle die in unsern Tagen durch das begeisterte Bestreben der Naturforscher gemachten neuern Entdeckungen und Fortschritte auf dem Gebiete dieser interessanten, für Kunst, Handel, Gewerbe u. s. w. im höchsten Grade nützlichen Wissenschaft — nicht außer Acht gelassen worden.

Der Verfasser glaubte nur im Interesse der lernenden Jugend zu handeln, wenn er sich entschloß, vorliegendes Werkchen dem Drucke zu übergeben, das sich, nebst dem bereits Bekannten, vorzugsweise auf die allgemein ansprechenden neuesten und wichtigsten Lehren und Erfindungen beschränkt. Wie weit es demselben gelungen sei, die Bedürfnisse unserer Schulen und die Ansprüche und Wünsche seiner Fachkollegen zu befriedigen, muß er dem Urtheile Sachverständiger anheimstellen, mit der Bitte, diesen seinen ersten Versuch auf einem so außerordentlich großen und schwierigen Gebiete der Naturwissenschaft mit nachsichtsvoller Humanität aufzunehmen und zu beurtheilen;

seinen guten Willen, der Jugend möglichst nützlich zu werden, nicht zu verkennen, zugleich aber auch ihre etwa zu machenden Bemerkungen, Wünsche und ihren gerechten Tadel in Beziehung auf Anordnung, Stoff und Bearbeitung des Ganzen ihm gefälligst mündlich oder schriftlich mitzutheilen. Hierdurch würden sie nicht nur ihn und die lernende Jugend zu dem herzlichsten Danke verpflichten, sondern auch der guten Sache förderlich sein.

Möge die auf die Bearbeitung dieses Werkchens verwandte Mühe keine vergebliche gewesen sein.

Mitau, im September 1852.

Der Verfasser.

Inhalt.

Einleitung . . . . . § 1

Kapitel I.

Allgemeine Eigenschaften der Körper . . . . . § 18
Specifisches Gewicht . . . . . § 33
Der chemische Theil der Physik . . . . . § 45
Krystallisation . . . . . § 68

Kapitel II.

Die mechanischen Wissenschaften.

Erster Abschnitt.

Die Gesetze vom Gleichgewichte fester Körper (Statik).

Parallelogramm der Kräfte . . . . . § 77
Größe der Bewegung (Kraftmoment) . . . . . § 82
Sechs einfache Maschinen (Hebel, Rolle, Rad an der Welle, schiefe Ebene, Schraube und Keil) . . . . . § 84
Schwerpunkt . . . . . § 116

Zweiter Abschnitt.

Die Gesetze von der Bewegung fester Körper (Dynamik).

Gleichförmige Bewegung . . . . . § 127
Gleichförmig beschleunigte Bewegung . . . . . § 128
Wurfbewegung . . . . . § 137
Centralbewegung . . . . . § 143
Pendelbewegung . . . . . § 148
Stoß harter und elastischer Körper . . . . . § 155
Hinderniß der Bewegung . . . . . § 163

Kapitel III.

Die tropfbar-flüssigen Körper.

Erster Abschnitt.

Die Gesetze vom Gleichgewichte tropfbar-flüssiger Körper (Hydrostatik).

Die drei Haupterfahrungssätze bei tropfbar-flüssigen Körpern . . . . § 168
Seiten- und Bodendruck eines Gefäßes durch tropfbar-flüssige Körper . . § 172
Real's Auflösungspresse . . . . . § 174
Communicirende Röhren . . . . . § 175
Die Brahmasche Wasserpresse . . . . . § 177
Gewichtverlust eines in eine Flüssigkeit getauchten Körpers . . . . § 178
Aräometer . . . . . § 188
Capillarerscheinungen . . . . . § 194

Zweiter Abschnitt.

Die Gesetze von der Bewegung tropfbar-flüssiger Körper (Hydraulik oder Hydrodynamik).

Geschwindigkeit und Menge des aus der Oeffnung eines Gefäßes fließenden Wassers § 196
Wasserräder . . . . . § 200

Kapitel IV.

Die Lehre von den luftförmigen oder elastisch-flüssigen Körpern.

Erster Abschnitt.

Die Gesetze vom Gleichgewichte luftförmiger Körper (Aërostatik).

Die luftförmigen Körper überhaupt . . . . . § 208
Gefäßbarometer . . . . . § 214
Heberbarometer . . . . . § 216
Dosenbarometer . . . . . § 218
Mariottsches Gesetz . . . . . § 219

Luftpumpe . . . . . § 221
Stechheber, gemeiner Heber, Zaubertrichter, Saug- und Druckpumpe, Feuerspritze, Vexirbecher, atmosphärische Eisenbahn, Windbüchse, Heronsball und Heronsbrunnen . . . . . § 226

Zweiter Abschnitt.

Die Gesetze von der Bewegung der atmosphärischen Luft (Aërodynamik oder Pneumatik).

Verschiedene Winde . . . . . § 231

Kapitel V.

Die Lehre vom Schalle.

Vom Schalle überhaupt . . . . . § 238
Die akustischen Röhren und Sprachsäle . . . . . § 258
Das Echo . . . . . § 261
Werkzeuge des Gehörs und der Stimme . . . . . § 264

Kapitel VI.

Die Lehre vom Lichte.

Vom Lichte überhaupt . . . . . § 269

Erster Abschnitt.

Gerader Fortgang der Lichtstrahlen (Optik) . . . . . § 274

Zweiter Abschnitt.

Die durch Zurückwerfung der Lichtstrahlen erzeugten Erscheinungen (Katoptrik) . § 282

Dritter Abschnitt.

Die durch Brechung der Lichtstrahlen hervorgebrachten Erscheinungen (Dioptrik) § 307
Farbenzerstreuung . . . . . § 323
Das Auge und die optischen Instrumente . . . . . § 334
Die durch Zurückwerfung und Brechung der Lichtstrahlen erzeugten Lufterscheinungen § 350

Kapitel VII.

Die Lehre von der Wärme.

Von der Wärme überhaupt . . . . . § 352
Thermometer . . . . . § 356
Temperatur bei Mischungen flüssiger Körper . . . . . § 381
Dampfmaschine . . . . . § 384
Wässerige Lufterscheinungen . . . . . § 392

Kapitel VIII.

Die Lehre vom Magnetismus . . . . . § 402

Kapitel IX.

Die Lehre von der Electricität.

I. Reibungs-Electricität . . . . . § 421
Die leuchtenden und feurigen Lufterscheinungen . . . . . § 445
II. Berührungs-Electricität (Galvanismus) . . . . . § 449

Kapitel X.

Die Lehre von dem Electromagnetismus, der Magneto-Electricität und Thermoelectricität.

I. Electromagnetismus . . . . . § 470
II. Magneto-Electricität . . . . . § 481
III. Thermoelectricität und Thermomagnetismus . . . . § 484

Einleitung.

§ 1. Ein in drei verschiedenen Richtungen (Länge, Breite und Höhe) begrenzter Raum heißt *Körper*.

Dasjenige, was diesen Raum ausfüllt, wird *Stoff* oder Materie, und die Menge der Materie eines Körpers, *Masse* genannt. Die Größe des Raumes eines Körpers heißt dessen *Rauminhalt* oder *Volumen*.

Die Physik beschäftigt sich nur mit physischen Körpern, d. h. mit Körpern, die mit Materie ausgefüllt sind; dagegen die Geometrie nur lediglich den Raum betrachtet, den ein physischer Körper einnimmt.

§ 2. Alle Körper auf unserer Erde zerfallen in *organische* und *unorganische*. Die organischen Körper (Thiere und Pflanzen) haben innere Werkzeuge (Organe), vermittelst welcher sie die von außen in sich aufgenommenen Nahrungsstoffe umwandeln und nach allen Theilen des Körpers hinführen und dadurch von innen nach außen wachsen. Die unorganischen Körper (Metalle, Steine u. s. w.) dagegen haben nicht jene inneren Werkzeuge und vergrößern sich nur von außen durch Anhäufung anderer Körpertheile.

Die in den organischen Körpern stattfindende innere Thätigkeit wird *Leben* genannt, welches bei den unorganischen nicht wahrnehmbar ist.

§ 3. Die Ursache jeder Wirkung oder Veränderung an einem Körper wird *Kraft* genannt. Die Größe einer Kraft wird aus der Größe ihrer Wirkung erkannt. Kraft und Wirkung zeigen sich immer verhältnißmäßig.

§ 4. Wir nennen die Veränderungen an den Körpern eine *wesentliche* oder *innere*, wenn dabei das Wesen der Materie derselben ganz umwandelt wird; eine *nicht wesentliche* oder *äußere* dagegen, wenn bei unveränderter Materie nur eine Raumveränderung stattfindet.

§ 5. Jede Veränderung, die wir an einem Körper wahrnehmen, nennt man *Erscheinung* oder *Phänomen*. Alle Erscheinungen erfolgen nach bestimmten unabänderlichen Gesetzen (Naturgesetzen), und es ist die Pflicht des Physikers, nicht nur die Gesetze, nach welchen diese Veränderungen erfolgen, sondern auch möglichster Weise die Ursachen aufzufinden, auf welche jene Gesetze sich gründen.

§ 6. Unter *Natur* versteht man nicht nur den Inbegriff aller vorhandenen Erd- und Himmelskörper, sondern auch den Inbegriff aller Eigenschaften, mithin das Wesen aller Körper. Unser sämmtliches Wissen von der Natur wird *Naturwissenschaft* oder *Naturkunde* genannt. Sie zerfällt in

mehrere Zweige, von denen wir hier nur die Physik im engsten Sinne und das Allgemeinste aus der Chemie betrachten wollen.

§. 7. Die Physik im engsten Sinne ist derjenige Theil der Naturwissenschaft, welcher sich mit den nicht wesentlichen und nicht andauernden Veränderungen der unorganischen Körper und mit den Gesetzen, nach denen diese Veränderungen erfolgen, beschäftigt.

Wasser wird z. B. durch die Wärme in Dampf verwandelt, der durch Temperaturerniedrigung wieder in Wasser übergeht; ein Schlag an einen tönenden Körper verursacht den Schall; durch ein erhaben geschliffenes Glas können wir eine bedeutende Vergrößerung eines durch dasselbe betrachteten kleinen Körpers wahrnehmen; eine aus einer Flinte geschossene Kugel zeigt die Erscheinung einer großen Bewegung; an jedem von einer bestimmten Höhe herabfallenden Körper sehen wir die Erscheinung des Falles u. s. w. Alle diese Körper, so verschiedenartige Erscheinungen (z. B. der Dampfbildung, des Schalles, der Vergrößerung, der Bewegung, des Falles) sie auch hervorbringen, bleiben in ihrem Wesen unverändert und die Dauer ihrer Erscheinungen ist vorübergehend. Das durch das Glas gehende Licht bewirkt keine Veränderung desselben und selbst die Wärme, Electricität, Magnetismus ändern nur vorübergehend den Zustand der Körper.

Die Chemie dagegen betrachtet nur solche Erscheinungen, die mit wesentlicher und andauernder Veränderung der Körper verbunden sind.

Wenn z. B. ein Stück Holz oder Schwefel verbrennt, so verschwinden Holz und Schwefel vollständig. Sie sind in einen Zustand übergegangen, in welchem sie ihre vorherigen Eigenschaften ganz verloren haben. Eben so, wenn Schwefel und Quecksilber zusammen erhitzt werden, so verschwinden beide, und statt ihrer erhält man Zinnober, eine rothe Farbe von ganz anderer Eigenschaft, als die ihrer Bestandtheile. Aus diesen zwei Beispielen ersehen wir, daß die Körper, welche hier zur Hervorbringung von Erscheinungen verwandt worden, eine wesentliche oder innere Veränderung erlitten haben und daß der aus ihnen hervorgegangene neue Körper ganz andere Eigenschaften besitzt, als ihre Bestandtheile.

Anmerkung. Diejenige der Naturwissenschaften, die sich ausschließlich mit den Lebens-Erscheinungen der organischen Körper beschäftigt, heißt Physiologie, und die Wissenschaft, welche die Körper beschreibt und sie nach ihrer Gestalt und ihren äußern Merkmalen in eine leicht übersichtliche Ordnung bringt, wird Naturgeschichte genannt. Die Astronomie beschäftigt sich mit der Größe, der Entfernung und der Bewegung der Himmelskörper.

§ 8. Die Physik und die Chemie greifen so innig in einander, daß ihre Grenzen schwer zu bestimmen sind; sie können als Wissenschaften nicht von einander getrennt werden, indem sie gleichsam ein Ganzes bilden und sich gegenseitig unterstützen.

§ 9. Wir können zur Kenntniß der Naturgesetze nur durch die sinnliche Wahrnehmung und durch die Vernunft gelangen, wenn uns auch die Natur der Kräfte und das Wesen der Dinge ganz und gar unbekannt bleiben. Die sinnliche Wahrnehmung machen wir entweder an den Veränderungen, die uns die Natur selbst darbietet, oder wir setzen die Körper in gewisse Verhältnisse, wodurch sie genöthigt werden, ähnliche Erscheinungen hervorzubringen, wie sie die Natur uns liefert. Im erstern Falle stellen wir eine Beobachtung, im zweiten einen Versuch (Experiment) an. Aus dem durch Beobachtungen und Versuche Gefundenen werden durch die Vernunft Naturgesetze abgeleitet und Naturerscheinungen erklärt.

§ 10. Wenn es beim Unterrichte in der Physik vornehmlich darauf abgesehen ist, sich durch Versuche mit den Naturerscheinungen und den Gesetzen, nach denen sie erfolgen, bekannt zu machen, so heißt diese Wissenschaft Experimentalphysik. Der Inbegriff derjenigen Werkzeuge, die man zu den Versuchen anwendet, nennt man den physikalischen Apparat.

§ 11. Eine Naturerscheinung (Phänomen) erklären, heißt: den Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung nachweisen. Ist die Nachweisung nicht gewiß, sondern eine angenommene, so nennt man sie eine Hypothese (Voraussetzung).

§ 12. Unter den Zuständen oder Aggregatformen der Körper versteht man die Art, wie die kleinsten Theile derselben neben einander bestehen oder zusammengehalten werden.

Die unorganischen Körper kommen in drei Hauptzuständen oder Aggregatformen vor; sie sind entweder fest, tropfbar-flüssig oder elastisch-flüssig.

Wir nennen einen Körper fest oder starr, wenn er eine bestimmte, selbstständige Gestalt hat und seine Theile bei der Trennung einen bedeutenden Widerstand leisten; tropfbar-flüssig, wenn er keine bestimmte selbstständige Gestalt hat und seine Theile so gering zusammenhängen, daß sie sich leicht theilen lassen und die Form des Gefäßes annehmen, worin sie enthalten sind. Sie lassen sich nur durch große Kräfte in einen kleinern Raum zusammendrücken und nehmen in kleinen Massen die Gestalt kugelähnlicher Tropfen an. Elastisch-flüssig oder luftförmige Körper sind solche Körper, deren Theilchen fast gar keinen Zusammenhang haben, durch geringe Kräfte sich schon in kleinere Räume zusammendrücken lassen und das freiwillige Bestreben äußern, einen immer größern Raum einzunehmen, wie z. B. die atmosphärische Luft und die Wasserdünste. Die Kraft, vermöge welcher die elastisch-flüssigen Körper dieses Bestreben äußern, nennt man Ausdehnsamkeit oder Expansion.

Die tropfbar-flüssigen Körper unterscheiden sich von den luftförmigen vorzüglich darin, daß jene ein unveränderliches, diese ein veränderliches Volumen haben. Die luftförmigen Körper sind nur in einer Beziehung elastisch; denn drückt man sie zusammen, so nehmen sie bei nachlassendem Drucke ihren frühern Raum wieder vollkommen ein; dehnt man sie aber aus, so bleiben sie ausgedehnt, ohne sich von selbst wieder zusammenzuziehen. Alle übrigen Körper dagegen äußern eine doppelte Elasticität.

§ 13. Die elastisch-flüssigen Körper sind entweder Gase oder Dämpfe. Die erstern unterscheiden sich von den letztern dadurch, daß sie (mit weniger Ausnahme § 209) unter allen Bedingungen die Luftform beibehalten, während die Dämpfe durch einen hohen Grad von Druck oder durch Temperaturerniedrigung in einen flüssigen oder festen Körper übergehen.

§ 14. Unter den festen Körpern nennt man diejenigen hart, welche sehr schwer, und weich, welche leicht einen Eindruck durch Stoß, Schlag, oder Pressen erleiden; spröde, wenn ihre Theile nicht verschoben und ihre Figur nicht verändert werden können, ohne zu zerbrechen z. B. Glas, Porcellan, Glastropfen oder Glasthränen und die Bologneser Fläschchen; biegsam, wenn ihre Theile durch einen äußern Druck verändert werden, ohne daß ihr ganzer Zusammenhang darunter leidet, z. B. Gold, Silber, Eisen u. s. w.; zähe, wenn sie biegsam und zugleich leicht ausgedehnt werden können, wie Gold, Gummi elasticum, Leder u. s. w.

Anmerkung. Man erhält die Glasthränen, wenn man einen Tropfen flüssiges Glas in eiskaltes Wasser fallen läßt. Sie bilden dann einen länglichen Tropfen mit einem langen Schwänzchen. Bricht man von letzterem ein Stückchen ab, so ist dieses Verfahren hinreichend, um den ganzen Glaskörper durch die verursachte Erschütterung in Staub zerfallen zu lassen.

§ 15. Um sich die drei Aggregatformen der unorganischen Körper zu erklären, nimmt man in jedem Körper zwei Kräfte an: eine anziehende (attractive) und eine abstoßende (repulsive), und erklärt die verschiedenen Zustände aller Körper aus den verschiedenen Verhältnissen dieser Kräfte zu einander. So überwiegt in den festen Körpern bei weitem die anziehende, in den tropfbar-flüssigen die anziehende nur in sehr geringem, und in den elastisch-flüssigen die abstoßende Kraft in sehr hohem Grade.

§ 16. Die Aggregatformen der Körper können auf drei verschiedene Arten geändert werden:

1.) Durch die Kraft der Wärme.

Wasser, Quecksilber, ja alle Flüssigkeiten sind bei mittler Temperatur tropfbar-flüssig, in starker Kälte fest, und bei hinreichender Wärme werden sie ausdehnsam. Eben so können fast alle unorganischen Körper durch starke Hitze in den flüssigen Zustand versetzt werden.

2.) Durch chemische Vermischungen.

Wenn zwei Körper sich chemisch vermischen, so theilt oft einer dem andern seinen Aggregatzustand mit. So werden z. B. Zucker, Salz, Pottasche in Wasser flüssig; Wasser wird in krystallisirten Salzen und im ungelöschten Kalk fest. Und

3.) durch mechanischen Druck (Compression)

Nicht nur Wasserdämpfe, sondern auch viele andere Gasarten können durch hinreichende Zusammendrückung in den flüssigen Zustand versetzt werden. Kohlensaures Gas wird sogar durch sehr starken Druck in den festen Zustand zurückgeführt.

§ 17. Das Studium der Physik ist uns von großem Nutzen; denn

1) lernen wir dadurch die Dinge, mit denen wir beständig umgeben sind, besser kennen, um sie entweder zu unserm Vortheil zu gebrauchen, oder uns vor ihren nachtheiligen Folgen in Acht zu nehmen.

2) Ist die Kenntniß der Physik zu sehr vielen Bedürfnissen, Bequemlichkeiten und Annehmlichkeiten des Lebens und zur Abwendung mancher Gefahr unentbehrlich. Man denke an die vielen physikalischen Erfindungen, als: Fernröhre, Brillen, Magnetnadel, Electrisirmaschine, Luftpumpe, Gaserleuchtung, Dampfmaschine, Blitzableiter, Galvanoplastik, galvanische Vergoldung, Galvanismus, electro-magnetischen Telegraphen u. s. w.

3) Fördert sie die Bildung unseres Verstandes und gewährt uns wahre Geistesfreude.

4) Werden wir durch sie von so mancher unnöthigen Furcht vor natürlichen Erscheinungen und vielem thörichten Aberglauben befreit, und endlich

5) lernen wir durch sie unsern Schöpfer an seinen Werken immer näher kennen, und werden einerseits dadurch zur Bewunderung seiner Größe, Allmacht und Weisheit erweckt und zu einer gefühlvollenen und reineren Verehrung dieses gütigen und weisen Schöpfers geführt; andererseits zeigt sie uns die Beschränktheit unseres Geistes.

Kapitel I.

Allgemeine Eigenschaften der Körper.

§ 18. Wir bemerken an den Körpern Eigenschaften, die allen Körpern ohne Ausnahme zukommen.

Man nennt diese Eigenschaften allgemeine, zum Unterschiede der besonderen, die nur diesem oder jenem Körper vorzugsweise eigen sind.

Die allgemeinen Eigenschaften der Körper sind:

1) Ausdehnung und Figur, 2) Undurchdringlichkeit, 3) Theilbarkeit, 4) Ausdehnbarkeit und Zusammendrückbarkeit, 5) Porosität, 6) Bewegbarkeit, 7) Beharrlichkeit oder Trägheit, 8) Elasticität und 9) Anziehung oder Attraction.

Zum Wesen eines Körpers gehören unbedingt die Eigenschaft der Ausdehnung, der Figur und der Undurchdringlichkeit, ohne welche ein materieller oder physischer Körper garnicht denkbar ist; daher werden diese Eigenschaften wesentliche allgemeine und die übrigen zufällige allgemeine genannt.

§ 19. Ausdehnung und Figur ist diejenige allgemeine Eigenschaft der Körper, nach welcher sie einen Raum in Länge, Breite und Höhe einnehmen. Die Grenzen dieses Raumes geben dem Körper seine Größe und Gestalt.

§ 20. Undurchdringlichkeit ist die allgemeine Eigenschaft der Körper, vermöge welcher ein Körper nicht zu gleicher Zeit den Raum eines andern Körpers einnehmen kann. Hiedurch allein wird uns der Körper tastbar.

Drückt man ein Trinkglas umgekehrt in Wasser, so steigt letzteres nur zum Theil in das Glas, indem es durch den äußern Druck die darin enthaltene Luft zusammenpreßt, und diese stellt dem weitern Eindringen des Wassers Widerstand entgegen. — Wird ein enger Trichter in dem Halse einer leeren Flasche festgekittet, so läuft das in den Trichter gegossene Wasser nicht in die Flasche. Alle Luftarten zeigen ihre Körperlichkeit fast ausschließlich durch ihre Undurchdringlichkeit.

§ 21. Theilbarkeit ist die Eigenschaft der Körper, vermöge welcher sie in kleinere Theile zerlegt werden können. Diese Theilung geht in vielen Fällen so weit, daß jede bis jetzt versuchte Messung der Theilchen unmöglich ist. Beispiele dieser Art liefern das Wasser beim Verdampfen, die Riech- und Farbestoffe, die Dehnbarkeit des Goldes, die Infusionsthierchen und die chemisch zusammengesetzten Körper. Man nennt die kleinsten Theile, aus denen man sich den Körper zusammengesetzt denkt, Molecülen.

§ 22. Ausdehnbarkeit ist diejenige Eigenschaft der Körper, einen größern, Zusammendrückbarkeit dagegen, einen kleinern Raum einzunehmen als derjenige ist, den sie in irgend einem Augenblicke zufällig einnehmen. Durch Spannung und Erwärmung kann der äußere Umfang eines Körpers vergrößert, durch Druck und Erkaltung verkleinert werden.

Man hüte sich die Ausdehnbarkeit mit der Ausdehnsamkeit z B. der luftförmigen Körper (§. 12) und der Dehnbarkeit z. B. der Metalle zu verwechseln.

§ 23. Porosität ist die Eigenschaft aller Körper, nach welcher wir an ihnen Zwischenräume oder Poren wahrnehmen, die nicht mit derselben Materie angefüllt sind, woraus der Körper selbst besteht. Zwar dringt Wasser in Holz, Zucker, Salz; Quecksilber in Metalle; das Licht, das Feuer, die electrische und magnetische Materie in alle Körper hinein, aber sie bringen nicht in die Materie der Körper selbst, sondern nur in ihre Zwischenräume.

Bei einigen Körpern z. B. beim Badeschwamm, Bimstein, Holz u. s. w. sieht man mit bloßen Augen deutlich die Poren; bei andern können diese erst durch Mikroskope oder auf andere Weise bemerkt werden. So läßt sich Quecksilber durch dichtes Leder und durch festes Holz treiben. Bei vielen Körpern, namentlich bei den flüs-

sigen sind selbst mittelst eines Mikroskopes keine Poren an den Körpern wahrnehmbar. Hier schließt man durch ihre chemische Verbindung auf ihre Porosität. Wenn nämlich Körper chemisch auf einander einwirken, und wenigstens der eine von ihnen flüssig ist, so dringt dieser zum Theil in die Poren des andern und das Volumen des neu gebildeten Körpers ist kleiner als die Summe der Volumen beider. So geben 50 Raumtheile Weingeist und 50 Raumtheile Wasser zusammengemischt nur 96½ Theile.

Auf der Porosität der Körper beruht zugleich die Quellenbildung, das Schwitzen der thierischen Körper, das Einsaugen und Aushauchen der Pflanzenblätter; ferner ist sie wichtig beim Waschen, Färben, Einfetten des Leders, beim Lösen des Salzes, Zuckers; beim Bereiten des Quecksilberamalgams, beim Filtriren u. m. a. Die Porosität bedingt die Theilbarkeit, die Ausdehnbarkeit und Zusammendrückbarkeit aller Körper.

§ 24. Die Poren eines Körpers müssen desto kleiner werden, je mehr die Materie zusammengedrängt wird, mithin je mehr Masse er in einem bestimmten Raume hat. Hieraus geht der Begriff der Dichtigkeit eines Körpers hervor; denn dieselbe ist weiter nichts, als das Verhältniß der Masse (des Gewichts) eines Körpers zu seinem Volumen. Die Dichtigkeiten zweier Körper stehen im directen Verhältnisse ihrer Massen bei gleichem Volumen und im umgekehrten Verhältnisse ihrer Volumen bei gleicher Masse. Bedeuten z. B. D, d die Dichtigkeiten, M, m die Massen und V, v die Volumen zweier Körper, und nennt man D′ die Dichtigkeit eines dritten Körpers bei dem Volumen V und der Masse m; so verhält sich

$D : D' = M : m$ (bei gleichen Volumen), und

$D' : d = v : V$ (bei gleichen Massen);

folglich $D : d = M . v : m . V$, oder $D : d = \frac{M}{V} : \frac{m}{v}$, d. h. die Dichtigkeiten zweier Körper verhalten sich zu einander, wie die Quotienten, die entstehen, wenn ihre Massen durch ihr Volumen dividirt werden.

Die Masse eines Körpers ist stets seinem Gewichte proportionirt; daher kann das Gewicht eines Körpers als das Maß für seine Masse angenommen und eins für das andere gesetzt werden.

§ 25. Bewegbarkeit ist diejenige Eigenschaft aller Körper, durch welche es ihnen möglich ist, sich durch Kräfte bewegen zu lassen.

§ 26. Beharrlichkeit oder Trägheit ist die allgemeine Eigenschaft der Körper, vermöge welcher sie in dem Zustande beharren, in welchem sie sich einmal befinden, es sei denn, daß eine äußere Kraft sie nöthigt, denselben zu verlassen.

Die Bewegung der Körper wird jedoch durch den Widerstand der Luft, durch die Reibung und die Schwere allmählig geschwächt und endlich ganz aufgehoben. So läuft ein Schwungrad einer Maschine noch immer fort, wenn auch die Kraft, welche die Maschine treibt, zu wirken aufgehört hat. Beim Laufen kann man nicht plötzlich anhalten. So fällt derjenige, der in einem Kahne steht, rückwärts, wenn der Kahn eben vom Lande abstößt, und vorwärts, wenn der Kahn ans Ufer stößt. Ein auf seinem Stiele locker gewordenes Beil wird wieder fest, wenn man mit dem untern Ende des Stieles an demselben auf einen harten Gegenstand stößt. Einen ruhenden Wagen in Bewegung zu setzen, erfordert wegen seiner Beharrlichkeit mehr Kraftaufwand, als den schon bewegten in Bewegung zu erhalten. Ein thönerner Pfeifenstiel an zwei Menschenhaaren schwebend aufgehängt kann durch einen starken Schlag auf die Mitte zerschlagen werden, ohne daß die Haare zerreißen. Ein Kartenblatt auf die Mündung einer Flasche gelegt und ein kleines Geldstück darauf, läßt sich mit dem Finger wegschnellen, so daß das Geld nicht mitfliegt, sondern in die Flasche fällt. Nur die Bewegungen

der Himmelskörper dauern mit unverminderter Geschwindigkeit fort, d. h. sie beharren in ihrer Bewegung.

§ 27. Nach dem Gesetze der Beharrlichkeit muß ein Körper, wenn er aus dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung oder umgekehrt, aus dem Zustande der Bewegung in den der Ruhe gebracht werden soll, jeder auf ihn einwirkenden Kraft einen Widerstand entgegensetzen, und dieser Widerstand wird desto größer sein, je mehr Masse der Körper enthält. Wir schätzen daher die Masse eines Körpers nach der Größe des Widerstandes, den er in Folge seiner Beharrlichkeit einer auf ihn einwirkenden Kraft entgegensetzt.

§ 28. Elasticität (Federkraft, Spannkraft) ist diejenige Eigenschaft aller Körper, mittelst welcher sie, wenn ihre Gestalt durch irgend eine Kraft geändert worden ist, von selbst in ihre ursprüngliche Lage zurückkehren, sobald die äußere Kraft auf sie zuwirken aufhört.

Gummi elasticum, die Klinge eines Degens, Fischbein, Kutschfedern, alle Luftarten zeigen einen sehr hohen Grad; Blei, weicher Thon, Wachs, einen geringen Grad, Flüssigkeiten und Thon fast gar keine Elasticität. Vollkommen elastisch und vollkommen unelastisch ist kein Körper.

Die Elasticität findet ihre Anwendung bei den Dampfmaschinen, Uhr- und Wagenfedern, Thür- und Flintenschlössern, Polsterstühlen, beim Windkessel der Wasserspritzen u. s. w.

§ 29. Die Anziehung oder Attraction ist das Streben der Körper und Körpertheilchen, sich in jeder Entfernung gegenseitig zu nähern und sich mit einander zu verbinden.

Die Attraction äußert sich auf drei wesentlich verschiedene Weisen, und zwar

1) in der gegenseitigen Anziehung der Körper in jeder Entfernung (Schwere oder Gravitation); 2) in der Anziehung bei der Berührung der Körpertheilchen mit Veränderung ihres Wesens (Cohäsion und Adhäsion); und 3) in der Anziehung bei der Berührung der Körpertheilchen mit Veränderung ihres Wesens (chemische Anziehung oder Affinität).

Man unterscheidet Molekulärkräfte und Massenkräfte. Erstere äußern sich in der Anziehung der einzelnen Körpertheilchen unter einander, letztere in der Anziehung der Körper selbst.

§ 30. Wirkt die Attraction als gegenseitige Anziehung der Körper in jeder Entfernung, so nennt man sie Schwere oder Gravitation. Die Schwere wirkt auf alle Körper auf der Erde dergestalt, daß sie zur Erde fallen, wenn sie über der Oberfläche derselben sich selbst überlassen werden. Die Richtungslinien der Schwere gehen bei ihrer Verlängerung, wenn man die Erde als eine Kugel betrachtet, durch den Mittelpunkt derselben. Wir haben uns die Schwere nicht als eine von dem Mittelpunkte der Erde ausgehende, sondern als eine Kraft zu denken, welche durch die gesammte Anziehung aller materiellen Theile der Erde hervorgebracht wird; sie ist deßhalb nach dem Mittelpunkt gerichtet, weil um diesen die gesammte Masse der Erde gleichförmig vertheilt ist. Diese Kraft (Schwerkraft genannt) äußert sich nicht nur auf alle Körper auf der Erdoberfläche, sondern findet auch (wie wir es später sehen werden) zwischen allen Himmelskörpern statt und wirkt im geraden Verhältnisse der Massen und im umgekehrten Verhältnisse der Qua-

drate der Entfernungen des anziehenden und des angezogenen Körpers.

Die Schwerkraft nimmt aber auch von der Oberfläche nach der Tiefe im Innern der Erde ab. Denn denken wir uns zunächst in den Mittelpunkt der Erde versetzt, so ist klar, daß die anziehenden Kräfte hier nach allen Seiten gleich stark wirken und sich gegenseitig aufheben, mithin die Schwere im Mittelpunkte gleich Null ist. Wir würden hier beharren können, ohne je besorgen zu müssen, zu fallen. Entfernen wir uns nun vom Mittelpunkt nach der Oberfläche hin, so ist klar, daß die anziehende Kraft der Masse, welche wir unter uns zurückgelassen haben, die anziehende Kraft der Masse, welche sich noch über uns befindet, übertrifft, und zwar um so mehr, je weiter wir uns vom Mittelpunkt entfernen und der Oberfläche nähern, und daß folglich die Schwere an der Oberfläche der Erde, wo die ganze Masse nach unten hin anziehend wirkt, am größten sein muß.

Im Vergleich mit der Größe der Erde sind alle auf ihr befindlichen Körper verschwindend klein und werden von derselben so stark angezogen, daß sie beim freien Falle (im luftleeren Raume) in der ersten Secunde 15 pariser Fuß zurücklegen. Denkt man sich die Gesammtanziehung der Erde in ihrem Mittelpunkte vereinigt, so ist der Körper auf ihrer Oberfläche von der Schwerkraft derselben um den Erdhalbmesser (= 860 Meilen) entfernt, und wird daselbst mit einer Stärke angezogen, die man durch den Fallraum von 15 par. Fuß in 1 Secunde bezeichnet. Je weiter nun aber der Körper von dem Erdmittelpunkt entfernt ist, desto geringer wird er von letzterem angezogen. Ist die Entfernung des Körpers vom Mittelpunkte der Erde = 2 mal 860 Meilen, so ist nach obigem Gesetze die Schwerkraft = $\frac{15}{4}$ Fuß, in einer Entfernung von 3 mal 860 Meilen = $\frac{15}{9}$ Fuß, von 4 mal 860 Meilen = $\frac{15}{16}$ Fuß u. s. w. in einer Secunde. Der Mond ist 60 Erdhalbmesser von dem Mittelpunkte der Erde entfernt; daher würde ein Körper in der Entfernung des Mondes nur einen Raum von $\frac{15}{3600}$ Fuß in einer Secunde durchfallen. Da die Schwere eine Folge der Anziehung ist, welche alle Theile der Erde auf den Körper ausüben, so müssen auch alle Körper auf der Erde sich gegenseitig anziehen. Die höchsten Gebirge auf der Erde sind aber im Vergleich mit der Masse der letztern als verschwindend kleine Körper zu betrachten, und es können daher ihre Anziehungen auch nur sehr klein sein und auf die Fallgeschwindigkeit keinen merklichen Einfluß ausüben.

Die Wirkungen der Schwere sind nicht an allen Orten der Erdoberfläche einander gleich. Sie werden nämlich theils wegen der Abplattung der Erde, theils deßhalb, weil die aus der Axendrehung der Erde hervorgehende Schwungkraft am Aequator der Schwere am stärksten entgegenwirkt, am Aequator am kleinsten, gegen die Pole hin immer größer, und an den Polen selbst am größten befunden. — Das Verhältniß der Abplattung der Erde ist 304 : 305, indem der Durchmesser des Aequators $1718\frac{3}{4}$ geographische Meilen, wogegen die Axe nur $1713\frac{3}{16}$ Meilen beträgt.

§ 31. Eine Folge der Schwere ist der Druck, welchen die Körper auf ihre horizontale Unterlage ausüben. Dieser Druck, welchen man das absolute Gewicht oder schlechthin das Gewicht nennt, richtet sich nach der Masse des Körpers und der Stärke der anziehenden Kraft der Erde. Da letztere in gleicher Entfernung von der Erde dieselbe bleibt, so wird der Druck eines Körpers auf seine horizontale Unterlage seinem Gewichte direct proportionirt gesetzt.

Das Gewicht eines Körpers wird bestimmt, wenn man den bekannten Druck eines gegebenen Körpers, der Gewichtseinheit (z. B. eines Pfundgewichts) mit dem Drucke aller übrigen vergleicht. Dagegen wird die Schwerkraft gemessen durch die Geschwindigkeit, die sie jedem Körper beim freien Falle in einer Secunde mittheilt.

§ 32. Man verwechsele daher nicht Schwere mit Gewicht; denn erstere wirkt auf alle Körper in gleicher Entfernung von der Erde gleich stark, wie

dieß leicht gezeigt werden kann, wenn man eine Flaumfeder und einen Dukaten im luftleeren Raume von gleicher Höhe herabfallen läßt; beide erreichen zu gleicher Zeit den Boden. Dagegen ist das Gewicht eines Körpers der Druck, welchen der Körper eben wegen seiner Schwere auf seine Unterlage ausübt. Dieser Druck muß begreiflich desto größer sein, je mehr materielle Theile der Körper hat, weil jedes träge Theilchen durch seine Schwere gegen die Erde zu sinken strebt, d. h. durch die Schwerkraft der Erde aus dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung versetzt wird.

Die Erscheinung, daß eine Feder oder ein Stückchen Papier in der Luft langsamer zur Erde fallen, als ein Dukaten, beruht auf dem Widerstande der Luft. Der Ausdruck: dieser Körper ist schwerer, als jener, hat auf Druck oder Gewicht, nicht aber auf die Erdschwere Bezug; denn das Gewicht ist von der Masse abhängig, Schwere dagegen unabhängig. Schwere und Gewicht unterscheiden sich also von einander, wie Ursache und Wirkung.

§ 33. Verschiedene Körper von gleichen Volumen haben ein sehr ungleiches Gewicht. Um das Gewicht der Körper in dieser Beziehung mit einander zu vergleichen, nimmt man eine beliebige, für alle Körper gleich große Raumeinheit an, und bestimmt das Gewicht von dieser, dann nennt man die Zahl, welche angibt, wie vielmal das absolute Gewicht eines Körpers größer ist, als das als Einheit angenommenen Körpers, das specifische Gewicht desselben.

Bei dieser Vergleichung wird gewöhnlich das Gewicht einer Raumeinheit von destillirtem Wasser bei einer Temperatur von $0^0 = 1$ gesetzt und damit das der übrigen Körper verglichen; z. B. ein Würfel von Stein wiege 8 Pfund, ein eben so großer Würfel von destillirtem Wasser von 0^0 aber 2,5, so ist das specifische Gewicht des Steines $= \frac{8}{2,5} = 3,2$.

§ 34. Ein Körper wird desto kleiner, je mehr seine materiellen Theile zusammengedrängt werden, mithin je mehr Masse er in einem bestimmten Raum hat; es nimmt daher der Körper in demselben Verhältniß an Dichtigkeit zu, in welchem sein specifisches Gewicht größer wird. Also können wir das specifische Gewicht und die Dichtigkeit des Körpers als gleichbedeutend ansehen und die Dichtigkeit des Wassers eben so wie sein specifisches Gewicht in der Folge als Einheit annehmen.

§ 35. Um das specifische Gewicht von Flüssigkeiten zu finden, verfährt man auf folgende Weise:

Man fülle ein gläsernes Gefäß, das sich in einen engen Hals mündet, bis zu einer bezeichneten Höhe einmal mit Wasser, dann mit der zu bestimmenden Flüssigkeit, etwa mit Vitriolöl, und bestimme jedesmal durch die Wage das Gewicht der in der Flasche enthaltenen Flüssigkeiten. Gesetzt, man habe auf diese Weise gefunden, daß das Vitriolöl in der Flasche 0,613 Pfund, und ein gleiches Volumen Wasser nur $\frac{1}{3}$ Pfund wiegt; so ist das specifische Gewicht des Vitriolöls $= 0,613 : \frac{1}{3} = 1,84$.

Eine andere Methode, das specifische Gewicht sowohl fester, als flüssiger Körper ungleich genauer und bequemer zu ermitteln, werden wir später bei dem Abschnitt der tropfbaren Flüssigkeiten kennen lernen (s. § 183 — 193).

§ 36. Tabelle der specifischen Gewichte einiger festen und flüssigen Körper bei 0^0.

Platin, gemünzt	22,100
— geschmolzen	20,857
— zu Draht gezogen	19,267
Gold gemünzt	19,325
— geschmolzen	19,253
Blei, geschmolzen	11,352
Silber	10,474
Wismuth	9,822
Kupfer, gehämmert	8,878
— gegossen	7,788
— zu Draht gezogen	8,780
Kadmium	8,694
Meissing	8,395
Arsenik	8,308
Nickel	8,279
Uran	8,100
Stahl	7,816
Kobalt	7,812
Eisen, geschmiedet	7,788
— gegossen	7,207
Zinn	7,291
Antimon	6,712
Tellur	6,115
Chrom	5,900
Jod	4,948
Diamant	3,520
Flintglas von Frauenhofer	3,779
Spiegelglas	2,370
Marmor	2,837
Bergkrystall	2,683
Gyps (krystallisirt)	2,311
Kochsalz	2,078
Schwefel (natürlich)	2,033
Elfenbein	1,917
Alabaster	1,874
Phosphor	1,770
Bernstein	1,078
Wachs (weißes)	0,969
Natrium	0,972
Kalium	0,865
Ebenholz	1,226
Eichenholz	0,850
Buxbaum	1,330
Ahorn { frisch	0,904
Ahorn { trocken	0,659
Buchenholz { frisch	0,982
Buchenholz { trocken	0,590
Edeltanne { frisch	0,890
Edeltanne { trocken	0,555
Erlenholz { frisch	0,857
Erlenholz { trocken	0,500
Eschenholz { frisch	0,904
Eschenholz { trocken	0,644
Lindenholz { frisch	0,817
Lindenholz { trocken	6,439
Mahagoniholz	0,767
Nußbaumholz	0,677
Cypressenholz	0,598
Cedernholz	0,561
Pappelholz	0,383
Birkenholz	0,640
Roßkastanie	0,551
Eis	0,926
Kork	0,240
Holzkohle	0,442
Destillirtes Wasser	1,000
Quecksilber	13,598
Schwefelsäure (engl.)	1,848
Salpetersäure (100 proz. Säure)	1,500
Milch	1,030
Meerwasser	1,026
Wein: Bordeaux	0,996
Champagner	0,998
Malaga	1,022
Rheinwein	0,999
Oele: Citronenöl	0,852
Leinöl	0,953
Mohnöl	0,929
Olivenöl	0,915
Terpentinöl	0,872
Alkohol, absoluter	0,793
Schwefeläther	0,715
Schwefelkohlenstoff	1,272
Brom	2,966

§ 37. Wirkt die Attraction in der Berührung der Körpertheilchen, ohne Veränderung ihres innern Wesens, so heißt sie bald Cohäsion, bald Adhäsion.

Unter Cohäsion versteht man den Zusammenhang der kleinsten Theile eines Körpers, so lange derselbe noch ein unzertrennliches Ganze bildet. Diejenige Kraft, welche diesen Zusammenhang der Körpertheilchen bewirkt, heißt Cohäsionskraft. Die Stärke ihres Zusammenhangs wird nach der Größe der Gegenkraft geschätzt, welche man anwenden muß, um die Theilchen aus ihrer Lage oder ihrem Zusammenhange zu bringen. Die Anziehung äußert sich als Adhäsion an den Oberflächen der sich berührenden Körper. Auch sie wird gemessen nach der Stärke der Gegenkraft, welche man anzuwenden hat, um die beiden Körper an ihren Oberflächen zu trennen. Die Adhäsion findet nicht bloß zwischen festen Körpern, sondern auch gegenseitig zwischen festen

flüssigen und luftförmigen statt. Die Adhäsion zweier Körper ist desto bedeutender, je größer die Anzahl der sich berührenden Punkte ist, oder je ebener, glatter und größer die berührenden Flächen sind.

Es wird die Adhäsion zwischen festen Körpern sehr bedeutend vermehrt, wenn man zwischen ihren Oberflächen einen Tropfen Wasser oder Oel ausbreiten läßt. Ist die dazwischen gebrachte Flüssigkeit so beschaffen, daß sie durch Verdünstung oder Abkühlung hart wird, so entsteht zwischen den beiden Körpern ein so großer Zusammenhang, daß er zuweilen die Cohäsionskraft noch übertrifft, wie dieß beim Kleistern, Kitten Leimen, Löthen, Versiegeln u. s. w. der Fall ist. Es beruht ferner auf der Adhäsionskraft das Schreiben, Malen, Drucken, Mauern, Vergolden, Verzinnen, das Belegen der Spiegel mit Amalgam (einer Auflösung von Queckſilber und Zinn). Als eine Wirkung der Adhäsion läßt sich auch betrachten, wenn Wasser aus Gefäßen gegoßen, sich der äußern Wand anhängt. Vera schlug die Adhäsion zum Heben des Wassers vor, indem ein rauhes schnell durch Wasser gezogenes, über zwei bewegliche Rollen bewegtes Seil durch Adhäsion eine nicht unbedeutende Menge Wasser in die Höhe zieht.

§ 38. Die Stärke der Cohäsion ist bei verschiedenen Körpern auch verschieden. So wird z. B. bei einem harten Körper auch eine starke, bei tropfbar-flüssigen eine schwache, und bei luftförmigen fast gar keine Cohäsion wahrgenommen. Hieraus folgt, daß die Festigkeit eines Körpers nur von der Cohäsion seiner Theile unter einander abhängt. Diese wird durch Gewichte ermittelt, welche man an dem zu untersuchenden Körper so anbringt, daß durch ihre Wirkung eine Trennung der Körpertheile erfolgt. Diese Trennung kann entweder durch Zerreißen, Zerdrücken, Zerbrechen oder Drehen geschehen. Beim Zerreißen wächst die Festigkeit eines und desselben Körpers in gleichem Verhältniß mit dem Querdurchschnitte; ein doppelt so dicker Eisendraht vermag also 4 mal so viel zu tragen, weil bei Verdoppelung des Durchmessers die Größe des kreisförmigen Querdurchschnitts sich vervierfacht. Nach genau angestellten Versuchen folgen die Metalle in Hinsicht der Größe ihrer Cohäsion beim Zerreißen so auf einander: Stahl, Eisen, Silber, Kupfer, Platin, Gold, Zinn, Zink und Blei; dagegen bei den Holzarten: Eiche, Buche, Esche, Linde, Tanne und Fichte. Das Gegentheil vom Zerreißen ist das Zerdrükken, und zwar geschieht dieß im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Länge, so daß eine senkrecht stehende Säule, die zweimal so hoch ist, als eine andere, bei gleicher Dicke nur $\frac{1}{4}$ so viel tragen kann, als die von einfacher Höhe. So kann ein hohler Cylinder, wenn er senkrecht steht, eine größere Last tragen, als ein massiver, wenn beide gleiche Höhen und Massen haben. Dasselbe gilt auch von röhrenförmigen Knochen. Beim Zerbrechen eines Körpers findet das Zerreißen und Zerdrücken zugleich statt; denn die obern Theile eines Stabes oder Balkens werden beim Zerbrechen zerrissen, während sich die untern Theile desselben in einander hineindrücken.

§ 39. Die vielfältig angestellten Versuche über die Brechbarkeit eines Balkens lehren, daß das Verhältniß der Tragbarkeit zweier an beiden Enden unterstützter und in ihrer Mitte belasteter Balken von einerlei Holzart zusammengesetzt ist aus dem umgekehrten Verhältnisse ihrer Längen, dem directen Verhältnisse ihrer Breiten und des Quadrats ihrer Höhen.

Werden die Tragkräfte zweier Balken von einerlei Holzart mit T, t, ihre Länge mit L, l, ihre Breiten mit B, b und ihre Höhen mit H, h bezeichnet; so verhält sich

$$T : t = l : L$$
$$= B : b$$
$$= H^2 : h^2$$

folglich $T : t = l . B . H^2 : L . b . h^2$, oder

$$T : t = \frac{B . H^2}{L} : \frac{b . h^2}{l}$$

Um die Tragkraft eines wagerecht liegenden Balkens von einer gewissen Holzart zu finden, muß man durch anzustellende Versuche die Größe der Tragkraft eines wagerecht liegenden Stabes derselben Holzart von bestimmter Länge, Breite und Dicke durch in dessen Mitte angehängte Gewichte ermitteln, und die so gefundene Tragkraft dieses Stabes als Maßeinheit annehmen und daraus nach obiger Proportion die Tragkraft des Balkens derselben Holzart von gegebener Länge, Breite und Dicke herleiten.

§ 40. Wenn ein Balken mehr hoch als breit ist, so trägt er nach § 39 mehr, wenn er auf der schmalen, als wenn er auf der breiten Seite aufliegt.

Es gibt das in den Kreis, als Querschnitt eines runden Balkens, beschriebene Quadrat eine geringere Tragkraft, als das Rechteck, dessen Höhe sich zur Grundlinie, wie $\sqrt{2} : 1$ verhält. Dieses Verhältniß, welches die größte Tragkraft eines Balkens gibt, erhält man ganz einfach dadurch, daß man den Durchmesser des Kreises im Querdurchschnitte des Balkens in 3 gleiche Theile theilt, an den Theilungspunkten auf dem Durchmesser Senkrechte errichtet, die gegen einander eine entgegengesetzte Lage haben und dann die Endpunkte der Senkrechten mit den Endpunkten des Durchmessers durch gerade Linien zu einem Rechtecke verbindet. Bei diesem Rechtecke wird sich aus geometrischen Gründen die Höhe zur Grundlinie verhalten $= \sqrt{2} : 1$.

Wenn ein Balken mit seinem einen Ende in einer Mauer steckt und an dem andern freien Ende eine Kraft wirkt, die ihn abbrechen soll; so ist dazu nur der vierte Theil der Kraft erforderlich, als man nöthig hat, um denselben Balken, wenn er an beiden Enden unterstützt ist, zu zerbrechen.

Die Tragkraft eines horizontal liegenden Balkens kann beliebige Male verstärkt werden, wenn man in dem obern Theil desselben mit einer Säge senkrechte Einschnitte bis zu seiner halben Dicke macht und in dieselben Keile von trockenem, festem Holze hineintreibt. Ein solcher Keil, in der Mitte der Balkenlänge angebracht, verdoppelt, zwei dieser Keile in gleichen Entfernungen von einander, verdreifachen die Tragkraft eines Balkens u. s. w.

§ 41. Die Cohäsion der Körper kann verstärkt werden bei den Metallen durch Schmieden, Hämmern, Walzen und chemische Beimischungen; bei Papier, Leder, Zeugen durch Pressen; bei Tucharten durch Pressen und Walken. Vermindert wird die Cohäsion bei den Metallen durch die Kraft der Wärme, durch welche sie in den flüssigen Zustand versetzt werden.

Nächst der Wärme ist die Anordnung der Theilchen eines Körpers von großem Einfluß auf die Stärke ihres Zusammenhanges. Bekanntlich ist Holz leichter der Länge nach spaltbar, als nach der Quere. Krystalle lassen sich ebenfalls nur in bestimmten Richtungen leicht spalten. Gegossenes Eisen ist zerbrechlicher als geschmiedetes u. s. w.

§ 42. Die Erfahrung zeigt, daß rund gewobene oder schlauchförmige Seilen stärker sind als gedrehte von gleichvielen Fäden, und diese besitzen in demselben Maße wieder einen Vorzug vor denen, deren Fäden ungedreht und ungeleimt schlank neben einander liegen. Man hat durch vielfache Versuche herausgefunden, daß diejenigen Seile immer die stärksten sind, wobei die ursprünglich geradlinig neben einander liegenden Hanffäden gerade um $\frac{1}{6}$ ihrer Länge eingedreht worden sind.

§ 43. Körper, an denen Flüssigkeiten bei der Berührung derselben hängen bleiben, nennt man netzbar, die Flüssigkeit, die dieß thut, netzend. Flüssigkeiten netzen nur dann feste Körper, wenn ihre Cohäsionskraft geringer ist, als ihre Adhäsion zu den festen Körpern. So ist z. B. die Cohäsion der Wassertheilchen zu einander geringer, als die Adhäsion derselben zu dem Holze; daher reißt das Holz bei seiner Trennung vom Wasser Theile von letzterm los. Eben so netzt das Queckſilber alle Metalle außer Eisen, und löset sie zu einer breiartigen Masse auf, welche man Amalgam nennt. Flüssigkeiten aber netzen feste Körper nicht, wenn ihre Cohäsionskraft größer ist, als ihre Adhäsion zu den festen Körpern; so z. B. werden polirtes Metall, Wachs, Harz, fette und öligte Substanzen durch Wasser; Holz, Glas, Leinewand, Wolle, Horn u. a. m. durch Queckſilber nicht genetzt; diese Flüssigkeiten bilden auf jenen Körpern kugelähnliche Tropfen.

§ 44. Wirkt die Attraction in der Berührung der Körpertheilchen mit Veränderung ihres innern Wesens und ihrer Eigenschaften, so gehören alle hieraus hervorgehenden Erscheinungen in das Gebiet der Chemie. Diese zerfällt in die unorganische und organische, je nachdem sie die unorganischen oder organischen Körper betrachtet. Hier soll nur das Wichtigste aus dieser Wissenschaft entlehnt werden, dessen die Physik nicht entbehren kann.

§ 45. Alle Körper, die auf der Erde sich befinden, oder die Erde selbst mit ausmachen, zerfallen in 2 Arten, in chemisch einfache und in chemisch zusammengesetzte. Die Zahl der chemisch einfachen Stoffe, welche man Grundstoffe oder chemische Elemente nennt — beträgt bis jetzt 63. Man theilt dieselbe in metallische und nicht metallische oder Metalloide ein. Zu den letztern gehören 4 luftförmige Stoffe, nämlich Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, und Chlor (diese erscheinen nur als Gase); ferner nachstehende feste Körper, als: Kohlenstoff, Schwefel, Phosphor, Silicium, (Bestandtheil der Kieselerde), Calcium (Bestandtheil des Kalks), Aluminium (Bestandtheil der Thonerde), Magnesium (Bestandtheil der Talk- oder Bittererde) und einige andere.

§ 46. Unter Gemisch versteht man die chemische, unter Gemenge die mechanische Zusammensetzung ungleichartiger Körper. Die Körper, die sich mit einander zu einer Mischnng chemisch verbinden, nennt man Bestandtheile, die sich zu einem Gemenge verbinden, Gemengtheile. Die Bestandtheile können in der Mischung durchaus nicht von einander unterschieden werden, wohl aber die Gemengtheile im Gemenge.

Wenn man Schwefel und Queckſilber zusammen durch Hitze verbindet, so entsteht daraus ein durchgängig gleichförmiger, hochrother Körper, der Zinnober heißt. Bei diesem Gemisch hat die chemische Anziehung den Schwefel und das Queckſilber so mit einander verbunden, daß sie für unsere Sinne gleichsam untergegangen sind. Es ist ein neuer Körper entstanden, begabt mit ganz andern Eigenschaften, als die seiner Bestandtheile, und diese können, selbst bei der größten Vertheilung des Zinnobers auch durch das beste Mikroskop nicht erkannt werden. Werden aber Kohle und Zucker innig mit einander verrieben, so bilden sie ein gleichförmiges Gemenge von grauer Farbe. Hier haben die Gemengtheile keine innere Veränderung erlitten, denn man sieht unter dem Mikroskop Zuckertheilchen und Kohlentheilchen deutlich unter einander liegen.

§ 47. Verbindet sich ein fester Körper mit einem tropfbar-flüssigen, und erscheint das Gemisch tropfbar-flüssig, so nennt man die chemische Ver-

bindung eine Auflösung. Wenn dagegen ein fester oder tropfbar-flüssiger Körper mit einer ausdehnsamen Flüssigkeit in Verbindung tritt und diese verdichtet, so wird die hier stattfindende chemische Verbindung eine Verschluckung (Absorption) genannt. Werden diese Körper erhitzt, so entweichen die absorbirten Gase oder Dämpfe; daher steigen z. B. aus erhitztem Wasser eine Menge von Luftblasen in die Höhe.

Löst sich ein fester Körper in einer Flüssigkeit auf, so nennt man letztere das Auflösungsmittel des erstern.

Die Operation, wobei die flüchtigen Theile der Körper durch Hitze abgesondert und dann gesammelt werden, heißt Destillation. Ein wiederholt ausgeführtes Destilliren, wodurch ein Körper immer mehr und mehr gereinigt wird, heißt Rectification.

Wenn die durch Destillation erhaltenen Stoffe nicht tropfbar-flüssige, sondern feste Körper sind, so wird dieselbe eine Sublimation, und der auf diese Weise erhaltene feste Körper Sublimat oder Blume genannt.

Wenn der aus dem Auflösungsmittel ausgeschiedene Körper niederfällt, so heißt er ein Niederschlag oder Fällung. Geht der ausgeschiedene Körper in Gestalt einer Luftart davon, so wird die chemische Scheidung eine Entbindung der Luftart genannt.

§ 48. Von den einfachen Stoffen wollen wir nur folgende näher betrachten: 1) Den Sauerstoff (Oxygen) trifft man am weitesten verbreitet an, der fast in allen Körpern als Bestandtheil sich findet. Man meint, daß $\frac{1}{3}$ der ganzen Erdmasse nichts weiter als Sauerstoff sei. Er ist zugleich der Stoff, ohne welchen kein Thier leben, keine Pflanze wachsen und kein Feuer brennen kann. Er verbindet sich eingeathmet in unserer Lunge chemisch mit dem Kohlenstoff und Wasserstoff des Blutes, und wird als Kohlensäure und Wasserdampf wieder ausgeathmet. Beim Verbrennen verbindet der Sauerstoff sich mit dem Kohlenwasserstoffe des Holzes, des Talges und des Wachses zu Kohlenwasserstoffsäure. Er bildet $\frac{1}{5}$ der atmosphärischen Luft und wird durch Glühen des Braunsteins und aus mehreren andern Körpern in Gasgestalt gewonnen.

Werden brennbare Körper in Sauerstoff entzündet, so brennen sie sehr schnell und mit großer Flamme. Stahlfedern verbrennen in Sauerstoff unter Funkensprühen mit einem außerordentlich starken Glanze.

2) Der Wasserstoff (Hydrogen) gibt mit Sauerstoff chemisch verbunden das Wasser. Aus Wasser macht der Chemiker zwei Luftarten, nämlich Sauerstoff und Wasserstoff. Der Wasserstoff ist im reinen Zustande 14 mal leichter als atmosphärische Luft und ist der brennbarste Körper in Berührung mit Sauerstoff oder der atmosphärischen Luft; sonst ist er unfähig das Brennen und Athmen zu unterhalten.

Den Wasserstoff erhält man auf verschiedene Weisen. Die einfachste Art der Gewinnung ist, daß man Eisenfeile oder ein Stück Zink mit verdünnter Schwefelsäure übergießt, wodurch, bei Entwickelung einer großen Wärme, Wasserstoffgas erfolgt. Ein Gemisch von 1 Raumtheile Sauerstoff und 2 Raumtheilen Wasserstoff heißt Knallgas, welches entzündet einen sehr starken Knall verursacht. Hiebei verbindet sich der Wasserstoff mit dem Sauerstoff, unter Licht- und Wärmeerscheinung, zu Wasser.

3) Der Stickstoff (Azot oder Nitrogenium) ist der zweite Hauptbestandtheil der atmosphärischen Luft, und zwar bestehen 100 Raumtheile der-

selben aus 79 Raumtheilen Stickstoff und 21 Raumtheilen Sauerstoff, was auf Gewichte zurückgeführt, das Verhältniß 77 : 23 gibt.

Der Stickstoff gibt, mit dem Sauerstoff chemisch verbunden, die Salpetersäure. Er macht ferner einen Bestandtheil mehrerer Mineralien und Pflanzen, besonders der meisten Thierkörper aus. Er erscheint nur in Gasform und kann weder das Athmen noch das Verbrennen unterhalten. Man erhält Stickstoff am leichtesten, wenn man ein Schalchen mit Phosphor auf Wasser schwimmen läßt, und über dieses eine Glasglocke stülpt. Der Phosphor verbindet sich hier mit dem Sauerstoffe der Luft zu Phosphorsäure, und das Volumen der unter der Glocke befindlichen Luft wird dadurch kleiner, und es bleibt alsdann $\frac{4}{5}$ derselben nach, welche Stickstoffgas ist. Man gewinnt auch Stickstoff, wenn man auf Fleisch Salpetersäure gießt.

4) Der Kohlenstoff findet sich nur rein im Diamant*), der eine krystallisirte, farbenlose Kohle ist, sonst ist er ein Hauptbestandtheil aller Arten von Kohlen, Graphit und Torf. Die gewöhnliche unreine Kohle verbrennt bei niedriger Temperatur und verbindet sich mit Sauerstoff zu Kohlensäure oder kohlensaurem Gase und Kohlenoxydgase. Beide erscheinen in gewöhnlicher Temperatur in Gasgestalt. Die blauen Flämmchen über glühenden Kohlen ist Kohlenoxydgas, das eingeathmet, leicht den Tod zur Folge hat. Obgleich die Kohlensäure auf die Lunge sehr nachtheilig wirkt, so ist sie doch für den Magen sehr zuträglich z. B. bei den schäumenden Bieren, beim Champagner und bei den Sauerbrunnen, deren Wasser Säuerlinge heißen.

Erhitzt man Holzspäne oder zerstoßene Steinkohlen, über der Spirituslampe in einem Gläschen, durch dessen Kork eine Glasröhre hindurchgesteckt ist, so entwickelt sich aus dem Holz oder der Steinkohle ein Gas; strömt aus der Röhre hervor, läßt sich hier anzünden und brennt mit hellleuchtender Flamme. Es besteht aus Kohlenstoff und Wasserstoff und führt den Namen Kohlenwasserstoffgas oder Leuchtgas, welches zur Gasbeleuchtung verwendet wird.

Im Großen wird dieses Gas auf folgende Weise gewonnen. In den Öfen der Gasanstalten liegen große eiserne Röhren (Retorten), welche, mit Steinkohlen gefüllt, verschlossen und in Rothglühhitze gesetzt werden. Das sich entwickelnde Gas ist unrein und enthält noch Dämpfe von Steinkohlentheer, schweflige Säure und Kohlensäure. Um es davon zu befreien, läßt man es aus den Retorten durch kleinere Röhren in einen ringsum verschlossenen Behälter, die Theercisterne, strömen, wo es den Steinkohlentheer absetzt; aus der Theercisterne leitet man es durch mehrere Behälter, den sogenannten Reinigungsapparat, der Kalkwasser enthält und mittelst desselben dem Leuchtgas die schweflige Säure und die Kohlensäure nimmt. Hierauf sammelt sich das gereinigte Gas in dem Gasometer, einem unten offenen Behälter aus Eisenblech von der Größe eines Hauses, der in eine mit Wasser gefüllte Cisterne hinabhängt, und hebt ihn allmählig empor, bis er nur noch etwas ins Wasser eintaucht. Soll nun das Gas verwendet werden, so wird das Gasometer mit einem Gewicht beschwert und der Hahn einer aus demselben führenden Röhre

*) Ein Zufall gab die Veranlassung, sich zu überzeugen, daß der Diamant und die Kohle ein und derselbe Stoff sei; denn als man bei einem Versuche mehrere kleine Diamanten zusammenschmelzen wollte, verschwanden dieselben. Die nähere Untersuchung zeigte, daß sie verbrannt waren, d. h. daß sie sich mit Sauerstoff verbunden und damit Kohlensäure gebildet hatten, einen Körper, der durch das Verbrennen von gewöhnlicher Kohle mit denselben Eigenschaften erhalten wird. Keine der übrigen Kohlen ist so frei von fremden Beimischungen, als der Diamant, und wir betrachten ihn daher mit Recht als reinste und vollkommenste Kohle. —

geöffnet, worauf das Leuchtgas durch dieses Hauptrohr und kleinere in der Erde liegende Röhren bis zu den Laternen strömt und hier nach dem Öffnen eines Hahns angezündet wird.

Die Pflanzen nehmen Kohlensäure sammt Wasserdampf aus der atmosphärischen Luft auf und athmen unter dem Einfluß des Sonnenlichts Sauerstoff aus; dagegen athmen die Thiere Sauerstoff ein und Kohlensäure sammt Wasserdampf aus.

5) Das Chlor ist ein Hauptbestandtheil des Kochsalzes, welches aus Chlor und Sodium besteht. Das Chlorgas, in Menge eingeathmet, ist tödtlich und beinahe 2mal so schwer als die atmosphärische Luft. Man gebraucht das Chlor als Bleichmittel und zur Zerstörung ansteckender und übelriechender Stoffe, weßhalb man es zur Reinigung der Stubenluft verwendet.

Aus Chlorkalk und Spiritus bereitet man das Chloroform, eine wasserhelle, äpfelartig riechende Flüssigkeit, deren eingeathmete Dämpfe einen Zustand der Bewußtlosigkeit hervorrufen und häufig bei chirurgischen Operationen angewendet werden.

§ 49. Der größte Theil der chemischen Elemente finden sich nicht selbstständig in der Natur, sondern nur mit andern Elementen zu zusammengesetzten Körpern verbunden. Nur auf künstliche Weise können sie aus den zusammengesetzten Körpern gewonnen, rein und unverbunden dargestellt werden.

§ 50. Die unendliche Mannichfaltigkeit der Körper in der Natur wird nur hervorgebracht durch die verschiedene Zusammensetzung der 63 Elemente. Oft findet sich an Körpern, die aus ein und denselben Elementen bestehen, kaum eine Spur von Aehnlichkeit.

§ 51. Die meisten der zusammengesetzten Körper lassen sich merkwürdigerweise zunächst nur in Bestandtheile zerlegen, die selbst wieder zusammengesetzt sind und in noch einfachere geschieden werden können. Jene heißen nähere, diese entferntere Bestandtheile des zusammengesetzten Körpers. So läßt sich Kupfervitriol zunächst in Kupferoxyd und Schwefelsäure als seine näheren Bestandtheile zerlegen. Kupferoxyd und Schwefelsäure sind aber selbst wieder zusammengesetzte Körper. Das Kupferoxyd ist eine Verbindung des Kupfers und des Sauerstoffs, und die Schwefelsäure eine Verbindung des Schwefels und des Sauerstoffs — welche letztere (nämlich Kupfer, Schwefel und Sauerstoff) die entfernteren Bestandtheile oder die eigentlichen chemischen Elemente des Kupfervitriols ausmachen.

Obgleich der Chemiker alle zusammengesetzten Körper in ihre Elemente zerlegen kann, so ist er doch nur im Stande, aus letzteren wenige Körper wieder zusammenzusetzen.

§ 52. Sollen zwei Elemente sich chemisch mit einander verbinden, so müssen sie in unmittelbare Berührung mit einander gebracht werden und wenigstens eines von ihnen flüssig sein. Man löset daher den festen Körper auf, oder versetzt ihn auf dem Wege der Schmelzung in einen flüssigen Zustand. Im trockenen Zustande äußern Stoffe durchaus keine chemische Anziehung.

§ 53. Wenn die Stoffe chemisch zu neuen Körpern sich vereinigen, dann muß irgend eine Kraft vorhanden sein, durch die ihre einzelnen Theile gegenseitig angezogen, verbunden und zusammengehalten werden. Diese Kraft nennt man chemische Anziehkraft, Affinität oder Verwandtschaft. Nicht jeder Körper geht mit allen übrigen Körpern eine chemische Verbindung

ein; er wählt sich gleichsam bestimmte Stoffe aus, mit denen er sich chemisch vereinigt. Daher sagt man, daß nur solche Körper, die chemisch mit einander verbunden werden können, Verwandtschaft (Affinität) zu einander haben.

§ 54. Die Verwandtschaft eines Körpers zu verschiedenen anderen ist aber nicht gleich stark. Oft äußert ein Stoff zu einem andern viel größere Anziehung als zu einem dritten. Diese größere Neigung zu einem andern nennt man Wahlverwandtschaft. Diese hat in den rohen Naturstoffen ihre fest bestimmten Gesetze. Die Kalkerde z. B. hat Verwandtschaft zur Kohlensäure und verbindet sich mit ihr zu Kreide. Gießt man aber Schwefelsäure auf die Kreide, so entweicht unter Aufbrausen die Kohlensäure, und die Kalkerde tritt mit der Schwefelsäure in Verbindung, welchen neuen Körper wir schwefelsauren Kalk oder Gyps nennen. Die Kalkerde hat also eine größere Verwandtschaft zur Schwefelsäure als zur Kohlensäure.

Sobald sich Gelegenheit bietet, entläßt die Kalkerde diese und gesellt sich zu jener.

§ 55. Bringt man Kupfervitriol, d. i. eine Verbindung von Kupferoxyd und Schwefelsäure mit gereinigter Soda (einer Verbindung von Natron und Kohlensäure) zusammen, so treten beide Körper aus ihren Verbindungen. Die Schwefelsäure verbindet sich mit dem Natron, und die Kohlensäure mit dem Kupferoxyd. Statt des Kupfervitriols hat man kohlensaures Kupfer, statt der Soda hat man schwefelsaures Natron. In diesem Falle nennt man die Trennung und die wechselseitige Wiedervereinigung der Bestandtheile beider Stoffe zu 2 neuen Körpern — doppelte Wahlverwandtschaft.

§ 56. Die Wahlverwandtschaft ist zugleich ein schönes Mittel, um einige Stoffe ihren Verbindungen zu entlocken. Gießt man z. B. auf Braunstein — eine Verbindung von Mangan und Sauerstoff — Salzsäure, so verdrängt diese einen Theil des Sauerstoffs und setzt sich selbst mit dem Mangan in Verbindung. Der so verdrängte Sauerstoff wird frei und kann in Flaschen aufgefangen werden.

Auch anderer Mittel kann man sich zum Ausscheiden eines Stoffes bedienen z. B. der Wärme. Bei der Temperatur von 400° löst sich eine Verbindung von Queckſilber und Sauerstoff. Aus glühend gemachter Kreide entweicht die Kohlensäure. Ein ganz besonderes kräftiges Mittel zur Scheidung eines zusammengesetzten Körpers ist die Electricität vermittelst der Voltaschen Säule (s. § 453). Man hat durch sie nicht nur Wasser in seine beiden Bestandtheile — Wasserstoff- und Sauerstoffgas —, sondern auch andere zusammengesetzte Körper in ihre chemischen Elemente zerlegt.

§ 57. Einige Körper verbinden sich chemisch in beliebigen Verhältnissen mit einander, z. B. Wasser mit Spiritus; dagegen löset ein flüssiger Körper von einem festen nur eine bestimmte Menge auf; über diese Grenze hinaus findet unter denselben Umständen keine Auflösung mehr statt. Fügt man von dem festen Körper eine größere Menge zu der Flüssigkeit hinzu, so nimmt diese nichts mehr vom erstern auf. Die Flüssigkeit heißt sodann gesättigt. Verlieren die beiden gemischten Körper ihre früheren Eigenschaften, so sagt man, daß sie sich neutralisirt haben.

Kochsalz wird vom Wasser in beliebigen Mengen aufgelöst, bis sein Gewicht etwa $\frac{1}{3}$ des Wassers beträgt; alles später hinzugefügte Kochsalz fällt als fester Körper zu Boden. Der Sättigungspunkt ändert sich meistens mit der Temperatur und steigt mit dieser, wie wohl

es auch Fälle vom Gegentheil gibt. Eine Flüssigkeit, die mit einem Stoff gesättigt ist, kann oft noch von einem andern etwas auflösen.

§ 58. Merkwürdiger Weise verbinden sich die verschiedenen Stoffe nur in ganz genau bestimmten Verhältnissen zu neuen Körpern. In der Natur geht Alles nach festen mathematischen Gesetzen. Hat der Mensch die Gesetze einmal gefunden, dann kann er auch die Erfolge mit untrüglicher Sicherheit berechnen.

Immer gehört eine ganz bestimmte Gewichtsmenge Sauerstoff dazu, um sich mit einer bestimmten Gewichtsmenge Wasserstoff zu vereinigen. Was man etwa zu viel an Sauerstoff oder Wasserstoff zu dem Gemenge genommen hat, bleibt unverbunden übrig. Die Chemiker haben genau ermittelt, in welchem Verhältnisse sich die verschiedenen Elemente mit einander verbinden. So verbindet sich mit 8 Gewichtstheilen Sauerstoff 1 Gewichtstheil Wasserstoff, nicht mehr und nicht weniger. Nimmt man 8 Loth Sauerstoff, so braucht man 1 Loth Wasserstoff; nimmt man 16 Loth Sauerstoff, so braucht man 2 Loth Wasserstoff. Das Verhältniß ist immer wie 8 : 1. Auf gleiche Weise verbinden sich mit 8 Gewichtstheilen Sauerstoff (sein chemisches Zeichen ist O) 6 Gewichtstheile Kohlenstoff (C), 16 Gewichtstheile Schwefel (S), 14 Gewichtstheile Stickstoff (N), 31,4 Gewichtstheile Phosphor (P), 35,4 Gewichtstheile Chlor (Cl), 23,3 Gewichtstheile Natrium (Na), 12,6 Gewichtstheile Magnesium (Mg), 39,2 Gewichtstheile Kalium (K), 13,7 Gewichtstheile Aluminium (Al) u. s. w.

§ 59. Wer sich ein Täfelchen anschafft, auf welchem allen 63 Elementen diese Verhältnißzahlen beigefügt sind, der weiß dann von allen Elementen, in welchem Verhältnisse sie sich mit einander verbinden. Ja, er weiß nicht bloß, wie man etwa denken könnte, in welchem Verhältnisse sich jedes mit dem Sauerstoffe verbindet; er weiß das Verhältniß von je zwei ganz beliebigen Elementen. Dieselben beigefügten Zahlen, welche das Verhältniß zum Sauerstoffe anzeigen, sind zugleich die Zahlen für alle anderen Verhältnisse. Mit 8 Gewichtstheilen Sauerstoff verbindet sich Wasserstoff (H) zu einem Gewichtstheile, und Kohlenstoff zu 6 Gewichtstheilen. Genau in denselben Theilverhältnissen treten nun auch Wasserstoff und Kohlenstoff zusammen, in dem Verhältnisse wie 1 : 6. Eben so verbinden sich nach obigen Zahlen 16 Gewichtstheile Schwefel mit 14 Gewichtstheilen Stickstoff.

§ 60. Dieser Umstand macht die Chemie zu einer höchst einfachen, ansprechenden Wissenschaft. In einfachen Zeichen weiß der Chemiker seine Gedanken deutlich und bestimmt auszudrücken. Mit den Buchstaben O, H, C, S, ꝛc. bezeichnet er nicht bloß Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff und Schwefel, sondern zugleich damit auch jene Verhältnißzahlen. Setzt er die beiden Buchstaben OH zusammen, so heißt das nicht bloß eine Verbindung von Sauerstoff und Wasserstoff, sondern eine Verbindung von 8 Gewichtstheilen Sauerstoff mit 1 Gewichtstheil Wasserstoff.

Eine Verbindung von 1 Theil Wasserstoff mit 16 Theilen Schwefel wird mit dem einfachen Zeichen HS angedeutet.

§ 61. Diese festen Zahlen, welche die Verhältnisse der Zusammensetzungen aller chemischen Verbindungen ausdrücken, heißen Mischungsgewichte, Atomgewichte oder Aequivalente. Setzt man also das Atom-

gewicht des Sauerstoffs = 8, dann ist das des Wasserstoffs = 1, das des Kohlenstoffs = 6 ꝛc. Setzt man das Atomgewicht des Sauerstoffs = 100, wie das oft auch geschieht, dann ist natürlich, um jenes Verhältniß beizubehalten, daß das Atomgewicht des Wasserstoffs = $12\frac{1}{2}$, das des Kohlenstoffs = $16\frac{2}{3}$ ꝛc. gesetzt werden muß.

§ 62. Wenn aber gesagt worden ist, daß die verschiedenen Stoffe nur immer in einem und demselben Verhältnisse sich mit einander verbinden, so ist das nicht ganz richtig. Viele Körper können mit andern in verschiedenen Verhältnissen sich verbinden, aber es thut sich dabei eine neue Gesetzmäßigkeit vor unsern Blicken auf. Auch hier gibts keinen Zufall, keine Willkür. Kann nämlich ein Körper mit einem andern in verschiedenen Verhältnissen in Verbindung treten, dann fordert genau die 2te, 3te, 4te Verbindung auch eine doppelte, dreifache, vierfache Stoffmenge des einen der beiden Körper. So gibt es 5 Verbindungen des Sauerstoffs mit Stickstoff. In der ersten verbinden sich, wie die Atomgewichte anzeigen, 8 Gewichtstheile Sauerstoff mit 14 Gewichtstheilen Stickstoff; in der zweiten dagegen 2 mal 8 Gewichtstheile, in der dritten 3 mal 8 Gewichtstheile, in der vierten 4 mal 8, und in der fünften 5 mal 8 Gewichtstheile Sauerstoff mit denselben 14 Gewichtstheilen Stickstoff.

Kohlenstoff und Sauerstoff können sich in 2 Verhältnissen vereinigen, in der ersten 6 Gewichtstheile Kohlenstoff mit 8 Gewichtstheilen Sauerstoff; in der zweiten 6 Gewichtstheile Kohlenstoff mit 2 mal 8 Gewichtstheilen Sauerstoff.

§ 63. Dieses Vielfache des Atomgewichts oder eines Aequivalents bezeichnet der Chemiker mit einer kleinen Zahl hinter dem betreffenden Buchstaben. So bezeichnet er jene 5 Verbindungen des Stickstoffs mit Sauerstoff in folgender Weise:

$$NO,\ NO_2,\ NO_3,\ NO_4,\ NO_5,$$

Die Verbindung eines Atomgewichts (= 1) Wasserstoff mit 2 Atomgewichten (= 2 mal 8) Sauerstoff wird durch HO_2 ausgedrückt. Statt Schwefelsäure schreibt der Chemiker SO_3. Diese chemische Bezeichnung sagt aber viel mehr, als das Wort Schwefelsäure. Das einfache SO_3 sagt uns dreierlei: 1) daß Schwefelsäure gemeint ist; 2) daß die Schwefelsäure eine Verbindung von Schwefel und Sauerstoff ist, und 3) daß in dieser Verbindung genau 16 Gewichtstheile Schwefel und 3×8 Gewichtstheile (= 24 Gewichtstheilen) Sauerstoff enthalten sind. So besteht Essigsäure aus $C_4 H_3 O_3$ d. h. aus einer Verbindung von 4×6 Gewichtstheilen Kohlenstoff, 3×1 Theilen Wasserstoff und 3×8 Theilen Sauerstoff.

§ 64. Es möge hier noch der häufig vorkommenden Ausdrücke: Säuren, Basen oder Alkalien und Salze gedacht sein. Alle einfach, d. h. aus 2 Stoffen, zusammengesetzten Körper theilt nämlich die Chemie in 2 Klassen, und nennt die, welche blaue Pflanzensäfte roth färben und die durch die Alkalien veränderten Pflanzenfarben wieder herstellen, Säuren; dagegen die, welche diese Eigenschaften der Säuren aufheben, sobald sie mit ihnen verbunden werden, Basen. Solche Säuren sind z. B. Schwefelsäure SO_3; Salpetersäure N_2O_5; Chlorsäure ClO_5; Kohlensäure CO_2; Kleesäure C_2O_3 u. s. w. Basen sind: Kali KO; Natron NaO; Kalkerde CaO; Talkerde MgO; u. s. w. — Jede Verbindung einer Säure mit einer Base bezeichnet dann der Chemiker mit dem Namen Salz. Er nennt darum

unter anderen auch viele Körper ein Salz, welche wir im gewöhnlichen Leben nicht mit diesem Namen belegen. So ist z. B. die Verbindung von Kalkerde und Schwefelsäure, welche uns unter dem Namen Gyps bekannt ist, in seinen Augen ein Salz, und er bezeichnet diese Verbindung mit folgendem Ausdrucke: $CaO + SO_3$ (Ca bezeichnet Calcium, ein Element der Kalkerde). So bezeichnet man Salpeter $KO + N_2O_5$; Glaubersalz $NaO + SO_3$; Bittersalz $MgO + SO_3$; Alaun $KO + SO_3 + Al_2O_3 + SO_3$. Durch diese Bezeichnungsarten sehen wir nun im Salpeter nicht mehr bloß Salpeter, wir sehen darin Kalium, Stickstoff und Sauerstoff.

Beim Alaun treten 4 chemische Verbindungen zusammen, um Alaun zu erzeugen.

Die Schwefelsäure wird gewöhnlich auch Vitriolöl genannt. Die mit Wasser verdünnte Salpetersäure heißt Scheidewasser, weil es Silber von Gold im Gemisch scheidet, indem es jenes auflöst und dieses unangegriffen läßt. Die stärkste aller Säuren ist das Goldscheidewasser oder Königswasser. Es besteht aus 3 Theilen Salzsäure und 1 Theile Salpetersäure. Diese Säure löst alle Metalle ohne Ausnahme auf.

§ 65. Wir haben in § 21 gesehen, daß alle Körper sich in immer kleinere Theile zerlegen lassen, und daß bei vielen Körpern diese Theilung auf eine bewunderungswürdige Weise vervielfältigt werden könne. Doch haben die Chemiker Grund anzunehmen, daß die Theilung der Körper eine Grenze habe, daß man endlich auf Theile komme, welche durch Menschenhand nicht weiter zerstörbar seien. Diese unendlich kleinen, als nicht mehr zerstörbar angenommenen Theile, aus denen jeder Körper chemisch zusammengesetzt ist, nennt man Atome. Alle diese Theilchen werden durch die Anziehungskraft vereinigt und zusammengehalten.

§ 66. Um das in § 61 über das Atomgewicht Angedeutete näher zu erläutern, möge hier noch folgendes gesagt sein. Jedes Atom des einen Elements verbindet sich mit einem Atome des andern Elements. Die Menge der Atome von den beiden Elementen muß also gleich sein. Hat man demnach von dem einen Elemente eine größere Menge der Mischung beigegeben, dann müssen natürlich auch die überzähligen Elemente übrig bleiben. Hierauf beruht der Umstand, daß die verschiedenen Elemente nur in bestimmten Verhältnissen zu neuen Körpern sich verbinden können. Ist diese Annahme wahr, dann ist uns zugleich auch der Blick in die Gewichtsverhältnisse der verschiedenen Atome geöffnet. Wir wissen nämlich, daß 8 Gewichtstheile Sauerstoff mit 1 Gewichtstheil Wasserstoff sich verbinden, daß z. B. 8 Loth Sauerstoff 1 Loth Wasserstoff erfordern. Wenn nun 1 Atom immer nur mit 1 Atom sich vereinigt, dann müssen 8 Loth Sauerstoff gerade eben so viel Atome enthalten, als 1 Loth Wasserstoff. Ist aber die Zahl der Atome in beiden Gewichtsmengen gleich, dann muß auch 1 Sauerstoff-Atom gerade 8mal so schwer sein, als 1 Wasserstoff-Atom. Darum nennt man die Zahl 8 das Atomgewicht des Sauerstoffs, eben so wie 6 das Atomgewicht des Kohlenstoffs, 16 das Atomgewicht des Schwefels u. s. w. ist. Der Ausdruck „Atomgewicht" ist aus der Atomhypothese hervorgegangen.

§ 67. Das ist der eine Fall, daß ein Atom mit einem andern in Verbindung tritt. Der zweite mögliche Fall ist der, daß zwei Atome mit einem andern sich vereinigen. Dann gehört bei dem einen Körper gerade eine doppelte Gewichtsmenge dazu, um mit dem andern vollständig eine chemische Verbindung einzugehen. Eben so wie bei 8 Theilen Sauerstoff und 1 Theile Wasser-

stoff, so ist auch bei 16 Theilen Sauerstoff und 1 Theile Wasserstoff eine chemische Verbindung möglich. Im letztern Falle legen sich 2 Atome Sauerstoff an 1 Atom Wasserstoff an. Ein dritter Fall ist der, daß 3 Atome mit einem andern sich verbinden; dann ist die dreifache Gewichtsmenge des einen Körpers erforderlich u. s. w. Hieraus erklärt es sich, daß die Körper auch in verschiedenen Verhältnissen sich verbinden können, daß aber die zweite, dritte, vierte Verbindung immer eine doppelte, dreifache, vierfache Stoffmenge des einen Körpers erfordert.

Dieselbe Kraft, die zwei Atome verbindet, zieht den hinaufgeworfenen Stein wieder zur Erde herab und fesselt die Planeten mit unzerreißbaren Banden an ihre Sonnen. Und unveränderlich bleibt diese Kraft, schon seit Jahrtausenden wirkt sie immer nach denselben mathematischen Gesetzen. Wie einfach Alles und doch wie mannichfaltig!

§ 68. Auf der Anziehung, welche die Theile der Körper auf einander ausüben, beruht auch die merkwürdige Erscheinung, daß sich dieselben bei dem Übergange aus dem flüssigen in den festen Zustand, wenn sie sich völlig ausbilden können, fast immer zu regelmäßigen Gestalten zu verbinden pflegen. Man nennt diese regelmäßigen Körper in der unorganischen Natur Krystalle. Diese werden im Allgemeinen um so größer und vollständiger, je langsamer der Übergang aus dem flüssigen in den festen Zustand geschieht. Die schönsten Krystalle liefert uns die Natur in den Krystallen der Edelsteine und anderer Mineralien.

§ 69. Um aus einem Körper Krystalle hervorzubringen, muß man ihn in den flüssigen Zustand, entweder durch Auflösung desselben im Wasser oder in anderen Flüssigkeiten, oder durch Schmelzung versetzen, und im erstern Falle allmählig die auflösende Flüssigkeit durch die Wärme entfernen. Durch eine zu schnelle Veränderung dieses Zustandes wird die regelmäßige Bildung des Krystalls gestört. So bildet z. B. das Kochsalz bei schnellem Abdampfen in den Siedepfannen unregelmäßige, trichterförmige Krystalle, obgleich es unter günstigen Umständen in Würfeln krystallisirt.

Eis, Schnee und die im Winter an den Fenstern sich bildenden Blumen sind krystallisirtes Wasser.

§ 70. Die Krystallisation kann auch auf trockenem Wege durch die Sublimation bewirkt werden, indem sich hier die Theile auf ähnliche Weise aus dem Dampfzustande zu regelmäßigen Gestalten vereinigen, wie wir dieß beim Schnee und Reif sehen.

§ 71. Wenn Flüssigkeiten, die entweder durch Schmelzung oder durch Auflösung eines festen Körpers hervorgebracht wurden, bei einer bestimmten Temperatur krystallisiren, so kann man sie dann, wenn sie vollkommen ruhig sind, bis zu weit niedrigeren Temperaturen erkalten; so wie sie jedoch erschüttert werden, beginnt die Krystallisation, namentlich, wenn man einen Krystall derselben Art hineinwirft.

Ruhig stehendes Wasser kann mehrere Grade unter den Gefrierpunkt erkaltet werden; so wie jedoch eine Erschütterung erfolgt, beginnt das Gefrieren. Eben dieses zeigen Metalle, Schwefel, Phosphor u. s. w. Eine Lösung von 51 Theilen krystallisirten Glaubersalzes und 49 Theilen siedenden Wassers müßte bei etwa 30° C zu Krystallen anschießen, aber wir sind im Stande, sie weit tiefer zu erkalten; so wie wir jedoch einen Glaubersalzkrystall

hineinwerfen, erfolgt die Krystallisation mit Schnelligkeit. Werden 3 Theile Glaubersalz und 2 Theile Salpeter in 5 Theilen lauwarmen Wassers aufgelöst, so erhält man bloß Salpeter oder Glaubersalz, je nachdem man ein Stückchen von dem einen oder andern dieser Salze hineinwirft. Im Großen befördert man die Krystallisation dadurch, daß man Stäbe, Fäden u. s. w. in den Fässern anbringt, in denen sich die Lösungen befinden.

§ 72. Die Krystalle sind meistens von Ebenen eingeschlossen, welche Krystallfläche heißen, und deren Anzahl, Gestalt und gegenseitige Lage die Krystallgestalt bestimmt.

Kapitel II.

Die mechanischen Wissenschaften.

§ 73. Die wissenschaftliche Darstellung der Gesetze, nach welchen ein fester Körper entweder in Ruhe bleibt, oder sich bewegt, führt den Namen Mechanik. Sie zerfällt in dieser Beziehung in 2 Theile: die Statik, welche die Gesetze des Gleichgewichts, und die Dynamik, welche die Gesetze der Bewegung fester Körper abhandelt.

Erster Abschnitt.

Von den Gesetzen des Gleichgewichts fester Körper (Statik).

§ 74. Der Theil des Raumes, welchen ein Körper einnimmt, heißt sein Ort. Ein Körper, der seinen Ort gegen andere verändert, ist in Bewegung. Die Stelle des allgemeinen Raumes, die ein Körper einnimmt ohne Beziehung auf andere Körper, bezeichnet seinen absoluten Ort; die Lage desselben dagegen unter andern Körpern, die wir als unbeweglich annehmen, heißt sein relativer Ort. Es ist klar, daß nur der letztere ein Gegenstand der Erfahrung sein kann; denn auf die Frage, wo ein Körper sich befinde, ohne alle Beziehung auf andere Körper, läßt sich keine andere Antwort geben, als die: Er ist, wo er ist. Je nachdem nun Ruhe und Bewegung auf den absoluten oder relativen Ort bezogen werden, heißen auch sie absolut oder relativ.

§ 75. Die Richtung, nach welcher sich ein Punkt bewegen würde, auf welchen eine Kraft unmittelbar und augenblicklich einwirkte, ist die Richtung der Kraft. Da die Größe einer bewegenden Kraft nach der Länge des von einem Körper in einer gegebenen Zeit zurückgelegten Weges sich schätzen läßt; so kann man füglich das Verhältniß zweier Kräfte durch das Verhältniß zweier gerader Linien vorstellen, deren Richtungen zugleich die Richtungen dieser Kräfte angeben. Bei einer krummlinigen Bewegung wird dagegen die Richtung der Bewegung in irgend einem Punkte der Bahn durch die Tangente an diesem Punkte angegeben.

§ 76. Wenn zwei oder mehrere Kräfte auf einen beweglichen Körper in entgegengesetzten Richtungen wirken, so können sie den Körper nur dann im Gleichgewicht erhalten, wenn sie auf der einen Seite genau so groß sind als auf der entgegengesetzten. Man versteht unter dem Ausdrucke: Kräfte halten einen Körper im Gleichgewichte, wenn die Wirkungen dieser Kräfte sich einander so aufheben, daß keine Bewegung des Körpers entsteht.

§ 77. Wenn zwei Kräfte auf einen Punkt eines Körpers wirken, so können folgende Fälle stattfinden:

1) Wenn beide Kräfte nach einer und derselben Richtung wirken, so wird sich der Körper mit der Summe derselben fortbewegen.

2) Wenn beide Kräfte nach entgegengesetzter Richtung auf einen Körper wirken, so wird dieser sich mit dem Unterschied derselben fortbewegen. Wird z. B. die eine Kraft durch 8, und die andere durch 5 ausgedrückt, so ist die Bewegung des Körpers im ersten Falle $8 + 5 = 13$, im zweiten Falle $8 - 5 = 3$.

3) Wirken aber zwei Kräfte so auf einen Gegenstand, daß ihre Richtungen einen Winkel mit einander machen, so bewegt sich der Körper in einer mittlern Richtung und zwar auf der Diagonale des Parallelogramms, welches aus den Linien verzeichnet wird, welche die Richtung und die Größe der wirkenden Kräfte vorstellen; denn angenommen (Fig. 1.), die eine gegebene Kraft führe den Körper A in 1 Secunde durch den Weg AB, die andere Kraft in derselben Zeit durch den Weg AC; so muß er, beiden Kräften zugleich folgend, nach Verlauf dieser Secunde zu dem Punkte gelangen, der von AB um die Linie AC und von AC um die Linie AB entfernt ist. Dieser Punkt ist aber die vierte Spitze D des Parallelogramms ABCD, und da die vorigen Schlüsse nicht bloß für den Zeitraum einer Secunde, sondern für alle noch so kleinen Zeitmomente a, b, c, ꝛc. gelten; so durchläuft der Körper A den Weg Afghd, d. i. die Diagonale AD. Es ist klar, daß eine Kraft, welche so groß wie AD ist und dieselbe Richtung hat, das Nämliche wirken wird, als die beiden Kräfte AC und AB zusammengenommen. Daher nennt man die Kraft AD, welche allein dasselbe wirkt, als zwei oder mehrere gegebene Kräfte zusammen, die resultirende Kraft, und die gegebenen Kräfte AB und AC, die Seitenkräfte des Parallelogramms.

§ 78. Aus diesem Fundamentalsatze der Mechanik, welchen man den Satz von dem Parallelogramm der Kräfte nennt, ergibt sich, daß zwei in verschiedenen Richtungen auf einen beweglichen Körper wirkende Kräfte AB und AC derjenigen Gegenkraft das Gleichgewicht halten, deren Größe und Richtung durch die Diagonale AD vorgestellt wird.

§ 79. Es folgt aber auch zugleich aus jenem Satze, daß die Größe und Richtung der gleich großen Gegenkraft nicht bloß von der absoluten Größe der beiden Seitenkräfte, sondern auch von der Größe des Winkels, unter welchem die gegebenen Kräfte wirken, abhängt. So ist z. B. bei einem Winkel von 180° die resultirende Kraft gleich dem Unterschiede, bei einem Winkel von 0° gleich der Summe der beiden Seitenkräfte.

Die resultirende Kraft ist immer kleiner, als die Summe der beiden Seitenkräfte, und zwar desto kleiner, unter einem je größern Winkel die letztern wirken.

§ 80. Mit Hülfe des Satzes vom Parallelogramm der Kräfte lassen sich auch mehrere, in verschiedenen Richtungen auf einen Körper wirkende Kräfte in eine einzige vereinigen. Denn wirkten z. B. auf einen Körper A drei Kräfte a, b, c, in gegebenen Richtungen, so construire man zuerst aus den Kräften a

und b ein Parallelogramm, und dann aus dessen gefundener Diagonale und der Kraft c wieder ein Parallelogramm; so wird die Diagonale dieses zweiten Parallelogramms die resultirende Kraft nach ihrer Größe und Richtung darstellen, und eine ihr gleich große und auf den Körper A in entgegengesetzter Richtung wirkende Kraft den gegebenen Kräften das Gleichgewicht halten.

Man sieht hieraus, wie zu jeder beliebigen Anzahl gegebener Kräfte eine neue gefunden werden kann, welche sie sämmtlich im Gleichgewicht erhält.

Beispiele von zusammengesetzten Kräften kommen in der Natur sehr häufig vor. Wenn z. B. 1) ein Kahn durch Ruderkraft über einen Fluß in der Richtung AC (Fig. 1.) geführt, von der Kraft des Stromes aber in der Richtung AB hinunter getrieben wird; so wird er in der Diagonale AD schräg über den Fluß geführt werden, wenn AC die Größe und Richtung der Ruderkraft, und AB die Größe und Richtung der Stromeskraft ausdrücken. 2) Wenn ein Kugel auf dem Billard von zwei Personen zugleich nach verschiedenen Richtungen gestoßen wird, so folgt sie der Richtung der resultirenden Kraft. 3) Wenn Jemand, der im Wagen oder Schiffe fährt, einen Ball, seiner Meinung nach, senkrecht in die Höhe wirft; so steigt der Ball schräg aufwärts, weil die Bewegung des Wagens oder Schiffes horizontal vorwärts geht, während die Hand des Menschen den Ball senkrecht aufwärts wirft. 4) Fällt ein Stein aus dem Mastkorbe eines segelnden Schiffes, so wird er nicht ins Wasser, sondern stets auf den Boden dicht am Mastkorbe niederfallen.

§ 81. Es läßt sich auch umgekehrt eine gegebene Kraft als mittlere Kraft betrachten, und sie in zwei Seitenkräfte zerlegen, von denen die eine, der Größe und Richtung nach, willkürlich angenommen werden kann, die andere aber sich von selbst durch die Construction des Parallelogramms ergibt. Wenn z. B. (Fig. 2) eine Kraft, die an Größe und Richtung durch CB dargestellt sein möge, unter einem spitzen Winkel x auf einen Körper B trifft, und man diese Kraft in zwei Seitenkräfte AB und BD zerlegt, von denen BD die senkrechte, und AB die horizontale Richtung der zerlegten Kraft CB darstellt; so wird, wenn B längs dem Boden AB fortgetrieben werden soll, ihr unwirksamer Theil die Größe DB, und ihr wirksamer Theil AB sein, weil dieser in die Richtung des Horizontes fällt.

Die schief wirkende Kraft CB verliert an Stärke CB — AB. Wäre die schief wirkende Kraft CB = 12 Pfund, so theile man dieselbe in 12 gleiche Theile und untersuche, aus wie vielen solcher Theile AB besteht. Die erhaltene Zahl gibt die Anzahl der Pfunde an, mit denen die gegen AB schiefwirkende Kraft den Körper B längs AB forttreibt, während die bei DB erhaltene Zahl die Anzahl Pfunde gibt, mit welchen CB den Körper B gegen den Boden drückt, und welche in diesem Falle von der Unterlage aufgehoben wird. Aus dieser Darstellung ergibt sich:

1) Die geringe wärmende Kraft der Sonne bei niedrigem Stande, namentlich im Winter;

2) die starke Blendung des Sonnenlichtes von durchsichtigen Körpern, wenn dessen Einfallswinkel x klein ist (Fig. 2.);

3) die geringe Wirkung einer unter einem spitzen Winkel auf eine Mauer abgefeuerten Kanonenkugel;

4) die Wirkung des Steuerruders und der Segel, und

5) die Wirkung beim Emporsteigen eines Drachens.

§ 82. Wenn ein bewegter Körper auf einen hindernden Gegenstand stößt, so wird seine bewegende Kraft desto größer sein, je größer seine Geschwindigkeit ist und je mehr Masse er hat.

Nennt man K, k, die bewegenden Kräfte; C, c, die Geschwindigkeiten, und M, m, die Massen zweier bewegter Körper, und nimmt man eine dritte Kraft K′ an, welche mit der Geschwindigkeit c und der Masse M wirkt; so

verhält sich $K : K' = C : c$ (bei gleicher Masse m), und
$K' : k = M : m$ (bei gleicher Geschwindigkeit C);

folglich $K : k = C.M : c.m$, d. h. die bewegenden Kräfte verhalten sich zu einander, wie die Produkte aus ihren Massen und Geschwindigkeiten. Eine gleich große Kraft, welche mit diesem Produkte aus der Masse und Geschwindigkeit eines Körpers eine entgegengesetzte Richtung hat, wird der Bewegung desselben das Gleichgewicht halten.

Sind die bewegenden Kräfte K und k einander gleich, so muß auch $C.M = c.m$ sein; woraus folgt $C : c = m : M$, d. i. die Geschwindigkeiten von zwei bewegten Körpern verhalten sich umgekehrt wie ihre Massen oder Gewichte.

Sollen z. B. zwei in Bewegung gesetzte Kugeln, die eine von 1 Pfund und die andere von 3 Pfund Gewicht gleiche Wirkungen auf einen Gegenstand hervorbringen, so muß die Kugel von 1 Pfund eine 3mal größere Geschwindigkeit, als die Kugel von 3 Pfund, oder diese eine 3mal kleinere Geschwindigkeit, als jene haben.

§ 83. Man bezeichnet die Kraft, mit welcher ein bewegter Körper auf einen andern, bei seinem Zusammentreffen mit diesem, wirkt, mit dem Ausdrucke: Größe der Bewegung oder Kraftmoment, auch Bewegungsmoment. Diese Größe der Bewegung wird desto bedeutender sein, je größer die Masse und die Geschwindigkeit des bewegten Körpers ist; daher verhalten sich auch die Größen der Bewegung zweier Körper zu einander, wie die Produkte aus ihren Massen und Geschwindigkeiten; also $G : g = M.C : m.c$, wenn G, g die Größen der Bewegung zweier Körper bedeuten.

Die sechs einfachen Maschinen oder mechanischen Potenzen.

§ 84. Jede Vorrichtung, vermittelst welcher man durch gegebene Kräfte andere Kräfte im Gleichgewichte hält oder in Bewegung setzt, heißt eine Maschine. An jeder Maschine wirken größtentheils zwei Kräfte, von denen diejenige, mit welcher man andere Kräfte im Gleichgewicht hält oder in Bewegung setzt, vorzugsweise Kraft, die andere aber, welche jener entgegenwirkt, Last genannt wird. Beide Kräfte werden gewöhnlich durch Gewichte vorgestellt. Bei der Anwendung einer Maschine hat man die Absicht, entweder vermittelst einer kleinen Kraft, eine größere Last zu bewegen, oder der Last eine größere Geschwindigkeit oder eine andere Richtung zu geben.

Im Vortrage der Physik schränkt man sich nur auf die einfachen Maschinen ein, unter welchen solche verstanden werden, bei denen kein Bestandtheil wieder eine Maschine ist. Hierher rechnet man den Hebel, die Rolle, das Rad an der Welle, die schiefe Ebene, die Schraube und den Keil, welche die Grundlage aller zusammengesetzten Maschinen bilden.

1) Der Hebel.

Hebel. § 85. Man unterscheidet den mathematischen und den physischen Hebel.

Unter einem mathematischen Hebel versteht man eine gewichtslose, unbiegsame Linie, die an einem ihrer Punkte beweglich unterstützt ist, und auf welche Kräfte wirken, welche sie nach entgegengesetzten Richtungen zu drehen streben. Die

Entfernungen der Angriffspunkte vom Unterstützungspunkte heißen die Arme des Hebels, wie ca und cb (Fig. 3). Unter der Entfernung einer Kraft vom Unterstützungspunkte versteht man das Perpendikel CD (Fig. 4) welches vom Unterstützungspunkte C auf die Richtungslinie ED der Kraft gefällt wird. Eben so zeigt die Senkrechte CF auf die Richtungslinie GB die Entfernung der Kraft G vom Unterstützungspunkte C an.

Ein physischer Hebel dagegen ist jede schwere Stange, die, wie der mathematische Hebel, an einem Punkte unterstützt ist. Hier muß noch, außer den auf den Hebel wirkenden Kräften, das Gewicht der Stange selbst berücksichtigt und in Rechnung gebracht werden, wovon wir jedoch vorerst absehen wollen.

§ 86. Es gibt zweierlei Hebel: den zweiarmigen und den einarmigen.

Der zweiarmige Hebel (Fig. 3) ist ein solcher, an dem der Ruhepunkt zwischen den beiden Punkten liegt, auf welche die Kräfte wirken. Beim einarmigen Hebel (Fig. 5) befindet sich der Ruhepunkt g an einem Ende desselben, die beiden auf ihn wirkenden Kräfte M und m sind an einerlei Seite vom Ruhepunkte angebracht, jedoch so, daß die eine Kraft M den Hebel nach oben, und die andere Kraft m ihn nach unten zu ziehen trachtet.

§ 87. Der zweiarmige Hebel kann entweder eine geradlinige oder ein Winkelhebel sein. Die beiden Arme des erstern bilden eine gerade Linie, die des letztern einen Winkel abc (Fig. 6).

§ 88. Das Produkt, welches man erhält, wenn man die Kraft mit ihrer Entfernung vom Unterstützungspunkte eines Hebels multiplicirt, heißt das statische Moment der Kraft. Ist z. B. die Kraft oder das Gewicht = 6 Pfund, und die Entfernung des Gewichts vom Unterstützungspunkte = 8 Zoll; so ist 6 . 8 = 48 das statische Moment dieser Kraft.

§ 89. Die Bedingungen, unter welchen Gleichgewicht bei einem Hebel, von welcher Art er auch sei, stattfindet, sind folgende:

1) Gleiche Kräfte in gleichen Entfernungen vom Unterstützungspunkte halten am Hebel einander das Gleichgewicht, wenn sie senkrecht auf die Hebelarme wirken, und

2) Ungleiche Kräfte am Hebel halten einander das Gleichgewicht, wenn sie sich zu einander verhalten, umgekehrt wie ihre Entfernungen vom Unterstützungspunkte, oder, was dasselbe heißt, wenn ihre statischen Momente gleich sind.

Der erste Satz steht als Grundsatz fest, denn es ist auf beiden Seiten des gleicharmigen Hebels Alles einander vollkommen gleich; folglich wird sich der Hebel weder nach der einen, noch nach der andern Seite hinneigen können, und er muß demnach im Gleichgewichte sein (§ 76.)

Beim zweiten Satze können die Kräfte am Hebel entweder senkrecht oder schief auf dessen Arme wirken.

1. Fall. Die Kräfte wirken senkrecht auf die Arme des Hebels.

Es sei (Fig. 3) der zweiarmige Hebel ab in c unterstützt, und ac der eine und bc der andere Arm desselben; in a wirke die Kraft M, und in b die Kraft m. Wird der Hebel von diesen Kräften um den Unterstützungspunkt c gedreht und in die Lage de gebracht, so hat der Punkt b den Weg bd zurückgelegt, während der Punkt a in derselben Zeit den Weg ae macht. Drückt der Bogen bd die Bewegungsgeschwindigkeit (C) des Punktes b, und der Bogen ae die Bewegungsgeschwindigkeit (c) des Punktes a aus; so ist nach § 82

die bewegende Kraft oder die Größe der Bewegung am Punkte b = C . m, und die Größe der Bewegung am Punkte a = c . M. Gleichgewicht kann nur stattfinden, wenn nach § 76 die einander entgegengesetzt wirkenden Kräfte gleich sind, also hier C . m = c . M; folglich verhält sich m : M = c : C. Da △ ace ∾ △ bcd,
so ist auch ac : cb = c : C

folglich m : M = ac : cb d. i. die Kräfte (oder Gewichte) m und M verhalten sich umgekehrt, wie die Hebelsarme, auf welche erstere senkrecht wirken.

Bei dem einarmigen Hebel (Fig. 5), wo ga der eine, und gb der andere Hebelsarm ist, findet dasselbe Gesetz statt; denn auch hier verhält sich m : M = ga : gb.

2. Fall. Die Kräfte wirken schief auf die beiden Hebelsarme.

Es seien (Fig. 7) am und bn die Richtungen, und ak und bl die Größen der auf die Hebelsarme wirkenden Kräfte p und q. Man zerlege die Kraft p in die Seitenkräfte ag und p', und die Kraft q in die Seitenkräfte bh und q', wobei die Kräfte p' und q' senkrecht auf den Hebelsarmen stehen müssen. Die Wirkungen der Seitenkräfte ag und bh, welche in die Richtung der Linie ab fallen, werden offenbar durch den Widerstand des festen Punktes c völlig aufgehoben; es bleibt demnach die Wirkung der Kräfte p' und q' übrig, die senkrecht auf die Hebelsarme wirken.

Nach dem ersten Falle findet am Hebel Gleichgewicht statt, wenn sich verhält
p' : q' = bc : ac; folglich ist
p' . ac = q' . cb.

Es ist △ ah'k ∾ △ acd; folglich p' : p = cd : ac, mithin
I. p' . ac = p . cd. Und
da △ bel ∾ △ bcf, so ist auch q' : q = cf : cb folglich
II. q' . cb = q . cf.

Da oben p' . ac = q' . cb war; so ist auch p . cd = q . cf; woraus folgt p : q = cf : cd. d. i. an einem zweiarmigen Hebel findet Gleichgewicht statt, wenn sich die auf seine Arme schief wirkenden Kräfte zu einander verhalten, umgekehrt wie ihre Entfernungen vom Unterstützungspunkte.

§ 90. Der Winkelhebel acb (Fig. 6) ist vom geradlinigen Hebel dce nur in sofern verschieden, als die Angriffspunkte bei jenem in a und b, bei diesem in d und e sind. Da dieses aber in Absicht der Wirksamkeit der Kräfte p und q gleichgiltig ist, so muß das Gleichgewicht am Winkelhebel unter denselben Bedingungen erfolgen und fortbestehen, als beim geradlinigen.

Ein mit einem Handgriffe versehener, gerader oder Winkelhebel wird Kurbel genannt.

Die Anwendung des Winkelhebels findet bei den Thürklinken, Klingelgerüsten, dem Hammer beim Herausziehen eines Nagels aus der Wand ꝛc. statt.

§ 91. Wenn auf jeden Hebelsarm nicht eine, sondern mehrere Kräfte wirken, so findet Gleichgewicht statt, wenn die Summe der statischen Momente auf der einen Seite des Hebels gleich der Summe der statischen Momente auf der andern Seite desselben ist.

Wenn z. B. auf der einen Seite eines zweiarmigen Hebels (Fig. 8) die Kraft von p Pfund an einem Hebelsarme ac = r Zoll, und noch eine zweite Kraft von q Pfund an einem Hebelsarme bc = s Zoll; auf der andern Seite aber die Kräfte m und n Pfund an den Hebelsarmen ed = t Zoll, und ce = u Zoll wirken: so wird an diesem Hebel zwischen allen diesen Kräften Gleichgewicht stattfinden, wenn die Summen der statischen Momente auf beiden Seiten einander gleich sind, d. h. wenn p.r + q . s = m.t + n.u ist.

§ 92. In nachstehenden Aufgaben suche die unbekannte Größe:

1.) In welchem Punkte muß ein mit 2 Kräften von 3 und 7 Pfund beschwerter, zweiarmiger Hebel von 4 Fuß Länge unterstützt werden, wenn das Gleichgewicht erfolgen soll? (1, 2 Fuß vom Gewicht von 7 Pfund.)

2.) In welcher Entfernung vom Unterstützungspunkte eines zweiarmigen Hebels muß eine gegebene Kraft von 10 Pfund angebracht werden, damit sie

einer andern auf der entgegengesetzten Seite desselben in der Entfernung von 5 Zoll wirkenden Kraft von 18 Pfund das Gleichgewicht halte? (9 Zoll vom Unterstützungspunkte.)

3.) An dem einen Arm von 9 Zoll Länge des in c unterstützten Hebels (Fig. 3) wirkt die Kraft von 7 Pfund; wie groß muß im Zustande des Gleichgewichts die Gegenkraft am andern Arme von 12 Zoll Länge sein? ($5\frac{1}{4}$ Pfund).

4.) Zwei Arbeiter sollen an einer 6 Fuß langen Stange eine Last von 80 Pfund tragen; wo muß diese am Hebel angehängt werden, wenn sich die Tragkräfte der Arbeiter, wie 3:5 verhalten? ($3\frac{3}{4}$ Fuß vom Angriffspunkte des schwächern Arbeiters).

§ 93. Wirken auf einen physischen Hebel zwei Kräfte, so muß beim Gleichgewicht desselben auch sein absolutes Gewicht berücksichtigt werden. Es sei (Fig. 9) ab ein physischer Hebel von m Pfund Gewicht, und in c seine Unterstützung; auf ihn wirken im Punkte a ein Gewicht von p Pfund, und im Punkte b ein Gewicht von q Pfund. Fällt bei einem Hebel der Schwerpunkt, d. i. diejenige Stelle des Hebels, wo er unterstützt die horizontale Lage annimmt, genau in den Unterstützungspunkt c; so hat das Gewicht des Hebels gar keinen Einfluß auf das Gleichgewicht, da es durch die Unterstützung vernichtet wird, und der Hebel in diesem Falle wie ein mathematischer wirkt. Liegt aber der Schwerpunkt in d, so denkt man sich das Gewicht des ganzen Hebels von m Pfund im Punkte d an dem Arm cd desselben wirkend, mithin ist auf dieser Seite das statische Moment $cd.m + cb.q$. Soll nun am Hebel ab Gleichgewicht statfinden, so muß $ac.p = cd.m + cb.q$ sein.

Es sei z. B. ein Hebebaum 10 Pfund schwer; der Schwerpunkt desselben liege auf der Seite der Kraft und sei 8 Zoll; die 80 Pfund große Kraft des Arbeiters 45 Zoll, die Last q aber 4 Zoll vom Unterstützungspunkte entfernt; so wird im Zustande des Gleichgewichts sein $4.q = 45.80 + 8.10 = 3680$; folglich $q = 920$ Pfund, d. h. der Arbeiter kann unter diesen Umständen mit seiner angewandten Kraft von 80 Pfund einer Last von 920 Pfund das Gleichgewicht halten, und bei etwas überwiegender Kraft dieselbe emporheben.

Wo ist bei einem zweiarmigen, 12 Fuß langen Hebel der Unterstützungspunkt anzubringen, wenn die Last von 120 Pfund der Kraft von 10 Pfund das Gleichgewicht halten soll, und der allenthalben gleich dicke Hebel 30 Pfund wiegt?

Es sei hier die Entfernung der Kraft $= x$ Fuß vom Unterstützungspunkte, folglich wird die Entfernung der Last vom Ruhepunkte $= 12 - x$ Fuß betragen. Da die Last hier größer ist, als die Kraft; so wird der Hebelsarm der Kraft größer sein, als der der Last, mithin der Schwerpunkt des ganzen Hebels von 30 Pfund auf die Seite der Kraft und zwar in die Mitte des Hebels, demnach $x - 6$ Fuß vom Ruhepunkte, zu liegen kommen. In diesem Schwerpunkte wirkt also das Gewicht des ganzen Hebels von 30 Pfund an einem Hebelsarme von $x - 6$ Fuß. Es wird hier Gleichgewicht statfinden, wenn sich die statischen Momente auf beiden Seiten des Hebels gleich sind, also $10.x + (x - 6).30 = (12 - x).120$; folglich $x = 7\frac{1}{3}$ Fuß; mithin der Hebelsarm der Last $= 4\frac{2}{3}$ Fuß.

§ 94. Beim zusammengesetzten Hebel wirkt der kürzere Arm des einen Hebels auf den längern des zweiten Hebels, der kürzere Arm des zweiten auf den längern des dritten u. s. w.

Es seien (Fig. 10) ab, bd und df drei auf einander wirkende Hebel und in c, e und g ihre Unterstützungen.

Denkt man sich in den Verbindungspunkten b, d die Kräfte x und y wirksam, so ist

$$p : x = cb : ca$$
$$x : y = ed : eb$$
$$y : q = gf : gd$$

folglich $p : q = cb.ed.gf : ca.eb.gd$, d. h. es verhält sich bei einem zusammengesetzten Hebel die Kraft p zur Last q wie das Produkt der kürzern Hebelsarme zum Produkt aller längern Hebelsarme.

Eine solche Verbindung von mehreren Hebeln ist wegen des dabei stattfindenden großen mechanischen Nachtheils fast nicht brauchbar.

Auf dem zusammengesetzten Hebel beruht die Berechnung der Kraft zur Last bei allen Räderwerken. Die Gesetze des Hebels überhaupt finden ihre Anwendung bei der Brechstange, Scheere, Schaufel, Zange, der gemeinen und der Schnellwage, dem Hebebaum, Pumpenschwengel, Schlüssel und dergl. m. Alle diese Werkzeuge wirken als zweiarmige Hebel; dagegen sind einarmige Hebel: die Schiebkarre, der Flachsbrecher, eine Keller- und Hausthüre, die Räder am Wagen, der Hebebaum und das Schneidemesser, wenn die beiden letztern an einem Ende unterstützt sind u. s. w.

§ 95. Eine der nützlichsten Anwendungen des Hebels ist die Wage worunter man denjenigen physischen Hebel versteht, vermittelst dessen man das absolute Gewicht eines Körpers ermitteln kann. Man unterscheidet die gemeine oder Krämerwage uud die Schnell- oder römische Wage.

Die gemeine Wage, die gleicharmig ist, muß ihre zwei Arme ae und be (Fig. 11) durchaus gleich lang nnd gleich schwer haben, so daß der ganze Wagebalken ab für sich, wenn er in Ruhe ist, völlig horizontal sei. Es müssen auch die Wagschalen g und h gleich schwer sein und auf eine sehr bewegliche Art an den Endpunkten a und b hängen. Der Wagebalken muß sich äußerst leicht mittelst seiner keilförmigen Zapfen e auf den beiden Pfannen der Gabel k bewegen, und die sogenannte Zunge df senkrecht auf dem Wagebalken stehen. Der Schwerpunkt des Wagebalkens (d. i. derjenige Punkt desselben, an welchem er unterstützt im Gleichgewicht steht) muß etwas tiefer liegen, als der Unterstützungspunkt e; denn fielen diese beiden Punkte zusammen, so würde das kleinste Uebergewicht auf der einen Seite das gänzliche Umschlagen der Wage zur Folge haben. Liegt aber der Unterstützungspunkt e höher als der Schwerpunkt, so schlägt die Wage nicht um, und man erkennt zugleich aus der Größe ihrer Neigung, welche die Zunge anzeigt, ob man viel oder wenig an Gewicht auf der einen Seite zulegen, oder auf der andern abnehmen müsse, um das Gleichgewicht herzustellen.

Eine Wage ist desto empfindlicher, d. h. sie gibt bei einem kleinen Uebergewicht schon einen großen Ausschlag, 1) je näher der Schwerpunkt des Wagebalkens unter dem mittlern Aufhängepunkte liegt, und 2) je länger der Wagebalken und je leichter derselbe ist.

Damit an der Drehungsaxe eine möglichst geringe Reibung stattfinde, wird sie durch eine Schneide von Stahl gebildet; auch die Wagschalen sind an solchen Schneiden aufgehängt.

Eine sehr empfindliche Wage, die so eingerichtet ist, daß man durch dieselbe Körper in einer Flüssigkeit abwägen kann, wird eine hydrostatische Wage genannt. Zu diesem Zwecke ist die eine Schale dieser Wage mit kürzern Schnüren als die andere versehen und an ersterer ein Häkchen befindlich,

woran man vermittelst eines Pferdehaars den zu untersuchenden Körper aufhängt und darauf im Wasser abwägt (Fig. 39).

§ 96. Um sich von der Richtigkeit einer Wage zu überzeugen, bringe man dieselbe mittelst Gewichte ins Gleichgewicht; vertausche hierauf die Wagschalen, und wenn das Gleichgewicht auch dann noch fortbesteht, so ist die Wage richtig.

§ 97. Man kann auch mittelst einer falschen Wage das richtige Gewicht eines Körpers finden, wenn man die abzuwägende Last q mit einer Gegenlast r, und dann diese, nach Entfernung der Last q, mit dem zu bestimmenden Gewichte p auf derselben Schale, wo vorher die Last q lag, ins Gleichgewicht bringt.

§ 98. Die Schnell- oder römische Wage (Fig. 12) ist ungleicharmig, und wird auf folgende Weise verfertigt. Man suche zuerst den Punkt des Wagebalkens, an welchem das sogenannte Laufgewicht m dem Gewichte der Schale nebst Zubehör das Gleichgewicht hält. Dieser Punkt ist sodann der Nullpunkt der Theilung. Hierauf belaste man die Schale mit dem größten Gewichte, das sie tragen soll, und suche, wie weit das Laufgewicht auf dem langen Arm des Wagebalkens hinausgeschoben werden müsse, bis das Gleichgewicht hergestellt sei. Den Raum zwischen beiden Punkten theile man in so viel gleiche Theile, als die größte Last Unterabtheilungen erhalten soll.

§ 99. Man hat noch eine andere Art ungleicharmiger Wagen, welche man schwedische Wage oder Besmer nennt. Bei dieser Wage befindet sich das unveränderliche Gegengewicht an dem einen Endpunkte, und die Waare an dem andern Endpunkte des Hebels; dagegen ist der Ruhepunkt veränderlich, indem derselbe so lange hin und her geschoben wird, bis Gleichgewicht zwischen Gewicht und Waare eintritt. Die Stelle der Gabel vertritt eine bloße Schnur. Die Theilung an dem Wagebalken kann nur durch das Probiren an bekannten Gewichten gemacht werden, weil bei jeder Verrückung des Unterstützungspunktes die Masse des Wagebalkens in ein anderes Verhältniß getheilt wird. Diese Art der Wagen gibt aus dem eben angeführten Grunde kein genaues Resultat, und ist daher nicht zu empfehlen.

2) Die Rolle.

§ 100. Die Rolle ist eine runde schmale Scheibe, welche um ihre Axe in einer Gabel oder einem Kloben beweglich ist und am Umfange in einer Aushöhlung ein Seil trägt, an dessen einem Ende die Kraft wirkt. Die Rolle (welche nur eine besondere Art des Hebels ist), ist entweder eine feste oder bewegliche.

Bei der festen Rolle (Fig. 13) wird die Last Q am andern Ende des Seils angebracht, während die Rolle selbst mittelst des an der Gabel befindlichen Hakens an einen Balken befestigt wird; bei der beweglichen Rolle (Fig. 14) ist das zweite Ende des Seils an einen Balken befestigt, die Rolle selbst ruht beweglich auf der Schnur, die Last aber am Haken der abwärts gehenden Gabel.

§ 101. Die feste Rolle ist ein zweiarmiger Hebel, welcher seinen Unterstützungspunkt im Mittelpunkte c, die Angriffspunkte der Kraft und Last am Umfange der Rolle in a und b hat. Es sind daran die beiden Hebelsarme

ac und cb gleich; daher müssen im Zustande des Gleichgewichts auch Kraft und Last gleich groß sein. Es wird durch eine feste Rolle nichts an Kraft gewonnen, wohl aber eine vortheilhafte Richtung derselben erhalten. Sie heißt daher auch Richtungsrolle.

§ 102. Die bewegliche Rolle (Fig. 14) ist ein einarmiger Hebel, an welchem der Unterstützungspunkt c da liegt, wo das befestigte Seil die Rolle verläßt und bei welcher der Hebelsarm der Kraft = dem Durchmesser ca, und der Hebelsarm der Last = dem Radius ab der Rolle ist. Daher wird hier im Zustande des Gleichgewichts sein $p : q = ab : ca = 1 : 2$; folglich $p = \frac{1}{2}q$, d. h. die Kraft p braucht nur halb so groß zu sein, als die Last q.

Dagegen haben die Wege, welche Kraft und Last durchlaufen, das umgekehrte Verhältniß; denn wenn die Last um einen Fuß gehoben werden soll, so verkürzen sich die beiden Schnüre, in welchen die Rolle hängt, zusammen um einen Fuß; folglich muß das Ende des Seils, an welchem die Kraft p wirkt, einen doppelt so weiten Weg durchlaufen. Was also einerseits bei einer beweglichen Rolle an Kraft gewonnen wird, geht andererseits an Zeit oder Geschwindigkeit verloren.

§ 103. Die Rollen finden ihre Anwendung bei den Flaschenzügen. Flasche ist die Verbindung zweier oder mehrerer Rollen in einer gemeinschaftlichen Gabel oder einem Kloben. Unter Flaschenzug versteht man die Verbindung zweier Flaschen durch ein Seil in der Art, daß dieses abwechselnd von einer Rolle der einen Flasche auf eine Rolle der andern übergeht.

Die Rollen einer Flasche können über oder neben einander angebracht sein; im erstern Falle (Fig. 15) sind sie von abnehmend großen Halbmessern und haben verschiedene Axen; im zweiten Falle (Fig. 16) haben sie gewöhnlich eine gemeinschaftliche Axe und gleiche Halbmesser. Die obere Flasche wird an einen Balken befestigt, und ihre Rollen sind als fest zu betrachten; an die untere Flasche wird die Last gehängt; ihre Rollen sind daher beweglich. Bei dem Flaschenzuge wird jedes aufwärts gehende Seil von der Last gleich stark gespannt; deßhalb hat jedes Seil gleich viel zu tragen; bei 3 aufwärts gehenden Seilen trägt daher jedes derselben den dritten Theil der Last. Eben so viel hat auch das letzte Seil, woran die Kraft unmittelbar entgegenwirkt, zu tragen; folglich muß die Kraft selbst den dritten Theil der Last betragen; es ist also die Kraft $p = \frac{1}{3}$ der Last q, d. h. die wirkende Kraft kann so vielmal kleiner sein, als die Last, so viel aufwärts gehende Seile am Flaschenzuge befindlich sind. Diese Art von Flaschenzügen nennt man den gemeinen Flaschenzug.

Das aus der Steifheit der Seile und der Reibung hervorgehende Hinderniß kann auf $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{3}$ der Last angeschlagen werden.

§ 104. Eine andere Art von Flaschenzügen ist der Potenzflaschenzug (Fig. 17), bei dem nur bewegliche Rollen durch Schnüre so verbunden sind, daß das eine Ende der Schnur jeder einzelnen der beweglichen Rollen an einen Balken befestigt ist. Hier nimmt die Kraft im Zustande des Gleichgewichts nach dem Werthe der Potenz von 2 ab, deren Grad die Menge der Rollen angibt. Wären also 3 Rollen a, b, c auf die vorgestellte Weise mit einander verbunden, so hält die Kraft p der Last q das Gleichgewicht, wenn p zu q in dem Verhältniß der Zahlen $1 : 2^3 = 1 : 8$ steht. Denn bei der

Rolle c ist die Kraft $r = \frac{1}{2}q$ (§ 102); bei der zweiten Rolle b ist die Kraft $s = \frac{1}{2}r = \frac{1}{4}q$ und bei der dritten Rolle a wäre die Kraft $t = \frac{1}{2}s = \frac{1}{4}r = \frac{1}{8}q$; folglich ist die Kraft p, welche an der unbeweglichen Rolle d wirkt, $= \frac{1}{8}$ der Last q.

Bei beiden Arten dieser Flaschenzüge verliert man das an Zeit oder Geschwindigkeit, was man an Kraft gewinnt.

3) Das Rad an der Welle.

§ 105. Das Rad an der Welle ist ein Rad, welches mit einem Cylinder (Wellbaum) so verbunden ist, daß sich keins ohne das andere um die gemeinschaftliche Axe ac (Fig. 18) drehen kann.

Das Wellrad ist ein zweiarmiger Hebel, welcher seinen Unterstützungspunkt im Mittelpunkte a der Welle hat und sich auf metallenen Zapfen bewegt. Hier wirkt die Kraft p am Rade, und die Last q an der Welle. Kraft und Last verhalten sich hier im Zustande des Gleichgewichts, wie ba : ad, d. h. wie der Radius der Welle zum Radius des Rades (§ 89.) Die Wirkung wird also desto größer, je dünner die Welle und je größer das Rad ist. Statt des Rades gebraucht man auch Hebel, welche durch die Welle gesteckt werden, wie bei der Winde (Fig. 20 a), oder man bedient sich, statt des Rades, auch oft eines bloßen Halbmessers (Kurbel), in welchem Falle die Entfernung des Angriffspunktes der Kurbel von der Axe der Welle, den Hebelsarm der Kraft bestimmt.

Bei einem Wagen ist die Reibung an der Axe als Last, und die Zugkraft des Pferdes (welche die Umdrehung der Räder auf der ebenen Straße zu bewirken hat), als Kraft zu betrachten. Daher verhält sich auch hier, wie bei dem Wellrade, Kraft zur Last, wie der Radius der Axe zum Radius des Rades. Je dünner also die Axe und je größer die Räder an einem Wagen sind, desto mehr wird an Zugkraft gewonnen.

Das Laufrad ist ein trommelähnliches Rad an der Welle, welches, innerhalb oder außerhalb durch Auftreten von Menschen auf seine horizontal liegenden Verbindungssprossen, in Bewegung gesetzt wird.

§ 106. Zu dem Wellrade gehören ferner der Haspel (Fig. 18) und die Winde (Fig. 20 a). Bei beiden verhält sich die Last q zur entgegenwirkenden Kraft p umgekehrt wie ihre Hebelsarme, d. h. wie die Halbmesser ad : ab. Die Winde, auch Göppel genannt, unterscheidet sich vom Haspel dadurch, daß die Umdrehungsaxe der erstern eine vertikale, und die des letztern eine horizontale Lage hat.

Zu den Winden rechnet man die Schiffs- und Erdwinde, die Wasserräder, Windmühlflügel, Pferdegöppel, Tretrad und Tretscheibe.

Bei der Wagenwinde (Fig. 20 b) greift in die gezahnte Stange A ein gezahntes Rad E ein, welches mittelst der Kurbel BE gedreht wird. Die Last wirkt bei der Wagenwinde auf das obere Ende der gezahnten Stange A, und die Kraft an der Kurbel B. Hier wird Gleichgewicht stattfinden, wenn sich verhält

Kraft : Last = ED : EB; also

$$\text{Kraft} = \frac{\text{ED} \times \text{Last}}{\text{EB}}$$

Statt des einen gezahnten Rades wird auch wohl, um die Wirkung zu vergrößern, ein zusammengesetztes Räderwerk angewendet.

§ 107. Ein Zahnrad ist auch ein Wellrad, und mehrere in einander greifende Zahnräder machen ein Räderwerk aus. Befinden sich an einer Axe oder Welle zwei ungleich große gezahnte Räder, so nennt man das kleinere Rad vorzugsweise Getriebe, und die Zähne desselben, Triebstöcke.

Sind mehrere gezahnte Räder und Getriebe so mit einander verbunden, daß ein Rad in das nächste Getriebe eingreift, so verhält sich dabei Kraft zur Last, wie das Produkt der Radien der Getriebe zum Produkt der Radien der Räder, ganz nach demselben Gesetze wie bei dem zusammengesetzten Hebel in § 94.

Es sei (Fig. 19) ein solches Räderwerk. An dem äußersten Getriebe a wirkt mittelst einer Kurbel og die Kraft P, und an der Welle des äußersten großen Rades D die Last Q.

Wenn man die Radien der Getriebe a, b, c, d durch r, r′, r″, r‴ und die Radien der ihnen zugehörigen großen Räder beziehungsweise durch R, R′, R″, R‴ bezeichnet; so wird zwischen der Kraft P und der Last Q Gleichgewicht stattfinden, wenn sich verhält

Kraft P : q (Last) = r : R, wobei die Last q an der Welle a wirkend gedacht wird;
Kraft q : q′ (Last) = r′ : R′, wobei die Last q′ an der Welle b wirkend gedacht wird;
Kraft q′ : q″ (Last) = r″ : R″ wobei q″ an der Welle c wirkt;
Kraft q″ : Q (Last) = r‴ : R‴ wobei die Last Q wirklich an der Welle d wirkt.

Folglich $P : Q = r . r' . r'' . r''' : R . R' . R'' . R'''$.

also $P = \frac{r . r' . r'' . r'''}{R . R' . R'' . R'''} . Q.$

Es bestehe z. B. ein Räderwerk aus 4 Rädern, deren Halbmesser 10, 12, 15, 18, Zoll und die Halbmesser der zugehörigen Getriebe 4, 5, 8, 10 Zoll sind; es fragt sich, welche Last kann mit einer Kraft von 50 Pfund bei einem solchen Räderwerke gehoben werden? Antwort. $50 \text{ Pfund} = \frac{4 . 5 . 8 . 10 . Q.}{10 . 12 . 15 . 18}$ Pfund; also

$Q = 1012\frac{1}{2}$ Pfund.

Auch hier gilt der Satz: was man beim Wellrade und Räderwerke einerseits an Kraft gewinnt, geht andererseits an Zeit oder Geschwindigkeit verloren. Denn es verhält sich die Geschwindigkeit des von der Welle d entferntesten Rades A zu der Geschwindigkeit des Rades D umgekehrt, wie das Produkt aller Radien der Getriebe zum Produkt aller Radien der Räder, oder, was dasselbe ist: umgekehrt wie das Produkt der Anzahl der Triebstöcke aller Getriebe zum Produkte der Anzahl der Zähne aller Räder.

4) Die schiefe Ebene.

§ 108. Jede Ebene, die mit dem Horizonte einen spitzen Winkel macht, heißt eine schiefe Ebene (Fig. 21). Der senkrechte Durchschnitt einer schiefen Ebene wird durch ein rechtwinkliges Dreieck vorgestellt, dessen Hypotenuse BC die Länge, die vertikale Kathete BA die Höhe, und die horizontale Kathete AC die Grundlinie der schiefen Ebene heißt.

Es verhält sich bei einem mit der schiefen Ebene parallelen Zuge, im Zustande des Gleichgewichts, die Größe der Gegenkraft zum absoluten Gewichte der Last, wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge.

Der Schwerpunkt der Last Q, d. i. derjenige Punkt in der Last Q, in welchem man sich das ganze Gewicht derselben vereinigt denkt, liege in c. Dieser schwere Punkt würde, wenn ihn nicht die schiefe Ebene daran hinderte, der senkrechten Richtung eg der Schwerkraft folgen. Es stelle cb die Richtung und die Größe des Gewichts der Last Q vor; man zerlege cb in 2 Seitenkräfte, von denen die eine ca senkrecht auf der schiefen Ebene stehe, und die andere cd parallel derselben gehe. Die senkrecht auf die schiefe Ebene wirkende Kraft ca übt nur einen Druck auf dieselbe aus und trägt nichts zur Bewegung der Last Q bei; es treibt daher nur der Theil cd die Last längs der Ebene herab. Eine Gegenkraft = cd würde die Last Q auf der schiefen Ebene im Gleichgewichte erhalten. Da nun $\triangle$ bcd $\sim$ $\triangle$ ABC ist, so verhält sich

cd : cb = AB : BC, d. h. es verhält sich bei einem mit der schiefen Ebene parallelen Zuge, im Zustande des Gleichgewichts, die Größe der Gegenkraft zum absoluten Gewicht der Last, wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge.

§ 109. Wenn die Kraft aber in einer Richtung wirkt, die parallel der Grundfläche der schiefen Ebene ist, so verhält sich hier, im Zustande des Gleichgewichts, die Größe der Gegenkraft zum absoluten Gewichte der Last, wie die Höhe der schiefen Ebene zur Länge ihrer Grundfläche.

Man zerlege (Fig. 22) die lothrechte Linie cb welche die Richtung und das absolute Gewicht der Last Q vorstelle, in die beiden Seitenkräfte ch und cg, von denen die Kraft ch parallel der Grundfläche, und die andere Kraft eg senkrecht auf der Ebene sei. Die Kraft eg geht wegen des Widerstandes der schiefen Ebene verloren, und die Kraft ch treibt die Last Q längs der Ebene herab. Eine Gegenkraft = ch wird demnach der Last Q auf der schiefen Ebene das Gleichgewicht halten. Wegen der Ähnlichkeit der Dreiecke bch und ABC verhält sich hier

ch : cb = AB : AC, d. h. es verhält sich, bei einem mit der Grundfläche der schiefen Ebene parallelen Zuge, im Zustande des Gleichgewichtes, die Größe der Gegenkraft zum absoluten Gewicht der Last, wie die Höhe der schiefen Ebene zur Länge ihrer Grundfläche.

Anmerkung. Bei obigen Berechnungen ist die Reibung außer Acht gelassen.

§ 110. Aus den gefundenen Gesetzen in §§ 108 und 109 geht hervor, daß alle Körper auf der schiefen Ebene zum Theil von derselben unterstützt werden, und daß die Größe der Unterstützung von der Größe des Neigungswinkels der schiefen Ebene abhängig ist; je größer der Neigungswinkel, desto geringer die Unterstützung der Last von Seiten der schiefen Ebene, desto größer muß daher die angewandte Gegenkraft sein, um die Körper auf der schiefen Ebene im Gleichgewicht zu erhalten.

Die Größe des Neigungswinkels, von dem die Unterstützung der Kraft abhängt, wird durch das Verhältniß zwischen Höhe und Länge der schiefen Ebene bestimmt, diese bezeichnen darum auch das Verhältniß zwischen Last und Kraft. Hat z. B. die schiefe Ebene eine Neigung gegen den Horizont von 90°, so müssen Kraft und Last gleich sein, wie Höhe und Länge derselben einander gleich sind; ist der Neigungswinkel = 0, so ist die Höhe und die zur Unterstützung nöthige Kraft = 0.

§ 111. Bei dem Tragen einer Last über einen Berg ist mehr Kraft anzuwenden, als erforderlich ist, wenn sie auf der horizontalen Ebene fortgetragen werden soll, indem der Arbeiter im ersten Falle nicht nur das absolute Gewicht der Last selbst zu tragen hat, sondern auch dem Herabrutschen der Last und seines eigenen Körpers längs der schiefen Ebene das Gegengewicht halten muß.

Es sei z. B. die Ebene unter einem Winkel von 30° gegen den Horizont geneigt, in welchem Falle sich die Höhe der schiefen Ebene zu der Länge derselben verhält = 1 : 2; die Last sei = 40 Pfund und das Gewicht des diese Last tragenden Arbeiters = 140 Pfund, so würde dieser 40+20+70=130 Pfund zu tragen haben, wenn er längs der schiefen Ebene hinaufginge; d. h. er hat außer der Last von 40 Pfund noch die Hälfte derselben (20 Pfund) und die Hälfte des Gewichts seines eigenen Körpers (70 Pfund) zu tragen, während er auf der Horizontalebene nur jene 40 Pfund Last allein zu tragen hätte.

Um einen Lastwagen auf einem geneigten Wege aufwärts zu ziehen, muß außer der Kraft, welche nöthig ist, um die Reibung zu überwinden, die ja auch bei ganz horizontalem Wege überwunden werden muß, noch eine Kraft angewendet werden, um dem mit der schiefen Ebene parallel wirkenden Antheil der Schwerkraft das Gleichgewicht zu halten. Aus diesem Grunde führt man an steilen Bergen die Wege nicht gerade aus, sondern man zieht vor, große Umwege zu machen und den Weg in Windungen, die weniger steil sind, auf den Gipfel zu führen. Eben so werden bei Bauten die Materialien auf dazu errichteten Gerüsten, welche schiefe Ebenen bilden, in die Höhe geführt.

Auch bei der schiefen Ebene ergibt sich der Satz: was man an Kraft gewinnt, geht an Zeit oder Geschwindigkeit verloren.

Der Hebel und die schiefe Ebene liegen allen übrigen Maschinen zu Grunde; daher sie auch Fundamentalmaschinen heißen.

5) Die Schraube.

§ 112. Die Schraube (Fig. 23) ist eine um einen Cylinder herumgewundene schiefe Ebene. Man kann sich eine Schraubenlinie entstanden denken, indem man annimmt, es winde sich ein rechtwinkliges Dreieck abc, als Durchschnitt einer schiefen Ebene, so um einen Cylinder C, daß die eine Kathete ac desselben mit der Peripherie der Grundfläche des Cylinders zusammenfällt; die Hypotenuse bc bildet dann den Schraubengang, die zweite Kathete ab die Höhe des Schraubenganges oder die Schraubenweite. Wickelt man nun längs der Schraubenlinie bc ein schmales vier- oder dreiseitiges Prisma herum, so machen mehrere solcher Umläufe das Schraubengewinde aus. Im ersten Falle entsteht ein flaches (Fig. 24), im zweiten Falle ein scharfes Schraubengewinde (Fig. 25). Ist jenes Prisma auf der äußern Fläche des Cylinders aufgewickelt, so heißt die Schraube eine solide Schraube oder Schraubenspindel; ist aber das Prisma auf der innern hohlen Fläche umgewickelt oder eingeschnitten, so nennt man sie Schraubenmutter. Beide Schraubenarten sind immer mit einander verbunden und müssen genau in einander passen.

§ 113. Bei einer Schraube wirkt die Kraft parallel zur Grundfläche der schiefen Ebene; daher wird nach § 109 sich verhalten

die Kraft P : Last Q = h (Höhe) : b (Grundlinie).

Es ist aber h der Abstand zweier Schraubengänge, und die Grundlinie b der schiefen Ebene ist gleich der Peripherie der Schraubenspindel.

Da gewöhnlich die Kraft nicht unmittelbar an der Schraube wirkt, sondern an einem damit verbundenen Hebel a (Fig. 24), welcher seinen Unterstützungspunkt im Mittelpunkt der Schraube hat; so kann die mit dem Hebel a beschriebene Peripherie als Umfang der Schraubenspindel betrachtet werden. Demnach verhält sich Kraft zur Last, wie die Schraubenweite (h) zur Peripherie des Kreises, welchen die Kraft K mit dem Hebelsarm a beschreibt. Eine Schraube ist also desto wirksamer, je enger die Schraubengänge und je größer der Durchmesser der Spindel ist.

Die Schraube wird theils gebraucht, um große Lasten zu heben, theils um einen großen Druck auszuüben, wie bei den Schraubenpressen. Sie dient ferner als Befestigungsmittel zweier Gegenstände, als Stellschraube bei Mikroskopen und Mikrometern u. s. w. Die zu überwindende Last ist bald an der Schraubenspindel, bald an der Mutterschraube angebracht.

Bei obiger Berechnung ist die Reibung, die bei der Schraube bedeutend groß ist, außer Acht gelassen.

Auch bei der Schraube bewährt sich der Satz: was einerseits an Kraft gewonnen wird, geht andererseits an Zeit oder Geschwindigkeit verloren.

§ 114. Die Schraube ohne Ende (Fig. 26) ist eine Schraube, deren Gänge in die Zähne eines Rades so eingreifen, daß dieses durch Umdrehung der Schraube auch umgedreht wird, wodurch eine fortdauernde Bewegung im Kreise erhalten, und eine große Kraftersparung erzielt werden kann.

An der Schraube ohne Ende verhält sich nämlich die Kraft p zur Last q, wie die Weite ac des Schraubenganges zu dem Umfange des mit der Kurbellänge bd beschriebenen Kreises; also

$$p : q = ac$$: dem Umfange des mit bd beschriebenen Kreises; und in Beziehung auf das Stirnrad AB,

$$q : Q = CA : CD \quad (\S\ 103)$$

folglich $p : Q = ac \cdot CA$: Umfang des mit bd beschriebenen Kreises, mult. mit CD. Ist $ac = \frac{1}{4}''$, $CA = 4''$, Umfang des mit bd beschriebenen Kreises $= 75{,}36''$ und $CD = 16''$; so verhält sich

$p : Q = \frac{1}{4} \cdot 4 : 75{,}36 \cdot 16 = 1 : 1205{,}76$; wobei die Reibung und die Steifheit des Seils unberücksichtigt gelassen sind.

6) Der Keil.

§ 115. Ein dreiseitiges Prisma, dessen eine Kante zwischen zwei Körper hineingetrieben wird, um sie zu trennen, heißt ein Keil, und dessen oberer Theil, Kopf desselben. Es stelle abc (Fig. 27) den senkrechten Durchschnitt eines Keils vor. Die Senkrechte cd von der Spitze c des Keils auf die Ebene des Kopfes ist die Höhe oder Länge des Keils. Diese Senkrechte theilt den Keil in zwei gleiche Theile, von denen jeder wieder ein Keil ist. Wird der Keil abc in einen zum Theil gespaltenen Klotz ABD getrieben, so wirken seine beiden Theile, nämlich die rechtwinkligen Keile adc und bdc gleichsam wie schiefe Ebenen, auf welche, parallel mit ihren Hypotenusen ac und cb, Lasten hinauf gedrückt werden. Indem nun eine Kraft P (z. B. Schläge mit dem Beile) auf die Fläche des Kopfes wirkt, dringt der Keil abc weiter und spaltet den Körper. Folglich wird sich hier, ohne Berücksichtigung der bedeutenden Reibung, verhalten nach § 108.

$$\tfrac{1}{2}P : Q = ad : ac, \text{ (bei dem Keile adc)}$$
$$\tfrac{1}{2}P : Q = db : bc \text{ oder } ac \text{ (bei dem Keile bdc)};$$

folglich $P : 2Q = (ad + db)$ oder $ab : 2ac$, oder

$P : Q = ab : ac$, d. h. die Kraft P verhält sich zum Widerstand der Cohäsionskraft Q des Klotzes, wie die Breite ab des Kopfes zu der Seitenlänge ac des Keils. Ein Keil wird also desto leichter in einen Körper hineindringen, je schmäler sein Kopf und je länger er selbst ist.

Man benutzt den Keil, außer zum Spalten der Körper, auch noch, um Körper an einander zu drücken z. B. bei der Treiblade der Zimmerleute, als Vorsteckstifte und Lösekeile;

ferner zum Auspressen von Flüssigkeiten, zum Heben von Lasten u. s. w. Messer, Beile, Meisel, Scheeren, Nägel, Schwerter, Zähne, Pflüge, Nadeln Hobeln, u. s. w. wirken als Keile.

Auch bei dem Keil bewährt sich, wie bei allen einfachen Maschinen, der Satz: was einerseits an Kraft gewonnen wird, geht andrerseits an Zeit oder Geschwindigkeit verloren. Daher verstärken die Maschinen keineswegs die an ihnen thätigen Kräfte, sondern sind nur Veränderungs- und Erleichterungsmittel bei der Anwendung bewegender Kräfte, weil die Größe der Bewegung (d. h. das Produkt der Masse in die Geschwindigkeit) bei allen Maschinen stets gleich ist.

Vom Schwerpunkt.

§ 116. Wenn ein Körper, in einem seiner Punkte unterstützt, im Gleichgewichte steht, so hat die Unterlage das ganze Gewicht des Körpers zu tragen; daher kann man die Summe der Gewichte aller materiellen Theile eines Körpers als in Einem Punkte vereinigt denken. Dieser Punkt, den man den Schwerpunkt des Körpers nennt, strebt immer die niedrigste Lage einzunehmen. Ein Körper, in seinem Schwerpunkte unterstützt oder daran aufgehängt, kann auf seiner Unterstützung in jeder Lage balanciren, ohne zu fallen. Daher ist der Schwerpunkt eines Körpers derjenige Punkt in demselben, von welchem aus nach allen Richtungen hin, alle materiellen Punkte einander das Gleichgewicht halten, weßhalb auch der Schwerpunkt der Mittelpunkt der Masse heißt. So lange der Schwerpunkt unterstützt ist, kann der Körper nicht fallen. Hieraus ist erklärlich, warum ein schief stehender Körper, wie der Thurm zu Pisa, nicht fällt, sobald die Senkrechte aus seinem Schwerpunkte noch innerhalb seiner Grundfläche fällt; in welchem Falle der Schwerpunkt in der Richtung der Schwere noch unterstützt ist.

§ 117. Bei jedem Körper von regelmäßiger Gestalt, gleicher Dichtigkeit und Dicke fällt der Schwerpunkt immer mit seinem geometrischen Mittelpunkte zusammen. Bei hohlen Körpern, z. B. bei Ringen, Kesseln ꝛc. fällt der Schwerpunkt außerhalb ihrer Masse. Bei senkrechten Pyramiden und Kegeln liegt der Schwerpunkt in der Linie, welche die Spitze mit dem Schwerpunkte der Grundfläche verbindet, und zwar in einer Entfernung von dieser, die dem vierten Theil der Verbindungslinie gleich ist; bei einem Dreiecke in der Linie, welche die Spitze mit der Mitte der Grundlinie verbindet, und zwar um den dritten Theil dieser Verbindungslinie von der Grundlinie aus.

§ 118. In den meisten Fällen sucht man den Schwerpunkt eines Körpers dadurch, daß man ihn an einem Faden in zwei verschiedenen Punkten der Oberfläche aufhängt; die beiden durch den Körper hindurch verlängerten Richtungen des Fadens sind alsdann die Richtungslinien der Schwere, und ihr Durchschnittspunkt der Schwerpunkt des Körpers.

§ 119. Die Standfestigkeit eines Körpers ist desto größer, je näher sein Schwerpunkt an die Grundfläche fällt, und je größer diese ist im Verhältniß zu seiner Höhe.

Hierauf beruht das Belasten eines Schiffes mit Ballast und eine Menge artiger Spielwerke z. B. des Purzelmännchens, der falschen Würfel u. s. w. Soll nämlich das Schiff nicht umschlagen, so muß sein Schwerpunkt tiefer liegen, als der Schwerpunkt des von ihm verdrängten Wasserkörpers. Ein Schiff schwimmt also um so sicherer, je breiter der eingetauchte Theil desselben ist, und je tiefer sein Schwerpunkt liegt.

§ 120. Auf der Theorie des Schwerpunkts beruht es auch, warum ein Mensch mit der einen Seite vom Fuße bis zur Hüfte an eine Wand gelehnt, den Fuß nicht heben kann, ohne zu fallen; warum er, auf einem Stuhle sitzend und mit dem obern Theil des Körpers die Lehne, mit den ausgestreckten Füßen den Boden berührend, nicht aufstehen kann, ohne jenen stark vorwärts zu beugen und diesen zurückzuziehen; warum er sich vorwärts beugt, wenn er eine Last auf dem Rücken trägt, rückwärts, wenn er die Last vorn hat; warum ein Rad, dessen Schwerpunkt mehr nach seiner Peripherie hin versetzt ist, scheinbar auf einer schiefen Ebene hinauf rollt.

§ 121. Wenn die Theile der Masse eines Körpers ihre Lage gegen einander ändern, ändert sich auch die Lage des Schwerpunktes.

Hierauf beruht die Kunst der Seiltänzer, das Beladen der Schiffe, der Wagen u. s. w. Hebt z. B. ein Mensch seinen Arm auf, so wird der Schwerpunkt seines Körpers verrückt; streckt ein Vogel seinen Hals aus, so wird sein Schwerpunkt bedeutend nach vorn gebracht. Die Kunst des Seiltänzers besteht darin, den Schwerpunkt seines Körpers stets senkrecht über dem Seil zu erhalten.

Zweiter Abschnitt.

Von den Gesetzen der Bewegung fester Körper (Dynamik).

§ 122. So wie die Ruhe eines Körpers durch gegenseitige Aufhebung entgegengesetzter Kräfte entsteht, so läßt sich auch umgekehrt jede Bewegung als eine Folge des aufgehobenen Gleichgewichts betrachten.

§ 123. Der Raum, den ein Körper durchläuft, heißt sein **Weg**, und die Dauer, während welcher er diesen Weg zurücklegt, nennt man **Zeit**. Aus der Vergleichung des Weges, den ein Körper zurücklegt, und der Zeit, die er auf denselben verwendet, erhält man den Begriff von seiner **Geschwindigkeit**. Als Maß der Geschwindigkeit nimmt man den Raum an, den ein Körper in 1 Secunde durchläuft; die **Größe der Bewegung** bestimmt sich nach § 83 aus der Masse (Gewicht) und der Geschwindigkeit des bewegten Körpers.

Die Geschwindigkeit eines Fußgängers ist ungefähr 5, eines mäßigen Windes 10, einer Lokomotive 40, eines Sturmes 50, eines englischen Rennpferdes 60, eines Adlers 90, einer Flintenkugel 1500, einer Kanonenkugel 2000 Fuß und die des Lichtes ist sogar über 42000 Meilen in 1 Secunde.

§ 124. Die Bahn eines bewegten Körpers ist entweder **geradlinig** oder **krummlinig**. Die Richtung der Bewgeung eines Körpers stimmt allemal mit der Richtung der auf ihn wirkenden Kraft, oder, wenn mehrere Kräfte unter einem Winkel auf ihn einwirken, mit der Richtung der mittlern resultirenden Kraft überein. (§ 77.)

§ 125. Legt ein Körper in gleichen Zeiten auch gleiche Wege zurück, oder bleibt seine Geschwindigket immer gleich, so nennt man seine Bewegung **gleichförmig**; im entgegengesetzten Falle, **ungleichförmig**. Die ungleichförmige Bewegung ist entweder **beschleunigt**, wenn die Geschwindigkeit immer wächst, oder **verzögert**, wenn diese immer abnimmt.

§ 126. Die beschleunigte und die verzögerte Bewegung ist **gleichförmig**, wenn die Zu- und Abnahme der Geschwindigkeit in jedem Zeittheilchen gleich ist, oder **ungleichförmig**, wenn die Zu- und Abnahme der Geschwindigkeit größer oder kleiner ist, als in dem vorhergehenden Zeittheil-

chen. Gleichförmig beschleunigt wirkt die anziehende Kraft der Erde auf fallende Körper; gleichförmig verzögert aber die Wurfkraft auf Körper, die sich von der Erde immer mehr entfernen. Ungleichförmig beschleunigt oder verzögert ist die Wirkung der thierischen Kräfte, des Windes und des Wassers auf Maschinen u. s. w.

Die einzig gleichförmige Bewegung ist die Axenbewegung der Erde.

1. Von der gleichförmigen Bewegung der Körper.

§ 127. Wenn eine augenblicklich wirkende Kraft einem Körper einen Stoß gibt, so bewegt sich dieser nach dem Gesetze der Beharrlichkeit (§ 26) gleichförmig nach der Richtung, von welcher er von dieser Kraft getrieben wird. Daher ist hier der, in der zur Einheit angenommenen Zeit, von dem Körper wirklich zurückgelegte Weg das Maß der Geschwindigkeit. Gesetzt, ein Körper mache in jeder Secunde einen Weg von 5 Fuß, so ist seine Geschwindigkeit = 5′ für 1 Secunde; demnach wird dieser Körper in 10 Secunden auch einen 10mal größern Weg als in 1 Sec., also 10 . 5 = 50 Fuß zurücklegen. Bezeichnen wir mit S den von einem Körper mit gleichförmiger Geschwindigkeit zurückgelegten Weg, mit C seine Geschwindigkeit und mit T die Dauer der Zeit seiner Bewegung; so wird immer sein S = C . T; folglich $\frac{S}{T} = C$, und $\frac{S}{C} = T$. Haben s, t, c, dieselbe Bedeutung für einen zweiten bewegten Körper, so ist

1) S : s = C . T : c . t, d. h. die zurückgelegten Wege zweier Körper verhalten sich, wie die Produkte ihrer zugehörigen Geschwindigkeiten und Zeiten.

Ist T = t; so verhält sich

2) S : s = C : c, d. h. die in gleichen Zeiten zurückgelegten Wege zweier Körper verhalten sich wie ihre Geschwindigkeiten.

Ist C = c, so ist

3) S : s = T : t, d. h. die von zwei Körpern mit gleicher Geschwindigkeit zurückgelegten Wege verhalten sich wie die Zeiten.

Ist S = s, so ist C . T = c . t; also verhält sich

4) C : c = t : T, d. h. die Geschwindigkeiten zweier Körper verhalten sich bei gleichen zurückgelegten Wegen umgekehrt wie ihre Zeiten.

2. Von der gleichförmig beschleunigten Bewegung.

§ 128. Der Fall eines Körpers ist die durch seine Schwere bewirkte Bewegung desselben zur Erde; deßhalb ist der Weg, den der Körper beim freien Falle zurücklegt, stets nach dem Mittelpunkt der Erde hingerichtet (§ 30). Diese Richtung nennt man lothrecht oder vertikal und die gerade Linie, auf welcher die vertikale Richtung senkrecht steht, heißt horizontal oder wagerecht.

§ 129. Beobachten wir die Geschwindigkeit eines frei fallenden Körpers von einem hohen Gegenstande herab, so sehen wir, daß sie mit der Dauer

zunimmt, und zwar ist diese Zunahme an Geschwindigkeit gleichförmig beschleunigt, wie dieß aus der nachstehenden Betrachtung sich leicht ergibt.

Wir wollen zuvörderst annehmen, daß die Schwerkraft der Erde auf den fallenden Körper nach jedem unendlich kleinen Zeittheilchen neuerdings und mit gleicher Stärke einwirke. Erhält der Körper nun am Ende des ersten Zeittheilchen die Geschwindigkeit c, so würde er diese vermöge der Beharrlichkeit, ohne neue Einwirkung einer Kraft auch im zweiten Zeittheilchen beibehalten; durch die ununterbrochene Einwirkung der Schwerkraft aber erhält er zur bereits erlangten Geschwindigkeit c noch neuerdings c, und wird daher am Ende des zweiten Zeittheilchen die Geschwindigkeit $c + c = 2c$; in gleicher Art am Ende des dritten Zeittheilchen die Geschwindigkeit $2c + c = 3c$ u. s. w. und am Ende des t^{ten} Zeittheilchens die Geschwindigkeit $C = t \cdot c$ oder $c \cdot t$ erhalten.

Am Anfange der Bewegung hat der Körper die Geschwindigkeit $= 0$, am Ende seiner Bewegung die Geschwindigkeit $C = c.t$; seine mittlere Geschwindigkeit wird demnach sein $= \frac{0 + c \cdot t}{2} = \frac{c \cdot t}{2}$

Mit dieser mittlern Geschwindigkeit $\left(\frac{c \cdot t}{2}\right)$ kann man annehmen, habe sich der Körper gleichförmig während der t Zeittheilchen fortbewegt, und somit (nach § 127) den Raum $S = \frac{c \cdot t}{2} \times t = \frac{c \cdot t^2}{2}$ zurückgelegt. Kennt man nun aus Erfahrung den in der 1sten Sec. mit ebenfalls gleichförmig beschleunigter Bewegung durchlaufenen Raum, welchen wir g nennen wollen; so wird man durch Substitution in die obige Gleichung $\left(S = \frac{c \cdot t^2}{2}\right)$ erhalten:

$g = \frac{c \cdot 1^2}{2} = \frac{c}{2}$, und hieraus $c = 2g$. Folglich ist

I. $S = g \cdot t^2$ und

II. Die Endgeschwindigkeit $C = 2g \cdot t$, d. h. man findet (durch die Gleichung I.) den in einer gewissen Zeit t durchlaufenen Raum S eines freifallenden Körpers, wenn man das Quadrat der Zeit (t) mit dem in der ersten Secunde durchlaufenen Raum (g) multiplicirt; und (durch die Gleichung II.) die Endgeschwindigkeit C nach einer gewissen Zeit t, wenn man die Zeit t mit dem doppelten Fallraum (2 g) in der ersten Secunde multiplicirt.

Sucht man aus der Gleichung I. einen Werth für t, nämlich $t = \sqrt{\frac{S}{g}}$, und substituirt diese Größe in die Gleichung II.; so erhält man

III. $C = 2\sqrt{g \cdot S}$. Eben so findet man aus der Gleichung II. für $t = \frac{c}{2g}$, also $t^2 = \frac{c^2}{4g^2}$; mithin

IV. $S = \frac{c^2}{4g}$. (s. Gleichung I.)

§ 130. Bezeichnet man den in der Zeit t' zurückgelegten Weg mit S', so wird $S' = g \cdot t'^2$ sein (§ 127). Folglich verhält sich $S : S' = g \cdot t^2 : g \cdot t'^2 = t^2 : t'^2$, d. h. die in verschiedenen Zeiten zurückgelegten Fallräume verhalten sich wie die Quadrate der Zeiten, also die in 1, 2, 3, 4.... Secunden zurückgelegten Räume beim freien Falle der Körper, wie 1 : 4 : 9 : 16 u. s. w.

§ 131. Wird der in der ersten Secunde zurückgelegte Weg mit 1 bezeichnet, so ist der in der 2ten Sec. zurückgelegte Weg $= 4 - 1 = 3$; der in der 3ten Sec. gemachte Weg $= 9 - (1 + 3) = 5$; der in der 4ten Sec. zurückgelegte Weg $= 16 - (1+3+5) = 7$ u. s. w., d. h. die in den einzelnen Secunden zurückgelegten Fallräume verhalten sich wie die ungeraden Zahlen 1 : 3 : 5 : 7 u. s. w. oder, wie das Doppelte der Zeiträume weniger Eins.

§ 132. Da $C = 2 g . t$ ist, so ist $C' = 2 g . t'$; folglich verhält sich $C : C' = 2 g . t : 2 g . t' = t : t'$, d. h. die am Ende der einzelnen Secunden erlangten Geschwindigkeiten zweier frei fallender Körper verhalten sich, wie die zum Fallen erforderlichen Zeiten.

§ 133. Durch genau angestellte Versuche und Rechnung fand (1602) Galiläi, daß ein Körper im luftleeren Raume in der ersten Secunde einen Weg von 15,094 par. oder 15,625 rheinländische Fuß, also ungefähr 15,1 par. oder 15,5 rh. Fuß zurücklegt; daher wird man in den obigen Formeln für g die Zahl 15,1 oder auch, der Leichtigkeit der Rechnung wegen, nur 15 Fuß substituiren.

Die beobachteten Fallräume sind stets kleiner, als man nach der Theorie erwarten sollte. Dieser Unterschied rührt von dem Widerstande der Luft her, der im quadratischen Verhältnisse der Geschwindigkeit wächst. —

Aufgaben zu § 129: 1) Wie tief fällt ein Körper in der 10ten Secunde? (285′); 2) Wie tief fällt ein Körper in 10 Secunden? (1500′); 3) Welche Geschwindigkeit hat ein frei fallender Körper am Ende der 10ten Secunde erlangt? (300′); 4) Wie viel Zeit braucht ein Körper, um 400 Fuß tief zu fallen? (5,16 Sec.); 5) Und welche Geschwindigkeit erlangt er dabei? (154,9′); 6) Wie viel Zeit braucht ein Körper, und von welcher Höhe herab muß er fallen, um eine Geschwindigkeit von 125′ zu erlangen? (4,166 Secunden und 260,4′ Höhe).

7) Welche Endgeschwindigkeit erlangt ein von einem 600 Fuß hohen Thurme herabfallender Körper? Und in welcher Zeit durchfällt er diesen Raum? (193,6′ und 6,32 Sec.)

8) Von welcher Höhe ist ein Körper herabgefallen, der 25 Sec. hindurch gefallen ist? (9375′.)

9) Von welcher Höhe muß ein Körper fallen, um eine Endgeschwindigkeit von 1200′ zu erhalten? (24000′).

10) Wie viel Fuß oder Zoll wird ein frei fallender Körper in der Entfernung des Mondes von der Erde (= 60 Erdhalbmessern) in der ersten Secunde seines Falles zurücklegen?

Da nach § 30 ein Körper in der Entfernung des Mondes von der Erdschwere um $60^2 = 3600$ mal schwächer angezogen wird, als in der Nähe der Erde; so wirkt die Erdschwere auf ihn mit einer Stärke, die durch $\frac{1}{3600}$ Fuß in der 1sten Secunde ausgedrückt wird; folglich durchfällt der Körper in jener Entfernung von der Erde einen Raum von $\frac{60^2 \cdot 15}{3600}$ Fuß in 60 Secunden (nach der Formel: $g . t^2$ in § 127), mithin in der 1sten Sec. einen Raum von $\frac{60^2 \cdot 15}{3600 \cdot 60}$ Fuß $= \frac{15}{60}$ Fuß $= 3$ Zoll.

§ 134. Die Bewegung eines Körpers von einer schiefen Ebene herab ist auch eine gleichförmig beschleunigte, weil auch hier die Schwerkraft die einzige sie bewirkende Ursache ist.

Die Beschleunigung des Falles des Körpers erfolgt hier ganz nach den Gesetzen des freien Falles (§ 133), nur mit dem Unterschiede, daß der Fall in der ersten Secunde nicht nur überhaupt kleiner als beim freien Falle, sondern auch ein veränderter ist, indem er desto größer wird, je größer der Winkel ist, welchen die schiefe Ebene mit dem Horizonte bildet.

Der Fallraum auf der schiefen Ebene in der ersten Sec. ist $= \frac{h}{l} . 15$ Fuß, wenn h die Höhe, und l die Länge der schiefen Ebene bezeichnen.

Bezeichnet g' den in der ersten Sec. auf einer schiefen Ebene zurückgelegten Raum, mithin 2g' die Endgeschwindigkeit der ersten Secunde, so verwandeln sich die Formeln in § 127 in folgende:

$$c' = 2g' . t, \text{ und } s' = g' . t^2$$

§ 135. Es läßt sich ferner leicht übersehen, daß die Endgeschwindigkeit eines auf der schiefen Ebene herabrollenden Körpers eben so groß sei, als diejenige, welche der Körper erhalten würde, wenn er (Fig. 28) von der Höhe a der schiefen Ebene af frei herabgefallen wäre, weil in beiden Fällen die Schwerkraft die alleinige Ursache der Beschleunigung des Falles ist, und jene den Körper in gleicher Entfernung von der Erde gleich stark anzieht; mithin werden die Endgeschwindigkeiten in b und c, in d und o, in f und g gleich sein.

Dieß gilt auch vom Falle der Körper auf krummen Flächen, so daß, wenn der Körper längs af oder ag oder aklh fällt, er immer dieselbe Fallgeschwindigkeit haben muß, wenn er die Horizontalebene in f, g oder h erreicht hat. Dieß liefert den großen Vortheil, daß man durch den Fall jedem Körper eine beliebige Geschwindigkeit in jeder verlangten Richtung ertheilen kann. Dazu braucht man ihn nur von der erforderlichen Höhe fallen zu lassen, aber längs einer krummen Fläche, die sich in der verlangten Richtung endigt.

§ 136. Es verhält sich der Fallraum eines frei fallenden Körpers zu dem Fallraume auf der schiefen Ebene in derselben Zeit, wie die Länge der schiefen Ebene zu ihrer Höhe.

Es stelle bc (Fig. 29) den Weg dar, den ein frei fallender Körper vermöge der Schwerkraft der Erde in einer gewissen Zeit zurücklegt.

Man zerlege nach § 81 bc in die beiden Seitenkräfte bd und cd; es geht die auf ab senkrecht stehende Kraft cd wegen des Widerstandes der Ebene ab verloren, und es bleibt nur die Kraft bd übrig, welche den schweren Punkt b längs der schiefen Ebene in derselben Zeit herabtreibt, in welcher er von b nach c im freien Falle gelangt sein würde. Da $\triangle$ bcd $\sim \triangle$ abc ist, so verhält sich bd : bc=bc : ba d. h. es wird der schwere Punkt b auf der schiefen Ebene durch die Schwerkraft getrieben, die Länge eines Weges= bc zurücklegen, während er in derselben Zeit im freien Falle einen Weg=ab durchläuft.

3. Von der Wurfbewegung.

§ 137. Wenn ein Körper durch irgend einen Stoß im freien Raume fortgeht, so wirkt außer der Kraft des Stoßes auch noch die irdische Schwere auf diesen Körper, und seine Fortbewegung heißt eine Wurfbewegung oder Wurf. Die Kraft des Stoßes wird Wurfkraft, und die Lehre des Wurfes, Ballistik genannt.

§ 138. Bei einem geworfenen Körper wirken die Wurfkraft (als augenblickliche und gleichbleibende Kraft) und die Schwerkraft (als stetige

Kraft) entweder in derselben Richtung, oder in entgegengesetzten Richtungen, oder in Richtungen, welche einen gewissen Winkel mit einander bilden.

§ 139. Wird ein Körper mit der Wurfgeschwindigkeit c lothrecht herab geworfen, in welchem Falle Wurf- und Schwerkraft in derselben Richtung wirken; so ist die Endgeschwindigkeit $C = c + 2g.t$, und der in t Secunden durchfallene Raum $S = t^2 . g + t . c$; denn es fällt der Körper in der 1sten Sec. $1 . 15 + c$ Fuß, in der 2ten Sec. $3 . 15 + c$ Fuß, in der 3ten Sec. $5 . 15 + c$ Fuß, folglich wird er in einer Sec. fallen $1 . 15 + c$ Fuß in 2 Secunden $4 . 15 + 2c$ Fuß, in 3 Secunden $9 . 15 + 3c$ Fuß, und in t Secunden $t^2 . g + t . c$ Fuß.

§ 140. Bei einem senkrecht hinaufgeworfenen Körper wirkt die Schwerkraft der Wurfkraft direkt entgegen. Seine Geschwindigkeit muß also immer mehr abnehmen und zuletzt gleich Null werden, in welchem Falle die steigende Bewegung in die fallende übergeht. Das Gesetz für die Verminderung dieser Geschwindigkeit ergibt sich aus dem Vorhergehenden ganz einfach. Da nämlich die Geschwindigkeit bei einem fallenden Körper in jeder Secunde sich um 30 Fuß $= 2g$ vermehrt, so muß sie sich bei einem senkrecht hinaufgeworfenen Körper in jeder Secunde um eben so viel Fuß vermindern. Bedeutet c die anfängliche Wurfgeschwindigkeit, so ist die Geschwindigkeit v eines senkrecht in die Höhe geworfenen Körpers nach t Secunden $= c - 2g.t$ (§ 129, II.). Wird $2g.t = c$; so ist $v = 0$; es hat also der Körper seine größte Höhe h erreicht und er muß wieder zur Erde zurückkehren, und hier angelangt, eine Geschwindigkeit erlangen, die der Anfangsgeschwindigkeit gleich ist. Hieraus folgt also, daß, um einen Körper bis zu einer bestimmten Höhe von h Fuß vertikal in die Höhe zu werfen, man ihm eine Anfangsgeschwindigkeit ertheilen müsse, die gerade so groß ist, als diejenige, welche er durch den freien Fall von der Höhe h herab erlangt hätte.

§ 141. Die von einem senkrecht in die Höhe geworfenen Körper zurückgelegten Räume der einzelnen Zeiten nehmen, bei der anfänglichen Wurfgeschwindigkeit von c Fuß, ab, wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7 u. s. w. Hieraus folgt, daß die Räume der ganzen Zeiten abnehmen, wie die Quadrate der natürlichen Zahlen 1, 2, 3, 4 u. s. w.; denn der Körper würde in t Secunden mit der Geschwindigkeit c, wenn die Schwerkraft nicht auf ihn einwirkte, einen Raum von $t . c$ Fuß zurücklegen (§ 127). Da aber die Schwerkraft ununterbrochen auf ihn einwirkt, so wird diese ihn in t Secunden um $t^2 . g$ Fuß herabziehen, folglich würde der Körper im Ganzen nur die Höhe von $t . c - t^2 . g$ Fuß erreichen.

Aus dieser Darstellung geht hervor, daß die Bewegung des senkrecht aufwärts geworfenen Körpers gerade das Entgegengesetzte von der Bewegung des frei fallenden ist (§ 129, I).

Ist eine senkrecht aufwärts geworfene Kugel t Secunden ausgeblieben, so ist die Zeit, während welcher sie in die Höhe stieg $= \frac{t}{2}$; folglich die dadurch erreichte Höhe $= \left(\frac{t}{2}\right)^2 \cdot g = \frac{g.t^2}{4}$ (§ 129, I.)

Aufgaben: 1) Wie hoch wird eine senkrecht abgeschossene Kugel steigen, wenn sie die anfängliche Geschwindigkeit von 1000′ hat? (16666⅔′).

2) Wenn ein senkrecht in die Höhe geworfener Körper 12 Secunden ausbleibt, wie hoch war er gestiegen? (540 Fuß).

3) Welche anfängliche Geschwindigkeit hat eine senkrecht in die Höhe geworfene Kugel gehabt, wenn sie in einer gewissen Zeit die Höhe von 7000′ erreicht hatte? (648 Fuß).

4) Wie viel Zeit wird erforderlich sein, bis eine senkrecht, in die Höhe geworfene Kugel wieder die Erde erreicht, wenn sie 8000′ hoch gestiegen war? (23,094 Sec.).

§ 142. Wenn ein Körper durch eine Wurfkraft in horizontaler Richtung mit einer gewissen Geschwindigkeit fortgetrieben wird, so ist er auch hier, wie bei dem vertikalen Wurfe, den Einwirkungen zweier Kräfte, nämlich dem Beharrungsvermögen und der Schwerkraft unterworfen, und er beschreibt vermöge derselben eine krumme Linie, deren Gestalt sich aus den Gesetzen des Falles leicht construiren läßt. Die auf diese Weise von dem Körper beschriebene krumme Bahn ist ein Parabel-ast oder die Hälfte einer Parabel.

Anmerkung. Eine Parabel ist eine krumme Linie, die auf der Oberfläche eines Kegels entsteht, wenn eine durchschneidende Ebene parallel mit einer Seitenlinie durch den Kegel gelegt wird.

Der Körper würde sich, wenn die Schwerkraft nicht auf ihn einwirkte, zufolge der Beharrlichkeit stets mit gleichförmiger Geschwindigkeit in horizontaler Richtung fortbewegen. Vermöge der Wurfkraft würde er in der 1sten Secunde den Weg ab (Fig. 30), in der 2ten Sec. den gleich großen Weg bc u. s. w. durchlaufen; er müßte sich demnach am Ende der 1sten, 2ten, 3ten Sec. u. s. w. in den Punkten b, c, d u. s. w. befinden. Durch die Schwerkraft aber ist er gesunken, und zwar in der 1sten Sec. um 15 Fuß, er wird sich also am Ende derselben nicht in b, sondern in f, 15 Fuß unter b, befinden. Am Ende der 2ten Sec. ist er in g, 60 Fuß unter c; am Ende der 3ten Sec. in h, 135 Fuß unter d u. s. w.

Wenn die Geschwindigkeit c des Wurfes und die Dauer t der Bewegung gegeben sind, so läßt sich daraus die Weite des Wurfes mn, so wie die lothrechte Senkung en des geworfenen Körpers bestimmen nach den Formeln in § 127 und § 129 I.; denn es ist die Wurfweite $mn = c \cdot t$, d. h. gleich dem Produkte der Geschwindigkeit mit der Zeit; und die lothrechte Senkung $en = g \cdot t^2$. Alles jedoch unter der Voraussetzung, daß kein Widerstand der Luft vorhanden sei.

Ein horizontal geworfener Körper fällt in derselben Zeit zur Erde, in welcher er von derselben Höhe frei fallen würde.

Wirkt die Wurfkraft in irgend einer andern Richtung als in der horizontalen, so kann man die Bahn des geworfenen Körpers auf gleiche Weise durch Construction finden (siehe Fig. 31). In diesem Falle beschreibt der geworfene Körper eine ganze Parabel. Die größte Wurfweite erreicht der Körper unter einem Winkel von 45°. Für Winkel, welche gleich viel über oder unter 45° liegen, ist die Weite gleich groß.

4. Von den Centralkräften.

§ 143. Wenn die Richtung der Bewegung eines Körpers sich in jedem Augenblicke ändert, so beweiset dieß, daß mehr als eine Kraft, entweder alle stetig, oder nur einige stetig, andere augenblicklich auf ihn wirken.

Wirken zwei Kräfte auf einen Körper, von denen die eine stetig wirkend ihn nach einem und demselben Punkte (Centrum) hinzutreiben strebt, die andere, eine einmalig wirkende Kraft, in einem ursprünglichen Stoße bestand;

so nennt man solche Kräfte Centralkräfte, und zwar heißt diejenige Kraft, die den Körper nach dem Centrum hintreibt, Centripetalkraft, die andere in ihrem spätern Erfolge Tangentialkraft, weil sie dem Körper in Folge der Trägheit das Bestreben ertheilt, an jeder Stelle der krummlinigen Bahn die Tangente derselben zu verfolgen und sich demnach vom anziehenden Mittelpunkt seitwärts zu entfernen. Hörte also die Centripetalkraft zu wirken auf, so würde sich der Körper in der Richtung der Tangente fortbewegen. Derjenige Theil dieser Tangentialkraft nun, welcher ausdrückt, um wie viel er sich in jedem Augenblicke nach der entgegengesetzten Richtung der Centripetalkraft entfernt haben würde, und welcher, soll die Bahn eine geschlossene bleiben, stets von der Centripetalkraft aufgehoben werden muß, heißt Centrifugal- Flieh- oder Schwungkraft. Sie ist also in jedem Augenblick der Bewegung der Centripetalkraft gleich, aber ihr entgegengesetzt, gibt sich z. B. bei einem um den festen Endpunkt eines Fadens geschleuderten Steine in der Größe der Spannung des Fadens zu erkennen und wächst mit der Geschwindigkeit der Bewegung. Ein anderes Beispiel von diesen Centralkräften geben die Bewegungen der Himmelskörper.

Es sei (Fig. 32 a) in A die Erde, und in C die Sonne. Die Tangentialkraft treibt die Erde im 1sten Zeittheilchen nach B, die Centripetalkraft zieht sie in demselben Zeittheilchen zugleich nach E in der Richtung AC. Es mögen die Linien AB und AE sowohl die Größen, als die Richtungen der beiden genannten Kräfte darstellen. Man construire aus denselben das Parallelogramm der Kräfte ABDE, so wird die Diagonale AD den Weg bezeichnen, welchen die Erde, von beiden Centralkräften zugleich getrieben, im ersten Zeittheilchen zurücklegt. Es würde nun die Erde vermöge der Beharrlichkeit im zweiten Zeittheilchen den Weg DF zurücklegen, welcher einerlei Richtung und gleiche Größe mit AD hat; die Centripetalkraft aber zieht sie in demselben Zeittheilchen zugleich nach H in der Richtung DC. Construirt man wieder aus den Kräften DF und DH das Parallelogramm der Kräfte, so deutet dessen Diagonale DG den Weg an, den die Erde im 2ten Zeittheilchen zurücklegt. Nach demselben Princip wird die Erde von beiden Centralkräften getrieben, im 3ten Zeittheilchen die Bahn GK, im 4ten Zeittheilchen die von KN u. s. w. durchlaufen.

Da die beiden Centralkräfte ununterbrochen auf den bewegten Körper einwirken, so wird die gebrochene Linie A D G K N Q sich in eine krumme Linie verwandeln, deren Natur von dem Verhältnisse der sie bedingenden Kräfte abhängt.

Die krumme Linie, in welcher sich die Erde bewegt, ist eine Ellipse, in deren einem Brennpunkte sich die Sonne befindet.

Die Centralbewegung im Kreise ist gleichförmig, während sie in der Ellipse als ungleichförmig sich zeigt.

Anmerkung. Eine Ellipse ist diejenige krumme Linie, die auf der Oberfläche eines Kegels sich bildet, wenn eine durch ihn gelegte Ebene alle Seitenlinien desselben schneidet, ohne mit dessen Grundfläche parallel zu sein.

Auf dem Tische oder Papier kann eine Ellipse auf folgende Weise verzeichnet werden. Man schlägt in die Tischplatte 2 Nägel f, f', und legt um sie eine zusammengeknüpfte Schnur, deren doppeltes aber die Linie ff' (Fig. 32 b) um eine Größe f' b übertrifft, die fb gibt mit af die ganze für die Ellipse verlangte Länge ab; dann spannt man die Schnur mit einem Bleistift schraff an, und fährt damit herum, so beschreibt der Stift s die verlangte krumme Linie. Die beiden Punkte f, f' heißen die Brennpunkte der Ellipse, die Linie ab, welche die Ellipse in 2 gleiche Hälften theilt, ist die große Axe derselben. Errichtet man in der Mitte m von ff' die senkrechte cd, so ist dieß die kleine Axe; sie bestimmt die Breite der Ellipse, wie ab ihre Länge.

Die Ellipse hat, wie man aus obigem Verfahren ersieht, die besondere Eigenschaft, daß alle Punkte in dem Umfange derselben von den beiden Brennpunkten stets um die Summe der Linien fs + sf' (welche die radii vectores der Ellipse genannt werden) entfernt sind.

§ 144. Wir haben im vorigen § gesehen, daß bei jeder Centralbewegung stets eine der Centripetalkraft gleiche Centrifugal- oder Fliehkraft entsteht.

Letztere findet auch in jedem Punkte eines um seine Axe gedrehten Körpers statt, und sie ist um so stärker, je entfernter der Punkt von der Axe und je größer seine Geschwindigkeit ist. Jeder Punkt entfernt sich wirklich von dem Mittelpunkt der Kräfte, wenn seine Fliehkraft die Cohäsion der Theilchen des Körpers überwindet.

Hieraus lassen sich folgende Erscheinungen drehender Bewegungen erklären:
1) Ein im Wasser schnell umgedrehter Schleifstein spritzt das Wasser umher.
2) Bei einem fortrollenden Wagen wird der an den Rädern haftende Sand abgeworfen;
3) Durch die Schleuder wird ein Stein oft sehr weit fortbewegt, und
4) ein inwendig auf einen Reifen gestelltes und mit Wasser gefülltes Glas fällt nicht herunter, wenn der Reifen schnell und geschickt in der Runde geschwungen wird.

Aus den Wirkungen der Fliehkraft erklärt sich auch vollständig die abgeplattete Gestalt der Erde und daher die Abnahme der Schwere unter dem Aequator.

§ 145. Da wir erkannt haben, daß sich die Anziehkraft der Sonne auf die Erde und die Anziehkraft der Erde auf die Körper erstrecke, welche nicht in Berührung mit ihrer Oberfläche sind; so haben wir wohl Grund genug mit Newton (spr. Njuten) anzunehmen, daß diese Kraft sich durch den ganzen Weltraum erstrecke, jedoch in stets abnehmender Stärke, wie die Quadrate der Entfernungen von dem Mittelpunkte der Anziehung größer werden. Diese Voraussetzung wird nicht nur durch die Bewegung des Mondes um unsere Erde, sondern auch durch die Uebereinstimmung aller darauf beruhenden Berechnungen mit dem wirklich erfolgenden Ergebnisse bestätigt.

So ergibt die Berechnung für die Fliehkraft des Mondes 15,06 par. Fuß in 1 Minute. Eben so groß ist die Wirkung der Erdschwere in der Entfernung des Mondes nach dem Gravitationsgesetze; denn da die Anziehung auf dem Monde 60mal, 60 d. i. 3600 mal geringer als an der Oberfläche der Erde ist, so erzeugt sie dort in 1 Minute eben so viel Bewegung, als auf der Erdoberfläche in 1 Sec. — Nicht bloß die Bahnen der Planeten überhaupt, sondern auch die kleinen Unregelmäßigkeiten oder Störungen, die eben durch ihre gegenseitige Anziehung in ihrem Laufe hervorgebracht werden, lassen sich aus dem allg. Gesetze der Schwerkraft bestimmen.

§ 146. Der Mond zieht eben so die Erde an, wie diese den Mond; da aber seine Masse nur 0,014 von der Masse der Erde beträgt, so ist auch seine Anziehkraft in demselben Verhältnisse kleiner, und an der Oberfläche der Erde beträgt diese Kraft nur ein $\frac{0{,}014}{59^2}$ Theil, oder $\frac{1}{248643}$ von der Erdschwere.

Aus dieser geringen anziehenden Kraft des Mondes darf also nicht erwartet werden, daß sie Theilchen von dem Erdkörper, wenn sie auch beweglich sind, wie Luft oder Wasser, wirklich trennen und fortführen könne. Wohl aber erzeugt diese Kraft, verbunden mit der Axenumdrehung der Erde, ein Schwanken in dem Weltmeere, so wie in der Atmosphäre und wirkt auf die ihr näher liegenden flüssigen Theile der Erdoberfläche stärker, als auf die entfernteren. Hiedurch wird die Ebbe und Fluth verursacht, welche periodisch mit dem Durchgange des Mondes durch den Meridian wiederkehret, und sich in Hinsicht ihrer Stärke zugleich nach dem Stande des Mondes gegen den Aequator und gegen die Sonne richtet.

§ 147. So wie der Mond um die Erde, und diese um die Sonne sich bewegen, so bewegen sich auch alle übrigen Planeten mit ihren Nebenplaneten um die Sonne. Wir können also mit gutem Grund schließen, daß eine ähnliche Kraft zwischen Sonne und allen Planeten stattfinden müsse, wie wir sie zwischen der Erde und dem Monde als wirksam erkannt haben, und daß sie es ist, die das Weltgebäude zusammenhält und die Weltkörper an einander fesselt.

Die Gesetze dieser Bahnen, welche wir Keppler (1610) verdanken, sind folgende:

1) Die Planeten bewegen sich in Ellipsen, in deren einem Brennpunkte S (Fig. 32 c) die Sonne steht.

2) Sie durchlaufen diese Bahnen nicht mit gleichförmiger Geschwindigkeit, sondern schneller in der Sonnennähe A, langsamer in der Sonnenferne B, überhaupt nimmt ihre Geschwindigkeit zu und ab, so wie sie sich in ihrer elliptischen Bahn der Sonne nähern oder von derselben entfernen, und zwar in der Art, daß, wenn man sich den Mittelpunkt der Planeten mit dem Mittelpunkte der Sonne durch eine gerade Linie (Radius vector genannt) verbunden denkt, der Radius vector in gleichen Zeiten gleiche Sectoren beschreibt. Sind daher AC und DE zwei Bogen, welche der Planet in gleichen Zeiten durchläuft, so ist der Sector ASC gleich dem Sector DSE, und folglich der Bogen AC größer als der Bogen DE.

3) Die Quadrate der Umlaufszeiten verhalten sich wie die Cuben der großen Axe (AB) der Planetenbahnen. So verhalten sich z. B. beim Merkur und Mars die großen Axen ihrer Bahnen, oder was auf dasselbe hinausläuft, die mittleren Entfernungen von der Sonne, (nahe) wie 1 : 4, also die Cuben hievon wie 1 : 64, und die Umlaufszeiten, (nahe) wie 1 : 8, also die Quadrate hievon ebenfalls wie 1 : 64. Diese nämlichen Gesetze, welche die Grundlage der gesammten neuern Astronomie bilden, befolgen auch diejenigen Kometen, deren Bahnen näher bekannt sind, so wie auch die Nebenplaneten, der Mond der Erde, die Monde des Jupiters, des Saturns und Uranus bei ihrem Umlaufe um die Hauptplaneten.

Sämmtliche Keppler'sche Gesetze sind jedoch nur Folgerungen des von Newton aufgefundenen allgemeinen Gravitationsgesetzes: daß die Himmelskörper (unsers Sonnensystems) sich gegenseitig anziehen, und daß diese anziehende Kraft im geraden Verhältniß ihrer Massen und im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Entfernungen steht.

Tafel über die Weltkörper des Sonnensystems.

Namen des Weltkörpers.	Entfernung von der Sonne in Millionen geogr. Meilen			Verhältniß des größten und kleinsten Durchmessers der Bahn.	Umlaufszeit.			Durchmesser in geograph. Meilen.	Masse, die der Erde = 1 gesetzt.	Zeit der Axendreh.		
	mittler.	größte.	kleinste.		Jahre.	Tage.	Std.			Tage.	Std.	Min.
Sonne. . . .	—	—	—	—	—	—	—	192740	354940	25	12	0
Merkur . . .	8,00	9,64	6,35	2 : 3	—	87	23	672	0,17	1	6	5
Venus. . . .	14,94	15,94	13,94	75 : 76	—	224	17	1694	0,88	—	23	21
Erde.	20,67	21,01	20,32	29 : 30	1*	—	—	1719	1,00	—	23	56,1
Mars	31,49	34,42	28,55	4 : 5	1	321	16	893	0,13	1	0	37,3
Jupiter . . .	107,52	112,70	102,34	10 : 11	11	312	20	19307	336,75	—	9	55,4
Saturn . . .	197,13	208,19	186,07	19 : 21	29	154	17	15518	101,41	—	10	29,3
Uranus . . .	396,42	414,90	377,95	10 : 11	83	271	4	7472	19,18	—	—	—
Neptun . . .	747	—	—	—	217	—	—	—	—	—	—	—

Zwischen dem Mars und Jupiter bewegen sich noch mehrere kleine Planeten um die Sonne, welche man Asteroiden nennt. Man kennt deren gegenwärtig 14, von denen 4 (Vesta, Juno, Ceres, Pallas) im Anfange dieses Jahrhunderts, die übrigen seit den Jahren 1845 — 1851 entdeckt worden sind.

Der Jupiter hat 4, der Saturn 7, der Uranus 6 Trabanten.

Kometen von bekannter Umlaufszeit sind: Halley's Komet, der seinen Umlauf in 76; Olber's Komet in 74, Enke's Komet in 3,3 und Biela's Komet in 6,7 Jahren vollendet.

Anmerkung. Eine übersichtliche Darstellung des Wissenswürdigsten über das Weltgebäude zu geben, gestattet der Raum nicht, und dürfte auch hier um so weniger vermißt werden, da man dieselbe in jedem geographischen Werke unter der Rubrik „mathematische Geographie" findet.

* 365 Tage 5 Stunden 48 Minuten 47,8 Secunden.

5. Von der Pendelbewegung.

§ 148. Ein an einen aufgehängten Faden befestigter schwerer Körper heißt Pendel, das bei seiner Bewegung eine kreisförmige Bahn beschreibt. Man unterscheidet ein physisches oder zusammengesetztes von einem mathematischen oder einfachen Pendel, bei welchem letztern man den schweren Körper als einen bloß schweren Punkt, und den Faden als gewichtlos und unbiegsam annimmt.

Bei dem mathematischen Pendel kommen in Betracht:

1) Seine Länge oder der Abstand des schweren Punktes vom Aufhängepunkte.

2) Die ganze Schwingung (Oscillation), oder der Bogen bad (Fig. 33). Die Bewegung von b bis a ist eine halbe niedergehende, von a bis d eine halbe aufsteigende Oscillation; 3) die Schwingungsdauer, d. i. die Zeit, während welcher eine Schwingung vollendet wird, und 4) der Ausschlagswinkel bca, welcher durch den halben Schwingungsbogen bad gemessen wird.

§ 149. Das aufgehängte Pendel ist nur in seiner vertikalen Lage ca in Ruhe; wird es aber aus dieser Stellung seitwärts bis d gehoben und dann sich selbst überlassen, so hat es das Streben, wieder den tiefsten Punkt a einzunehmen; es bewegt sich daher von d nach a, und es ist für seinen Fall längs dem Bogen da das Nämliche, als wenn die Kugel längs der krummen Fläche da herabgerollt wäre. In a hat die Kugel dieselbe Fallgeschwindigkeit erhalten, als wäre sie senkrecht von d nach k, oder von k nach a gefallen (§ 135). Mit dieser Geschwindigkeit muß die Kugel sich vermöge der Beharrlichkeit fortbewegen. Da der Faden die geradlinige Fortbewegung hindert, so muß die Kugel sich im Bogen ab bewegen und hier so hoch steigen, als sie von d gefallen ist, wenn die Reibung am Aufhängepunkte und der Widerstand der Luft außer Acht gelassen werden. Es wirkt nämlich die Schwerkraft auf die Kugel bei ihrem Steigen von a nach b hinauf unaufhörlich ein und zieht sie herab, wodurch sie in jedem Augenblicke an Steigkraft verliert, und in b angelangt, ist diese gleich Null. Sie muß daher zu steigen aufhören und wieder zurückfallen, sobald sie den Bogen ab = ad beschrieben hat. Das Pendel wiederholt diese Bewegung von d nach b, und von dort wieder zurück, so lange, bis ihr die Reibung am Aufhängepunkte c und der Widerstand der Luft ein Ende macht und das Pendel endlich wieder die vertikale Lage ca einnimmt.

§ 150. Die Gesetze bei dem mathematischen Pendel sind folgende:

1) Die Schwingungsdauer eines Pendels ist vom Gewichte der Kugel und von der Natur ihrer Substanz unabhängig; denn drei Pendel von gleicher Länge, das eine von Blei, das zweite von Holz und das dritte von Wachs schwingen vollkommen gleichzeitig.

2) Die Schwingungsdauer gleich langer Pendel ist unabhängig von der Größe der Ausschlagswinkel, wenn diese sehr klein sind, wenigstens die Größe von 5 Graden nicht übersteigen.

3) Zwei Pendel von ungleicher Länge schwingen ungleich, das längere schwingt langsamer, das kürzere hingegen geschwin-

der, und zwar verhalten sich die Längen der Pendel, wie die Quadrate der Schwingungszeiten; folglich die Schwingungszeiten wie die Quadratwurzel aus den Längen der Pendel.

Nennt man L, l die Längen der Pendel; T, t ihre Schwingungszeiten; so verhält sich $L : l = T^2 : t^2$, und daher

$$\sqrt{L} : \sqrt{l} = T : t.$$

Ein Pendel also, welches 4mal so lang ist, als ein anderes, schwingt 2mal langsamer, oder das 4mal kürzere Pendel macht 2 Schwingungen, während das größere 1 Schwingung macht. Hieraus folgt einfach, daß

4) Pendel von verschiedener Länge sich zu einander verhalten, umgekehrt wie die Quadrate der Anzahl ihrer Schwingungen in gleicher Zeit, also

$$L : l = n^2 : N^2 \text{ oder } \sqrt{L} : \sqrt{l} = n : N,$$

wenn N und n die entsprechende Schwingungsanzahl der Pendel bezeichnen.

Ist die Länge eines Pendels = L Fuß, seine Schwingungsdauer = T Secunden und hat g seine frühere Bedeutung; so erhält man für kleine Ausschlagswinkel, $T = \frac{1}{2}\pi\sqrt{\frac{2L}{g}} = \pi\sqrt{\frac{L}{25}}$ (wobei π die Zahl 3,1415926 bedeutet).

§ 151. Ein Pendel, das in jeder Secunde genau Eine Schwingung, folglich in einer Stunde 3600 Schwingungen macht, heißt ein Secundenpendel. Man findet seine Länge nach § 150 auf folgende Weise: Man lasse ein Pendel L, dessen Länge beliebig, aber genau gemessen ist, eine gewisse Zeit, z. B. Eine Stunde schwingen, und zähle die Schwingungen. Gesetzt, die Zahl derselben wäre N, und die gesuchte Länge des Secundenpendels = x; so verhält sich $N^2 : 3600^2 = x : L$;

$$\text{folglich } x = \frac{N^2 \cdot L}{3600^2}$$

Auf diese Weise hat man die Länge des Secundenpendels für Wien = 452,739; für Paris = 440,56; für London = 440,6; für Petersburg = 441,02; für Archangel = 441,1; für Quito = 439,1 par. Linien gefunden.

§ 152. Aus vorstehenden Angaben für die Länge eines Secundenpendels geht hervor, daß ein und dasselbe Pendel nicht an allen Orten der Erde in gleichen Zeiten eine gleiche Anzahl von Schwingungen vollendet, und daß das Pendel desto mehr Schwingungen an einem Orte macht, je mehr dieser vom Aequator entfernt ist.

Hieraus ergibt sich der Schluß — da die Schwerkraft die alleinige Ursache des Pendelfalles ist —, daß die Erde nach den Polen hin abgeplattet sein müsse.

Soll ein und dasselbe Pendel, das in Quito in jeder Secunde Eine Schwingung macht, in Archangel auch in jeder Sec. Eine Schwingung vollenden; so muß es an letzterem Orte verlängert werden.

Eben so läßt sich nach § 150 leicht finden, wie lang ein Pendel sein müsse, welches seine Schwingungen in einer gewissen gegebenen Zeit vollenden soll, oder wie schnell ein Pendel von gegebener Länge seine Schwingungen zu machen habe. Man verlangt z. B zu wissen 1) wie lang ein Pendel in London sein müsse, das in 1 Stunde 4000 Schwingungen machen soll? Hier wird sein

$4000^2 : 3600^2 = 440{,}6$ par. Linien : x Linien par; also $x = \frac{3600^2 \times 440{,}6}{4000^2}$ = 356,886 par. Linien.

2) Wie viel Schwingungen wird ein Pendel von 10 Fuß Länge in London in 1 Stunde machen müssen? Man findet das Gesuchte durch die Proportion

$$\sqrt{1440'''} \text{ par.} : \sqrt{440{,}6'''} \text{ par.} = 3600 : x \text{ Schwingungen;}$$

also $x = 3600 \cdot \sqrt{\frac{440{,}6}{1440}} = 1991{,}3$ Schwingungen in 1 Stunde.

§ 153. Bei allen bisherigen Betrachtungen wurde vorausgesetzt, daß man es nur mit einem einzigen schwingenden Punkte zu thun habe; dieß ist aber in der Erfahrung nicht der Fall, denn jeder Körper besteht aus einer unzähligen Menge solcher Punkte, mithin, wenn er schwingt, aus unzählig vielen einfachen, mit einander verbundenen, Pendeln von verschiedener Länge; die kürzeren von diesen werden durch die längeren in ihren Bewegungen verzögert, die längeren hingegen durch die kürzern beschleunigt. Dennoch gelten alle für das einfache Pendel erwiesenen Gesetze vollkommen auch für jedes zusammengesetzte; und um sie darauf anzuwenden, ist nichts weiter nöthig, als dessen wahre Länge zu bestimmen, nämlich die Entfernung seines Aufhängepunktes von demjenigen seiner schweren Punkte, welcher genau so schwingt, wie er es auch thun würde, wenn einzig und allein bloß er vorhanden wäre. Man nennt ihn den Schwingungspunkt. Diesen Punkt kann man näherungsweise auf folgende Weise bestimmen. Man nimmt ein dem einfachen Pendel sich näherndes Pendel, (nämlich ein an einem feinen Faden hängendes Metallkügelchen) und läßt es neben dem zu untersuchenden zusammengesetzten Pendel schwingen, verkürzt oder verlängert den Faden des einfachen so lange, bis es mit jenem zusammengesetzten, während einer bestimmten Zeit, gleich viel Schwingungen macht. Die Entfernung des Mittelpunkts des Kügelchens von dem Aufhängepunkte ist nun nahe gleich der wahren Länge des zusammengesetzten Pendels.

§ 154. Es ist hier noch zu bemerken, daß das Pendel wegen der Gleichzeitigkeit seiner Schwingungen ein zuverlässiges Mittel ist, die Zeit zu messen und den Gang der Uhren zu reguliren, wozu es zuerst von Huygens gebraucht worden ist. Dabei darf jedoch nicht übersehen werden, daß Wärme und Kälte auf die Schwingungsdauer eines Pendels nicht ohne Einfluß sind, indem die Länge des Pendels durch die Wärme vergrößert, durch die Kälte verkleinert wird. Dasjenige Pendel, welches bei jeder Temperatur gleichzeitige Schwingungen vollendet, nennt man Compensationspendel, von welchem in dem Abschnitte von der Wärme gehandelt werden wird (§ 367).

Das Pendel leistet bei einer Uhr folgenden Dienst. Bekanntlich ist dasjenige, was die Uhr in Bewegung setzt, ein ziehendes Gewicht oder eine elastische Feder, überhaupt eine andauernd wirkende Kraft. Diese sucht das nächste mit ihr verbundene Rad zu drehen und mittelbar ein zweites, drittes u. s. w. Alle würden in eine beschleunigte und ziemlich schnelle Bewegung kommen, allein es soll eine langsame und gleichförmige stattfinden; beides wird nun durch das Pendel erreicht. Gesetzt, eines dieser Räder soll in einer Minute bloß Eine Umdrehung machen, so muß das damit verbundene Pendel (wenn es etwa ein Secundenpendel ist) zu Stande bringen, daß das Rad nach jeder Schwingung den 60sten Theil seiner Umdrehung vollendet. Zu diesem Behufe ist an der Axe des Pendels eine Vorrichtung angebracht, die man Hemmung nennt. Sie kann eine verschiedene Einrichtung haben; die einfachste besteht in einem Doppelhaken, welcher nebst der Gestalt

der Zähne des Rades in der Fig. (34) angedeutet ist.— Indem das Pendel schwingt, macht der Haken dieselbe Bewegung, greift in irgend einen Zwischenraum zweier Zähne ein und hemmt die Bewegung, löset sich wieder aus, und gibt so dem Rade die Freiheit, bei jedem Schwunge so viel sich zu drehen, als der halbe Abstand zweier nachbarlicher Zähne beträgt. Sind 30 Zähne im ganzen Umkreise vorhanden, so werden 60 Schwingungen eine ganze Umdrehung gestatten. Zugleich äußert das Rad bei jedem Einfallen des Hakens einen kleinen Druck auf denselben, und mithin mittelbar auf das Pendel, wodurch der Verlust an Bewegung, welchen das Pendel wegen der Reibung erleidet, ersetzt wird. Und so ist denn eigentlich die Uhr die Vorrichtung, welche die Menge der Pendelschwingungen von bestimmter Dauer, und so mittelbar die Zeit angibt, wenn es uns auch scheinbar keineswegs um die Schwingungsanzahl zu thun ist. Bei Taschenuhren ist das Gewicht durch eine gespannte Feder, das Pendel aber durch eine hin- und herschwingende feine spiralförmig gewundene Feder, die Unruhe genannt, ersetzt.

6. Von dem Stoße harter und elastischer Körper.

§ 155. Wenn zwei Körper bei ihrer Bewegung zusammentreffen, so üben beide auf einander eine Wirkung aus, die man Stoß nennt. Man unterscheidet vornehmlich zwei Stoßarten: 1) wenn die Körper vollkommen hart, und 2) wenn sie vollkommen elastisch sind. Der Stoß heißt central, wenn die Richtungen der Bewegung durch die Schwerpunkte beider Körper gehen. Ist dieses nicht der Fall, so ist der Stoß ein schiefer. So nennt man auch den Stoß, der gegen eine Ebene unter einem schiefen Winkel geht; dagegen wird der Stoß, der senkrecht auf die Ebene geschieht, ein gerader Stoß genannt. Wir wollen hier nur den centralen Stoß betrachten.

§ 156. Wenn zwei vollkommen harte Körper von gleicher Masse sich mit gleicher Geschwindigkeit gerade gegen einander bewegen, so heben ihre Wirkungen sich gegenseitig auf, da nach § 76 die Größen ihrer Bewegungen gleich und die Richtungen einander entgegengesetzt sind. Wenn aber die Massen ungleich sind, und ihre Geschwindigkeit sich verhalten umgekehrt, wie ihre Massen; so muß der Erfolg derselbe sein, weil auch hier die Größen ihrer Bewegungen nach § 82 einander gleich und ihre Richtungen entgegengesetzt sind.

§ 157. Bewegen sich zwei Körper von gleicher Masse, aber mit ungleicher Geschwindigkeit gegen einander, so bewegen sich beide nach dem Zusammentreffen weiter mit gleicher Geschwindigkeit, und zwar mit der Hälfte des Ueberschusses der größern Geschwindigkeit über die kleinere, in der Richtung des Körpers, welcher vor dem Stoße die größere Geschwindigkeit hatte. Dasselbe wird erfolgen, wenn die Körper ungleiche Massen dabei aber auch ungleiche und entgegengesetzte Größen der Bewegungen haben. Denn es sei die stärkere Größe der Bewegung $= M.C$ (§ 82), die schwächere $= m.c$ (wo M, m die Massen, und C, c ihre Geschwindigkeiten bezeichnen); dann ist die Kraft nach dem Stoße $= M.C - m.c$. Diese Kraft vertheilt sich unter die Massen beider Körper $(M+m)$ und bringt in beiden eine Geschwindigkeit $= v$ hervor. Es wird also sein $(M+m).v = M.C - m.c$; folglich $v = \frac{M.C - m.c}{M+m}$.

Hieraus ergeben sich alle übrigen Fälle:

1) Ist $m = M$ und $c = C$, oder ist $M : m = c : C$; so wird $v = o$. Dieß gibt den in § 156 angeführten Fall.

TÜ Raamatukogu

2) Ist $m = M$, so wird $v = \frac{C - c}{2}$, welches den Fall in § 157 gibt.

3) Ist $c = o$, d. h. ruht der eine Körper, so wird $v = \frac{M \cdot C}{M + m}$.

4) Ist der ruhende Körper zugleich fest und unbeweglich, so ist es so gut, als ob m unendlich groß wäre, und dann ist $v = o$.

Da kein Körper in der Natur vollkommen hart ist, so stimmt die Erfahrung mit der Theorie des Stoßes nicht vollkommen überein.

§ 158. Bewegen sich beide Köper vor dem Stoße nach einerlei Richtung, so wird $v = \frac{M \cdot C + m \cdot c}{M + m}$.

Ist hier $m = M$, so wird $v = \frac{C + c}{2M}$;

ist $c = o$, und $M = m$, so wird $v = \frac{C}{2}$.

Ist $c = o$, so wird $v = \frac{M \cdot C}{M + m}$.

§ 159. Die Wirkung des Stoßes bei den elastischen Körpern ist nicht bloß von der Masse und der Geschwindigkeit, sondern auch noch von der Rückwirkung der Elasticität abhängig. Denn so groß die Wirkung ist, welche die Körper beim Zusammentreffen, ohne Rücksicht auf ihre Elasticität, auf einander ausüben, so stark werden die elastischen Theile beider zusammengedrückt, und so stark ist folglich die Gewalt, mit der diese in ihre natürliche Lage zurücktreten.

Wir wollen zuvörderst den einfachen Fall annehmen, wo ein elastischer Körper auf eine harte und unbewegliche Ebene stößt. Dabei ändert der elastische Körper seine Gestalt, indem er zusammengedrückt wird bis durch Rückwirkung der gestoßenen Ebene seine Bewegung aufhört. In diesem Augenblicke fängt die Elasticität des Körpers zu wirken an und stößt ihn von der getroffenen, festen Ebene mit derselben Kraft zurück, mit welcher seine Theile bei dem Stoße zusammengedrückt wurden. Da diese rückwirkende Kraft des elastischen Körpers der Richtung des ursprünglichen Stoßes entgegengesetzt ist, so prallt also der elastische Körper nach einer Richtung zurück, welche der Richtung des ursprünglichen Stoßes entgegengesetzt ist. Fiele demnach ein elastischer Körper senkrecht auf eine Ebene, so würde er im luftleeren Raume bis zu derselben Höhe aufwärts steigen, von welcher er gekommen ist. Stieße der elastische Körper unter einem bestimmten Winkel auf die Ebene, so würde er nach einer Richtung zurückgeworfen, welche mit der Ebene denselben Winkel macht, wie sich dieses durch eine einfache Zerlegung dieser Richtung in zwei andere, von denen die eine mit der Ebene zusammenfällt, die andere darauf senkrecht steht, leicht zeigen läßt. Diese Betrachtungen gelten offenbar auch noch dann, wenn die Ebene, auf welche der elastische Körper stößt, als beweglich angenommen wird.

§ 160. Es mögen die beiden elastischen Kugeln A und B die Massen 16 Pfund und 8 Pfund, die Geschwindigkeiten 5 und 3 Fuß, und außerdem eine und dieselbe Richtung ihrer Bewegung haben. Stoßen beide Kugeln zusammen, so erlangen sie, wenn sie als unelastisch betrachtet werden, nach § 158 die gemeinschaftliche Geschwindigkeit $= \frac{16 \cdot 5 + 8 \cdot 3}{16 + 8} = 4\frac{1}{3}$. Es

verliert also die Kugel A beim Zusammentreffen mit der Kugel B an Geschwindigkeit $5-4\frac{1}{3}=\frac{2}{3}$. Die Kugel B gewinnt an Geschwindigkeit $4\frac{1}{3}-3=1\frac{1}{3}$. Kaum aber ist die Zusammendrückung erfolgt, so treibt die Elasticität die Kugeln mit derselben Kraft aus einander; es verliert also A nochmals $\frac{2}{3}$, während B die Geschwindigkeit $1\frac{1}{3}$ gewinnt. Es ist mithin die jetzt erlangte Geschwindigkeit von $A = 5 - 2.\frac{2}{3} = 3\frac{2}{3}$, und B hat nunmehr die Geschwindigkeit $3+2.1\frac{1}{3}=5\frac{2}{3}$; d. h. stoßen zwei elastische Kugeln gerade und central auf einander, so hat nach dem Stoße jeder dieser Körper doppelt so viel bewegende Kraft und doppelt so viel Geschwindigkeit verloren oder gewonnen, als er verloren oder gewonnen haben würde, wenn beide Körper unelastisch gewesen wären.

Die allgemeine Formel für die erlangte Geschwindigkeit der Kugel A nach dem Stoße ist $= \frac{(M-m).C+2m.c}{M+m}$, und die erlangte Geschwindigkeit der Kugel B nach dem Stoße ist $= \frac{(m-M).c+2M.C}{M+m}$.

Aus diesen Formeln gehen die übrigen Fälle hervor, wenn $M = m$ und $C = c$ gesetzt wird.

§ 161. Wenn mehrere elastische Kugeln (von Elfenbein) von gleichen Massen so neben einander hängen, daß sie sich berühren, ohne sich zu drücken, und daß ihre Mittelpunkte in derselben horizontalen Lage sich befinden; wenn ferner die erste Kugel mit einer gewissen Geschwindigkeit gerade und central an die zweite stößt: so wird nach dem Stoße nur die letzte mit der Geschwindigkeit des ersten sich bewegen.

Stoßen aber die zwei ersten oder die drei ersten Kugeln gemeinschaftlich und mit einer gewissen Geschwindigkeit gerade und central auf die übrigen; so werden (für unsere Wahrnehmung) nach dem Stoße die zwei oder die drei letzten Kugeln mit dieser Geschwindigkeit abspringen.

Die in den vorigen §§ entwickelten Gesetze des Stoßes fester Körper werden auch durch die so genannte „Percussionsmaschine" bestätigt.

§ 162. Über die Wirkung des Stoßes ist hier noch folgendes zu bemerken. Trifft ein Körper bei seiner Bewegung einen andern, so theilt ersterer seine Bewegung nicht augenblicklich dem letztern mit, sondern er braucht hiezu immer eine gewisse, wenn auch verhältnißmäßig, kleine Zeit. Diese fällt um so mehr in die Augen, je größer der getroffene Körper ist. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man einen aufgehängten großen Körper stößt oder wirft. Er wird sich zwar in Bewegung setzen und schwingen, aber man wird die Zeit, welche zwischen dem Stoße oder Wurf und dem Anfange der Schwingung vergeht, deutlich unterscheiden können. Wenn der stoßende Körper im Stande ist, den gestoßenen Körper schneller zu durchdringen, als ihm seine Bewegung mitzutheilen, so wird letzterer sich gar nicht bewegen.

So kann man z. B. durch eine geöffnete Thür, die sehr leicht auf ihren Angeln ruht, eine Kugel schießen, ohne daß sie sich auch nur im geringsten bewegt, während ein schwacher und langsamer Stoß sie sogleich rasch in Bewegung setzt. Eine bleierne Kugel nach einer Glasscheibe geworfen, zertrümmert sie; auf sie abgeschossen, verursacht sie nur ein rundes Loch in der Scheibe. Man kann endlich ein Beil dadurch auf den Stiel treiben, daß man stark auf das untere Ende des Stiels schlägt. Während hier der Stiel schon durch den Schlag fortbewegt wird, hat sich die Bewegung der schweren Eisenmasse noch nicht mitgetheilt; sie bleibt also noch ruhend, während der Stiel in sie hineingleitet.

§ 163. Kein fester Körper kann, wegen seiner Porosität, eine so glatte Oberfläche erhalten, daß alle Ungleichheiten auf ihr verschwinden sollten. Bewegen sich daher zwei feste Körper dicht über einander hin, so stoßen die Ungleichheiten gegen einander und erschweren die Bewegung. Der Widerstand, der sich bei dieser Bewegung kund gibt, heißt Reibung oder Friction. Sie ist desto größer, je rauher die Oberflächen der Körper sind, oder je stärker die Körper gegen einander drücken. Ist der Druck einige Centner schwer, so ist die Reibung nahe dem Drucke proportional, aber bei denselben Körpern und derselben Belastung von der Größe der sich berührenden Flächen unabhängig. Durch die Reibung erleiden die bisher angeführten Gesetze der Bewegung öfters eine große Einschränkung. Auch ist die Reibung zweier Körper bedeutender, wenn man die eine Oberfläche über der andern fortzieht, als wenn man sie über ihr fortwälzt. Die erstere Art von Reibung wird die gleitende, und die andere die rollende genannt. Die zwischen gleichartigen Körpern stattfindende Reibung ist unter denselben Umständen am größten. So ist z. B. die Reibung zwischen Eisen und Eisen größer, als diejenige, welche zwischen Eisen und einem andern Metalle sich zeigt. Man hat (unter denselben Umständen) zwischen Stahl und Messing die kleinste, zwischen Stahl und Blei eine größere, und zwischen Stahl und Kupfer eine noch größere Reibung bemerkt. Die in der Richtung der Fasern vor sich gehende Bewegung bringt bei Hölzern die größtmöglichste Reibung hervor.

Die Reibung wird vermindert durch Anwendung gewisser Zwischenmittel, als Oel, Talg, Fett, Seife, Theer, besonders Graphit u. s. w.; ferner dadurch, daß man die Oberflächen zweier sich berührender Körper polirt, und, wenn es angeht, die gleitende Bewegung in eine rollende verwandelt.

So mannichfaltigen Nachtheil die Reibung bei dem Maschinenwesen hat, so überwiegend ist der Vortheil, den sie uns im gemeinen Leben und selbst bei den Maschinen gewährt; wir vermehren sie deßhalb absichtlich, besonders bei ruhenden Körpern.— Ohne Reibung wären wir nicht im Stande zu gehen und fest zu stehen, etwas zu halten, weder mit der Hand, noch mit einem andern Werkzeuge; kein Gewebe könnte ohne Reibung bestehen; alle Gegenstände würden durch den Wind fortgeführt, kein Nagel, keine Schraube würde haften, kein Knoten, keine Nath würde halten, u. s. w. Man hat bei den Dampfwagen (Locomativen) auf Eisenbahnen die Reibung auf $\frac{3}{100}$ der Last, auf den Chausseen bei trockener Witterung auf $\frac{1}{20}$, bei nasser auf $\frac{1}{10}$ der Last vermindert.

§ 164. Beim Gebrauch der Maschinen ist außer der Reibnng zwischen den einzelnen Maschinentheilen noch der Widerstand, den die Unbiegsamkeit der Seile der wirkenden Kraft entgegengesetzt, zu berücksichtigen.

Nach genau angestellten Versuchen hat man gefunden, daß die Seile der Biegung desto mehr widerstreben, je dicker und steifer sie sind, und je größer die Geschwindigkeit der Bewegung, ferner je kleiner der Durchmesser der Rolle oder des Cylinders ist, um welche sie herumgehen.

§ 165. Jede Flüssigkeit ist wegen ihrer Undurchdringlichkeit und ihres Beharrungsvermögens als ein Hinderniß der Bewegung zu betrachten. Eine Folge davon ist, daß alle Bewegungen im Wasser und in der Luft beständig abnehmen und endlich ganz aufhören müssen. Die Größe des Widerstandes in Flüssigkeiten hängt ab:

1) von dem Grade der Dichtigkeit und

2) von der Stärke des Zusammenhanges der Flüssigkeiten;

3) von der Geschwindigkeit des bewegten Körpers, weil, je größer diese ist, desto mehr Flüssigkeitstheilchen in derselben Zeit aus dem Wege zu räumen sind. Der Widerstand der Flüssigkeit wächst nach dem Quadrate der Geschwindigkeit des darin bewegten Körpers;

4) von der Größe der Oberfläche des bewegten Körpers, da diese mit der Menge der wegzuräumenden Theilchen in geradem Verhältnisse steht, und endlich

5) von der Richtung der Bewegung gegen die Flüssigkeit.

§ 166. Der Widerstand, den die Flüssigkeiten den in ihnen bewegten Körpern entgegensetzen, gewährt aber auch großen Vortheil; denn nur dadurch wird die Fortbewegung der Körper beim künstlichen Schwimmen in und auf dem Wasser, das Rudern und das Fliegen der Vögel in der Luft, u. s. w. möglich. Mit welcher Gewalt würden Regen und Hagel nicht Alles vernichten, wenn die Luft ihren Bewegungen keinen Widerstand leistete.

Die Wirkungen des Fallschirmes beruhen auf dem Widerstande, welchen die Luft einer großen Fläche entgegensetzt.

Kapitel III.

Von den tropfbar flüssigen Körpern.

Erster Abschnitt.

Von den Gesetzen des Gleichgewichts tropfbar flüssiger Körper (Hydrostatik).

§ 167. Die Hydrostatik beschäftigt sich mit den Bedingungen des Gleichgewichts tropfbar flüssiger Körper und mit dem Drucke, den dieselben auf die Wände der Gefäße ausüben, in welchen sie enthalten sind.

§ 168. Wir bemerken zuvörderst an den tropfbaren Flüssigkeiten, daß, wenn sie in einem weiten Gefäße liegen, ihre Oberfläche eben und horizontal ist. Dieß ist eine Folge der Schwere und der sehr leichten Verschiebbarkeit ihrer Theile; denn jeder Theil an der Oberfläche trachtet durch seine Schwere so tief zu sinken, als die andern tiefer liegenden Theilchen es ihm gestatten, und diese ihm durch ihre große Verschiebbarkeit ausweichen. Dieses Sinken der Flüssigkeitstheilchen dauert so lange fort, bis alle Theile unter einander ins Gleichgewicht, d. h. in eine horizontale Lage gekommen sind.

Die Eigenschaft einer Flüssigkeit, daß ihre Oberfläche stets horizontal ist, wendet man an, um eine Ebene mittelst der so genannten Libelle horizontal zu stellen.

§ 169. Die zweite wichtige Erfahrung an den tropfbaren Flüssigkeiten ist, daß jede Kraft, welche auf sie wirkt, sich in denselben nach allen Richtungen in gleicher Stärke fortpflanzt.

Man denke sich ein Gefäß voll Wasser, oben mit einer Oeffnung versehen, in die ein wohl schließender, beweglicher Stempel passe. Rundum an dem Gefäße seien Klappen angebracht, von gleicher Größe mit der Oeffnung.

Versucht man den Stempel niederzudrücken, so öffnen sich alle Klappen zu gleicher Zeit. Wollte man sie zurückhalten, so müßte man an jeder Klappe eine Kraft anbringen, welche der Kraft des Stempels in der Oeffnung gleich käme. Der Druck, welchen die Wände des Gefäßes auszuhalten haben, wächst

also mit der Größe derselben, und ist jederzeit so vielmal größer als der ausübende Druck, so vielmal die innere Fläche des ganzen Gefäßes größer ist als die gedrückte Fläche des Stempels. Wäre z. B. die Oberfläche des Gefäßes 1000mal größer als die des Stempels, und auf diesen wirkte eine Kraft von 2 Pfund, so würde daraus eine Kraft von 2000 Pfund gegen die ganze Oberfläche des Gefäßes entstehen

§ 170. Die dritte Haupterfahrung an allen flüssigen Körpern ist folgende:

Wenn im Raume ein flüssiger Körper allein dem Gesetze der allgemeinen Anziehungskraft seiner einzelnen Theile gegen einander unterworfen ist, so muß er die Gestalt einer Kugel annehmen.

Da jeder noch so kleine Tropfen einer Flüssigkeit einen Mittelpunkt der Schwere hat, so übt dieser seine Anziehkraft auf alle Theilchen des Tropfens dergestalt aus, daß sie gezwungen werden, sich um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt so zu ordnen, daß sie die Gestalt der Kugel annehmen. So bilden einzelne losgerissene Flüssigkeitstheilchen, die nicht in Gefäßen eingeschlossen sind, z. B. Regentropfen und geschmolzenes Blei, wenn dieses von einem hohen Gegenstande herab in kaltes Wasser getröpfelt wird, vollständige Kugeln. Wir können uns gleichfalls vorstellen, daß die Weltkörper auf solche Weise sich ihre Gestalt gebildet haben, und sind daher berechtigt anzunehmen, daß die Weltkörper, da sie alle kugelförmig sind, auch alle einmal flüssig gewesen sein müssen. Auch die Abplattung unserer Erde wäre ohne diese Voraussetzung nicht möglich gewesen.

Eben so ist ein ausdehnsam flüssiger oder luftförmiger Körper, wenn er nicht in einem Gefäße eingeschlossen ist, demselben Kugelgesetze unterworfen. An seiner Ausdehnung bis ins Unendliche hindert ihn die Schwere, welche alle Theile nach dem Mittelpunkt zusammenzieht. Je mehr sich nämlich ein luftförmiger Körper schon ausgedehnt hat, desto geringer wird seine Kraft, sich noch ferner auszudehnen, so daß endlich Schwere nnd Ausdehnsamkeit sich das Gleichgewicht halten müssen; dann bildet sich der luftförmige Körper eine natürliche Grenze, über welche hinaus er nicht gehen kann, und diese Grenze ist wiederum eine Kugeloberfläche. Dieß zu Grunde legend, sind wir berechtigt anzunehmen, daß unsere Atmosphäre eine Grenze haben und die Erde in Kugelgestalt umschließen müsse. Man schätzt die Höhe der Erdatmosphäre auf 7 — 9 deutsche Meilen. Daß die Luftarten wirklich diesem Kugelgesetze unterworfen seien, sieht man auch im Kleinen an den Seifenblasen und an den im Wasser aufsteigenden Luftblasen.

§ 171. Wird durch irgend eine Ursache, einen Windstoß oder einen hineingeworfenen Stein, in einer ruhenden Wasserfläche eine Vertiefung hervorgebracht; so bildet sich durch die Bewegung des Wassers rings um dieselbe eine kreisförmige Erhöhung, ein Wellenberg; indem dieser wegen seiner Schwere hinabsinkt, entsteht rings um denselben eine kreisförmige Vertiefung, ein Wellenthal, und es bilden sich um denselben Mittelpunkt immer größere kreisförmige Wellen, die nach außen fortschreiten. Dieses Fortschreiten der Wassertheilchen ist indessen nur scheinbar; denn wenn man ein Stückchen Holz auf die Wellen eines stehenden Gewässers wirft, so sinkt und steigt das Holz abwechselnd, während Wellenberge und Thäler unter ihm wegzuziehen scheinen. Es läßt sich also deutlich erkennen, daß bei der Wellenbewegung die Wassertheilchen auf- und absteigen, wobei die vom Mittelpunkt der Welle entfernteren Wassertheilchen später, als die ihm näheren,

an dieser Bewegung Theil nehmen, daß aber keine fortschreitende Bewegung der Flüssigkeit stattfindet.

§ 172. Eine in einem Gefäße enthaltene schwere Flüssigkeit drückt nicht bloß nach unten, sondern auch gegen die Seitenflächen desselben, und der Druck gegen jede einzelne Stelle der senkrechten Seitenwand ist dem Flächeninhalte dieser Stelle und ihrer Tiefe unter der Oberfläche der Flüssigkeit proportionirt. Es sei h eine Oeffnung in der senkrechten Seitenwand des Gefäßes abcd (Fig. 35 a), von der Oeffnung h gehe eine in gleicher Weite mit derselben aufwärts gekrümmte Röhre hfg in die Höhe. Gießt man Flüssigkeit ins Gefäß, so steigt dieselbe zugleich in der Röhre fg so an, daß g und ab in einer wagerechten Ebene sich befinden (§ 168). Nun drückt die flüssige Säule gf mit ihrem ganzen Gewichte niederwärts, diesem Drucke muß also ein gleich starker aus dem Gefäße durch die Oeffnung h entgegenkommen, und daraus folgt, daß die Stelle der Oeffnung selbst einen Druck von der Flüssigkeit in dem Gefäße erleiden müsse, welche der Größe der Oeffnung h und ihrer Tiefe unter der Oberfläche der Flüssigkeit proportionirt sei.

Man findet daher die Größe des Druckes einer Flüssigkeit auf die Stelle h der senkrechten Seitenwand in Pfunden dargestellt, wenn man das Produkt aus der Größe der Fläche h und ihrer Tiefe bh unter dem Flüssigkeitsspiegel durch das Gewicht eines Kubikzolles oder Kubikfußes der in dem Gefäße enthaltenen Flüssigkeit multiplicirt. Die Tiefe der Oeffnung h ist gleich der Entfernung des Schwerpunktes der Oeffnung von der Oberfläche der Flüssigkeit. Daher wird der Druck des Wassers auf die ganze senkrechte Seitenwand eines Gefäßes in Pfunden gefunden, wenn man die Tiefe des Schwerpunktes der Seitenwand mit der Größe der Fläche der Seitenwand multiplicirt, und dieses in Kubikfußen ausgedrückte Produkt 70mal nimmt. (Ein Kubikfuß Wasser wiegt nämlich 70 Pfund).

Ist z. B. die Breite einer Schleuse 10 Fuß und ihre Höhe 4 Fuß, und wiegt 1 Kub. Fuß Wasser 70 Pfund; so ist der Wasserdruck auf diese Schleuse, in Pfunden ausgedrückt gleich 10 . 4 . 2 . 70 = 5600 Pfund. Hier ist 10 . 4 = der Fläche der Schleuse; 2 = der Tiefe des Schwerpunktes derselben unter dem Wasserspiegel, und 70 das Gewicht eines Kubikfußes Wassers.

Hat die Seitenwand keine senkrechte, sondern eine schräge Stellung, so gelten im Ganzen genommen dieselben Sätze auch für die schräg gestellte Fläche, nur muß man statt der schiefen Seitenwand die senkrechte nehmen; denn auf beide ist der Druck des Wassers gleich groß, was man durch den Satz des Parallelogramms der Kräfte leicht beweisen kann.

§ 173. In einem senkrechten cylindrischen oder prismatischen Gefäße drückt das darin befindliche Wasser mit seinem ganzen Gewichte auf den Boden desselben, weil die senkrechten Seitenwände nicht den mindesten Theil von dem Gewichte des Wassers tragen können. Hat dagegen das Gefäß die Form eines abgestumpften Kegels oder einer abgestumpften Pyramide (Fig. 35 b.), so ist der Druck auf den Boden größer als das Gewicht des in demselben enthaltenen Wassers, wenn man die größere Grundfläche als Boden annimmt, und kleiner, wenn die kleinere Grundfläche jener Gefäßform als Boden dient.

Man findet demnach in jedem der drei erwähnten Fälle den Druck des Wassers auf den horizontalen Boden eines Gefäßes in Pfunden ausgedrückt wenn man dessen Flächeninhalt (in Quadratfußen berechnet) mit der Höhe des Wasserstandes im Gefäß multiplicirt, und das hiedurch erhaltene Produkt mit 70 Pfund, als dem Gewichte eines Kubikfußes Wassers, vervielfältigt.

Zu Versuchen, die dieß bestätigen sollen, muß man Gefäße mit beweglichen Böden haben. Wenn z. B. eine Wasserpumpe eingerichtet wäre, wie die Figur abcdefgh zeigt (Fig. 36 a), und das Wasser in der engen Röhre bis a steht; so müßte man, um den Kolben mn in die Höhe zu ziehen, so viel Kraft anwenden, als wenn der ganze Raum lmnp voll Wasser auf den Kolben drückte.

§ 174. Eine nützliche Anwendung des Wasserdruckes auf den Boden eines Gefäßes, und seiner Verbreitung nach allen Seiten hin, ist Real's Auflösungspresse (Fig. 36 b). Diese besteht aus einem Cylinder mit starken Wänden, in welchem sich die auszupressende Substanz auf einer siebartig durchlöcherten starken Platte ab befindet. Die Substanz, die fein zerrieben sein muß, wird sodann mit dem Auflösungsmittel, Wasser, Spiritus ꝛc. bis zu einer bestimmten Höhe übergossen, und darauf eine an die Wände des Cylinders dicht anschließende Platte cd gedeckt. Nachdem an dem Cylinder oben ein dicht anschließender Deckel aufgeschraubt worden, welcher in der Mitte mit einer senkrechten, langen, aber engen Röhre g versehen ist, wird diese mit Wasser gefüllt. Auf diese Weise läßt sich auf das Auflösungsmittel und die auszupressende Substanz mit einer geringen Menge Wasser ein starker Druck ausüben, und so ein kräftiger Extrakt erhalten. Ein großer Vortheil dieser Vorrichtung besteht darin, daß sich das Auflösungsmittel kalt anwenden läßt, indem viele Substanzen durch die Hitze z. B. in der Farbe, im Geschmacke u. dgl. Veränderungen erleiden.

§ 175. Aus den in § 168 angeführten Gründen, nach welchen der Wasserspiegel im Zustande der Ruhe eine Horizontalebene bildet, kann das Wasser in communicirenden d. h. mit einander verbundenen Röhren sich nur dann ins Gleichgewicht setzen, wenn es in denselben zu einerlei Höhe hinaufgestiegen ist. Denn solche Röhren lassen sich mit einem Gefäße vergleichen, welches durch eine Scheidewand, die nicht ganz bis auf den Boden reicht, in zwei Räume getheilt worden ist, deren Wasserspiegel immer einerlei Horizontalebene bilden, die Räume mögen gleich oder ungleich, und die Scheidewand gegen den Boden senkrecht oder schief gerichtet sein.

Auf diesem Gesetze communicirender Röhren beruht die Kanalwage, welche beim Nivelliren gebraucht wird, und aus einer blechernen, mit Wasser gefüllten Röhre besteht, welche an ihren Enden 2 senkrecht in die Höhe gehende gläserne Cylinder trägt. Die Oberflächen des Wassers in den beiden Glascylindern liegen jederzeit in einer wagerechten Linie.

§ 176. Wenn communicirende Röhren von ungleicher Länge mit Wasser gefüllt werden, so muß dieses, dem angegebenen Gesetze gemäß, aus der kürzern Röhre so lange herausfließen, bis es in beiden gleiche Höhe hat, oder, wenn die kürzere Röhre wasserdicht verschlossen ist, auf die Decke derselben einen Druck ausüben, welcher gleich ist dem Gewichte einer Wassersäule, deren Grundfläche dem Querschnitte der geschlossenen Röhre, und deren Höhe dem Unterschiede zwischen den Wasserhöhen beider Röhren gleich ist.

Auf diesem Drucke des Wassers in communicirenden Röhren beruhen unsere gewöhnlichen Wasserleitungen, die Springbrunnen (Fontainen) und die artesischen Brunnen.

§ 177. Auf den Druck, welchen die Wände des Gefäßes von dem darin enthaltenen Wasser nach § 172 auszuhalten haben, gründet sich die hydraulische Presse von Brahma (1796 in London erfunden), deren wesentliche Bestandtheile folgende sind (Fig. 37): eine in einem Wasserkasten optz stehende Druckpumpe rsfg, welche durch das Bodenventil v Wasser schöpft, und dasselbe bei niedergehendem Kolben C durch ein zweites Ventil x in den ungleich weitern Cylinder abcd drückt. Hier wirkt das Wasser gegen die untere Fläche des beweglichen Kolbens A, treibt denselben in die Höhe und mit ihm das bewegliche Stück mm der Presse. Auf diese Weise wird der Gegenstand B, der zwischen dem Stücke mm und dem obern festen Balken nn befindlich ist, zusammengedrückt mit einer Kraft, die sich durch nachstehende Berechnung leicht finden läßt. Es verhalte sich nämlich der Durchschnitt des Pumpenkolbens zum Durchschnitte des Cylinderkolbens = 1 : 100; der Hebelsarm hk : hl = 1 : 3, und in l wirke die Kraft eines Menschen mit 50 Pfund; so entsteht daraus eine Druckkraft auf den Kolben A = 100 . 3 . 50 = 15000 Pfund.

§ 178. Jeder in Wasser eingetauchte Körper verliert von seinem Gewichte so viel, als das Wasser wiegt, das mit ihm gleichen Raum einnimmt. Man denke sich in einem mit Wasser gefüllten Gefäße eghk (Fig. 38.) zwei Wassersäulen dc und fc, beide von gleichem Durchmesser und gleicher Grundfläche c. In diesen beiden Wassersäulen seien b und a zwei Wasserkörper von gleicher Höhe und Grundfläche, welche, da sie in jeder Hinsicht gleich sind, einander das Gleichgewicht halten werden. Denkt man sich in Stelle des Wasserkörpers a einen festen Körper von gleicher Größe und gleichem Gewichte mit jenem, so wäre das Gleichgewicht wieder hergestellt und der feste Körper würde vom Wasser getragen, ohne einer andern Kraft zu bedürfen, um getragen zu werden. Folglich verliert ein Körper, der gerade so viel wiegt, als eine ihm gleich große Portion einer Flüssigkeit, sein ganzes Gewicht, wenn er in dieselbe getaucht wird.

§ 179. Ist aber der feste Körper a schwerer, als eine ihm gleich große Wassermasse, so kann er nicht ganz von der Wassersäule dc getragen werden; ein Theil seines Gewichts, so viel als das Gewicht des Wasserkörpers a ausmacht, wird getragen, aber der Ueberschuß nicht, mithin wird der feste Körper mit diesem Ueberschusse sinken. Also verliert ein fester Körper, der schwerer ist, als eine ihm gleiche Portion einer Flüssigkeit, wenn er in dieselbe getaucht wird, nur so viel von seinem Gewichte, als die ihm gleiche Portion Flüssigkeit selbst wiegt.

Zur Bestätigung dieses Gesetzes kann folgender Versuch dienen. Man befestige zwei Würfel, von denen der massive in den hohlen ganz genau paßt, mittelst eines Pferdehaares an das eine Ende des Wagebalkens einer Wage jedoch so, daß der massive Würfel außerhalb an dem Boden des hohlen hängt. Wird nun zuvor die Wage ins Gleichgewicht gebracht, und dann der massive Würfel ganz in das Wasser eines Gefäßes getaucht; so muß man, um das gestörte Gleichgewicht wieder herzustellen, den obern hohlen Würfel ganz mit Wasser füllen.

§ 180. Es muß hiernach ein in Wasser getauchter Körper desto mehr von seinem Gewichte verlieren, je größer der Raum ist, den man ihm ohne Aenderung seines Gewichtes geben kann. Der Gewichtsverlust eines festen Körpers

richtet sich auch nach der Dichtigkeit der Flüssigkeit, in welcher der Körper eingetaucht ist. Der Gewichtsverlust des Körpers muß zu- oder abnehmen, je nachdem die Dichtigkeit jener Flüssigkeit größer oder geringer wird.

Eiserne Schiffe. Meerwasser trägt mehr als Flußwasser.

§ 181. Ist der feste Körper a leichter als ein ihm gleich großer Wasserkörper, so hat die Wassersäule dc das Uebergewicht über die Säule fc. Um sich also mit dieser ins Gleichgewicht zu setzen, so drückt die Wassersäule dc den festen Körper a in die Höhe und treibt ihn zum Theil über die Wasserfläche hinaus, bis der noch untertauchende Theil nur so viel Wasser aus der Stelle treibt, als der feste Körper selbst wiegt. Demnach verliert ein fester Körper, der leichter ist, als eine ihm gleich große Portion einer Flüssigkeit, wenn er in diese getaucht wird, nicht nur sein ganzes Gewicht, sondern er wird in der Flüssigkeit steigen, bis er nur so viel von derselben aus der Stelle treibt, als er selbst wiegt.

§ 182. Wenn in zwei communicirende Röhren zwei Flüssigkeiten von verschiedenem eigenthümlichen Gewichte gegossen werden, und beide keine chemische Verbindung mit einander eingehen; so verhalten sich, im Zustande des Gleichgewichts, ihre Höhen über der Fläche, wo sie an einander grenzen, umgekehrt wie ihre Dichtigkeiten oder specifischen Gewichte. Steht z. B. Quecksilber in der einen Röhre 1 Zoll hoch, so wird Wasser in der andern Röhre gegen 14 Zoll hoch stehen, weil Quecksilber gegen 14mal dichter ist, als Wasser. Hiernach könnte man ungefähr die specifischen Gewichte verschiedener Flüssigkeiten ermitteln.

§ 183. Mittelst einer hydrostatischen Wage (Fig. 39.) findet man auf eine sichere Art das specifische Gewicht aller Körper, ohne daß man nöthig hat, von ihnen Stücke von einer bestimmten Figur und Größe zu haben. Man wägt nämlich den Körper, wenn er im Wasser unauflöslich ist, zuerst außerhalb des Wassers, darauf im Wasser, und bemerkt sich, wie viel er im Wasser an Gewicht verloren hat. Dieser Verlust ist das Gewicht des Wassers, dessen Stelle der Körper einnimmt, oder einer ihm völlig gleichen Portion des Wassers.

Es sei z. B. das Gewicht eines Stückes Graphit außer dem Wasser = 24,795 Loth, sein Gewicht im Wasser = 12,995 Loth; daher sein Gewichtsverlust = 11,8, folglich sein specifisches Gewicht $= \frac{24{,}795}{11{,}8} = 2{,}1012$.

§ 184. Besteht der Körper aber aus losen Stücken, z. B. aus Körnern, Pulver und dergl., so lege man ihn in einen Behälter von Glas oder Metall, dessen specifisches Gewicht bekannt ist, und wäge beides in der Luft, wie im Wasser ab. Der gefundene Gewichtsverlust, vermindert um den des Behälters, gibt den Gewichtsverlust des Körpers, mit welchem man, wie vorhin, in das absolute Gewicht desselben dividiren muß, um das spec. Gewicht zu erhalten.

Z. B. Ein Kubikfuß Quecksilber wiegt in der Luft 953,522 franz. Pfund.
Der Behälter wiege in der Luft 56,708 franz. Pfund,
im Wasser 48,137 „ „

sein Gewichtsverlust ist also . . . . . 8,571 franz. Pfund.
Der Gewichtsverlust des Queckslb. und Behälters sei 78,585 „ „

folglich des Queckslbers allein . . . . . 70,014 franz. Pfund.

Daher das specifische Gewicht des Queckslbers $= \frac{953{,}522}{70{,}014} = 13{,}619$.

§ 185. Bei einem Körper, dessen Dichtigkeit geringer ist, als die des Wassers, kann man sich ebenfalls eines Behälters bedienen, der mit einem aus Draht geflochtenen Deckel zum Festhalten des Körpers versehen und zugleich schwer genug ist, um diesen ganz ins Wasser zu bringen. Das Verfahren bei der Bestimmung des spec. Gewichts eines solchen Körpers ist dem vorigen ganz gleich.

§ 186. Wenn ein Körper sehr porös ist, so wäge man ihn zuerst in der Luft, lasse ihn dann im Wasser liegen, bis er keine Blasen mehr emporsteigen läßt, und bestimme durch abermalige Wägung in der Luft seine Gewichtszunahme; diese ziehe man von dem Gewichte des Körpers, welches er im Wasser hat, ab, und dividire endlich mit dem erhaltenen Unterschiede in das absolute Gewicht des Körpers.

Gesetzt, ein Stück Sandstein wiege in der Luft 1000 Loth
mit Wasser durchzogen . . . . . 1020 „
folglich ist das Gewicht des eingezogenen Wassers 20 „
Der mit Wasser gesättigte Sandstein wiege im Wasser 570 „
also ohne das eingezogene Wasser . . . . . 550 „
sein Gewichtsverlust beträgt also $1000 - 550 = 450$ Loth,

mithin sein specifisches Gewicht $= \frac{1000}{450} = 2{,}222\ldots$

§ 187. Man kann auch das spec. Gewicht verschiedener Flüssigkeiten auf demselben Wege finden. Man nimmt nämlich einen bestimmten Körper, am besten von Glas, wägt ihn ein für allemal in destillirtem Wasser, und alsdann in der gegebenen Flüssigkeit. In beiden wird er etwas von seinem Gewichte verlieren, und die Zahlen, welche den Verlust in beiden Flüssigkeiten anzeigen, geben das Verhältniß der Gewichte von gleichen Portionen des Wassers und der Flüssigkeit.

Gesetzt, das Glas im Wasser gewogen, verliert 800 Gran, in einem zu prüfenden Branntwein 700 Gran; so ist das specifische Gewicht des Branntweins $= \frac{700}{800} = \frac{7}{8}$.

§ 188. Man kann aber auch ohne Wage das specifische Gewicht von Flüssigkeiten, die weniger oder mehr dicht als Wasser sind, finden. Das dazu geeignete Instrument heißt Aräometer oder Senkwage.

Es sei bc (Fig. 40) eine dünne Röhre von Glas, welche sich nach unten in ein längliches Gefäß A erweitert und sich in die kleine hohle Kugel B endigt. In B ist so viel Quecksilber, daß das Instrument, in irgend eine Flüssigkeit getaucht, aufrecht in derselben stehe. Es gibt 2 Arten von Senkwagen, nämlich Aräometer mit Skalen und Aräometer mit Gewichten.

§ 189. Die Aräometer mit Skalen versenken sich nothwendiger Weise in einer Flüssigkeit desto mehr, je weniger dicht, und erheben sich desto mehr, je specifisch schwerer die Flüssigkeit ist. Bei diesen Aräometern (Fig. 40 a) wird die auf einem Papierstreifen verzeichnete Skale in die Röhre gethan und diese zugeschmolzen; bei Aräometern aus Metallblech werden die Zahlen der Skale an der Röhre bc selbst aufgetragen.

Es fragt sich aber, wie die Skale verfertigt werde. Dieß soll hier nur bei den so genannten Prozenten-Aräometern gezeigt werden, deren Zweck es ist, für eine Mischung aus Wasser und noch einem andern Stoffe mittelst der Zahlen der Skale anzugeben, wie viel des letztern darin enthalten sei. Als Beispiel diene der Branntwein, der aus Wasser und reinem Alkohol besteht. Eine Röhre (Fig. 40 a), die im Wasser sich bis auf eine gewisse Stelle a

einsenkt, wird in reinem Alkohol sich weit tiefer einsenken; in einer Mischung aber, die aus gleichen Theilen Alkohol und Wasser (dem Gewichte nach) besteht, wird sich dieselbe Röhre weniger tief als in reinem Alkohol, und tiefer als in reinem Wasser eintauchen. Die Stelle, welche die Oberfläche der Flüssigkeit jedesmal berührt, läßt sich anzeichnen. Aber eben so kann man beliebige Mischungen aus Wasser und Alkohol nach den verschiedensten Verhältnissen machen, die Röhre hineinthun, und die Stellen anmerken, bis zu welchen sich dieselbe in den verschiedenen Fällen versenkt hat.

Auf diese Weise würde man ein Aräometer erhalten, welches, in irgend eine solche Mischung gestellt, das Mischungsverhältniß der beiden Flüssigkeiten dem Gewichte nach anzeigte, man hätte demnach ein Gewichts-Prozenten-Aräometer für Alkohol.

§ 190. Man kann aber die Mischungsverhältnisse des Wassers und Alkohols auch dem Raume nach bestimmen, d. h. man kann von jeder Flüssigkeit ein bestimmtes Maß nehmen, oder vom Alkohol zwei dieser Maße, vom Wasser eins ꝛc. Auch für diese Mischungen läßt sich durch Versuche finden, wie tief sich die Röhre in jeder derselben eintauchen werde. Ein auf solche Weise verfertigtes Aräometer wäre ein Umfangs-Prozenten-Aräometer für Alkohol und Wasser. Was aber für Alkohol und Wasser gilt, gilt ebenfalls für Salpeterfäure und Wasser, für Schwefelfäure und Wasser und andere Materien. Ein jedes Prozenten-Aräometer ist übrigens, wie man sieht, nur für eine Mischung aus 2 bestimmten Materien brauchbar. Die Verfertigung einer solchen Skale ist, wie von selbst erhellet, mühsam und schwierig.

§ 191. Das Aräometer mit Gewichten (von Nicholson) (Fig. 41 a) besteht aus einem hohlen cylindrischen Körper AB von Glas oder Blech; es ist unten mit einem hinlänglich schweren Gefäße C versehen, um den cylindrischen Theil während des Schwimmens genau vertikal zu erhalten, und trägt oben an einem Draht ef eine Schale D zur Aufnahme von Gewichten. Bei g befindet sich ein Einschnitt, bis zu welchem das Aräometer jedesmal eingesenkt wird.

192. Dieses Aräometer wird gebraucht: 1) zur Bestimmung des absoluten Gewichts kleiner fester Körper, 2) zur Bestimmung des specifischen Gewichts fester Körper, und 3) zur Bestimmung des specifischen Gewichts flüssiger Körper, und zwar auf folgende Weise:

Zu 1). Bringen 600 Gran das Instrument zum Einsenken in reinem Wasser bis zum Einschnitt g, und muß man, nach Entfernung dieses Gewichts, zu dem auf dem Schalchen liegenden festen Körper 200 Gran legen, damit das Instrument auch bis zum Einschnitt g eintauche; so ist das absolute Gewicht des auf dem Schalchen gelegten festen Körpers $= 600 - 200 = 400$ Gran.

Zu 2). Das absolute Gewicht eines Körpers wird bestimmt, wenn man den Körper zuerst in der Luft abwägt, und sodann seinen Gewichtsverlust in reinem Wasser sucht. Zu diesem Ende legt man den Körper in das untere Eimerchen C und senkt das Instrument bis zum Einschnitt g im Wasser; das, was man mehr zulegen muß, als wenn der Körper im Schalchen D liegt, ist

der Gewichtsverlust. Dividirt man nun das absolute Gewicht des Körpers durch diesen Gewichtsverlust, so erhält man dessen specifisches Gewicht.

Zu 3). Das Gewicht des Instruments, vermehrt um das Gewicht, wodurch es bis zum Einschnitt g in reinem Wasser herabgesenkt wird, ist das absolute Gewicht der Flüssigkeit vom Volumen des Aräometers bis zum bezeichneten Einschnitt g. Wird das Instrument, welches etwa 600 Gran wiege, im Wasser mit 200, in einer andern leichtern Flüssigkeit mit 120 Gran bis zum Einschnitt g zum Einsenken gebracht; so ist das specifische Gewicht dieser Flüssigkeit $= \frac{600 + 120}{600 + 200} = \frac{720}{800} = 0{,}9$.

Um die Tragbarkeit eines Schiffes zu berechnen, messe man seinen, unter Wasser gehenden Raum aus, betrachte ihn als einen Wasserkörper, und suche dessen Gewicht. Gesetzt, es betrage jener Raum bis zu einem an der Außenseite des Schiffes bezeichneten Striche, 2000 Kubikfuß; so ist die Tragbarkeit des Schiffes, mit Inbegriff seines eigenen Gewichts, 2000×70 Pfund $= 140000$ Pfund.

Um aber zu wissen, wie viel Last ein solches Schiff, außer seinem eigenen Gewichte, zu tragen fähig sei, berechne man den Raum, den das unbelastete Schiff im Wasser einnimmt und suche das Gewicht dieses Wasserkörpers. Angenommen, daß dieses Gewicht 40000 Pfund betrage; so ist das Schiff noch im Stande $140000 - 40000 = 100000$ Pfund zu tragen.

Da ein Schiff nach Roggenlasten abgeschätzt wird, ein Lof Roggen etwa 110 Pfund wiegt, folglich eine Last Roggen ein Gewicht von 4950 Pfund enthält; so würde obiges Schiff $\frac{100000}{4950} = 20\frac{1}{2}$ Lasten groß sein.

§ 193. Sind das absolute und specifische Gewicht, so wie das Volumen eines Körpers bekannt, und ist das absolute Gewicht eines Kubikmaßes destillirtes Wasser von 0^0 gegeben; so kann man aus drei der gegebenen Größen leicht die vierte unbekannte finden; z. B.

Es wiege 1 Kubikmaß destillirtes Wasser von $0^0 = p$ Pfund,
dann sind V Kubikmaß dieses Wassers . . . $= V \cdot p$ Pfund. Nennt man s das specifische Gewicht des gegebenen Körpers; so ist
V Kub. Fuß dieses Körpers . . . . . $= V \cdot p \cdot s$ Pfund. Das absolute Gewicht des gegebenen Körpers sei . . . . $= P$ Pfund;
folglich ist . . . . . 1) $P = V \cdot p \cdot s$; woraus folgt,

2) $V = \frac{P}{p \cdot s}$, und

3) $s = \frac{P}{V \cdot p}$.

Nach der Formel 2) kann folgende Aufgabe leicht gelöst werden:
Wie viel Raum nimmt ein Marmorblock ein, dessen absolutes Gewicht $= 500$ Pfund und dessen specifisches Gewicht $= 2{,}71$ ist?

Antw. $\frac{500}{70 \cdot 2{,}71} = 2{,}63$ Kubikfuß,

wobei vorausgesetzt ist, daß 1 par. Kubikfuß destillirtes Wasser 70 par. Pfund wiegt.

§ 194. Wenn man das eine Ende eines oben und unten offenen Glasröhrchens in eine Flüssigkeit taucht, so steht die Oberfläche der Flüssigkeit im Röhrchen nie in gleicher Höhe mit dem Spiegel der Flüssigkeit außerhalb. In Wasser z. B. eingetaucht, erhebt sich die Flüssigkeitssäule im Röhrchen; wenn man hingegen das Glasröhrchen in Quecksilber eintaucht, so steht der Gipfel der Quecksilbersäule im Röhrchen tiefer als außerhalb. Diese Erscheinungen der Hebung und Senkung nennt man Capillarerscheinungen, die Kraft aber, welche sie hervorbringt, heißt Capillarattraction, (Haarröhrchen-Anziehung) oder auch bloß Capillarität. Diese Kraft wirkt nicht bloß, um die Flüs-

sigkeit in Röhrchen zu heben oder zu senken, sie wirkt überall, wo Flüssigkeiten mit festen Körpern, oder Flüssigkeiten unter sich einander berühren. Die Capillarerscheinungen hängen wesentlich ab von der Natur der Flüssigkeit, ob sie die innere Röhrenwand netzt, oder nicht netzt. Im ersten Falle steigt die Flüssigkeit im Röhrchen und bildet stets eine hohl gekrümmte Oberfläche; im zweiten Falle fällt die Flüssigkeit und bildet dann immer eine erhaben gekrümmte Oberfläche. Diese Gestalten sind wesentlich mit der Hebung und Senkung verbunden; denn wenn man etwa die innern Wände der Röhre mit einer fettigen Substanz überzieht, und sie dann ins Wasser taucht, so erhält man eine erhaben gekrümmte Oberfläche, gerade so, als ob man eine gewöhnliche Glasröhre in Quecksilber taucht. Uebrigens sind die Capillarerscheinungen unabhängig von der Dicke und Länge der Röhrchen, immer aber verhalten sich die Hebung und Senkung einer Flüssigkeit in feinen Röhren, nahe umgekehrt wie die innern Durchmesser der Röhren.

In einem ringförmigen Raume von beliebiger Dicke ist die Hebung oder Senkung einer Flüssigkeit gerade eben so groß, wie in einer cylindrischen Röhre, deren Durchmesser doppelt so groß ist, als die Dicke dieses ringförmigen Raumes. Eben so ist der zwischen zwei parallelen Platten befindliche Raum nichts anders, als ein Stück eines ringförmigen Raumes von unendlich großem Halbmesser, die Höhen der gehobenen oder gesenkten Säulen müssen also denselben Gesetzen folgen, wie wir sie bei dem ringförmigen Raume kennen gelernt haben.

§ 195. Die Principien, auf denen die Capillarität beruhet, lassen sich im Ganzen auf folgende Annahmen zurückführen:

1) daß in jeder Flüssigkeit eine Cohäsionskraft, d. h. eine anziehende Kraft zwischen den benachbarten Theilchen vorhanden ist, wie wir dieses bereits in § 37 kennen gelernt haben;

2) daß zwischen festen und flüssigen Körpern eine Adhäsionskraft wirkt, d. h. eine anziehende Kraft zwischen den benachbarten Theilchen des festen und des flüssigen Körpers (§ 37).

Laplace nimmt an, wenn eine Flüssigkeit in einer feinen Röhre aufsteigt, haftet eine ganz dünne Schicht der Flüssigkeit (vermöge der Adhäsion) an der innern Röhrenwand; diese dünne Schicht bildet selbst eine Röhre, welche eine zweite etwas niedrigere hinaufzieht, die dann wieder eine dritte ꝛc. hebt; jede folgende Schicht ist aber niedriger als die vorhergehende, weil seiner Annahme nach, die anziehenden Kräfte, welche die Capillarerscheinungen hervorbringen, sehr rasch abnehmen. Auf diese Weise erklärt sich, daß die Flüssigkeit an der Röhrenwand aufsteigt und daß sich eine hohl gekrümmte Oberfläche bildet. Aus folgender Betrachtung aber ergibt sich, warum die Flüssigkeitssäule innerhalb der Röhre höher als außerhalb derselben steht.

Irgend ein Wassertheilchen, welches mitten in der Flüssigkeit sich befindet, wird durch die benachbarten Theilchen nach allen Seiten hin gleich stark angezogen; ein Wassertheilchen dagegen, welches sich auf der horizontalen Oberfläche des Wassers befindet, wird durch die unter ihm befindlichen Wassertheilchen angezogen, ohne daß eine entsprechende Anziehung nach oben stattfindet; dadurch aber entsteht nach unten hin ein Druck, welcher die Wirkung der Schwerkraft der obern Wassertheilchen auf die untern vermehrt. Wird nun ein feines Röhrchen (Fig. 41 b) in die Flüssigkeit getaucht, so wird wenigstens am Rande sogleich die Flüssigkeit steigen, es wird sich eine hohl gekrümmte Oberfläche bilden. Nun aber befindet sich das Theilchen a, welches

den tiefsten Punkt jener Oberfläche einnimmt, nicht mehr in einer horizontalen Ebene, rings um dasselbe herum sind Theilchen, welche höher liegen und welche, nach oben ziehend, dem durch die unter a liegenden Wassertheilchen veranlaßten, nach unten gerichteten Drucke entgegen wirken. Denken wir uns nun einen sehr engen Kanal abcd, dessen Röhrenwände selbst Wasser sind, so wird das Gewicht der Wassersäule ab der gleich hohen dc das Gleichgewicht halten; da aber die Wassertheilchen in d stärker niedergezogen werden, also stärker auf die unteren drücken, als die Wassertheilchen in a; so kann in dieser Weise kein Gleichgewicht bestehen, die Wassertheilchen in a müssen steigen, bis dem Ueberschusse des Drucks in d durch das Gewicht der gehobenen Wassersäule das Gleichgewicht gehalten wird.

Je enger die Röhre ist, desto stärker wird die Krümmung der hohlen Oberfläche, desto mehr Wassertheilchen können wirken, um den nach unten gerichteten Druck des Theilchens a zu vermindern; desto höher wird also die Wassersäule in der Röhre steigen müssen.

Wenn sich in einem Haarröhrchen eine erhaben gekrümmte Oberfläche bildet, wie in Fig 41 c, so werden die Flüssigkeitstheilchen im Gipfel a der Oberfläche stärker nach unten gezogen, als wenn sie in einer horizontalen Ebene lägen; sie werden also stärker nach unten drücken, und dadurch erklärt sich die in diesem Falle stattfindende Niederdrückung (Depression). Taucht man ein Glasröhrchen vertikal in Quecksilber, so wird es im Röhrchen tiefer stehen, als außen, weil die stark erhabene Krümmung der Oberfläche der Quecksilbersäule in der Röhre niederdrückend wirkt. Es ist auch klar, daß die Depression um so größer sein muß, je enger die Röhre ist.

Man hat beobachtet, daß die Temperatur auf das Steigen der Flüssigkeit in Haarröhrchen bedeutenden Einfluß hat, indem dieselbe bei größerer Wärme nicht so hoch steigt. Der Unterschied in der Größe der Adhäsion und Cohäsion ist Ursache, daß kleine Körper auf Flüssigkeiten schwimmen, welche eine geringere Dichtigkeit haben, als jene, wofern man dafür sorgt, daß diese Körper nicht benetzt werden.

§ 194. Da die Zwischenräume poröser Körper mehr oder weniger Gemeinschaft unter einander haben, so bilden sie mancherlei Kanäle, die verschieden gebogen sind und, ihres geringen Durchmessers wegen, als Haarröhrchen wirken.

Daraus ergibt sich das Eindringen des Wassers in poröse Körper, das Aufsteigen desselben in eine Sandschicht, in Zucker, Löschpapier; das Aufsteigen des Oels und Fettes in die brennenden Dochte, der Säfte in den Stamm der Bäume u. s. w. So zieht sich das Wasser mit einer so großen Gewalt in die Poren des Holzes, daß auf diese Weise Felsen gesprengt werden. Eben so reißen Erbsen durch ihr Aufquellen die Theile eines Schädels von einander, und ein stark gespanntes Seil wird durch Anfeuchtung bedeutend verkürzt. So erklärt sich auch das Naßwerden einer auf feuchtem Grunde stehenden Mauer. Der Steindruck beruht gleichfalls auf der Netzbarkeit und Nichtnetzbarkeit der Flüssigkeiten. Werden nämlich auf eine dazu geeignete abgeschliffene Steintafel Zeichnungen ꝛc. mit einem Stifte gemacht, welche fettige Bestandtheile hat, und wird dann die Tafel mit Wasser übergossen; so wird der Stein im Ganzen benetzt, aber die Striche der Zeichnung bleiben trocken. Wird nachher die mit Oel bereitete Druckerschwärze mittelst eines Ballens auf die Tafel getragen, so wird sie von dem nassen Stein nicht aufgenommen, wohl aber von der fettlichen Zeichnung. Diese erscheint dann auf dem Papier, auf welches der Stein angedrückt wird. Die Bestandtheile der lithographischen Kreide sind: Wachs, Seife, Kienruß, Unschnitt, Schellack.

Die Erscheinungen der Capillarität sind eine Abweichung von dem allgemeinen Gesetz communicirender Röhren (s. § 175).

Zweiter Abschnitt.

Von den Gesetzen der Bewegung tropfbar-flüssiger Körper (Hydraulik oder Hydrodynamik).

195. Die Bewegungen des Wassers werden unmittelbar durch Naturkräfte oder durch Kunst erzeugt. Zu den erstern gehören: der Fall der Regentropfen, die Strömungen des Meeres, die Ebbe und Fluth, und die Wellenbewegungen; zu den künstlichen rechnet man: die Bewegungen des Wassers in Kanälen, Rinnen und Röhren bei Wasserleitungen und Wasserkünsten. Beide Arten sind im Allgemeinen denselben Gesetzen unterworfen.

§ 196. Tropfbare Flüssigkeiten müssen bei ihrer Bewegung denselben Gesetzen folgen, welchen feste Körper unterworfen sind, obgleich viele Erscheinungen anders ausfallen, als man sie nach der Theorie erwarten sollte. Es verhalten sich demzufolge, wie bei frei fallenden Körpern (§ 129) die Geschwindigkeiten des ausfließenden Wassers, so wie die Menge des ausgeflossenen Wassers bei gleich großen Oeffnungen in Gefäßen, wie die Quadratwurzel aus den Druckhöhen. Sind nämlich in einem Gefäße 2 Oeffnungen von gleicher Größe, deren Druckhöhen sich verhalten, wie 4 : 9, so werden die Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers und mithin auch die Menge des ausgeflossenen Wassers bei gleichbleibenden Druckhöhen sich verhalten, wie $\sqrt{4} : \sqrt{9}$, oder wie 2 : 3. Ist die eine dieser Oeffnungen 5mal so groß, als die andere, so fließt auch nach Verhältniß aus der erstern eine fünfmal größere Wassermenge heraus, als aus der zweiten.

Die Theorie dieses Satzes stimmt nicht vollkommen mit den darüber angestellten Versuchen überein. Die Adhäsion der Flüssigkeit an den Wänden und die Cohäsion der Theile unter sich ist Ursache einer Verzögerung der abfließenden Wassermenge. Bei einem senkrecht aufwärts gehenden Strahl erreicht derselbe nur den $\frac{1}{10}$ Theil der Druckhöhe; theils wegen der Adhäsion der Flüssigkeit zu den Seitenwänden der Röhre, theils wegen des Widerstandes der Luft und endlich wegen des Umstandes, daß die zurückfallenden Tropfen den aufsteigenden Strahl etwas aufhalten.

§ 197. Das Wasser fließt aus der Oeffnung in dem Boden eines Gefäßes mit der Geschwindigkeit heraus, welche ein frei fallender Körper erlangen würde, wenn er von der Oberfläche des Wassers bis zur Ausflußöffnung herabfiele. Bedeutet h die Druckhöhe und c die Ausflußgeschwindigkeit, so ist c nahe $= 2\sqrt{g.h}$ (§ 129, III.) Man findet mittelst dieser Formel leicht die Menge des in einer gewissen Zeit aus der Oeffnung eines Gefäßes herausgeflossenen Wassers, wenn man die ungeänderte Geschwindigkeit c des ausströmenden Wassers mit der Fläche F der Oeffnung multiplicirt; denn es geht in 1 Sec. durch die Oeffnung ein Wasserstrahl von der Grundfläche F und der Länge c, mithin eine Wassermenge von F. c Kubikmaß, also in t Secunden eine Wassermasse von t . F. c Kubikmaß.

Die Erfahrung zeigt indessen, daß, wenn die Oeffnung in einer sehr dünnen Wand angebracht ist, die wirklich hervorfließende Menge etwa nur $\frac{2}{3}$ derjenigen beträgt, welche nach diesem Gesetze herausfließen sollte. Nimmt man kurze cylindrische Röhren, so ist der Ausfluß aus diesen nahe so groß, als ihn die

Theorie erfordert; noch größer wird der Ausfluß, wenn man eine kegelförmige nach außen erweiterte Röhre anwendet.

Es betrage z. B. die Ausflußöffnung 6 □″, die Druckhöhe werde ungeändert auf 60″ erhalten; so ist die Frage: wie viel Kubikzoll Wasser fließt in 1 Secunde aus dieser Oeffnung? Da $c = 2\sqrt{g.h}$ ist, also hier $= 2\sqrt{15'.60''} = 207{,}8''$ mithin $F.c = 6.207{,}8 = 1246{,}8$ Kubikzoll. Die Geschwindigkeit, mit welcher eine Flüssigkeit ausfließt, hängt bloß von der Tiefe der Oeffnung unter der obern Fläche, keineswegs aber von ihrer Dichtigkeit ab.

198. Wenn fließendes Wasser auf einen ruhenden festen Gegenstand senkrecht stoßend wirkt, so ist die Kraft, womit dieser Stoß geschieht, gleich dem Gewichte einer Wassersäule, deren Grundfläche die gestoßene Fläche des ruhenden Gegenstandes, deren Höhe aber die aus der Geschwindigkeit sich ergebende Fallhöhe ist. Bezeichnet F die gestoßene Fläche in Quadratfuß-Maß ausgedrückt, so ist (da nach § 129, IV. $h = \frac{c^2}{4g}$) diese Kraft gleich dem Gewichte einer Wassersäule von $\frac{F.c^2}{4g}$ Kubikfuß, mithin das Gewicht dieser Wassermasse in Pfunden ausgedrückt $= \frac{F.c^2.70}{4g}$ Pfund.

§ 199. Wenn Wasser fortwährend von einem höher gelegenen zu einem tief gelegenen Orte herabfließt, so kann man ein solches Wassergefälle als eine bewegende Kraft anwenden.

Wenn eine Wassermasse, deren Gewicht M ist, in 1 Secunde von einer Höhe h herabfließt oder fällt; so ist M.h die Größe der Bewegung oder das mechanische Moment dieser Wassermasse (§ 83).

§ 200. Um das mechanische Moment eines Wassergefälles zu benutzen, wendet man in den meisten Fällen Wasserräder, d. h. Räder an, an deren Umfang das Wasser durch Druck oder Stoß wirkt. Die gewöhnlichen Wasserräder drehen sich in vertikaler Ebene um eine horizontale Axe. Man unterscheidet 3 Hauptarten vertikaler Wasserräder: unterschlächtige, oberschlächtige und mittelschlächtige.

§ 201. Bei den unterschlächtigen Rädern (Fig. 42 a) stehen die Schaufeln rechtwinklig auf dem Umfange des Rades. Die untersten Schaufeln sind in das Wasser getaucht, welches mit einer Geschwindigkeit fortfließt, welche von der Höhe des Gefälles abhängt. Auf diese Räder wirkt das Wasser durch den Stoß. Theorie und Erfahrung zeigen, daß man die vortheilhafteste Wirkung eines Gefälles auf ein unterschlächtiges Rad erhält, wenn die Geschwindigkeit des Rades halb so groß ist, als die Geschwindigkeit, welche der Höhe des Gefälles entspricht. Demnach ist hier die Wirkung eines Gefälles gleich der Hälfte seines mechanischen Moments. Da aber ein Theil der Kraft durch Adhäsion des Wassers an den Wänden des Gerinnes u. s. w. verloren geht, so bleibt nach sorgfältigen Versuchen für ein unterschlächtiges Rad der Werth $\frac{3}{10}$ des mechanischen Moments übrig.

Die unterschlächtigen Räder werden da angewendet, wo man über ein Gefälle von ziemlich bedeutender Wassermenge, aber geringer Fallhöhe zu gebieten hat.

Unterschlächtige Räder mit krummen, statt gerader, Schaufeln geben einen weit größern Kraftgewinn, etwa $\frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$ des mechanischen Moments.

§ 202. Die oberschlächtigen Wasserräder (Fig. 42 b) werden bei höhern Gefällen von geringerer Wassermasse, bei kleinen Wald- und Gebirgsbächen angewendet. Hier wirkt das Wasser durch sein Gewicht als Druckkraft. Das Wasser fällt hier, von oben auf das Rad laufend, in die Zellen auf der einen Seite des Rades, welches eben durch dieses Uebergewicht umgedreht wird. Nahe am untern Ende des Rades läuft das Wasser aus den Zellen wieder heraus. Auch bei den oberschlächtigen Rädern geht $\frac{1}{4}$ des mechanischen Moments des Gefälles verloren, weil die Zellen das Wasser nicht bis zum tiefsten Punkte des Rades behalten können, sondern schon früher auszugießen beginnen. Wird das Rad rasch umgedreht, so beträgt jener Verlust mehr als $\frac{1}{4}$ des mechanischen Moments, weil das Wasser in diesem Falle noch früher aus den Zellen herausfällt.

§ 203. Es ist für die Benutzung des Wassers, dessen man oft zu wenig hat, nicht gleichgiltig, wie schnell das Mühlrad herumgeht. Durch Versuche hat sich ergeben, daß das Wasser am besten benutzt wird, wenn man der Mitte der Schaufeln die Hälfte der Geschwindigkeit gibt, welche das Wasser erlangt hätte, wenn es von der Höhe der Rinne frei herabfallen würde.

Es sei z. B. die Entfernung der Rinne bis zur Mitte der tiefsten Schaufel = 8′, so ist (nach der Formel $c = 2\sqrt{g \cdot h}$,) die Endgeschwindigkeit nahe an 22′. Die Hälfte davon ist 11′, und dieses muß die Geschwindigkeit der Mitte jeder Schaufel sein. Es habe das Rad, von der Mitte der Schaufeln gerechnet, 14′ Durchmesser, dann ist sein Umfang nahe an 44′. Dividirt man diesen Umfang durch 11, so findet man 4 Secunden, d. h. das Rad braucht 4 Secunden, um einmal, oder 1 Minute, um 15mal vom Wasser herumgedreht zu werden. Man darf also auf das Wasserrad nur so viel Wasser herabfallen lassen, daß dasselbe diese Geschwindigkeit erlangt.

§ 204. Das mittelschlächtige Rad (Fig. 42 c) bildet eine Art Mittelgattung zwischen dem ober- und unterschlächtigen, und wird da angewendet, wo das Gefälle sich nicht ganz zur Betreibung eines oberschlächtigen eignet. Das Wasser wirkt hier als Druck und Stoß zugleich.

§ 205. Bei sehr hohen Gefällen, welche keine vertikalen Räder mehr zulassen, hat man horizontale Wasserräder mit großem Nutzen angewendet; besonders sind die in neuerer Zeit durch Fourneyron in Anwendung gebrachten, welche man Turbinen nennt, von großem praktischen Nutzen. Diese werden durch den Druck des Wassers bewegt und sind sowohl bei sehr bedeutendem, als auch bei sehr geringem Gefälle anwendbar.

Es stellt Fig. 43 a den Durchschnitt, Fig. 43 b den Grundriß einer Fourneyronschen Turbine dar. AA ist die senkrecht stehende Hauptwelle, an deren unterm Ende die kreisförmige Scheibe oder Schale cc festgekeilt ist; an dem äußern Umfange aa dieser Scheibe ist der Schaufelboden mit den vertikal aufgesetzten krummen Schaufeln dd. Es ist CC ein feststehendes gußeisernes bei E aufgehangenes Rohr, wovon die Welle A concentrisch umschlossen wird, und welches sich am untern Ende in eine horizontale Scheibe oder einen Boden e,e endigt. Auf dieser Scheibe sind die Richtungsschaufeln f,f befestigt. Der Boden i,i des Gerinnes ist mit einer runden Oeffnung, in welcher der gußeiserne Cylinder g eingelassen ist, und an dessen innern Wänden sich concentrisch ein zweiter Cylinder k,k vermöge einer Lederliederung dicht anschließt. Derselbe bildet die Schütze und kann mittelst der Zugstangen l,l aufgezogen und niedergelassen werden, indem diese entweder mittelst Schrauben und konischer

Räder oder mittelst Hebel bewegt werden. XY bezeichnet den Spiegel des Oberwassers, xy den des Unterwassers, so daß also die Turbine im Unterwasser unter dem Gerinnboden läuft. Das Lager des am untern Ende der Welle angebrachten Zapfens kann mittelst Hebel erhöht und erniedrigt werden. Gegen das obere Ende der Welle befindet sich ein konisches Rad, mittelst dessen die Bewegung des Rades weiter fortgepflanzt werden kann. Die Radschaufeln sind nach einer Spirale so zu krümmen, daß sie nach außen etwas convergiren. Wenn sie von dünnem Bleche gefertigt sind, so werden es 36 bis 42. Die Richtungsschaufeln sollen nach außen annähernd parallel sein, und nur eine um die andere bis zum Mantel gehen, welcher die Hauptwelle umschließt. Ihre Zahl ist der der Radschaufeln gleich zu machen. Die cylindrische Schütze mit den Holzbacken zwischen den Richtungsschaufeln bildet gewissermaßen Ansatzröhren für das Wasser. Sowohl im Zufluß- als Abflußkanale bringt man noch besondere Schützen an, um das Becken der Turbine ganz trocken legen zu können. Gut construirte Fourneyronsche Turbinen geben einen Kraftgewinn von $\frac{3}{4}$ des mechanischen Moments.

§ 206. Auf dem Drucke des Wassers auf die Seitenwände der Gefäße (§ 172) beruht das Segner'sche Reactionsrad, auch schottische Turbine genannt (Fig. 44 a). Dasselbe besteht in einem, um eine lothrechte Axe beweglichen, hohlen Cylinder, welcher unten einige Ausflußröhrchen hat, die alle nach einer und derselben Seite hin mit kleinen Oeffnungen versehen sind. Wird dieser Cylinder mit Wasser gefüllt, so kommt er in Drehung nach einer Richtung, die der Richtung des aus den kleinen Oeffnungen der Ausflußröhrchen herausfließenden Wassers entgegengesetzt ist, weil der Wasserdruck auf die Stellen, wo das Wasser ausfließt, nun nicht mehr, wohl aber auf die ihnen entgegengesetzten, stattfindet (§ 172).

Man hatte schon früher versucht, das Segner'sche Wasserrad zum Betrieb von Maschinen anzuwenden, doch ohne erheblichen Erfolg; man erhielt immer nur eine sehr geringe bewegende Kraft.

Der Grund davon lag aber nur darin, daß der untere der beiden Zapfen, um welche sich der Apparat dreht, das ganze Gewicht einer großen Wassermasse zu tragen hat, wodurch natürlich ein sehr großer Reibungswiderstand erzeugt wird. Dieser Uebelstand wird dadurch gehoben, daß man das Wasser nicht von oben, sondern von unten in die horizontalen Arme einströmen läßt. Fig. 44 b zeigt das Wesentliche dieser Construction. Das Behältniß wird durch eine gußeiserne Röhrenleitung gebildet, welche unten horizontal umgebogen ist und mit einem vertikal in die Höhe gehenden Röhrenstücke a endet. Aus der Oeffnung bei a strömt das Wasser in die Hülse b, welche auf dem Röhrenende a so sitzt, daß sie um dasselbe, wie um einen Zapfen, sich drehen kann. Durch die Hülse b gelangt das Wasser in die horizontalen Arme c und strömt durch die Oeffnungen bei o aus. Die Bewegung des Rades wird durch die Axe d fortgepflanzt. Durch diese sehr sinnreiche Vorrichtung wird das Gewicht des Rades mit Allem, was daran befestigt ist, fast vollständig durch den Druck der Wassersäule getragen, so daß der Zapfen a fast gar keinen Druck auszuhalten hat. Gibt man den Armen des Reactionsrades die Gestalt eines S, so wird dadurch viel an bewegender Kraft gewonnen.

Das Wasser tritt dann, durch das Rohr strömend und gegen die gekrümmten Wände drückend, seine Geschwindigkeit nach und nach an das Rad ab, so daß es an der Oeffnung fast ohne Geschwindigkeit abfällt.

In der Ausübung hat sich diese Einrichtung trefflich bewährt. Unweit Koblenz ist ein Wasserrad dieser Art, das eine Lohmühle treibt. Der Durchmesser dieses Rades beträgt 24 rh. Fuß; die Höhe der Wassersäule in der Röhrenleitung, welche $1\frac{1}{2}$ bis 2 Fuß Durchmesser hat, ist 96'. Das Rad macht ohne Last 90 bis 120, mit einer Last 30 bis 40 Umdrehungen in 1 Minute.

§ 207. Um die Geschwindigkeit eines Stromes auf der Oberfläche zu messen, bedient man sich schwimmender Körper, die durch angehängte Gewichte eintauchen, und oben mit einer über das Wasser emporstehenden Fahne versehen sind. Besonders eignet sich dazu eine hohle metallene oder gläserne Kugel, die zum Theil mit Schrot gefüllt ist, damit sie zur Hälfte untertauche. Setzt man eine solche Kugel in die Mitte des Strombettes und legt sie in 4 Secunden 12 Fuß zurück, so ist die Geschwindigkeit des Stromes $= \frac{12}{4} = 3$ Fuß. Außerdem gibt es noch verschiedene andere Geschwindigkeitsmesser.

Kapitel IV.

Die Lehre von den luftförmigen (elastisch-flüssigen) Körpern.

Erster Abschnitt.

Von den Gesetzen des Gleichgewichts luftförmiger Körper (Aërostatik).

§ 208. Alle luftförmigen Körper sind ungleich flüssiger als die tropfbar-flüssigen; sie sind überdieß höchst fein, leicht beweglich, sehr elastisch und von geringer Schwere.

Alle Luftarten haben das Streben, sich immer mehr und mehr auszudehnen, wenn kein äußeres Hinderniß sie davon abhält, und unterscheiden sich von den tropfbaren Flüssigkeiten besonderes dadurch, daß sie schon bei geringem Drucke ihr Volumen ändern.

§ 209. Die elastischen Flüssigkeiten zerfallen in solche, deren Elasticität dauernd ist, wie die atmosphärische Luft u. s. w., und in solche, die keine unter allen Temperaturen und jedem Drucke bleibende Elasticität besitzen, sondern in tropfbare Flüssigkeiten verwandelt werden können. Erstere nennt man Gase, letztere Dämpfe.

Nach neuern Versuchen lassen sich aber mehrere Gase, als: Chlorgas, Chlorwasserstoffgas, oxydirtes Stickgas, Salpetergas, Schwefelwasserstoffgas, Ammoniakgas, Cyangas und kohlensaures Gas durch einen sehr starken Druck und eine niedrige Temperatur in tropfbare Flüssigkeiten verwandeln. Diese Gase aber, so wie die Dämpfe zeigen, so lange sie im elastischen Zustande bleiben, dieselben Eigenschaften, als bleibend elastische Gase.

§ 210. Unter den luftförmigen Körpern wollen wir vorzugsweise die atmosphärische Luft betrachten, welche unsere Erde von allen Seiten umgibt und deren Dasein sich auf unsern Gehör-, Gesichts- und Gefühlssinn in verschiedener Weise bemerkbar macht. Ohne Luft würde das physische Leben der Thier- und

Pflanzenwelt eben so wenig erhalten werden, als ohne Wasser. Ohne sie könnte kein Körper entzündet, kein Schall gehört, keine menschliche Stimme vernommen werden und der Himmel würde uns als ein schwarzes Gewölbe erscheinen (§ 350).

§ 211. Daß die Luft flüssig sei, geht daraus hervor, daß sich ihre Theilchen leicht trennen lassen; daher sich denn auch ein auf eine Luftmasse ausgeübter Druck, ganz wie beim Wasser, nach allen Seiten hin gleichmäßig fortpflanzen muß; folglich müssen die Sätze vom Gleichgewichte und Drucke der tropfbaren Flüssigkeiten auch für die elastischen Flüssigkeiten gelten, da diese Gesetze bloß auf der Schwere beruhen.

Es haben luftförmige Körper eben so das Streben, durch den Seitendruck auf die Wände des Gefäßes, in welchem sie eingeschlossen sind, eine Bewegung hervorzubringen, wie tropfbare Flüssigkeiten, und diese Bewegung erfolgt eben so wie bei den letztern, wenn der Druck auf eine Seitenwand im Gefäße aufgehoben wird (s. § 206 das Segnersche Reactionsrad). Aus dieser Rückwirkung erklärt sich das Zurückprallen der Kanonen und anderer Schießgewehre beim Losfeuern, die Drehung der Schwärmer, das Steigen der Raketen u. s. w.

§ 212. Die Schwere der Luft hat der italienische Gelehrte Evangelista Torricelli (1643) durch folgenden Versuch erwiesen. Er nahm eine unten geschlossene Glasröhre von etwa 30 Zoll Länge, füllte sie mit Quecksilber, verschloß die obere Oeffnung mit dem Finger, stellte hierauf die Röhre umgekehrt in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß, zog den Finger hinweg und bemerkte, daß aus der Röhre nur so viel Quecksilber herausfloß, daß der zurückgebliebene Theil etwa 28 Zoll betrug; über dieser Quecksilbersäule ist ein luftleerer Raum entstanden, welchen man nach seinem Erfinder die Torricellische Leere nennt. Der Druck der Luft, welche das tiefere Herabsinken des Quecksilbers in der Röhre hindert, beträgt also so viel, als das Gewicht einer über derselben Grundfläche stehenden 28 Zoll hohen Quecksilbersäule.

Da der Druck der ganzen Atmosphäre dem Drucke einer Quecksilbersäule von 28 Zoll das Gleichgewicht hält, so bezeichnet man ihn mit dem Namen Atmosphärendruck. Der Ausdruck „3 Atmosphärendruck“ wäre demnach gleich dem Drucke einer Quecksilbersäule von 3mal 28″ = 84″.

§ 213. Da das Quecksilber 13,619mal mehr eigenthümliches Gewicht hat als Wasser, so wird demnach eine Wassersäule von 13,619 × 28 Zoll = 32 Fuß auch einer Luftsäule von gleicher Grundfläche mit ihr das Gleichgewicht halten. Hat z. B. die Wassersäule eine Grundfläche von einem Quadratfuß, so beträgt die in der Röhre enthaltene Wassermasse von 32 Fuß Höhe 32 Kubikfuß, und da 1 pariser Kubikfuß destillirtes Wasser 70 par. Pfund wiegt; so wiegen 32 Kub. Fuß Wasser 32 × 70 = 2240 par. Pfund. Eben so viel wird nun aber auch die Luftsäule von der Grundfläche eines Quadratfußes und von der Höhe der ganzen Atmosphäre betragen; woraus folgt, daß eine Luftsäule, von der Höhe der ganzen Atmosphäre, auf eine Fläche von einem Quadratzolle mit einem Gewichte von $\frac{2240}{144} = 15\frac{1}{2}$ Pfund drückt.

Die Oberfläche des menschlichen Körpers beträgt ungefähr 15 Quadratfuß; demnach wird derselbe von einem Gewicht von etwa 33000 Pfund gedrückt. Wir fühlen aber diesen Druck nicht, weil er von allen Seiten her gleichförmig wirkt, und weil alle in unserm Körper enthaltene Luft gegen die äußere sich völlig im Gleichgewichte befindet.

§ 214. Die von Torricelli angegebene Vorrichtung heißt Barometer oder Luftschwermesser.

Es gibt 2 Hauptarten von diesem Instrumente, und zwar Gefäß- und Heberbarometer.

Das Gefäßbarometer (Fig. 45 a) besteht aus einer gläsernen, 30 Zoll langen, gleichweiten, geraden Röhre, welche oben zugeschmolzen und unten offen ist. Wenn diese Röhre, welche inwendig glatt, rein und trocken sein muß, durch die Oeffnung E mit ausgekochtem, reinem Queckſilber ganz gefüllt, und dann umgekehrt in ein mit Queckſilber gefülltes weites Gefäß A gestellt wird; so sinkt das Queckſilber, von D bis C, nämlich so weit, bis das Stück CB, (d. h. die Höhe des Queckſilbers in der Röhre über der Oberfläche des Queckſilbers im Gefäße A) etwa 28 Zoll beträgt (§ 212).

Die jedesmalige Höhe des Punktes C der Queckſilbersäule über B wird durch eine, in Zoll und Linien eingetheilte Skale gemessen.

§ 215. Wird der Druck der Luft auf die Queckſilberoberfläche im Gefäße A größer, so steigt das Queckſilber in der Röhre über C hinauf; wird dagegen der Druck der Luft geringer, so fällt es unter C herunter. So zeigt also das Steigen und Fallen des Queckſilbers in der Torricelliſchen Leere größern und geringern Druck der Luft an.

§ 216. Indem das Queckſilber in der Röhre steigt, muß es im Gefäße etwas sinken, mithin würde zugleich der Punkt B, von dem an man die von der Luft getragene Queckſilbersäule rechnen muß, etwas tiefer zu liegen kommen. Wenn aber das Gefäß A sehr weit im Vergleich mit der Röhre ist, so kann schon das Queckſilber in der Röhre bedeutend über C hinaufsteigen, ohne daß es im Gefäße merklich unter B heruntersinkt. Eben so auch im umgekehrten Falle, wenn das Queckſilber in der Röhre auch bedeutend sinkt, so wird es in dem weiten Gefäße nicht merklich steigen. Man kann daher die von der Luft getragene Queckſilbersäule ohne merklichen Fehler immer von einerlei Punkt B an rechnen. Soll aber auch dieser Fehler vermieden werden, so gibt man dem Gefäße (Fig. 45 b) einen beweglichen Boden, der mittelst einer Schraube s gehoben und gesenkt, und mithin die Oberfläche des Queckſilbers immer auf den Nullpunkt gebracht werden kann. Um aber zu bemerken, daß diese Oberfläche an die gehörige Stelle reiche, so gibt die Spitze c eines am obern Boden des Gefäßes angebrachten Stiftes a die Stelle an, bis zu welcher das Queckſilber reichen soll; das Gefäß muß in diesem Falle durchsichtig sein.

Das Heberbarometer (Fig. 46 a) hat die Form eines Hebers, daher sein Name. Es besteht aus einer allenthalben gleich weiten umgebogenen Glasröhre, deren offener Schenkel EF mit dem längern verschlossenen parallel ist. Steht das Queckſilber im offenen Schenkel bei A, so legt man eine Horizontalebene durch A, welche den verschlossenen Schenkel in B schneidet; die Länge der vertikalen Queckſilbersäule BC gibt dann den Barometerstand an, dessen Länge durch eine an dem längern Schenkel angebrachte, in Zoll und Linien eingetheilte Skale gemessen wird. Der Nullpunkt muß hier aus demselben Grunde, wie bei dem Gefäßbarometer, mit der Oberfläche des Queckſilbers in dem offenen Schenkel zusammenfallen, weil sonst Fehler begangen würden. Bei Heberbarometern ist daher gewöhnlich die Skale beweglich; ihr unteres Ende wird zuerst auf die Oberfläche des Queckſilbers im offenen Gefäße gestellt und dann die Höhe derselben im verschlossenen Schenkel beobachtet. Oder man macht die ganze Röhre beweglich, daß sie mittelst einer Schraube

t (Fig. 46 b) höher oder niedriger gestellt werden könne, und stellt sie vor jeder Beobachtung so, daß der Nullpunkt der Skale mit der Oberfläche des Queckſilbers in dem kürzern Schenkel in dieſelbe Horizontalebene zu liegen komme, z. B. in die Ebene hr; dann iſt no die wahre Barometerhöhe.

Zu ſehr genauen Meſſungen, namentlich zu Höhenmeſſungen, zieht man das Heberbarometer allen übrigen vor, weil hier die Haarröhrchenwirkung wegen der gleichen Weite der Schenkel ohne allen Einfluß iſt, während bei zwei communicirenden Röhren von ungleicher Weite das Queckſilber in der engern etwas tiefer ſteht, als es ſollte, welcher Umſtand dem ganz genauen Reſultate der Beobachtung einen, obgleich geringen, Abbruch thut. Es iſt nothwendig, daß man vor dem Ableſen der Barometerhöhe das Gefäßbarometer ein wenig ſchüttele, um das Anhängen des Queckſilbers an die innern Wände der Röhre aufzuheben.

§ 217. Da die Wärme das Queckſilber in den Barometern ausdehnt, ſo muß man deßhalb eine kleine Verbeſſerung mit den beobachteten Barometerſtänden vornehmen, um ſie alle auf die Temperatur von 0° zu bringen. Man merke, daß die Ausdehnung des Queckſilbers für 1° R $= \frac{1}{1440}$, und für 1° C $= \frac{1}{3350}$ des Barometerſtandes beträgt.

Man multiplicirt nämlich eine dieſer Zahlen mit der beobachteten Temperatur und dem beobachteten Barometerſtande, ſo erhält man die Größe, welche man von dem beobachteten Barometerſtande abziehen muß, um den auf die Eiskälte zurückgeführten Barometerſtand zu erhalten, z. B. die beobachtete Temperatur ſei $+10°$ R, der beobachtete Barometerſtand $= 28$ Zoll; ſo iſt der auf die Eiskälte zurückgeführte Barometerſtand $= 28'' - \frac{10 \times 28''}{4440} = 27{,}9369$ Zoll. Wäre die beobachtete Temperatur aber $-10°$ R geweſen, ſo würde der auf die Eiskälte reducirte Barometerſtand $= 28'' + \frac{10 \times 28''}{4440}$ ſein.

§ 218. Man hat in der neueſten Zeit eine Art Barometer erfunden, welche man Doſenbarometer (Aneroide) nennt. Dieſes Inſtrument beſteht ganz aus Metall und hat das Anſehen einer Doſe oder einer großen Taſchenuhr. Es hilft den vier Hauptmängeln, die dem gewöhnlichen Queckſilberbarometer eigen ſind, ab. Dieſe ſind: 1) die leichte Zerbrechlichkeit derſelben, 2) ihr ſchwieriger Transport, 3) die Leichtigkeit, mit welcher Luft in die Queckſilberſäule eindringt, und 4) der Uebelſtand, daß das Queckſilber bei einem hohen Kältegrad gefriert.

Das Innere des Doſenbarometers beſteht aus einer flachen, runden, luftleeren und luftdicht verſchloſſenen Metallbüchſe, auf deren Oberfläche der atmoſphäriſche Druck wirkt, die entweder ſteigt oder fällt. Die Meſſung dieſer Veränderungen iſt durch eine ſinnreiche mechaniſche Vorrichtung, mittelſt mehrerer Hebel und eines Zeigers auf dem eingetheilten Zifferblatte des Doſenbarometers, dem Auge ſichtbar gemacht.

Dieſes Inſtrument zeigt eine große Empfindlichkeit, denn wir erhalten durch daſſelbe ſehr genaue und feine Angaben des jedesmaligen Luftdruckes.

§ 219. Die Elaſticität oder Spannkraft der Luft erkennt man daran, daß, wenn ſie in einem engen Gefäße abgeſchloſſen wird, z. B. in einer Blaſe oder im Stiefel einer Pumpe, ſie ſich durch jeden Druck in einen engern Raum zuſammenpreſſen läßt. Je enger der Raum iſt, in welchem ſie gepreßt werden ſoll, deſto größer wird ihre Elaſticität, und deſto mehr Kraft muß dazu verwendet werden. Iſt z. B. eine Luftart in einem gewiſſen Raum ſchon gepreßt mit einer Kraft von 5 Pfund, und ſie ſoll in einen halb oder viertel ſo großen Raum

zusammengepreßt werden; so braucht man dazu im ersten Falle 10 Pfund, im zweiten 20 Pfund.

Sobald aber die zusammenpressende Kraft zu wirken aufhört, so dehnt sich die Luft in ihren frühern Raum aus, und zwar mit derselben Kraft, mit welcher man sie zusammengepreßt hatte. Dieses Zusammenpressen der Luft ist aber eine Vermehrung ihrer Dichtigkeit, also haben alle elastischen Flüssigkeiten nach Verhältniß des Druckes verschiedene Dichtigkeiten. Durch genaue Messung fand Mariotte das nach ihm benannte Gesetz, daß die Volumina einer Luftart umgekehrt sich verhalten, wie die drückenden Kräfte, und direct wie ihre Dichtigkeiten.

Wendet man zur Prüfung dieses Gesetzes trockene Luft an, so gilt es nach Dulong und Arago wenigstens bis zu einem Drucke von 30, nach Oersted sogar bis zu 66 Atmosphären. Ein leeres Glas umgekehrt in Wasser gedrückt, schnellt losgelassen, in die Höhe.

§ 220. Die Elasticität der Luft wird durch die Wärme vergrößert, durch die Kälte vermindert, vorausgesetzt, daß ihre Dichtigkeit unverändert bleibt. Sobald die in einem verschlossenen Gefäße eingesperrte Luft erwärmt wird, so wird ihre Elasticität größer, während ihre Dichtigkeit dieselbe bleibt, da weder Luft heraus, noch hineinkommen kann.

Wird eine, wenig Luft enthaltene, zugebundene Blase erwärmt, so dehnt sich die Luft darin stark aus und drückt mit einer so großen Gewalt auf die Wände der Blase, daß diese zerspringt. Man hat durch genaue Versuche gefunden, daß die Raumvergrößerung bei allen Luftarten durch die Temperatur von Grad zu Grad des Reaumurschen Thermometers den $\frac{1}{213}$ten Theil ihres ursprünglichen Raumes beträgt. Demnach werden 213 Kubikzoll Luft von 12° Reaum. den Raum von 214 Kubikzoll einnehmen, wenn ihre Temperatur auf 13° erhöht wird. Auf 11° Reaum. erkaltet, werden sie nur 212 Kubikzoll einnehmen u. s. w. Gewöhnlich bezieht sich die Bestimmung der Dichte aller Luftarten auf eine Temperatur von 10° bis 12° Reaum.

§ 221. Die Luftpumpe (Fig. 47) ist eins der wichtigsten Werkzeuge zu den Versuchen, welche die Schwere und Ausdehnsamkeit der Luft beweisen. Die wesentlichen Theile derselben sind folgende: Ein hohler metallener, inwendig glatt ausgebohrter Cylinder oder Stiefel A steht mit einer Röhre EF in Verbindung, welche sich in der Mitte des metallenen Tellers C endigt, auf welchem eine gläserne Glocke B, den Recipienten genannt, auf nasses Leder gestellt wird, so daß sie die Oeffnung der Röhre bedeckt. In dem Cylinder A ist ein Stempel oder Kolben befindlich, welcher genau an die Wände des Cylinders anschließt, und entweder mittelst eines bloßen Handgriffs G oder durch ein gezahntes Rad mittelst einer Kurbel in dem Cylinder auf- und niedergezogen werden kann. Bei D ist ein Hahn, welcher nach Erforderniß den Zugang zu der Glocke sperrt oder öffnet, und wenn er doppelt durchbohrt ist (Fig. 48), zugleich den Zugang in die freie Luft öffnet oder sperrt. Statt des Hahnes werden auch zu demselben Zwecke Ventile, gewöhnlich von Wachstaffet oder Blase gebraucht.

Wird der Stempel aufgezogen, so dehnt sich die Luft unter der Glocke B aus und dringt in die Röhre EF und in den Cylinder A, sie wird daher verdünnt. Die in den Cylinder getretene Luft wird beim Niederdrücken des Stempels und durch gehörige Drehung des Hahns in die freie Luft getrieben. So wird bei jedem Zuge des Stempels die Luft unter der Glocke B vermindert oder verdünnt, und diese Verdünnung läßt sich mit Luftpumpen neuerer Art sehr weit treiben. Doch setzt der zwischen dem Boden des Stiefels und dem

Hahne befindliche Raum—der schädliche Raum genannt—der Verdünnung eine Grenze, indem dieser Raum vom Kolben nicht erreicht werden kann.

Um die Größe der Verdünnung kennen zu lernen, bedient man sich eines kleinen Barometers (der Barometerprobe), welches unter den Recipienten gestellt wird. Sinkt das kleine Barometer hier bis zur Höhe h, und ist dann H der gleichzeitig beobachtete Barometerstand, so gibt $\frac{h}{H}$ den Grad der Verdünnung an.

Die Luftpumpen neuerer Art (Fig. 49a) bestehen aus 2 nicht weit von einander stehenden Stiefeln, in jedem derselben wird ein mit einer gezahnten Stange H verbundener, durchbohrter Kolben I mittelst eines gezahnten Rades G und einer Kurbel abwechselnd herauf und herunter gedrückt. Der Kolben hat oben, und der Stiefel unten Wachstaffetventile, von denen das Kolbenventil o sich nach außen, und das Stiefelventil v nach innen öffnen. Aus der Verbindungsröhre A beider Stiefel führt eine andere Röhre BF nach dem Teller DE hin, auf welchen die Glocke gestellt wird, wenn experimentirt werden soll.

§ 222. Mit der Luftpumpe lassen sich sehr bestimmt die Schwere und ausdehnende Kraft der Luft nachweisen. Die lehrreichsten Versuche sind folgende:

1) Nach einigen Kolbenzügen haftet der auf den Teller aufgesetzte Recipient an demselben, so daß er sich nur mit Gewalt wieder losreißen läßt, weil die Elasticität der eingeschlossenen Luft nicht mehr dem äußern Drucke das Gleigewicht hält.

2) Wenn man einen hohlen, oben und unten offenen Cylinder, welcher am obern Rande mit einer Blase überbunden oder mit einer sorgfältig abgeschliffenen dünnen Glasplatte bedeckt ist, mit dem untern Rande auf den Teller der Luftpumpe stellt, so wird die Blase oder die dünne Glasscheibe nach einigen Kolbenzügen zersprengt.

3) Quecksilber kann vermittelst des Luftdruckes durch Holz getrieben werden.

4) Werden zwei hohle metallene Halbkugeln (magdeburger Halbkugeln) mit gut abgeschliffenen Rändern gegen einander gelegt, und hierauf die Luft ausgepumpt, so können dieselben von einander nur durch eine große Kraft getrennt werden. Otto von Guerike, (Bürgermeister zu Magdeburg und Erfinder der Luftpumpe), machte mit diesen Halbkugeln einen Versuch 1654 vor dem Kaiser Ferdinand III. 24 Pferde vermochten diese beiden Halbkugeln, welche ohngefähr 2 Fuß im Durchmesser hatten, nicht auseinander zu reißen.

5) Eine zugebundene, wenig Luft enthaltende Blase schwillt unter dem Recipienten der Luftpumpe an, wenn die Luft verdünnt wird, und fällt wieder zusammen, wenn man die Luft wieder eintreten läßt.

6) Viele Flüssigkeiten und feste Körper geben unter dem Recipienten eine Menge von Luft von sich.

Ein Heronsball fängt unter dem Recipienten, so wie die Luft verdünnt wird, an zu springen. Ein runzlicher Apfel wird glatt, indem er anschwillt. Aus einem Ei tritt ein Theil des Inhalts desselben durch eine kleine, in dasselbe gemachte Oeffnung heraus. Warmes Wasser geräth unter dem Recipienten in verdünnter Luft ins Kochen, ohne an Wärme zu gewinnen.

§ 223. Mittelst der Luftpumpe kann die Schwere der Luft ungleich genauer gefunden werden, als dieses in § 212 möglich war. Zu diesem Zwecke

nimmt man einen Ballon von dünnem Glase, welcher mit einer messingenen Fassung versehen ist, und durch einen Hahn verschlossen werden kann, macht denselben möglichst luftleer, verschließt hierauf den Hahn und bestimmt nun das absolute Gewicht des Ballons. Hierauf läßt man, nach Oeffnung des Hahns, atmosphärische Luft in denselben eintreten, und bestimmt nun aufs Neue das Gewicht des Ballons. Der Unterschied p der beiden Gewichte gibt an, wie viel die im Ballon enthaltene atmosphärische Luft wiegt. Wenn G das Gewicht einer eben so großen Menge von Wasser bezeichnet, so ist $\frac{p}{G}$ das specifische Gewicht der Luft.

Arago hat auf diese Weise gefunden, daß die atmosphärische Luft im trockenen Zustande bei 28 Zoll Barometerstand und 0° Temperatur 779mal specifisch leichter als Wasser, und 10463mal specifisch leichter als Quecksilber ist, mithin ein Kubikfuß atmosphärischer Luft ungefähr 2¾ Loth wiegt.

Um die Schwere der Luft genauer zu bestimmen, muß man stets auf den Barometerstand, den Grad der Wärme und Feuchtigkeit, so wie auf den Umstand Rücksicht nehmen, daß der Ballon nie ganz luftleer gemacht werden könne.

§ 224. Will man das specifische Gewicht einer andern Gasart, z. B. des Wasserstoffgases, wissen; so läßt man, nachdem der Ballon möglichst luftleer gemacht worden, Wasserstoff in denselben eintreten, und wendet im Uebrigen dasselbe Verfahren, wie bei der atmosphärischen Luft, an. Bei dieser Bestimmung des specifischen Gewichts der Gase nimmt man gewöhnlich die Dichtigkeit der trockenen atmosphärischen Luft als Einheit an.

§ 225. Es kann auch die in § 221 beschriebene Hahnluftpumpe zur Zusammendrückung (Compression) der Luft angewendet werden. Zu diesem Zwecke wird das Gefäß, in welchem die Luft zusammengedrückt werden soll, durch ein Schraubengewinde an das Ende des Kanals H befestigt (Fig. 47), dann der Hahn D so gedreht, daß eine Verbindung zwischen dem Stiefel und der äußeren Luft stattfindet, und der Kolben in die Höhe gezogen. Ist der Stiefel mit Luft gefüllt, so wird durch den Hahn D eine Verbindung zwischen Stiefel und Recipienten hergestellt und alle im Stiefel enthaltene Luft in den Recipienten getrieben. Durch Wiederholung dieses Verfahrens wird dann die Luft im Recipienten mehr und mehr verdichtet.

Man wendet gewöhnlich zum Verdichten Pumpen mit Ventilen an. An einem Stiefel AB (Fig. 49 b), in welchem sich der Kolben C auf und nieder bewegen läßt, ist der Recipient D befestigt; in diesem ist bei E ein Ventil, welches sich nach außen öffnet. Ist der Kolben C bei A in die Höhe gezogen, so wird etwas unterhalb desselben eine Oeffnung F in die Wand des Stiefels gebohrt, damit die äußere Luft hineintreten könne. Die in dem Recipienten und Stiefel befindliche Luft, wird durch das Niederdrücken des Kolbens gegen B gedrückt, mithin die Luft im Stiefel zusammengedrückt, das Ventil E geöffnet, und die Luft strömt in den Recipienten; sobald dieß geschehen ist, schließt sich das Ventil und hindert den Rücktritt der Luft in den Stiefel. Ist der Kolben bis zum Ende A in die Höhe gezogen, so strömt die Luft von außen in den luftleeren Stiefel und kann nun aufs Neue in den Recipienten getrieben werden. Die Verdichtung kann jedoch nur so weit erreicht werden, bis die im Stiefel zusammengepreßte und in den schädlichen Raum m getriebene Luft nicht mehr im Stande ist, das Ventil zu öffnen.

Man nennt die Pumpe, vermittelst welcher man die Luft in einem Gefäße verdichtet, **Compressionspumpe**.

§ 226. Wenn zwei Luftarten von verschiedener Dichtigkeit auf einen in einem Gefäße enthaltenen Körper drücken, ohne sich unmittelbar zu berühren, so hat die dichtere Luftart vermöge ihrer größern ausdehnsamen Kraft das Bestreben, sich mit der dünnern ins Gleichgewicht zu stellen und das zwischen ihnen befindliche Mittel zu verdrängen. Dieß geschieht so lange, bis die ausdehnsame Kraft der einen Luftart mit der auf der andern Seite des trennenden Körpers ins Gleichgewicht getreten ist. Auf dieser Thatsache beruhen sehr viele Apparate, z. B. der Stechheber, der gewöhnliche Heber, die Saug- und Druckpumpe, die Feuerspritze, die Windbüchse, der Heronsball und Heronsbrunnen u. s. w.

1) Der **Stechheber** (Fig. 50). Er besteht aus einem unten und oben offenen, und in der Mitte etwas bauchartigen Gefäße, welches sich anfüllt, wenn man dessen unteres Ende in eine Flüssigkeit eintaucht und durch das obere Ende die in demselben befindliche Luft mit dem Munde herauszieht. Verschließt man hierauf mit dem Daumen die obere Oeffnung, so fließt nichts aus dem Stechheber heraus. Das Steigen des Rauches in das Pfeifenrohr, des Wassers in die Handspritze, das Saugen mit dem Munde, das Trinken und dergl. m. beruhen auf demselben Grunde.

2) Der **Heber** (Fig. 51) besteht aus einer gekrümmten Röhre acbd. Wird diese Röhre in ein Gefäß mit Wasser gehängt, und nun anfangs durch Saugen, oder auf eine andere Art mit Wasser gefüllt, so läuft das Wasser aus dem Gefäße durch dieselbe heraus, so lange nur noch die Oberfläche des Wassers im Gefäße höher ist, als die untere Oeffnung d des Schenkels außerhalb des Gefäßes, und so lange die Oeffnung a noch mit Wasser gedeckt ist. Der Grund davon liegt im Drucke der Luft auf die Wasserfläche, wodurch das Wasser gezwungen wird, in der Röhre zu steigen und dann am andern Ende derselben wieder herauszufließen. Der Schenkel ac darf aber nach § 213 nicht die Länge von 32 Fuß überschreiten.

Den Druck im Heber erklärt man also: Man denke sich an jeder der beiden Oeffnungen a und d den Luftdruck durch eine senkrechte Röhre von 32 Fuß Wasser ersetzt; dann wird auf das Wasser in den beiden Schenkeln ein ungleicher Druck wirken; denn es sei die Höhe $gc = 1$ Fuß, und $dc = 3$ Fuß, so findet in dem Schenkel ac ein Druck von nur $32 - 1 = 31$ Fuß, und in dem Schenkel dc ein Druck von nur $32 - 3 = 29$ Fuß einer Wassersäule statt. Es muß also das Wasser in dem Schenkel ac, durch den stärkern Druck getrieben, steigen, und in dem Schenkel cd fallen und hier zur Oeffnung herausfließen.

Um den Heber bequem füllen und in Wirksamkeit setzen zu können, wird eine Saugröhre bf angebracht, in welchem Falle man anfänglich die Oeffnung der Röhre bei d verschließt und bei f mit dem Munde saugt, wodurch die Röhre mit der Flüssigkeit gefüllt wird, ohne in den Mund zu kommen. Ist dieß geschehen, so entfernt man den Finger von der Oeffnung d, und der Heber beginnt zu fließen.

3) Die **Saugpumpe** dient, um das Wasser aus einer gewissen Tiefe hinaufzuschaffen (Fig. 52). Sie besteht aus dem **Saugrohr** AB, welches mit der Oeffnung A immer unter dem Wasserspiegel stehen muß, dem **Stiefel** BD und dem **Kolben** E, den man mittelst des Hebels GH im Stiefel auf und ab bewegen kann.

Der untere Boden des Stiefels und der obere des Kolbens sind mit **Ventilen** B und F versehen, die sich nach oben öffnen. Bei C ist eine **Seitenröhre** angebracht, wodurch das gehobene Wasser abfließt.

Schließt sich der Kolben luftdicht an den Stiefel an, so wird durch Hebung desselben die Luft in dem Raume EB verdünnt, weßhalb das Wasser durch den Druck der atmosphärischen Luft in die Röhre AB steigt. Indem aber der Kolben wieder heruntergedrückt wird, preßt er die unter ihm befindliche Luft noch mehr zusammen und nöthigt sie, durch die Oeffnung F zu entweichen. Durch abermalige Hebung des Kolbens — dessen Ventil durch den Druck der äußern Luft geschlossen wird — entsteht unterhalb wieder ein luftleerer Raum, welchen das immer höher steigende Wasser zum Theil ausfüllt. Durch wiederholte Kolben-

züge wird das Wasser mittelst des atmosphärischen Druckes nicht nur bis zum Kolben, sondern sogar über denselben gehoben, so daß es endlich die Ausgußröhre C erreicht und durch dieselbe abfließt.

Durch die Saugpumpe kann das Wasser nach § 213 höchstens auf 32 Fuß gehoben werden.

4) Die Druckpumpe (Fig. 53). Sie unterscheidet sich von der Saugpumpe nur dadurch, daß der Kolben E kein Ventil hat, und daß nahe am Boden B eine Steigeröhre GH angebracht ist, durch welche das Wasser in den Stiefel HI mittelst des sich nach oben öffnenden Ventils H geleitet wird. Alles übrige ist von selbst klar. Durch eine Druckpumpe kann das Wasser auf mehrere hundert Fuß gehoben werden.

5) Die Feuerspritze (Fig. 54). Ihre Bestandtheile sind die beiden Stiefel EI und FK mit den luftdicht schließenden Kolben I und K, und der Windkessel ML mit der Steigeröhre MN, welche außerhalb mit einer solchen Fassung N versehen ist, daß die Ansatzröhre NO nach allen Seiten gedreht werden kann, ohne die Communication zwischen ihr und MN zu unterbrechen. Das Ganze befindet sich in einem mit Wasser gefüllten Kasten ABCD. Da die beiden Kolbenstangen R und S durch einen gemeinschaftlichen Hebel TV verbunden sind, so wird der eine Kolben K niedergedrückt, während der andere J in die Höhe geht. Bei H und G so wie bei E und F sind Ventile angebracht, die sich zur Zeit öffnen und schließen. Alles Übrige ist, wie bei der Druckpumpe. Der Windkessel dient hier, um durch die darin zusammengedrückte Luft den ausströmenden Wasserstrahl ununterbrochen und gleich stark fortzutreiben.

6) Der Vexirbecher ist ein Becher mit einem hohen Fuße, in den so viel von einer Flüssigkeit hineingeht, als in den Becher selbst. In dem Boden des Bechers ist ein Heber befestigt, dessen längerer Schenkel in den hohlen Fuß hinabreicht, der kürzere aber den Boden des Bechers noch nicht berührt. Der Heber kann auch durch den Griff des Bechers gehen, wodurch er ganz versteckt ist. Wird der Becher mit Wein angefüllt, und bedeckt vor Jemand hingestellt, so findet dieser nach einiger Zeit den ganzen Becher leer. Hat man aber den Becher nicht so voll gefüllt, daß die höchste Stelle des Hebers ganz mit Wein bedeckt ist, so bleibt dieser im Becher, ohne daß auch nur ein Tropfen davon abfließt.

Hierauf beruht wahrscheinlich die merkwürdige Eigenthümlichkeit mancher Brunnen, bei Regenwetter trocken zu werden, und die des Zirknitzer Sees in Krain; so wie die Erscheinungen periodischer Quellen, welche abwechselnd einige Stunden reichlich fließen und dann wieder mehrere Stunden ganz ausbleiben. Es ist möglich, daß die Stelle des Ausfließens mit einem Wasserbehälter durch unterirdische Kanäle verbunden ist, welche einen Heber bilden.

7) Aus einer Windbüchse treibt die stark verdichtete Luft Kugeln mit eben der Kraft fort, als mit Schießpulver. Die Windbüchse ist eine gewöhnliche Flinte, am oder im Kolben aber mit einer hohlen metallenen Kugel versehen, in der sich die stark zusammengedrückte Luft befindet. Durch den Druck am Ventil innerhalb der Kugel tritt eine Portion comprimirter Luft hinter die Kugel im Laufe der Flinte, und treibt die Kugel mit großer Geschwindigkeit aus derselben.

8) Der Heronsball (Fig. 55) besteht aus einem Gefäße, welches nicht ganz mit Wasser gefüllt und mit einer oben in eine enge Oeffnung ausgehenden Röhre versehen ist, welche beinahe bis auf den Boden des Gefäßes reicht und in der Oeffnung des Gefäßes luftdicht verkittet ist. Wenn man nun stark in die Oeffnung der Röhre hineinbläset, so wird die schon über dem Wasser befindliche Luft verdichtet und treibt das Wasser durch die Röhre hinauf, so daß durch diese ein Wasserstrahl hervorspringt. Dieses dauert so lange, bis die Luft im Gefäß sich so weit ausgedehnt hat, daß sie mit der äußern gleiche Spannkraft besitzt.

9) Der Heronsbrunnen (Springbrunnen) (Fig. 56). Dieser besteht aus zwei über einander gestellten luftdichten Gefäßen A und B von gleichen Räumen. Das obere wird durch die Oeffnung o mit Wasser, etwa bis gh gefüllt; in dem untern ist Luft enthalten. Das Gefäß B ist mit A durch die Röhre cd verbunden. Die Röhre ab dient dazu, das untere Gefäß B von außen her mit Wasser zu füllen und die Luft aus demselben durch die Röhre cd in das obere Gefäß zu treiben. Hiedurch vermehrt sich die Spannkraft der Luft in dem obern Gefäß A und treibt das Wasser zur Springröhre fe hinaus. Die Geschwindigkeit des Wasserstrahls entspricht der Druckhöhe ab.

10) Eine sehr praktische Anwendung im Großen, welche man bis jetzt von der Verdünnungsluftpumpe gemacht hat, ist bei der atmosphärischen Eisenbahn. Hier liegt zwischen den Schienen, auf welchen die Räder gehen, eine genau ausgebohrte metal-

lene Röhre mit Klappen, welche sich nach oben öffnen, beim Zuschlagen aber luftdicht schließen; in dieser Röhre bewegt sich ein genau einpassender Kolben, dessen Ende umgebogen und nach oben an den vordersten Wagen befestigt ist. Die Luft in der Röhre von dem Kolben wird durch eine an der Seite des Weges stehende Luftpumpe, welche durch eine kleine Dampfmaschine getrieben wird, verdünnt, der Kolben setzt sich dadurch in Bewegung und wirft dabei die Klappen auf, während sein weit vorragendes Ende noch im luftdichten Verschlusse ist. Dadurch tritt hinter den Kolben die atmosphärische Luft ein und treibt ihn und damit den ganzen Wagenzug mit großer Geschwindigkeit vorwärts.

Gleich nach der Oeffnung der Klappen durch die Kolbenstange werden durch ein über die Klappen fortlaufendes kleines Rad des Wagens dieselben wieder zugedrückt, und von dem Wagen herab aus einer Röhre mit geschmolzenem Wachs übergossen, damit sie wieder luftdicht schließen, wenn beim Abgehen des nächsten Zuges die Treibröhre vor dem Kolben wieder luftleer gemacht werden soll.

Bei diesen Luftpumpen im Großen hat man auch schon Balken mit Auflösungen von Eisen- und Kupfervitriol getränkt, um sie dadurch gegen Fäulniß, gegen das Verbrennen und gegen den Hausschwamm zu schützen und zwar mit dem günstigen Erfolge, der sich übrigens auch schon zeigt, wenn man das Holz mit den erwähnten Flüssigkeiten bestreicht. Hieraus läßt sich schließen, daß die Luftpumpe in derselben Weise auch das Färben von Zeugen erleichtern würde.

§ 227. Da die Luft ein schwerer Körper ist (§ 223), so verliert ein jeder Körper soviel von seinem absoluten Gewichte, als die Luftmasse wiegt, welche er aus der Stelle treibt; daher wiegen Körper im luftleeren Raume schwerer und fallen schneller, als in der Luft. Bringen wir demnach einen leichten Körper von großem Umfange, z. B. eine hohle Metall- oder Glaskugel an der Wage mit Gewichten ins Gleichgewicht, so ist der Gewichtsverlust bei jener weit größer als bei diesen; ändert sich die Dichtigkeit der Luft, wird sie z. B. dünner, so wird die Kugel sinken, weil die Abnahme ihres Gewichtsverlustes bedeutender wird, als bei dem ungleich kleinern und dichtern Gegengewichte; im Gegentheil steigt sie bei der Zunahme der Dichtigkeit. Diese Vorrichtung ist das von Guericke angegebene Manometer, dessen man sich bedient, um die Dichtigkeit der atmosphärischen Luft zu bestimmen. Hierauf beruht auch das Steigen eines Luftballons, in dem die Gefäße mit der darin enthaltenen Luft weniger wiegen, als die von ihnen verdrängte Luftmasse, und demnach in die Höhe steigen.

Die ersten Luftschiffer waren die Gebrüder Mongolfier (1783); ihnen folgten Charles, Pilatre de Rozier mit Germain. Diese beiden letztern fielen von einer Höhe von 1200 Fuß verstümmelt herab, da der Ballon sich entzündet hatte.

Blanchard (1785) machte die erste Luftreise von Frankreich über den Kanal nach England. Gay-Lüssac erreichte (1804) bei seiner Luftfahrt eine Höhe von 22400 Fuß. Das Thermometer zeigte in dieser Höhe 10° C unter Null, während unten auf der Erde eine Hitze von 30° statthatte. Nach diesen genannten Luftschiffern sind von anderen noch eine unzählige Menge solcher Fahrten unternommen worden.

§ 228. Nach § 223 drückt oben keine so große Luftmasse wie unten; daher muß dort die Luft dünner sein, als in der Tiefe, und das Barometer fallen, wenn man in die Höhe steigt und zwar um die Länge einer Quecksilbersäule, welche eben so viel wiegt, als die Luftsäule, um welche man gestiegen ist. Daher kann das Barometer als ein gutes und sicheres Werkzeug zu Höhenmessungen gebraucht werden. Bei 28 Zoll oder 336 Linien Barometerhöhe und bei 0° Wärme muß man 73 Fuß steigen, damit das Barometer auf 335 Linien hoch stehe; von hier ab wird man aber, damit das Barometer wiederum um 1 Linie falle, sich um mehr als 73 Fuß, und zwar nach dem Mariotte'schen Gesetze im Verhältnisse von 336 : 335 mehr erheben müssen;

woraus folgt, daß wir nun $\frac{335}{334}$.73 Fuß steigen müssen, damit das Barometer bis zu 334 Linien falle; daß wir dann aufs Neue $\frac{336}{334}$.73 Fuß steigen müssen, damit es auf 333 Linien falle, u. s. w.

So finden wir bei der Barometerhöhe von 336‴ die Höhe = 0 Fuß,

335‴	"	"	= 73,000 "
334‴	"	"	= 146,218 "
333‴	"	"	= 219,655 "
332‴	"	"	= 293,313 "
331‴	"	"	= 367,193 "
330‴	"	"	= 441,296 "
329‴	"	"	= 515,623 "
328‴	"	"	= 590,176 "
327‴	"	"	= 664,956 "
326‴	"	"	= 739,965 "
325‴	"	"	= 815,204 "

u. s. w.

Diese Tabelle zeigt, daß man, um das Barometer 10 Linien fallen zu sehen, nicht $10 \times 73 = 730'$ steigen müsse, sondern 740', und je höher man steigt, desto mehr beträgt dieser Unterschied u. s. w. Indeß muß hier nach § 217 die Temperatur berücksichtigt werden; auch auf die Feuchtigkeit der Luft und auf die Schwerkraft in den verschiedenen Höhen ist Rücksicht zu nehmen.

Das Gesetz, nach welchem die Dichtigkeit der Luft bei fortwährendem Steigen in die Höhe abnimmt, und die Beziehungen, welche zwischen dem Barometerstande und Erhebungen über den Boden stattfinden, sind aus dem Mariotteschen Gesetze entwickelt. Nach diesem Gesetze läßt sich der Höhenunterschied zweier Orte leicht berechnen, wenn gleichzeitig an beiden Orten die Höhe der Barometersäule genau gemessen worden ist. Nach genauen Untersuchungen hat man gefunden, daß die Dichtigkeit der Luft in geometrischer Reihe abnimmt, wenn die Höhen in arithmetischer wachsen.

Nehmen die Dichtigkeiten der Luft unter der Erdoberfläche von oben nach unten eben so, wie über der Erdoberfläche zu; so müßte die Luft in einer Tiefe von 7 Meilen dichter als Wasser sein; in einer Tiefe von 11 Meilen müßten Gold und Platin darin schwimmen.

§ 229. Die Beobachtungen zeigen, daß der Barometerstand, wenigstens in unsern Gegenden sehr veränderlich sei. Die Ursachen davon sind die immerwährenden Aenderungen des Luftdruckes, welche durch den beständigen Wechsel der Temperatur, durch die Winde, die veränderliche Menge der in der Luft verbreiteten Dämpfe, die Störungen des electrischen Gleichgewichts, die Erdbeben ꝛc. bewirkt werden. Ist in der Atmosphäre viel Wasser in Gasgestalt enthalten, was bei heiterem und warmem Wetter der Fall ist, so wird der Druck der Luft noch vermehrt durch die Spannkraft des Wassergases, weßhalb das Barometer während dieser Zeit sehr hoch steht. Wenn aber durch Abkühlung der Luft dieses Wassergas seine Spannung verliert, so wird der Luftdruck dadurch verringert und das Barometer fällt. Daher kann man auch umgekehrt aus den Veränderungen des Barometerstandes auf eine Veränderung der Witterung schließen. Bisweilen folgt, wenn das Queckſilber gestiegen ist, heiteres Wetter; keineswegs ist dieses immer der Fall. Wenn es indessen beträchtlich fällt, folgt gewöhnlich Regen oder Wind, sogar Sturm und Gewitter. Wenn es langsam und allmählig über den mittlern Stand ansteigt, so pflegt anhaltendes heiteres Wetter zu folgen; die Wahrscheinlichkeit wird größer, wenn diese Veränderungen des Barometerstandes zugleich mit eintretendem Ost- und Nordostwind verknüpft sind, weil sie uns kältere, mithin dichtere Luft

zuführen. Das Gegentheil findet statt, d. i. es steht Regenwetter bevor, wenn das Quecksilber allmählig gefallen ist und zugleich warme Süd- und Südwestwinde eintreten, weil diese uns wärmere und somit leichtere Luft bringen. Große und schnelle Veränderungen der Barometerhöhe pflegen zwar mit schnellen, aber nicht anhaltenden Veränderungen des Wetters verbunden zu sein.

§ 230. Das Barometer steigt und fällt regelmäßig zweimal zu bestimmten Tageszeiten; die größte Höhe erreicht es um 10 Uhr Morgens und Abends, die niedrigste um 4 Uhr Morgens und Abends. Die Ursache davon liegt in den verschiedenen Wärmegraden und dem Ab- und Zuströmen der Luft oben und unten (Ebbe und Fluth der Luft). Auch finden Schwankungen des Barometerstandes in den verschiedenen Jahreszeiten statt. Die kleinsten jährlichen Veränderungen des Barometerstandes sind unter dem Aequator wahrnehmbar, sie wechseln mit der geographischen Breite, wovon der Grund in der sich mehr gleich bleibenden Temperatur der heißen Zone und der hiedurch bewirkten gleichmäßigen Verdunstung liegt.

Zweiter Abschnitt.

Von den Gesetzen der Bewegung der atmosphärischen Luft (Aërodynamik oder Pneumatik).

§ 231. Aus den in der Aërostatik bereits vorgekommenen Versuchen geht bereits hervor, daß die Luft vermöge ihrer Elasticität so lange im Zustande der Ruhe bleibt — wenn nicht auf andere Weise bewegend auf sie eingewirkt wird — so lange die neben einander befindliche Luftmasse gleiche Dichtigkeit haben. Wird aber in zwei benachbarten Gegenden die Luft in der einen durch stärkere Erwärmung mehr ausgedehnt und verdünnt, als in der andern; so steigt die erwärmtere Luft in die Höhe, und die kältere strömt am Boden in den Raum der wärmern Luft ein, während die wärmere Luft von oben ringsum nach allen Seiten abfließt, wodurch Luftbewegungen entstehen, welche man Wind nennt. Auf diesem Gesetze beruht die Lufterneuerung in den Zimmern und Kellern, die Milderung der Hitze und Kälte, das Fortbrennen des Feuers und der Flamme, so wie die Erwärmung der Zimmerluft, die Strömung der Luft durch Oefen, Kamine und Lampencylinder; ferner die Land- und Seewinde, so wie die regelmäßigen Winde zwischen den Wendekreisen. In der wenig geöffneten Thüre eines geheizten Zimmers geht oben ein Luftstrom nach außen, unten nach innen, wie man dieß aus der Richtung der Flamme eines Lichtes, die man oben und unten hinhält, wahrnehmen kann. —

Bei nassem Holze, aus welchem sich mehr Dämpfe als Rauch entwickeln, pflegt es bei Oefen oft zu rauchen, weil die Dämpfe den Rauch sehr abkühlen und ihn daher specifisch schwerer machen als die sie umgebende Luft. Scheint die Sonne zu Mittagszeit auf die obere Mündung des Schornsteins, so wird oft die obere Luftmasse specifisch leichter als der im Schornstein befindliche Rauch; weßhalb dieser im Schornstein sitzen bleibt und den untern Rauch zwingt, sich einen andern Ausweg zu suchen.

§ 232. Die Winde verdanken also ihre Entstehung der verschiedenen Erwärmung der Luft in verschiedenen Gegenden, wodurch Luftströmungen, d. h. Winde hervorgebracht werden. Außerdem können aber auch die Anziehung der Sonne und des Mondes, die Axendrehung der Erde, der verschiedene Zustand

der Electricität in den Wolken, die plötzliche Entfernung derselben durch den Regen und den Verdünstungsprozeß; ferner vulcanische Ausbrüche, Erderschütterungen und dergleichen mehr, Strömungen in der Luft entweder unmittelbar veranlassen, oder auf mancherlei Weise verändern.

§ 233. Die Winde bringen nach Verhältniß ihrer Geschwindigkeit verschiedene Wirkungen hervor und führen daher verschiedene Namen, als: sanftes Wehen, schwacher, mittelmäßiger, starker Wind, Sturm und Orkan. Die beiden letzteren entstehen, wenn der in einem Theile der Atmosphäre enthaltene Wasserdampf sich plötzlich verdichtet. Von allen Seiten stürzt dann die Luft mit Gewalt in den dadurch sich ergebenden luftverdünnten Raum. Man schließt auf diesen Zusammenhang namentlich daraus, daß die Erscheinung der Stürme stets mit dem Falle des Barometers verbunden ist.

Die Geschwindigkeit der Winde wird durch verschiedenartige Instrumente, welche man Anemometer nennt, gemessen. Legt ein Wind in einer Secunde einen Weg von 70 — 80 Fuß zurück, so heißt er ein mittler Sturm, von 80 — 100 Fuß ein starker Sturm, von 115 — 120 Fuß ein Orkan, und von 145 Fuß ein heftiger Orkan.

§ 234. Die Winde wehen größtentheils in horizontaler Richtung, oder doch nur wenig auf- und niedersteigend, bisweilen sich auch im Kreise herumdrehend, in welchem Falle sie Wirbelwinde heißen, und in Verbindung mit Wolken, Wasserhosen erzeugen, die fürchterliche Verheerungen anrichten.

§ 235. In Hinsicht auf die Dauer und periodische Wiederkehr unterscheidet man regelmäßige und unregelmäßige Winde, von denen jene unaufhörlich wehen, wie die Passatwinde, oder zu gewissen Zeiten wiederkehren, wie die Moussons; zu den unregelmäßigen gehören die veränderlichen oder unbeständigen Winde, wie sie besonders die gemäßigten Zonen durchziehen.

§ 236. Der Passatwind ist ein mäßiger Ostwind, welcher auf dem Weltmeere zwischen den beiden Wendekreisen und einige Grade darüber hinaus Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch weht. Die Ursache davon ist die stets senkrechte Stellung der Sonne gegen die Luftsäule zwischen den Wendekreisen. Die auf diese Weise am Aequator erhitzte Luft erhebt sich, und von den Polen her dringen dichtere kalte Luftströme nach den wärmeren Gegenden hin. Durch die Umdrehung der Erde erhalten diese Luftströmungen jedoch zugleich eine mit dem Aequator parallele Bewegung, so daß das Mittlere aus beiden Richtungen, der Passatwind, auf der nördlichen Halbkugel die Richtung von Nordost hat. Die Moussons sind regelmäßig wechselnde Winde auf dem Indischen Ocean, wo die zur Zeit des Sommers stark erwärmten dürren Küsten Indiens, Persiens und Arabiens eine Luftströmung vom kältern Meere her erzeugen, während das Meer zur Zeit des Winters stärker erwärmt wird und eine Luftströmung vom kältern Lande hervorruft.

Der über der Wüste Sahara sich erhebende warme Luftstrom, welcher zu allen Seiten oben abfließt, erzeugt dort, wo er die umliegenden Länder trifft, heiße, durch ihre austrocknende Wirkung schädliche Winde, die in den verschiedenen Ländern verschiedene Namen haben, als: Harmattan am Senegal, Sirocco in Italien, Chamsin in Aegypten, und Samum oder Smum in der arabischen Wüste, an der Küste des persischen Meerbusens und in Indien.

Die an den Küsten herrschenden Land- und Seewinde sind sehr regelmäßig. Nach Sonnenaufgang geht ein Wind vom Meere nach dem Lande,

weil letzteres von der Sonne viel schneller erwärmt wird, als das Wasser, so daß die über dem Lande aufsteigende warme Luft durch Luftströme vom Wasser her ersetzt wird. Nach Sonnenuntergang verhält es sich umgekehrt. Am Eingange von Thälern findet häufig eine ähnliche Erscheinung statt.

237. Die Winde sind für Pflanzen und Thiere von der größten Wichtigkeit. Sie machen die Luft zum Athmen tauglicher, indem ihre Theile erst durch sie in das erforderliche Mischungsverhältniß treten; sie verdünnen oder entfernen ihre schädlichen Beimischungen und lassen daher epidemische Krankheiten weit seltener aufkommen; sie tragen die Wolken von einem Himmelsstrich zum andern und vertheilen den Regen so, daß weit seltener verheerende Ueberschwemmungen hier, und verzehrende Dürre dort entstehen; sie bringen bald Wärme, bald Kühlung; sie fördern die Vegetation, indem sie die Ausdünstungen der Pflanzen entfernen, eine neue Ausdünstung erzeugen und daher die Säfte der Pflanzen in steter Circulation erhalten, sie tragen den Blüthenstaub von einem Gewächs zum andern und zerstreuen den Samen, wodurch die Befruchtung befördert und die Zahl der Gewächse vermehrt wird; sie bringen stehende Gewässer in Bewegung und schützen sie dadurch gegen die Fäulniß; sie befördern die Verdünstung des nassen Erdreichs und der feuchten Wäsche: sie bewegen Windmühlen und Schiffe, und sind endlich unter allen andern die zuverläßigsten Anzeigen bevorstehender Witterung.

Kapitel V.

Die Lehre vom Schalle (Akustik).

§ 238. Jeder sinnliche Eindruck, welchen wir durch die Gehörwerkzeuge wahrnehmen, heißt Schall. Der Schallarten gibt es unendlich viele, welche sich besser empfinden, als beschreiben lassen. So heißt z. B. Knall ein mit einer plötzlichen und starken Erschütterung des Gehörorgans verbundener Schall; Laut, der durch die menschliche oder thierische Stimme hervorgebrachte Schall; Klang, die insbesondere durch tönende Metalle hervorgebrachte Gehörempfindung; Ton, ein solcher Klang oder Laut, worin wir eine bestimmte Höhe oder Tiefe wahrnehmen.

§ 239. Der Schall entsteht, wenn gewisse Körper durch irgend eine Ursache in zitternde oder schwingende Bewegungen versetzt und durch einen zwischenliegenden Körper dem Ohre bemerkbar gemacht werden. Die Luft ist größtentheils das Mittel, welches den Schall dem Ohre zuführt, wie wohl auch andere, sowohl flüssige, als feste Körper, sofern sie mit dem schallenden Körper in unmittelbarer Berührung stehen, diese Eigenschaft besitzen. Man nennt solche Körper Schallleiter. Ein Körper schallt nur so lange, als seine zitternde Bewegung dauert und der Schallleiter die Verbindung zwischen ihm und dem Ohre unterhält.

§ 240. Die schwingende Bewegung eines Körpers in der Luft oder andern elastischen Substanzen veranlassen Wellen (Schallwellen), welche, in abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft oder anderer ela-

stischen Körper bestehend, bis zum Ohre fortgepflanzt und von diesem als Schall wahrgenommen werden.

Die wellenförmige Bewegung des Wassers unterscheidet sich von der wellenförmigen Bewegung der Luft dadurch, daß die Wellen des Wassers nur in abwechselnden Erhöhungen und Vertiefungen des Wassers auf seiner Oberfläche (§ 171), die Schallwellen dagegen in abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft bestehen, und daß diese sich nicht wie jene, in einer Fläche, sondern nach allen Richtungen des Raumes verbreiten und um den schallenden Körper kugelförmige Luftwellen bilden. Hieraus folgt, daß die Stärke des Schalls in dem Verhältnisse abnehmen müsse, im welchem die Quadrate der Entfernungen wachsen.

Die Erfahrung zeigt, daß sich Schallwellen eben so durchkreuzen können, als Wellen auf der Oberfläche des Wassers, ohne daß sie sich gegenseitig an ihrer Ausbreitung hindern, und daher können wir an einem Orte zugleich eine große Anzahl von verschiedenen Tönen hören.

§ 241. Zu den vorzüglichsten Eigenschaften eines schallenden Körpers gehört die Elasticität. Da es indeß Körper gibt, die sehr elastisch sind und dabei doch keinen Schall hervorzubringen vermögen, z. B. Federharz, frisch gebackenes Brod und a. m.; so müssen außer der Elasticität noch andere vorhandene Eigenschaften mitwirken, wenn der Körper zu den schallenden gehören soll. Dazu ist insbesondere erforderlich ein hoher Grad von Härte, ein bestimmtes Gefüge der Körpertheilchen, ein nicht unbedeutender Grad von Sprödigkeit und Dehnbarkeit und ein gewisses Verhältniß zwischen den drei Ausmessungen des Körpers.

§ 242. Die festen Körper sind in Bezug auf den Schall entweder schwingende physische Linien, wie die Saiten auf den musikalischen Instrumenten, oder schwingende Flächen, wie die gespannten Pauken- oder Trommelfelle, oder eigentlich schwingende Körper, wie dieses bei dem Klange der Glocken, der metallenen Stäbe und bei den tönenden Schwingungen der Luft in den Blase-Instrumenten wahrgenommen werden kann.

§ 243. Wenn man eine gespannte Saite ab (Fig. 57) mit einem Violinbogen rechtwinklig anstreicht, zupft, schlägt oder stößt; so nehmen alle ihre Theile, während sie schwingen, die senkrechte Richtung gegen die Länge derselben an und geben einen angenehmen Ton; streicht man sie aber unter einem bedeutend spitzen Winkel (wie es bei Anfängern im Geigenspiel der Fall ist), oder reibt man sie der Länge nach mit einem Tuche oder den bloßen Fingern; so schwingen ihre sämmtlichen Theile der Länge nach und erzeugen einen sehr hohen, unangenehm pfeifenden Ton. Schwingungen der ersten Art heißen Quer- oder Transversalschwingungen, und Schwingungen der zweiten Art hingegen Längen- oder Longitudinalschwingungen, wie dieß z. B. bei der Luft in den Blasinstrumenten der Fall ist.

§ 244. Eine gespannte Saite kann durch Anstreichen mit einem Violinbogen als Ganzes oder in aliquoten Theilen schwingen. Im ersten Falle schwingt die ganze Saite, so daß sich alle Punkte derselben bald auf der einen, bald auf der andern Saite ihrer ursprünglichen geraden Lage zugleich befinden; im zweiten Falle theilt sich die Saite in mehrere gleiche Theile, von denen jeder für sich nach denselben Gesetzen transversal schwingt, doch so, daß je zwei benachbarte Theile nach entgegengesetzten Richtungen gleichzeitig schwingen, wie es die Figur 58 zeigt. Die Punkte c, d, von denen aus die benachbarten Theile nach entgegengesetzten Seiten schwingen, also die Endpunkte der

gleichen Theilung sind ruhende oder schwingungslose Punkte. Man nennt diese Ruhe- oder Knotenpunkte. Man findet ihre Stellen, wenn man Papierreiterchen auf die gespannte Saite setzt und diese dann durch einen Violinbogen anstreicht. An den Knotenpunkten bleiben diese Papierreiterchen sitzen, während sie an den übrigen Punkten herabgeworfen werden.

Eben so ist es möglich, daß sich die Saite ab in noch mehr Abtheilungen theilt, die immer durch einen Knotenpunkt getrennt sind. In je mehr Knoten die Saite durch die Art des Anstreichens des Violinbogens gesetzt wird, desto höher ist der dadurch erzeugte Ton. Alle Töne, sowohl die tiefen, als die hohen, die starken und schwachen pflanzen sich mit gleicher Geschwindigkeit in der Luft fort.

Man bringt es leicht zur Entstehung mehrerer Schwingungs- oder Knotenpunkte, wenn man die Saite an einem ihrer aliquoten Theile, z. B. bei $\frac{1}{3}$ ihrer Länge leise mit dem Finger berührt und hierauf das kürzere Ende mit dem Bogen streicht; dann theilt sich das längere Ende ebenfalls in 3 gleiche Theile. Eine schwingende Saite kann zugleich in ihrer ganzen Länge und in aliquoten Theilen schwingen, und man hört daher außer dem Haupttone noch mehrere andere, welche Neben- oder Flageonettöne heißen.

Die Bewegung einer gespannten Saite aus einer ihr willkührlich gegebenen Lage bis wieder zurück in dieselbe Lage, nennt man eine ganze Schwingung oder Oscillation, und die Dauer dieser Bewegung, die Schwingungszeit der Saite.

Die Beobachtungen zeigen, daß die Schwingungen bei höhern Tönen größer, als bei niedern sind, und um so größer, je höher die Töne werden.

Eine gerade Linie, von dem schallenden Körper nach einem Punkte der Schallwelle gezogen, wird ein Schallstrahl genannt. Sie bezeichnet uns in den meisten Fällen die Richtung, nach welcher hin der Schall entstanden sein muß.

§ 245. Auf eine ähnliche Weise, wie die gespannten Saiten, schwingen auch die elastischen Flächen, wenn sie tönen; dabei bilden sich tönende Zonen oder Sectoren, und zwischen ihnen ruhende, nicht tönende Knotenlinien, die sich nach der Art des Tones schneiden oder unter einander parallel laufen. Um die Existenz dieser Knotenlinien nachzuweisen, streut man auf die obere Fläche einer Glastafel feinen trockenen Sand, welcher während des Tönens in die Höhe springt und niederfällt, und sich endlich an den Knotenlinien anhäuft. Auf diese Weise entstehen die so genannten Klangfiguren, deren Erfinder Chladni war. Diese Klangfiguren sind um so einfacher, je tiefer, um so zusammengesetzter, je höher die Töne sind.

§ 246. Die Luftsäulen in den Blase-Instrumenten schwingen auch auf ähnliche Art, wie die Saiten. Wenn der Wind in die Orgel-Pfeife gestoßen wird, so presset er die in ihr enthaltene Luftsäule zusammen, welche sich vermöge ihrer Elasticität wieder ausdehnt und so in Schwingungen der Länge nach geräth, und dadurch einen dem Ohre wahrnehmbaren Ton erzeugt.

Die Länge der schwingenden Luftsäule in einem Blase-Instrumente hat auf die Höhe des Tones einen wesentlichen Einfluß, indem dieselbe desto größer ausfällt, je kürzer die schwingende Luftsäule ist. Doch bestimmt sich die Höhe des Tones nicht allein hiedurch, sondern auch durch die Art des Einblasens. Je enger die Oeffnung des Instruments ist, und je schneller man in dieselbe hineinbläset, desto höher fällt der Ton aus.

Die Töne der Blase-Instrumente rühren durchaus nicht von den Schwingungen der Wände der Röhre her, weil man aus Blei — das eine sehr geringe Elasticität hat — recht gute Pfeifen macht, und man Instrumente, die aus elastischer Materie verfertigt sind, sogar mit einer weichen Hülle umgeben kann, ohne das Hervorbringen des Tones zu verhindern, oder denselben rücksichtlich der Höhe oder Tiefe zu verändern. Die Materie modificirt nur den Klang des Tones, wesentlich durch das Mittönen der festen Wände derselben, auf eine ähnliche Weise, wie der Resonanzboden beim Klavier. Denn ein und derselbe Ton auf der Flöte, Klarinette, einem Waldhorne u. s. w. hervorgebracht, läßt sogleich das Instrument erkennen, womit er hervorgebracht ist. In verdichteter Luft wird der Schall stärker, in verdünnter, schwächer und im absolut luftleeren Raume gar nicht gehört.

§ 247. Ist eine Orgelpfeife gedeckt und man bläs't schwach in dieselbe, so gibt sie ihren tiefsten Ton an, indem in diesem Falle die eingeschlossene Luftsäule in ihrer ganzen Ausdehnung schwingt; sie gibt aber höhere Töne an, wenn sie in aliquoten Theilen schwingt, wenn also Schwingungsknoten entstehen, was durch stärkeres Einblasen hervorgebracht wird. Eine offene Orgelpfeife gibt, wenn schwach in dieselbe geblasen wird, als tiefsten Ton die Octave von dem tiefsten Ton einer eben so langen gedeckten Orgelpfeife; woraus man schließt, daß bei den offenen Pfeifen die eingeschlossene Luft niemals als Ganzes, sondern stets in aliquoten Theilen schwingt. Man kann sich daher eine offene Pfeife gleichsam aus zwei gedeckten bestehend denken. Es wird aus diesem Grunde der tiefste Ton einer offenen Pfeife gleich sein dem Tone einer gedeckten Pfeife von doppelter Länge, als jene.

§ 248. Wenn die Schwingungen einer gespannten Saite oder eines elastischen Stabes so langsam erfolgen, daß sie dem Auge sichtbar sind und sich zählen lassen; so sind sie mit keinem wahrnehmbaren Tone begleitet. Verkürzt man aber die Saite bei gleicher Spannung, so vermehren sich ihre Schwingungen und sind endlich mit einem wahrnehmbaren Tone, und zwar dem tiefsten, welchen die Saite angeben kann, begleitet Verkürzt. man die Saite immer mehr, oder vergrößert man ihre Spannung bei gleicher Länge, so nimmt die Anzahl der Schwingungen und die Höhe der Töne zu, bis sie sich endlich in ein schneidendes Geräusch verlieren.

Die Gränzen der für die Musik noch brauchbaren Töne und die zugehörige Anzahl von Schwingungen in 1 Sec. setzt man auf 32 bis 8192.

Der tiefste Männerton zählt 192, der höchste 633; der tiefste Frauenton 576, der höchste 1720 Schwingungen.

§ 249. Die Verhältnisse der Töne lassen sich am besten aus der Anzahl der Schwingungen gespannter Saiten entwickeln, und man hat gefunden

1) daß die Schwingungszahlen, also auch ihre Tonhöhen, sich bei gleicher Dicke und Länge der Saiten verhalten, wie die Quadratwurzeln aus den sie spannenden Kräften.

Bedeuten N,n die Schwingungszahlen, K,k die die Saiten spannenden Kräfte; so ist

$$N : n = \sqrt{K} : \sqrt{k};$$

2) daß die Schwingungszahlen, also auch ihre Tonhöhen, im umgekehrten Verhältnisse der Durchmesser (D,d) zweier Saiten stehen, wenn diese gleiche Länge haben und von gleichen Kräften gespannt sind, also

$$N : n = d : D.$$ Und

3) daß die Schwingungszahlen, mithin auch ihre Tonhö-

hen sich verhalten bei gleicher Dicke und gleicher Spannung umgekehrt wie ihre Längen (L,l), nämlich

$$N : n = l : L.$$

Hieraus folgt für das Verhältniß der Anzahl der Schwingungen zweier gespannter Saiten die allgemeine Formel:

$$N : n = \sqrt{K} \cdot d \cdot l : \sqrt{k} \cdot D \cdot L = \frac{\sqrt{K}}{D \cdot L} : \frac{\sqrt{k}}{d \cdot l}.$$

§ 250. Ein wohlklingendes Zusammensein mehrerer Töne wird Accord, und eine Folge von Accorden, Harmonie genannt; denn nicht alle Töne sind dem Ohre angenehm. Man schränkt sich daher in der Musik auf gewisse Verhältnisse der Töne ein, wovon folgende die einfachsten sind.

Gibt man dem tiefsten Tone, welchen eine Saite angibt, oder dem Grundtone die Schwingungszahl = 1, so heißt derjenige Ton, zu welchem noch ein Mal so viel Schwingungen gehören, die Octave, und seine Schwingungszahl ist = 2. Zwischen dieses einfachste aller Tonverhältnisse pflegt man sechs Töne einzuschieben in folgender Ordnung:

Grundton, Secunde, große Terz, Quarte, Quinte, Sexte, Septime, Octave

C	D	E	F	G	A	H	c	
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2	Schwingungszahlen.
	d	c	f	g	a	h	c	
	$\frac{9}{4}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{8}{3}$	3	$\frac{10}{3}$	$\frac{15}{4}$	4	Schwingungszahlen,

d. h. macht der Grundton C 8 Schwingungen, so macht die Secunde deren 9; macht der Grundton C 4, so macht die große Terz 5 Schwingungungen u. s. w.

Die Zahlen geben nur die relativen Verhältnisse der Schwingungen an. Der tiefste Ton ist das so genannte 32füßige C, welchen eine offene Orgelpfeife von 32 Fuß Länge hervorbringt; der höchste Ton ist das so genannte fünfmal gestrichene C.

§ 251. Die Aufeinanderfolge obiger 8 Haupttöne nennt man Tonleiter oder Skale. Die Verhältnisse der Schwingungszahlen gelten durch alle Octaven und für alle Töne, von welchen Instrumenten sie auch herrühren mögen.

Das Verhältniß der Schwingungszahlen zweier Töne heißt das Intervall dieser Töne. So verhält sich

C : D = 8 : 9 = 1 : $\frac{9}{8}$; also ist das Intervall von D und C = $\frac{9}{8}$
D : E = 9 : 10 = 1 : $\frac{10}{9}$ . . . . . „ E „ D = $\frac{10}{9}$
E : F = 15 : 16 = 1 : $\frac{16}{15}$ . . . . . „ F „ E = $\frac{16}{15}$
F : G = 8 : 9 = 1 : $\frac{9}{8}$ . . . . . „ G „ F = $\frac{9}{8}$
G : A = 9 : 10 = 1 : $\frac{10}{9}$ . . . . . „ A „ G = $\frac{10}{9}$
A : H = 8 : 9 = 1 : $\frac{9}{8}$ . . . . . „ H „ A = $\frac{9}{8}$
H : c = 15 : 16 = 1 : $\frac{16}{15}$ . . . . . „ c „ H = $\frac{16}{15}$

Aus vorstehenden Tonverhältnissen ergibt sich, daß die ganze Tonleiter nur 3 verschiedene Intervalle hat, und zwar $\frac{9}{8}$ als Intervall eines großen ganzen Tones, $\frac{10}{9}$ als Intervall eines kleinen ganzen Tones und $\frac{16}{15}$ als Intervall eines großen halben Tones. Man pflegt zwischen die Töne, deren Inter-

valle einem ganzen Tone angehören, ($\frac{8}{9}$ und $\frac{15}{16}$) einen halben Ton einzuschieben, und zwar zwischen C und D das Cis; zwischen D und E das Dis; zwischen F und G das Fis; zwischen G und A das Gis; und zwischen A und H das B. Auf diese Weise erhält der Tonleiter 13 Töne. Man nennt sie die chromatische, zum Unterschiede der Tonleiter von 8 Tönen, welche die diatonische heißt.

Da E der dritte Ton ist, wenn wir von C ausgehen, und eben so G der dritte Ton, wenn wir bei E anfangen, aber das Verhältniß E : C = 5 : 4 größer ist, als das Verhältniß G : E = 6 : 5; so nennt man das Intervall von C zu E die große Terz ($\frac{5}{4}$), und das von E zu G die kleine Terz ($\frac{6}{5}$). Das Intervall eines kleinen halben Tones wird durch $\frac{25}{24}$ dargestellt.

§ 252. Obige 5 halbe Töne erhält man, wenn man jeden der vorhergehenden Töne mit $\frac{25}{24}$ multiplicirt. Gibt man dem Grundtone C 1000 Schwingungen, so enthalten die zwischen C und c liegenden Töne nachstehende Schwingungszahlen:

C. Cis. D. Dis. E. F. Fis. G. Gis. A
1000, 1042, 1125, 1172, 1250, 1333, 1389, 1500, 1562, 1666,
Ais (B). H. c. cis.
1736, 1875, 2000, 2083 u. s. w.

§ 253. Die diatonische Tonleiter wird vollkommen bestätigt durch ein unter dem Namen Monochord bekanntes Instrument, dessen eine Saite man nach Länge, Dicke und Spannung verschieden wählen und folglich die in § 252 angegebenen Schwingungen hervorbringen kann.

Um der Saite PQ (Fig. 59) bald diese, bald jene Länge geben zu können, läßt man sie über zwei niedrige Stege gehen, von denen wenigstens der eine P beweglich sein muß. Rückt dieser näher an Q, so ist die Saite als verkürzt zu betrachten, weil immer nur der zwischen den beiden Stegen befindliche Theil der Saite schwingt. Zur Abmessung der Spannung dienen Gewichte (r), deren Verhältniß bekannt sein muß. Nimmt man eine gleich dicke Saite und spannt sie so, daß sie im Ganzen schwingend den Grundton C angibt, setzt man darauf den beweglichen Steg P in ihre Mitte; so gibt jede Hälfte der Saite die höhere Octave c; also ist diese = $\frac{1}{2}$ der Saitenlänge des Grundton C = 1. Zwischen diesen beiden Saitenlängen eines Octavs liegen nun die Saitenlängen der übrigen Töne, und zwar für

C, D, E, F, G, A, H, c.
1, $\frac{8}{9}$ $\frac{4}{5}$ $\frac{3}{4}$ $\frac{2}{3}$ $\frac{3}{5}$ $\frac{8}{15}$ $\frac{1}{2}$ Saitenlänge;

d. h. hat der Grundton C eine Saite von 9′, so hat die Secunde (D) deren 8′; hat der Grundton C eine Saite von 5′, so hat die große Terz (E) 4′ Länge u. s. w. Oder: theilt man durch den Steg eine und dieselbe Saite in 2, 3, 4, 5, 9, 15 gleiche Theile; so werden $\frac{8}{9}$ dieser Saite die Secunde (D), $\frac{4}{5}$ die große Terz (E), $\frac{3}{4}$ die Quarte (F), $\frac{2}{3}$ die Quinte (G) u. s. w. vom Grundtone C angeben. Es verhalten sich demnach in Vergleich mit den Schwingungszahlen in § 249, die Längen der Saiten umgekehrt wie die Schwingungszahlen der zugehörigen Töne.

§ 254. Die Erfahrung lehrt, daß manche Töne, zu gleicher Zeit gehört, einen angenehmen Eindruck auf unser Ohr machen, andere dagegen nicht. Erstere nennt man consonirende Töne oder Consonanzen; letztere dissonirende Töne oder Dissonanzen. Als consonirende Töne geben sich die Töne C, E, G; G, H, d; D, Fis, A; A, cis, e u. s. w. zu erkennen. Man nennt sie consonirende Dreiklänge oder Akkorde, und zwar den ersten den C - dur-, den zweiten den G - dur-, den dritten den D - dur-; den vierten den A - dur - Accord u. s. w.

Zu einem Dur-Accorde oder harten Dreiklang gehört überhaupt der Grundton, die große Terz und die Quinte, welche letztere in Beziehung auf die große Terz, als Grundton genommen, die kleine Terz ist.

Außer dem Dur-Accord gibt es noch den Moll-Accord oder weichen Dreiklang, in welchem auf den Grundton die kleine Terz, und auf diese die Quinte des Grundtons folgt. Demnach besteht der C moll-Accord aus C, Dis und G; der D moll-Accord aus D, F, A u. s. w. Der Moll-Accord ist weniger consonirend, als der Dur-Accord.

Die Consonanzen und Dissonanzen hängen von dem mehr oder weniger einfachen Verhältnisse der Schwingungszahlen der Töne zu einander ab. Durch je kleinere Zahlen die Intervalle der Töne ausgedrückt werden, desto mehr consoniren dieselben. So consoniren z. B. C und c (1 : 2); E und G (5 : 6); C und F (3 : 4); C und E (4 : 5); C und G (2 ; 3); C und A (3 : 5) u. s. w. Dagegen dissoniren: C und D (8 : 9); C und H (8 : 15) u. s. w.

§ 255. Die Geschwindigkeit des Schalles ist durch ein abgefeuertes Geschütz gefunden worden; denn wird eine Kanone in einer nicht unbedeutenden Entfernung abgefeuert, so gelangt das Licht von der Flamme des Pulvers eher zum Auge, als der Knall zum Ohre. Hieraus fand man die Geschwindigkeit des Schalles bei 0° Celsius = 1027 Fuß für 1 Secunde. Arago fand, daß die Geschwindigkeit des Schalles um 1,926 par. Fuß vermehrt wird, wenn die Wärme um 1° C. zunimmt. Daher kann man füglich die Schallgeschwindigkeit bei mittler Temperatur = 1040 Fuß setzen.

Die Bestimmung der Entfernung eines Gewitters kann aus der Anzahl der Pulsschläge zwischen dem Blitze und dem Donner gefunden werden. Man rechnet nämlich auf einen Pulsschlag 1000 Fuß.

§ 256. Aus den Beobachtungen hat sich zugleich ergeben, daß die Geschwindigkeit des Schalles weder von dessen Stärke, noch von dem Barometerstande abhängig ist; dagegen wird sie durch die Wärme und die Feuchtigkeit der Luft vermehrt. Der Wind vergrößert die Geschwindigkeit des Schalles, wenn seine Richtung mit der des Schalles zusammenfällt, und vermindert sie, wenn die Richtung eine entgegengesetzte ist.

§ 257. Die Erfahrung lehrt auch, daß sich der Schall durch tropfbarflüssige und feste elastische Körper, nach Verhältniß ihrer Dichtigkeiten, weit schneller fortpflanzt, als durch die Luft. Man stopfe sich die Ohren zu, so daß man den Schlag einer Taschenuhr nicht mehr höre; nehme dann ein trockenes Stäbchen von Tannenholz zwischen die Zähne und berühre mit dem andern Ende des Stäbchens das Gehäuse der Uhr; so wird der Schall wieder zum Vorschein kommen; indem dieser sich durch das Stäbchen, die Zähne und den Schädel zu dem im Schläfeknochen liegenden innern Theile des Gehörorgans fortpflanzt.

Durch eine eiserne Röhre pflanzt sich der Schall 10¼ Mal so geschwind, als durch die in der Röhre eingeschlossene Luft fort; in Zinn 7¼ Mal, in Glas 17 Mal, in Wasser 4¼ Mal und in verschiedenen Holzarten 12—17 Mal so geschwind, beim Kohlensäuregas aber geringer, als durch die Luft.

Die Schallstärke ist bei dichterer Luft größer, und nimmt mit den verschiedenen Dichtigkeitsgraden der Luft zu oder ab.

§ 258. Man kann sich durch Beobachtungen leicht überzeugen, daß die Fortbewegung des Schalles, die so genannten Schallwellen, wenn sie auf feste und hinlänglich dichte Körper treffen, nach ähnlichen Gesetzen zurückgeworfen werden, wie die Bewegungen elastischer Körper überhaupt. Hierauf gründet sich die Construction der akustischen Säle, der Sprachgewölben, der Sprach- und Hörröhren. Die beiden erstern sind elliptisch oder parabolisch gebaut.

Zu den bemerkenswerthen Sprachgewölben gehört das sogenannte Ohr des Dyonisius oder die parabolisch gewölbte Grotte Della Fabella in einem Steinbruche bei Syrakus, welche Dionysius benutzt haben soll, um die unten befindlichen Gefangenen in ihren leisesten Gesprächen zu belauschen; ferner die Kuppel der Paulskirche in London, die so gebaut ist, daß nicht bloß der Schlag einer Taschenuhr von einem Ende zum andern gehört wird, sondern auch das leiseste Gespräch gleichsam an den Wänden herumzulaufen scheint.

§ 259. Die Sprachröhren sind kegelförmig construirt, damit den zu ihrer Mündung hineingesprochenen Schallstrahlen durch die Zurückwerfung von ihren Wänden die zerstreuende Richtung genommen und diese in eine mit der Axe des Sprachrohrs parallele oder wenigstens minder zerstreuende verwandelt werde. Man gibt gewöhnlich einem Sprachrohr bei einer Länge von 52 Zoll zum weitern Durchmesser 13 Zoll, zum engern $1\frac{1}{2}$ Zoll. (Fig. 60).

§ 260. Den akustischen Röhren (Fig. 61), deren sich harthörende Personen mitVortheil bedienen, gibt man eine parabolische Form. Das gekrümmte Ende des Hörrohres wird durch den Gehörgang auf das Trommelfell gebracht, damit die zur weitern Oeffnung einfallenden Schallstrahlen sämmtlich nach mehrfacher Zurückwerfung zur schmälern Oeffnung hingeleitet werden. Das Hörrohr ist 1670 von Moreland erfunden.

§ 261. Unter einem Echo versteht man den deutlich vernehmbaren Wiederhall artikulirter Laute. Es sind dazu folgende Bedingungen erforderlich: der den Schall zurückwerfende Körper muß eine solche Beschaffenheit und Entfernung haben, daß der Wiederhall nicht nur in der nöthigen Stärke, sondern auch erst dann das Ohr des Hörenden treffe, wenn der Eindruck des unmittelbar hervorgebrachten Schalles bereits vorüber ist.

Die Erfahrung lehrt, daß der Ort, von dem der Schall ausgeht, von der reflectirenden Fläche wenigstens 65 Fuß entfernt sein muß, wenn ein wirkliches Echo entstehen soll; denn da das Ohr etwa 8 einzelne Laute in 1 Secunde unterscheiden kann, und folglich zwischen dem Schalle und dem Echo wenigstens $\frac{1}{8}$ Secunde verstreichen muß, um Einen Laut zu vernehmen, so legen beide (Schall und Echo) in dieser Zeit zusammen $1090 \frac{0}{8} = 130$ Fuß zurück; die Hälfte davon gibt aber die Entfernung der reflectirenden Fläche. Für ein doppeltes, dreifaches Echo müßten 2, 3 solcher den Schall reflectirenden Körper in gleichen oder wenigstens nicht viel kleineren Entfernungen hinter einander gestellt sein.

Es finden sich bemerkenswerthe Echo fast in allen Ländern, z. B. im Park zu Woodstock in England, welches bei Tage 17, bei Nacht 20 Silben wiederholt.

An einem Thurme bei Derenberg unweit Halberstadt findet ein Echo statt, das Worte von 27 Silben wiedergibt. Das Echo auf der Villa Simonetta bei Mailand wiederholt ein rein ausgesprochenes Wort 40 Mal und den Knall eines Pistols 60 Mal.

Vertiefte Flächen reflectiren die Schallstrahlen besser, als ebene, und diese wieder besser als erhabene, ganz in der Weise, wie die verschiedenen Spiegelarten das Licht verschieden zurückwerfen (§ 285).

Es ist übrigens nicht nothwendig, daß die reflectirenden Wände fest sind; selbst Wolken, wie Beobachtungen auf dem Meere gezeigt haben, vermögen den Schall zurückzuwerfen.

Der Nachhall bildet sich ganz in derselben Weise, wie das Echo, nur sind bei ihm die reflectirenden Wände dem tönenden Körper zu nahe, als daß er sich von dem ursprünglichen Schall unterscheiden ließe. Glatte, harte Körper verstärken den Nachhall; lockere, weiche, z. B. Teppiche, Tücher, frisch gefallener Schnee, Wolle, Feder, überhaupt solche Körper, welche Luft zwischen sich enthalten — schwächen ihn.

§ 262. Es ist bekannt, daß man den Schall zur Nachtzeit viel weiter und vernehmlicher hört, als bei Tage. Man erklärt dieß gewöhnlich aus der Stille der Nacht und der größern Empfänglichkeit des Gehörorgans für schwächere Schallarten, wenn es durch fortwährendes Geräusch nicht ermüdet ist. Humboldt aber suchte vielmehr den Grund hievon in der durch die Kühle der Nacht bewirkten gleichförmigen und größern Dichte der einzelnen Luftschichten.

§ 263. Die durch Resonanz verstärkte Wirkung beruht auf folgenden Gründen. Die Erfahrung lehrt, daß sich die Schallschwingungen der Luft festen elastischen Körpern, wenn sie nicht allzu dick sind, mittheilen, und von diesen wieder der Luft zurückgegeben werden. Treffen nun die durch Reflexion des Schalls entstandenen Schwingungen der Luft mit den unmittelbar in derselben erregten gleichzeitig das Ohr, so wird der Schall verstärkt, im entgegengesetzten Falle nicht, sondern es entsteht durch die Reflexion ein unangenehmes Nachklingen.

Eben so gibt eine angeschlagene Stimmgabel, frei in der Hand gehalten, nur einen schwachen Ton; dieser wird bedeutend verstärkt, wenn man den Stiel der Stimmgabel auf einen Resonanzboden stellt.

Vom menschlichen Ohr.

§ 264. Man theilt das menschliche Ohr in das äußere, mittlere und innere. Zu dem erstern rechnet man das äußere Ohr oder die Ohrmuschel und den Gehörgang mit dem Pauken- oder Trommelfell; zu dem mittlern Theile die Paukenhöhle mit den in ihr liegenden Gehörknöchelchen; zu dem innern und wesentlichsten Theile gehört das Labyrinth nebst den in ihm befindlichen Gehörnerven.

§ 265. Die Muschel ist ein knorplichter hervorstehender Muskel, welcher in der Mitte eine muschelförmige Vertiefung hat, die zu dem Gehörgang führt. Dieser ist hinten durch das Trummelfell verschlossen; hinter dem Trommelfell in der sogenannten Paukenhöhle befinden sich die drei Gehörknöchelchen, der Hammer, Ambos und Steigbügel.

Der Hammer theilt sich, gleich einem Winkelhebel, in zwei Armchen, wovon das Ende des einen, der Griff, mit der Spitze des nach innen etwas kegelförmig erhabenen Trommelfelles zusammengewachsen ist. Das dicke Ende des Hammers ist in den Ambos, und dieser mit seiner Spitze in den Steigbügel eingelenkt. Das scheibenförmige Fußplättchen des Steigbügels verschließt, mittelst einer feinen Haut, eine Oeffnung des Labyrinths, das sogenannte ovale Fensterchen, gleich einer Klappe. Die Trommelhöhle ist mit Luft gefüllt, da sie durch die Eustach'sche Röhre mit der Nasenhöhle in Verbindung steht.

§ 266. Das Labyrinth besteht aus 3 Hauptabtheilungen, nämlich aus dem mit dem ovalen Fensterchen versehenen Vorhof, den 3 halbkreisförmigen Kanälen und der mit $2\frac{1}{2}$ Windungen versehenen Schnecke. Das ganze Labyrinth ist mit einer wässerichten Feuchtigkeit erfüllt, die von den Arterien ausgeschieden wird. Der Gehörnerv tritt aus dem Gehirn durch den innern Gehörgang nach der Schnecke, dem Vorhof und den mit ihm verbundenen Kanälen.

§ 267. Man nimmt an: die Muschel fange die Schallwellen auf, leite sie durch den kegelförmig sich verengenden Gehörgang zu dem Trommelfell, welches dadurch selbst in Schwingungen gerathe, die sich mittelst der Gehörknöchelchen durch das ovale Fenster dem Wasser des Labyrinths und diesem selbst mittheilen, wodurch sie endlich zu den überall in demselben fein verbreiteten Nervenenden des Gehörnervens und so zu dem Gehirn fortgepflanzt werden.

Beobachtungen lehren, daß das Hören möglich ist, wenn gleich das äußere Ohr, das Trommelfell und die Gehörknöchelchen bis auf das, das ovale Fensterchen deckende Plättchen zerstört ist, dieses aber und das Labyrinth nebst den Gehörnerven unversehrt erhalten sind.

Von der menschlichen Stimme.

§ 268. Das Organ der menschlichen Stimme hat mit einer Zungenpfeife große Aehnlichkeit. Die wesentlichsten zur Erzeugung der Stimme erforderlichen Stücke sind:

1) Die Lungen, welche die Stelle des Blasebalgs vertreten; 2) Die Luftröhre. Sie ist ein cylindrischer Kanal, welcher aus knorpeligen elastischen Ringen besteht, die durch biegsame häutige Ringe verbunden sind. Die Luftröhre theilt sich unten in zwei Röhren, die sich nach allen Seiten hin in das Gewebe der Lungen verzweigen. 3) Der Kehlkopf (das obere Ende der Luftröhre) ist von etwas größerem Durchmesser als die Luftröhre Es bedecken denselben zwei kreisförmige Häutchen, welche sich mit ihren geradlinigen Rändern berühren, aber auch von einander entfernen können, in welchem Fall sie eine linsenförmige Oeffnung, die Stimmritze genannt, bilden. Jene beiden Häutchen heißen Kehlbänder. Bei Männern sind diese fast noch einmal so lang, als bei Frauen und Kindern; daher bei diesen der feinere Ton im Sprechen und die größere Höhe beim Singen. Der Kehlkopf ist überdieß mit einem beweglichen Deckel, Kehldeckel genannt, versehen, der sich bald ganz über die Stimmritze legt, bald mehr oder weniger darüber erhebt. Durch Anspannung der Kehlbänder und dadurch bewirkte Verengung der Stimmritze gerathen jene, während die Luft aus den Lungen mit verschiedener Stärke durchgepreßt wird, in eine zitternde Bewegung, von deren Geschwindigkeit die artikulirten Laute sowohl, als auch die musikalischen Töne abhängen. Zum Wohllaut der Stimme und zur Annehmlichkeit der Töne trägt auch das richtige Verhältniß des Stimmorgans, ihre Glätte, Biegsamkeit und Beweglichkeit; ferner die Wölbung des Mundes, die Zähne und Lippen wesentlich bei.

Kapitel VI.

Die Lehre vom Lichte.

§ 269. Die Empfindung, welche wir von Gegenständen außer uns vermittelst der Augen erhalten, heißt das Sehen. Dasjenige Mittel, wodurch uns die Gegenstände sichtbar werden, nennt man Licht.

§ 270. Worin das Wesen des Lichts eigentlich bestehe, weiß man nicht; es existiren aber darüber 2 Haupt-Hypothesen (Voraussetzungen). Die eine ist die Emanations- oder Ausflußtheorie von Newton (spr. Njuten); die andere die Undulations- oder Vibrationstheorie von Euler. Newton behauptet nämlich 1) daß das Licht eine höchst feine, elastische und unsichtbare Materie sei, welche aus der Sonne und andern leuchtenden Körpern unaufhörlich nach allen Seiten strahlenförmig und mit sehr großer Geschwindigkeit ströme, und zuletzt unsere Augen berühre und dort die Empfindung des Sehens errege; 2) daß Körper, welche diesen Lichtstoff empfangen, selbst zu einer Lichtquelle werden und 3) daß auf diese Lichtmaterie die verschiedenen Naturkörper durch anziehende und abstoßende Kräfte einwirken, und daß die Theilchen dieser Materie nicht alle von derselben Art seien, sondern daß durch ihre Verschiedenheit die verschiedenen Farben entstehen. Nähern sich dieselben andern Körpern, so werden durch eine Art von Wahlverwandtschaft einige Theilchen angezogen, andere dagegen abgestoßen, und es folgen nach der Wirkung dieser Kräfte Bewegungen, welche sich ganz denen in der Mechanik (Stoß- und Wurfbewegung) anschließen.

Nach der Undulationstheorie, der jetzt die Gelehrten huldigen, bestehe das Licht in Schwingungen des Aethers — einer ungemein feinen, elastischen, vollkommen durchsichtigen Flüssigkeit ohne Schwere — von der wir annehmen, daß sie den ganzen Weltraum, ja sogar jeden Körper, den lufterfüllten, wie den luftleeren Raum durchdringe, und als das höchst Bewegliche nur in der Bewegung sinnlich wahrnehmbar sei. Die leiseste Erzitterung dieses Aethers verbreitet sich in Schwingungen weithin, bis sie zu unserm Gesichtssinne gelangend, hier Empfindungen hervorruft, die wir Sehen nennen.

Im Innern der Körper hat der Aether eine geringere Elasticität als im leeren Raume und dieß ist die Ursache, daß sich die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Schwingungen ändert.

Die Verschiedenheit der Farben des Lichts rührt von der verschiedenen Anzahl der Aetherschwingungen in derselben Zeit her, auf ähnliche Weise, wie die verschiedene Anzahl der Schallschwingungen die verschiedenen Töne erzeugt.

Im Zustande der Ruhe bewirkt der Aether in unserm Auge keine Empfindung.

§ 271. Alle Körper, welche die Eigenschaft besitzen den Aether fortwährend in schwingende Bewegung zu versetzen, nennt man selbstleuchtende Körper; diejenigen aber, die diese Eigenschaft nicht haben und nur dadurch sichtbar werden, daß sie von jenen beleuchtet werden und die Lichtstrahlen in unser Auge zurückwerfen, heißen dunkle Körper. Einige von letzteren haben die Eigenschaft, daß sie noch einige Zeit sichtbar sind, wenn auch die Lichtquelle entfernt ist; diese nennt man phosphorescirend.

§ 272. Körper, welche die Lichtstrahlen ungehindert durchgehen lassen, nennt man durchsichtige; ihnen entgegengesetzt sind die undurchsichtigen. Körper aber, wie dünnes Oel-Papier, mattgeschliffenes Glas sind durchscheinende Körper. Diese lassen das Licht nur zum Theil hindurch, ohne daß man die Gestalt oder die Farbe der Gegenstände erkennen kann. Die Undurchsichtigkeit der Körper hängt aber immer von ihrer Dicke ab; denn alle Körper, wenn man sie nur dünn genug machen kann, lassen immer etwas Licht durch, z. B. durch ein dünnes Goldblättchen nimmt man ein bläulich grünes Licht wahr, wenn man nach einer Kerzenflamme oder dem Himmel sieht.

Eine gewisse Gleichförmigkeit in dem innern Gefüge eines Körpers befördert die Durchsichtigkeit. Zerstoßenes Glas z. B. läßt das Licht ungleich schwächer durch, als eine Glasscheibe, obgleich die Theilchen des zerstoßenen Glases locker auf und neben einander liegen. Eben so Wasser, wenn man es zu Schaum schlägt.

§ 273. Nicht immer ist, wie bei der Sonne, der Flamme der Kerze, des Holzes u. s. w., Licht mit Wärme verbunden. Oft leuchten Körper, ohne zu wärmen, z. B. die Phosphoren, faules Holz, Irrlichter, Sternschnupfen, manche Insecten (das Johanniswürmchen, der Laternträger), und die Augen der Katzen und Tiger; oft besitzen aber auch Körper Wärme, ohne zu leuchten; so z. B. erzeugen ungelöschter Kalk und Vitriolsäure mit Wasser gemischt, einen hohen Grad von Wärme, ohne zu leuchten; eben so der geheizte Ofen u. s. w.

Durch große Wärme wird gewöhnlich Licht entwickelt, wie dieß der Fall ist, wenn zwei Körper mit großer Schnelligkeit an einander gerieben werden.

Erster Abschnitt.

Von dem geraden Fortgange der Lichtstrahlen (Optik im engern Sinne).

§ 274. Das Licht, das von leuchtenden und beleuchteten Körpern ausgeht, pflanzt sich in einem und demselben Mittel nach allen Seiten in geraden Linien fort, welches man daran erkennt, wenn man in einen dunklen Raum durch eine kleine Oeffnung Licht fallen läßt. Man sieht dann an den erleuchteten schwebenden Staubtheilchen, daß sich das Licht in geradliniger Bahn fortpflanzt. Die Lichtrichtungslinien, in welchen die Wirkung des Lichts eines leuchtenden Punktes sich fortpflanzt, werden Lichtstrahlen genannt. Der Theil der Lehre des Lichts, der von den Erscheinungen der geradlinig fortgehenden Lichtstrahlen handelt, heißt im engern Sinne Optik.

§ 275. Das Licht bewegt sich mit außerordentlicher Geschwindigkeit, indem es in 1 Secunde über 42000 Meilen zurücklegt, und demnach den Weg von der Sonne bis zur Erde in 8 Minuten 13 Secunden macht. Der Däne Oloff Römer fand (1675) diese Geschwindigkeit des Lichts durch Beobachtungen der Verfinsterung des Jupiters Trabanten.

§ 276. Das Verhältniß der Stärke des Lichts beruht auf folgenden 3 Gesetzen:

1) Die Beleuchtung nimmt in dem Verhältnisse ab, wie die Quadratzahlen der Entfernungen wachsen, z. B. in zweifacher Entfernung ist die Beleuchtung eines Körpers 4mal; in der dreifachen Entfer-

nung 9mal, in der vierfachen, 16mal schwächer, als in der einfachen Entfernung. (Lichtkegel).

2) Die Stärke der Beleuchtung verhält sich unter übrigens gleichen Umständen, wie die Menge der leuchtenden Punkte. So werden 2, 3, 4 Lichtflammen von gleicher Lichtstärke auch 2, 3, 4mal so stark leuchten, als eine.

3) Eine Fläche wird stärker beleuchtet, wenn sie senkrecht gegen die Richtung der Lichtstrahlen steht, als wenn sie mit dieser einen schiefen Winkel macht.

Bringt man die vertikale Ebene BD (Fig. 62) in die schiefe Lage DF, so wird sie nur von denjenigen Strahlen der Lichtquelle AC erleuchtet, welche zwischen EF und CD fallen; die übrigen zwischen EF und AB fallenden Strahlen gehen für dieselbe verloren, während sie zur Erleuchtung der Fläche BD noch das Ihrige beitragen würden. Es wird also die Beleuchtung dann am stärksten sein, wenn die Ebene gegen die Strahlen senkrecht gerichtet ist; bei jeder andern Lage wird sie schwächer, je nachdem der Winkel, unter welchem der Lichtstrahl die Ebene trifft, kleiner wird. Halbirt der Strahl EF den Raum zwischen AB und CD, so fällt auf DF nur die Hälfte der Lichtstrahlen, oder die Beleuchtung ist nur halb so stark, und dieser Fall tritt ein, wenn der Neigungswinkel des Lichtstrahls gegen die Ebene $= 30°$ ist.

§ 277. Um die Stärke des Lichts zu messen, bedient man sich eines so genannten Lichtmessers oder Photometers (von Rumford).

Es sei (Fig. 63) AB eine weiße Wand, a ein dünnes Stäbchen; in b stehe eine brennende Lampe, und in c ein Wachslicht. Will man erfahren, wie vielmal die Beleuchtung durch die Lampe stärker sei, als durch das Wachslicht; so stelle man das letztere in einer Entfernung von etwa 1 Fuß von der Wand AB und entferne die Lampe b von derselben so weit, bis die beiden Schatten des Stäbchens a von gleicher Lichtstärke erscheinen. Hat man deßhalb die Lampe um 6 Fuß von der Wand entfernen müssen, so ist die Lichtstärke der Lampe 36mal größer, als die des Wachslichtes.

Man hat gefunden, daß die Stärke des Sonnenlichtes sich zu dem des Mondlichtes verhält $= 300000 : 1$.

§ 278. Wenn Licht nicht von einem Punkte, sondern von einer Fläche auf einen dunklen, undurchsichtigen Körper ausgeht; so fallen hinter letzterem in einen gewissen Raum, gar keine, in einen andern, nicht alle Lichtstrahlen. Jener Raum heißt alsdann Kernschatten, dieser Halbschatten. Bei den Mondfinsternissen sehen wir nur den Kernschatten der Erde.

Sind der leuchtende und der dunkle Körper gleich groß, so geht der Kernschatten in gleicher Größe fort. Ist der leuchtende Körper größer, als der dunkle, so endigt sich der Kernschatten in einer Spitze; ist aber jener kleiner, als dieser, so breitet sich der Kernschatten immer mehr und mehr aus; dagegen verliert sich der Halbschatten allmählich in das Licht. So ist (Fig. 64) CSD der Kernschatten, und FCS und SDE der Halbschatten.

Aus den ähnlichen Dreiecken En C und CBS läßt sich leicht BS finden.

§ 279. Die scheinbare Größe eines Gegenstandes nennt man den Winkel, welchen 2 gerade Linien mit einander machen, die von den einander gegenüberstehenden äußern Punkten eines Gegenstandes nach dem Auge gezogen werden. Der auf diese Weise gebildete Winkel heißt auch Seh- oder Gesichtswinkel. Dieser wird offenbar desto größer sein, je näher der Gegenstand dem Auge, desto kleiner, je entfernter er von demselben ist.

Es verhalten sich die Gesichtswinkel, wenn sie klein sind, oder die scheinbaren Größen zweier Gegenstände:

1) Bei gleicher Entfernung, wie ihre wirklichen Größen.

2) Bei gleichen wirklichen Größen, wenn die Gesichtswinkel klein sind, umgekehrt wie ihre Entfernungen. Aus diesen beiden Proportionen folgt nun,

3) daß die scheinbaren Größen sich überhaupt verhalten, wie die wirklichen Größen, dividirt durch ihre entsprechenden Entfernungen.

Es ist z. B. der wirkliche Durchmesser der Sonne = 112 Erddurchmessern.
und der wirkliche Durchmesser des Mondes = $\frac{2}{7}$ ———
die wirkliche Entfernung der Sonne von der Erde = 12000 ———
die wirkliche Entfernung des Mondes v. der Erde = 30 ———
Es verhalten sich demnach die scheinbaren Durchmesser der Sonne und des Mondes zu einander $= \frac{1}{12000} : \frac{2}{7 \cdot 30} = 49 : 50$. Die Sonne und der Mond erscheinen uns also ziemlich gleich groß.

Wir werden nur dann ein richtiges Urtheil über die wahre Größe eines Gegenstandes fällen, wenn uns dessen Entfernung bekannt ist. Umgekehrt kann man aus der bekannten wahren und scheinbaren Größe eines Gegenstandes auf seine Entfernung schließen.

Die Art der Beleuchtung eines Gegenstandes hat einen großen Einfluß auf unser Urtheil über ihre Entfernung. So erscheinen uns im Nebel die Gegenstände nicht selten größer als gewöhnlich, weil wir sie wegen ihrer durch den Nebel verursachten undeutlichen Umrisse für entfernter halten.

Stehen wir am Ende einer langen Allee, so bemerken wir, daß, je weiter entfernt, die Bäume einander immer näher zu stehen und kleiner zu werden scheinen, und zuletzt in einem Punkte sich endigen. Diese Erscheinung rührt daher, weil die Sehwinkel immer kleiner und kleiner werden und wir gewohnt sind, die Größe der Gegenstände nach den Sehwinkeln zu beurtheilen.

Augenmaß nennt man die Fähigkeit des Geistes, aus der scheinbaren Größe eines Gegenstandes seine wahre Größe zu beurtheilen. Es muß durch das Betasten, Nachmessen ꝛc geübt werden.

§ 280. Wenn die Entfernung eines nicht leuchtenden Gegenstandes über 5000mal größer ist, als sein Durchmesser, so sieht man ihn gewöhnlich nicht mehr, weil alsdann der Sehwinkel 40 bis 50 Winkel-Secunden groß ist, und den Gegenstand nur noch als einen Punkt erscheinen läßt.

Leuchtende Gegenstände dagegen können unter einem Winkel von 1 Sec. oder in einer Entfernung, welche das 200000fache ihres Durchmessers beträgt, noch sehr deutlich gesehen werden, ja unter einem noch viel kleinern Winkel können sie auf das Auge sehr lebhaft wirken, wie die Fixsterne in dunkler Nacht, deren scheinbare Größe man $\frac{1}{150}$ Secunden annimmt.

§ 281. Ein bewegter Körper kann zu ruhen scheinen, wenn er sehr weit entfernt, oder wenn der Gesichtswinkel zu klein ist, um den sich seine Lage in einer gewissen Zeit ändert, alsdann fällt der Winkel der Bewegung außerhalb der Grenze des Sehens.

So sieht man am Stundenzeiger, an den Himmelskörpern, an einem in der Ferne segelnden Schiffe keine Bewegung; denn der Eindruck des Lichts im Auge dauert etwa nur $\frac{1}{4}$ Zeitsecunde. Rückt nun während dieser Zeit ein Körper um einen Sehwinkel von weniger als 40 Winkelsekunden fort; so fällt das fortgerückte Bild des Gegenstandes im Auge mit dem anfänglichen zusammen, wodurch der Gegenstand still zu stehen scheint. Dagegen erscheint uns eine schnell herumgeschwungene glühende Kohle als ein feuriger Kreis, weil der anfängliche Licht-Eindruck derselben im Auge noch fortdauert, während die Kohle ihren ganzen Umschwung bereits vollendet hat.

Zweiter Abschnitt.

Von den durch Zurückwerfung der Lichtstrahlen erzeugten Erscheinungen (Katoptrik).

§ 282. Alle dunklen Körper werfen einen bald größern, bald kleinern Theil des auf sie fallenden Lichts zurück, und werden dadurch nicht bloß überhaupt sichtbar, sondern es hängt auch davon die mehr oder weniger starke Beleuchtung eines Gegenstandes ab, den man nur vermittelst des zurückgeworfenen Lichtes wahrnimmt. Es werfen weiße Oberflächen mehr Licht zurück, als graue, und schwarze bringen die schwächste Beleuchtung hervor, weil sie das Licht verschlucken. Körper mit rauhen Oberflächen zerstreuen das zurückgeworfene Licht mehr, als Körper mit glatten Oberflächen. Die stärkste und regelmäßigste Zurückwerfung des Lichts findet bei Körpern mit polirten Oberflächen statt. Diese Zurückwerfung des Lichts nennt man Spiegelung, mit deren Erscheinungen sich die Katoptrik beschäftigt.

§ 283 Unter den Körpern mit polirten Oberflächen verdienen besonders die Spiegel genannt zu werden, welche sämmtlich von Metall sind, da auch bei den Glasspiegeln die hintere metallische Belegung die spiegelnde Fläche bildet und das Glas nur dazu dient, um das Amalgam festzuhalten und es möglich eben zu machen.

§ 284. Die Spiegel werden nach Beschaffenheit der spiegelnden Flächen, in ebene (plan), hohl-gekrümmte (concave) und erhaben-gekrümmte (convexe) eingetheilt.

§ 285. Das Hauptgesetz, welches allen durch Spiegel erzeugten Erscheinungen zum Grunde liegt, ist folgendes: Die Lichtstrahlen werden unter demselben Winkel, aber nach entgegengesetzter Richtung zurückgeworfen (reflectirt), unter welchem sie den Spiegel treffen und beide Winkel liegen in einerlei Ebene.

Dieses Gesetz gilt für alle Arten von Spiegeln, wenn man kleine Stücke einer krummen Fläche als Ebenen betrachtet.

Es sei (Fig. 65) ab ein schräg auf den Spiegel ef fallender Strahl. Errichtet man aus dem Punkte b auf die Spiegelfläche das Perpendikel bd, so heißt der Winkel abd, den der auffallende Strahl ab mit dem Einfallsloothe bd macht, der Einfallswinkel und der Winkel dbc, den der zurückgeworfene Strahl bc mit demselben Einfallsloth bd bildet, der Reflexionswinkel. Hier ist der Einfallswinkel abd stets dem Reflexionswinkel dbc gleich. Hieraus folgt,

1) daß ein auf den Spiegel senkrecht fallender Strahl db in sich selbst zurückgeworfen wird, und 2) daß das Bild eines Punktes in einem ebenen Spiegel da gesehen wird, wo sich die zurückgeworfenen Strahlen, rückwärts verlängert, schneiden würden.

Es sei z. B. A (Fig. 66) ein Punkt vor dem ebenen Spiegel GH und AG ein senkrecht, und AB ein schief auf den Spiegel fallender Strahl; letzterer wird in der Richtung BC unter gleichem Winkel zurückgeworfen. Werden diese beiden Strahlen rückwärts verlängert, so schneiden sie sich hinter dem Spiegel im Punkte F, und es wird dieser Punkt eben so weit vom Spiegel entfernt zu sein scheinen, als der Punkt A vor dem Spiegel; denn er-

richtet man in B auf den Spiegel GH die Senkrechte BD, so ist nach obigem Gesetze $\angle ABD = \angle DBC$; folglich auch $\angle ABG = \angle CBH = \angle GBF$ (als Scheitelwinkel). Es ist $\angle AGB = \angle BGF$ (als Rechte) und GB = GB; folglich $\triangle ABG \cong \triangle BGF$ also FG = GA.

Es wird also einem in C befindlichen Auge scheinen, als ob der leuchtende Punkt A in F wäre.

Aus diesem Beweise ergibt sich, daß bei einem ebenen Spiegel für das Auge das Bild eines Gegenstandes eben so weit hinter den Spiegel tritt, als dieser selbst vor demselben steht. Das Bild ist aufrecht in unveränderter Größe, aber symmetrisch, d. h. was bei dem Gegenstande rechts ist, steht im Spiegelbilde links, und umgekehrt. Es findet hier nicht wirkliche Vereinigung der Strahlen statt, sondern die Strahlen kommen nur durch Zurückwerfung so ins Auge, als ob sie von F ausgingen; daher heißt der Punkt F' das geometrische Bild von A, zum Unterschiede von einem physischen Bilde, welches durch wirkliche Vereinigung der Strahlen entsteht, wie wir es später bei den Sammlungsgläsern und Hohlspiegeln sehen werden.

§ 286. Aus dem Beweise § 285 geht hervor, warum sich ein lothrechter Körper vor einem unter 45° gegen den Horizont geneigten Spiegel darin als ein horizontaler zeigt, und umgekehrt; und warum die im horizontalen Spiegel sich abspiegelnden Gegenstände umgekehrt erscheinen, wie z. B. die am Ufer stehenden Bäume oder Häuser.

§ 287. Wenn ein senkrecht stehender Spiegel gerade halb so hoch ist, als der Mensch, so kann dieser sich ganz darin sehen.

Es sei z. B. (Fig. 67) CG der Spiegel, AB die Länge des Menschen und dessen Auge in o; so ist nach obigem Gesetze ab das geometrische Bild des Menschen AB, und Af = fa, Bh = bh; dann ist de = ½ ab = ½ AB.

Beweis. Da ab || CG || AB, so ist $\triangle$ afd ∽ $\triangle$ aAo; folglich

Af : Aa = od : oa = 1 : 2 und

od : oa = de : ab (weil $\triangle$ ode ∽ $\triangle$ oab);

folglich de : ab = 1 : 2; also de = ½ ab = ½ AB.

Demnach braucht der Spiegel nur halb so groß zu sein, als der Mensch.

§ 288. Wenn zwei Spiegel unter einem gewissen Winkel an einander gesetzt werden, so erscheinen durch die Reflexionen der Lichtstrahlen vervielfältigte Bilder der Gegenstände, welche hinter einander folgen, und je weiter entfernt, desto kleiner und schwächer beleuchtet erscheinen dieselben, bis sie endlich gänzlich verschwinden. Man kann dieß am besten wahrnehmen, wenn man eine Lichtflamme in den Winkel setzt, den die beiden Spiegel bilden; je kleiner der Winkel, desto größer ist die Vervielfältigung. Sind die Spiegel einander parallel, so vervielfältigen sich die Bilder der Lichtflamme unzählige Male.

In Spiegeln, die in Winkel zusammengesetzt sind, erzeugen sich so viele Bilder, als die Zahl der Winkelgrade in 360° enthalten ist weniger Eins. Hierauf beruht die Vorrichtung der Kaleidoskope.

Von den Erscheinungen an Spiegeln mit gekrümmter Oberfläche.

§ 289. Man hat Spiegel von verschiedenartiger Krümmung, von denen wir nur diejenigen betrachten wollen, die Abschnitte einer Kugel sind. Man nennt solche Spiegel Kugel- oder sphärische Spiegel. Der Kugelmittelpunkt wird später immer der Mittelpunkt der Krümmung, dagegen

die Mitte des Spiegels, der Mittelpunkt des Spiegels, und die durch diese beiden Punkte gehende Linie die Axe des Spiegels genannt werden. Ein Lichtstrahl, der durch den Mittelpunkt der Krümmung geht, heißt Hauptstrahl. Ist die innere Fläche des Abschnitts einer hohlen Kugel polirt, so nennt man einen solchen sphärischen Spiegel einen Hohl- oder Concavspiegel; ist hingegen die äußere Seite des Abschnitts die spiegelnde Fläche, so nennt man den Spiegel einen erhabenen- oder Convexspiegel.

§ 290. Trifft ein Lichtstrahl eine krumme Oberfläche in irgend einem Punkte, so wird er so zurückgeworfen, als ob er die Berührungsebene dieses Punktes getroffen hätte (§ 285).

Bei der Kugel ist nach geometrischen Gründen der Radius nach dem Berührungspunkte die Senkrechte auf der Berührungsebene und wird mithin für jeden Punkt das Einfallsloth des die krumme Oberfläche einer Kugel oder eines Kugelsegments treffenden Lichtstrahls darstellen. Daher werden alle Strahlen, die vom Mittelpunkte einer Hohlkugel ausgehen, wieder dahin zurückgeworfen, und Strahlen, die so auf die erhabene oder hohle Fläche einer polirten Kugel fallen, daß sie die Richtung nach dem Mittelpunkte haben, in sich selbst zurückgespiegelt.

§ 291. Soll von einem Punkte eines Gegenstandes ein Bild entstehen, so müssen alle von diesem Punkte auf die spiegelnde Fläche fallenden Strahlen so von derselben zurückgeworfen werden, daß sie in Einem Punkte sich wieder vereinigen, also ein physisches Bild darstellen, oder rückwärts verlängert in Einem Punkte sich durchschneiden, mithin ein geometrisches Bild erscheinen lassen.

Betrachten wir zunächst die Strahlen, die auf einen durch den Hauptstrahl ad gelegten Schnitt MN (Fig. 68) z. B. eines sphärischen Hohlspiegels fallen, und ist in a der leuchtende Punkt, dessen Strahlen in verschiedenen Richtungen auf den Spiegel fallen; so trifft einer dieser Strahlen den Hauptstrahl des Spiegels in der Richtung der Axe cd und wird vom Spiegel in sich selbst zurückgeworfen (§ 290); ein anderer Strahl treffe den Spiegel in b. Zieht man den Radius cb als Einfallsloth für den Punkt b, und macht den Reflexionswinkel x = dem Einfallswinkel o, so wird der reflectirte Strahl in die Richtung bf fallen und den reflectirten Hauptstrahl ad in f schneiden. Es ist leicht einzusehen, daß alle von a auf den Spiegel fallenden Strahlen, die von d eben so weit entfernt sind, als b, — also in einer mit db beschriebenen Kreislinie auf der Spiegelfläche liegen — so reflectirt werden, daß sie den Hauptstrahl ad in demselben Punkte f schneiden. Alle übrigen Strahlen, die von a auf den Spiegel fallen und weiter oder näher von d entfernt sind als b, werden auf den Peripherien ähnlicher Kreise liegen, aber den Hauptstrahl in anderen Punkten schneiden und hier verschiedene Bilder vom Punkte a darstellen. Diese fallen jedoch um so näher in einem Punkte zusammen, je kleiner die Weite des Spiegels ist, und zwar darf diese einen Bogen von 8 — 10 Graden nicht überschreiten, wenn der Hohlspiegel zu optischen Zwecken noch brauchbar sein soll. Wir werden daher in der folgenden Darstellung stets nur einen Hohlspiegel von 8 — 10° meinen, und die Zeichnungen an einem durch irgend einen Hauptstrahl, z. B. durch die Axe des Spiegels gemachten Längsdurchschnitt ausführen, da die Construction zweier Strahlen eines Punktes ge-

nügt, um den Vereinigungspunkt aller von einem Punkte a auf den Spiegel fallenden Strahlen zu finden.

Von der Zurückwerfung der Lichtstrahlen auf Hohlspiegeln.

§ 292. Liegt bei einem Hohlspiegel der von ihm als unendlich weit gedachte leuchtende Punkt auf der Axe desselben, und fallen seine Strahlen parallel auf den Hohlspiegel, so sei (Fig. 69) ab einer dieser Strahlen. Man mache den Reflexionswinkel x gleich dem Einfallswinkel o, und ziehe den Hauptstrahl cd; dann ist der Punkt f auf letzterem der Vereinigungspunkt aller parallel auffallenden Strahlen, dessen Lage genau bestimmt werden kann. Da ab || cd, so ist $\angle o = \angle y$, folglich $\angle x = \angle y$, mithin bf = fc. Fällt der Strahl ab sehr nahe an dc, so werden die Winkel x und y sehr klein und daher bf sehr nahe $= \frac{1}{2}$ bc $= \frac{1}{2}$ cd, d. h. sehr nahe gleich dem halben Radius sein. Man kann daher, ohne merklichen Fehler, annehmen, daß alle parallel mit der Axe einfallenden Strahlen, welche den Spiegel von einer nicht größern Breite als $8 - 10^0$ in solchen Punkten b treffen, in Einem Punkte der Axe vereinigt werden, der vom Spiegel um $\frac{1}{2}$ Radius entfernt ist.

Der Vereinigungspunkt aller mit der Axe parallel und nahe an derselben auf den Spiegel fallenden Strahlen nennt man den Haupt-Brennpunkt oder Haupt-Fokus, weil die Sonnenstrahlen, die den Spiegel nahe an der Axe treffen, als parallel angesehen werden können und sich im Brennpunkt vereinigen, wo sie brennbare Stoffe entzünden. In dieser Beziehung kann der Hohlspiegel auch ein Brennspiegel, und die Entfernung des Brennpunkts vom Spiegel, die Brennweite genannt werden.

§ 293. Wenn der leuchtende Punkt nicht unendlich weit entfernt ist, sondern in einer endlichen Entfernung vom Spiegel absteht, so ändert auch der Haupt-Brennpunkt seine Stellung, und zwar entfernt er sich vom Spiegel immer mehr und mehr, je näher der leuchtende Punkt demselben rückt, wie es die Figur 68 zeigt, indem der $\angle o$, mithin auch $\angle x$ kleiner wird, und bf daher näher an bc rückt.

§ 294. Tritt der leuchtende Punkt a in den Mittelpunkt c, so fällt bf mit bc, also auch der Vereinigungspunkt der Strahlen des Punktes mit dem Mittelpunkt c zusammen (Fig. 68).

§ 295. Rückt der leuchtende Punkt a dem Spiegel noch näher, so fällt der Vereinigungspunkt der Strahlen weiter vom Spiegel, als der Radius der Krümmung lang ist, und tritt der leuchtende Punkt a in den Haupt-Brennpunkt f, so werden seine Strahlen vom Spiegel parallel mit der Axe reflectirt, d. h. ihr Durchschnittspunkt ist unendlich weit vom Spiegel entfernt.

§ 296. Steht der leuchtende Punkt a zwischen dem Brennpunkte f und dem Spiegel (Fig. 70), so werden seine Strahlen so zurückgeworfen, daß sie nach der Reflexion so aus einander gehen, als ob sie von einem Punkte m jenseits des Spiegels kämen. Dieser Punkt kann durch Construction leicht gefunden werden.

§ 297. Die hier gefundenen Gesetze gelten auch für jeden andern leuchtenden Punkt außerhalb der Axe dc (Fig. 71); denn es sei a ein leuchtender

Punkt außerhalb der Axe dc. Zieht man von a durch den Mittelpunkt c der Krümmung die Linie ab, so ist dieß die Axe des von a auf den Spiegel gesandten Strahlenkegels, und auf dieser Axe müssen sich alle von a ausgehenden Strahlen wieder vereinigen, indem man b als Mittelpunkt des Spiegels betrachten kann. Zieht man von a die Linie an parallel dc, so geht der Strahl an nach seiner Reflexion durch den Haupt-Brennpunkt f der Axe dc (§ 292), und wird verlängert die Axe ab in g schneiden, und der Durchschnittspunkt g ist also derjenige Punkt, in welchem alle von a ausgehenden Strahlen nach ihrer Reflexion sich wieder vereinigen. Es ist g das Bild von a, wenn a in endlicher Entfernung sich befindet.

Wird a in unendlicher Entfernung gedacht, und fallen sonach alle Strahlen des leuchtenden Punktes parallel mit der Axe ab auf den Spiegel, so würden sie sich, wie in § 292, nach ihrer Reflexion in Einem Punkte o vereinigen, der genau in die Mitte des Halbmessers cb fällt.

Von den durch Hohlspiegel erzeugten Bildern wirklicher Gegenstände.

§ 298. Ist die Sonne der sich in dem Hohlspiegel spiegelnde Gegenstand, so können deren Strahlen als parallel betrachtet werden, und dieselben werden sich auf der Axe in dem Haupt-Brennpunkte des Spiegels vereinigen und hier ein sehr kleines Sonnenbild darstellen (§ 292)

§ 299. Kommen die Lichstrahlen von einem Gegenstande in endlicher Entfernung, aber weiter als der Mittelpunkt c der Spiegelkrümmung, so schneiden sie (nach § 293) die Axe nach der Zurückwerfung zwischen dem Haupt-Brennpunkte und dem Mittelpunkte der Krümmung, und stellen hier ein verkleinertes und umgekehrtes physisches Bild diesseits des Spiegels dar; denn zieht man (Fig. 72) von den äußersten Endpunkten des Gegenstandes AB die Hauptstrahlen durch den Mittelpunkt c der Spiegelkrümmung, so treffen diese den Spiegel in den Punkten g und h, und werden in sich selbst reflectirt (§ 290). Die Strahlen, die von A und B parallel mit der Axe auf den Spiegel fallen, gehen durch den Haupt-Brennpunkt f (§ 292) und schneiden die Hauptstrahlen in den Punkten a und b. Es ist also a das Bild von A, und b das Bild von B, mithin ab das umgekehrte verkleinerte Bild von dem Gegenstande AB zwischen dem Haupt-Fokus und dem Mittelpunkt der Spiegelkrümmung.

§ 300. Rückt der Gegenstand AB dem Spiegel immer mehr und mehr näher, so wird das Bild ab desselben (nach § 293) sich auch mehr und mehr vom Spiegel entfernen und größer werden. Tritt der Gegenstand in den Mittelpunkt c, so fallen Bild und Gegenstand zusammen (§ 294).

§ 301. Versetzt man den Gegenstand zwischen Mittelpunkt der Krümmung und Fokus des Spiegels, so wird das Bild größer als der Gegenstand, bleibt stets umgekehrt, aber entfernter vom Spiegel, als der Gegenstand. Ist in Fig. 72 ab der Gegenstand, so stellt AB das umgekehrte und vergrößerte Bild desselben dar.

§ 302. Rückt der Gegenstand in den Brennpunkt des Spiegels, so werden die auffallenden Strahlen parallel mit der Axe reflectirt (§ 295)

und geben kein Bild. Daher Hohlspiegel besonders dazu dienen, entfernte Gegenstände gleichförmig zu erleuchten, wenn eine brennende Lampe in ihren Brennpunkt gesetzt wird, wie es z. B. bei den Leuchthürmen und der Straßenbeleuchtung der Fall ist.

§ 303. Steht der Gegenstand AB (Fig. 73) zwischen Haupt-Brennpunkt und Spiegel selbst, so ist das Bild geometrisch, hinter dem Spiegel, aufrecht und vergrößert. Es sei MN der Hohlspiegel, C der Mittelpunkt seiner Krümmung, f der Haupt-Brennpunkt desselben und AB der Gegenstand zwischen Fokus und Spiegel. Ein Strahl Ag, der den Spiegel so trifft, daß er von demselben reflectirt, durch den Mittelpunkt c geht, wird rückwärts verlängert, in die Richtung ga fallen; ein anderer Strahl von A, der parallel mit der Axe CK den Spiegel in h trifft, geht nach seiner Zurückwerfung vom Spiegel durch den Haupt-Brennpunkt f (§ 292) und schneidet, rückwärts verlängert, den Strahl ga im Punkte a. Es ist also a das Bild von A. Eben so ist b das Bild von B, mithin ab das vergrößerte, geometrische und aufrechte Bild hinter dem Spiegel.

Je näher der Gegenstand nach dem Haupt-Brennpunkte hingerückt wird, desto weiter hinter dem Spiegel und desto größer ist das Bild; im Spiegel fallen beide mit einander zusammen.

Da die Hohlspiegel in den meisten Fällen wirkliche in der Luft schwebende Bilder (Luftbilder) machen, so sind sie von Taschenspielern vielfältig dazu benutzt, um unter dem Namen Geistererscheinungen die verschiedenartigsten Luftbilder hervorzubringen.

Von der Zurückwerfung der Lichtstrahlen auf erhabenen (convexen) Spiegeln.

§ 304. Bei den erhabenen Spiegeln wird die Richtung des zurückgeworfenen Strahles auf gleiche Weise gefunden, wie bei den Hohlspiegeln, indem man den Reflexionswinkel dem Einfallswinkel gleich macht. Es sei (Fig. 74) MN der erhabene Spiegel, C der Mittelpunkt seiner Krümmung, AE seine Axe, A ein leuchtender Punkt auf derselben und Ag ein einfallender Strahl. Zieht man für den Punkt g das Einfallsloth Ch, so ist (wenn man $\angle o = \angle x$ macht) $\angle o$ der Einfallswinkel und $\angle x$ der Reflexionswinkel des einfallenden Strahls Ag. Es wird also der Strahl Ag in der Richtung gd vom Spiegel so zurückgeworfen, als käme er aus dem Punkte F hinter dem Spiegel. Der Punkt F liegt näher nach O hin, als nach C. Wäre der Strahl Ag parallel mit der Axe, und fiele er nahe an derselben auf den Spiegel, so würde er so zurückgeworfen, daß er, rückwärts verlängert, die Axe im Punkte f schneide, welcher vom Spiegel um den halben Halbmesser entfernt ist. Dieser Punkt f wird der eingebildete Haupt-Brennpunkt des Spiegels, und der Abstand desselben vom Spiegel, seine Brennweite genannt.

§ 305. Nimmt man, statt des leuchtenden Punktes A, einen Gegenstand, so werden alle Punkte desselben auf den Spiegel Strahlen werfen, und geometrische Bilder hinter demselben darstellen. Es sei (Fig. 75) MN ein Convexspiegel, C der Mittelpunkt seiner Krümmung, f sein Haupt-Brennpunkt

und AB ein Gegenstand vor demselben. Ein Strahl AD, der von dem obern Endpunkte A des Gegenstandes parallel mit der Axe OC auf den Spiegel fällt, wird von demselben nach der Richtung DI so reflectirt, als käme er von dem Haupt-Brennpunkte f (§ 304).

Es falle ferner von A ein zweiter Strahl AG dergestalt auf den Spiegel, daß er, gehörig verlängert, durch den Mittelpunkt C der Spiegelkrümmung gehe; so schneiden sich beide Strahlen hinter dem Spiegel im Punkte a, und stellen hier ein Bild vom Punkte A dar. Derselbe Fall findet auch bei den Strahlen statt, die von dem untern Punkte B des Gegenstandes auf ähnliche Weise, wie von A, auf den Spiegel fallen. Diese Strahlen schneiden sich, rückwärts verlängert, in b, und bilden hier ein Bild des Punktes B, mithin ist ab das Bild des Gegenstandes AB. Daher werden bei erhabenen Spiegeln stets aufrechte, verkleinerte, geometrische Bilder hinter dem Spiegel wahrgenommen, welche desto kleiner sind, je kleiner der Halbmesser der Krümmung des Spiegels ist, und höchstens um den halben Halbmesser hinter dem Spiegel entfernt zu sein scheinen können. Je näher der Gegenstand dem Converspiegel tritt, desto größer wird das Bild desselben, doch kann dieses nie die Größe des Gegenstandes selbst erreichen, wie es auch die Figur zeigt.

§ 306. Bei allen Spiegeln mit gekrümmter Oberfläche kam es also besonders auf 3 Stücke an:

1) auf den Ort, 2) auf die Lage und 3) auf die Größe des Bildes von einem Gegenstande.

In Beziehung auf den Ort wird das Bild eines Gegenstandes immer da erscheinen, wo die aus einem Punkte des Gegenstandes auf den Spiegel fallenden Strahlen sich vereinigen, oder rückwärts verlängert, sich durchschneiden. Die Lage des Bildes ist bei den physischen Bildern stets der Lage des Gegenstandes entgegengesetzt, weil die Hauptstrahlen, in welchen die Vereinigungspunkte liegen, sich in der Axe durchkreuzen. Dagegen erscheinen die geometrischen Bilder stets in derselben Lage, in welcher sich die Gegenstände befinden, weil die scheinbaren Vereinigungspunkte bei ihnen vor dem Durchkreuzungspunkte der Hauptstrahlen liegen. Die Größe des Bildes hängt von seinem Orte ab, und es verhält sich überhaupt die Größe des physischen Bildes zur Größe des Gegenstandes, wie die Entfernungen beider vom Spiegel.

Dritter Abschnitt.

Von den durch Brechung der Lichtstrahlen hervorgebrachten Erscheinungen (Dioptrik).

§ 307. Wenn ein Lichtstrahl aus einem durchsichtigen Mittel in ein anderes übergeht, welches dichter oder dünner, als das vorige ist, z. B. aus Luft in Glas oder in Wasser, oder umgekehrt, aus Glas oder Wasser in Luft, so tritt nur ein Theil des auffallenden Lichts in das neue Mittel ein; ein anderer Theil wird zurückgeworfen (reflectirt) und ein dritter Theil verschluckt (absorbirt). Der in das zweite durchsichtige Mittel eintretende Strahl wird im Allgemeinen von seinem vori-

gen geraden Wege abgelenkt oder gebrochen. Diese Aenderung in der Richtung des Lichtstrahls nennt man Brechung oder Refraction desselben.

§ 308. Um das Brechungsgesetz in bestimmteren Ausdrücken anzugeben, denke man sich (Fig. 76) in dem Punkte a, wo die Trennungsfläche de von dem einfallenden Strahle ba unter einem schiefen Winkel getroffen wird, das Einfallsloth cg errichtet. Befindet sich nun über de Luft, und darunter Wasser, so ist der Winkel gaf, welchen der gebrochene Strahl af mit dem Einfallslothe cg bildet, kleiner als der Winkel bac, den der einfallende Strahl ba mit der Senkrechten cg bildet. Man nennt den Winkel bac den Einfallswinkel, und den Winkel gaf den Brechungs- oder gebrochenen Winkel des einfallenden Strahls ba. Das Verhältniß dieser beiden Winkel ist für Luft und Wasser = 4 : 3; für Luft und Glas = 3 : 2; daher für Wasser und Glas = 9 : 8.*) Hierbei befinden sich der Einfalls- und der gebrochene Winkel immer in derselben Brechungsebene.

Fällt der Lichtstrahl senkrecht auf die brechende Fläche, so geht er ungebrochen durch. Fällt der Strahl aber schief auf dieselbe, so wird er, wenn er aus einem dünnern Mittel in ein dichteres übergeht, dem Einfallslothe zugebrochen; geht er aber umgekehrt aus einem dichtern Mittel in ein dünneres über, so wird er von dem Einfallslothe abgelenkt.

Dieses Gesetz ist nur im Allgemeinen richtig, weil es auch Körper gibt, wie z. B. Phosphor, Weingeist und die brennbaren Gase, die das Licht stärker brechen, als viele dichtere Mittel.

Wenn ein Lichtstrahl aus Luft in Glas unter einem größern Einfallswinkel als 41°, und aus Luft in Wasser unter einem Winkel von mehr als 48½° fällt, so wird er nicht mehr in das Glas oder Wasser gebrochen, sondern von deren Oberfläche zurückgeworfen; daher entsteht die starke Blendung, wenn Sonnenstrahlen auf eine Fensterscheibe oder auf die Oberfläche eines Wasserspiegels unter einem größern Winkel, als oben angegeben, fallen.

Eine besondere Brechung zeigt der Doppelspath (isländischer Krystall), da ein Gegenstand durch denselben gesehen, doppelt erscheint.

§ 309. Eine unmittelbare Folge des angegebenen Brechungsverhältnisses ist, daß der Boden eines Gefässes, wenn es mit Wasser gefüllt ist, dem Auge um den vierten Theil seiner wahren Entfernung näher gerückt erscheint. Es sei (Fig. 77) abcd ein mit Wasser bis dc gefülltes Gefäß, und in f stehe das Auge. Von dem Boden ab des Gefäßes werfe der Punkt e einen senkrechten, und der Punkt h einen schrägen Strahl auf dem gebrochenen Wege hgf ins Auge bei f, mithin erscheint dem Auge die Entfernung der beiden Punkte e und h bei leerem Gefäße unter dem Sehwinkel efh, nach Füllung desselben mit Wasser aber unter dem Sehwinkel lfk, und das Auge schließt demnach aus der Zunahme des Sehwinkels auf eine Annäherung jener beiden Punkte, d. i. auf eine Erhebung des Bodens ab, nach dem Brechungs-Verhältnisse von 3 : 4, oder ¾ : 1, also um ¼ höher, als der Boden ab (§ 308).

*) Eigentlich wie die Perpendikel von den Endpunkten gleicher Stücke des einfallenden und des zurückgeworfenen Strahles auf die zugehörigen Einfallslothe.

Daher erscheinen die Gegenstände im Wasser unserm Auge näher und an einem andern Orte zu liegen, als sie in der That sind.

Hieraus erklärt sich auch 1) die scheinbare Erhebung eines Stückes Geldes in einem mit Wasser gefüllten Glase; 2) die Erscheinung, warum ein gerader Stab zum Theil ins Wasser schief gesteckt, als gebrochen erscheint, und 3) warum ein Fisch im Wasser an einer höhern Stelle zu stehen scheint, als wo er wirklich ist.

§ 310. Sind die beiden Flächen eines Glases eben und parallel, so wird auch der einfallende Strahl mit dem ausfahrenden Strahl parallel sein.

Es sei (Fig. 78) ab der aus Luft ins Glas PQ einfallende schräge Lichtstrahl, so wird sich sein Einfallswinkel hba zu seinem gebrochenen Winkel cbg verhalten, wie 3 : 2. Der im Glase ungehindert fortgehende gerade Strahl be geht bei c in Luft über, und es wird sich dann sein Einfallswinkel ncb (= ∠ cbg) zu seinem gebrochenen Winkel dck verhalten, wie 2 : 3, folglich ist ∠ hba = ∠ dck = ∠ dom; mithin ist ba || dc.

§ 311. Geht der Lichtstrahl durch ein Mittel, welches man sich in unendlich dünne Schichten getheilt vorstellen kann, unter denen jede folgende dichter ist, als die vorhergehende; so ist sein Weg eine krumme Linie, und man versetzt den Gegenstand, von welchem jener Strahl kommt, in die Richtung derjenigen geraden Linie, die zuletzt das Auge trifft. Ein solches Mittel ist die atmosphärische Luft, in welcher (Fig. 79) ein Strahl cb der in c befindlichen Sonne ungefähr die gekrümmte Linie cba beschreibt, und da wir einen leuchtenden Punkt immer in die Richtung des Lichteindrucks versetzen, so sehen wir die Sonne in der Richtung des zuletzt das Auge treffenden gebrochenen Lichtstrahles, also in d. Den Winkel cad nennt man die astronomische Strahlenbrechung.

Eine Folge dieser Strahlenbrechung ist, daß uns die Sonne schon aufzugehen scheint, während sie sich noch unter dem Horizonte befindet, und daß sie nach ihrem Untergange noch eine Weile sichtbar bleibt. Hierauf beruht auch die Morgen- und Abenddämmerung, so wie die irdische und astronomische Strahlenbrechung.

§ 312. Bei irdischen Gegenständen kann zuweilen die Brechung der Lichtstrahlen in der Luft sich in eine Zurückwerfung derselben verwandeln, wenn nämlich die Strahlen aus einem dichtern in einen dünnern Theil der Luft unter einem sehr großen Einfallswinkel übergehen (§ 308). In diesem Falle werden die von fernen Gegenständen abwärts gehenden Strahlen so gebrochen, daß sie schräger und schräger auffallen und von der untersten Luftschicht zurückgespiegelt werden, gleich wie eine Glasscheibe sehr schräg auffallende Strahlen zum größten Theil zurückwirft. Daher erblickt man in der Ferne die Gegenstände selbst vermöge der auf gewöhnlichem Wege unmittelbar ins Auge gelangenden Strahlen, und darunter ihr Spiegelbild verkehrt, wie in einem großen Meere. Diese Erscheinung nennt man Luftspiegelung oder Kimmung (fata morgana).

Diese Erscheinungen zeigen sich in bald aufrecht, bald verkehrt in der Luft schwebenden Bildern entfernter Gegenstände, und entstehen dann, wenn die Luft zunächst an der Erdoberfläche durch irgend eine Ursache entweder dünner oder dichter ist, als in einiger Entfernung von derselben, und der Gegenstand sowohl, als der Beobachter sich im erstern Falle außerhalb, im zweiten Falle innerhalb dieser Luftschicht befinden.

Diese Luftbilder haben die besondere Eigenthümlichkeit, daß sie, wenn man sich ihnen nähert, immer weiter zurückweichen und endlich verschwinden, und andere in deren Stelle treten.

§ 313. Wenn Lichtstrahlen von einem Gegenstande auf ein Glasprisma unter nicht sehr kleinem Winkel fallen, so werden sie doppelt gebrochen, und der Gegenstand erscheint von seiner Stelle sehr merklich weggerückt. Stellt z. B. (Fig. 80) abc den Durchschnitt eines mit seinem brechenden Winkel b nach oben gerichteten Prisma's vor, welches von dem Lichtstrahle hg getroffen wird, so ergibt sich aus dem Brechungsverhältnisse 3 : 2 die Richtung des gebrochenen Strahls gf, und hieraus auf gleiche Weise die Richtung des auf der andern Seite des Prisma's in Luft übergehenden Strahls fd. Diese beiden Ablenkungen des Strahls hg machen, daß der Gegenstand in h dem Auge in d in der Richtung des Lichteindruckes do, also höher gerückt erscheint. Wäre der brechende Winkel b nach unten gerichtet gewesen, so würden alle Gegenstände durch das Prisma gesehen nach unten verrückt erscheinen. Je größer der brechende Winkel b ist, desto stärker ist die Ablenkung der Lichtstrahlen. In einem und demselben Prisma hängt die Größe der Ablenkung noch von der Richtung ab, in welcher die Lichtstrahlen auf die erste Fläche fallen.

Von der Brechung des Lichts in Gläsern mit gekrümmten Flächen.

§ 314. Linsengläser sind Glaskörper, die aus zwei Kugelsegmenten zusammengesetzt sind, und zwar werden wir hier nur solche Gläser näher betrachten, deren zwei Segmente gleich großen Kugeln angehören, wie abcd in Figur 81. Bei diesen Linsengläsern ist der Durchmesser oder Halbmesser ihrer Krümmungen zugleich der Durchmesser oder Halbmesser der Kugel, von denen sie Segmente sind. Eine gerade Linie ef (Fig. 81), die durch die Mittelpunkte g und g' der beiden Krümmungen abc und adc der Linse und durch ihren Mittelpunkt o geht, heißt die Axe derselben.

Jede gerade Linie, die man aus dem Krümmungs-Mittelpunkte eines Linsenglases nach einem Punkte einer Oberfläche zieht, steht an diesem Punkte senkrecht auf derselben, und ist für den Lichtstrahl, der diesen Punkt trifft, das Einfallsloth. Die Richtung des gebrochenen Strahles ergibt sich, wie beim Prisma, aus der Größe des Einfallswinkels und dem Brechungsverhältnisse. Jeder Strahl, der durch den Mittelpunkt einer Linse von gleicher Krümmung geht, trifft beim Ein- und Austritt die Linse in parallelen Flächen, und geht daher in nahezu derselben Richtung fort (§ 310). Er heißt der Hauptstrahl des Punktes und bildet die Axe des von jenem Punkte ausgehenden Strahlenkegels.

§ 315. Die Linsengläser sind ihrer Wirkung nach, entweder Sammelgläser (Vergrößerungsgläser), oder Zerstreuungsgläser (Verkleinerungsgläser), je nachdem die in denselben gebrochenen Strahlen bei ihrem Austritte in Luft hinter dem Glase ziemlich genau nach einem Punkte hin gebrochen, oder von der Axe abgelenkt werden. Gläser mit gekrümmten Flächen verhalten sich ähnlich wie krummflächige Spiegel, jedoch mit dem Unterschiede, daß convexe Gläser wie concave Spiegel, und die concaven Gläser wie convexe Spiegel wirken.

§ 316. Die Sammelgläser sind entweder biconvex (doppelt-erhabene), wenn beide Grenzflächen nach außen erhaben sind, gleichviel, ob nach gleichen

oder ungleichen Halbmessern (Fig. 82 a); oder planconvex (Fig. 82 b), wenn die eine Fläche eben, die andere erhaben ist; oder concavconvex (Fig. 82 c), wenn die hohle Fläche schwächer gekrümmt ist, als die erhabene. Die Zerstreuungsgläser sind auch von dreifacher Art: entweder biconcav (doppelt-hohle) (Fig. 82 d), wenn beide Grenzflächen, (deren Halbmesser gleich oder verschieden sein können) sich nach innen vertiefen; oder planconcav, (Fig. 82 e), wenn sie auf der einen Seite eben und auf der andern hohl sind; oder convexconcav (Fig. 82 f), wenn die hohle Fläche mehr gekrümmt ist, als die erhabene. Die Sammelgläser sind also in der Mitte stärker, als am Umfange; bei den Zerstreuungsgläsern findet das Entgegengesetzte statt. Hier darf nicht unbemerkt gelassen werden, daß bei den Linsengläsern, wie früher bei den sphärischen Spiegeln, nur diejenigen Strahlen brauchbar sind, welche ganz nahe an der Axe gehen, indem die entfernteren Strahlen nur das Bild des Gegenstandes verundeutlichen. Ein Lichtstrahl, der längs der Axe einer Linse auf dieselbe fällt, geht ungebrochen durch, weil er senkrecht auffällt (§ 308); ein Strahl aber, der von einem außerhalb der Axe liegenden leuchtenden Punkte ausgehend, durch den Mittelpunkt der Linse geht, wird — da die Stellen um denselben auf den beiden Glasflächen als parallel betrachtet werden können, und die Dicke des Glases unbedeutend ist — so äußerst wenig durch die Brechung von seinem Wege abgelenkt, daß man ohne bedeutenden Fehler annehmen kann, jeder den Mittelpunkt der Linse treffende Strahl gehe ungebrochen durch die Linse.

Gläser, welche mehr, als zwei Grenzflächen haben, heißen polyedrische Gläser. Diese zeigen daher auch vervielfältigte Bilder eines Gegenstandes.

Von den biconvexen Linsengläsern.

§ 317. Um zu untersuchen, wie Lichtstrahlen bei Linsengläsern gebrochen und dadurch Bilder von Gegenständen dargestellt werden, sei MN (Fig. 83) eine biconvexe Linse von gleichen Halbmessern DC und EB. Von dem in der Axe AK liegenden leuchtenden Punkte A falle ein der Axe sehr naher Strahl AG auf die Linse. Das Einfallsloth für diesen Strahl ist der Halbmesser EG der vordern Krümmung; hieraus ergibt sich nach dem bekannten Brechungsverhältnisse 3 : 2 die Richtung des gebrochenen Strahles GH. Eben so ist der Halbmesser DH der hintern Krümmung das Einfallsloth für den Punkt H des ausfahrenden Strahles GH, und dieser wird nach dem Brechungsverhältnisse 2 : 3 in der Richtung HF gebrochen und die Axe im Punkte F schneiden, in welchem alle Strahlen, welche von dem leuchtenden Punkte A auf die Linse fallen, sich vereinigen. Dieser Punkt heißt daher der Vereinigungspunkt der gebrochenen Strahlen, auch der Ort des Bildes, weil sich in ihm der leuchtende Punkt abbildet. Die Linie CF wird die Vereinigungsweite oder auch der Abstand des Bildes von der Linse genannt.

§ 318. Je weiter der leuchtende Punkt A von der Linse entfernt wird, desto näher rückt der Vereinigungspunkt F dem Punkte E, als dem Mittelpunkte der vordern Krümmung der Linse, und nimmt man an, daß der leuchtende Punkt A unendlich weit von der Linse entfernt sei, oder stellt man sich die auf die Linse fallenden Strahlen mit der Axe parallel vor; so werden alle

Strahlen, die nahe an der Axe gehen, sich im Mittelpunkte E der vordern Krümmung der Linse vereinigen und hier ein kleines Bild des leuchtenden Punktes darstellen. Es wird alsdann der Punkt E der **Haupt-Brennpunkt**, die Linie CE die **Brennweite** (Fokalweite), und die Linse selbst ein **Brennglas** genannt.

Es fällt also bei einer auf beiden Seiten gleichmäßig gekrümmten Convexlinse der Haupt-Brennpunkt mit dem Mittelpunkte der vordern Krümmung zusammen, sobald die Lichtstrahlen parallel auf die Linse fallen.

Es kommt bei den Linsengläsern, eben so wie bei den Spiegeln (§ 306), vorzugsweise auf den Ort, die Lage und die Größe der durch dieselben erzeugten Bilder der Gegenstände an; worüber in den nachstehenden §§ das Erforderliche durch geometrische Construction gelehrt werden soll.

§ 319. Rückt ein Gegenstand aus der unendlichen Ferne immer mehr der Convexlinse näher, so wird das Bild desselben sich hinter der Linse auch mehr von derselben entfernen; ihre Hauptstrahlen werden sich durchkreuzen und dadurch ein **umgekehrtes physisches Bild** des Gegenstandes darstellen. Um dieß anschaulich zu machen, seien (Fig. 84) AB der Gegenstand C und C' die Mittelpunkte der Linsenkrümmungen und CC' die Axe der Linse.

Die von den Endpunkten A und B des Gegenstandes parallel mit der Axe auf die Linse fallenden Strahlen werden nach § 318 hinter dem Glase durch den Brennpunkt C der vordern Krümmung gehen. Auf diesen Strahlen stellt sich das Bild von den Punkten A und B dar. Es fallen aber auch von A und B unendlich viele andere Strahlen auf die Linse, von denen diejenigen, welche durch die Mitte E der Linse gehen, wegen der sehr nahen parallelen Stellen, wo sie in die Linse hinein- und aus ihr wieder heraustreten, ihre Richtungen fast gar nicht verändern. Auf diesen Hauptstrahlen stellen sich die Bilder von den Punkten A und B ebenfalls dar. Demnach werden von A und B, (mithin von dem ganzen Gegenstande AB) sich dort die Bilder zeigen, wo je zwei jener Strahlen sich schneiden, also in a und b. Da a seine Stelle unterhalb der Axe CC' hat und b oberhalb derselben, so bringen biconvexe Linsen, sobald die Entfernung des Gegenstandes von der Linse größer als deren Fokalweite ist, der Lage und dem Orte nach, **umgekehrte, physische Bilder** von Gegenständen hinter der Linse hervor. Die Größe des Bildes hängt von der Entfernung Eb und EB ab. Aus der Figur geht hervor, daß, wenn der Gegenstand AB von dem Glase immer mehr entfernt wird, die Hauptstrahlen Aa und Bb sich der Axe CC' nähern, mithin die Bilder desselben kleiner werden, und daß endlich a und b im Mittelpunkte C zusammenfallen, sobald der Gegenstand als unendlich weit vom Glase gedacht wird. Rückt dagegen der Gegenstand dem Glase näher, so rückt auch sein verkehrtes Bild hinter dem Glase weiter hinaus und wird größer. Wenn der Gegenstand um die doppelte Brennweite vor dem Linsen-Glase steht, so steht sein verkehrtes Bild eben so weit hinter dem Linsen-Glase und ist ihm an Größe gleich. Rückt der Gegenstand noch näher an die Linse, so fällt sein verkehrtes Bild weit hinter das Glas und wird größer, als der Gegenstand. Tritt der Gegenstand in den Brennpunkt, so fällt sein Bild ins Unendliche hinaus, d. h. man sieht gar kein Bild.

§ 320. Rückt der Gegenstand zwischen den Brennpunkt und das Glas, so ist sein Bild vor dem Glase ein aufrechtes, geometrisches und vergrößertes. Um diesen Fall zu erläutern, sei (Fig. 85) AB der Gegenstand vor der Linse, f und f' die Brennpunkte derselben. Um die Stelle und Größe des Bildes ab zu finden, ziehe man die Hauptstrahlen oAa und oBb; ferner von A und B aus die beiden Strahlen AD und BE parallel der Axe ff', welche nach zweimaliger Brechung durch den Brennpunkt f gehen. Verlängert man diese gebrochenen Strahlen fD und fE rückwärts, so werden sie die Hauptstrahlen Oa und Ob in den Punkten a und b schneiden, und hier ein aufrechtes, vergrößertes, geometrisches Bild ab auf derselben Seite darstellen, auf welcher der Gegenstand AB liegt.

Um die Brennweite eines erhabenen Glases mechanisch zu finden, fange man das Bild der Sonne mit einem Papier auf, und messe dessen Entfernung vom Glase, in der es am kleinsten und deutlichsten erscheint.

Bei den planconvexen und concavconvexen Gläsern müssen dieselben Gesetze stattfinden, wie bei den biconvexen Linsen, da sie zu den Sammelgläsern gehören.

Von den Hohl- oder biconcaven Gläsern.

§ 321. Die Hohlgläser erzeugen, wie die erhabenen Spiegel, nur geometrische, aufrechte und verkleinerte Bilder von Gegenständen, weil, wie wir gleich sehen werden, ihre aus der Linse heraustretenden Strahlen nach ihrer Brechung eine solche auseinandergehende Richtung nehmen, als kämen sie aus einem Punkte vor der Linse. Dieser Punkt heißt der eingebildete Zerstreuungspunkt und seine Weite vom Glase, die Zerstreuungsweite desselben.

§ 322. Um die Entstehungsart der Bilder bei Hohlgläsern durch geometrische Construction darzustellen, sei (Fig. 86) AB ein Gegenstand so weit von der Linse MN entfernt, daß die von jedem Punkte seiner Oberfläche auf die Linse fallenden Strahlen als parallel angesehen werden dürfen. Es sei ferner DE' ein Strahl, der ungebrochen durch die Mitte o der Linse geht, und AP ein Strahl, der parallel der Axe DE' ist. Zieht man aus dem Mittelpunkt C der vordern Krümmung den Halbmesser CP, so ist dieser das Einfallsloth für den Strahl AP; dieser Strahl wird bei P nach dem bekannten Brechungsverhältnisse 3 : 2 dem Einfallslothe Cn zugelenkt in der Richtung PE. Bei E geht der Strahl PE in Luft über; zieht man aus dem Mittelpunkte C', der hintern Krümmung den Halbmesser C'E, so ist dieser das Einfallsloth für den Strahl PE, der in P nach dem Brechungsverhältnisse 2 : 3 von dem Einfallslothe ablenkt und in die Richtung EF auseinandergehend fortläuft. Verlängert man rückwärts den Strahl EF, so wird er die Axe DE' in F' schneiden, und es wird scheinen, als ob der Strahl EF aus dem Punkte F' vor der Linse käme. Derselbe Fall tritt auch ein bei dem von dem Endpunkte B des Gegenstandes auf die Linse fallenden Strahl BQ. Betrachtet man noch die beiden Hauptstrahlen, die von dem obern und untern Punkte des Gegenstandes AB durch den Mittelpunkt o der Linse ungebrochen gehen; so schneiden diese die rückwärts verlängerten Strahlen F'F und F'I in den Punkten a und b. Daher wird das Auge, das dicht vor dem Glase in x steht, alle von A ausgehenden Lichtstrahlen durch die Brechung im Hohlglase so empfangen, als ob

sie von a kämen; a ist demnach das Bild von A; eben so ist b das Bild von B, und der Gegenstand AB erscheint dem Auge unter dem Bilde ab. Da das Bild stets dem Glase näher liegt, als der Gegenstand, so geben Zerstreuungsgläser nur aufrechte, verkleinerte, geometrische Bilder, die stark erleuchtet und scharf begrenzt sind.

Anmerk. 1. Aus allen Erscheinungen bei den Linsengläsern, wie bei den krummflächigen Spiegeln geht hervor, daß physische Bilder von leuchtenden Gegenständen auf der Rückseite des Glases entstehen, wenn die Strahlen durch die Brechung konvergent; dagegen geometrische Bilder auf der Vorderseite des Glases, wenn die gebrochenen Strahlen nur weniger divergent und endlich gar keine Bilder, wenn sie parallel geworden sind.

2. Die bis jetzt vorgetragenen Sätze von den Linsengläsern überhaupt gelten nur für Glaslinsen, deren Dicke unbedeutend ist, und für Strahlen, welche der Axe sehr nahe liegen, weil die entferntern Strahlen, die von einem Punkte ausgehen, sich nicht in Einem Punkte vereinigen und daher die Undeutlichkeit des Bildes erhöhen.

3. Es ist nur eine optische Täuschung, als ob die Hohlgläser die Gegenstände weiter, und die erhabenen Gläser sie näher zeigen.

4. Concavgläser begünstigen die Divergenz, die Convexgläser die Convergenz der auf sie fallenden Strahlen.

Von der Farbenzerstreuung.

§ 323. (Fig. 87 a) Läßt man durch eine kleine runde Oeffnung pp des Fensterladens PQ möglichst wenige Sonnenstrahlen in ein völlig verfinstertes Zimmer mittelst der Reflexion von einem ebenen Spiegel mn hineinfallen; so wird sich das Bild S der Sonne auf einer der Oeffnung gegenüber gestellten weißen Tafel ABCD vollständig abbilden und zwar fast von gleichem Durchmesser mit der Oeffnung pp im Laden. Gehen die Sonnenstrahlen aber durch ein der Oeffnung des Ladens nahe gehaltenes Glasprisma abc, so wird obiges weiße Sonnenbild S auf der Tafel nicht bloß von seiner frühern Stelle merklich weggerückt, sondern auch in Form und Farbe bedeutend verändert. Hält man das Prisma mit seinem brechenden Winkel c nach unten, so stellt sich — wie die Figur zeigt — das Sonnenbild df höher nach oben, länglich und mit folgenden Farben dar: unten Roth, dann Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und oben Violett. Dieses farbige Sonnenbild heißt Spectrum, dessen Länge unter sonst gleichen Umständen um so größer ist, je größer der brechende Winkel c des Prisma's ist. Auch von der Substanz, aus welcher das Prisma besteht, hängt die Länge des Spectrums ab.

§ 324. Die Farben des Spectrums, welche Regenbogenfarben, prismatische oder einfache Farben genannt werden, erscheinen nicht scharf begrenzt, weil die benachbarten Farben in einander greifen und dadurch eine Mischung erzeugen und ihre Abgrenzungen schwächen. Das ganze Spectrum besteht nämlich aus einer Reihe auf einander folgender kreisförmiger Bilder, welche theilweise über einander fallen. Je kleiner die Oeffnung im Laden ist, desto kleiner werden die einzelnen runden Bilder, während die Mittelpunkte der einzelnen Farbenbilder nicht näher an einander rücken; folglich fallen auch die verschiedenen Farben weniger über einander und erscheinen demnach um so reiner, je kleiner die Oeffnung ist.

§ 325. Diese Zersetzung des weißen Sonnenlichts, welche man Lichtzerstreuung oder Farbenzerstreuung nennt, beweiset, daß das weiße Licht kein einfaches, sondern ein aus mehrern, in Farbe und Brechungsvermögen verschiedenen Lichtstoffen zusammengesetztes ist, von welchen das rothe Licht das schwächste, und das violette das stärkste Brechungsvermögen besitzt. Eine Folge der verschiedenen Brechbarkeit des farbigen Lichts ist die längliche Gestalt des Spectrums.

Um sich die verschiedene Brechbarkeit der 7 Farben im Spectrum zu erklären, gehe man von der Ansicht aus, daß die Farben aller Wahrscheinlichkeit nach von der verschiedenen Schwingungsdauer der Lichtwellen herrühren und zwar haben die violetten Strahlen die größte, und die rothen die kleinste Vibrationsgeschwindigkeit.

§ 326. Es haben Versuche gezeigt, daß die aus dem weißen Sonnenlichte durch Brechung erhaltenen farbigen Strahlen sich nicht mehr zerstreuen lassen, wenn man sie auch einer zweiten Brechung unterwirft. Dagegen können die durch Brechung aus dem weißen Lichte hervorgegangenen farbigen Strahlen wieder in weißes Licht vereinigt werden, wenn man dieselben durch ein zweites Prisma, dessen Brechungswinkel die entgegengesetzte Lage vom erstern hat, oder durch eine erhabene Linse gehen läßt, oder auch mit einem Hohlspiegel auffängt.

§ 327. Diejenigen Körper, welche das Licht in der Mischung zurückwerfen, die dem Sonnenlichte eigen ist, nennen wir weiß, solche aber, die entweder gar keins, oder doch nur so äußerst wenig reflectiren, daß es auf unser Auge keinen merklichen Eindruck macht, schwarz; alle übrigen Körper endlich haben die Eigenschaft, von dem weißen Lichte, welches auf sie fällt, alle Farben zu verschlucken oder in sich aufzunehmen (zu absorbiren) bis auf eine einzige Farbe oder auch auf mehrere Farben von verschiedener Mischung, welche sie an ihrer Oberfläche zurückwerfen. Diese zurückgeworfenen Farben sind diejenigen, in welchen die Oberfläche der Körper dem Auge erscheint.

Gehen Lichtstrahlen durch farbige Gläser, so gehen wegen Verschluckung und Zurückwerfung der übrigen Lichtstrahlen nur die gleichgefärbten hindurch.

Stoffe, welche andern Körpern eine Farbe ertheilen, heißen Farbestoffe oder Pigmente, zum Unterschiede von Farbe, welche eine bloße Eigenschaft ist, die den Stoffen zukommt.

§ 328. Man bemerkte bald, daß nicht jede der 7 Farben des Spectrums an der weißen Tafel einen gleich großen Raum einnimmt. Werden nun dieselben auf eine runde Scheibe so aufgetragen, daß das Rothe einen Ausschnitt von 45°, das Orange einen Ausschnitt von 27°, und so die übrigen der Reihe nach Ausschnitte von 48°, 60°, 60°, 40° und 80° füllen; so fließen diese Farben, wenn ihre Scheibe recht schnell um ihren Mittelpunkt bewegt wird, in eine einzige, nämlich die weiße Farbe zusammen.

§ 329. Werden nicht alle farbigen Strahlen des Farbenbildes (Spectrums) durch eine Convexlinse vereinigt, so erscheint kein weißes, sondern ein gefärbtes Sonnenbild. Ohne den violetten Strahl geben die übrigen ein gelbes, ohne den blauen ein oranges, ohne den grünen ein rothes Bild; daher pflegt man roth und grün, orange und blau, gelb und violett Ergänzungs- oder complementäre Farben zu nennen. Vereinigt man zwei complementäre Farben mit einander, so erhält man ein ziemlich reines Weiß.

Sieht man einen gelben Gegenstand einige Zeit unverwandt an, und lenkt darauf den Blick auf eine weiße Wand, so erscheint diese violett gefleckt; die weiße Wand erscheint orange gefleckt, wenn wir einen blauen, und grün gefleckt, wenn wir einen rothen Körper vorher anhaltend betrachtet haben.

Diese Erscheinungen erklären sich einfach auf folgende Weise. Ist das Auge durch eine bestimmte Strahlengattung, z. B. durch rothes Licht, gereizt worden, so wird hiedurch seine Empfindlichkeit vorzugsweise für diese Strahlengattung geschwächt. Legt man nun einen rothen Streifen Papier oder Seide auf ein weißes Blatt Papier, betrachtet denselben einige Zeit lang und nimmt ihn dann weg, ohne die Richtung des Auges zu ändern; so erscheint die vorher von dem rothen Streifen bedeckte Stelle des weißen Papiers mit der complementären Farbe, also grün. Indem nämlich die Netzhaut durch den, längere Zeit anhaltenden Reiz des rothen Lichts an Empfindlichkeit für dasselbe verloren hat, muß der Eindruck der übrigen farbigen, von der weißen Fläche ausgehenden Strahlen um so lebhafter hervortreten, und also die complementäre Farbe (grün) erscheinen. Wendet man statt eines rothen einen grünen Streifen Seide oder Papier an, so entsteht ein rothes Nachbild. Eben so rufen die anderen complementären Farben: Orange und Blau, Gelb und Violett sich gegenwärtig hervor. Man nennt diese Farbenerscheinungen subjective oder physiologische. Zwei Farben, die sich zu Weiß ergänzen, machen auf das Auge einen befriedigenderen Eindruck, als solche, die nicht complementär sind.

§ 330. Gegenstände durch ein Prisma gesehen, erscheinen mit farbigen Rändern, indem bloß die Grenzpunkte Farben geben, welche im Auge nicht durch die übrigen Farben von andern Punkten gedeckt werden, und zwar scheinen die rothen und orangen Strahlen bei abwärts gewandten Brechungswinkeln dem Auge von den höchsten Punkten, die violetten und blauen von den tiefsten Punkten des Gegenstandes herzukommen. Hält man daher das Prisma mit seinem Brechungswinkel nach unten vor dem Auge, so hat ein heller Gegenstand an seiner obern Grenze einen rothen, orangefarbenen und gelben Rand, an seiner untern Grenze aber einen violetten, indigofarbenen und blauen. Hält man das Prima umgekehrt, so erscheinen auch die Farben umgekehrt.

§ 331. In § 323 haben wir gesehen, daß mit jeder Brechung auch zugleich eine Farbenzerstreuung verbunden ist. Wir unterscheiden daher bei einer durchsichtigen Substanz das Brechungs- und das Zerstreuungsvermögen. Wenn wir in einem verfinsterten Zimmer die durch eine kleine Oeffnung eines Fensterladens einfallenden Sonnenstrahlen durch ein Prisma hindurch gehen lassen, so hängt der Winkel, um welchen das Sonnenbild von seiner frühern Stelle fortgerückt wird, von dem Brechungsvermögen, die Ausdehnung aber, welche dasselbe hierbei in die Länge erhält, von dem Zerstreuungsvermögen des Prismas ab. Das Brechungsvermögen wird durch das Brechungsverhältniß der Strahlen mittler Brechbarkeit, (der gelben Strahlen), das Zerstreuungsvermögen durch den Unterschied zwischen dem Brechungsverhältnisse der violetten und der rothen Strahlen bestimmt.

§ 332. Vergleicht man verschiedene durchsichtige Substanzen mit einander, so findet man ein ungleiches Verhältniß zwischen dem Brechungs- und dem Zerstreuungsvermögen. So bricht z. B. das Flintglas, bleihaltiges Glas, das Licht nur wenig stärker, als Kron- oder Spiegelglas (158 : 153), während es die Farben in weit größerem Verhältniß zerstreut, als dieses (wie 3 : 2). Hierdurch wird es möglich, ein Prisma herzustellen, welches das Licht bricht, ohne es zu zerstreuen. Um dieses einzusehen, seien K und F (Fig 87 b) die Durchschnitte zweier aus verschiedenen Substanzen verfertigter Prismen, welche wir uns so an einander gelegt denken, daß die bre-

chenden Winkel derselben eine entgegengesetzte Lage haben. Ein durch beide Prismen hindurchgehender Lichtstrahl erleidet daher in denselben entgegengesetzte Brechungen und entgegengesetzte Farbenzerstreuungen. Wenn nun die Substanz, aus welcher F besteht, das Licht in bedeutend stärkerem Verhältnisse zerstreut, als die Substanz, aus welcher K besteht; so muß offenbar der brechende Winkel von K beträchtlich größer, als der von F sein, wenn die Farbenzerstreuung, welche ein Lichtstrahl in F erleidet, durch die in K aufgehoben werden soll. Wenn aber die Substanz, aus welcher F besteht, das Licht eben so stark (oder nur wenig stärker) bricht, als K; so wird unter den angeführten Bedingungen die Brechung, welche ein Lichtstrahl in F erleidet, die entgegengesetzte in F übertreffen. Ein durch beide Prismen hindurchgehender Lichtstrahl wird daher eine Ablenkung, aber keine Farbenzerstreuung erleiden.

Ein solches Prisma, welches das Licht bricht, ohne die farbigen Strahlen zu zerstreuen, wird ein achromatisches genannt, und ist zuerst von dem Engländer Dollond 1755 hergestellt worden.

§ 333. Wie wichtig die Erfindung des Achromatismus für optische Instrumente, besonders für Fernröhre ist, wollen wir zunächst an den achromatischen Linsen zeigen, d. h. an solchen Linsen, welche eine Brechung des Lichts ohne Farbenzerstreuung zu Stande bringen. Eine Linse dieser Art wird durch Zusammenstellung einer Sammellinse K (Fig. 87 c) aus Kronglas und einer Zerstreuungslinse F aus Flintglas hervorgebracht.

Um dieß noch deutlicher zu zeigen, wollen wir annehmen, die Sammellinse K vereinige für sich allein die violetten Strahlen in v, die rothen in r. Fügen wir nun zu derselben eine Zerstreuungslinse F aus Flintglas, welche eine größere Brennweite, als K hat und daher die Convergenz der durch K gebrochenen Strahlen nicht aufzuheben, sondern nur zu schwächen vermag; so wird sowohl der Vereinigungspunkt der violetten, als auch der rothen Strahlen jetzt weiter hinausrücken. Diese Fortrückung wird aber, da Flintglas violettes Licht nicht in gleichem, sondern in einem größern Verhältnisse stärker, als Kronglas bricht, für die erstern mehr, als für die letztern betragen; es muß daher möglich sein, ein solches Verhältniß zwischen den Brennweiten beider Linsen aufzufinden, daß die Vereinigungspunkte der rothen und der violetten Strahlen in dem nämlichen Punkte w zusammenfallen und hier wieder weißes Licht entsteht.

Häufig sind auch achromatische Linsen aus zwei doppelt erhabenen Kronglaslinsen und einer zwischen denselben befindlichen doppelt hohlen Flintglaslinse zusammengesetzt.

Von dem Auge und den optischen Instrumenten.

§ 334. Das menschliche Auge hat die Gestalt einer Kugel und kann durch 6 dazu dienende Muskeln nach allen Richtungen bewegt werden. Es ist das vollkommenste optische Instrument. An und in dem Augapfel bemerken wir

1) Die undurchsichtige Hornhaut plnos (Fig. 88), die von weißer Farbe, hart, fest und elastisch ist, und die durchsichtige Hornhaut ph's, welche stärker gewölbt ist, als die undurchsichtige.

2) Die Regenbogenhaut oder Iris eg, welche von verschiedener Farbe ist: blau, braun, grau. In der Iris befindet sich ein rundes Loch aa, welches Pupille heißt. Die Iris dehnt sich, wenn starkes Licht ins Auge fällt, aus, wodurch die Pupille verkleinert wird und weniger Licht hindurchgehen läßt; bei schwachem Lichte aber zieht sich die Iris zusammen, wodurch die Pupille vergrößert wird und mehr Lichtstrahlen hindurch dringen können.

3) Die Kryſtalllinſe hk, ein mehr fester, als flüssiger gallertartiger, sehr durchsichtiger Körper, in Gestalt einer doppelt erhabenen Linse, deren hintere Seite mehr erhaben ist, als die vordere. Sie befindet sich in einer durchsichtigen Kapsel.

4) Die Netzhaut (Retina) de besteht aus einer Verbreitung des im Gehirn entspringenden Sehnerven, der bei m nahe bei der Nase schief ins Auge tritt. Die Retina breitet sich bis zur Kryſtalllinſe aus.

5) Den Raum zwischen der durchsichtigen Hornhaut und der Kryſtalllinſe füllt eine wässerige Feuchtigkeit, wodurch die durchsichtige Hornhaut ihre Rundung behält.

6) Die glasartige Feuchtigkeit VV, welche den Raum hinter der Kryſtalllinſe ausfüllt. Sie besteht aus einer gallertartigen durchsichtigen Masse mit verschiedenen Zellen.

7) Unter der undurchsichtigen Hornhaut breitet sich über die braune Aderhaut ein schwarze sammetartige Materie aus, welche für das Sehen sehr wichtig ist, indem sie alles Licht verschluckt, sobald es auf der Netzhaut eine Empfindung hervorgebracht hat.

Anmerk. Der Durchmesser des ganzen Augapfels beträgt 1 Zoll, und die Dicke der größten Kryſtalllinſe etwa ½ Zoll.

§ 335. Wie das Auge zum Sehen diene, wird nach § 319 leicht begreiflich, denn die von einem Punkte eines Gegenstandes auf die erhabene durchsichtige Hornhaut fallenden Lichtstrahlen werden in der wässrigen Feuchtigkeit der Axe zugebrochen, fallen dann durch die Pupille auf die Kryſtalllinſe, werden hier noch mehr der Axe zugebrochen, gehen in die glasartige Feuchtigkeit über, vereinigen sich auf der Netzhaut und machen daselbst ein Bild des Punktes. Die Bilder auf der Netzhaut stehen umgekehrt, ähnlich den Bildern in einer camera obscura (§ 344). Wie kommt es aber, daß wir dennoch die Gegenstände aufrecht sehen? Diese Erscheinnng läßt sich einfach auf folgende Weise erklären: Von jedem Punkte eines Gegenstandes fällt auf die Pupille ein Strahlenkegel, dessen auseinandergehende Strahlen durch die wässrige Feuchtigkeit, die Kryſtalllinſe und die gallertartige Masse so gebrochen werden, daß sie sich wieder in einem Punkte auf der Netzhaut vereinigen; es entsteht also im Auge ein zweiter Strahlenkegel, dessen Axe mit der Axe des äußern Strahlenkegels eine gerade Linie bildet (Fig. 88). Indem nun die Seele den Eindruck auf die Richtung dieser geraden Linie bezieht, nimmt sie das am Gegenstande oben wahr, was sich an ihm oben befindet, und sieht dasjenige unten, was wirklich unten ist, d. h. sie sieht den Gegenstand in seiner natürlichen Stellung, ungeachtet das Bild davon auf der Netzhaut sich umgekehrt darstellt. Bei der Bewegung eines Gegenstandes bewegt sich auch sein Bild im Auge, und deßhalb empfinden wir jene Bewegung.

§ 336. Warum uns ein Gegenstand, den wir mit beiden Augen ansehen, nicht doppelt erscheint, da er doch in jedem Auge ein Bild erzeugt, beruht auf folgender Ansicht. Da man durch das Seitwärtsdrücken des einen Auges bewirken kann, daß ein Gegenstand doppelt gesehen wird, so folgt, daß es in den Augen übereinstimmende Stellen geben müsse, in welchen die beiden Bilder die Seele nur einen Gegenstand empfinden lassen. Das eine Auge scheint daher wohl das andere im Sehen zu unterstützen.

§ 337. Um einen Gegenstand deutlich zu sehen, muß das Bild desselben auf der Netzhaut vollkommen scharf sein. Gewöhnlich ist dieß der Fall, wenn die Gegenstände vom Auge etwa 8 bis 10 Zoll entfernt sind, und diese Entfernung nennt man daher die Entfernung des deutlichen Sehens oder Sehweite. Daß wir aber auch Gegenstände, die weiter als 8 bis 10 Zoll von unserm Auge entfernt sind, noch deutlich sehen können, beruht wahrscheinlich auf folgendem Grunde: Die Krystalllinse eines gesunden Auges ist beweglich. Betrachtet es Gegenstände in der Nähe, so entfernt sich die Krystalllinse etwas von der Netzhaut; und betrachtet es Gegenstände in der Ferne, so nähert sich die Krystalllinse der Netzhaut um etwas. Ohne diese veränderte Lage würde das Bild eines nahen Gegenstandes hinter die Netzhaut, und das eines entfernten Gegenstandes vor dieselbe fallen, und folglich nicht deutlich gesehen werden können. Hat sich die Krystalllinse durch vieles Hinsehen auf Gegenstände in der Nähe an die dabei nöthige Entfernung von der Netzhaut so gewöhnt, daß sie keine andere Lage mehr annehmen kann, so ist das Auge kurzsichtig; die Bilder entfernter Gegenstände fallen vor die Netzhaut, und man hilft dem Uebelstande durch Hohlgläser ab, welche die Lichtstrahlen mehr aus einander halten und auf die Netzhaut bringen. Hat sich dagegen die Linse durch beständiges Hinsehen in die Ferne an die dabei nöthige Lage so gewöhnt, daß sie dieselbe nicht mehr verändern kann, oder wenn im höhern Alter, etwa im 45 bis 50sten Lebensjahre, durch die Verminderung der Feuchtigkeiten im Auge die Krystalllinse und die durchsichtige Hornhaut eine flachere Form annehmen: so heißt das Auge weitsichtig. Die Bilder naher Gegenstände fallen dann hinter die Netzhaut, und man hilft einem solchen Auge durch erhabene Gläser, welche die Lichtstrahlen zusammenbrechen und das Bild des Gegenstandes auf die Netzhaut bringen.

Anmerk. Zu den Hauptkrankheiten des Auges gehört der graue und der schwarze Staar. Ersterer entsteht durch Verdunklung der Krystalllinse, letzterer durch Lähmung oder geschwächte Reizbarkeit des Sehnerven und der Netzhaut.

§ 338. Das beste Auge selbst ist nicht im Stande, weder sehr kleine, noch sehr entfernte Gegenstände deutlich zu unterscheiden, in welchem Falle wir uns optischer Werkzeuge bedienen, die Sehkraft zu verstärken. Solche Werkzeuge sind die Mikroskope und Teleskope (Fernröhre).

Die Mikroskope zeigen Alles, was dem bloßen Auge als verschwindend klein erscheint, vergrößert und deutlich, und verdienen daher mit Recht Vergrößerungsgläser genannt zu werden. Man unterscheidet einfache und zusammengesetzte Mikroskope, je nachdem sie aus einer oder mehreren erhabenen Linsen bestehen; ferner Spiegel- und Sonnenmikroskope.

Das einfache Mikroskop.

§ 339. Die einfachen Mikroskope oder Loupen bestehen nur aus einer Convexlinse. Die Vergrößerung ist gleich der Weite des deutlichen Sehens (8 — 10 Zoll), dividirt durch die Brennweite der Linse. Siehe Fig. 85, in welcher AB den dicht hinter dem Fokus befindlichen Gegenstand, und ab das vergrößerte aufrechte Bild desselben darstellen.

Ist z. B. (Fig. 90) CF die Brennweite des Mikroskops, und AC die Weite des deutlichen Sehens mit bloßem Auge, also etwa 8 — 10 Zoll; so erscheint der Gegenstand AE dem bloßen Auge unter dem Winkel ACE, und wenn er im Brennpunkte F des Mikroskops aufgestellt, durch dasselbe betrachtet wird, unter dem Winkel FCD. Nun ist bei sehr kleinen Winkeln $FC : AC = \angle ACE : \angle FCD$, mithin $\frac{AC}{FC} = \frac{\angle FCD}{\angle ACE}$ d. h. wie vielmal die Entfernung des deutlichen Sehens die Brennweite an Größe übertrifft, so vielmal wird der Gegenstand durch das Mikroskop vergrößert, oder die Vergrößerung ist gleich dem Quotienten der Sehweite durch die Brennweite. Für die Brennweite $FC = \frac{1}{2}$ Zoll, und für die Sehweite $AC = 8$ Zoll, beträgt die lineare Vergrößerung 16, die quadratische 256 und die cubische 4096.

Anmerk. Man erhält ein sehr einfaches Mikroskop, wenn man einen Wassertropfen in eine kleine runde Oeffnung einer sehr dünnen Metallplatte bringt; der Wassertropfen nimmt darin eine kugelförmige Gestalt an.

Das zusammengesetzte Mikroskop.

§ 340. Bei einem zusammengesetzten Mikroskop (Fig. 91) heißt das dem Gegenstand zugekehrte Glas die Objectivlinse, das am Auge gehaltene, die Ocularlinse. Erstere ist von geringerer, letztere von größerer Brennweite. Der Gegenstand AB muß in einer Entfernung vom Objectivglase DE aufgestellt werden, welche ein wenig größer ist, als die Brennweite fc, wenn durch die heraustretenden Strahlen ein vergrößertes Bild ab entstehen soll (§ 319). Dieses Bild ab falle dicht hinter den Fokus F der Ocularlinse MN; alsdann wird das Auge in o das Bild ab in a'b' unter dem Winkel GOK deutlich und vergrößert sehen (§ 320).

Jedes dioptrische Mikroskop ist im Wesentlichen aus einem Objectiv- und einem Ocularglase zusammengesetzt, und die Vergrößerung des Mikroskops besteht aus dem Produkt der Vergrößerungen, welche jedes dieser Gläser hervorbringt. Wenn z. B. das Objectivglas DE eine siebenfache, und das Ocularglas MN eine zehnfache lineare Vergrößerung hervorbringt; so würde ein solches Mikroskop einen Gegenstand 70mal linear, und 4900mal im Quadrate vergrößern. Die Vergrößerung des Bildes wird desto größer, je näher der Gegenstand AB dem Brennpunkte f des Objectivglases gerückt wird. Mit dem Grade der Vergrößerung wächst auch die Länge des Apparats, weil diese ca + ak ist, und ca desto größer wird, je näher der Gegenstand dem Objectivglase rückt.

§ 341. Weit besser sind die Mikroskope mit 3 Gläsern, weil sie vermöge des zwischen dem Objectiv- und Ocularglase angebrachten Collectiv- oder Sammelglases bedeutend kürzer ausfallen. Es sei (Fig. 92) AB der Gegenstand, der nahe an dem Brennpunkte f der Objectivlinse DE aufgestellt wird. Dieses Glas DE würde das Bild von AB etwa in ab darstellen; aber ehe noch dieses Bild zur Wirklichkeit kommt, werden die gebrochenen Strahlen von dem Collectivglase PQ aufgefangen und in einer geringern Entfernung zu dem Bilde a'b' vereinigt. Ist nun die Ocularlinse MN um etwas weniger als ihre Brennweite von a'b' entfernt, so erscheint das Bild von a"b" dem Auge in o deutlich und vergrößert (§ 320).

Die Vergrößerung dieses Mikroskops kann aus den Brennweiten der 3 Gläser und ihrer Stellung gegen einander sowohl durch Zeichnung, als auch durch Rechnung gefunden werden.

Da mit der zunehmenden Vergrößerung die Erleuchtung im umgekehrten Verhältnisse steht, so ist nothwendig, daß der Gegenstand AB stark beleuchtet werde. Dieß geschieht gewöhnlich durch Hohlspiegel, welche das von der Sonne oder der Lampe auf sie fallende Licht durch Reflexion concentrirt auf den Gegenstand AB leiten.

Das Sonnenmikroskop.

§ 342. Das Sonnenmikroskop (Fig. 93) dient, um das Bild eines durch concentrirtes Sonnenlicht stark beleuchteten sehr kleinen Gegenstandes vergrößert auf die Wand eines verfinsterten Zimmers fallen zu lassen.

Es sei abcd eine Röhre, welche in der Oeffnung eines Ladens AB drehbar ist; al sei ein ebener Spiegel, der in jeder Neigung gegen die Axe der Röhre gestellt werden kann. Er empfängt das Sonnenlicht fr und reflectirt es auf das Sammelglas ab, welches ersteres concentrirt auf den durchsichtigen Gegenstand cd sendet. Dieser steht etwas außerhalb der Brennweite der Objectivlinse m, welche von ihm das vergrößerte Bild c'd' auf der weißen Wand MN entwirft. Ist der Gegenstand undurchsichtig, so wird das rund um denselben vorbeifahrende Licht von einem in seiner Mitte durchbohrten Hohlspiegel aufgefangen, der zwischen m und o steht, wodurch der undurchsichtige Gegenstand von hintenher beleuchtet und das hier von ihm reflectirte Licht zur Linse m gesendet wird. Dr. Lieberkühn war der Erfinder des Sonnenmikroskops (1739).

Das Gasmikroskop ist vom Sonnenmikroskop nicht wesentlich verschieden, nur geht bei ihm die Erleuchtung von einem Stückchen Kalk aus, auf welches ein brennender Strom eines Gemenges von Wasserstoff und Sauerstoff (Hydrogen-Oxygengas) geleitet wird. Das dadurch entstehende Licht hat eine solche Helligkeit, daß es die Stelle des Sonnenlichts vertreten kann. Dieses Licht nennt man nach seinem Entdecker Drummondsches Kalklicht.

§ 343. Die bekannte Zauberlaterne (Fig. 94) beruht auf denselben optischen Gründen, wie das Sonnenmikroskop, ist aber für Lampenlicht (m) eingerichtet, welches, mittelst eines dahinter stehenden Hohlspiegels MN verstärkt, auf die Sammellinse ab geworfen wird. Die Gegenstände AB sind auf Glas mit halbdurchsichtigen Farben gemalt, und werden in der Gegend AB in dem dort verstärkten Lichte vorbeigeführt. Die von der SammellinseCc erzeugten Bilder der Gegenstände gehen an der gegenüberstehenden Wand in derselben Ordnung, aber in umgekehrter Lage vorüber.

§ 344. Die camera obscura (Fig. 95) besteht aus einem dunklen Kasten oder Zimmer ABCD, über welchem ein Sammelglas F in horizontaler Richtung, und noch etwas höher ein Planspiegel CD unter einem Winkel von 45° gegen den Horizont angebracht sind. Dieser Planspiegel fängt die Strahlen der gegenüberstehenden Gegenstände auf und wirft sie auf die Linse zurück; weßhalb auf der andern Seite des Kastens oder Zimmers deutliche Bilder von jenen Gegenständen entstehen müssen, die gewöhnlich mit einer weißen Wand aufgefangen werden. Diese Bilder können von der geöffneten Seite AB des Kastens abgezeichnet werden. Da das Licht chemische Wirkungen hervorbringt, indem es z. B. das Chlorsilber schwärzt, so erfand

ein gewisser Daguerre, durch das Bild der camera obscura bleibende Eindrücke hervorzubringen. Beim Daguerreotyp vertritt nämlich die weiße Wand der camera obscura eine Platte von Jodsilber, auf welche das Licht einen merklichen Eindruck macht, indem die hellern Stellen des Bildes vom Lichte mehr angegriffen werden, als die dunkleren. Auf den angegriffenen Stellen haften sodann Quecksilberdämpfe, welche man über die Platte streichen läßt, indem diese an den nicht angegriffenen Stellen vorübergehen. Wenn die Platte den Quecksilberdämpfen ausgesetzt gewesen ist, sieht sie wieder überall gleich blank aus. Nun wird sie mit Salzwasser abgewaschen, dann werden die Jodsilberstellen schwarz, die Quecksilberstellen bleiben weiß, indem das Quecksilber sich gar nicht mit dem Salzwasser verbindet. Auf solche Weise ist dann mit Licht und Schatten das richtige Bild, wenn auch farblos, hergestellt.

§ 345. Bei der camera clara (Fig. 96 a) fallen die Strahlen der Gegenstände zuerst auf die in einer Seitenwand des dunklen Kastens angebrachte Sammellinse FG, und werden nach der Brechung einem unter 45° geneigten Planspiegel BD zugeworfen, welcher sie nach der aus einer mattgeschliffenen Glastafel bestehenden Decke AB reflectirt. Damit die Bilder der Gegenstände desto schärfer hervortreten, läßt man auf die Glastafel den Schatten einer geneigten Wand AE fallen.

§ 346. Nach § 308 beruht auf dem Princip, daß Lichtstrahlen, wenn sie aus Luft in Glas unter einem größern Einfallswinkel, als 41° fallen, eine sinnreiche Vorrichtung, welche den Namen camera lucida führt, weil sie, so wie die camera obscura zum Abzeichnen von Gegenständen dient. Dieselbe besteht aus einem kleinen Glasprisma abcd (Fig. 96 b) welches bei a einen rechten Winkel, bei c einen Winkel von 135° und bei b und d Winkel von 67½° hat. Wird dieses Prisma, welches von einem kleinen Stativ getragen wird, so gestellt, daß die obere Seite ab wagerecht, also ad lothrecht gerichtet ist; so trifft ein von einem leuchtenden Punkte f in wagerechter Richtung ausgehender Lichtstrahl die Seitenfläche ad in senkrechter Richtung und tritt also, ohne eine Brechung zu erleiden, in das Prisma ein. Da er mit der Fläche cd nur einen Winkel von 22½° bildet, so kann er nicht wieder in die Luft austreten, sondern wird in der Richtung gh, welche mit bc den nämlichen Winkel von 22½° bildet, zurückgeworfen und erleidet hier zum zweiten Male eine gänzliche Zurückwerfung in der Richtung oh. Ein in O befindliches Auge erblickt daher in der Richtung ok ein Bild des leuchtenden Punktes f, und da das Prisma klein ist und der Strahl ok nahe neben der Ecke b vorbeigeht, so kann dieses Auge auch noch ein in der deutlichen Sehweite wagerecht ausgebreitetes Papier und die auf k gehaltene Spitze eines Bleistiftes sehen, wodurch es möglich wird, die Umrisse des abzubildenden Gegenstandes auf das Papier zu zeichnen.

Zur Darstellung der Nebelbilder oder Wandelbilder bedient man sich zwei gleicher Zauberlaternen (§ 343), deren Lampen so eingerichtet sind, daß sie bald ein sehr helles, bald ein sehr schwaches Licht geben können. Jene Zauberlaterne wirft, so lange noch keine Glasplatten eingesetzt sind, einen hellen Kreis auf den durchscheinenden Vorhang, vor welchem sich die Zuschauer befinden; beide Laternen werden nun so gerichtet, daß die durch sie beleuchteten Kreise genau in einen zusammenfallen. Sodann wird die Lampe der zweiten Laterne möglichst schwach brennend erhalten, und in dieselbe etwa eine

Glasplatte mit einer Winterlandschaft geschoben; in die erste Laterne mit hell brennender Lampe dagegen wird eine Glasplatte mit derselben als Sommerlandschaft dargestellten Gegend eingesetzt. Sofort erscheint die Sommerlandschaft in vollem Lichte auf dem Vorhang; indem man aber das helle Licht dieser ersten Laterne schwächt, verliert die Landschaft ihre deutlichen Umrisse und erscheint wie in Nebel gehüllt. Gleichzeitig vermehrt man aber die leuchtende Kraft der zweiten Laterne mit der Winterlandschaft, und wenn dieselbe hinreichend hell, die erste Lampe aber dunkel genug brennt, so zeigt sich an der Stelle der Sommerlandschaft die Winterlandschaft in vollkommner Deutlichkeit. Mittlerweile wird in die erste Laterne ein neues Bild eingeschoben, das nachher an die Stelle der Winterlandschaft tritt, und später wieder durch ein anderes Bild der zweiten Laterne verdrängt wird.

Um in der Zauberlaterne ein stärkeres Licht zu erhalten, setzt man an die Stelle der Lampe ein Kalkstückchen, das in einer Flamme von Sauerstoff und Wasserstoff glühend erhalten wird.

Von den Fernröhren.

§ 347. Unter Fernröhren (Teleskopen) versteht man solche Werkzeuge, wodurch ferne Gegenstände dem Auge unter einem größern Sehwinkel und eben dadurch angenähert erscheinen; sie sind gleichsam Mikroskope für entfernte Gegenstände. Ihre Construction ist entweder rein dioptrisch (nur aus Glaslinsen bestehend) oder katadioptrisch (aus Spiegeln und Glaslinsen bestehend). Man nennt Janssen (1509) als den Erfinder des Fernrohrs.

Die bloß dioptrischen Fernröhre oder Refractoren sind vorzugsweise folgende:

1). Das galileische oder holländische Fernrohr (Fig. 97).

Dieses besteht aus einer biconvexen Objectivlinse mit großer Brennweite und einem biconcaven Ocularglase mit geringer Brennweite. Beide Linsen sind in einem Rohre so angebracht, daß der Brennpunkt des erstern mit dem hintern Zerstreuungspunkt des letztern zusammenfällt, mithin ihre Entfernung von einander gleich ist dem Unterschiede der beiden Brennweiten. Es wird in diesem Fernrohr kein Bild gemacht. Wie vielmal der Gegenstand durch das galileische Fernrohr vergrößert wird, findet man, wenn man die Brennweite des Objectivglases durch die Zerstreuungsweite des Ocularglases dividirt.

Es sei VW (Fig. 97) das Objectivglas, welches von einem entfernten Gegenstand in ab ein verkehrtes und verkleinertes Bild entwerfen würde, wenn die Strahlen nicht schon vorher durch das Hohlglas XZ aufgefangen würden. Das Ocularglas XZ ist so aufgestellt, daß das Bild ab etwas hinter die Zerstreuungsweite des Hohlglases fällt; dadurch werden alle nach einem Punkte des Bildes ab convergirenden Strahlen durch das Hohlglas so gebrochen, daß sie nach ihrem Durchgange durch dasselbe so auseinandergehen, als ob sie von einem Punkte vor dem Glase herkämen; die nach a und b convergirenden Strahlen gehen also in der Weise auseinander, als ob sie von A und B kämen. Das Auge, das dicht hinter der Linse XZ stehen muß, sieht demnach durch das Fernrohr das aufrechte vergrößerte Bild AB. Der Winkel, unter welchem der Gegenstand ohne Fernrohr erscheinen würde, ist gleich dem Winkel, unter welchem das Bild ab von dem Mittelpunkt des Objectivglases aus gesehen erscheint, also gleich dem Winkel bpa; denken wir uns nun das Auge in den Mittelpunkt o des Ocularglases versetzt, so erscheint, durch das Fernrohr gesehen, der Gegenstand unter dem Winkel AoB, welcher dem Winkel boa gleich ist. So vielmal nun der Gesichtswinkel boa größer ist, als der Gesichtswinkel bpa, so vielmal erscheint

uns der Gegenstand vergrößert. Das Bild ab ist um die Brennweite F von der Objectivlinse, und von der Ocularlinse nur unmerklich weiter, als die Zerstreuungsweite f dieses Glases entfernt; wir können also ohne merklichen Fehler die Entfernung des Bildes ab von o gleich f setzen. Nun aber verhalten sich die Winkel bpa und boa sehr nahe umgekehrt, wie die Entfernungen, also $\angle$ bpa : $\angle$ boa = f : F also $\frac{boa}{bpa} = \frac{F}{f}$; d. h. man findet die Vergrößerung, wenn man die Brennweite des Objectivs durch die Zerstreuungsweite des Oculars dividirt. Die Vergrößerung ist also um so größer, je größer die Brennweite des Objectivs und je kleiner die Zerstreuungsweite des Oculars ist. Die Entfernung der beiden Gläser ist sehr nahe = F — f, und die Vergrößerung war = $\frac{F}{f}$. Je kleiner also f, oder je größer F wird, desto größer wird die Vergrößerung des Gegenstandes; es wird aber dann auch die Entfernung der beiden Gläser um so größer sein.

Dieses Fernrohr, welches 1590 von Galilei erfunden worden, gebraucht man nur noch als Taschenperspectiv, und gibt ihm eine Länge von 5 bis 6 Zoll.

2) Das astronomische oder Kepplersche Fernrohr (Fig. 98). Es besteht aus 2 biconvexen Gläsern, von denen das Objectivglas VW eine größere Brennweite hat, als das Ocularglas XZ. Sie werden in das Rohr so eingesetzt, daß ihre Brennpunkte zusammenfallen, folglich beträgt die Entfernung beider Linsen von einander, die Summe ihrer Brennweiten. Hier kommt das Bild ab des Objects wirklich zu Stande, und es wird durch eine einfache Convexlinse XZ betrachtet. Dieses Fernrohr vergrößert den Gegenstand so vielmal, wie vielmal die Brennweite des Objectivglases größer ist, als die der Ocularlinse. Nimmt man die Brennweite des Objectivglases = 50 Fuß; und die der Ocularlinse = 1 Zoll; so ist die linearische Vergrößerung = 600, und die quadratische = 360000. Das Bild hat hier aber die umgekehrte Lage.

Es sei, um dieß genauer zu verdeutlichen VW die Objectivlinse, ab das durch dieselbe entworfene verkehrte Bild eines Gegenstandes, welches durch die biconvexe Linse XZ betrachtet, in AB vergrößert erscheint. Der Sehwinkel, unter welchem der Gegenstand dem bloßen Auge erscheint, ist gleich dem Winkel, unter welchem das Bild ab von der Mitte des Objectivs VW gesehen wird; durch das Fernrohr erscheint er aber unter demselben Winkel, wie das Bild ab von der Mitte des Oculars XZ aus betrachtet; der eine dieser Winkel verhält sich aber zum andern, umgekehrt wie die Entfernung des Bildes ab vom Object zu der Entfernung vom Ocular. Nun aber steht das Bild vom Objectiv um die Brennweite F desselben, vom Ocular aber um die Entfernung f ab, wenn wir mit f die Brennweite des Oculars bezeichnen. Der Gesichtswinkel, unter welchem der ferne Gegenstand durch das Fernrohr erscheint, verhält sich also zu dem Winkel, unter welchem er mit bloßem Auge gesehen wird, wie F zu f; die durch das Fernrohr hervorgebrachte Vergrößerung ist also $\frac{F}{f}$, und die Länge des Fernrohrs = F + f, wie oben bereits angedeutet worden.

Der Riesenrefractor der Dorpater Universität, von Frauenhofer in München verfertigt, hat eine Oeffnung von 9 Zoll, eine Brennweite von 160 Zoll und 13′ 7″ Länge und vergrößert linearisch einen Gegenstand 700mal; der Refractor zu Pulkowa bei St. Petersburg hat 14 Zoll Oeffnung.

3) Das Erdfernrohr des Pater de Rheita (1665) ist ein astronomisches Fernrohr, in welchem das durch das Objectivglas von dem Gegenstande AB entstandene verkehrte Bild ab durch zwei zwischen ihm und dem Ocularglase befindliche Convexlinsen von gleichen Brennweiten mit diesem in ein aufrechtes Bild a′b′ verwandelt wird (Fig. 99). Wenn z. B. a der gemeinschaftliche Brennpunkt der Linsen VW und XZ ist, so treten die Strahlen, die aus einem Punkte des Gegenstandes AB kommen, aus der Linse XZ parallel heraus und erzeugen nach der Brechung in der dritten Linse S das auf-

rechte Bild a'b', dessen Strahlen, wenn c wieder der gemeinschaftliche Brennpunkt der Linsen S und T ist, nach der letzten Brechung aus der Linse T parallel heraustreten und im Auge bei P ein deutliches, aufrechtes und vergrößertes Bild des entfernten Gegenstandes AB erzeugen. Die Vergrößerung bei diesem Fernrohr wird auf dieselbe Weise bestimmt, wie bei den astronomischen, wenn man die Brennweite der Objectivlinse VW durch die Brennweite der ersten Ocularlinse XZ dividirt. Die beiden andern Oculare S und T sind nicht der Vergrößerung wegen, sondern um ein aufrechtes Bild zu erhalten, hinzugefügt. Bei allen dioptrischen Fernröhren ist erforderlich, daß wenigstens eins der dazu angewandten Gläser achromatisch sei. Vor der Erfindung der achromatischen Linsen hat man, um die Farbenringe zu beseitigen, statt eines Sammelglases Metallspiegel angewandt, die ihrer Natur nach keine Farbenzerstreuung zulassen. Von den Spiegelteleskopen wollen wir hier nur das Newtonsche näher betrachten.

Das Newtonsche Spiegelteleskop oder Reflector.

§ 348. Dieses Teleskop (Fig. 100) besteht aus einem inwendig geschwärzten Rohr CDEF, in welchem sich ein Hohlspiegel GH nahe am Boden DE befindet, ihm gegenüber hält der Träger LI einen Planspiegel MK unter einem Winkel von 45° mit der Axe des Rohrs. Von einem sehr entfernten Gegenstande AB fallen die Strahlen parallel auf den Hohlspiegel, werden von hier, ehe sie sich zu einem Bilde vereinigen, von dem Planspiegel MK aufgefangen und so reflectirt, daß sie nahe an der Seitenwand zu einem Bilde ab zusammentreten, welches durch die Biconvexlinse PQ unter einem größern Sehwinkel deutlich in dem Bilde a'b' gesehen wird.

Das Teleskop selbst richtet man nach dem zu beobachtenden Gegenstande mittelst eines kleinen dioptrischen Fernrohres m, welches außerhalb an der Seite von jenem, parallel mit dessen Axe angebracht ist.

Dieses Spiegelteleskop — welches zuerst von Newton (1672) zu Stande gebracht wurde — zeigt die Gegenstände verkehrt und so vielmal vergrößert, als die Brennweite des Oculars in der Brennweite des Hohlspiegels enthalten ist. Diese Vergrößerung ist gewöhnlich eine 50 — 60fache; dahingegen liefert das riesenhafte Teleskop von Wilhelm Herschel (1785) eine 6450fache Vergrößerung. Es hat 46' Länge, 5' Durchmesser, und der große Spiegel wiegt 1000 Pfund.

Werden die achromatischen Fernröhre mit den Spiegelteleskopen verglichen, so ergibt sich, daß erstere bei gleicher Länge die letztern an Vergrößerung und Helligkeit übertreffen.

Anmerk. 1. Das Gregorianische Spiegelteleskop hat, statt des Planspiegels in Fig. 100, einen Concav-, und das Kassegrainsche, einen Convexspiegel. Bei beiden Arten dieser Teleskope sieht man den Gegenstand nicht von der Seite, wie beim Newtonschen, sondern von vorne; weßhalb der Hohlspiegel GH (Fig. 100) in der Mitte durchbrochen ist. Er enthält in seiner Oeffnung ein Sternrohr mit 2 Linsen, wodurch das Bild des gesehenen Gegenstandes in aufrechter Stellung sich zeigt.

Anmerk. 2. Ueber die Vergrößerung der Gegenstände mittelst eines Fernrohrs ist im Allgemeinen noch zu bemerken, daß dieselbe nicht beliebig weit getrieben werden könne, was einige glauben dürften, da sie wissen, daß die Wirksamkeit eines Fernrohrs nur von der verhältnißmäßigen Brennweite der Objectiv- und Ocularlinse abhängt. Doch ist dieses keines-

weges der Fall, sobald man mit der Vergrößerung zugleich auch ein deutliches Bild des Objects erhalten will; denn mit der Vergrößerung der Bilder im Fernrohre ist eine Verminderung des Lichts, mithin eine zunehmende Undeutlichkeit derselben verbunden.

§ 349. Wir wollen hier in aller Kürze noch einer Erscheinung erwähnen, die man Beugung des Lichts nennt. Wenn von einem leuchtenden Punkte Lichtstrahlen neben einem undurchsichtigen Gegenstand vorbei oder durch eine kleine Oeffnung desselben hindurch gehen; so entstehen um seinen Schatten herum farbige Ränder, deren Licht noch in den geometrischen Schattenraum des Gegenstandes hineintritt, also gewissermaßen um den Rand des undurchsichtigen Körpers herum gebeugt wird. Hierbei wird das rothe Licht am stärksten, das violette am wenigsten abgelenkt, gerade umgekehrt, wie es bei der Brechung der Fall ist. Wenn der Schatten gebende Gegenstand sehr dünn ist, so durchkreuzen sich die Farbenstrahlen und bilden hinter ihm wieder ein weißes Licht. Diese Ablenkung eines Lichtstrahls von seinem geraden Wege nennt man Lichtbeugung. Die Beugung ist desto größer, je kleiner der undurchsichtige Gegenstand ist, und dieser erscheint immer mit einer farbigen Umsäumung, wie man dieß schon im freien Sonnenlichte an Spinnenfäden und feinen Haaren bemerkt

Es ist hier noch einer Farbenerscheinung zu gedenken, welche entsteht, wenn das Licht von den beiden Flächen eines sehr dünnen durchsichtigen Körpers zurückgeworfen wird, oder durch ihn hindurchgeht. Wir bemerken dieß bei dem trüben Ueberzuge auf alten Fensterscheiben, bei Seifenblasen, bei feinen Spalten in Glas und dünnen Schichten eines ätherischen Oels auf der Oberfläche von Flüssigkeiten, welche auf Glas ausgebreitet sind, u. s. w.

§ 350. Wir wollen noch einige Lufterscheinungen erklären, die auf der Zurückwerfung und Brechung der Lichtstrahlen und der damit verbundenen Farbenzerstreuung beruhen.

1) Die Morgen- und Abenddämmerung.

Die Morgendämmerung zeigt sich nur vor Sonnenaufgang, und die Abenddämmerung nach dem Untergange der Sonne, wenn der Himmel nicht allzu sehr mit Wolken bedeckt ist. Beide Erscheinungen beruhen auf der Brechung und Zurückwerfung der Sonnenstrahlen durch die höheren Luftschichten. Ehe nun die Sonne des Morgens selbst uns sichtbar wird, so wirft sie ihre Strahlen schon in den obern Luftkreis und erleuchtet ihn, und man sagt, „der Tag graut". Nun steigt der lichte Schein immer höher am Himmel; es brechen sich die Sonnenstrahlen in der dichtern Luft und werden dann in unser Auge zurückgeworfen. Das verursacht die Morgendämmerung. Gleiche Bewandtniß hat es mit der Abenddämmerung. Ist die Sonne untergegangen, so wirft sie ihre Strahlen ebenfalls noch in den Luftkreis und erleuchtet ihn. Je tiefer die Sonne unter den Gesichtskreis kommt, desto kleiner wird dieser lichte Schein, bis er endlich ganz verschwindet und die Nacht einbricht. Die Dämmerung beginnt oder endet, wenn sich die Sonne 18° unter dem Horizonte befindet. Die größere oder geringere Anhäufung von Dünsten in der Luft, die Verschiedenheit und Beschaffenheit der Wolken bringt in die Erscheinungen der Morgen- und Abenddämmerung oft eine große Mannig-

faltigkeit. Je mehr die Farben bei der Abenddämmerung ins Hellgelbe fallen, desto reiner ist die Luft; sie ist desto unreiner, je düsterer und dunkler die Röthe erscheint.

Ohne Brechung und Zurückwerfung der Sonnenstrahlen wäre keine Dämmerung möglich. Jede Gegend der Erde würde keinen einzigen Lichtstrahl früher erhalten, als in dem Augenblicke, wo die Sonne über den Horizont heraufträte, und die tiefste Dämmerung würde plötzlich über jede Gegend ausgegossen werden, sobald die Sonne unter den Horizont hinabgesunken wäre. Durch die wohlthätigen Erscheinungen der Morgen- und Abenddämmerung werden die Dauer der Nächte verkürzt und der Uebergang von der Dunkelheit der Nacht zur Helligkeit des Tages, und umgekehrt, allmählig bewerkstelligt, so wie es für unser Auge am wohlthuendsten ist. Ihre Dauer hängt von der geographischen Breite des Ortes und von der Jahreszeit ab; sie nimmt ab vom Aequator nach den Polen zu, und ist im März und Oktober am kürzesten, im Juni und Juli am längsten. Ohne die Reflexion der Sonnenstrahlen in der obern Luft würden wir selbst mitten am Tage nur die unmittelbar von der Sonne beschienenen Gegenstände sehen können; in unsern Wohnungen würde, wenn die Sonnenstrahlen nicht direkt in dieselben einfallen, eine nächtliche Finsterniß herrschen, und jede vor die Sonne tretende Wolke würde uns aus der Tageshelligkeit plötzlich in große Dunkelheit versetzen.

2) Die Morgen- und Abendröthe sind Erscheinungen beim Auf- und Untergange der Sonne. Ist die Luft mit wenigen Dünsten erfüllt, so sehen wir den Himmel schön blau, die Sonne geht roth unter und die Abendröthe ist sehr schön; sind aber in der Luft viele Dünste enthalten, so ist der Himmel weißlich und die Sonne geht weißgelblich unter.

Die Abendröthe wird gewöhnlich als eine Anzeige von gutem, die Morgenröthe von schlechtem Wetter angesehen. Ist nämlich die Luft mit Wasserdämpfen stark gesättigt, so daß bei Sonnenuntergang sich dieselben schon größtentheils in Dunstbläschen verwandelt haben, so wird sich nur ein schwaches Abendroth bilden können. Umgekehrt zeigt ein lebhaftes Morgenroth einen großen Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre an.

3) Die Bläue des Himmels entsteht dadurch, daß die atmosphärische Luft die von der Erde in dieselbe zurückgeworfenen Sonnenstrahlen zersetzt, das mehr brechbare blaue Licht zurückwirft und das weniger brechbare rothe und gelbe Licht hindurch gehen läßt. Zugleich reflectirt aber auch die Luft weißes Sonnenlicht und von dem Verhältniß dieses und des reflectirten blauen Lichtes hängt die größere oder geringere Stärke der Himmelsbläue ab. Nach einem Regen erscheint der Himmel stets schön blau, ein Beweis, daß Dünste viel weißes Licht zurückwerfen.

4) Der Regenbogen entsteht, wenn der Regen vor uns, und die Sonne hinter uns im Rücken, aber nicht hoch (nicht über 42° über dem Horizont) steht, so daß die Lichtstrahlen aus der Sonne in die Regentropfen, und von da durch Brechung und Zurückwerfung wieder in unser Auge fallen; daher sehen wir zu Mittage nie einen Regenbogen, weil die Sonne zu dieser Zeit höher als 42° über dem Horizont steht. Steht die Sonne dicht am Horizonte, so bildet der Regenbogen einen Halbkreis; bei Wasserfällen kann man ganze Regenkreise sehen. Die Regenwolke muß durchaus immer der Sonne gegenüber stehen; daher können wir Vormittags einen Regenbogen nur gegen Abend, und Nachmittags ihn nur gegen Morgen sehen; nie aber gegen Mittag, denn in diesem Falle müßte die Sonne im Norden stehen. Die schönen Farben des Regenbogens sind die schon bekannten prismatischen Farben (§ 323), die durch die Zerlegung der auf die Regentropfen fallenden Sonnenstrahlen entstehen und durch Zurückwerfung gleichgefärbter Strahlen in unser Auge gelangen. Ein jeder Mensch sieht seinen eigenen Regenbogen, und wir sehen eigentlich in je-

dem Augenblicke einen andern, weil die Regentropfen keinen Augenblick still halten, sondern immer auf einander folgen. Oft erscheinen zwei Regenbogen über einander, von denen der untere, der Hauptregenbogen, mit weit helleren Farben geschmückt ist, als der obere, der Nebenregenbogen. Dieser rührt von einer doppelten Zurückwerfung und doppelten Brechung der Lichtstrahlen in den fallenden Regentropfen her. Je dunkler der Hintergrund des Regenbogens ist und je dichter die Regentropfen herabfallen, desto lebhaftere Farben zeigt der Regenbogen. Auch entsteht zuweilen des Nachts vom Vollmonde auf oben beschriebene Art ein Mondregenbogen.

5) Die Höfe um Sonne und Mond sind meistens weißlich helle Kreise oder Ringe, zuweilen auch von verschiedenen, aber schwachen Farben um die Sonne und den Mond herum. Auch helle Sterne bilden dergleichen helle Kreise um sich. Diese Erscheinungen erklärt man durch Beugung des Lichtes beim Vorübergange desselben an den Rändern der in Luft schwebenden Dunstkügelchen. Zuweilen erscheint auch das Licht in einem mit Wasserdünsten angefüllten Zimmer mit einem Hofe; auch erhält man ihn an einer leise behauchten Glastafel, wenn man durch sie ein Licht ansieht.

6) Die Nebensonnen und Nebenmonde sind höchst auffallende Lufterscheinungen. Man sieht nämlich zu manchen Zeiten des Tages nicht Eine Sonne, sondern 2, 3, 4, 5, 6, ja sogar 7 Sonnen, und eben so auch in der Nacht mehrere Monde. Sie erscheinen farbig oder farblos.

Im Jahre 1661 den 20. Februar um 11 Uhr Vormittags wurden 7 Sonnen auf einmal gesehen. Sie dauern niemals lange, sondern verschwinden oft schon nach wenigen Minuten wieder. Die Nebensonnen und Nebenmonde sind nichts anders, als Bilder der Sonne und des Mondes. Einige Physiker erklären sie durch Beugung des Lichts an den in der Luft befindlichen Dunstkügelchen; andere durch Brechung und Zurückwerfung des Sonnen- und Mondlichtes.

Von den chemischen Wirkungen des Lichts.

§ 357. 1) Chlorgas und Wasserstoffgas verbinden sich im Dunkeln bei gewöhnlicher Temperatur nicht mit einander; sobald man aber dem Lichte den Zutritt gestattet, geht ihre Verbindung zu Salzsäure vor sich, und zwar langsam im Tageslicht, unter Explosion im Sonnenlichte.

2) Phosphor, welcher im Wasser aufbewahrt wird, verwandelt sich im Sonnenlichte in rothes Phosphoroxyd.

3) Concentrirte Salpetersäure zersetzt sich am Lichte schon bei gewöhnlicher Temperatur zum Theil in Sauerstoff und Untersalpetersäure.

4) Das weiße Chlorsilber wird durch das Licht erst violett gefärbt und endlich ganz schwarz.

5) Sehr auffallend ist der Einfluß des Lichts auf die Zersetzung organischer Substanzen; es befördert nämlich die Vereinigung des Sauerstoffs der Atmosphäre mit dem Kohlenstoffe und Wasserstoffe der organischen Stoffe; daher kommt denn auch das Bleichen vegetabilischer Farbenstoffe im Lichte, namentlich im Sonnenlichte.

6) Zum Gedeihen der lebenden Pflanzen ist das Licht durchaus nöthig, im Dunkeln ist eine kräftige Entwicklung derselben unmöglich; sie erhalten bald ein verkümmertes Ansehen; Blätter und Blüthen bleiben blaß.

7) Pflanzen, die im Zimmer gezogen werden, wachsen bekanntlich immer nach den Fenstern hin.

8) Die grünen Theile der Pflanzen absorbiren Kohlensäure aus der Luft; diese Kohlensäure wird zerlegt, der Kohlenstoff bleibt als Bestandtheil der Pflanze zurück, während der Sauerstoff wieder in die Atmosphäre ausgehaucht wird. Diese Zersetzung der Kohlensäure und das Aushauchen von Sauerstoff in die Luft findet aber nur unter dem Einflusse des Lichts statt.

Kapitel VII.

Die Lehre von der Wärme.

§ 352. Die unbekannte Ursache, welche einen Körper fähig macht, in uns die verschiedenen Empfindungen hervorzubringen, die wir heiß, warm, kalt nennen, heißt Wärme.

Man bezeichnet auch mit dem Worte Wärme ein gewisses, uns Allen bekanntes Gefühl, oder auch den Zustand der Körper, in welchem sie jenes Gefühl erregen.

Aeltere Naturforscher erklären die Wärme für eine Materie, die sie Wärmestoff nennen und nehmen an, 1) daß sie eine sehr bewegliche, höchst feine, elastische Flüssigkeit ohne Schwere sei, welche von einigen Körpern stärker, von anderen schwächer angezogen werde und sich so lange verbreite, bis sie mit ihren Umgebungen ins Gleichgewicht gekommen sei und 2) daß die Theile dieses Wärmestoffes sich gegenseitig abstoßen, und die Stelle der abstoßenden Kraft einnehmen, welche die Stetigkeit der Körpertheilchen verhindere und Ursache der Porosität sei. Neuere Physiker stellen die Hypothese auf, daß das Wesen der Wärme in Schwingungen des Aethers bestehe, welcher von den Schwingungen der kleinsten Theile eines warmen Körpers in Bewegung gesetzt werde, und daß hier die Schwingungen des Aethers längere, mithin langsamere Wellen erzeugen, als die Schwingungen des Lichts.

§ 353. Ein hoher Grad von Wärme heißt Hitze. Wenn ein Körper bei seiner Erhitzung zugleich leuchtet, so nennt man dessen Zustand das Glühen. Eine Verbindung von Licht und Wärme wird Feuer, die Zerstörung eines Körpers durch die Hitze, das Verbrennen, und der glühende Dunst, der sich während des Verbrennens von einigen Körpern losreißt, Flamme genannt.

Ein geringer Grad von Wärme heißt Kälte, und die verschiedenen Zustände von Wärme nennt man Temperatur.

Das Wort Kalt ist ein rein relativer Begriff; denn wir nennen einen Körper kalt, wenn seine Temperatur geringer ist, als die eines andern.

§ 354. Wärme und Hitze, sogar Glühen und Flamme werden erzeugt: 1) Durch starkes Reiben zweier harter Körper an einander; 2) durch die Sonnenstrahlen, besonders mit Hülfe des Brennglases; 3) durch gewisse Materialien, die, mit einander gemischt, eine chemische Verbindung eingehen; so erzeugen z. B. ungelöschter Kalk mit Wasser, auch Vitriolöl mit Wasser gemischt; ferner die Berührung des Wasserstoffgases mit dem Platinschwamm eine große Hitze; 4) durch Gährung; z. B. nasses Heu, zusammengelegtes wollenes, fettiges Zeug, feuchtes Mehl ꝛc entzünden sich von selbst; ja man hat

sogar Beispiele von Selbstentzündung des menschlichen Körpers; 5) durch eine plötzliche und starke Zusammenpressung der Körper, namentlich der Luft, wie beim pneumatischen Feuerzeuge (Nolletsche Pumpe); 6) durch den Stoß; 7) durch Electricität und Galvanismus; 8) durch thierische Lebensthätigkeit, und 9) durch Veränderung der Agregatformen und Aenderung des Volumens. Auch die ursprüngliche Wärme der Erde ist eine Quelle der Wärme.

Was nun auch die Quelle der Wärme sei, in ihrem Verhalten zu den Körpern zeigt sie stets gleiche Erscheinungen.

§ 355. Wirkt die Wärme ausdehnend auf die Körper oder auf unser Gefühl und das Thermometer, so heißt sie freie Wärme; wirkt sie aber verändernd auf den Aggregatzustand der Körper, indem sie dieselben schmelzt oder verdampft, so wird sie gebundene (latente) Wärme genannt. In diesem Falle zeigt die Wärme keine Einwirkung auf das Gefühl und Thermometer, weil sie bei der Verwandlung des festen Körpers in den flüssigen, und des flüssigen in den dampfförmigen Zustand verbraucht und dadurch unwirksam auf das Gefühl und Thermometer wird.

§ 356. Jeder Körper wird durch die freie Wärme ausgedehnt und durch die Kälte zusammengezogen, einige mehr, andere weniger, und zwar dehnen sich die luftförmigen am meisten, die tropfbar-flüssigen weniger und die festen am wenigsten aus, wenn sie gleichen Temperaturen ausgesetzt werden. Auf die Eigenschaft der Wärme, daß sie alle Körper ausdehnen, und daß man umgekehrt aus der Aenderung des Volumens eines Körpers auf eine Aenderung seiner Wärme schließen könne, gründet sich ein sehr nützliches Werkzeug, die verschiedenen Zustände der Wärme eines Körpers zu messen. Dieses Werkzeug heißt Thermometer oder Wärmemesser. Es gibt mehrere Arten von Thermometern, am meisten sind aber die Queckſilberthermometer im Gebrauch, weniger die Weingeist- und Metallthermometer.

§ 357. Das Queckſilberthermometer besteht aus einer Glasröhre, in welcher Queckſilber steigt oder fällt, je nachdem die umgebende Luft oder andere Körper, mit denen das Werkzeug in Berührung gebracht wird, wärmer oder kälter sind. Am untern Ende der Glasröhre wird eine Kugel angeblasen, welche im Vergleich mit der Röhre einen großen Durchmesser hat, um das Steigen und Fallen des Queckſilbers in der Röhre desto merklicher zu machen. Das Weingeiſtthermometer ist dem Queckſilberthermometer gleich, nur ist im erstern ein gefärbter Spiritus enthalten.

Der Gang des Weingeiſtthermometers ist jedoch abweichend von dem des Queckſilberthermometers, weil der Weingeist schon unter 100° C siedet und sich in der Nähe des Siedepunktes sehr große Unregelmäßigkeiten in der Ausdehnung des Weingeistes zeigen. So sind — 20° Queckſilb. = — 14,1 Weingeist; — 10° Queckſ. = — 7,7 Weingeist und + 40° Queckſ. = + 35,1° Weingeist ꝛc. Cornelius Drebbel, ein Landmann in Holland ist Erfinder des Thermometers (1630); nach andern soll es Galilei gewesen sein.

§ 358. Zur Anfertigung eines Thermometers darf man nur Glasröhren nehmen, welche allenthalben von gleichem Durchmesser sind, was man daran erkennt, daß ein Queckſilbertropfen, den man in einer solchen Röhre hin und her laufen läßt, an allen Stellen derselben gleiche Länge hat. Nachdem an der Röhre eine Kugel angeblasen ist, wird sie mit reinem und luftleerem Queckſilber gefüllt. Man erhält dieses rein durch Destillation; luftleer dadurch,

daß man es in einem Kolben bis zum Sieden erhitzt, diesen dann verschließt und endlich beides kalt werden läßt.

Um das Queckſilber in die Röhre zu füllen, wird die Kugel erwärmt, damit ſich die darin befindliche Luft ausdehne, und hierauf die offene Spitze der Röhre raſch in Queckſilber getaucht. Beim Erkalten der Kugel ſteigt das Queckſilber in der Röhre bis in die Kugel. Sodann erhitzt man die in die Kugel geſtiegenen Tropfen Queckſilber bis zum Kochen, wodurch die Queckſilberdämpfe den ganzen innern Raum der Röhre ausfüllen und die darin befindliche Luft vollſtändig austreiben, und wenn man nun abermals das offene Ende der Röhre raſch in Queckſilber taucht, ſo füllt ſich die Kugel ganz, und die Röhre zum Theil mit Queckſilber. Hierauf regulirt man das Thermometer, d. h. man fügt noch ſo viel Queckſilber hinzu, oder man treibt noch ſo viel Queckſilber heraus, wie es gerade der mittlern Temperatur entſpricht, für welche das Thermometer beſtimmt iſt; alsdann wird das Queckſilber in der Röhre abermals erwärmt, und in dem Augenblicke, wo oben einige Queckſilbertröpfchen hervortreten wollen, das Ende der Röhre mittelſt der Löthrohrflamme zugeſchmolzen.

§ 359. Das Graduiren des Thermometers beſteht darin, daß man zwei feſte Punkte auf der Röhre bemerkt und den Zwiſchenraum (den Fundamental-Abſtand) in gleiche Theile theilt. Für die feſten Punkte nimmt man in der Regel den Gefrierpunkt und den Siedepunkt des Waſſers. Um den Gefrierpunkt zu beſtimmen, ſteckt man die Thermometerkugel nebſt der Röhre in ein Gefäß, darin ſich fein geſtoßenes Eis und Waſſer befindet. In dieſer Miſchung ſinkt das Queckſilber in der Röhre allmählig bis zu einem beſtimmten, unveränderlichen Punkt herab. Dieſen Punkt, welchen man den natürlichen Gefrierpunkt nennt, bezeichnet man genau mit einem Diamant.

Den Siedepunkt beſtimmt man dadurch, daß man das Thermometer in ein Gefäß mit langem Halſe taucht, in welchem man deſtillirtes Waſſer zum Kochen bringt. Der Dampf entweicht durch zwei Seitenröhrchen des Gefäßes. Innerhalb dieſes Gefäßes, ganz von Dampf umgeben, befindet ſich das Thermometer. Der Dampf hat dieſelbe Temperatur, als die der oberſten Waſſerſchichte. Das Queckſilber ſteigt bald bis zu einem Punkte, auf dem es feſt ſtehen bleibt und den es nicht überſchreitet. Man bezeichnet auch dieſen Punkt, welchen man Siedepunkt nennt, genau mit einem Diamant.

Den Siedepunkt beſtimmt man bei dem Normalbarometerſtande von 28 Zoll par.; bei einem andern Stande des Barometers iſt an den gefundenen Temperaturgraden eine Verbeſſerung anzubringen.

§ 360. Der auf dieſe Weiſe gefundene Fundamental-Abſtand iſt von Réaumur in 80, von Celſius in 100, von de l'Isle in 150 gleiche Theile oder Grade getheilt, welche Eintheilung man Scale nennt. Réaumur und Celſius zählen die Grade vom Gefrierpunkt an; de l'Isle hingegen bezeichnet umgekehrt den Siedepunkt mit 0°, und ſetzt an den Gefrierpunkt 150°. Fahrenheit fand, indem er ſein Inſtrument in eine Miſchung von Schnee und Salmiak ſetzte, einen dritten feſten Punkt, den er den künſtlichen Gefrierpunkt nannte, um ihn von dem gleichnamigen natürlichen zu unterſcheiden. Er theilte den Abſtand zwiſchen dem künſtlichen Gefrierpunkte und dem Siedepunkte in 212 Grade, von welchen 32 Grade auf den Raum zwiſchen dem künſtlichen und natürlichen Gefrierpunkte, und 180 Grade auf den Abſtand des Siedepunktes vom natürlichen Gefrierpunkte fallen. Sein künſtlicher Gefrierpunkt iſt mit 0°, ſein natürlicher mit 32° und ſein Siedepunkt mit 212° bezeichnet. Die Wärmegrade werden mit +, und die Kältegrade mit — bezeichnet.

Hieraus ist häufig der Irrthum entstanden, als ob ein Körper, dessen Temperatur unter 0° steht, keine Wärme mehr enthalte, während man doch aus der Verschiedenheit der Kältegrade selbst sieht, daß er noch immer Wärme verlieren könne.

§ 361. Die Reduction dieser verschiedenartigen Thermometerscalen ist sehr einfach; denn es sind

$$100^\circ\,C = 80^\circ\,R = 180^\circ\,F; \text{ folglich}$$
$$1^\circ\,C = \tfrac{4}{5}{}^\circ\,R = \tfrac{9}{5}{}^\circ\,F, \text{ und}$$
$$1^\circ\,R = \tfrac{5}{4}{}^\circ\,C = \tfrac{9}{4}{}^\circ\,F; \text{ eben so}$$
$$1^\circ\,F = \tfrac{5}{9}{}^\circ\,C = \tfrac{4}{9}{}^\circ\,R.$$

Um indeß die angegebenen Grade des einen dieser Thermometer auf die des andern zurückzuführen, hat man zu bedenken, daß die Nullpunkte derselben nicht zusammenfallen. Will man Fahrenheitsche Grade in Celsiussche oder Réaumursche verwandeln, so hat man von der gegebenen Anzahl der Farenheitschen Grade 32 abzuziehen und dann den Rest für das Celsiussche Thermometer mit $\frac{5}{9}$ und für das Réaumursche mit $\frac{4}{9}$ zu multipliciren. Es sind demnach $n^\circ\,F = (n - 32) \cdot \frac{5}{9}{}^\circ\,C = (n - 32) \cdot \frac{4}{9}{}^\circ\,R$.

Will man Celsiussche oder Réaumursche Grade in Fahrenheitsche verwandeln, so multiplicire man erstere mit $\frac{9}{5}$ und letztere mit $\frac{9}{4}$, und addire zu diesem Produkt 32° hinzu. Diesemnach sind

$$n^\circ\,C = (n \cdot \tfrac{9}{5} + 32)^\circ\,F, \text{ und}$$
$$n^\circ\,R = (n \cdot \tfrac{9}{4} + 32)^\circ\,F.$$

In Deutschland und Rußland ist vorzugsweise das Reaumursche, in Schweden und Frankreich das Celsiussche, und in England das Fahrenheitsche Thermometer im Gebrauch.

§ 362. Die Erfahrung lehrt, daß Queckſilberthermometer zum Gebrauche besser sind, als Weingeiſtthermometer, weil das Queckſilber 1) überaus empfänglich ist für Wärme und Kälte; 2) siedet es erst bei einer sehr hohen Temperatur (400° C) und dehnt sich gleichmäßiger aus als Weingeiſt, welcher bei höhern Temperaturen elaſtiſche Dämpfe entwickelt, die das Steigen der Flüſſigkeit in der Röhre hindern und unregelmäßig machen. Die Figur 111 zeigt die Zuſammenſtellung der vier in § 360 genannten Thermometerscalen.

§ 363. Unter den verschiedenartigen Metallthermometern ist folgendes das empfindlichste und daher das beste (Fig. 112).

Es besteht aus 3 Metallſtreifen von Silber, Gold und Platin, von denen der goldene eigentlich nur als Löthungsmittel für die beiden andern zu betrachten ist. Das Ganze ist wie eine Schraube gewunden und hängt mit dem obern Ende an BC fest, während das untere mit einer horizontalen, feinen Nadel verbunden ist, welche bei der Auf- und Zudrehung des Streifens die Grade des Kreiſes vor- und rückwärts durchläuft. Dieſes Inſtrument wird nach einem empfindlichen Queckſilberthermometer graduirt. Der ganze Apparat ist mit einer Glasglocke bedeckt.

Das Metallthermometer beruht auf folgendem Grunde. Silber und Platin dehnen ſich für gleiche Aenderung der Temperatur um ungleiche Größen aus. Werden nun zwei Streifen dieſer beiden Metalle zuſammengelöthet, und ist der ſo vereinigte Blechſtreifen bei einer gewiſſen Temperatur vollkommen gerade, ſo krümmt er ſich bei jeder andern Temperatur, entweder rechts oder links und bewegt auf dieſe Weiſe den an das untere Ende dieſes Blechſtreifens befeſtigten Zeiger, der ſodann die Grade der Temperatur an einem genau eingetheilten Kreiſe anzeigt. Auf der ungleichen Ausdehnung der Körper durch Wärme beruht das Krachen des Eiſes bei großer Winterkälte, das Zerreißen eiſerner Klammer in Gebäuden, wenn ſie bei großer Kälte befeſtigt wurden, das Zerſpringen gläſerner Gefäße beim ſchnellen Erhitzen oder Erkalten u. ſ. w.

§ 364. Um größere Grade der Hitze als die des siedenden Queckſilbers zu bemerken, hat man andere Vorrichtungen, die Pyrometer heißen und aus feſten Maſſen beſtehen, welche ſich durch Wärme und Kälte ebenfalls ausdehnen und zuſammenziehen. Man braucht dazu hauptſächlich Metallſtäbe und Thon. Um Veränderungen der Ausdehnung eines Metallſtabes bb' (Fig. 113) merklich zu machen, lege man denſelben horizontal in ein Gefäß mit Waſſer, welches langſam erwärmt wird, ſtütze ihn dann, mit einem Ende gegen den Widerſtand ff', während ſein anderes Ende gegen den kürzern Arm eines Winkelhebels lcl' ſtößt, der ſich um den feſten Punkt c drehen kann. Wenn nun das Ende l des kürzern Hebelarms durch die Ausdehnung des Stabes bb' auch nur wenig fortgeſchoben wird, ſo wird das andere Ende l' einen weit größern Weg zurücklegen, und man kann auf dieſe Weiſe die kleinſte Verlängerung des Metallſtabes bb' noch ſichtbar machen, wenn nur die Länge cl' ſehr groß iſt im Vergleich zu cl. Es iſt agd ein in Grade eingetheilter Bogen, an dem man das Fortſchreiten des Zeigers cl' ſehr genau wahrnehmen kann.

Erfinder dieſes Pyrometers iſt Muſchenbroeck.

§ 365. Der Engländer Wedgewood, Verfertiger vortrefflicher Steingutgefäße, wählte zum prüfenden Stoffe ſeines Pyrometers den Thon von Cornwallis, der die Eigenſchaft beſitzt, ſich, ohne bei plötzlich eintretender Erkaltung wieder ausgedehnt zu werden, im Feuer immer mehr zuſammenzuziehen. Aus dieſem Thon verfertigte er Würfel und trocknete ſie auf einem ſo eben in die Rothglühhitze übergehenden Eiſenbleche. Sein Pyrometer beſteht aus zwei auf eine Metallplatte ab (Fig. 114) angelötheten Metallſtäben ce und df von 2 Fuß Länge, welche oben um $\frac{1}{2}$, und unten um $\frac{3}{10}$ Zoll von einander abſtehen. Er ſchliff jene getrockneten Thonwürfel ab, paßte ſie vollkommen zwiſchen die Stäbe bei g ein, bezeichnete diejenige Stelle, wo ihre innere Seite lag, mit Null, und theilte von dort aus die Länge der Stäbe in 240 gleiche Theile oder Grade. Der Nullpunkt iſt die Rothglühhitze des Eiſens, d. i. 464° R. oder 1076° F., und jeder Grad dieſes Pyrometers iſt = 58° R. oder $162\frac{1}{2}$° F.

Brachte er nun ſpäter eine jener Thonwürfel in eine höhere Hitze, ſo durfte er ihn nach ſeiner Abkühlung bloß zwiſchen die Maßſtäbe ſchieben, um den Pyrometergrad zu finden.

Dieſes Pyrometer iſt wegen der Schwierigkeit der Feſtſtellung ſeines Nullpunktes ein unſicheres Inſtrument.

Das zuverläſſigſte Mittel zur Beſtimmung höherer Temperaturen bietet uns die Ausdehnung der Luft dar. Man erhitzt nämlich ein Platinſchalchen und taucht es in Queckſilber. Je mehr nun die im Platinſchalchen enthaltene Luft durch die Hitze verdünnt iſt, deſto mehr Queckſilber ſteigt in daſſelbe. Aus der Menge dieſes Queckſilbers ſchließt man auf den jedesmaligen Wärmegrad.

§ 366. Unter den Metallen dehnt ſich Platin am wenigſten, Zink am ſtärkſten aus; bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° dehnt ſich aus: Queckſilber um 0,018, Waſſer um 0,045, Weingeiſt und Oel um 0,1 ihres Volumens bei 0°. Die Gaſe dehnen ſich durch Erwärmung weit ſtärker aus, als alle übrigen Körper und zwar ſtets der Temperaturerhöhung proportionirt. Bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° beträgt die Ausdehnung der Gaſe 0,365 ihres Volumens bei 0°.

§ 367. Auf die Ausdehnung der festen Körper muß in vielen Fällen Rücksicht genommen werden. So hat die Aenderung in der Länge des Pendels bekanntlich großen Einfluß auf den Gang der Uhren. Soll daher die Länge des Pendels bei höhern, wie bei niedern Temperaturen dieselbe sein; so muß die Uhr mit einem sogenannten Compensationspendel versehen sein (Fig. 115). Dieses Pendel besteht aus 2 oben durch AC verbundenen Stahlstangen AB und CD, welche unten durch BE und HD mit 2 Zinkstangen EF und GH in Verbindung stehen; in der Mitte der Verbindung FG ist das 30 Zoll lange Pendel IK von Stahl mit der Linse K angebracht. Gibt man jeder Stahlstange die Länge von 30" und jeder Zinkstange die Länge von 24", so bleibt die Linse K vom Aufhängepunkt I für alle Temperaturen stets dieselbe. Denn da sich eine Stahlstange bei einem Wärmeunterschiede von 1° für jeden Zoll um 12 milliontel, also für 30" um 360 milliontel, eine Zinkstange aber für 1 Zoll bei demselben Wärmeunterschiede um 30 milliontel, folglich für 24" um 720 milliontel ausdehnt; so sinkt die Linse das eine Mal wegen der Ausdehnung der Stahlstangen um 360, das andere Mal wegen der Ausdehnung der Pendelstange um 360, also im Ganzen um 720 milliontel; sie wird aber wegen der Ausdehnung der Zinkstangen um 720 milliontel gehoben und bleibt deßhalb in derselben Entfernung vom Aufhängepunkte.

§ 368. Auch die Chronometer oder Seeuhren, welche nicht durch Pendel, sondern durch Federn in Bewegung gesetzt werden, haben eine ähnliche Compensation; denn dehnt sich die Spiralfeder aus, was bei höherer Temperatur gewiß geschieht, so vermindert sich ihre Elasticität, und die damit verbundene Unruhe macht daher langsamere Schwingungen; es muß also eine solche Vorrichtung getroffen werden, wodurch sich der Halbmesser der Unruhe (Fig. 116) inzwischen verkürzt, damit sie auf diese Weise wieder schneller schwinge. Dieses wird dadurch erreicht, daß man die gekrümmten Theile der Unruhe B aus 2 Metallstreifen zusammensetzt, von denen der innere dc aus Stahl, der äußere ab aus Messing besteht.

Da sich das Messing bei zunehmender Temperatur weit mehr ausdehnt, als der Stahl, so bekommen jene Theile der Unruhe eine stärkere Krümmung, die schwerenMassen M treten also näher an den Mittelpunkt B und schwingen daher schneller.

§ 369. Die freie Wärme wird von einem Körper zum andern auf zwei von einander ganz verschiedene Weisen übergetragen, entweder durch Fortleitung oder durch Ausstrahlung,

Bei der ersten Art der Fortpflanzung verbreitet sich die freie Wärme im Innern der Körper von Theilchen zu Theilchen nach allen Seiten hin; bei der zweiten Art dagegen strömt die Wärme aus dem heißen Körper und verbreitet sich durch den lufterfüllten und luftleeren Raum nach allen Richtungen in geraden Linien, wie das Licht.

Daher unterscheidet man, nach Art der Verbreitung der Wärme, fortgeleitete und strahlende Wärme.

A. Die fortgeleitete Wärme.

§ 370. In Beziehung auf die fortgeleitete Wärme ist zunächst zu bemerken 1) daß, wenn zwei Körper von verschiedenen Temperaturen in Berüh-

rung kommen, der wärmere seine Wärme dem weniger warmen allmählig mittheilt und zwar so lange, bis beide gleiche Temperatur haben. Diese Mittheilung geschieht desto schneller, je größer der Unterschied der Temperaturen war; 2) daß nicht alle Körper die Wärme mit gleicher Geschwindigkeit annehmen, in sich fortleiten und sie wieder andern Körpern mittheilen. Man unterscheidet in dieser Hinsicht gute, mittelmäßige und schlechte Wärmeleiter. Ein guter Wärmeleiter ist ein solcher Körper, der die ihm mitgetheilte Wärme rasch in sich aufnimmt, sie durch sich fortleitet und andern anliegenden Körpern schnell mittheilt, also bald erkaltet. Ein schlechter Wärmeleiter hat die entgegengesetzte Eigenschaft, und ein mittelmäßiger Leiter steht zwischen den beiden erstgenannten Wärmeleitern.

Die besten Wärmeleiter sind die Metalle und zwar in nachstehender Ordnung: Gold, Platin, Silber, Kupfer, Eisen, Stahl, Zinn, Blei ꝛc; zu den mittelmäßigen gehören: Glas, Marmor, Porcellan, Töpfergeschirre u. s. w., und zu den schlechten Wärmeleitern rechnet man Holz, Horn, Papier, Haare, Wolle, Seide, Federn, Pelzwerk, Stroh, Kohle, trockene und stille Luft, auch Wasser (wenn es von oben erwärmt wird) und andere tropfbare und luftförmige Flüssigkeiten, besonders der Schnee.

Es halten daher unsere dünnen Fensterscheiben die Wärme im Zimmer gut zusammen, wenn es auch außerhalb sehr kalt ist. Die Glasur über den Kacheln unserer Oefen ist nicht vortheilhaft, weil sie das Ausströmen der Wärme hindert. Kleidungen von Wolle, Seide, so wie Pelzwerk leiten die Wärme schlecht und sind daher gute Wärmebehälter. Strohdächer halten im Winter wärmer und im Sommer kühler, als Ziegeldächer. Eine hölzerne Bekleidung der Wände oder Zeugtapeten halten ein Zimmer wärmer als steinerne Wände. Bäume, Kellerfenster ꝛc werden durch Bedeckung mit Stroh oder Dünger vor dem Frost geschützt. Der Nutzen hölzerner Griffe an metallenen Gefäßen ist einleuchtend. Dagegen leitet feuchte Luft die Wärme stärker, als trockene; daher die Herbstkälte, die viel Feuchtigkeit mit sich führt, uns auch empfindlicher ist, als die trockene Winterkälte, obgleich letztere nach dem Thermometer größer ist, als jene.

Werden ein Stück Eisen, Stein und Holz von gleicher Temperatur mit der Hand berührt, so fühlt sich das Eisen kälter, als der Stein, und dieser wieder kälter, als das Holz an. Dieß kommt daher, weil das Eisen als besserer Wärmeleiter der Hand schneller die Wärme entzieht, als Stein oder Holz, und weil die Empfindung von Kälte nichts anderes ist, als das Gefühl von zu starkem Abgange an Wärme. Wir nennen daher einen Körper warm, wenn er unserm Körper Wärme mittheilt, und kalt, wenn er ihm Wärme entzieht.

3) Bei tropfbar-flüssigen und luftförmigen Körpern wird die Fortpflanzung der Wärme vorzüglich durch Strömung bewirkt, indem die unten am Boden zunächst liegenden Schichten der Flüssigkeit durch das Feuer specifisch leichter werden, dadurch in die Höhe steigen und eine Strömung hervorbringen, und auf diese Weise die ganze Flüssigkeit rasch erwärmen.

Eine Mittheilung der Wärme findet zwar hiebei auch statt, aber in einem sehr geringen Grade. Dieß beweiset die verhältnißmäßig sehr langsame Erwärmung des Wassers, welches unmittelbar von oben erwärmt wird.

Wenn die Flamme eines brennenden Lichts in der wenig geöffneten Thür eines geheizten Zimmers gehalten wird, so wird sie durch die Luftströmung oben nach außen, unten nach innen geblasen, während sie in der Mitte der Thür ruhig fortbrennt. Die Luftheizung. — In jeder geheizten Stube nimmt die Wärme mit der Höhe zu. Land- und Seewinde. Windöfen. Luftzüge.

B. Die strahlende Wärme.

§ 371. Die strahlende Wärme unterscheidet sich von der fortgeleiteten dadurch, daß sie nicht nur durch den lufterfüllten und luftleeren Raum wirkt, ohne ihn zu erwärmen, sondern auch durch viele andere Körper. Durch genaue Beobachtungen hat man gefunden 1) daß die Fortpflanzung der strahlenden Wärme in geraden Linien und nach allen Richtungen hin geschieht, wie beim Licht; 2) daß die Geschwindigkeit der Wärmestrahlen gleich der Geschwindigkeit des Lichts ist und die wärmende Kraft (Intensität) der Wärmestrahlen abnimmt, wie die Quadrate der Entfernungen von der Wärmequelle zunehmen, wie beim Licht; 3) daß die Beschaffenheit der Oberfläche eines Körpers einen großen Einfluß auf das Ausströmungsvermögen seiner Wärme hat. Die Erfahrung zeigt, daß ein Körper die Wärme desto besser ausstrahlt, je höher seine Temperatur, und je rauher und dunkler seine Oberfläche ist.

Füllt man einen Metallwürfel, dessen eine Seite glänzend polirt, die andere matt geschliffen, die dritte mit weißer und die vierte mit schwarzer Farbe überzogen ist, mit siedend heißem Wasser an, und hält ihn einem Brennspiegel in einiger Entfernung gegenüber; so wird man finden, daß das im Brennpunkte dieses Spiegels stehende Thermometer steigt, wenn man die geschwärzte Seite des Würfels dem Spiegel zuwendet, und daß die Erwärmung desselben durch die weiße oder mattgeschliffene Seite weniger, durch die polirte aber am wenigsten beträgt. Hiernach ist leicht einzusehen, wie die Oberflächen der Gefäße und der Oefen beschaffen sein müssen, wenn erstere die Speisen und Getränke desto länger warm erhalten, und letztere desto besser die Wärme in sich aufbewahren oder von sich geben sollen. Eine mit Ruß überzogene silberne Kugel strahlt die Wärme 10mal schneller aus, als wenn sie bloß polirt ist. — Ein gut polirter Metallspiegel wird, wenn er den Wärmestrahlen der Sonne oder des Feuers ausgesetzt ist, fast garnicht erwärmt, während sich das unpolirte und geschwärzte Metall bei denselben Wärmestrahlen stark erhitzt. — Schwarze Wände von Holz und Stein, so wie schwarze Kleidungen werden durch die Sonnenstrahlen fast unerträglich heiß. — Ein Papier entzündet sich durch die concentrirten Sonnenstrahlen eher, wenn es schwarz ist. So schmilzt auch der Schnee unter schwarzem Tuche eher, als unter weißem.

4) Daß die Wärmestrahlen, wenn sie auf einen festen Gegenstand treffen, ganz die Gesetze der Zurückwerfung der Lichtstrahlen befolgen.

Dieß beweiset der Versuch mit zwei Hohlspiegeln, welche in einiger Entfernung so gegen einander gestellt werden, daß ihre Axen in eine gerade Linie fallen. Stellt man in den Brennpunkt des einen Spiegels ein brennendes Licht und in den andern die Thermometerkugel, so steigt das Quecksilber sichtbar; eben so kann durch eine glühende Holzkohle in dem einen Brennpunkte ein leicht entzündbarer Gegenstand in Brand gerathen.

Die Erfahrung zeigt, daß die Wärmestrahlen von polirten Metallen am vollkommensten, von nichtmetallischen aber fast wenig oder garnicht zurückgeworfen werden.

5) Daß die Wärmestrahlen, welche ein Körper verschluckt (absorbirt), ihr Ausstrahlungsvermögen verlieren und die Temperatur desselben im Verhältniß ihrer Menge erhöhen. Ein Körper wird desto schneller und stärker erwärmt, je weniger Strahlen er zurückwirft, je weniger er sie durchläßt und je weniger schräg sie ihn treffen.

Dieß beweisen die Versuche mit verschiedenfarbigen Tuchläppchen, die man bei Sonnenschein auf Schnee legt. Der Schnee ist unter den dunkelfarbigen Tuchläppchen ungleich mehr geschmolzen, als unter den hellfarbigen; daher trägt man gern im Winter schwarze, und im Sommer weiße Kleider.

6) Daß es Körper gibt, z. B. Steinsalz und die Luft, welche die Wärmestrahlen so vollständig durchlassen, wie die durchsichtigen Körper die Lichtstrahlen. Eben so lassen wiederum andere Körper gar keine Wärmestrahlen durch, wie die undurchsichtigen keine Lichtstrahlen.

Fast alle vollkommen undurchsichtigen Körper lassen, außer das schwarze Glas und der schwarze Glimmer, die Wärmestrahlen nicht durch. Auch gibt es Körper, die gewisse Wärmestrahlen vorzugsweise durchlassen und andere verschlucken, wie die farbigen Gläser das Licht. Und

7) daß die Wärmestrahlen, wenn sie auf ein Salzsteinprisma durch eine kleine Oeffnung eines Schirmes fallen, eben so gebrochen werden, wie die Lichtstrahlen und ein Wärmespectrum erzeugen, das für Prismen von verschiedener Materie auch verschieden ist. Eben so finden wir an verschiedenen Stellen des Spectrums auch eine Ungleichheit in der erwärmenden Kraft. Im Allgemeinen nimmt die wärmende Kraft von dem violetten nach dem rothen Ende des Spectrums zu, die wärmste Stelle ist jedoch von der Natur des Prismas abhängig. —

Wir können aus Körpern, welche die Wärme durchlassen, Linsen verfertigen, welche die Wärme in ihrem Brennpunkte vereinigen.

Wir haben also gesehen, daß die Gesetze über die strahlende Wärme fast in allen Beziehungen mit denen des Lichts übereinstimmen, woraus mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit gefolgert werden kann, daß eine Wärme eben so zusammengesetzt sei, als das weiße Licht, und daß eine Wärmequelle zugleich Strahlen von unendlich vielen Arten aussende, welche sich durch die größere oder geringere Leichtigkeit unterscheiden, mit welchen sie durch verschiedene Körper gehen, so daß wir hier ähnliche Differenzen finden, als bei der Färbung durchsichtiger Körper.

§ 372. Man hat sogar eine Trennung des Lichtes von der Wärme bewirkt. Läßt man z. B. Sonnenlicht und irdisches Licht durch eine hinlänglich dichte Wasserschicht gehen, so zeigen beide, nach dem Durchgange durch Linsengläser, keine Einwirkung auf das empfindlichste Thermometer. Das Wasser hat also die Wärmestrahlen verschluckt und das Licht durchgelassen. Läßt man dagegen Sonnen- und irdisches Licht durch schwarzen Glimmer und schwarzes Glas gehen, so gehen die Wärmestrahlen durch und die Lichtstrahlen werden verschluckt.

Durch eine Glasplatte wird die strahlende Wärme des irdischen Feuers, aber nicht die der Sonne abgehalten.

Strahlende Wärme läßt sich auch, außer durch Linsengläser, noch auf eine andere Art durch Sammlung oder Anhäufung in einem Behältnisse verdichten, welches durch mehrere von einander abstehende Glasglocken verschlossen ist, die der Sonnenwärme oder einer andern strahlenden Hitze ausgesetzt werden. Die strahlende Wärme wird nämlich, indem sie an schwer leitende Körper, — hier das Glas, — stößt, immer langsamer fortgepflanzt und dem andern Raum mitgetheilt, aus welchem sie nicht so leicht wieder entweichen kann. Auf diese Weise soll man die Wärme so concentrirt haben, daß dadurch Blei, ja sogar Eisen — wie Ducarla behauptet — in Fluß gebracht worden sei. In Treibhäusern und Mistbeeten wird die Wärme durch Bedeckung mit Glasfenstern aufgehalten.

§ 373. Wenn ein Körper mittelst der Wärme aus dem festen Zustande in den flüssigen übergeht, bemerkt man zwei besondere Erscheinungen: 1) bleibt der Körper fast bis zu einer bestimmten Temperatur, welche für denselben stets unveränderlich ist und bei welcher allein die Schmelzung anfangen kann; und 2) ändert sich während des Schmelzens die Temperatur nicht, wie viel Wärme auch in den Körper eindringen mag. Es wird also jedesmal beim Schmelzen Wärme gebunden (absorbirt), welche sich gleichsam im Körper versteckt, ohne auf das Gefühl oder das Thermometer weiter zu wirken.

Die Unveränderlichkeit des Schmelzpunktes und die Bindung (Absorption) der freien Wärme sind zwei wesentliche Bedingungen des Schmelzens.

Der zum Schmelzen verschiedener Körper erforderliche Wärmegrad ist sehr verschieden, welcher von der größern oder geringern Kraft, womit die Körpertheilchen zusammengehalten werden, abhängt. So schmilzt das durch Kälte fest gewordene Queckſilber bei — 39° C; der Schnee bei 0°; das Wachs bei 61° C; der Schwefel bei 109° C; der Zinn bei 227° C; das Blei bei 321° C; das Silber bei 1220° C; das Gußeiſen bei 1900° C u. ſ. w.

Viele Gemiſche, beſonders Metallgemiſche ſchmelzen bei niederen Wärmegraden, als ihre Beſtandtheile. So ſchmilzt z. B. das aus 10 Theilen Zinn, 207 Th. Blei und 284 Th. Wismuth beſtehende leichtflüſſige Metall ſchon bei 80° R. — Klempnerloth. — Schlagloth. In der Regel werden die Metalle durch Zuſammenſchmelzung (Legirung) weit feſter als die Metalle, aus denen ſie beſtehen; auch hier iſt ihre Dichtigkeit größer geworden. So wird z. B. Eiſen mit wenig Kohle verbunden zu Stahl, und dieſer wird in hohem Grade verbeſſert, wenn man ihm $\frac{1}{4}$ Procent Silber hinzufügt. Gold, Silber, Zinn werden härter, wenn man ſie mit Kupfer legirt.

§ 374. Wenn man 1 Pfund zerſtoßenes Eis von 0° mit 1 Pfund Waſſer von 60° R. zuſammenmengt, ſo wird, während das Eis ſchmilzt, das Thermometer ſtets auf 0° ſtehen. Die 60° Wärme ſind **feſt oder gebunden** (latent) und werden zur Schmelzung des Eiſes verbraucht.

Das Waſſer von 0° hat noch 60° gebundene Wärme, um tropfbar zu ſein. Die Menge der gebundenen Wärme iſt bei den verſchiedenen Körpern verſchieden und zur Erhaltung der Aggregatform eines Körpers nothwendig.

§ 375. **Eine ſolche Bindung der Wärme findet jedesmal ſtatt, wenn ein feſter Körper flüſſig und ein flüſſiger luftförmig wird.** Hiedurch wird der Umgebung Wärme entzogen, mithin um den Körper Kälte erzeugt, wie dieſes nachſtehende Erſcheinungen beweiſen.

A. Bindung der Wärme, wenn ein feſter Körper flüſſig wird.

1) Man kann Waſſer über einem Kohlenfeuer gefrieren machen, wenn man unmittelbar über das Feuer einen Teller mit Schnee oder zerſtoßenem Eiſe, und auf dieſen wieder einen Teller mit Waſſer ſetzt. Indem nun der Schnee oder das Eis in dem untern Teller ſchmilzt, wird viel Wärme gebunden, welche dem Waſſer im obern Teller entzogen wird, wodurch das Waſſer und zwar zuerſt am Boden des Tellers gefriert. Dieſes Gefrieren geht deſto ſchneller von Statten, je mehr man die Kohlen durch Anblaſen glühend macht, und wenn man dazu zinnerne Teller anwendet.

2) Werden gefrorene Eier, Aepfel, Kartoffeln oder auch eine Flaſche mit gefrornem Bier in kaltes Waſſer gethan, ſo thauen ſie auf, während das Waſſer an der Oberfläche dieſer Gegenſtände gefriert.

3) Viel Wärme binden auch die kryſtalliſirten Salze bei ihrer Auflöſung, wodurch die benachbarten Körper ſtark abgekühlt werden. Miſcht man z. B. 1 Theil Waſſer mit $\frac{3}{5}$ Theil Salmiak oder $\frac{5}{6}$ Theil Salpeter oder auch $\frac{1}{2}$ Theil Glauberſalz, jedes pulveriſirt; ſo ſteigt die Temperatur von + 10° auf — 15° herab.

4) Wenn Schnee von — 10° und Kochſalz von — 10° gemengt werden, ſo verbinden ſie ſich zu einer flüſſigen Salzauflöſung; dabei ſinkt die Tempe-

ratur mehr und mehr, weil durch das Flüssigwerden zweier vorher fester Körper viel Wärme gebunden wird. Hierauf beruhen die sogenannten Kältemischungen.

5) Gepulvertes Glaubersalz, mit Salzsäure übergossen, gibt eine Temperaturerniedrigung von + 10° bis — 17° C.

B. Bindung der Wärme, wenn tropfbar-flüssige Körper in Dünste oder Dämpfe übergehen.

1) Wenn man Wasser in einem unbedeckten Gefäße erhitzt, so steigt das Quecksilber eines in das Wasser getauchten Thermometers bis zum Siedepunkte (80° R oder 100° C) und nicht höher. Alle noch zuströmende Wärme wird, wenn das Wasser zum Sieden gekommen ist, zur Verdampfung desselben verbraucht und dadurch für das Thermometer unthätig.

2) Hüllt man die Thermometerkugel in Baumwolle ein und feuchtet diese mit schwefliger Säure an, so geht die Verdampfung so schnell vor sich und die Entziehung der Wärme ist so stark, daß das Quecksilber in der Kugel gefriert.

Eine Flüssigkeit verdampft um so rascher und erzeugt bei ihrer Verdampfung eine um so größere Kälte, je tiefer ihr Siedepunkt liegt.

3) Durch Wassersprengen kann man im Sommer die Zimmer abkühlen.

4) Nasse Kleider erkalten den Körper sehr wegen Verdunstung der Nässe, wodurch viel Wärme gebunden und dem Körper entzogen wird.

5) Wenn man im Sommer eine mit einer Flüssigkeit gefüllte Bouteille mit einem feuchten Tuche umwickelt und sie der Sonnenhitze aussetzt; so bleibt die Flüssigkeit in derselben frisch. In den südlichen Ländern hat man Gefäße von porösem Thon, durch welche die darin enthaltene Flüssigkeit durchschwitzt, um sie durch die Verdunstung des durchgeschwitzten Theiles derselben kühl zu erhalten.

6) Man hat ein Gefühl von Kälte, wenn man die Hand mit Weingeist oder Aether benetzt.

7) Man hat selbst in heißen Sommertagen ein auffallendes Gefühl von Kälte, wenn man aus dem Bade steigt.

8) Ein warmes Zimmer wird schnell kalt, wenn nasse Wäsche in demselben getrocknet werden.

9) Werden von einer heißen Flüssigkeit die Dämpfe schnell fortgeführt, so erfolgt die Verdunstung schneller, und die Erkaltung ist bedeutender: daher scheint uns windiges Wetter bei einerlei Temperatur kälter, als ruhiges.

10) Wird die Flamme einer Lampe von einem Metallnetze aufgefangen, so ist sie wie abgeschnitten. Der Grund dieser Erscheinung ist aber die Abkühlung des Gases durch das Netz; auch beruht darauf Davy's Oel- und Grubenlampe, deren Flamme innerhalb eines cylindrischen metallenen Gewebes brennt.

§ 376. Wärme wird dagegen entbunden oder frei, wenn ein luftförmiger Körper flüssig, und ein flüssiger fest wird. Auch findet Entbindung der Wärme statt, wenn zwei flüssige oder zwei luftförmige Körper sich bei ihrer Mischung verdichten. Dieß zeigen folgende Erscheinungen:

1) Wasserdampf erhitzt den Deckel eines Theekessels, an dem er sich zu Wasser verdichtet, sehr bedeutend. Hier wird die den Dampfzustand bedingende Wärme wieder frei.

2) Ungelöschter Kalk erhitzt sich beim Löschen. Das zugegossene Wasser geht nämlich hierbei in den festen Zustand über, indem es sich mit dem Kalk verbindet, wodurch die Wärme, welche das Wasser früher tropfbar erhielt, frei und wirksam wird.

3) Wenn Wasser erkaltet wird, bis das Queckſilber im Thermometer unter dem Eispunkte steht, so steigt das Queckſilber bis zum Eispunkte hinauf, sobald das Wasser in Eis übergeht; woraus hervorgeht, daß das Wasser, während des Gefrierens desſelben, ziemlich viel Wärme entbinden muß, um die Temperatur des Gefäßes und des Queckſilbers auf 0° zu erhöhen.

4) Wasser und Schwefelsäure mit einander gemiſcht, entwickeln durch ihre Verdichtung einen hohen Wärmegrad.

5) Lebensluft und Salpeterluft mit einander vermiſcht, verdichten sich; es entsteht aus diesen luftförmigen Körpern Salpeterdampf, und es erfolgt dadurch Erhitzung.

6) Phosphorluft entzündet sich von selbst, wenn sie mit Lebensluft in Berührung kommt.

7) Strömt Dampf in Flüſſigkeiten, so werden diese schnell erwärmt; darauf beruht die Dampfheizung und das Verfahren, Flüſſigkeiten in hölzernen Gefäßen bis zum Sieden zu erhitzen.

8) Ist eine fest verschloſſene Flasche nicht ganz mit heißem Wasser gefüllt und schlägt man ein in kaltes Wasser getauchtes Tuch um ihren obern Theil, so fängt das Wasser zu sieden an.

§ 377. Nicht bloß dadurch wird eine Erwärmung und Erkaltung erzeugt, wenn Körper ihren Aggregatzustand ändern, sondern auch dadurch, wenn die Theile derselben durch Einwirkung mechaniſcher Kräfte einander genähert oder von einander entfernt werden.

So werden Metalle durch Hämmern oder beim Feilen sehr heiß. Wird Eisen um $\frac{1}{18}$, Kupfer um $\frac{1}{16}$, Silber um $\frac{1}{10}$ und Platin um $\frac{1}{17}$ seines Volumens zuſammengedrückt oder ausgedehnt (dilatirt); so steigt oder sinkt die Temperatur dieser Metalle um 100° C.

Besonders auffallend zeigt sich diese Erscheinung bei den Gasen. Wird Luft durch einen schnellen Stoß auf $\frac{1}{3}$ ihres Volumens zurückgeführt, so entsteht dadurch eine so große Hitze, daß leicht brennbare Körper entzündet werden, wie dieß bei dem pneumatischen Feuerzeug der Fall ist.

Werden die Körper zuſammengedrückt, also der Abstand der Theile verkleinert; so soll, nach der Emanations-Theorie, aus ihren Zwischenräumen die Wärme herausgedrückt und frei werden. Nach dem Undulationssyſteme wird die erhöhete Temperatur bei der Compreſſion eines Körpers dadurch erklärt, daß durch eine Annäherung seiner Theile an einander nicht nur die Anzahl der Schwingungen des Aethers größer werden, sondern daß auch neue, wahrscheinlich kürzere Schwingungen desſelben entstehen, während bei der Ausdehnung der Körper die Anzahl der Schwingungen abnimmt. Durch Nichts aber können diese Schwingungen leichter erregt werden, als durch das Hin- und Herbewegen an einander geriebener Körper.

Bei chemischen Proceſſen ist die Wärmeentwickelung aus der Vereinigung der beiden entgegengesetzten Electricitäten zu erklären (§ 421). Tritt so viel Wärme zu einem Körper hinzu, daß die abstoßende Kraft derselben der anziehenden Kraft seiner kleinſten Theilchen

fast gleich ist; so beginnt bei den festen Körpern die Schmelzung, bei den flüssigen die Gasform.

Beim Lebensprocesse wird gleichfalls Wärme entwickelt. Es ist die Temperatur im Innern des menschlichen Körpers nahe 37° C. Da wir uns fast beständig in einem Mittel befinden, dessen Temperatur geringer ist, als 37°, so müssen wir unaufhörlich Wärme ausstrahlen. Dieser Verlust an Wärme wird wahrscheinlich theils durch den Athmungsproceß, theils durch electrische Processe ersetzt, indem im erstern Falle Sauerstoff beim Athmungsprocesse in Kohlensäure verwandelt und bei Vermehrung der Dichtigkeit der letztern Wärme frei wird; im zweiten Falle wird bei der Zersetzung der Nahrungsmittel und der übrigen Säfte des Körpers Wärme entwickelt.

§ 378. Wenn Körper aus ihrem flüssigen Zustande in den festen übergehen, so wissen wir aus § 356, daß sich ihre Volumen jedesmal verkleinern. Nur einige Körper machen davon eine Ausnahme, namentlich das Wasser dessen Volumen beim Gefrieren sich im Verhältnisse von 9 : 10 vergrößert. Diese Raumvergrößerung rührt wahrscheinlich theils von den Zwischenräumen her, welche die Krystalle, indem sie heranschießen, zwischen sich lassen, theils auch von luftförmiger Materie, welche sich beim Gefrieren entwickelt. Von der letztern zeigen die Blasen, welche man in dem Eise findet.

Die größte Dichte des Wassers findet bei +3,9° R. statt; von hier nimmt sein Volumen bis zum Gefrierpunkt wieder zu, und hat bei 0° und + 8° gleiche Dichtigkeit. Die Gewalt, mit welcher das gefrierende Wasser die Wände des Gefäßes auseinander treibt, übersteigt alle Vorstellung.

§ 379. Der Grad der Temperatur, bei welchem die verschiedenen Flüssigkeiten sieden, ist sehr ungleich. So siedet bei 28 Zoll Barometerstande Salzäther bei 12° C., Alkohol bei 78, 4° C., Wasser bei 100° C., Terpentinöl bei 157° C., Vitriolöl bei 287° C., Quecksilber bei 356° C.

Der Siedepunkt der Flüssigkeiten ändert sich aber, sobald der Druck der Atmosphäre eine Aenderung erleidet. Je größer dieser Druck ist, desto höher steigt der Siedepunkt. Die aufsteigenden Flüssigkeitsbläschen haben nämlich den Druck der Atmosphäre und den der Flüssigkeitssäule zu überwinden. Im luftverdünnten Raume findet deßhalb das Sieden jeder tropfbaren Flüssigkeit eher statt, als in freier Luft; in einem zugedeckten Gefäße später, als im offenen, weil die Dämpfe einen stärkern Druck auf das Wasser ausüben, als die Atmosphäre.

So siedet das Wasser auf dem Montblanc, bei einer Barometerhöhe von 16 Zoll, schon bei 66° R.; auf dem Gipfel des Pic von Teneriffa, wo das Barometer auf 19" 1"' steht, bei 71° R. Ferner siedet Aether in luftleerem Raume bei 0°, Alkohol bei 9° und Wasser bei 31° C. Das siedende Wasser ist daher nicht an allen Orten der Erde gleich heiß; folglich ist es nicht überall gleich tauglich zur Bereitung der Speisen, namentlich zum Gahrkochen des Fleisches.

§ 380. Der Siedepunkt wird ferner verändert, wenn sich ein fremder Körper mit der Flüssigkeit chemisch verbindet. Jedes im Wasser auflösbare Salz erhöht den Siedepunkt desselben. Wasser mit Alkohol gemischt, erhält einen tiefern, mit Schwefelsäure, einen höhern Siedepunkt. Auch die Wände des Gefäßes üben auf den Siedepunkt der Flüssigkeit einen Einfluß aus, indem dieselbe in metallenen Gefäßen eher kocht, als in gläsernen.

Wenn das Wasser durch Vermehrung des Druckes auf seine Oberfläche im Sieden aufgehalten wird, so erhält sich seine Temperatur über die gewöhnliche Siedhitze oft sehr bedeutend.

Hierauf beruht die Wirkung der Papin'schen und Rumford'schen Töpfe, welche während des Kochens luftdicht verschlossen bleiben und, um dem Zerspringen derselben vorzubeugen, mit einem Sicherheitsventil versehen sind, das sich, sobald die Dämpfe in zu hohem Grade elastisch werden, öffnet und einen Theil derselben entläßt. In solchen Gefäßen kann man das Wasser bis auf 163° R erhitzen und darin Knochen, Holz, Horn zu einem Brei erweichen, ja sogar Blei in Fluß bringen.

Von der Temperatur bei Mischungen flüssiger Körper.

§ 381. Werden zwei flüssige Körper von ungleichen Temperaturen mit einander vermischt, so ist die Temperatur der Mischung verschieden, je nachdem es Körper von einerlei oder verschiedener Art sind. Sind die vermischten Körper von einerlei Art, z. B. vermischt man Wasser mit Wasser, oder Quecksilber mit Quecksilber, und haben beide gleiche Temperatur; so muß nothwendig die Temperatur nach der Mischung dieselbe sein. Mischt man dagegen zwei flüssige Körper von einerlei Art, aber von ungleicher Temperatur, so findet man überhaupt die Temperatur der Mischung von gleichartigen flüssigen Körpern, wenn man die Menge eines jeden mit ihrer Temperatur vor der Mischung multiplicirt, diese Produkte addirt und deren Summe durch die Summe der Menge dividirt.

Wenn M,m die Massen; T,t ihre Temperaturen, und x die Temperatur der Mischung bedeutet; so ist die Temperatur x der Mischung $= \frac{M.T+m.t}{M+m}$.

Ist $M = m$, so ist $x = \frac{T+t}{2}$, d. h. es ist die Temperatur der Mischung zweier flüssiger Körper von gleicher Masse oder gleichem Gewichte gleich der halben Summe ihrer Temperaturen.

Mischt man z. B. 3 Pfund Wasser von 40° mit 5 Pfund Wasser von 60°, so ist die Temperatur der Mischung $= \frac{3 \,.\, 40^\circ + 5 \,.\, 60^\circ}{3+5} = 52\frac{1}{2}^\circ$. Sind aber hier die Massen gleich, so ist die Temperatur der Mischung $= \frac{40^\circ + 60^\circ}{2} = 50^\circ$.

§ 382. Ganz anders aber verhält es sich bei der Mischung ungleichartiger flüssiger Körper. Wenn man z. B. in zwei Gefäße von einerlei Materie und gleicher Größe gleiche Mengen zweier verschiedener Flüssigkeiten gießt, etwa in das eine Terpentinöl und in das andere Wasser, und diese Flüssigkeiten über möglichst gleichen Weingeistflammen erhitzt; so erwärmt sich das Oel in derselben Zeit weit stärker, als das Wasser, und man kann fast annehmen, daß das Wasser zweier solcher Flammen bedarf, um mit dem Terpentinöl sich zu derselben Temperatur zu erheben.

Man sagt daher, da ähnliche Verschiedenheit bei allen Körpern vorkommen, der eine Körper binde mehr Wärme, als ein anderer, um seine Temperatur bis zu einem gewissen Grade zu erhöhen. Die Eigenschaft ungleichartiger Körper von gleichen Massen durch dieselben Mengen von Wärme zu verschiedenen Temperaturen erwärmt zu werden, heißt die Capacität derselben für die Wärme oder Wärmecapacität, und die Menge der Wärme, welche ein Körper von dem Gewichte = 1 dabei aufnimmt, um seine Temperatur um 1° zu verändern, heißt seine specifische Wärme. Diese wird

durch Versuche ermittelt und dabei die specifische Wärme des Wassers = 1 gesetzt. Taucht man einen Körper von 1 Pfund Gewicht in Wasser von 1 Pfund und wird hiedurch die Temperatur des Körpers um T°, und die des Wassers um t° verändert, so ist die specifische Wärme des Körpers = $\frac{t}{T}$, wenn diejenige des Wassers = 1 gesetzt wird.

Es hat also derjenige von zwei Körpern die größere Wärmecapacität, der mehr Wärme als der andere braucht, um mit ihm auf gleichen Grad erwärmt zu werden. Die Wärmecapacität und die specifische Wärme stehen im geraden Verhältnisse zu einander.

Nach dem obigen Beispiele ist die Wärmecapacität des Terpentinöls halb so groß, als die des Wassers, weil es bei gleicher Masse und halb so viel zugeführter Wärmemenge sich eben so stark, oder bei gleicher Masse und gleich viel zugeführter Wärme doppelt so sehr erhitzt, als das Wasser.

Mischt man z. B. 1 Pfund Queckfilber von 100° mit 1 Pfund Wasser von 78°, so sollte nach der im § 381 aufgestellten Regel die Temperatur der Mischung 89° sein; allein die Erfahrung zeigt, daß die Temperatur der Mischung nur 79° geworden ist. Das Queckfilber verliert also von seiner Wärme 21°, dagegen das Wasser nur 1° gewinnt. Und wenn man umgekehrt 1 Pfund Wasser von 100° und 1 Pfund Queckfilber von 78° mit einander vermischt, so sollte eigentlich die Temperatur der Mischung nach § 381 wieder 89° sein; man findet sie aber 99°. Das Wasser verliert also von seiner Wärme 1°, dagegen das Queckfilber 21° gewinnt. Man schließt hieraus: weil Wasser nur um 1° wärmer wird, wenn Queckfilber um 21° erkaltet; und umgekehrt, weil Wasser um 1° erkaltet, wenn Queckfilber um 21° wärmer wird; so muß 21mal so viel Wärme nöthig sein, um Wasser zu einer gewissen Temperatur zu bringen, als Queckfilber zu derselben Temperatur. Also, wenn Wasser und Queckfilber beide gleiche Temperatur haben, so ist im Wasser 21mal mehr Wärme, als im Queckfilber, wobei vorausgesetzt wird, daß Wasser und Queckfilber gleiche Gewichte haben. Es hat also das Wasser eine 21mal größere specifische Wärme, als Queckfilber; daher ist die specifische Wärme des Queckfilbers = $\frac{1}{21}$, wenn die des Wassers = 1 gesetzt wird.

§ 383. Das Calorimeter von Lavoisier und Laplace dient auch zur Bestimmung der specifischen Wärme der Körper. Es beruht darauf, daß zur Schmelzung eines bestimmten Gewichts von Eis eine gewisse Menge von Wärme gehört. Die Wärme, welche ein Körper über 0° besitzt, kann man also aus dem Gewichte des Wassers ermitteln, welches durch diesen Körper flüssig geworden ist. Man umgibt demgemäß den Körper von allen Seiten mit zerstoßenem Eise von 0°, läßt ihn so lange erkalten, bis seine Temperatur ebenfalls 0° beträgt, und wägt das Wasser, welches durch ihn flüssig geworden ist. Das so erhaltene Gewicht ist das Maß derjenigen Wärme, welche auf das Schmelzen verwendet worden ist.

Das Calorimeter ist ein blechernes Behältniß, welches aus drei einander umschließenden Räumen besteht. Der innerste Raum ist mit einem eisernen Gitter umgeben, welcher zur Aufnahme des Körpers dient, dessen specifische Wärme zu ermitteln ist. Der zweite Raum enthält das Eis, welches durch die Wärme des Körpers geschmolzen werden soll; er ist von blechernen Wänden begrenzt und endigt sich in eine mit einem Hahne versehene Röhre, woraus das aus dem Eise erhaltene Wasser abfließen kann. Der dritte und äußerste Raum ist ebenfalls mit Eis gefüllt, um die Luftwärme zurückzuhalten. Dieser Behälter ist auch mit einem Hahne versehen, damit das in diesem Raume entstandene Wasser sich nicht mit demjenigen vermischt, welches im zweiten Behälter flüssig geworden ist. Bringt man nun einen Körper, dessen Gewicht A Pfund, und dessen Temperatur T° ausmacht, in das Calorimeter, und beträgt das Gewicht des flüssig gewordenen Eises a Pfund;

so ist die specifische Wärme dieses Körpers $= \frac{60 \cdot a}{A \cdot T}$ für das Réaumursche Thermometer, indem 1 Pfund Wasser von 60° R. gerade 1 Pfund Eis zu schmelzen vermag.

Alle über die Wärme-Capacität der Körper angestellten Versuche zeigen, daß die des Wassers die größte ist.

Die Dampfmaschine.

§ 384. Aus § 375, B. 1. geht hervor, daß das siedende Wasser in einem offenen Gefäße keine höhere Temperatur als 80° annimmt; alle noch hinzuströmende Wärme wird zur Bildung des Dampfes verbraucht. Wird aber das Gefäß mit einem luftdichten Deckel verschlossen, so nimmt der Dampf eine höhere Temperatur als 80° R. an, indem die durch das weitere Kochen des Wassers hinzutretende Hitze die Temperatur, mithin auch die Spannkraft des Dampfes bedeutend vermehrt. Die Erfahrung lehrt, daß Wasserdämpfe von 80° R. oder 100° C. einem Dampfbarometer von 28 Zoll Queckſilberhöhe, also Einem Atmosphärendrucke, das Gleichgewicht halten.

Man hat durch Beobachtungen gefunden, daß die Spannkraft des Wasserdampfes bei vermehrter Temperatur in nachstehender Art wächst:

bei	25° C	Wärme	=	0,85″	Barometerhöhe		
„	50°	„	=	3,37″	„		
„	75°	„	=	10,75″	„		
„	100°	„	=	28,00″	„	oder 1	Atmosphär. Druck.
„	125°	„	=	63,00″	„	„ $2\frac{1}{4}$	„ „
„	150°	„	=	112,00″	„	„ 4	„ „
„	175°	„	=	238,00″	„	„ $8\frac{1}{2}$	„ „
„	200°	„	=	420,00″	„	„ 15	„ „
„	224°	„	=	672,00″	„	„ 24	„ „

Aus vorstehender tabellarischer Uebersicht geht hervor, daß die Spannkraft der Dämpfe in einem ungleich rascheren Verhältnisse wächst, als ihre Temperaturen zunehmen.

§ 385. Die große Elasticität des heißen Wasserdampfes gibt ein vortreffliches Mittel ab, Maschinen mit großer Kraft zu bewegen. Man nennt diese Maschinen Dampfmaschinen. Wie man mittelst der Dämpfe Maschinen in Bewegung setzt, soll sogleich gezeigt werden.

Es bezeichne K einen Kessel (Fig. 117). Von dem Dampfe aus dem Kessel geht ein Leitrohr RR'N, welches unten und oben zu dem zweiten Haupttheile der Dampfmaschine, dem großen Cylinder M'MNN' führt, in welchem der Kolben M'M dampfdicht auf und nieder geht. Die Röhre SRR'N ist mit 2 Hähnen oder Ventilen 1 und 2 versehen, welche sich abwechselnd öffnen und schließen. Soll der Kolben M'M in die Höhe gehen, so ist der Hahn 1 offen und der Hahn 2 zu. Der Dampf tritt aus dem Kessel unter den Kolben und treibt ihn vermöge seiner Spannkraft in die Höhe. Ist bereits Dampf über dem Kolben gewesen, so tritt derselbe durch die Oeffnung N', den Hahn 3 und die Röhre OO' zu dem Condensator P. Dieser ist ein in kaltes Wasser versenkter verschlossener Raum, in welchem sich der Dampf durch die niedere Temperatur größtentheils zu Wasser verdichtet, und nur eine geringe Spannkraft

übrig behält. Soll nun der Kolben von seinem höchsten Stand N'N wieder zu dem niedrigsten M'M zurückkehren, so schließen sich der Hahn 1 und 3; dagegen öffnen sich der Hahn 2 und 4. Jetzt dringen die Dämpfe aus dem Kessel durch die Oeffnung N über den Kolben, dagegen fließen die unter demselben befindlichen, durch die Oeffnung M' nach dem Condensator ab. Durch die hin- und hergehende Bewegung der Kolbenstange AF wird ein Hebebaum (Balancier) ACB in schwingende Bewegung gesetzt, welcher selbst durch die Stange BD Pumpenwerke jeder Art treiben, oder wieder mit einer Kurbel DE in Verbindung stehen kann, wodurch die hin- und hergehende Bewegung in eine kreisdrehende verwandelt wird, die sich dann wieder jeder andern Maschine mittheilen läßt.

Das Oeffnen und Schließen der Hähne 1 und 3, 2 und 4 geschieht durch eine zweckmäßige Vorrichtung von der Maschine selbst. An dem Dampfkessel K sind Sicherheitsventile angebracht, um dem Zerspringen desselben vorzubeugen. Der Kessel wird durch eine an demselben angebrachte Röhre mit Speisewasser nach Erforderniß gefüllt.

§ 386. Die Größe der bewegenden Kraft einer Dampfmaschine beruht 1) auf der Größe der Spannkraft der im Kessel erzeugten Dämpfe; 2) auf der Größe der Kolbenfläche, gegen welche die Dämpfe wirken; 3) auf der Höhe des Kolbenhubs, und 4) auf der Geschwindigkeit des Kolbenhubs in 1 Minute. Betrüge z. B. die Spannkraft der Dämpfe im Kessel 28 Zoll Quecksilberdruck, die Spannkraft der Dämpfe im Condensator 2 Zoll Quecksilberdruck; so würde die bewegende Kraft am Kolben durch 26 Zoll Quecksilberdruck dargestellt werden, welches noch über 2000 Pfund auf 1 par. Quadratfuß Kolbenfläche beträgt. Gesetzt, der Kolben habe eine Grundfläche von $2\frac{1}{2}$ Quadratfuß, der Kolbenhub betrage 5 Fuß und wiederhole sich 20mal in 1 Minute; so betrüge die Größe der bewegenden Kraft einer solchen Dampfmaschine $= 2000 \times 2\frac{1}{2} \times 5 \times 20 = 500000$ Pfund. Rechnet man, wie wir gleich sehen werden, die bewegende Kraft eines Pferdes 33000 Pfund; so wäre die Kraft einer solchen Dampfmaschine = 15 Pferdekraft.

§ 387. Um die wirkende Kraft einer Dampfmaschine auf Pferdekraft zurückzuführen, hat man nach vielfach angestellten Versuchen gefunden, daß ein mittelmäßiges, gesundes Pferd ein über eine Rolle gehendes Gewicht von 150 Pfund in 1 Minute 220 englische Fuß in die Höhe zu ziehen vermag, ohne sich dabei sichtbar anzugreifen; demnach würde ein solches Pferd $220 \times 150 = 33000$ Pfund in einer Minute 1 Fuß hoch zu heben im Stande sein. Diese 33000 Pfund nennt man das mechanische Kraftmoment eines Pferdes.

§ 388. Man hat Niederdruck- und Hochdruckdampfmaschinen. Ihre Construction ist sehr verschieden. Erstere arbeiten mit einem Condensator (Dampfverdichter), die letzteren ohne denselben. Die Hochdruckdampfmaschinen sind einfacher construirt, von weit kleinern Dimensionen als die Niederdruckdampfmaschinen und von weit größerm Nutzeffect. Die Locomotive und die Maschinen in den Dampfschiffen sind aus diesem Grunde Hochdruckmaschinen. Hier üben die wirkenden Dämpfe eine Kraft von mehreren Atmosphären aus, während die Niederdruckmaschinen nur die Kraft von Einem Atmosphärendruck besitzen.

Die Dampfmaschinen wurden zuerst 1699 von dem Engländer Savery angegeben. Potter (1722) und Watt (1764) brachten an denselben sehr nützliche Verbesserungen an.

§ 389. Bei der Verwandlung fester und flüssiger Körper in die luftförmige Gestalt unterscheidet man Verdunstung und Verdampfung. Bei der Verdunstung findet diese Verwandlung allmählig und bei jedem Wärmegrade statt, während die Verdampfung nur durch eine höhere Temperatur und rasch vor sich geht. Die Verdunstung geschieht bloß an der Oberfläche der Körper; je größer diese ist und je mehr Luftzug stattfindet, desto schneller verdunstet der Körper, wie dieß an aufgehängten nassen Wäschen bei windigem Wetter, beim Abkühlen der Speisen durch Blasen mit dem Munde, beim Abkühlen heißer Flüssigkeiten durch Umrühren u. s. w. wahrzunehmen ist.

Vor einem Gewitterregen ist die Luft drückend warm, und nach demselben kühl. Dieß geschieht dadurch, daß im ersten Falle die Atmosphäre mit Dünsten gesättigt ist, wodurch unsere Ausdünstung verhindert wird; im zweiten Falle ist die Atmosphäre durch den Regen von den Dünsten befreit und unserer Ausdünstung steht jetzt kein Hinderniß im Wege.

§ 390. Die atmosphärische Luft enthält viel Wasser in Gasgestalt. So lange dieses Wasser durchsichtig ist und die Luft trocken läßt, heißt es Wassergas; wird es aber durch die Kälte oder den Druck verdichtet, so nennt man es Dunst, wodurch die Atmosphäre undurchsichtig und feucht wird.

§ 391. Um die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit zu messen, hat man besondere Instrumente, welche man Hygrometer nennt. Diese bestehen gewöhnlich aus Fischbein oder aus ausgelaugtem Menschenhaar, weil diese beiden Körper sich vorzugsweise durch die Feuchtigkeit leicht verlängern und durch die Trockenheit verkürzen. Jeder Feuchtigkeitsmesser hat zwei feste Punkte, den Punkt größter Feuchtigkeit und den Punkt größter Trockenheit. Den Abstand dieser beiden Punkte theilt man an einem Gradbogen in 100 gleiche Theile oder Grade; und ein Zeiger der mit dem Hygrometer in Verbindung steht, zeigt dann an diesem Bogen den Grad der jedesmaligen Feuchtigkeit der Luft an.

Von den wässerigen Lufterscheinungen.

§ 392. Fast alle wässerigen Lufterscheinungen beruhen auf Niederschlag der von der Erde in die Atmosphäre emporsteigenden, anfangs als Wassergas in ihr schwebenden, dann durch Temperaturerniedrigung verdichteten Dünste. Diese kommen durch Erkaltung in verschiedener Gestalt zur Erde zurück, bald als flüssige, wie Thau, Nebel, Wolken, Regen; bald als feste Körper, wie Reif, Schnee, Hagel u. s. w.

§ 393. Der Thau entsteht dadurch, daß die Oberfläche der Erde die während des Tages aufgenommene Wärme nach Sonnenuntergang wieder ausstrahlt. Dadurch erkalten die Erde und die darauf befindlichen Gegenstände häufig so stark, daß die in den untern Luftschichten befindlichen Dünste sich zu Wasser verdichten, welches sich in Tropfen an allen Gegenständen im Freien als Thau anlegt. Je kälter die Körper sind, desto größer ist ihre Bethauung. Der Thau bildet sich am häufigsten im Frühjahr und Herbst, weil in diesen Jahreszeiten der Unterschied der Tag- und Nachttemperatur am größten und dadurch der Niederschlag des Wasserdunstes an den Körpern am stärksten ist. Der Thau zeigt sich gleich nach seinem Entstehen und beim Sonnenuntergange am stärksten, gegen Mitternacht am schwächsten, weil im erstern Falle die Temperaturunterschiede der Luft und der Körper auf der Erdoberfläche am größten, im letztern Falle aber am kleinsten sind.

Nicht alle Körper bethauen gleich stark, denn man findet, daß diejenigen Körper, welche die Wärme schneller ausstrahlen, ungleich mehr bethauen, als andere, welche unter gleichen Umständen nicht so rasch erkalten. Gras, aufgelockerte Seide, Baumwolle und dergl. strahlen die meiste Wärme aus, und bethauen daher auch am stärksten. Die Thaubildung wird durch vorausgegangene hohe Wärme, heiteres und stilles Wetter sehr begünstigt; weßhalb sie in den heißen Gegenden so stark ist, daß sie die Stelle des Regens vertritt. Bewölkter Himmel und Wind hindern die Thaubildung. Unter Zelten, Decken und Tischen die man im Freien aufstellt, schlägt sich der Thau nicht nieder.

§ 394. Der sogenannte Honigthau ist eine klebrige Feuchtigkeit, mit der zuweilen die Blätter gewisser Bäume und Sträucher überzogen sind, und von der wieder andere Körper z. B. Steine, Holz, Metalle u. s. w. stets frei bleiben. Diesen Honigthau bringen die Pflanzen selbst hervor und sind durchaus kein Erzeugniß der Luft. Eben so ist der Mehlthau eine klebrige, mehlartige Masse, welche nur auf einigen Pflanzenarten wahrgenommen wird, und nur als ein krankhafter Zustand derselben zu betrachten ist.

Der Höhenrauch ist ein trockener Nebel, welcher wohl immer durch vulkanische Ausbrüche, Moor- und Waldbrände erzeugt wird.

§ 395. Der Nebel ist der Uebergang der aus der Erde, den Gewässern u. s. w. emporsteigenden unsichtbaren Dünste in sichtbare. Er entsteht, wenn jene Dünste in kältere Luftschichten übergehen, wodurch sie verdichtet und sichtbar werden. Er entsteht auch unter höhern Breitengraden, wenn aus wärmern Gegenden die Dünste der Atmosphäre durch Winde nach Gegenden fortgeführt werden, wo sie durch Berührung der sehr erkalteten Oberfläche des festen Landes abgekühlt, dadurch verdichtet und sichtbar werden. — Steigt der Nebel bei Sonnenaufgang, so steht regnigtes, fällt er aber zur Erde nieder, heiteres Wetter bevor.

§ 396. Die Wolken sind die in den höhern Gegenden der Atmosphäre verdichteten sichtbaren Wasserdünste. Je mehr sich diese verdichten, desto dunkler erscheinen die Wolken; und haben sie sich so stark verdichtet, daß dieselben von der sie umgebenden Luft nicht mehr getragen werden können, so fallen sie als Tropfen auf die Erde nieder Diese Erscheinung nennt man Regen. Die Regentropfen wachsen während ihres Herabfallens, indem sie sich mit den Dunstblasen, auf die sie stoßen, vereinigen; daher die ersten Regentropfen immer größer sind, als die nachfolgenden. — Es gibt verschiedenartigen Regen, als: Staub-, Strich-, Platz-, Land- und Gewitterregen. Wenn der Wasserguß aus den Wolken so stark ist, daß er große Ueberschwemmungen verursacht, so nennt man eine solche Erscheinung Wolkenbruch.

Der sogenannte Schwefelregen rührt von dem mit dem herabfallenden Regen sich vermengten gelblichen oder röthlichen Blüthenstaub verschiedener Bäume her. Der Blutregen hat wahrscheinlich seine Entstehung von Thier-, Pflanzen- oder Mineralsubstanzen.

§ 397. Der Reif ist gefrorner Thau. Schlagen sich nämlich die in der Luft enthaltenen Dünste an Körpern nieder, die sehr kalt sind, so gefriert dieser Thau und wird zu Reif.

Wenn im Winter auf kalte Winde warme folgen, oder, wenn die Kälte plötzlich nachläßt und Thauwetter erfolgt; so verdichten sich die Wasserdünste der wärmern Luft an den kältern Gegenständen, als Mauern, Bäumen, Brük-

ken u. s. w. und gefrieren zu Reif. Diese Erscheinung nennt man das Beschlagen der Körper. Das Gefrieren der Fensterscheiben in erwärmten Zimmern entsteht, wenn sich das in der Zimmerluft enthaltene Wassergas an den kalten Fensterscheiben verdichtet, dann zu Eis gefriert und auf diese Weise verschiedenartige, nette Eisblumen bildet.

§ 398. Unter Glatteis versteht man eine dünne Eisrinde, womit zuweilen der Erdboden, die Bäume und andere Körper überzogen werden. Es entsteht aus schwachem Regen, dessen Tropfen an der Oberfläche jener Körper, welche die Temperatur von 0° haben, gefrieren; stärkerer Regen bringt schon so viel Wärme mit, daß er die Temperatur der davon benetzten Körper über 0° zu erheben vermag.

§ 399. Der Schnee entsteht wahrscheinlich dadurch, daß die die Wolken bildenden Wasserbläschen bei einer Temperatur unter 1° gefrieren und sich an einander hängen. Bei seiner Bildung nimmt er verschiedene regelmäßige Gestalten an, die man im Winter an ihm wahrnimmt, wenn er bei ruhigem Wetter herabfällt. Es schneit gewöhnlich an nicht sehr kalten und dabei feuchten Tagen des Winters.

Gletscher. — Schneelawinen.

§ 400. Die Schlossen sind gefrorene Regentropfen. Dieselben vergrößern sich während des Herabfallens mehr und mehr, indem sie die in der Luft enthaltenen Wasserdünste niederschlagen und dadurch an Umfang zunehmen.

Der Hagel besteht aus zusammengefrorenen Schlossen und hat oft eine Größe von einer großen Erbse, ja sogar einer Haselnuß. Die Erfahrung lehrt, daß es nur im Sommer, selten zur Nachtzeit, und besonders nur in den gemäßigten Zonen hagelt. Man ist bis hiezu nicht im Stande gewesen, die Ursache des Hagels genügend nachzuweisen. Da Hagelwetter immer von heftigen Gewittern begleitet werden, so läßt sich wohl mit ziemlicher Gewißheit annehmen, daß die Luftelectricität die Bildung des Hagels vorzugsweise begünstige. Wie aber dieß geschehe, vermag man bis hiezu nicht näher anzugeben.

§ 401. Die Wasserhose (Wassertrombe) entsteht aus dem Wasserdunste einer über dem Meere befindlichen Wolke, indem dieser Dunst sich in einer Schneckenlinie und in Gestalt einer nach unten spitz zulaufenden Säule herunterzieht, welche das Wasser des Meeres unter tobender Bewegung in die Höhe zieht und sich zuletzt mit demselben verbindet, dann in eine drehende Bewegung geräth und jeden Gegenstand, auf den sie stößt, in die Höhe zieht oder zertrümmert. Man erklärt sich die Entstehung der Wassertrombe durch Einwirkung starker, electrischer Kräfte, obgleich noch vieles bei dieser Erscheinung nicht genügend erklärt werden kann. Kanonenkugel, auf sie abgefeuert, haben die Kraft, sie zu zertheilen.

Den Wasserhosen ähnlich sind die Landhosen oder Landtromben, welche durch heftige Sturmwinde, die in entgegengesetzter Richtung auf einander treffen, verursacht werden. Sie schränken sich jedoch nur auf einen kleinen Raum ein, und drehen sich um ihre vertikale Axe sehr schnell herum. Alle Gegenstände, auf die eine solche Landhose (auch Wirbelwind genannt) stößt, werden von ihr entweder fortgeführt oder zertrümmert.

Ebenso entstehen auch in der Wüste Sahara die Sandwirbel oder Sandsäulen, die aus der Ebene emporsteigen und mit ihrer Spitze oft bis

an die Wolken reichen. Oft werden von ihnen große Karawanen begraben.

(Ueber die leuchtenden oder feurigen Lufterscheinungen siehe § 445.)

Kapitel VIII.

Vom Magnetismus.

§ 402. Unter einem Magnet versteht man jeden Körper, der die Eigenschaft besitzt 1) Eisen und eisenhaltige Körper anzuziehen und diese in der Folge festzuhalten, und 2) stets eine bestimmte Richtung anzunehmen, wenn er sich frei bewegen kann.

Die Kraft, vermittelst welcher diese Erscheinungen hervorgebracht werden, nennt man magnetische Kraft oder Magnetismus.

§ 403. Wir sind im Stande, diese magnetische Kraft dem Eisen und dem Stahle mitzutheilen, indem man sie mit einem Magnete in Berührung bringt. Die auf diese Weise erhaltenen Magnete nennt man künstliche, zum Unterschiede von den natürlichen, unter welchen man alle natürlichen Eisenerze (namentlich den Magnetstein oder Magneteisenstein) versteht, welche den Magnetismus ursprünglich besitzen. Die künstlichen Magnete kommen gewöhnlich in der Form gerader Stäbe, der Nadeln und Hufeisen vor. — In der Erde hat der Magnetstein in seiner Lagerung keine magnetische Kraft; diese zeigt sich erst, wenn er einige Zeit an der Oberfläche der Erde der Luft ausgesetzt gewesen ist.

Der Magnetstein ist ein grau-schwärzlicher Stein, welcher bei der Stadt Magnesia, von der er seinen Namen hat, schon 600 v. Ch. gefunden worden sein soll. Man findet den Magnetstein in vielen Ländern, besonders in Norwegen, Schweden, Sibirien u. s. w.

§ 404. Die Einwirkung eines Magnets auf Eisen äußert sich nicht nur im luftleeren, sondern auch im lufterfüllten Raume, ja selbst dann noch, wenn wir andere Körper zwischen den Magnet und das Eisen bringen, z. B. Papier Glas, Holz u. s. w.; nur können dazu nicht solche Körper gebraucht werden, die durch den Magnet selbst magnetisch werden können.

§ 405. Die Größe der magnetischen Kraft hängt nicht immer von dem Umfange des Magnets ab; denn es gibt große Magnete, die wenig, und kleine, welche viel tragen. Magnete, die über 2 Pfund wiegen, ziehen selten mehr, als ihr 10faches Gewicht an. Newton's Magnet soll das 250fache seines Gewichts erreicht haben. Durch Versuche hat man gefunden, daß die anziehende Kraft eines Magnets im Verhältniß des Quadrats der Entfernungen abnimmt.

Die Kraft eines Magnets wird verstärkt, wenn wir demselben täglich etwas mehr zu tragen geben; geschwächt wird sie, wenn man ihn unbeschäftigt liegen läßt, heftigen Erschütterungen aussetzt, das angezogene Eisen oft plötzlich abreißt, durch Wärme u. s. w.

§ 406. Fast alle Stellen eines Magnets ziehen Eisen an; doch hat jeder Magnet vorzugsweise zwei Stellen, welche die größte Anziehungskraft besitzen und Pole des Magnets heißen.

Eisenfeile setzen sich strahlenförmig an die beiden Pole. Zwischen denselben, etwa in der Mitte des Zwischenraumes, gibt es eine Stelle, die gar keine an-

ziehende Kraft auf Eisenfeile äußert. Man nennt diese Stelle die Indifferenzlinie, wie m in Fig. 120.

Durch die sogenannte Armatur oder Bewaffnung verstärkt man auch noch bedeutend die Tragkraft eines natürlichen Magnets. Man bewaffnet ihn dadurch, daß man die beiden Pole desselben ganz eben feilt, an sie ein Stück weiches Eisen dicht anlegt, dieses unten mit zwei dicken Füßen versieht, und endlich den übrigen Theil des Magnets mit einem Messingbleche umgibt.

Die beiden dicken Füße werden die künstlichen Pole genannt. An diese legt man ein Stück weiches Eisen, den Anker, der mit einem Haken zum Aufhängen von Gewichten versehen ist. Ein solcher Magnet wirkt mit seinen beiden Polen ganz so wie ein Hufeisenmagnet.

Ein armirter Magnet trägt 10 — 40 Mal, die kleinen sogar oft 200 — 300 Mal so viel Gewicht, als ein unarmirter. Es gibt auch Magnete, die mehr als zwei Pole haben; diese kann man als aus mehrern Magneten zusammengesetzt ansehen, und durch die Armatur in nur zwei Pole vereinigen. Starke Magnete kehren häufig die Polarität schwacher Magnete um.

§ 407. Hat der Magnet eine freie Bewegung, so nimmt er — wie man ihn auch um seinen Unterstützungspunkt drehen mag — immer dieselbe Stellung ein, und zwar zeigt der eine Pol bei uns sehr nahe nach Norden und heißt Nordpol, der andere Pol sehr nahe nach Süden und heißt Südpol. Die Eigenschaft eines Magnets, diese Richtung anzunehmen, wird die magnetische Polarität genannt. Die Vertikalebene, welche man sich durch die Richtungslinie eines horizontalen Magnets gelegt denken kann, nennt man den magnetischen Meridian, zum Unterschiede von dem astronomischen oder wahren Meridian, d. h. derjenigen Vertikalebene, die durch den Nord- und Südpol unserer Erde geht. Der Winkel, welchen jener Meridian mit diesem macht, heißt magnetische Abweichung oder Declination. Diese ist eine östliche oder westliche, je nachdem der Nordpol des Magnets nach Osten oder Westen vom astronomischen Norden zeigt. Es stelle in Fig. 118 ab den astronomischen Meridian eines Ortes dar, cd aber die Richtung der horizontalen Magnetnadel an demselben Orte; so ist Winkel cfa der Declinationswinkel dieses Ortes.

§ 408. Ein Magnet, welchem eine freie Bewegung dadurch ertheilt ist, daß er etwas über seinem Schwerpunkte aufgehängt oder unterstützt ist, nennt man Magnetnadel, sobald er mit Leichtigkeit in den magnetischen Meridian zurückkehrt, wenn er daraus entfernt ist. Eine in horizontaler Ebene auf einer Spitze leicht drehbare künstliche Magnetnadel hat die Form einer lang gedehnten Raute, wie cd in der Fig. 118. In der Mitte derselben ist ein Achathütchen angebracht, welches auf die senkrecht stehende Stahlspitze gesetzt wird, die den Drehpunkt der Nadel bildet.

Steht die Magnetnadel im Mittelpunkte einer kreisförmigen, mit Glas bedeckten Dose, deren Boden in 32 Windstriche eingetheilt ist, so heißt sie Compaß oder Windrose. Dieser Apparat, dessen Erfinder Flavio Gioja (1300) gewesen sein soll, ist den Schiffern auf dem Meere, den Bergleuten in ihren Gruben und den Revisoren bei ihren Winkelvermessungen sehr wichtig, ja unentbehrlich.

Ein Instrument, durch welches die Lage des magnetischen Meridians gegen den astronomischen angegeben werden kann, heißt Bouſſole oder Declinatorium.

§ 409. Die Magnetnadel steht auf der ganzen Erde nicht immer genau in der Richtung von Norden nach Süden, sondern sie weicht von dieser Richtung mehr oder weniger ab. Die größte westliche und östliche Abweichung der Magnetnadel von dem astronomischen Meridian ist etwa 20°. Der magnetische Meridian fällt mit dem astronomischen zweimal zusammen: das erste Mal auf dem Festlande Amerika's; er berührt dann in südlicher Richtung den mexikanischen Meerbusen und Brasilien, das zweite Mal auf einem Striche der Erdkugel, der in fast paralleler Richtung mit jenem ersten mitten durch Asien und den südlichen Ocean geht.

§ 410. Die Magnetnadel verändert ihre Richtung nicht bloß dem Orte, sondern auch der Zeit nach; denn im 17ten Jahrhundert soll der magnetische Meridian mitten durch Europa gegangen sein, und hat sich später immer mehr nach Westen entfernt. Nicht nur der Wechsel der Jahreszeiten verändert die Declination der Magnetnadel, sondern auch die Temperatur und die Feuchtigkeit der Luft

Die Abweichung der Magnetnadel war in Deutschland vor 1666 östlich; jetzt ist sie ungefähr 17° westlich (zu Berlin 16° 56', zu Göttingen 18° 37' 30,55", für Stockholm 16°, für Petersburg 7° und für Moskau 3°).

§ 411. Die Versuche mit zwei frei hängenden Magnetnadeln zeigen, daß gleichnamige Pole sich abstoßen, ungleichnamige sich einander anziehen. Daher nennt man jene die feindlichen, diese die freundlichen Pole.

Da wir hier zwei einander entgegengesetzte magnetische Erscheinungen kennen gelernt haben, so müssen wir daraus auch auf zwei einander entgegengesetzte magnetische Kräfte oder Flüssigkeiten schließen, von denen die eine an dem einen Pole, die andere an dem entgegengesetzten Pole, vorherrscht. Man bezeichnet daher die eine magnetische Kraft mit + M, und die ihr entgegengesetzte mit — M.

§ 412. Bringt man ein Stück Eisen oder einen andern Körper, der magnetisch werden kann, in den Wirkungskreis eines Magnets; so findet man, daß jede magnetische Kraft die ihr entgegengesetzte in dem Eisen hervorbringt, oder + M erzeugt in seiner magnetischen Atmosphäre — M, und — M wieder + M. Man nennt diese Erscheinung die Vertheilung des Magnetismus. Hievon überzeugt uns nachstehender Versuch. Nähert man dem Pole eines Magnets ein eisernes Stäbchen, so wird dieses selbst zum Magnet, aber seine Pole sind den des Magnets entgegengesetzt. Die magnetischen Kräfte zeigen sich desto wirksamer, je mehr das Stäbchen dem Magnet genähert wird, am stärksten aber bei wirklicher Berührung.

§ 413. Das Gesetz der Vertheilung beruht auf der Annahme, daß in jedem eisenhaltigen Körper beide magnetischen Kräfte enthalten sind, aber im gebundenen Zustand, wodurch sie nach außen nicht wirken können. Bringt man nun einen solchen Körper in den Wirkungskreis eines Magnets, so wird die eine oder die andere magnetische Kraft in ihm frei gemacht oder vertheilt, wodurch sich beide magnetischen Kräfte nach den entgegengesetzten Enden des eisen-

haltigen Körpers begeben und dort nach außen thätig werden. Zerbricht man einen magnetischen Stab, so ist jedes Stück desselben wieder ein vollständiger Magnet, der seine zwei Pole und seinen Nullpunkt oder seine Indifferenzlinie hat.

§ 414. Die Magnetnadel hat noch die besondere Eigenschaft, daß sich in unsern Gegenden das nördliche Ende derselben bedeutend mehr, als das südliche gegen den Horizont neigt (ungefähr unter einem Winkel von 70°). Man nennt diese Eigenschaft der Magnetnadel ihre magnetische Neigung oder Inclination. Ein Instrument, wodurch man die Inclination einer Magnetnadel findet, heißt Inclinatorium oder Inclinations-Bousole. Bei diesem Instrumente muß die Magnetnadel eine solche Einrichtung haben, daß ihre Unterstützung durch den Schwerpunkt der Nadel gehe und sich in einer vertikalen Ebene bewegen könne, wie Fig. 119 zeigt. In der Nähe des Nordpols würde die Magnetnadel senkrecht auf der Erdoberfläche stehen. Den Weg von Norden nach Süden gehend, bemerkt man an der Magnetnadel 1) daß ihre Inclination anfangs immer mehr abnimmt; 2) daß sich zwischen den Wendekreisen ein um die ganze Erde laufender Gürtel befindet, wo die Nadel gar keine Neigung zeigt, sondern genau horizontal schwebt; 3) daß über diesen Gürtel hinaus, den man den magnetischen Aequator nennt, die südliche Neigung immer mehr zunimmt und 4) daß die Nadel nahe am Südpole auch senkrecht auf der Erdoberfläche steht.

Capitain Roß hat 1833 den magnetischen Pol der Erde selbst erreicht. Er fand unter 70° 5′ nördlicher Breite und 263° 14′ östlich von Greenwich die Inclination 90°. Die Neigung beträgt für Mokka in Afrika ungefähr 7°, für Alexandrien 44°, Malta 53°, Marseille 63°, für Paris 67°, für London, Göttingen und Berlin 68°, für Petersburg 71° ꝛc.

Der magnetische Aequator ist kein Kreis, sondern eine krumme Linie von vielen Biegungen, die den Aequator der Erde in zwei Punkten schneidet. Man hat bemerkt, daß die Inclination sich eben so, wie die Declination im Laufe der Zeit verändert.

§) 415. Die Erscheinungen der Inclination und der Declination der Magnetnadel, wie auch der Umstand, daß Eisenstäbe schon durch die Lage von Norden nach Süden des magnetischen Meridians magnetisch werden, berechtigen uns anzunehmen, daß die ganze Erdkugel selbst ein zwar großer, aber verhältnißmäßig nur schwacher Magnet sei. Die Veränderungen, die wir in Rücksicht auf die Inclination und Declination an der Magnetnadel wahrgenommen haben, scheinen davon herzurühren, daß die magnetische Axe des Erdballs nicht immer dieselbe Richtung beibehält. Die jährlichen und täglichen Veränderungen der Nadel schreibt man dem Einflusse des Temperaturwechsels zu. Daß Eisen, welches in der Lage von Norden nach Süden des magnetischen Meridians liegt, magnetisch wird, geschieht dadurch, daß die Erde als Magnet nach dem Gesetze der Vertheilung auf dasselbe einwirkt.

Man verwechsele nicht die Ablenkung (Abirrung oder Aberration) mit der bereits oben erklärten Declination derselben. Unter Ablenkung der Nadel versteht man ihre Abweichung von dem magnetischen Meridian durch örtliche Anziehung von Eisen und eisenhaltigen Körpern in Gebirgen, Bergwerken, auf Schiffen u. s. w.

§ 416. Bringt man (Fig. 120) ein Stück weiches Eisen m in Form eines Cylinders an einen Magnet ca, so wird dasselbe von diesem getragen. Nähert man nun dem Cylinder Eisenfeile, so hängen sich diese an denselben, besonders an seine beiden Enden, in Form eines Büschels und bleiben so lange hier hängen, als der Cylinder an dem Magnet hängt; sobald man ihn aber abreißt, fallen auch die Eisenfeile wieder ab, und der Cylinder hat keine

anziehende Kraft mehr. Hieraus geht hervor, daß, wenn ein Stück weiches Eisen durch den Einfluß eines Magnets magnetisirt wird, keine magnetische Flüssigkeit vom Magnet auf das Eisen übergeht, sondern daß die Nähe des Magnets bloß eine Vertheilung der magnetischen Flüssigkeiten im Eisen veranlaßt hat, welche bis dahin nicht getrennt, sondern gebunden waren. Das Eisen behielt nur so lange seine magnetischen Eigenschaften, als die Nähe des Magnets die magnetischen Flüssigkeiten getrennt erhielt; nach der Entfernung des Magnets verbinden sich die getrennten magnetischen Flüssigkeiten wieder, das Eisen kehrt in seinen natürlichen, unwirksamen Zustand zurück.

§ 417. Stellt man mit einem Stücke Stahl dieselben Versuche an, wie mit dem Cylinder von weichem Eisen, so findet man, daß der Stahl sich dem Magnete nicht so fest anhängt, wie das weiche Eisen, und daß er mit dem Magnet längere Zeit in Berührung stehen muß, um die magnetische Kraft zu erhalten, die man im Eisen schon im ersten Augenblicke der Berührung beobachtet. Dafür behält der Stahl aber die während der Berührung mit dem Magnete angenommenen Eigenschaften auch nach der Trennung von demselben bei, weßhalb er sehr geeignet ist, um künstliche Magnete daraus zu verfertigen. Man ersieht hieraus, daß der Stahl der Vertheilung seiner sich gegenseitig bindenden Magnetismen einen größern Widerstand entgegensetzt, als das weiche Eisen. Man nennt diese der Vertheilung widerstrebende Kraft die Coercitivkraft.

Wenn der Magnet Holz, Glas und andere Körper nicht anzuziehen vermag, kann seinen Grund darin haben, daß sie entweder gar keinen Magnetismus besitzen, oder ihre Coercitivkraft so groß ist, daß kein noch so starker Magnet sie zu überwinden vermag.

§ 418. Ein Streifen Eisen oder Stahl wird bleibend magnetisch gemacht, wenn man ihn mit einem natürlichen oder künstlichen Magnete bestreicht. Dazu bedient man sich entweder der Methode des einfachen Striches oder des Doppelstriches.

Durch den einfachen Strich magnetisirt man einen Streifen Eisen oder Stahl, wenn man auf der Mitte desselben den einen Pol eines Magnets unter einem Winkel von 10 — 12° aufsetzt, ihn etwas andrückt und dann zu wiederholten Malen in derselben Richtung bis zu dem einen Ende fortführt; man vergesse aber nie, den Magnet nach jedem Striche, damit die in ihm bereits erregte Kraft nicht wieder geschwächt werde, auf einem Umwege in die erste Lage zurückzubringen. Hierauf mache man mit dem andern Pole des Magnets auf der zweiten Hälfte des Eisen- oder Stahlstreifens eine gleiche Anzahl Striche der beschriebenen Art, und man hat einen künstlichen Magnet.

Der Magnet hat bei dieser Operation von seiner Kraft gar nichts verloren. Auch kann man den Magnet anstatt in der Mitte, an einem Ende des Stahl- oder Eisenstreifens ansetzen, ihn an das andere Ende desselben fortziehen und dieses Verfahren öfter wiederholen.

Man magnetisirt einen Eisen- oder Stahlstab durch den Doppelstrich, wenn man beide Pole eines Hufeisenmagnets in der Mitte des Stabes aufsetzt, diesen Magnet von da nach einem Ende hinführt, nicht absetzt, sondern ihn bis an das andere Ende des Stabes zurückführt, von da wieder nach dem ersten Ende u. s. w., zuletzt aber in der Mitte den Magnet vom Stabe wegnimmt. Das Ende, nach welchem dabei der Nordpol des Magnets gerichtet

war, erhält den Südpol, und umgekehrt. Man hat außer diesen beiden hier angeführten Methoden noch andere, Eisenstäbe magnetisch zu machen.

Ein Eisenstab wird aber auch magnetisch 1) durch Reibung mittelst anderer Körper, besonders wenn man ihn in die Richtung eines frei schwebenden Magnets legt; 2) wenn man ihn senkrecht stellt, oder parallel mit der Lage eines frei schwebenden Magnets. Die Annahme des Magnetismus durch die bloße Lage befördert man, wenn man dem Stabe am obern Ende einige Schläge versetzt, oder ihn in fast senkrechter Lage auf eine harte Unterlage fallen läßt.

§ 419. Durch vielfältig angestellte Versuche hat man in neuerer Zeit gefunden, daß außer dem Eisen alle Metalle — wenn auch nur auf einige Zeit — magnetisch gemacht werden können. Seebeck hat entdeckt, daß alle Metalle durch ungleiche Erwärmung, und Oersted, daß alle Metalle durch Electricität magnetisch werden können. Hierüber soll bei dem Abschnitt der Electricität ausführlich gesprochen werden.

§ 420. Man verbindet auch durch Schrauben vorher magnetisirte gerade oder in Gestalt eines Hufeisens gebogene Stahlstäbe zu einem sogenannten magnetischen Magazin, welches dadurch eine ungleich größere Anziehkraft gewinnt. Jedoch müssen dabei sämmtliche Nordpole auf der einen, alle ihre Südpole aber auf der entgegengesetzten Seite liegen.

Kapitel IX.

Von den Erscheinungen der Electricität.

§ 421. Es gibt Körper, z. B. Siegellack, Glas, Bernstein, Schwefel u. m. a., welche durch Reibung mit der Hand, mit Leder oder einem wollenen Zeuge folgende merkwürdige Erscheinungen zeigen:

1) Leichte Körperchen, wie kleine Stücke Papier, Haare oder Korkkügelchen werden von ihnen angezogen und nach der Berührung wieder abgestoßen;

2) bringt man das Gesicht in die Nähe eines stark geriebenen Körpers, so ist es, als ob Spinngewebe dasselbe berührt;

3) verspürt man einen eigenen phosphorartigen Geruch;

4) im Dunkeln zeigt ein geriebener Körper ein Leuchten, und hält man den Knöchel des Fingers gegen denselben, so springt ein Funken hervor, und man verspürt einen Stich;

5) dieser Funken ist von einem Knistern begleitet; und

6) fängt man den Funken mit der Zunge auf, so erregt er auf derselben einen säuerlichen Geschmack.

Alle Körper, an welchen obige Erscheinungen wahrgenommen werden, nennt man electrische, und die Erscheinungen selbst, electrische Erscheinungen, deren Inbegriff sowohl, als auch die Materie, welche dieselben hervorbringt, Electricität.

§ 422. Alle jene Erscheinungen nöthigen uns anzunehmen, daß die Ursache derselben eine eigenthümliche, feine Flüssigkeit sei, die man im Ganzen noch wenig kennt, deren Wirkungen aber sehr heftig und allgemein verbreitet

sind. Schon im Alterthum waren die electrischen Erscheinungen am Bernstein (Electron) bekannt; daher auch der Name „Electricität."

§ 423. Diejenigen Körper, in denen sich die Electricität unmittelbar durch Reibung mit andern Körpern erregen läßt, wenn sie mit bloßer Hand gehalten werden, heißen ursprünglich electrische oder auch Nichtleiter, weil sie die Electricität von andern electrisirten Körpern bei ihrer Berührung nicht vollständig, sondern nur an den berührenden Punkten annehmen und auch dieselbe nicht fortleiten. Körper hingegen, worin sich die Electricität gar nicht, oder nur in einem geringen Grade erregen läßt, wenn sie mit bloßer Hand, wohl aber, wenn sie mit solchen Körpern, welche die Electricität nicht leiten, gehalten werden, nennt man unelectrische, oder auch Leiter (Conductoren), weil sie die Electricität von andern Körpern bei ihrer Berührung rasch annehmen, eben so rasch über ihre ganze Oberfläche verbreiten und, wenn sie mit andern Leitern in Berührung treten, in dieselben fortleiten.

§ 424. Die besten Electricitätserreger, mithin auch die besten Nichtleiter sind: trockenes Glas, Harz, Bernstein, Siegellack, Schwefel, Seide, Haar, Zucker, Copal, Pech, trockene Luft, gedörrtes Holz, trockene Metalloide, trockene Gase und Gutta-Percha u. s. w. Dagegen sind schlechte Electricitätserreger, oder sehr gute Leiter: alle Metalle und metallhaltige Körper, die Kohle, die flüssigen Säuren, Wasser, die Dünste, alle feuchten Körper, die feuchte Luft, Pflanzen- und Thierkörper. Man hat aber auch Körper, welche zwischen Leitern und Nichtleitern in der Mitte stehen; diese nennt man Halbleiter, weil in ihnen die Electricität nur schwach erregt und fortgeleitet werden kann. Dergleichen Körper sind: Alabaster, Marmor, Papier, Elfenbein, Thon, Kreide und andere Steinarten, wenn sie weder zu feucht, noch zu trocken sind.

§ 425. Durch die Nichtleiter hat man ein Mittel, einen electrisirten Körper, wenigstens auf eine kurze Zeit, gegen den Verlust der Electricität zu sichern. Man erreicht diesen Zweck, wenn man den electrisirten Körper isolirt, d. h. ihn auf eine Unterlage von Glas oder Harz stellt, oder an einer seidenen Schnur aufhängt. Man nennt daher auch die Nichtleiter Isolatoren.

§ 426. Die Electricität eines Körpers ist entweder ursprünglich oder mitgetheilt. Die ursprüngliche Electricität wird unmittelbar hervorgerufen 1) durch Reibung; 2) durch Berührung, Druck und Stoß zweier Körper, die beide noch keine Electricität haben; 3) durch Magnetismus, 4) durch chemische oder organische Prozesse, und 5) durch Erwärmung oder Schmelzung.

Sind z. B. eine Zink- und eine Kupferplatte mit gläsernen Handgriffen versehen, so zeigen sie bei ihrer Berührung mit einander Electricität. So werden der Turmalin und Topas durch heiße Asche, Stangenschwefel durch die bloße Handwärme, seidene Kleider durch die Körperwärme, Siegellack und viele andere Körper durch Schmelzen electrisch. So gibt es Fische, als der Zitterroche, Zitteraal, Zitterwels, Stachelbauch, welche natürliche Electricität besitzen. Zucker, Kreide und dergl. zeigen im Dunkeln einen Lichtschein, wenn man sie zerschlägt oder zerstößt.

Mitgetheilt wird die Electricität einem Körper, wenn dieser in eine gewisse Nähe (Schlagweite) eines electrisirten Körpers gebracht wird, oder mit ihm in Berührung tritt. Im erstern Falle erfolgt der Uebergang der Electricität durch einen knisternden Funken, im letztern Falle strömt die Electricität aus dem electrisirten in den nicht electrisirten über, bis sie in beiden Körpern gleichmäßig vertheilt ist.

§ 427. Nach der Art, wie die ursprüngliche Electricität in den Körpern erregt wird, theilt man dieselbe 1) in Reibungs-Electricität 2) in Berührungs-Electricität 3) in Magneto-Electricität und 4) in Wärme-Electricität.

I. Die Reibungs-Electricität.

§ 428. Schon im Alterthume hatte man gefunden, daß Glas und Harz durch Reibung electrisch werden und daß beide geriebenen Körper, so lange man sie einzeln betrachtete, völlig gleiche Erscheinungen zeigten, ohne auch nur im Entferntesten ihre sehr merkwürdige Verschiedenheit zu vermuthen. Diese entdeckte erst Dufay (spr. Düfäh) im Jahre 1733 dadurch, daß er zwei an seidenen Fäden hängende, also isolirte Korkkügelchen nahe an eine geriebene Harzkugel brachte und fand, daß sie, nachdem sie durch Mittheilung electrisch geworden waren, einander flohen; dagegen sich gegenseitig anzogen, wenn er die eine von ihnen berührt hatte; auch zeigte sich, daß beide Kügelchen mit Heftigkeit an einander flogen und ihre Electricität verloren, wenn zuvor das eine eine geriebene Glaskugel, das andere eine geriebene Harzkugel berührt hatte.

Diese Erscheinungen veranlaßten Dufay zwei in Absicht ihres gegenseitigen Verhaltens entgegengesetzte Electricitäten anzunehmen, und die eine die Glas-, und die andere die Harzelectricität zu nennen. Franklin bezeichnete erstere durch + E, und letztere durch — E, indem er annahm, allen Körpern komme in ihrem natürlichen Zustande eine gewisse Menge einer und derselben Electricität zu, und es erhalte Glas durch Reiben einen Ueberschuß, dem Harze aber werde durch Reiben ein Theil der Electricität entzogen; den Ueberschuß nennt er positive Electricität (+ E), den Mangel derselben Electricität, negative Electricität (— E). Wir behalten in der Folge die Bezeichnung Franklins bei, ohne uns für die eine oder die andere Hypothese zu entscheiden.

§ 429. Es folgt aus den im vorigen § angeführten Versuchen Dufay's zugleich das Gesetz, daß sich gleichnamig electrisirte Körper abstoßen, ungleichnamig electrisirte anziehen.

§ 430. Werden zwei Körper an einander gerieben, so haben die hierüber angestellten Versuche ferner als allgemeines Gesetz ergeben, daß beide Körper electrisch werden, und zwar entgegengesetzte Electricitäten erlangen, der eine die + E, der andere die — E.

Welche von beiden Electricitäten ein Körper durch Reiben erhält, haben Versuche bestimmt; so wird in folgender Reihe jeder Körper positiv, wenn er mit einem der nachfolgenden gerieben wird, der andere aber negativ electrisch: Katzenfell, polirtes Glas, die Hand, Leder, Wollenzeug, trocknes Holz, Papier, Seide, Harz, Bernstein, matt geschliffenes Glas, Schwefel. Hat ein Körper eine rauhe Oberfläche, oder wird er erwärmt, so erhält er leichter — E als bei polirter oder kalter Oberfläche; denn kleine Umstände in der Beschaffenheit der Oberfläche, in der Richtung, Schnelligkeit und Stärke des Reibens, eben so die Temperatur haben großen Einfluß auf die Erzeugung der verschiedenen Electricitäten. Es wird sogar Electricität entwickelt, wenn feste Körper an flüssigen oder gasartigen gerieben werden. So erhält z. B. ein Glasstab durch Reiben mit Quecksilber + E, ein seidenes Tuch mehrmals durch die Luft geschwenkt, erhält — E.

Besonders ist diese Electricität ziemlich stark, wenn man pulverförmige Körper durch die Luft siebt und auf eine Metallplatte fallen läßt. Selbst der Druck zweier Körper gegen

einander erzeugt nach ihrer raschen Entfernung von einander eine Electricität. Die kräftigste Electricitätsentwickelung findet statt, wenn ein schlechter und ein guter Leiter an einander gerieben werden, wie wir dieses bei der Electrisirmaschine sehen werden (§ 435).

§ 431. Durch Mittheilung können alle Körper electrisch gemacht werden, mit dem Unterschiede, daß Isolatoren nur an der mit einem electrisirten Körper unmittelbar berührten Stelle und in deren Nähe, Leiter an jedem ihrer Punkte Electricität zeigen. Diese befindet sich aber stets nur auf der Oberfläche der Leiter, ohne in ihr Inneres zu dringen; denn berührt man eine electrisirte Metallkugel mit einer gleich großen zweiten, so findet eine vollkommene Halbirung der Electricitätsmenge der ersten Kugel statt, ob die zweite Kugel massiv oder hohl sei. Man denkt sich deßhalb die Electricität auf der Oberfläche der Körper als eine dünne Schicht, deren Dicke an verschiedenen Stellen der daselbst beobachteten Electricitätsstärke (electrischen Spannung) proportionirt ist.

§ 432. Da die einzelnen Theile derselben electrischen Flüssigkeit sich gegenseitig abstoßen, so würde sich die Electricität von dem Körper entfernen, wenn sie nicht von dem Körper selbst, auf dessen Oberfläche sie sich befindet, angezogen und durch den Druck der umgebenden Luft zurückgehalten würde. Wird die Anhäufung der Electricität auf der Oberfläche zu groß, so vermag der Druck der äußern Luft sie nicht mehr zurückzuhalten und die Electricität durchbricht als Funken die Luft, wie dieß besonders dann der Fall ist, wenn der electrisirte Körper in eine Spitze übergeht, aus der die Electricität schneller ausströmt. Alle Ecken und Spitzen sind deßhalb an electrischen Apparaten zu vermeiden, wenn sie ihre Stärke lange behalten sollen.

Wird ein ∞ förmig gebogener Draht in seiner Mitte auf eine isolirte Spitze gestellt und mit einer Electricitätsquelle verbunden, so bewirkt das Ausströmen der Electricität aus den Spitzen einen ungleichen Seitendruck, und es erfolgt eine Bewegung des Drahts von der Spitze abwärts (electrisches Rad).

Electrische Vertheilung und Mittheilung.

§ 433. Nach der Ansicht Dufay's sind beide electrische Flüssigkeiten in jedem Körper in gleicher Menge vorhanden, sie binden sich aber gegenseitig und wirken nicht nach außen. Durch Reibung — wie wir das bereits kennen gelernt haben — wird dieser natürliche Zustand aufgehoben und der eine Körper erhält die + E, der andere die — E. Aber schon die Annäherung eines electrisirten Körpers genügt, um einen andern electrisch zu machen, und zwar erhält dieser beide Electricitäten, behält sie aber nur so lange, als er in dem Wirkungskreise (in der electrischen Atmosphäre) des electrisirten Körpers verharrt; aus demselben entfernt, kehrt er in seinen natürlichen Zustand zurück, und zwar geschieht dieß augenblicklich, wenn er ein Leiter, und erst nach längerer Zeit, wenn er ein Isolator war. Denn nähert man einem isolirten Leiter von cylindrischer Gestalt, welcher sich im natürlichen Zustande befindet und also beide Electricitäten gebunden enthält, eine Kugel, welcher etwa + E mitgetheilt worden, so bewirkt diese

1) eine Trennung beider Electricitäten und zwar zieht sie die — E nach dem zunächst liegenden, treibt dagegen die + E nach dem entfernten Cylinderende nach obigem Gesetze der Anziehung und Abstoßung; in der Mitte des Cylinders ist keine Electricität wahrzunehmen.

2) Die Electricität des Cylinders nimmt mit der Annäherung der Kugel zu, und mit der Entfernung derselben ab, und ist in jeder Stellung an beiden Enden am stärksten.

3) Wird der Kugel die Electricität genommen, so verschwindet plötzlich auch der electrische Zustand des Cylinders, weil beide Electricitäten desselben dann wieder gegen einander wirken und sich gegenseitig binden.

4) Berührt man den in den Wirkungskreis der electrisirten Kugel gebrachten Cylinder an dem zugewandten oder abgewandten Ende mit dem Finger, und entfernt ihn darauf aus dem Wirkungskreise der Kugel, so zeigt er im erstern Falle + E, im letzteren Falle — E, weil in beiden Fällen diesen Electricitätsmassen die entgegengesetzte Electricität, mit der sie sich nach Entfernung der Kugel sogleich wieder verbinden würden, genommen worden ist.

5) Durch diese Einwirkung selbst verliert die Kugel nichts an Electricität, die Stärke derselben vor und nach ihrer Annäherung an den Cylinder ist dieselbe. Wohl aber hat sich während der Einwirkung auf der Oberfläche der Kugel die Electricität auf der gegen den Cylinder gerichteten Seite in größerer Menge angehäuft, weil ihrerseits wieder die — E des Cylinders auf die + E der Kugel anziehend wirkte.

§ 434. Werden aber Kugel und Cylinder einander immer mehr genähert, so kann die Einwirkung beider Electricitäten auf einander so stark werden, daß die Luft nicht mehr im Stande ist, ihre Vereinigung zu hindern. Diese erfolgt unter der Gestalt eines Funkens; der Cylinder hat nun dieselbe Electricität, als die Kugel, und man sagt: die Kugel hat dem Cylinder ihre Electricität *mitgetheilt*. Diese Mittheilung ist aber, wie hieraus zu ersehen, nur eine *Vertheilung*; denn es hat sich jetzt nur die — E des Cylinders mit einem Theile der + E der Kugel vereinigt und die + E, die jetzt allein noch auf dem Cylinder zu erkennen ist, ist die + E, welche vorher am entfernteren Ende desselben angehäuft war.

§ 435. Auf den Gesetzen der Vertheilung beruhen Instrumente, durch die man im Stande ist, ursprüngliche Electricität in großer Menge in kurzer Zeit hervorzubringen und andern Körpern mitzutheilen. Dazu gehören vorzugsweise die *Electrisirmaschine* und der *Electrophor*.

Die Haupttheile einer Electrisirmaschine sind:

1) Die *Glasscheibe* oder der *Glascylinder*, welche beide oben mit einem Stücke Wachstaffet oder Seidenzeug bedeckt sind, damit sich die Electricität des Glases nicht so leicht in die Luft verliere.

2) Das *Reibzeug* auf Glasfüßen ruhend. Dasselbe besteht aus zwei ausgepolsterten Lederkissen, die mit einem Amalgam (bestehend aus 1 Theil Zinn, 1 Theil Zink, und 2 Theilen Queckſilber) bestrichen sind. Vom Reibzeuge aus strömt vermittelst einer mit dem Fußboden in Verbindung stehenden Metallkette die — E desselben in die Erde über; denn geschähe dieß nicht, so würde die — E hier bald zu einer so großen Spannung gelangen, daß sie zum Theil auf die Glasscheibe überströmen und hier die + E vernichten würde.

3) Die *Kurbel* an der Axe der Scheibe oder des Glascylinders, und

4) der *Conductor* oder *Hauptelectricitätsleiter* auf einem Glasfuße ruhend. Er ist aus Blech in cylindrischer Form mit abgerundeten Enden gefertigt und mit einem Lackfirniß überzogen. Derjenige Theil des Conduc-

tors, der die Electricität von der Glasscheibe oder dem Glascylinder unmittelbar empfängt, heißt der Zuleiter, welcher nach der Seite hin, welche der Glasscheibe zugekehrt ist, mit metallenen Spitzen, den sogenannten Einsaugern, versehen ist.

Die Scheibe, welche + E hat, electrisirt den Conductor durch Vertheilung, die — E strömt aus den Einsaugern gegen die Scheibe und verbindet sich mit der + E von dieser, so daß freie + E auf dem abgewandten Theile übrig bleibt.

§ 436. Die Wirksamkeit einer Electrisirmaschine hängt ab: 1) von der Größe der geriebenen Fläche beim Reiber; 2) von der Anzahl der Umdrehungen der Glasscheibe; 3) von der Wärme des Reibers und des Reibzeuges, und 4) von der Trockenheit der die Maschine umgebenden Luft. Soll die Maschine kräftig wirken, so muß man vor dem Gebrauche derselben die Scheibe und die Glasfüße mit warmem, wollenem Zeuge tüchtig reiben, oder die Maschine eine Stunde zuvor in der Sonnen- oder Ofenwärme stehen lassen.

§ 437. Die Menge der von dem Conductor aufgenommenen Electricität ist um so größer, je größer die Oberfläche desselben ist; bei gleich großer Oberfläche ist aber die Fähigkeit, Electricität aufzunehmen, bei einer Kugel kleiner, als bei einem Cylinder, und zwar wächst diese Fähigkeit (Capacität), je kleiner der Durchmesser gegen die Länge eines Cylinders ist. Der Conductor verliert aber in jedem Augenblicke Electricität an die Luft, und dieser Verlust ist in derselben Zeit und unter gleichen Umständen um so größer, je größer die Anhäufung der Electricität auf dem Leiter ist. Wird die Menge derselben so groß, daß eben soviel an die Luft verloren geht, als von der Maschine in derselben Zeit entwickelt wird; so ist das Maximum (das Höchste) von Electricität auf dem Conductor erreicht und das fernere Drehen der Glasscheibe ersetzt bloß jenen Verlust.

Als Erfinder der Electrisirmaschine kann Otto von Guericke (1676) angesehen werden. Er drehte eine Schwefelkugel mittelst einer Kurbel herum und rieb sie mit der Hand.

Ingerhouss und Planta gaben Scheibenmaschinen an. Mit der Electrisirmaschine können folgende Versuche angestellt werden: das Anziehen und Abstoßen leichter, an Seidenfäden hängender Körperchen, als Korkkügelchen, wenn sie in die electrische Atmosphäre des Conductors gebracht werden; der Tanz von Hollunder- oder Papierpuppen; der Goldregen, Sandwirbel; das electrische Glockenspiel, das Aufschwellen eines Büschels von Haaren oder Baumwolle; das Ausblasen einer Flamme mittelst einer am Conductor angebrachten Spitze; das electrische Flugrad und Carousel; das Emporheben des Kopfhaares und das Herausziehen eines Funkens aus jedem mit dem Knöchel der Hand berührten Körpertheile eines auf dem Isolirschemel stehenden und den Conductor berührenden Menschen; das Leuchten des electrischen Lichts im Dunkeln; der aus einem, mit dem Conductor mittelst eines Leiters verbundenen, Metalltrichter herausfließende leuchtende Wasserstrahl; der Blitzstrahl mittelst einer Blitztafel von Glas; das Nordlicht; Entzündung leicht brennbarer Körper z. B. des Spiritus, des Harzstaubes u. s. w. durch den electrischen Funken des Conductors; Entzündung des Knallgases in der electrischen Pistole; das Einschlagen des Donnerhäuschens. Auch die Zersetzung des Wassers in Sauerstoffgas und Wasserstoffgas; der Heiligenschein; chemische Wirkungen können durch die E hervorgebracht werden, wie wir später sehen werden.

§ 438. Der Electrophor (Fig. 121), auch beständiger Electricitätsträger genannt, ist ein Werkzeug zur Erregung künstlicher Electricität. Er besteht aus folgenden Stücken:

1) der Form. Diese besteht aus einer metallenen Schüssel oder auch aus einer Scheibe von Holz mit Staniol belegt und mit einem niedrigen Rande versehen;

2) dem Kuchen. Geschmolzenes Siegellack, Harz oder eine Mischung aus mehreren solchen nicht leitenden geschmolzenen Substanzen, (z. B. aus 8 Theilen Kalophonium, 1 Theil Schellack und 1 Theil Terpentin; oder 10 Theilen Schellack, 3 Theilen Harz, 2 Theilen Terpentin, 2 Theilen Wachs und ½ Theil Pech) wird in die Form gegossen, so daß diese ganz dadurch ausgefüllt wird und die Oberfläche der geschmolzenen Masse genau eben und horizontal bleibt;

3) dem Deckel. Eine Scheibe von Metall oder Holz oder Pappe mit Staniol oder Silberpapier überzogen, etwas kleiner als der Harzkuchen. Der Deckel wird an 3 seidene Schnüre gehängt, damit man ihn isolirt anfassen kann.

Die Oberfläche des Kuchens wird mit einem Katzenfell, Fuchsschwanz u. s. w. gerieben oder geschlagen, und erhält dadurch — E. Die Erfolge hievon sind:

1) Ehe der Deckel auf den Kuchen gesetzt wird.

Die — E des Kuchens zieht die in seinem Wirkungskreise befindliche + E des Kuchens und der Form an, und stößt deren — E ab, welche, wenn die Form isolirt ist, frei und wirksam wird; sonst aber in anliegende Leiter übergeht.

2) Wenn der Deckel auf den Kuchen gesetzt wird.

Die — E des Kuchens zieht nunmehr die + E des Deckels an, und stößt dessen — E ab, welche, wenn der Deckel isolirt ist, an der obern Seite frei und wirksam wird. Die + E des Kuchens wird nun nicht mehr ganz von dessen — E angezogen, zieht also seinerseits die — E der Form an, und stößt deren — E ab, welche, wenn die Form isolirt ist, frei und wirksam wird; sonst aber in anliegende Leiter übergeht.

Wird der Deckel, während er auf dem Kuchen liegt, allein berührt, so geht seine — E, welche durch Vertheilung frei wurde, in den Finger über, oder sättigt sich mit + E aus demselben und hat dann 0E, so lange er auf dem Kuchen liegt. Werden aber Form und Deckel zugleich berührt, so ist der Uebergang stärker, weil die abgestoßene + E der Form und die abgestoßene — E des Deckels sich heftiger anziehen und mit einander sättigen. Hier stellen die 3 Theile des Electrophors: Deckel, Kuchen und Form zusammen eine negativ geladene Flasche dar, von welcher der Deckel die innere, und die Form die äußere Belegung bilden.

3) Wenn der Deckel isolirt vom Kuchen abgenommen ist, so daß er außer dessen Wirkungskreis kommt.

Hier sind drei Fälle zu unterscheiden:

a) War der Deckel, als er noch auf dem Kuchen lag, nicht berührt worden, so bindet sich seine durch Vertheilung frei gewesene — E wieder mit der vorhin vom Kuchen gebundenen + E, und es ist 0E.

b) War der Deckel allein berührt, so hatte sich schon seine freie — E mit + E, aus dem Finger gesättigt. Seine eigene + E, welche vom Kuchen ge-

bunden war, wird daher jetzt außerhalb des Wirkungskreises des Kuchens frei und wirksam.

c) Waren Deckel und Form zugleich berührt, so hatte der Deckel noch mehr + E bekommen; daher nun auch stärkere + E frei und wirksam wird, wenn er außerhalb des Wirkungskreises des Kuchens kommt.

§ 439. Da alle diese Erscheinungen durch bloße Vertheilung, nicht aber durch Mittheilung der E hervorgebracht werden, so verliert der Kuchen dadurch nichts, und behält daher bei seiner platten Gestalt in trockener Luft, und wenn ihm sonst nichts an E entnommen wird, seine einmal erregte E sehr lange; daher sein Name „beständiger Electricitätsträger oder Electrophor". Der Erfinder dieses Werkzeugs ist Volta (1776).

§ 440. Werkzeuge, wodurch die E angehäuft wird, und ihre Wirkungen bis zu einem furchtbaren Grade verstärkt werden können, sind: die Verstärkungstafel, Verstärkungsflasche und die electrische Batterie.

1) Die Verstärkungstafel von Franklin ist eine Glastafel, die auf beiden Seiten mit Staniol belegt ist, jedoch so, daß diese Belegung auf jeder Seite von dem Rande der Glastafel vier Finger breit absteht. Damit die unbelegten Stellen die E besser isoliren, überzieht man sie mit einem Lackfirniß. Wenn man nun die vordere Belegung mit + E, die hintere mit — E ladet, so werden beide nur durch die Dicke der nicht leitenden Glasscheibe von einander getrennt und durch Vertheilung ziemlich vollständig gebunden. Man braucht aber auch nur die eine, etwa die vordere Belegung der Tafel mit dem Conductor der Electrisirmaschine in leitende Verbindung zu bringen; so wird die + E der Maschine auf die Belegung überströmen. Die E auf der vordern Belegung wirkt durch das Gesetz der Vertheilung auf die gebundene Electricität der hintern Belegung, und sobald man diese mit der Erde leitend verbindet, geht die + E in die Erde über, und die — E verbreitet sich auf der hintern Belegung der Glastafel. Die — E wirkt hier bindend auf die + E der vordern Belegung, und dadurch wird es möglich, daß von Neuem Electr. vom Conductor aus auf die vordere Belegung überströmt, die auch durch ihre vertheilende Kraft wieder die — E auf der hintern Belegung vermehrt. Auf diese Weise können + E und — E auf beiden Seiten der Glastafel zu einer bedeutenden Stärke angehäuft werden. Berührt man die beiden Belegungen der Glastafel mit den Fingern einer Hand, oder setzt man sie durch den sogenannten Entlader in leitende Verbindung; so entladet sich der ganze Apparat auf einmal durch die plötzliche Verbindung beider entgegengesetzten Electricitäten.

Der Entlader ist ein krumm gebogener Draht, der in zwei kleine Kugeln endigt und in der Mitte mit einem Glasgriff versehen ist. Man berührt die eine Belegung mit der einen Kugel des Entladers und nähert die andere Kugel desselben der anderseitigen Belegung der Tafel. Sogleich springt ein starker Funken über, der mit lebhaftem Lichte und lautem Prasseln verbunden ist.

Der Entlader dient hier als ein, die beiden entgegengesetzten Electricitäten verbindender Leiter, der also von einem zwiefachen electrischen Strom nach entgegengesetzten Richtungen durchlaufen wird. Dasselbe gilt überhaupt von jedem Leiter, durch welchen die Ausgleichung entgegengesetzter Electricitäten vermittelt wird.

2) Die Verstärkungsflasche (auch Leidner oder Kleist'sche Flasche genannt) ist im Ganzen nur eine veränderte Form der Franklinschen Tafel. Sie besteht aus einem Glasgefäße, welches außerhalb und innerhalb bis auf einige Zoll vom obern Rande mit Staniol belegt ist.

Die innere Belegung steht mit einem Metallstabe in Verbindung, der durch den hölzernen Deckel des Gefäßes hindurchgeht und mit einem Metallknopfe endigt. Um die Flasche zu laden, bringt man die äußere Belegung mit dem Boden, den Knopf mit dem Conductor der Electrisirmaschine in leitende Verbindung.

3) Die electrische Batterie besteht aus einer Menge möglichst großer Flaschen, deren innere Belegungen alle mit einander durch Drähte in leitender Verbindung stehen; eben so auch alle äußeren Belegungen mit der Erde. Durch den Schlag einer solchen Batterie ist man im Stande, große Thiere zu tödten, Holzstücke von einiger Dicke zu zerschmettern, Eisen in rothglühenden, ja in schmelzenden Zustand zu versetzen. Genug, ein solcher Funken wirkt im Kleinen genau so, wie der Blitz im Großen.

Selbstentladung der Verstärkungsflasche und der electrischen Batterie.

Führt man den Entladungsstrom einer größern Leidnerflasche oder einer Batterie vermittelst eines Drahts quer über eine Stahlnadel, so wird dieselbe magnetisch. Dieß gelingt noch besser, wenn man den Draht um eine gläserne Röhre, in welche man die Nadel (wegen der Isolirung) legt, in mehreren Windungen herumgeführt hat.

§ 441. Eine Seite einer geladenen Flasche kann nicht entladen werden, weil ihre Electricität durch die engegengesetzte der andern Seite gebunden ist; daher gibt eine geladene Flasche keinen oder nur einen kleinen Funken, wenn man sie isolirt hinstellt und den Knöchel des Fingers gegen den Knopf derselben hält.

Die Verstärkungsflasche ist von Herrn v. Kleist zu Camin in Pommern (1745), und ziemlich gleichzeitig auch von Muschenbroeck (1746) zu Leiden erfunden.

§ 442. Ein Electroskop ist ein Werkzeug, wodurch man erforscht, ob ein Körper überhaupt Electricität besitzt. Will man aber den Grad der Stärke dieser Electricität prüfen, so bedient man sich dazu des Electrometers, eines Instruments, das verschiedenartig eingerichtet ist.

Die gebräuchlichsten Electrometer sind:

1) Das Cantonsche. Es besteht aus Seidenfäden mit zwei Korkkügelchen, welche, an einen electrisirten Körper gebracht, sich von einander entfernen.

2) Das Bennetsche. Dieses besteht aus zwei Streifchen Blattgold, welche an einen guten Leiter befestigt sind.

3) Das Voltasche Strohhalm-Electrometer, und

4) das Henlysche Quadranten-Electrometer besteht aus einem Zeiger oder feinen Stäbchen von Buxbaum-Holz, welches an einer kleinen senkrechten Säule von demselben Holz herabhängt, woran ein in Grade eingetheilter Bogen befestigt ist, um die Erhebung des Zeigers daran zu bemerken. Auch die übrigen oben angeführten Electrometer haben zu gleichem Behufe einen Gradbogen.

Von den hier genannten Electrometern ist das Volta'sche Strohhalm-Electrometer das beste.

Aus genau angestellten Messungen ergibt sich das Gesetz, daß die Kraft (Intensität), mit welcher zwei gleichartig electrisirte Körper sich

abstoßen, oder zwei ungleichartig electrisirte sich anziehen, im Verhältnisse des Quadrats der Entfernung abnimmt.

§ 443. Der Condensator oder Mikro-Electrometer, von Volta 1782 erfunden, ist ein Instrument, womit man geringe Grade von Electricität entdeckt und verstärkt. Seine Haupttheile sind (Fig. 121): 1) Die Collectorplatte (Sammelplatte), eine runde, horizontale Metallscheibe AB, gewöhnlich schon mit einem Electrometer in Verbindung, und 2) die Condensatorplatte CD, eine gleich große Metallscheibe an einem isolirten Handgriffe E. Um beide Platten durch einen Isolator zu trennen, werden sie mit einer dünnen Firnißschicht überzogen, oder durch Tröpfchen Siegellack geschieden, so daß die dazwischen liegende Luft der Isolator ist. Der zu prüfende Körper wird an den Metallknopf bei A gehalten, und wenn seine Electricität zu gering ist, um am Electrometer erkannt zu werden, die Condensatorplatte auf die Collectorplatte gelegt.

§ 444. Die Wirkung des Condensators beruht auf der Vertheilung der Electricität im Wirkungskreise. Wenn nämlich die Condensatorplatte der Collectorplatte genähert wird, so bindet die +E, welche die letztere etwa erhalten hat, die —E der Condensatorplatte, indem man deren +E zugleich durch Berührung mit der Hand ableitet, und wird dadurch unthätig. Die Empfänglichkeit des Collectors wächst hiedurch, und dieser kann jetzt mehr +E annehmen, also auch mehr —E der Condensatorplatte binden. Durch das auf diese Weise fortgesetzte Verfahren kann der Collector so viel Electricität aufnehmen, daß, — wenn man den zu prüfenden Körper und darauf die Condensatorplatte isolirt entfernt — die auf der Collectorplatte angehäufte Electricität, nun frei geworden, auf das Electroskop wirken kann. Es tritt bei dem Condensator dieselbe Wechselwirkung ein, welche wir in § 440 bei der Leidnerflasche in Hinsicht der entgegengesetzten Electricitäten der beiden Belegungen kennen gelernt haben.

Man hat von der Electricität nützliche Anwendungen auf die Heilung einiger Krankheiten gemacht, namentlich der Taubheit, des Zahnwehes, der Lähmungen, der Flüsse, der Nervenkopfschmerzen u. s. w.

Von den leuchtenden oder feurigen Lufterscheinungen.

§ 445. Zu den Erscheinungen, die durch die Electricität entstehen, gehören namentlich der Blitz, das Wetterleuchten, das Elmsfeuer oder das Wetterlicht und die Wasserhosen.

1) Der Blitz ist im Großen das, was der electrische Funke der Electrisirmaschine im Kleinen ist. Er entsteht, wenn zwei Wolken nahe an einander treten, von denen die eine electrisch ist, welche letztere dann aus jener einen starken Funken zieht, welcher sich im Zickzack mit außerordentlicher Geschwindigkeit fortbewegt, die Luft mit großer Gewalt trennt, und dadurch, daß die getrennte Luft wieder zusammenströmt, einen starken Knall verursacht, den man Donner nennt. Dieser ist ganz in der Nähe nur ein einfacher Knall, in der Ferne aber wird er durch den Wiederhall in den Wolken und den Bergen der Erde ein lang anhaltendes Rollen. Die Zickzackform des Blitzes mag wohl dadurch entstehen, daß die durch den Blitzstrahl vor sich hergetriebene Luft, so

verdichtet wird, daß sie den Blitz zwingt, von seinem geraden Wege abzuspringen und in eine dünnere Luftschicht seitwärts überzugehen. Nur den Blitz, nicht aber den Donner haben wir zu fürchten. Blitz und Donner bilden, wenn sie von Regen, Hagel, Sturm begleitet werden, das Gewitter.

Schlechte Leiter werden vom Blitze zerschmettert, oder durchbohrt. Der Blitz übt magnetische Wirkungen aus; er macht Eisen- oder Stahlstäbe, in deren Nähe er vorbeigeht, magnetisch, und umgekehrt kennt man Fälle, in denen der Blitz den Magnetismus der Kompaßnadel zerstörte oder umkehrte.

§ 446. Die Gewitter finden größtentheils nur im Sommer statt und besonders an schwülen Nachmittagen, im Winter dagegen nur selten, aber dann sehr heftig.

Die Entstehung der Electricität in den Gewitterwolken kennt man bis hiezu noch nicht mit Gewißheit. Es herrschen darüber viele Hypothesen.

Einige sehen die Electricität als Wirkung chemischer Processe an; andere meinen, daß, indem die in der Luft enthaltenen durchsichtigen Dämpfe sich zu Wolken verdichten, in diesen sich zugleich die Electricität in um so größerer Menge aufhäufe, je reichlicher und rascher die Verdichtung jener Dämpfe erfolge.

So wie dann einerseits die in den Gewitterwolken angehäuften wässerigen Theile in Regengüssen niederstürzen, so entladet sich andererseits die in großer Menge angesammelte Electricität in feurigen Blitzen.

Die Gewitter im Winter zeigen sich nur da, wo die Luft sehr feucht ist, also an den Küsten, und zwar desto häufiger, je steiler die Küsten sind. Aus diesem Grunde eignet sich Norwegen vorzüglich zur Entstehung von Wintergewittern. (S. Kämtz's Meteorologie).

Die mittlere Höhe der Gewitterwolken schätzt man auf 5000 bis 6000 Fuß.

§ 447. Bei weitem die meisten Blitze schlagen von einer Wolke zur andern über; die wenigsten gehen nach der Erde, oder, wie man sagt, schlagen ein. Man schützt Häuser vor dem Einschlagen des Blitzes dadurch, daß man auf ihnen Blitzableiter (von Franklin 1752 erfunden) anbringt. Sie bestehen aus Kupferstangen, deren auslaufende Spitzen vergoldet sind, damit sie nicht rosten. Diese Stangen, welche gegen 6 — 7 Fuß über das Dach hinausragen, stehen durch Metallstreifen von Eisenblech mit der Erde in leitender Verbindung. Diese Metallverbindung darf aber nirgends an dem Gebäude anliegen, sondern wenigstens ½ Fuß weit von dessen Wänden entfernt sein und etwa 2 — 3 Fuß tief unter der Erdoberfläche endigen.

Um sich vor dem Blitze zu schützen, ist anzurathen, 1) vor dem Gewitter die Fenster zu öffnen, um die Stubendünste auf diese Weise zu entfernen und während des Gewitters ein Fenster offen zu lassen; 2) sich von den Wänden und Ecken des Zimmers zu entfernen und sich in die Mitte desselben zu stellen, oder sich auf einen mit gläsernen Füßen versehenen Stuhl zu setzen; 3) sich auch nicht zu nahe an ein solches Hausgeräthe, woran Metall oder Vergoldung befindlich, zu stellen und von sich alle metallenen Gegenstände, als Uhrketten, Haarnadeln u. s. w. zu entfernen; 4) sich nicht von außen an die Wände oder Mauern hoher Gebäude, nicht unter Thorwege, am wenigsten unter Dachrinnen und hohe Bäume, auch nicht unter den Schornstein am Heerd, besonders wenn Feuer auf demselben brennt, zu stellen; 5) fährt, läuft oder reitet man, so geschehe das langsam, damit die Ausdünstungen des thierischen Körpers nicht den Blitz anlocken; 6) am sichersten ist man vor dem Blitz auf dem freien Felde, entfernt von Bäumen und andern Gegenständen; endlich 7) läute man nicht die Glocken während eines Gewitters.

Die Gewitter bringen uns den Vortheil, daß sie die Luft reinigen, welche durch die Hitze mit verschiedenartigen, fremden und ungesunden Stoffen angefüllt ist, und dadurch die Gesundheit der Menschen, das Gedeihen der Pflanzen, die Fruchtbarkeit des Erdreichs u. s. w. befördern.

2) Das Wetterleuchten ist ein Blitzen ohne Donner und ohne Zickzackform. Einige halten diese Erscheinung entweder für ein langsames und

ruhiges Ausströmen der in überladenen Wolken enthaltenen Electricität, oder für eine Beleuchtung der Wolken durch den Blitz eines unter unserm Horizonte stattfindenden Gewitters, von welchem, der großen Entfernung wegen, der Donner nicht bis zu uns gelangen kann, vielleicht auch für ein Gewitter in hohen Regionen, wo der Donner, wegen der sehr dünnen Luft, so schwach ist, daß wir ihn nicht hören können. Von Vielen aber wird das Wetterleuchten für einen eigenthümlichen, nicht electrischen Proceß gehalten, weil der Blitz beim Wetterleuchten vom electrischen Blitze nicht nur in seinem äußern Ansehen, sondern auch in seinen Wirkungen sehr verschieden ist.

3) Das sogenannte St. Elmsfeuer oder das Wetterlicht zeigt sich nur an eckigen und spitzen, mit der Erde in Verbindung stehenden Gegenständen, z. B. an den Spitzen von Mastbäumen, an den Blitzableitern, an den Ohren der Pferde, der Hutspitze auf dem Kopfe eines Menschen, und scheint die Wirkung einer starken Electricität der Atmosphäre oder des Erdkörpers zu sein. Man kann diese Erscheinung, die sich bei heftigen Gewittern zu zeigen pflegt, mit dem Ausströmen eines überladenen electrischen Körpers aus Spitzen vergleichen. Man nennt das St. Elmsfeuer auch Castor und Pollux.

4) Die Wasserhosen sind electrischen Ursprungs und schon in § 401 beschrieben worden.

§ 448. Die Feuerkugeln und Sternschnuppen scheinen entzündete Körper zu sein, die sich mit großer Geschwindigkeit fortbewegen und gewöhnlich eine leuchtende Spur ihrer Bahn hinterlassen. Sie sind nicht electrischer Natur und hängen von dem Einflusse des Klimas, der Witterung, ja sogar von der Beschaffenheit des Bodens ab. Einige Feugerkugeln verschwinden geräuschlos, andere mit einem starken Knall. In manchen Fällen ist die Erscheinung der Feuerkugeln mit dem Herabfallen von Steinen (Meteorsteinen) verbunden. Die Sternschnuppen wiederholen sich sehr häufig im August und vom 11. — 13. November jeden Jahres. Sie sind im Kleinen, was die Feuerkugeln imGroßen sind.

Von der Entstehung der Feuerkugeln und Sternschnuppen weiß man bis hiezu nichts Gewisses,

Das Nordlicht gehört zu den electro-magnetischen Erscheinungen. Siehe hierüber § 480.

II. Berührungselectricität oder Galvanismus.

§ 449. Die bloße Berührung zweier ungleichartiger Körper, namentlich verschiedener Metalle, ist ein neues Mittel, Electricität zu erregen. Werden Zink und Kupfer, die an isolirende Handgriffe befestigt sind, mit einander berührt, und darauf getrennt, so zeigt jede von ihnen Electricität, und zwar Zink + E, Kupfer — E. Hievon kann man sich leicht mittelst eines Condensators überzeugen. Es sind 7 — 10 Berührungen schon zureichend, an dem Goldblättchen des Condensators einen bedeutenden Ausschlag zu bewirken, wobei nach jedesmaliger Berührung der Metallplatten unter einander, die mit dem Condensator nicht in Berührung gebrachte Platte mit dem feuchten Finger ableitend berührt werden muß.

Diese Erscheinungen haben ihren Namen von Galvani, Professor in Bologna, der 1789 bei einem frisch getödteten Frosche, dessen Muskeln und Nerven durch einen Metallbogen verbunden waren, Zuckungen bemerkte, deren Ursache er aber in den thierischen Körper selbst versetzte, indem er sie als Wirkungen der thierischen Electricität ansah, von der die positive in den Nerven und die negative in den die Nerven umgebenden Muskelfasern ihren Sitz habe, welche Electricitäten — einer Leidener Flasche ähnlich — durch Berührung mit einem Metallbogen zu einem Funken vereinigt werden. Volta, ein junger Physiker in Como, dem die Wiederholung des Versuchs erst gelang, wenn der Metallbogen aus zwei verschiedenen Metallen bestand, sah hingegen mit Recht die Berührung der Metalle als die hierbei allein wirksame Ursache an, wie er dieß auch bald durch direkte Versuche nachwies. Obiegen Versuch von Volta nennt man den Voltaschen Fundamentalversuch.

§ 450. Alle durch Berührungselectricität hervorgerufenen Erscheinungen begreift man unter dem Namen Galvanismus oder Voltaismus. Volta nannte die an den Berührungsstellen ungleichartiger Körper wirksame Kraft, deren Wesen unbekannt ist, electromotorische, und die Körper, bei welchen sie hervortritt, Electromotoren (Electricitätserreger).

§ 451. Die Berührungselectricität unterscheidet sich durch nichts von der Reibungselectricität, nur daß erstere weit schneller erzeugt wird, und abgeleitet, sich deßhalb im Moment wieder ersetzt, mithin ununterbrochen wirkt. Aus diesem Grunde hat die galvanische Electricität bereits in Gewerben mehrfache Anwendung gefunden. Die durch Berührung verschiedener Metalle frei werdende Electricitätsmengen sind zwischen den verschiedenen Metallen verschieden. Die Metalle können bei ihrer Berührung mit anderen ungleichartigen, bald positiv, bald negativ electrisch werden. So wird isolirtes Blei durch Berührung mit Zinn positiv, mit Zink negativ electrisch; eben so verhalten sich die übrigen Metalle. In folgender Reihe: Zink, Blei, Zinn, Eisen, Antimon, Messing, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Kohle, Graphit, Braunstein hat jeder Körper, der mit einem der folgenden berührt wird, + E, während der andere — E erhält, wobei die electrische Spannung desto größer wird, je weiter die Körper in dieser Reihe, Spannungsreihe genannt, entfernt stehen, und es gleichgiltig bleibt, ob dieselben sich mit großer oder kleiner Oberfläche, ob sie sich unmittelbar berühren oder durch zwischenliegende andere Electromotoren getrennt sind. Ist z. B. die Spannung in einer Kette von Zink, Blei, Zinn und Kupfer, zwischen Zink und Blei = 5, zwischen Blei und Zinn = 1, zwischen Zinn und Kupfer = 5; so ist die Spannung zwischen Zink und Kupfer = 5 + 1 + 5 = 11, und auch zwischen Zink und Kupfer, wenn diese sich unmittelbar berühren, ist sie = 11.

§ 452. Auch durch Berührung fester und flüssiger Körper entsteht Electricität, und zwar werden alle Metalle, die zum Theil in eine saure oder alkalische Flüssigkeit getaucht werden, an ihrem hervorragenden Theile negativ, die Flüssigkeit mehr oder weniger positiv electrisch. Hier bewirkt also die electromotorische Kraft eine electrische Vertheilung in der Art, daß vom Metalle nach der Flüssigkeit positive, und von dieser nach dem Metalle negative Electricität übergeht. In obiger Spannungsreihe wird ein Metall hierbei desto stärker negativ electrisch, als es näher zum positiven Ende, zum Zink, hin steht, und desto stärker negativ electrisch, je näher es dort dem negativen Ende ist.

Auch verschiedenartige Flüssigkeiten werden durch wechselseitige Berührung electrisch, jedoch nur in sehr geringem Grade.

§ 453. Volta erkannte, daß Wasser und alle Verbindungen desselben mit Säuren, Salzen oder Metalloxyden (Salpetersäure, Schwefel- und Salzsäure, Salmiak-, Kochsalzauflösung u. a. m.) zwischen die einzelnen Plattenpaare gebracht, die Electricität derselben gut leiten, ohne zugleich selbst, oder doch nur sehr schwach, als Electromotoren zu wirken, und es gelang ihm (1800) mit Hülfe dieser Flüssigkeiten die nach ihm benannte Volta'sche Säule zu construiren. Sie besteht aus einer Anzahl gleich großer Platten von zwei verschiedenen Metallen, z. B Zink und Kupfer in gleicher Ordnung über einander geschichtet, jede Schicht von der folgenden getrennt durch einen feuchten Zwischenleiter, zu welchem man gewöhnlich gleich große Tuch- oder Pappscheiben wählt, die mit einer Salzlösung oder verdünnten Säure getränkt worden. Die Aufeinanderfolge der Platten ist dann z. B. Kupfer (K), Zink (Z), feuchter Leiter (F); Kupfer, Zink, feuchter Leiter u. s. fort. Fängt die Säule mit einer Zinkplatte an, so muß sie mit einer Kupferplatte schließen. An einer isolirten Säule findet man dann am Zinkende (positiven oder Zinkpol) + E, am Kupferende (negativen oder Kupferpol) — E; in der Mitte hat die isolirte Säule einen Indifferenzpunkt, d. h. eine Stelle, die gar keine Electricität besitzt; von diesem Punke an aber bis zum Zinkpole freie + E, in arithmetischer Progression zunehmend; auf der andern Hälfte freie — E, in gleicher Weise bis zum Kupferpole wachsend. An einer nicht isolirten Säule, deren einer Pol mit der Erde in Verbindung steht, zeigt dieser 0E, der andere Pol die ihm zugehörige Electricität in einer Spannung, die bei gleicher Plattenzahl doppelt so groß ist, als bei der isolirten Säule. Die electrische Spannung ist bei denselben angewandten Metallen und feuchten Leitern proportional der Anzahl der Plattenpaare.

Die Erregung der Electricität bei der Voltaschen Säule kann man sich auf folgende Weise denken: Beide Metalle sind vor der Berührung im Zustande des electrischen Gleichgewichts. Werden die verschiedenen Metalle in Berührung gebracht, so wird das Gleichgewicht der Electricitäten in ihnen aufgehoben, d. h. die Berührung macht die Electricitäten frei: die + E des Kupfers strömt nach dem Zink und vereinigt sich mit dessen + E, während die — E des Zinks nach dem Kupfer strömt und sich mit dessen — E vereinigt. Es findet demnach eine Strömung der positiven E vom negativen Metall nach dem positiven, und eine Strömung der negativen Electricität vom positiven Metall nach dem negativen statt. Die Electricität der beiden Endplatten ist demnach bei 2 Plattenpaaren doppelt so groß, als bei einem Paare; sie wäre das dreifache bei drei, das vierfache bei 4 Plattenpaaren u. s. w. Bei dem Bau einer Voltaschen Säule ist es nothwendig, 1) deren beide Endplatten mit zwei Isolatoren z. B. Glasplatten zu versehen, zwischen welchen die ganze Säule eingeschlossen sich befindet, damit die E nicht in die anstoßenden Körper übergehe, und 2) die construirte Säule zwischen drei senkrecht stehende Glasstäbe zu stellen und durch eine oben angebrachte Schraube nach Erforderniß zusammenzupressen.

§ 454. Der Voltaschen Säule sind vorzuziehen die sogenannten Becher- und Trogapparate, weil bei ersterer die Platten leicht oxydiren und dadurch die Säule weniger wirksam wird. Der von Volta angegebene Becherapparat (Fig. 122 a.) besteht aus einer Reihe von Glasgefäßen, welche mit einer gut leitenden Flüssigkeit angefüllt sind; in diese werden Metallbogen, je aus zwei an einander gelötheten verschiedenen Metallstreifen, (z. B. aus Zink und Kupfer) bestehend, so getaucht, daß in das erste Gefäß das Zinkende, in das zweite das Kupferende des ersten Bogens, in das letztere Gefäß darauf das Zinkende des zweiten Bogens, und in das dritte Gefäß dessen Kupferende hinein-

ragt, wobei sich die verschiedenen Metallbogen nicht in der Flüssigkeit berühren dürfen.

§ 455. Der Trogapparat ist ein hölzerner, innen gefirnißter Kasten, in welchen auf einander gelöthete viereckige Zink- und Kupferplatten in parallelen und gleich geordneten Lagern gekittet werden, so daß zwischen ihnen Zellen entstehen, in welche die leitende Flüssigkeit (eine Salzauflösung oder verdünnte Säure) gegossen werden kann; wobei dafür zu sorgen ist, daß die Zellen nicht den Durchgang der Flüssigkeit aus einer in die andere gestatten.

§ 456. Die an den Polen der Voltaschen Säule angehäufte Spannungselectricität äußert dieselben Wirkungen, wie die durch die Electrisirmaschine entwickelte; sie vereinigt sich mit der des andern Poles bei gegenseitiger Annäherung durch die Luft unter einem lebhaften Funken, der selbst leicht brennbare Körper, wie Phosphor, Schwefeläther, Knallgas nnd andere Körper entzündet; zieht leichte isolirte Korkkügelchen an und stößt sie darauf ab; bewirkt bei ihrer Vereinigung durch den menschlichen Körper in demselben Erschütterungen, ähnlich den einer Leidner Flasche; ladet letztere, wenn deren innere Belegung mit dem einen, die äußere Belegung mit dem andern Pole leitend verbunden wird; erzeugt, wenn der eine Pol mit der Zunge, der andere mit der befeuchteten Hand berührt wird, eine Geschmacksempfindung, am positiven Pole eine säuerliche, am negativen eine laugenhafte, in den Ohren ein Geräusch und so fort, und wirkt auf das Electroskop, wie jede andere freie Electricität.

§ 457. Verbindet man aber die beiden Pole der Voltaschen Säule durch einen Metalldraht (Schließungs- oder Verbindungsdraht), so fließen die Electriictäten der beiden Pole durch denselben ab; die + E vom Zinkpole durch den Draht zum Kupferpole und kehrt durch die Säule zum Zinkende zurück; dasselbe geschieht, aber in entgegengesetzter Richtung, von der negativen E des Kupferpoles. Dabei werden in jedem Augenblicke die Platten entladen, um sich wieder zu laden, und in jedem Punkte des Schließungsdrahtes durch Vertheilung beide Electricitäten hervorgerufen und wieder vernichtet. Diese circulirende Thätigkeit heißt der electrische Strom; sie ist — unähnlich der Spannungselectricität an den Polen einer isolirten Säule — nicht im Stande, auf das Electroskop zu wirken. Die Säule sowohl, wie der Schließungsdraht zeigen keine der Aeußerungen der Eletricität nach außen; dagegen aber wirkt die Stromelectricität im Innern der Säule und des Schließungsdrahtes, sowohl zersetzend als zusammensetzend, Licht, Wärme, Magnetismus erzeugend u. s. w., und das ist gerade der große Vorzug und die Haupteigenschaft der Voltaschen Säule. Eine solche Säule, deren beide Pole in leitende Verbindung gesetzt sind, heißt eine geschlossene Säule; die Metalldrähte, deren man sich zur Schließung derselben bedient, und die an die beiden Pole angebracht werden, heißen Poldrähte. Jede nicht geschlossene Säule heißt eine offene.

§ 458. Außer den in § 456 aufgeführten Wirkungen des electrischen Stromes einer Voltaschen Säule wollen wir noch folgende hervorheben:

1) Wäme- und Lichterzeugung. Ist der Schließungsdraht dünn und kurz, so genügt schon ein schwacher Strom, ihn glühend zu machen, ja zu schmelzen. Wird der Schließungsdraht an einer beliebigen Stelle durchschnitten, so sieht man einen beständigen Funken zwischen den beiden nahe an einander stehenden Drahtspitzen. Kohlenstücke an die Enden der Poldrähte

gebracht, verbrennen mit lebhaftem Glanze. Werden die beiden Enden der Poldrähte in ein Gefäß mit Quecksilber gesteckt und wieder herausgezogen, so zeigt sich beim Schließen, wie beim Oeffnen der Säule ein kurzer, aber glänzender Funke. Man hat durch gehörige Verstärkung der Apparate die durch die Säule hervorgebrachte Hitze zu einem Grade gesteigert, welcher kaum durch die stärksten Brennspiegel und Gasgebläse hervorgebracht worden ist.

2) Erschütterungen im Körper. Diese sind besonders stark, wenn man mit befeuchteten Händen die beiden Poldrähte faßt und der Strom schnell auf einander folgende Unterbrechungen und Schließungen erleidet.

In dem längere Zeit den Einwirkungen der Voltaschen Säule ausgesetzten menschlichen Körper erzeugt sich Schläfrigkeit, Mattigkeit, ein kranker Magen, unruhiger Schlaf, Wüstsein des Kopfes, Beklemmungen, Krampfanfälle u. s. w. Indeß wird der Galvanismus auch in manchen Krankheiten mit gutem Erfolg angewendet. Ure's Experiment mit einem Gehängten. Reef hat einen Apparat construirt, welchen er Blitzrad nennt. Eine Kupferscheibe, die sich um eine vertikale Axe drehen läßt, steht mit dem einen Pol der Säule in Verbindung, während ein mit dem zweiten Pole verbundener Draht Zähne berührt, welche in die Peripherie der Scheibe geschnitten sind. Bei schneller Drehung der Scheibe wird die Säule abwechselnd geöffnet und geschlossen, und die Empfindung ist weit stärker, als wenn die Säule ununterbrochen geschlossen wäre. Die Erschütterungen werden noch weit heftiger, wenn man den einen Pol mit einem langen mit Seide bewickelten Drahte verbindet, welcher schraubenförmig um einen hohlen Cylinder gewickelt ist, in dessen Inneres ein Stab von weichem Eisen gesteckt wird.

3) Chemische Wirkungen. Läßt man electrische Funken durch Röhren gehen, in welchen sich Gase befinden, die eine chemische Verbindung eingehen können, wie Wasserstoffgas und Sauerstoffgas, so verbinden sich beide zu Wasser. Umgekehrt lassen sich fast alle zusammengesetzten Körper durch den Strom einer Voltaschen Säule zersetzen, z. B. Wasser, indem sich an den Enden der Poldrähte, welche bis zu einem gewissen Abstande von einander in Wasser reichen, am positiven Poldrahte Blasen von Sauerstoffgas am negativen Poldrahte Blasen von Wasserstoffgas entwickeln, welche in 2 darüber gestülpten Glascylindern aufgefangen werden können; nur muß, um den Sauerstoff wirklich in Gasform zu erhalten, der positive Poldraht aus Gold oder Platin sein, damit der frei gewordene Sauerstoff sich dort nicht mit dem Metalle verbinde und ein Oxyd bilde, statt frei zu werden. Eben so werden Alkalien, Metalloxyde und Säuren zersetzt, wobei der Sauerstoff immer am positiven Polende auftritt, entweder frei, oder, wenn der positive Poldraht von leicht oxydbarem Metall ist, diesen oxydirend.

Wird z. B. Kali (eine sonst schwer zu reducirende Verbindung des Kaliums mit Sauerstoff) etwas angefeuchtet auf eine Platinschale gelegt, diese mit dem positiven Pole verbunden und der negative Poldraht auf das Kali gehalten, so bilden sich kleine glänzende, metallische Kügelchen von reducirtem Kaliummetalle. Diese kleinen Metallkügelchen oxydiren in kurzer Zeit wieder; taucht man dieselben in Wasser, so entsteht eine lebhafte Verbrennung, indem das Kalium sich mit Sauerstoff des Wassers verbindet. Daher kann Kalium nur unter Steinöl, welches aus Kohlenstoff und Wasserstoff besteht, aufbewahrt werden.

Salze werden im Kreise der Voltaschen Säule so zerlegt, daß sich die Basis zum negativen, die Säure zum positiven Pole begibt. Bei Lösungen von Metallsalzen häuft sich das reducirte Metall stets am negativen Poldrahte an. Man nennt den Bestandtheil eines chemisch zusammengesetzten Körpers, der sich bei seiner Zersetzung durch die Voltasche Säule an dem positiven oder Zinkpole ansammelt, den electronegativen, und den, der sich

nach dem negativen oder Kupferpole begibt, den electropositiven. Deßhalb werden Wasserstoff, die Oxyde, Alkalien und Erden zu den electropositiven, und der Sauerstoff und die Säuren zu den electronegativen Bestandtheilen gezählt, und alle chemischen Verbindungen als bedingt durch den electrischen Gegensatz ihrer Bestandtheile angesehen.

Um die Entstehung der Kupfersalze in kupfernen Gefäßen zu verhindern, werden diese deßhalb inwendig verzinnt. Den kupfernen Beschlag der Schiffe sichert man dadurch vor dem Oxydiren, daß man an verschiedenen Stellen auf das Kupfer Platten von Zink nagelt, welcher jetzt, als das positiv-electrische Metall von der Säure angegriffen, ja endlich ganz verzehrt, das Kupfer aber dagegen ganz blank erhalten wird. Davy hat gefunden, daß ein Stück Zink von der Größe eines kleinen Nagels hinreicht, um 40—50 Quadratzoll Kupfer im Seewasser gegen das Anfressen zu schützen. Eben so schützt man Stahlwaaren vor dem Roste, wenn man ein Stückchen Zink zu ihnen legt.

Der positive Poldraht wirkt überhaupt wie eine Säure; z. B. färbt er die Lackmustinktur roth, der negative Pol dagegen wirkt wie ein Alkali; er färbt Veilchensaft grün, und der vom positiven Poldraht gerötheten Lackmustinktur gibt er die blaue Farbe wieder.

Auf gleiche Weise erleidet aber auch die Flüssigkeit, z, B. verdünnte Schwefelsäure zwischen den einzelnen Plattenpaaren der Säule eine Zersetzung; die Zinkplatten oxydiren daher und nehmen eine weißliche Rinde (Zinkoxyd) an, während die Kupferplatten durch Schwefelwasserstoffgas geschwärzt werden, weßhalb sie von Zeit zu Zeit gereinigt werden müssen. Die hieraus entstehende Abnahme in der Thätigkeit der Säule hat zu der Construction beständig wirkender (constanter) Säulen oder Batterien Veranlassung gegeben, deren später noch erwähnt werden sollen. (§ 463).

4) Magnetische Wirkungen, deren vorzüglichste in einem besondern spätern Abschnitte (siehe Electromagnetismus) behandelt werden sollen.

§ 459. Vielfach angestellte Versuche zeigen, daß wohl im Allgemeinen von der Beschaffenheit der Metalle und der Flüssigkeiten die Wirksamkeit einer Säule abhängig ist, und daß verdünnte Säuren oder Salzauflösungen als Leiter besser den electrischen Strom unterhalten, als reines Wasser; doch sind außerdem noch Größe und Anzahl der Plattenpaare von großem Einflusse und zwar so, daß von der Größe der Platten die Menge (Quantität), von ihrer Anzahl die Stärke (Intensität) der entwickelten Electricität abzuhängen scheint. Man wird deßhalb, um die Wirkung auf das Electroskop und die Erschütterungen zu verstärken, die Anzahl der Platten vergrößern; zu Erhöhung von Wirkungen aber, die eine sehr schnelle Bewegung der Electricität erfordern — wie das Erwärmen und Verbrennen der Metalle, das Zersetzen eines Körpers in seine Bestandtheile, zu magnetischen und andern Erscheinungen, — bei einerlei Oberfläche des Metalls, wird man eine Säule mit wenigen großen, einer Säule mit vielen kleinen Platten vorziehen, eines Theils, weil der Uebergang der Electricität von einer Platte zur andern stets eine Schwächung des Stroms bewirkt, und andern Theils, weil die Leitung der Electricität um so schneller geschieht, je größer der Querschnitt des Metalls und der Flüssigkeit, die dasselbe als Zwischenleiter benetzt, und je kürzer die Säule ist. Ein einfaches Plattenpaar zeigt hier oft die größtmöglichste Wirkung. Die Anordnung desselben, so wie die zusammengesetzten Vorrichtungen zur Erzeugung starker und sich gleich bleibender Ströme wird im

Nachfolgenden gezeigt werden, wobei hinfort nicht mehr beide Ströme, sondern, der Bequemlichkeit wegen, bloß der positive, vom Zink ausgehende und von der Berührungsstelle abwärts vom Zink zur Flüssigkeit u. s. w. sich bewegende Strom betrachtet wird.

Einfache und zusammengesetzte Voltasche Kette.

§ 460. Unter einer einfachen Voltaschen Kette oder einem Voltaschen Element versteht man eine Verbindung zweier verschiedenartiger Metalle mit einem flüssigen Zwischenleiter. Eine solche Kette bildet man auch, wenn man z. B. (Fig. 122 b) eine Zink- und eine Kupferplatte getrennt einander gegenüber in die leitende Flüssigkeit (verdünnte Schwefel- oder Salpetersäure) taucht und ihre hervorragenden Theile außerhalb berührt oder durch einen Kupferdraht verbindet. Die Electricität, die hier an der Berührungs- oder Verbindungsstelle der beiden Metalle erregt wird, bewegt sich von dort abwärts, und zwar der positive Strom, von Zink aus, durch den flüssigen Leiter zu dem Kupfer, und von hier durch den Schließungsdraht zur Berührungsstelle zurück. Die Größe der Berührungsstelle ist gleichgiltig, wohl aber sucht man zur Erzeugung wirksamer Ströme dem Uebergange der Electricität große Flächen darzubieten, und ordnet deßhalb das negative Metall so an, daß es das positive Metall von mehreren Seiten umgibt. Dieß geschieht, indem man (Fig. 123) einen Zinkstab in einen kupfernen Cylinder, von diesem isolirt, stellt, den Cylinder zum Theil mit der Flüssigkeit füllt und beide Metalle durch einen Kupferdraht verbindet. Diese Verbindung bringt man am besten zu Stande, wenn man kupferne Näpfchen, eines auf den Zink, und eines auf den Rand des Kupfercylinders löthet, sie mit Quecksilber füllt und durch einen Kupfer- oder Platindraht verbindet.

An Stelle des Kupfers und Zinks kann man auch je zwei andere Metalle wählen, jene aber werden, sowohl ihrer großen electrischen Kraft, wie auch ihrer Wohlfeilheit wegen, den meisten andern Verbindungen vorgezogen.

§ 461. Durch Vereinigung mehrerer solcher Voltaschen Elemente bildet man — um die Intensität des Stromes zu vergrößern — zusammengesetzte Ketten (auch Säulen oder Batterien genannt), indem man stets das positive Metall des einen Elements mit dem negativen des folgenden und so fort leitend verbindet; die Richtung des Stromes ist in Fig. 124 durch Pfeile bezeichnet. Sie geht in der Flüssigkeit vom Zink zum Kupfer, im Schließungsdrahte vom Kupferende zum ersten Zinkstabe zurück, während der Strom bei der Voltaschen Säule in § 457 vom Zinkpol durch den Schließungsdraht zum Kupferpol ging und durch die Säule vom Kupferpole zum Zinkpole zurückkehrte.

Man kann auch, um die Quantität der Electricität statt der Intensität zu vermehren, alle positiven Metalle mit einander, und eben so alle negativen mit einander in leitende Verbindung setzen, wodurch die Oberflächen aller Platten zu einer einzigen vereinigt werden.

Einer der kräftigsten Stromerzeuger ist Hare's Deflagrator oder Calorimotor, so genannt wegen der großen Hitze, die er hervorzubringen vermag. Es werden zwei lange Zink- und Kupferstreifen an einem Ende aneinander gelöthet und durch Tuchstreifen getrennt, parallel auf einander gelegt, beide zugleich in dieser Lage um einen Holzstab gewickelt und der ganze Cylin-

der in eine saure Flüssigkeit gestellt, worauf die Enden beider Metallstreifen durch einen Draht verbunden werden. Dieser wird glühend oder geschmolzen. Schließt man die Kette auf die Art, daß man die Enden zweier mit den beiden Platten verbundener Drähte mit einander in Berührung bringt; so erscheint bei der Trennung derselben ein heller Funken.

§ 462. Bei allen diesen Ketten wird, wie ja auch in der Voltaschen Säule, die leitende Flüssigkeit selbst durch den Strom zersetzt und dadurch diese und das Metall geändert. In einer Zink-Kupferkette, die mit verdünnter Schwefelsäure genetzt worden, wird durch Zersetzung des der Schwefelsäure beigemischten Wassers in Sauerstoff und Wasserstoff, durch ersteren der Zink oxydirt, während der Wasserstoff, sich ans Kupfer setzend, durch Berührung wiederum einen neuen, dem ursprünglichen entgegengesetzten Strom erregt; und diese Schwächung der Kette wird noch dadurch vergrößert, daß durch abermalige Zersetzung des in der Schwefelsäure gelösten Zinkoxyds Zink auf der Oberfläche des Kupfers niedergeschlagen wird. Diese rasche Abnahme der Strömung in der Kette hat man durch die Construction von sogenannten constanten Ketten und Batterien (d. h. Säulen von beständiger Wirksamkeit) zu vermeiden versucht.

In einer Voltaschen Zink-Kupfersäule ist die Anwendung amalgamirter Zinkplatten, ihrer größern Reinlichkeit und der längern Dauer ihrer Kraft wegen, zu empfehlen.

Die constanten Ketten.

§ 463. Sie sind eine Verbindung zweier fester Electromotoren mit zwei Flüssigkeiten, von denen die eine den positiven, die andere den negativen Electromotor umgibt, so daß die sie scheidende Wand nicht die Vermischung derselben, wohl aber gegenseitige Berührung und die Leitung der Electricität gestattet, wie Holz, Thon, Kork, Thierblase und andere dergleichen Körper.

Constante Ketten von besonders guter Wirkung sind:

1) Die Daniel'sche Kette, welche aus Zink, Kupfer, verdünnter Schwefelsäure und einer Kupfervitriollösung (schwefelsaurer Kupferoxydlösung) besteht. In einem hohlen Kupfercylinder wird ein gebrannter Thoncylinder und in diesen ein massiver Zinkcylinder zweckmäßig gestellt; in den Kupfercylinder die Kupfervitriollösung, und in die Thonzelle verdünnte Schwefelsäure gegossen.

2) Die Grove'sche Zink-Platinkette, welche aus amalgamirtem Zink, Platin, verdünnter Schwefelsäure und Salpetersäure besteht. In einen hohlen Zinkcylinder wird ein Thoncylinder, in diesen mehrere um eine Axe gestellte Platinblätter gelegt, und die Schwefelsäure in den Zinkcylinder, die Salpetersäure in die Thonzelle gegossen.

3) Die Bunsen'sche Zink-Kohlenkette, in welcher freie, gut geglühte und besonders zugerichtete Steinkohle die Stelle des kostbaren Platins der Grove'schen Kette vertritt. In einen hohlen Cylinder dieser Kohle stellt man eine cylindrische Thonzelle und in diese Zinkstangen; zum Zink wird verdünnte Schwefelsäure, zur Kohle Salpetersäure gegossen und das Ganze noch in ein Glasgefäß gestellt. Die Verbindung beider Electromotoren geschieht durch einen zinkenen Metallring, welcher genau schließend um den Kohlencylinder gelegt und durch Metallstreifen mit dem Zinkstabe verbunden wird.

Der Nutzen zweier Flüssigkeiten in den beiden letzteren Ketten besteht darin, daß der aus dem Wasser der Schwefelsäurelösung ausgeschiedene Wasserstoff auf seinem Wege zum negativen Electromotor von der Wand der Thonzelle aufgehalten wird und sich dort mit dem Sauerstoff, der durch Zersetzung der Salpetersäure auf der andern Seite der Zwischenwand ausgeschieden worden, zu Wasser verbindet.

In der Daniellschen Kette verhindert man überdieß den Niederschlag von Zink auf den kupfernen Electromotor durch die denselben umgebende Kupfervitriollösung, aus welcher sich statt dessen nur metallisches Kupfer auf dem Kupfercylinder absetzt.

Auch aus einfachen constanten Ketten können constante Batterien zusammengesetzt werden, z. B. eine Daniellsche Zink-Kupferbatterie durch Verbindung des Kupfercylinders des ersten mit dem Zinkstabe des folgenden Elements und so fort; geschlossen wird die Batterie durch einen beliebigen Draht, der den ersten Zinkstab mit dem letzten Kupfercylinder verbindet. Der Strom geht auch hier in der Flüssigkeit jeder Kette vom positiven zum negativen, in dem Schließungsdraht vom negativen zum positiven Electromotor.

§ 464. Auf der chemischen Wirkung der Ketten beruht die Galvanoplastik, oder das Verfahren, auf galvanischem Wege durch Niederschlag, z. B. von Kupfer aus einer Kupferlösung, beliebige Gegenstände abzuformen.

Man füllt (Fig. 125) ein Glasgefäß zum Theil mit einer Kupfervitriollösung, hängt in dasselbe einen offenen, unten durch eine Thierblase geschlossenen Glascylinder mit verdünnter Schwefelsäure; legt in erstere Flüssigkeit die abzubildende Metallplatte, in letztere ein Zinkstück, und verbindet beide mittelst eines Kupferstreifens, wobei dieser, so weit er in die Flüssigkeit ragt, wie auch die nicht abzubildenden Theile des Modells sorgfältig mit Wachs zu umkleiden sind, um einen Niederschlag auf dieselben zu verhindern. Das in der Kupfervitriollösung enthaltene Kupferoxyd wird reduzirt und das Kupfer metallisch auf das Modell als ein fester, später leicht abzulösender Ueberzug niedergeschlagen.

Durch denselben Apparat und auf ähnliche Weise hat man Niederschläge aus neutraler Goldchloridlösung (bestehend aus Goldchlorid mit Cyankalium oder Blutlaugensalz in Wasser) in neuerer Zeit Vergoldungen auf galvanischem Wege in großem Maßstabe ausgeführt. Der Zink kommt in diesem Falle in die verdünnte Schwefelsäure und der zu vergoldende metallene Gegenstand in die Goldchloridlösung, und beide werden mit einem Kupferdrahte leitend verbunden. Der zu vergoldende Gegenstand bildet selbst den negativen Pol, welcher von dem ausgeschiedenen edlen Metalle überzogen wird.

Man braucht zu diesem Zwecke keinen Strom von großer Stärke, aber von möglichst beständiger Wirkung.

Das einfachste Verfahren bei der galvanischen Vergoldung besteht darin, daß man eine Auflösung von einem Theile Chlorgold, 6 Theilen blausaurem, 4 Theilen einfach kohlensaurem Kali und 6 Theilen Kochsalz in 50 Theilen Wasser in einem porcellanen Schälchen mäßig erwärmt, den zu vergoldenden Gegenstand hineinlegt und mit einem Zinkstäbchen berührt. Die zu vergoldenden Gegenstände müssen sorgfältig gereinigt sein, wenn die Vergoldung gut ausfallen soll. Zu bemerken ist, daß die Goldauflösung sehr giftig ist.

Trockene oder Zamboni'sche Säulen.

§ 465. Da die Volta'schen Säulen ihre Kraft der Zerlegung und des Verbrennens verlieren, so wie sie trocken werden, aber die Kraft der Anziehung und Abstoßung unverändert beibehalten; so hat man Säulen aus bloß trockenen Stoffen zusammengesetzt, bei welchen die anziehende und abstoßende Kraft hiernach bleibend sein muß. Sie werden trockene oder Zamboni'sche Säulen genannt nach ihrem Erfinder Zamboni (1812), Professor zu Verona.

Diese Säulen bestehen aus zwei Electromotoren, welche durch einen schlecht leitenden Körper verbunden sind. Man klebt z. B. sogenanntes Silberpapier (Zink) und Goldpapier (Kupfer) mit den Papierseiten zusammen, schneidet daraus Scheiben und preßt diese so über einander, daß entweder stets die Goldseite, oder stets die Silberseite nach oben gerichtet ist. Zamboni, welcher sich viel mit diesen Säulen beschäftigte, construirte auch Säulen, welche er zwei-elementige nannte, und aus Einem Electromotor, dessen beide Seiten aber eine verschiedene Beschaffenheit der Oberfläche haben, und aus einem trockenen Zwischenleiter bestehen, wie z. B. Scheiben aus bloßem Silberpapier, in gleicher Ordnung über einander geschichtet. Das Metall ist in diesem Falle auf der einen Seite, in der Regel auf der gegen das Papier gerichteten, mehr oxydirt, als auf der andern und die oxydirte Seite erhält — E.

Die Körper, aus denen solche trockene Säulen zu construiren sind, können sehr verschieden sein; bei Anwendung zweier Electromotoren erhält man sehr kräftige Säulen, wenn man ein Silberpapier auf der Papierseite mit gepulvertem Braunstein oder Kohle oder braunem Bleisuperoxyd bestreicht, welche Körper — E erlangen, während die Silberseite, welche Zink ist, + E erhält. Es können so überhaupt je 2 verschiedenartige Körper, aus denen man, durch Auftragen derselben auf 2 Papierseiten, Säulen construirt, in Bezug auf ihre Electricität geprüft werden, und man hat auf diese Weise gefunden, daß alle organischen Körper, wie Blut, Stärke, Zucker, Leim u. s. w. bei ihrer Berührung Electricität entwickeln.

§ 466. Die Gesetze für die trockne Säule sind dieselben, als für die vorher erwähnte nasse, und nur wegen der schlechten Leitbarkeit des trockenen Papiers werden die Erscheinungen etwas abgeändert, indem nach dem Aufbau, so wie nach jeder Entladung derselben eine längere Zeit vergeht, bevor der Pol Electricität zeigt, oder gar das höchste seiner Spannung erreicht. Es hat aber auch hier

1) die Größe der Platten auf das erlangte Höchste der Spannung keinen Einfluß;

2) steht dagegen die Zeit, in welcher die entladene Säule dieses Höchste wieder erlangt, im umgekehrten Verhältniß mit der Größe der Platten, und

3) ist die Spannung bis zu 10000 Plattenpaaren proportional mit der Zahl der Platten, ja es soll bei etwa 20000 Paaren die Zunahme der Spannung, der schlechten Leitung wegen, ganz aufhören.

§ 467. Werden zwei trockene Säulen so neben einander aufgestellt, daß ihre entgegengesetzten Pole nach oben gerichtet sind, so macht ein zwischen ihnen befindlicher, leicht beweglicher isolirter Leiter eine Reihe regelmäßiger Schwingungen, indem er, von dem positiven Pol angezogen + E erlangt, darauf von diesem abgestoßen und vom negativen Pol angezogen wird, wo er — E erhält und nun wieder zu dem Pol gestoßen wird u. s. w. Hiedurch entsteht das electrische Perpetuum mobile. Wird ein Goldblättchen zwischen den entgegesetzten Polen in dem kleinsten Abstande aufgehängt, bei welchem es im natürlichen Zustande weder von dem einen noch dem andern Pole angezogen wird, so bewegt es sich sogleich zu dem einen von diesen, wenn wir ihm Electr. mittheilen, und wir erhalten durch diese Vorrichtung ein Electrometer, welches nicht nur die kleinsten Mengen von Electr., sondern auch zugleich die Art derselben anzeigt. Ein solches ist Bohnenbergers Electroskop (Fig. 126), wo a und b zwei kleine Zamboni'sche Säulen sind, deren eine oben + E, und die andere — E hat; c ist ein Goldblättchen.

Da trockene Säulen, wenn sie durch Verbindung ihrer beiden Pole entladen werden, sich erst nach einer meßbaren Zeit von Neuem laden, so eignen sie sich nicht zur Erzeugung von electrischen Strömen, wohl aber zu electroskopischen Erscheinungen. Ist die trockene Säule hinlänglich verwahrt, so dauert ihre Wirksamkeit Monate, ja sogar Jahre lang fort. Eine Zamboni'sche Säule von 2000 Paaren ist noch nicht im Stande, den mindesten Schlag zu geben oder die mindeste chemische Zersetzung hervorzubringen; allein ihre Pole zeigen eine sehr merkliche Spannung.

§ 468. Wenn dem Schließungsdrahte einer Volta'schen Kette oder Säule ein in sich geschlossener Leiter nahe steht, so findet in diesem im Moment des Schließens und Oeffnens der Kette eine Electricitätserregung statt, die man den Nebenstrom oder inducirten Strom, und die hiedurch erregte Electricität Inductionselectricität nennt. Der inducirte Strom, der beim Schließen der Kette entsteht, hat mit dem ursprünglichen eine entgegengesetzte, beim Oeffnen der Kette eine gleiche Richtung. Während die Kette geschlossen ist, verschwindet der inducirte Strom wieder. Bei einer Kette von 10 und mehr Elementen wird der inducirte Strom gleich stark mit dem ursprünglichen, und bei noch mehr Elementen ungleich stärker.

Auf gleiche Weise entsteht, wenn ein geschlossener Leiter und ein von Electr. durchströmter Leiter einander genähert oder von einander entfernt werden, in dem erstern ein electrischer Strom und zwar von entgegengesetzter Richtung bei der Annäherung, von gleicher Richtung mit dem ursprünglichen bei der Entfernung.

§ 469. Auch der Schließungsdraht einer Leidner Flasche oder Batterie verursacht in einem benachbarten Leiter eine Electricitätsbewegung, welche man den electrischen Nebenstrom, zur Unterscheidung von dem durch Galvanismus erzeugten Nebenstrom nennt. Er hat aber dieselbe Richtung wie der ursprüngliche.

Die Wirkungen des inducirten Stromes sind in allen diesen Fällen denen des gewöhnlichen electrischen Stromes vollkommen gleich; daher kann derselbe auch in einem andern Leiter wieder einen dritten Strom induciren, und dieser einen vierten u. s. w., und bringt Licht-, Wärme- und magnetische, so wie sehr starke Wirkungen auf die Nerven hervor.

Kapitel X.

Von dem Electromagnetismus, von der Magneto-Electricität und Thermoelectricität.

I. Electromagnetismus oder Erregung des Magnetismus durch electrische Ströme.

§ 470. Längst schon hatte man aus der großen Aehnlichkeit der magnetischen und electrischen Erscheinungen auf eine nahe Verwandtschaft der denselben zu Grunde liegenden Kräfte geschlossen. Man wußte auch schon, wie starke Blitze auf nahe liegende Magnetnadeln nachtheilig eingewirkt, wie Magnetnadeln, durch welche eine starke electrische Batterie entladen, oft alle magnetische Kraft verloren oder umgekehrte Polarisation erhalten hatten (§ 445,1); aber alle hierüber angestellten Versuche führten zu keinem entscheidenden Resul-

tate. Erst durch den dänischen Professor Oersted ward 1820 jene Vermuthung zur Wahrheit erhoben. Dieser Naturforscher entdeckte nämlich am electrischen Strome, daß derselbe allen Metallen, welche er durchgeht, die magnetische Kraft ertheilt, und also eine ihm genäherte frei schwebende Magnetnadel von ihrer ursprünglichen Richtung ablenkt.

Die durch Electricität hervorgebrachte Wirkung auf die Magnetnadel heißt Electromagnetismus.

§ 471. Oersted's Fundamentalversuch bestand in Folgendem: Ueber einer leicht beweglichen frei schwebenden Magnetnadel A (Fig. 127) taucht ein gerader Kupferdraht ab in Quecksilbernäpfchen q,q so, daß er mit der Magnetnadel in einerlei Vertikalebene liegt und parallel läuft. Werden nun die Poldrähte K,Z eines offenen Voltaschen Elements aus Kupfer und Zink in die Quecksilbernäpfchen q,q getaucht; so erfolgt augenblicklich eine starke Abweichung der Magnetnadel. Leitet man bei a, an der Nordseite des Drahts den vom Kupfer ausgehenden positiven Strom, und bei b den vom Zink kommenden negativen Strom, so ist das Abweichen der Nordspitze der Nadel östlich. Wenn dagegen bei a der negative, und bei b der positive galvanische Strom hineingeleitet wird, so erfolgt eine westliche Abweichung der Nadel. Wird nun in derselben Weise die Nadel über den Schließungsdraht gebracht und in a der positive, in b der negative Strom eingeleitet, so ist die Ablenkung der Magnetnadel-Nordspitze westlich; sie wird aber östlich, wenn umgekehrt der positive Pol in b und der negative in a einmündet. Liegt die Nadel mit dem Schließungsdrahte in derselben Horizontalebene parallel daneben auf der Ostseite, während der positive Strom von a nach b geht, so ist ein starkes Emporheben in der Nordspitze der Nadel bemerkbar; und wenn umgekehrt der + Strom von b nach a geht, so ist ein eben so starkes Hinabsinken der genannten Spitze sichtbar. Wenn aber unter übrigens gleichen Umständen die Nadel auf der Westseite des Drahtes steht, so bewirkt ein von a nach b gehender positiver galvanischer Strom das Senken der Nordspitze, dagegen ein Heben dieser Spitze, wenn der Strom umgekehrt von b nach a geht. In andern Lagen des Drahts kommen zu den obigen Declinations- und Inclinationsveränderungen noch sehr viele neue hinzu, und es wird sehr schwierig sein, alle im Gedächtniß zu bewahren. Ampère fand das leicht zu behaltende einfache mechanische Gesetz dieser Magnetnadelablenkung: Denkt man sich den Beobachter in den Strom so gesetzt, daß dieser von den Füßen nach dem Kopfe geht, und sieht man dabei stets die Magnetnadel an; so wird der Nordpol der Nadel nach der linken Seite (Osten) abgestoßen.

§ 472. Um das von Ampère aufgestellte Gesetz zu prüfen, umschloß Schweigger die frei auf einem Stifte horizontal schwebende Magnetnadel NS (Fig. 128) mit einem zu einem Rechtecke gebogenen Kupferdrahte abcde, welches mit den 4 Seiten überall gleich weit von der Nadel abstand; nur eine Winkelspitze bei a und c blieb ungeschlossen, weil die Wirkung aufhörte, sobald sich die Drahtenden hier metallisch berührten. Durch einen so gebogenen Schließungsdraht mußte die Wirkung auf die Nadel vervielfältigt werden, denn alle 4 Seiten unterstützten sich in einerlei Streben zur Ablenkung der Magnet-

nadel. Denken wir uns hiebei den + Strom von K durch abcde gehend, so hat der hinzuzudenkende Beobachter

1) in ab: die Füße in a, den Kopf in b, das Gesicht nach der Nadel, also ihr Links nach Osten,
2) „ bc: „ „ „ b, „ „ „ c, „ „ „ „ „ „ „ „ „ „
3) „ cd: „ „ „ c, „ „ „ d, „ „ „ „ „ „ „ „ „ „
4) „ de: „ „ „ d, „ „ „ e, „ „ „ „ „ „ „ „ „ „

Daher bewirken in diesem Falle alle 4 Seiten einzeln ein Abweichen der Magnetnordspitze nach Osten und müssen zusammen, wenn auch nicht ganz mit vierfacher, doch wenigstens mit mehr als zweimal so großer Kraft ein Ablenken zur Folge haben, als wenn nur ein einziger gerader Schließungsdraht da gewesen wäre.

§ 473. Schweigger schloß hieraus, daß die Wirkung eines galvanischen Stroms auf die Magnetnadel ungemein verstärkt werden müsse, wenn man, statt den Schließungsdraht bloß einmal um die Nadel herumzuführen, die Windungen des Drahtes öfters wiederhole und man darauf sehe, daß zwischen denselben keine leitende Gemeinschaft bestehe. Letzteres bewirkte er dadurch, daß er zu seinem Versuche einen mit Seide umwickelten Kupferdraht nahm. Er hatte die große Freude, seine Vermuthung bestätigt zu sehen, und so war der berühmte Schweiggersche electromagnetische Multiplicator oder Galvanometer erfunden, durch welchen man im Stande ist, selbst die geringste Spannung einer galvanischen Strömung nachzuweisen.

§ 474. Wenn man einen Zink- und einen Kupferdraht in ganz reines Brunnenwasser taucht und beide mit den Drähten des Galvanometers leitend verbindet, so erfolgt schon eine merkliche Ablenkung der Nadel im Multiplicator. Und diese Ablenkung bleibt, wenn man auch mehrere Meilen weit mit den Drähten von dem Galvanometer entfernt sein sollte; es gehören dazu nur 2 eben so lange isolirte Metalldrähte, welche die Drahtenden des Multiplicators und die beiden Enden des Zink- und Kupferdrahts mit einander verbinden. Auf dieser merkwürdigen Eigenschaft beruht die jetzt sehr practisch gemachte Idee der electromagnetischen Telegraphen und Uhren.

Zur Kenntnißnahme der sehr sinnreichen Construction des electrischen Telegraphen gelangt man am besten durch Anschauung eines Modelles desselben. Die Einrichtung einer electrischen Uhr ist im Wesentlichen folgende: Eine gewöhnliche Pendeluhr, die Normaluhr, ist mit einer electrischen Batterie so verbunden, daß bei jedem Hin- und Hergange des Pendels abwechselnd eine Unterbrechung und Wiederherstellung des electrischen Stromes eintritt. Eine Drahtleitung führt diesen Strom nach den etwa auf den Thürmen oder andern Gebäuden einer Stadt angebrachten galvanischen Uhren. Diese haben weder Pendel, noch Gewichte, sondern statt dessen einen kleinen Electromagneten, welcher bei dem abwechselnden Schließen und Oeffnen der Kette den vorliegenden Anker anzieht und losläßt, wodurch ein mit 60 Zähnen versehenes Rädchen jedesmal um einen Zahn fortgeschoben wird und folglich auch der mit demselben verbundene Sekundenzeiger um den sechszigsten Theil des ganzen Kreises fortrückt. Ein Räderwerk, von ähnlicher Einrichtung wie bei den Taschenuhren, überträgt die Bewegung des Sekundenzeigers auf den Minuten- und Stundenzeiger. Hieraus geht klar hervor, daß sämmtliche galvanische Uhren den nämlichen Gang, wie die Normaluhr befolgen.

§ 475. Aus der eben kennen gelernten Wirkung des galvanischen Stromes auf die Magnetnadel schloß man auf ein wirkliches Vorhandensein des Magnetismus im Galvanismus. Dieß wies nun auch Arago nach. Er entdeckte das Anziehen der Eisenfeilspäne im Schließungsdrahte der Voltaschen Säule. Er wickelte nämlich den mit Seide übersponnenen Schließungsdraht

abc (Fig. 129) in der Mitte zu einem spiralförmigen Knäul c zusammen und hielt, nachdem er die galvanische Kette leitend mit dem Drahte acb verbunden hatte, die Eisenfeile darunter, dann setzen sie sich sehr heftig daran, wie an den Pol eines starken Magnets. Spänchen von andern Metallen als Eisen, wurden nicht angezogen, auch keine leichte Korkkügelchen; daher kam hier keine electrische, sondern eine rein magnetische Anziehung vor. Alle Experimente, die wir bei der Lehre des Magnetismus kennen gelernt haben, lassen sich mit diesem Aragoschen Apparate ebenfalls sehr schön ausführen.

§ 476. Alle von Ampère vielfältig angestellten Versuche stimmen darin überein, daß die galvanischen Ströme in den Schließungsdrähten, ähnlich wie die magnetischen im Eisen, anziehend und abstoßend auf einander wirken, und zwar ziehen sich die galvanischen Ströme an, wenn sie sich in Einer Richtung treffen, stoßen einander ab, wenn sie in entgegengesetzter Richtung einander begegnen.

§ 477. Arago fand im Verfolg seiner sorgfältigen Untersuchungen über den Galvanismus, daß, wenn der Schließungsdraht des galvanischen Stroms nicht geradlinig bleibt, sondern schraubenförmig gewunden wird, die magnetische Wirkung bedeutend verstärkt und überhaupt der ganze Draht auf diese Weise in einen Stangenmagnet verwandelt wird. Er umwickelte, um jenen Windungen mehr Halt zu geben, einen Cylinder von Glas, Holz oder Pappe mit einem mit Seide übersponnenen Drahte. Legte er nun in diesen Cylinder auf einen Augenblick eine unmagnetische Stahlnadel, während durch die Windungen ein starker galvanischer Strom hindurch geleitet wird, so wird dieselbe sogleich zu einem sehr kräftigen Magnete. Durchläuft der Strom den Draht im obern Theile jeder Windung von West nach Ost, im untern von Ost nach West; so entsteht in der Stahlnadel der Nordpol da, wo der Strom eintritt, der Südpol dort, wo er das Gewinde verläßt; umgekehrt bei entgegengesetzter Richtung des Stroms. Die unter dem Einflusse der geschlossenen Voltaschen Säule wirksamen Magnete werden *Electromagnete* genannt.

§ 478. Außerordentlich groß im Verhältniß zur Wirkung auf gehärteten Stahl sind die Wirkungen des galvanischen Stroms auf die Erregung des Magnetismus im weichen Eisen. Läßt man weiches Eisen von sehr gleichförmigem Gefüge in Hufeisenform schmieden und an den Enden möglichst eben feilen, umwindet dann dieses Eisen, wie in Fig. 130, mit einem besponnenen Kupferdraht immer in derselben Richtung, und setzt die an den Draht gelötheten Schälchen b und c, welche etwas Quecksilber enthalten, in Verbindung mit den Polen einer einfachen Kette; so wird das Hufeisen schnell ein sehr kräftiger Magnet. Der Nordpol liegt da, wo der Nordpol des Schraubendrahts hinfällt, und die Polarität kann daher schnell durch Aenderung der Stromrichtung umgekehrt werden. Durch Anlegung des Ankers aus weichem Eisen, der die Enden des Hufeisens mit möglichster Genauigkeit berührt, und durch die Anwendung großer Eisenmassen und starker Ströme hat man Electromagnete von mehr als 2000 Pfund Tragkraft hervorgebracht; doch dauert, wenn der Anker abgerissen wird, der magnetische Zustand kaum eine kurze Zeit nach dem Aufhören des Stromes fort, während, wenn der Anker nicht entfernt wird, ein Electromagnet längere Zeit oft noch die Hälfte der Tragkraft, die er während des Stromes hatte, nach Unterbrechung desselben beibehält.

Wie viel auf Rechnung der gegenseitigen Einwirkung mittelst des Ankers zu setzen ist, beweiset der Umstand, daß ein electromagnetisches Hufeisen, welches im geschlossenen Zustande z. B. eine Tragkraft von 140 Pfund hatte, mit einem einzelnen Pole nur 1 bis 2 Pfund trug. Anders verhält es sich hierin mit einem gewöhnlichen Stahlmagnet, der, wenn er mittelst des Ankers nur 10 Pfund zu tragen vermag, mit jedem Pole doch noch mehr als 2 Pfund trägt, was ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Arten von Magneten ist. Auch ein gerader Eisenstab erhält als Electromagnet nur eine sehr geringe Tragkraft. Die Tragkraft eines Electromagnets ist abhängig 1) von der Stärke der electrischen Ströme, 2) von der Anzahl der Windungen, 3) von der Reinheit, Weichheit und Gleichförmigkeit des Eisens, und 4) von der Form des Electromagnets. Wird ein Hohlcylinder längs der Achse getheilt und beide Hälften mit Draht umwunden, so läßt sich die Tragkraft eines solchen cylindrischen Electromagnets außerordentlich steigern.

§ 479. Stehen die Schenkel zweier Electromagneten M und N (Fig. 131) einander gegenüber, und trifft man die Einrichtung, daß die Pole des einen von ihnen, z. B. die des N wechseln, während die des M feststehen; so werden sie von den unveränderten Polen von M abwechselnd angezogen und abgestoßen. Die hierdurch erzeugte Kraft hat Jacobi in Petersburg zuerst als ein mechanisches Mittel zur Bewegung von Maschinen in Anwendung gebracht.

Bei größern Maschinen verbindet man mehrere Electromagnete so, daß die Enden ihrer Schenkel in derselben Ebene liegen, und gebraucht statt der Hufeisen gerade Stäbe. Zur Umkehrung der Richtung des electrischen Stromes und der hierdurch bewirkten Veränderung der Pole werden verschiedene Vorrichtungen, welche Gyrotropen (Commutatoren, Inversoren) heißen, angewendet.

Auf dem Verfahren, weiches Eisen auch in größern Entfernungen durch den galvanischen Strom augenblicklich in einen Magnet zu verwandeln, beruht eine andere, jetzt allgemein angewendete Methode, electromagnetische Telegraphen zu construiren (s. § 474).

§ 480. Zu den electrischen Erscheinungen der Atmosphäre gehört auch sehr wahrscheinlich das Nordlicht. Die genauesten Beobachtungen zeigen, daß die Strahlen, so wie die leuchtenden Kreise, aus denen das Nordlicht besteht, ihren gemeinschaftlichen Mittelpunkt in der Richtung des magnetischen Meridians haben. Zuweilen veranlaßt die Erscheinung eines Nordlichtes Schwankungen von mehreren Graden in der Richtung der Magnetnadel, wie ein electrischer Strom, zuweilen aber auch nicht. Bemerkenswerth ist jedenfalls die große Aehnlichkeit des Nordlichtes mit den Erscheinungen der im luftverdünnten Raume ausströmenden Electricität. Zu bemerken ist noch, daß das Nordlicht sich in der Nähe der magnetischen Pole besonders häufig zeigt. Alle diese Umstände zusammengenommen veranlassen uns anzunehmen, daß das Nordlicht eine leuchtende electromagnetische Erscheinung sei.

II. Magneto-Electricität oder Erregung electrischer Ströme durch Magnete.

§ 481. Da es gelungen war, durch galvanische Electricität Magnetismus hervorzurufen, so lag die Vermuthung nahe, daß sich auch umgekehrt durch Magnetismus Electricität erregen lassen müsse. Faraday (spr. Fär'rädeh) brachte im Jahr 1831 diese Vermuthung zur Gewißheit. Seine Fundamentalversuche waren folgende:

1) Er brachte einen mit übersponnenem Kupferdrahte umwickelten und mit einem weichen Eisencylinder ausgefüllten Pappcylinder mit dem Multiplicator durch lange Drähte in Verbindung. Darauf legte er an die Enden die-

ses Eisencylinders die entgegengesetzten Pole von kräftigen Stangenmagneten, deren beide anderen Pole er mittelst eines Drahtes in leitende Verbindung setzte, und es erfolgte in demselben Augenblicke eine ungemein heftige Ablenkung der Nadel im Multiplicator. Trennte er die sich berührenden Pole wieder von einander, so erfolgte eine neue Ablenkung der Magnetnadel von derselben Heftigkeit, aber nach der entgegengesetzten Seite. Beidemalige Ablenkungen der Nadel geschahen nur wie durch einen Stoß und waren von geringer Dauer. Die Entfernung des Pappcylinders mit dem darin befindlichen weichen Eisencylinder mochte so groß gewählt werden, wie man wollte, die Wirkung blieb dessen ungeachtet doch immer dieselbe. Diese Erscheinung nannte Faraday die Induction der galvanischen Ströme durch Magnetismus.

Was den Erfolg betrifft, so ist es ganz einerlei, ob in dem Pappcylinder, also auch in dem Schraubendrahte (Inductionsspirale) ein Cylinder aus weichem Eisen sich ruhend befindet, und in diesem durch irgend eine Weise schnell Magnetismus erregt, und er dessen wieder schnell beraubt wird, oder ob in einen Schraubendraht, dessen Enden mit den Enden des Multiplicators verbunden sind, ein Magnetstab schnell hineingesteckt und herausgezogen wird. Im erstern Falle erfolgt eine Ablenkung der Nadel des Multiplicators nach Westen, im letztern Falle nach Osten. Wird dieser Versuch mit der andern Hälfte des Magnetstabes wiederholt, so sind die Abweichungen der Magnetnadel umgekehrt.

2) Er umwickelte den Anker eines starken Magnets mit einem mit Seide übersponnenen Kupferdrahte in vielen Windungen, tauchte das eine Ende desselben in Queckſilber, brachte das andere Ende der Oberfläche des Queckſilbers möglichst nahe und trennte dann den Anker vom Magnete oder verband ihn mit demselben; in beiden Fällen erfolgte zwischen dem freien Ende des Drahtes und der Fläche des Queckſilbers ein kleiner electrischer Funke.

Diese Versuche beweisen offenbar, daß durch Magnetismus electrische Ströme hervorgebracht werden können.

Der den Anker umgebende Spiraldraht erzeugt nicht nur einen electrischen Funken, sondern bringt auch heftige Zuckungen in einem frisch präparirten Frosche, starke Erschütterungen im menschlichen Körper, so wie chemische Wirkungen, als Erglühen von Platindrähten, Zersetzung des Wassers und anderer zusammengesetzten Körper hervor.

Die durch den Magnetismus hervorgebrachte Electricität heißt Magneto-Electricität, und alle dahin gehörigen Erscheinungen magneto-electrische.

§ 482. Um mit den durch Magnete erzeugten Strömen auf eine bequeme Weise Versuche anzustellen, wird nicht der mit dem isolirten Kupferdrahtgewinde umwickelte Anker — welcher auch Inductor heißt — fortwährend an den Stahlmagnet angelegt und von demselben wieder abgezogen, sondern in der Nähe eines hinreichend starken Magnets in drehende Bewegung gesetzt, so daß seine Schenkel an den Magnetpolen in stetem Wechsel vorübergehen. Auf diese Weise hat Professor v. Ettingshausen aus Wien eine sehr wirksame magneto-electrische Rotationsmaschine construirt und dadurch Metalldrähte geschmolzen, Nadeln magnetisirt, heftige Erschütterungen erzeugt, und chemische Zersetzungen u. s. w. hervorgebracht.

§ 483. In neuester Zeit sind die Wirkungen mit der durch Wagner schon sehr verbesserten Inductionsspirale noch bedeutend gesteigert worden, besonders durch Dove (Fig. 132). Es gehören dazu zwei cylinderförmige hohle Holzrollen DD von etwa 1 Fuß Länge und 4 bis 5 Zoll innerer Weite, welche an den Ausgängen hervorragende Ränder besitzen, als Halt für die Aufwickelungen. Auf jede dieser Rollen wird nun zunächst übersponnener Kupferdraht von $1\frac{1}{2}$ Linie Dicke und einigen 20 Fuß Länge aufgewickelt, wovon die obern Enden in a mit Hülfe einer Klemmschraube zu einem metallischen Ganzen vereinigt, die untern aber in b,e frei hervorragen, und bei dem Gebrauche des Apparats mit den Polen eines galvanischen Stroms verbunden werden. Dann kommen aber erst die eigentlichen Inductionsumwickelungen. Auf jede Rolle sind unmittelbar über die erste Schicht 5 bis 600 Fuß übersponnener möglichst feiner Kupferdraht in einerlei Richtung gewickelt. Zwei entsprechende Enden sind in d,c durch Klemmschrauben zu einem metallischen Ganzen verbunden, die beiden andern besitzen die metallischen Cylinderhandgriffe H,H. Beide so vorgerichteten Spiralen A,B stehen dicht neben einander auf einer Platte CC von weichem Eisen und sind im Innern D,D mit einigen hundert dünnen weichen Eisendrähten ausgefüllt. Diese Drähte sind bis auf die untern kleinen Querflächen, welche CC berühren, mit einem isolirenden Firniß überzogen. Sobald nun mit bac ein constanter galvanischer Strom zum Schlusse gebracht wird, so werden die Drahtbündel in D,D zu sehr kräftigen Electromagneten, deren Magnetismus dann in den Spiralen A,B einen höchst intensiven Inductionsstrom erweckt. Denkt man sich nun noch den Apparat zum selbstständigen Oeffnen und Schließen des in b,c geleiteten Stroms eingeschaltet, so haben wir uns mit der Hauptsache des neuesten Inductionsapparats bekannt gemacht. Die galvanischen Schläge fallen mit diesem Apparate noch viel kräftiger aus, als mit der Rotationsmaschine von Ettingshausen.

III. Thermoelectricität und Thermomagnetismus.

§ 484. Mit dem Namen Thermoelectricität bezeichnet man den electrischen Zustand, den einige Mineralien, am auffallendsten der Turmalin, durch Erwärmung erhalten. Der Turmalin ist eine sechsseitige Säule, an einem Ende in eine sechsseitige, am andern in eine dreiseitige Pyramide übergehend. Derselbe zeigt, der gewöhnlichen Temperatur der Atmosphäre ausgesetzt, keine Polarität, wird er aber rasch erwärmt, so erlangt die 6seitige Pyramide + E, die 3seitige — E; wird der erwärmte Turmalin hingegen erkaltet, so tritt die Polarität in entgegengesetzter Weise auf, die 6seitige Pyramide erhält — E, die 3seitige + E. In beiden Fällen hat der Turmalin in der Mitte einen Indifferenzpunkt. Wird er in der Mitte zerbrochen, so erhält jedes Stück beide Pole, und selbst fein zerstoßenes Turmalinpulver zeigt Polarität, indem es, wie Eisenfeile an einen Magnet, sich an eine erwärmte Metallplatte hängt.

Das Auftreten electrischer Polarität scheint hier mit Temperaturdifferenzen im Innern und auf der Oberfläche des Krystalls zusammenzuhängen, da die

Polarität vollkommen verschwindet, wenn nach längerer Erwärmung die Temperatur des Krystalls in seiner ganzen Masse gleich geworden ist.

Wie Turmalin verhalten sich noch viele andere Krystalle, wie Boracit, Kalkspath, Schwerspath, Flußspath, Granat, Amathyst, Diamant u. v. a.

§ 485. Unter Thermomagnetismus versteht man das Auftreten electrischer Ströme bei Erwärmung von guten Leitern. Verbindet man mit den Enden eines Multiplicators 2 völlig gleiche Kupferdrähte, dreht sie an ihren Enden durch einige Windungen zusammen und erhitzt den Draht durch eine Weingeistflamme in einiger Entfernung von dem Knoten, so geht ein electrischer Strom von der heißen Stelle aus nach dem Knoten, also von der heißen nach der kalten Stelle. Bei andern Metallen, wie Antimon, Zink, Eisen hat der Strom die entgegengesetzte Richtung.

§ 486. Besonders lebhafte Ströme zeigen sich durch Erwärmung dann, wenn zwei Metalle verbunden und die Verbindungsstellen einer verschiedenen Temperatur ausgesetzt werden. Ist ein von Seebeck angewandter, zweimal rechtwinklig gebogener Kupferstreifen ABCD (Fig. 133) mit einem Wismuthstabe AD bei A und D durch Löthen verbunden, so zeigt sich keine Stromelectricität, so lange die Löthstellen A und D einerlei Temperatur haben; so wie aber die Stelle A stärker erwärmt wird, zeigt eine in den Apparat gehängte Metallnadel sogleich einen Strom an, welcher bei A vom Wismuth zum Kupfer geht, von der Verbindungsstelle abwärts, also vom Kupfer zum Wismuth weiter schreitet, so daß Kupfer als das positive, Wismuth als das negative Metall anzusehen ist. Aehnliche Erscheinungen zeigen sich bei allen Metallen.

In folgender Reihe: Antimon, Eisen, Zink, Silber, Gold, Zinn, Blei, Quecksilber, Messing, Kupfer, Platin, Wismuth wird bei Verbindung je zweier Metalle mit einander durch Erwärmung das vorhergehende positiv, das folgende negativ. Doch gibt es stets eine Grenze der Temperaturerhöhung, bei welcher der Strom sich umkehrt, in einer Verbindung von Zink und Silber bei 225° C. Temperaturunterschied der Löthstellen.

§ 487. Der durch Erwärmung erzeugte electrische Strom nimmt an Stärke zu

1) mit dem Temperaturunterschiede der Löthstellen, und

2) wenn man mehrere Metallstäbe derselben Art AB,AB .... (Fig. 134) abwechselnd mit Stäben BA,BA ..... eines zweiten Metalls verbindet, die Löthstellen A alle in derselben Temperatur erhält, oder sie sogar durch Eis erkaltet, und 1, 2, 3, ... Löthstellen B erwärmt, — im Verhältniß mit der Anzahl der erwärmten Stellen.

§ 488. Nimmt man zu einer solchen Kette eine große Anzahl von Stäben, wie Wismuth und Antimon, die einen starken Strom erzeugen, so daß sie nahe parallel liegen, wie in Figur 133., und befestigt die eine Reihe von Verbindungsstellen in einer Büchse, so erhält man dadurch ein sehr empfindliches Instrument, um umgekehrt die Größe des Temperaturunterschiedes in beiden Gruppen von Verbindungsstellen, — deren eine irgend einer Wärmequelle zugewandt ist, — zu beobachten, indem der geringste Wärmeunterschied einen Strom erzeugt und in einem mit dem Apparat verbundenen Multiplicator eine Ablenkung der Magnetnadel bewirkt, aus deren Größe zunächst die Stromstärke und somit auch die gesuchte Temperaturdifferenz hergeleitet werden kann.

§ 489. Der Thermomagnetismus als Strom gibt sich hauptsächlich nur durch seine Einwirkung auf die Magnetnadel zu erkennen, woher auch sein Name; doch sollen durch denselben auch Froschschenkel in Zuckungen gebracht und Funken wahrgenommen, Wasser und Salze zersetzt, ja sogar Rotationen bewirkt worden sein.

Berichtigungen.

§	Zeile.		Statt:	Lies:
10	4	v. o.	Der Inbegriff	Den Inbegriff.
24	5	v. u.	ihr Volumen	ihre Volumen.
29	8	v. o.	mit Veränderung	ohne Veränderung.
33	6	v. o.	als das als Einheit	als das Gewicht des als Einheit.
42	1	v. o.	Seilen	Seile.
45	5	v. u.	dieselbe	dieselben.
48	18	v. o.	Wasserstoff	Wasserstoff.
48 S. 15	7	v. o.	Schalchen	Schälchen. Eben so in § 192 und § 365.
48	19	v. o.	ist	sind.
72	2	v. o.	Krystallfläche	Krystallflächen.
72	3	v. o.	bestimmt	bestimmen.
80 S. 24	19	v. o.	Mastkorbe	Maste des Schiffes.
82 S. 25	4	v. o.	aus ihren Massen	aus Massen.
82 S. 25	10	v. o.	von zwei bewegten Körpern	von zwei durch gleiche Kräfte bewegten Körpern.
87	1	v. o.	eine geradlinige	ein geradliniger.
113 S. 36	4	v. o.	Mutterschraube	Schraubenmutter.
120	2	v. u.	scheinbar auf einer schiefen Ebene	auf einer schiefen Ebene.
122	2	v. o.	umgekehrt	umgekehrt.
124	2	v. o.	Bewegeung	Bewegung.
133	2	v. o.	luftleeren Raume	lufterfüllten Raume.
142	9	v. o.	parallel mit einer Seitenlinie durch den Kegel gelegt wird	parallel mit der Seitenlinie des Kegels durch denselben gelegt wird.
156	5	v. o.	ihre Geschwindigkeit	ihre Geschwindigkeiten.
163	2	v. u.	Locomativen	Locomotiven.
164	3	v. o.	entgegengesetzt	entgegensetzt.
192 S. 63	7	v. o.	leichtern	dünnern.
214	2	v. o.	Luftschwermesser	Luftschweremesser.
231	4	v. o	befindliche Luftmasse	befindlichen Luftmassen.
236	9	v. o.	Posfatwind	Passatwind.
237	1	v. u.	Anzeigen	Anzeiger.
244 S. 85	17	v. o.	Flogeonettöne	Flageolettöne.
251 S. 88	4	v. o.	der Tonleiter	die Tonleiter.
253	14	v. o.	eines Octavs	einer Octave.
253	14	v. o.	des Grundton	des Grundtones.
265	3	v. o.	Trummelfell	Trommelfell.
267	10	v. o.	zerstört ist	zerstört.
268	3	v. u.	trägt.	tragen.
304	4	v. u.	schneide	schnitte.
314	10	v. o.	einer Oberfläche	seiner Oberfläche.
329 S. 112	3	v. u.	gegenwärtig	gegenseitig.
346	1	v. o.	daß Lichtstrahlen, wenn sie aus Luft ꝛc.	wenn Lichtstrahlen aus Luft ꝛc.
349	2	v. o.	Beugung	Beugung.
349	20	v. o.	ins Glas	im Glase.
382	9	v. o.	Verschiedenheit	Verschiedenheiten.

Taf. I.

Fig 1.

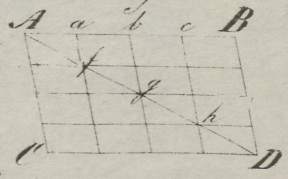


Fig 2.

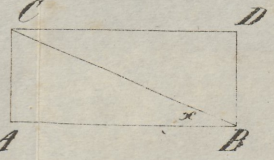


Fig 3.

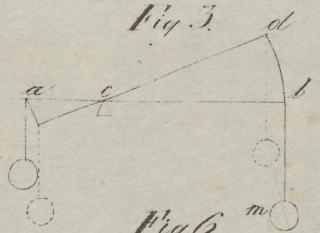


Fig 4

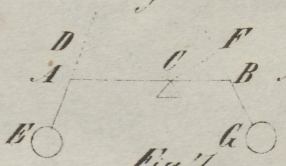


Fig 5.

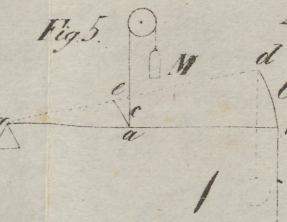


Fig 6.

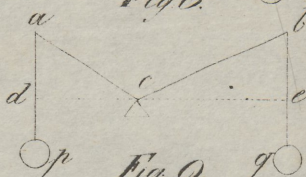


Fig 7.

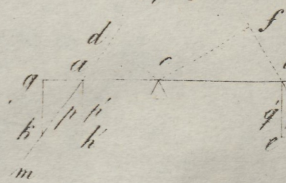


Fig 8

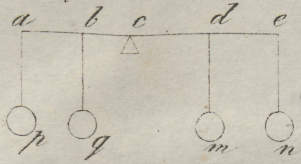


Fig. 9.

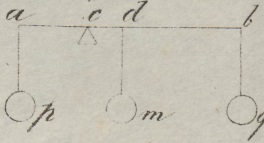


Fig 10.



Fig 11.

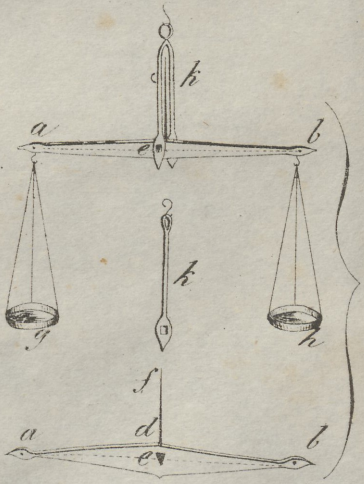


Fig 12.

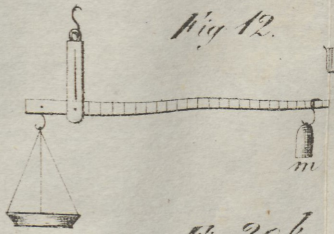


Fig 13

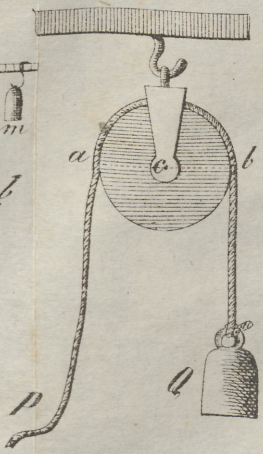


Fig 20 b

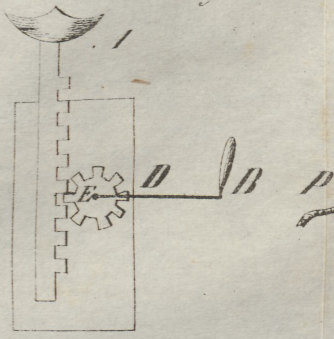


Fig 20 a

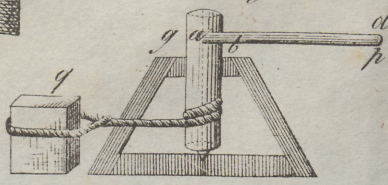


Fig. 14.

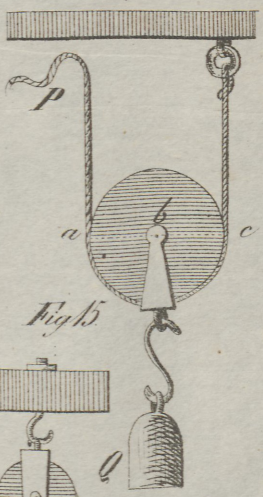


Fig. 15.

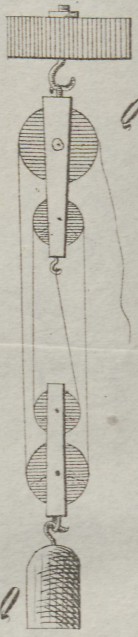


Fig. 16.



Fig. 17.

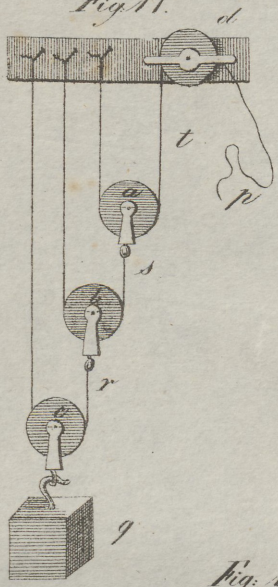


Fig. 18.

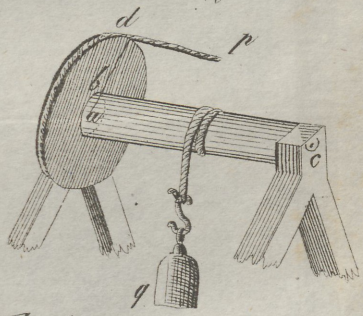


Fig. 21.

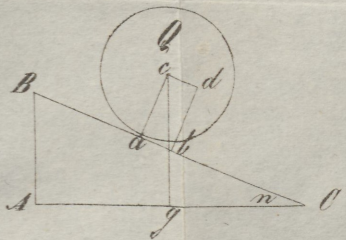


Fig. 19.

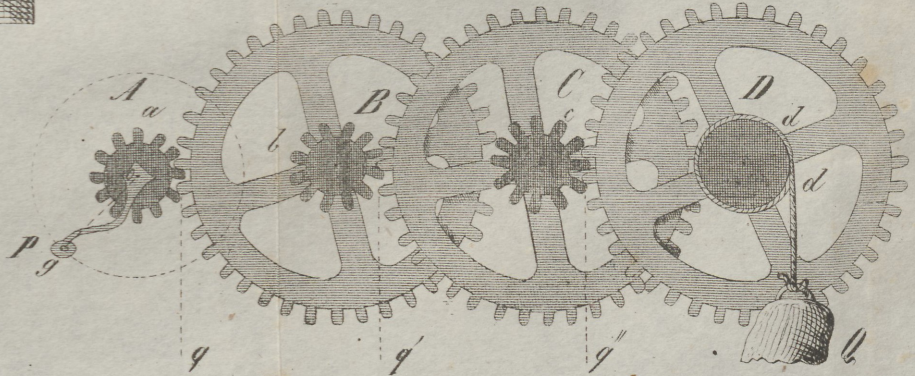


Fig. 22.

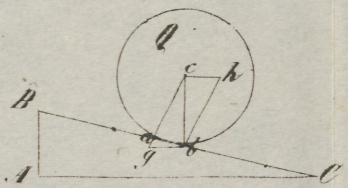


Fig. 23

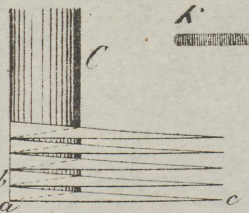


Fig. 24.

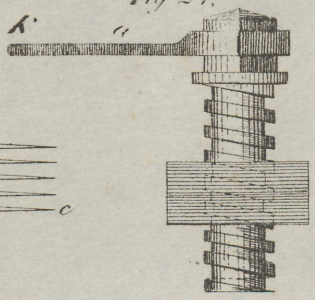


Fig. 25

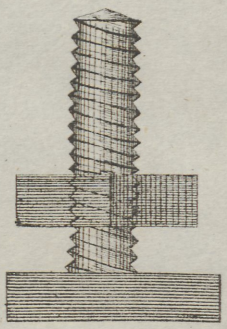


Fig. 26

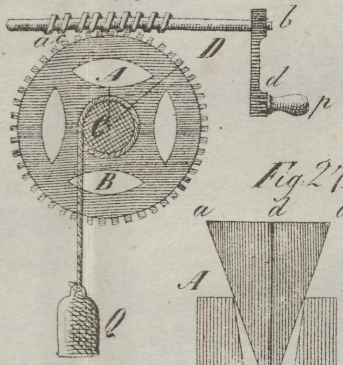


Fig. 28.

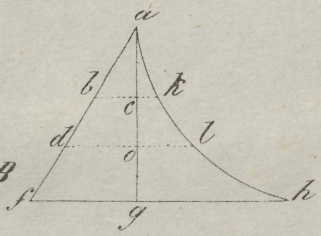


Fig. 27.



Fig. 30.

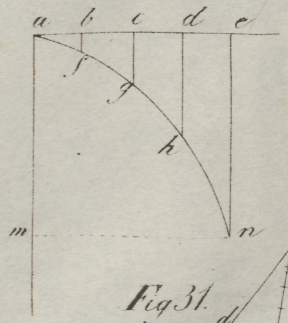


Fig. 29.

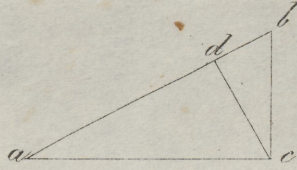


Fig. 32.a

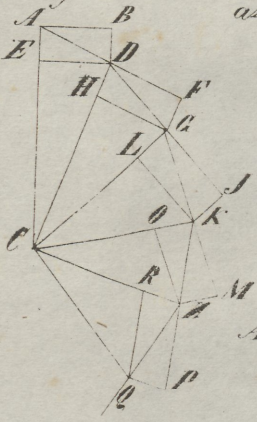


Fig. 32.b

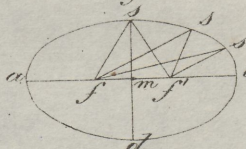


Fig. 31.

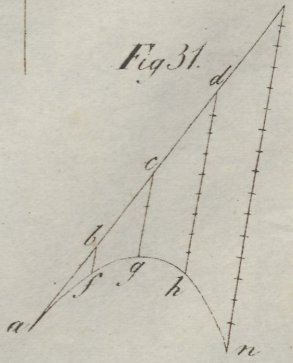


Fig. 32.c

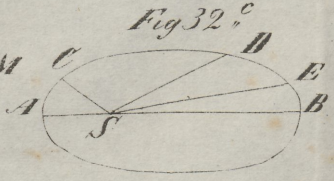


Fig 33.

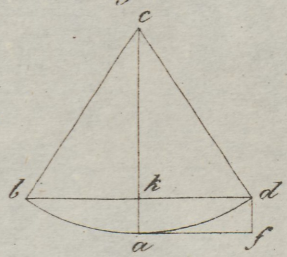


Fig 34.

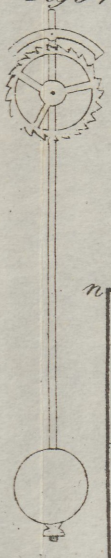


Fig 35a.

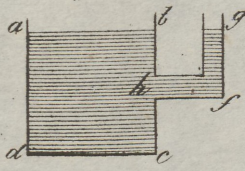


Fig 35b.

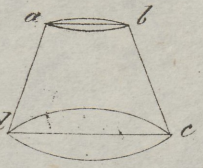


Fig 36a.

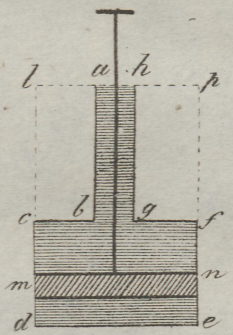


Fig 37.

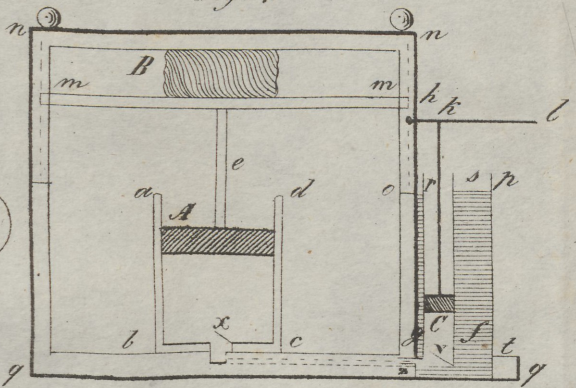


Fig 38.

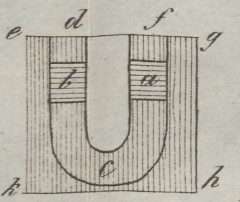


Fig 36b.

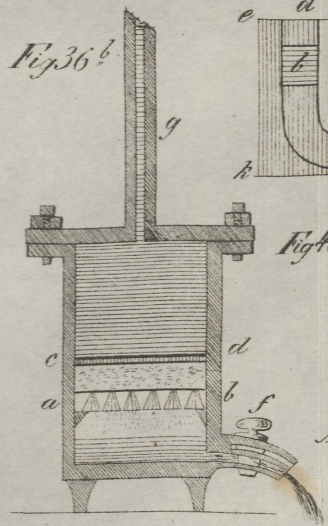


Fig 39.

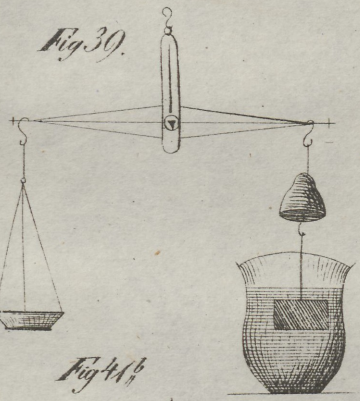


Fig 40.

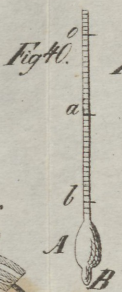


Fig 41a.



Fig 41b.

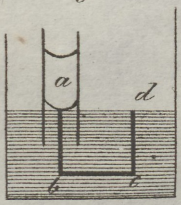


Fig 41c.



Fig42 a

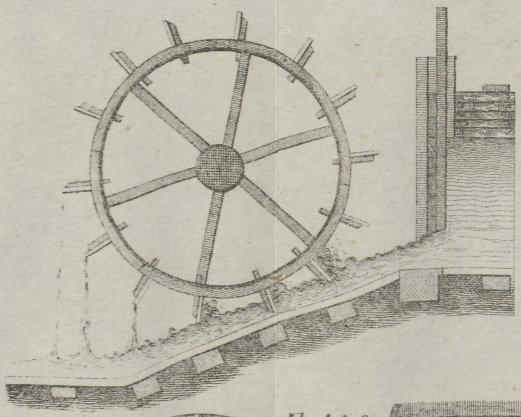


Fig42 b

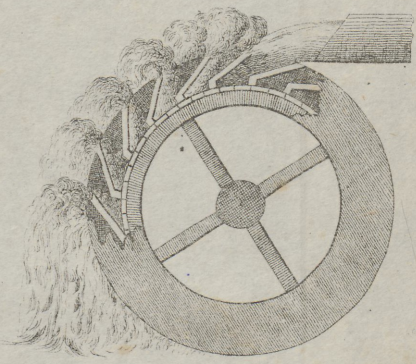
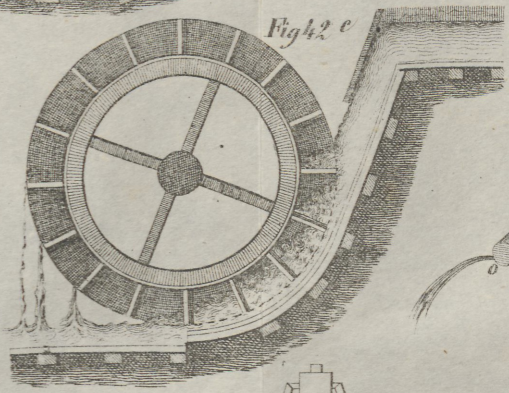


Fig42 c



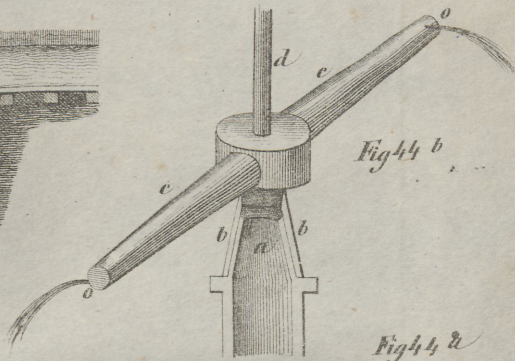


Fig44 b

Fig44 a

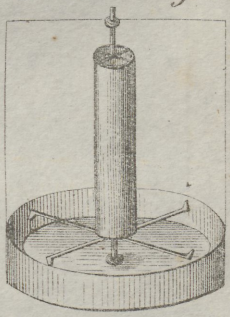


Fig43 a

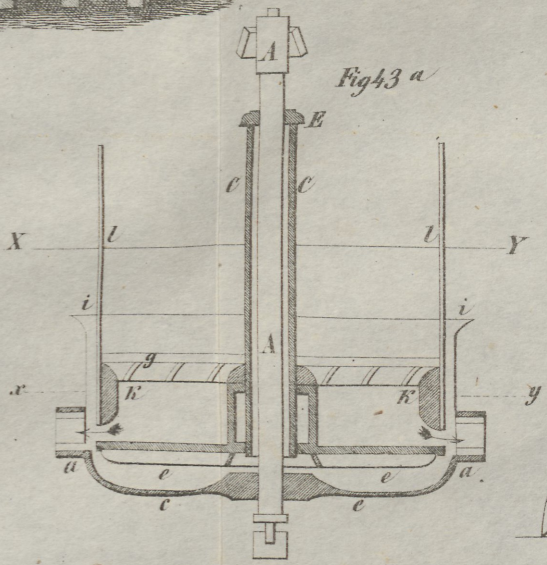


Fig43 b

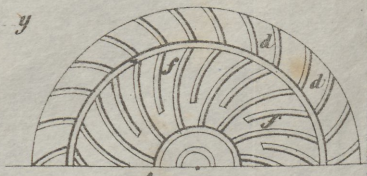


Fig 45 a

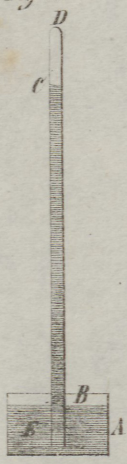


Fig 45 b

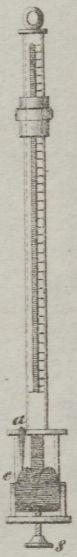


Fig 46 a

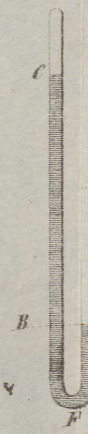


Fig 46 b

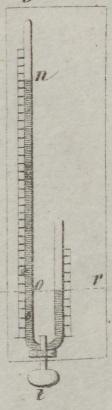


Fig 47

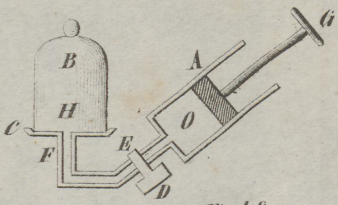


Fig 48



Fig 49 b

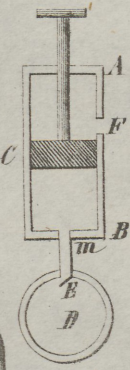


Fig 50

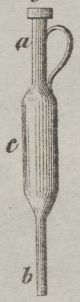


Fig 49 a

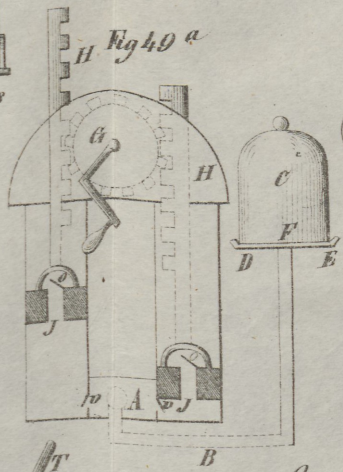


Fig 51

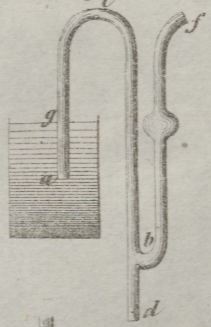


Fig 52

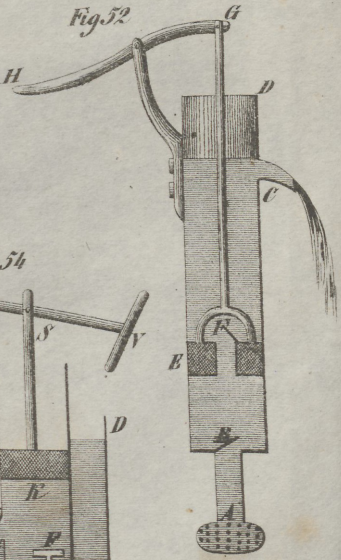


Fig 53

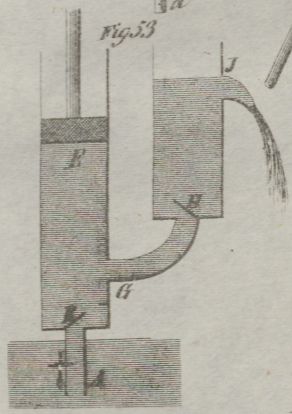


Fig 54

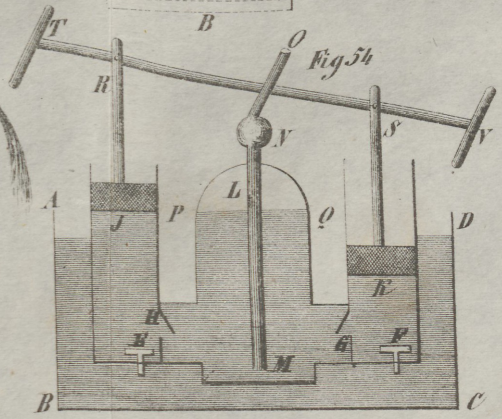


Fig 55



Fig 56

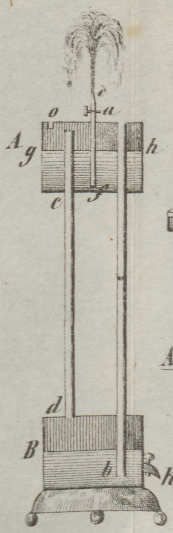


Fig 57

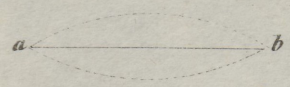


Fig 58

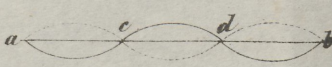


Fig 59



Fig 60

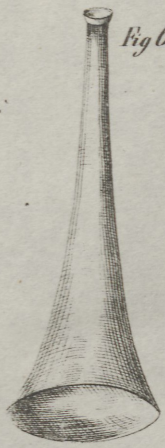


Fig 61



Fig 62

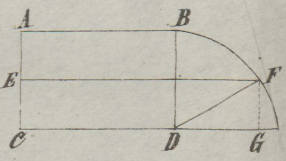


Fig 63

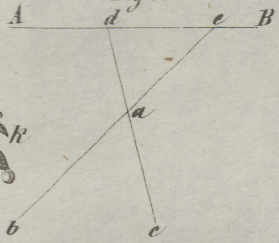


Fig 64

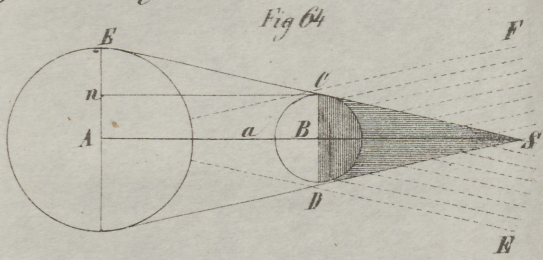


Fig 65

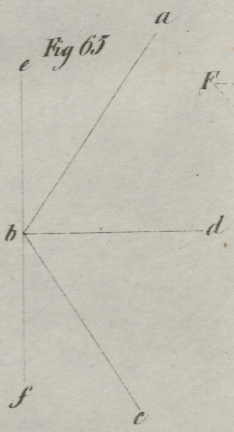


Fig 66

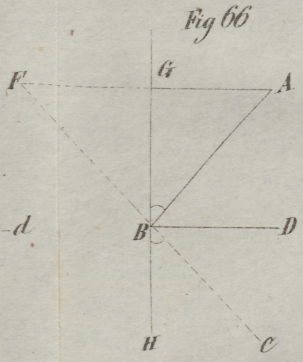
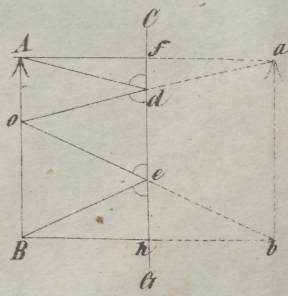


Fig 67



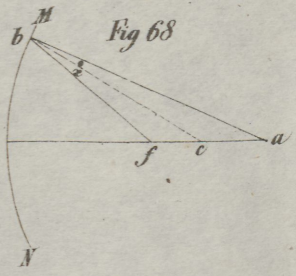


Fig 68
M
b
a
f
c
N

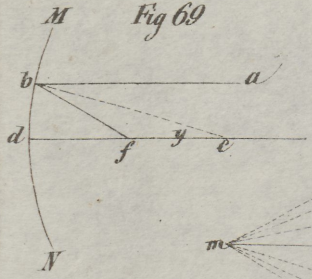


Fig 69
M
b
a
d
f
y
c
N

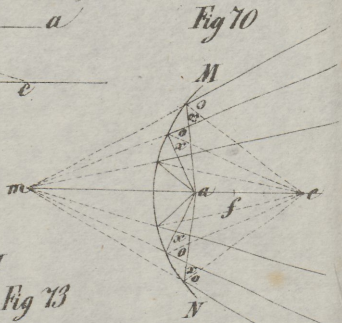


Fig 70
M
m
a
f
c
N

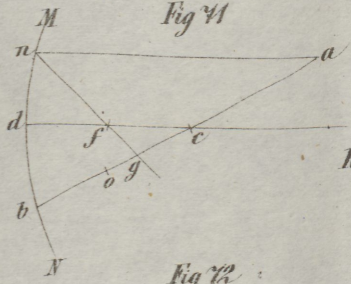


Fig 71
M
n
a
d
f
c
g
b
N

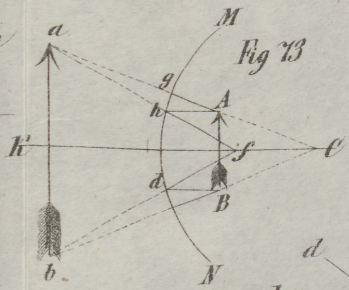


Fig 73
a
M
g
h
A
K
f
C
d
B
b
N

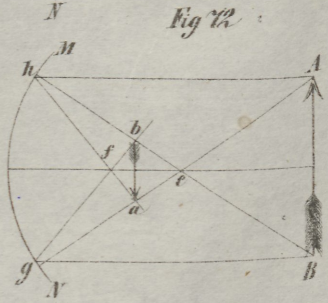


Fig 72
M
h
A
b
f
c
a
g
N
B

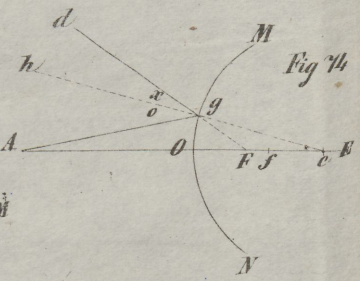


Fig 74
d
M
h
x
o
g
A
O
F
f
c
E
N

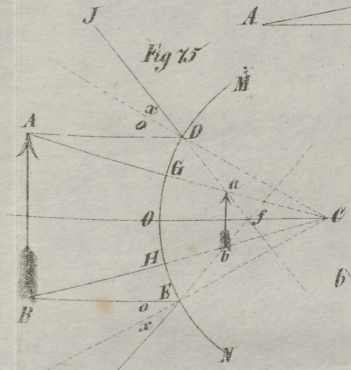


Fig 75
J
M
x
A
o
B
G
a
O
f
C
H
b
E
B
o
x
N

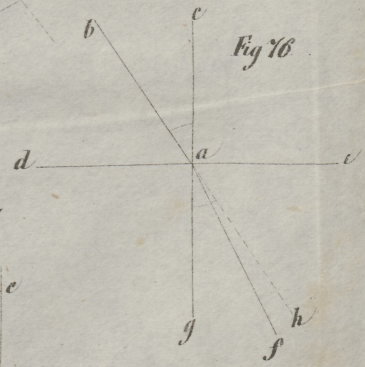


Fig 76
c
b
d
a
e
g
h
f

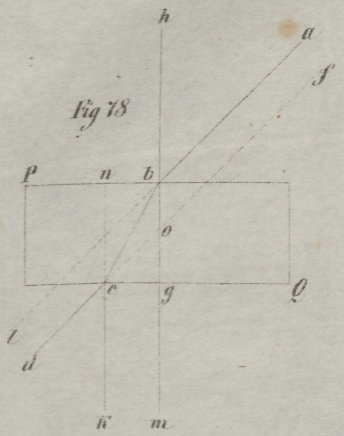


Fig 78
h
a
f
P
n
b
o
c
g
Q
l
d
K
m

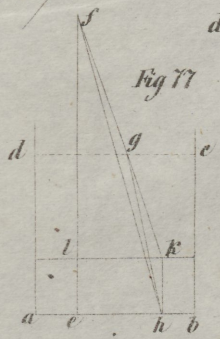


Fig 77
f
d
g
e
l
K
a
c
h
b

Fig 79

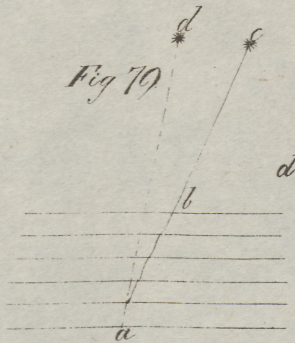


Fig 80

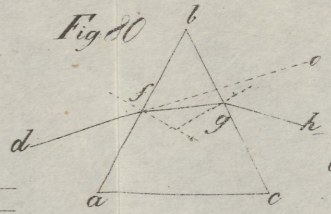


Fig 81

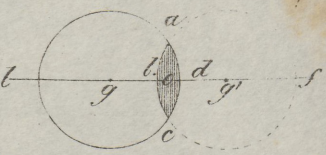


Fig 82

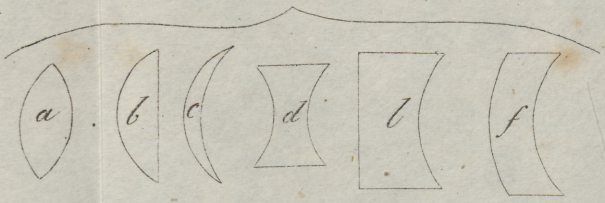


Fig 83.

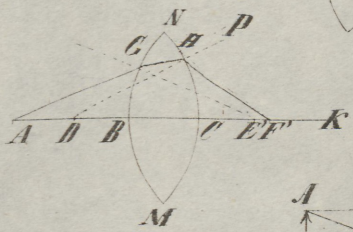


Fig 84

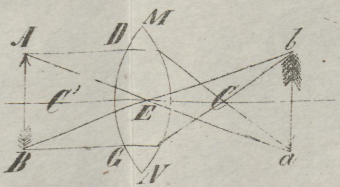


Fig 85

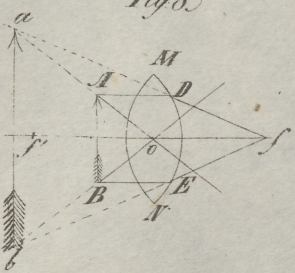


Fig 86.

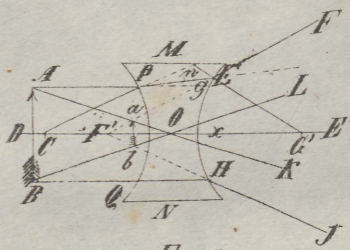


Fig 87.a

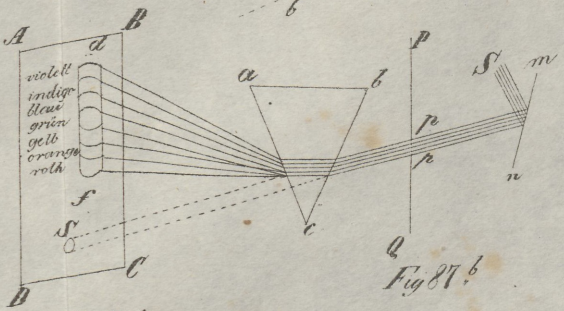


Fig 87.b

Fig 87.c

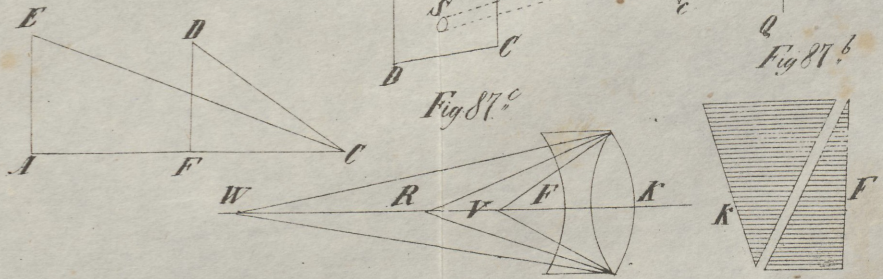


Fig 90.

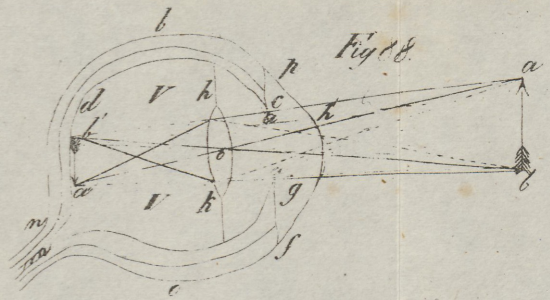


Fig. 88.

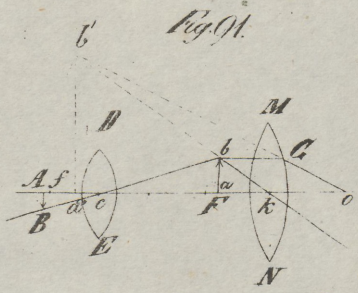


Fig. 91.

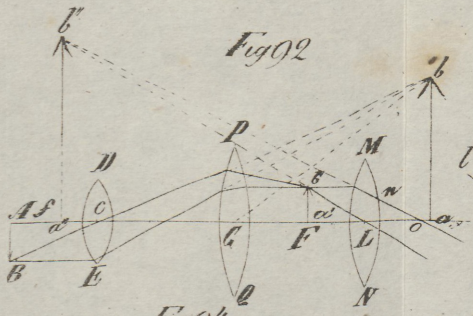


Fig. 92

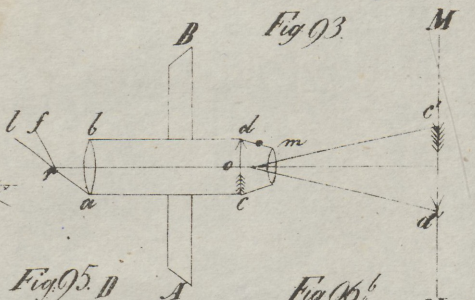


Fig. 93.

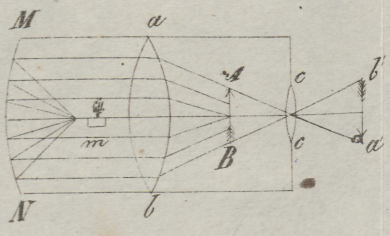


Fig. 94.

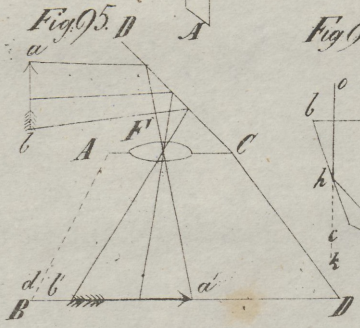


Fig. 95.

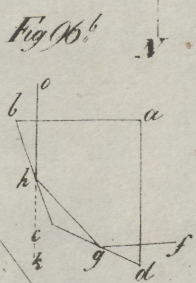


Fig. 96.b

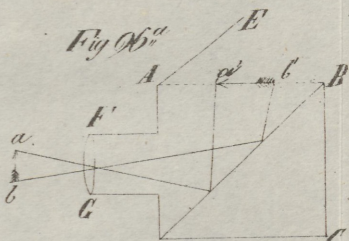


Fig. 96.a

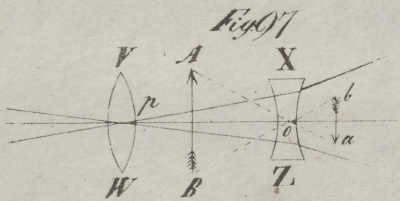


Fig. 97.

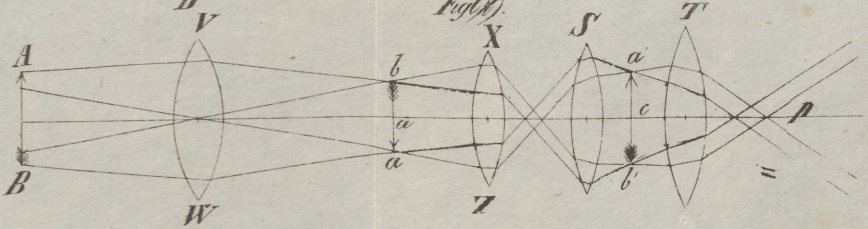


Fig. 98.

Fig 98

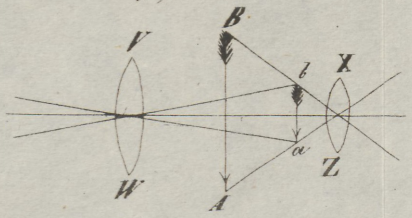


Fig 100

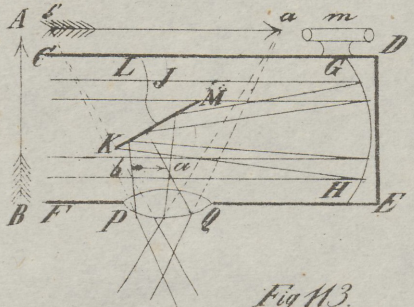


Fig 111

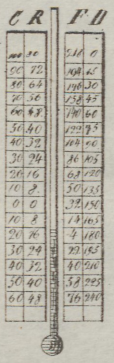


Fig 112

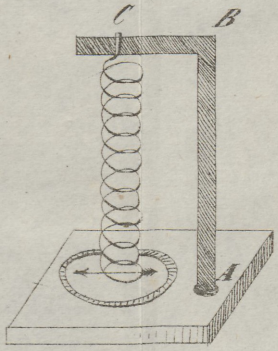


Fig 113.

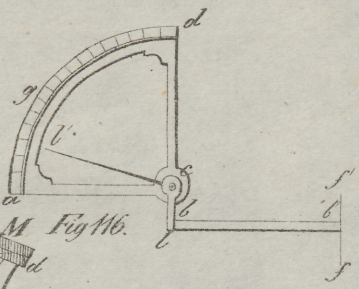


Fig 116.

Fig 114.

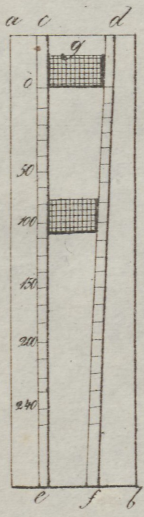


Fig 115

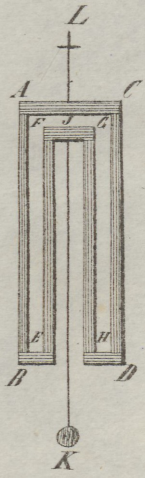


Fig 117

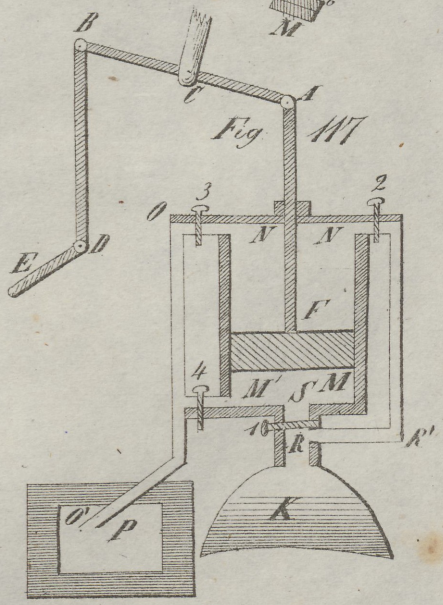


Fig. 118

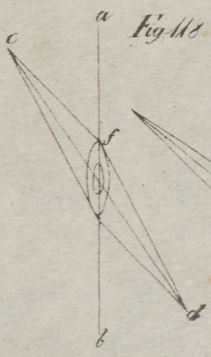


Fig. 119

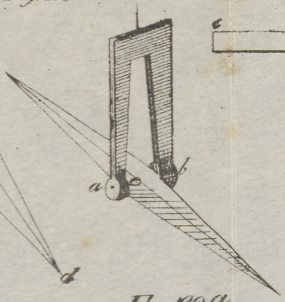


Fig. 122 a

Fig. 120.

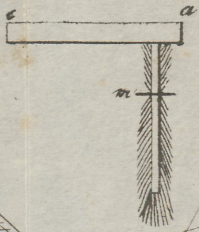


Fig. 121

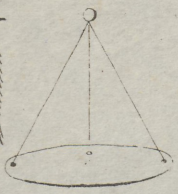


Fig. 125.

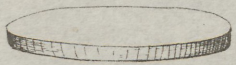


Fig. 122 b

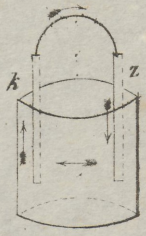


Fig. 121.



Fig. 123.



Fig. 124

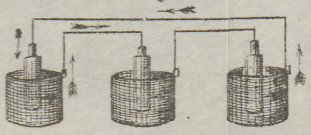


Fig. 129

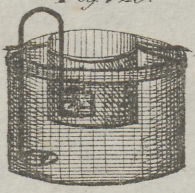


Fig. 127.



Fig. 126.



Fig. 130.

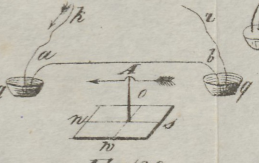


Fig. 128



Fig. 133.

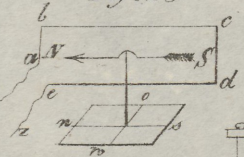


Fig. 132.

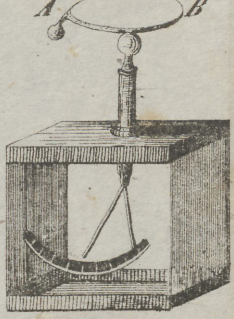
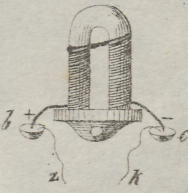


Fig. 131



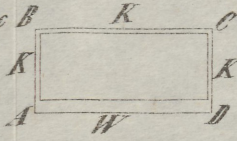


Fig. 134.

