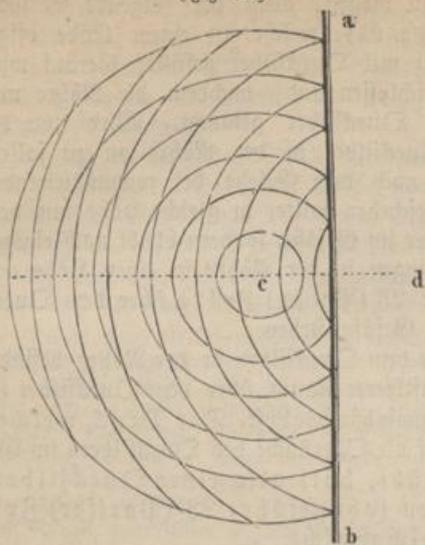


(Fig. 92.)



Dagegen ist bei den Schallwellen in der Luft und den Lichtwellen im Aether, welche auf der Elasticität des Fortpflanzungsmittels beruhen, während bei den Wellen im Wasser die Schwere der Wassertheilchen als bewegende Kraft wirkt, die Geschwindigkeit lediglich durch die Elasticität der Luft oder des Aethers bedingt und daher für alle Arten von Schwingungen die nämliche.

Bei den Wellen im Wasser ist auch die Tiefe desselben nicht ohne Einfluß auf die Geschwindigkeit der Wellen; sie vermindert sich, wenn die Tiefe abnimmt. Im Meere drängen sich daher da, wo über Felsen oder Sandbänken die Tiefe sich plötzlich vermindert, die voranschreitenden Wellen mit den nachfolgenden zusammen, was zur Entstehung der sogenannten Brandungen beiträgt.

Die Wellen des Meeres werden vorzüglich durch den Wind erregt. Ihre Höhe übersteigt in geschlossenen Meeren, wie in der Ostsee und im mittelländischen Meere, selten 8 Fuß, in der offenen See

mag sie bei heftigen Stürmen wohl 20 bis 30 Fuß erreichen. Wo indeß zwei Wellen sich durchkreuzen, oder wo die Wellen an steile Felsenwände anprallen und sich über einander thürmen, indem die folgenden die in ihrem Laufe aufgehaltenen vorangehenden ereilen, desgleichen wenn die Wellen zwischen die engen Ufer der Strommündungen zusammengepreßt werden, erreichen sie viel beträchtlichere Höhen. Von dem Gdystone-Felsen an der englischen Küste erzählt Smeaton, daß das Wasser zuweilen 100 Fuß höher als der Leuchthurm, also 200 Fuß hoch emporgeschleudert werde. /

Vierter Abschnitt.

Von den mechanischen Erscheinungen der luftförmigen Körper.

§. 58. Von den luftförmigen Körpern im allgemeinen.

Unter allen luftförmigen Körpern ist die atmosphärische Luft bei weitem die verbreitetste und bekannteste. Da wir es hier nur mit den mechanischen Eigenschaften der luftförmigen Körper zu thun haben und diese für alle dieselben sind, so werden wir uns bei den folgenden Untersuchungen auf die Betrachtung der atmosphärischen Luft beschränken.

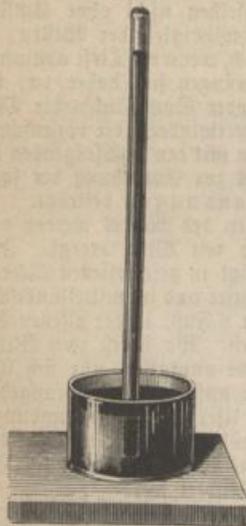
Die luftförmigen Körper haben mit den flüssigen die Schwere und die leichte Verschiebbarkeit ihrer Theile gemeinschaftlich; sie unterscheiden sich aber von denselben dadurch, daß sie sich leicht in einen engeren Raum zusammendrücken lassen und bei nachlassendem Drucke sich wieder ausdehnen, während die flüssigen sich nur sehr schwer zusammendrücken lassen. Wird die Luft zusammengedrückt, so wächst ihre Elasticität in gleichem Verhältnisse mit der Dichtigkeit. Dieses Gesetz, welches wir hier vorläufig anführen und erst später näher begründen werden, wird das Mariottesche genannt.

§. 59. Der Torricellische Versuch.

Da die Luft schwer ist, so muß sie eben so, wie wir dies früher von Flüssigkeiten gezeigt haben, auf die in derselben befindlichen Körper einen

Druck ausüben. Um diesen Druck zu messen, dient der folgende Versuch: Eine etwa 30 Zoll lange Röhre (Fig. 93), welche an einem Ende offen, am andern geschlossen ist, wird ganz mit Quecksilber gefüllt; hierauf wird das offene Ende mit dem Finger verschlossen und, nachdem die Röhre umgekehrt worden, in ein Gefäß mit Quecksilber getaucht. Wird nun der Finger weggezogen, so fängt das Quecksilber in der Röhre an zu fallen, stellt sich aber keineswegs, wie dies nach dem Gesetze der communicirenden

(Fig. 93.)



Röhren geschehen sollte, in gleiche Höhe mit dem Quecksilber im Gefäße, sondern bleibt nach einigen Schwankungen in der Röhre in einer Höhe von ohngefähr 28 (Pariser) Zoll*) über dem Quecksilber im Gefäße stehen.

Ueber dem Quecksilber in der Röhre befindet sich ein luftleerer Raum, über dem Quecksilber im Gefäße atmosphärische Luft. Der Druck, welchen diese auf die Oberfläche des Quecksilbers im Gefäße ausübt, hält also einer Quecksilbersäule von (ohngefähr) 28 (Pariser) Zoll das Gleichgewicht.

Ist die Röhre nicht fest verschlossen, sondern oben mit einem luftdicht schließenden Kork versehen, so fällt das Quecksilber in der Röhre, so wie man dieselbe oben öffnet und Luft eintreten läßt, und hat dann in der Röhre, übereinstimmend mit dem Gesetze der communicirenden Röhren, dieselbe Höhe wie im Gefäße. — (In einer engen Röhre wird das Quecksilber vermöge der Capillar-Anziehung sogar etwas niedriger stehen, als im offenen Gefäße.)

Der hier beschriebene Versuch ist zuerst (1643) von Torricelli, einem Schüler des Galilei, angestellt worden; man nennt daher auch den luftleeren Raum über dem Quecksilber in der Röhre das Torricellische Vacuum; die ganze Vorrichtung aber, welche, wie wir gesehen haben, dazu dient, den Druck der Luft zu messen, wird Barometer genannt.

§. 60. Folgerungen aus dem Torricellischen Versuche.

Wie unmittelbar aus dem Torricellischen Versuche folgt, ist der Druck der Luft gleich dem Gewichte einer Quecksilbersäule von 28 Par. Zoll Höhe. Da Quecksilber 13,6 mal schwerer als Wasser ist, so müßte eine gleich schwere Wassersäule eine Höhe von $13,6 \times 28$ Par. Zoll oder ohngefähr 32 Par. Fuß (oder 33 preuß. Fuß) haben. Wollte man daher ein Barometer statt mit Quecksilber mit Wasser füllen, so würde man demselben die unförmliche Länge von mehr als 32 Par. Fuß geben müssen.

Um zu einer noch anschaulicheren Vorstellung von der Größe des Luftdrucks zu gelangen, suchen wir den Druck, welchen die Luft auf eine Fläche von bestimmter Größe, z. B. auf einen Quadratzoll ausübt, nach Pfunden auszudrücken. Zufolge des Obigen ist dieser Druck gleich dem Gewichte einer Quecksilbersäule, welche einen Quadratzoll zur Grundfläche und 28 Zoll

*) 28 Pariser Zoll sind sehr nahe = 29 Zoll rheinländisch.

zur Höhe hat, also gleich dem Gewichte von 28 Kubitzoll Quecksilber. Nun wiegt aber ein Par. Kubitzoll Quecksilber ohngefähr 16 Lot, also 28 Kubitzoll 448 Lot oder sehr nahe 15 Pfund. Da ein Quadratzuß = 144 Quadratzoll ist, so ergibt sich hieraus die Größe des Luftdrucks für einen Quadratzuß = 144×15 Pfund = 2160 Pfund oder beinahe 22 Centner.

Diesen beträchtlichen Druck haben also alle in der Luft befindlichen Körper zu ertragen. Daß auch weiche Körper denselben auszuhalten vermögen, erklärt sich daraus, daß die Poren derselben mit Luft angefüllt sind. Dagegen können allerdings hohle luftleere Körper, welche nicht sehr starke Wände haben, durch den Luftdruck zertrümmert werden, wie wir unten bei den Versuchen mit der Luftpumpe sehen werden.

Nimmt man die Oberfläche eines erwachsenen Menschen zu 14 Quadratzuß an, so ergibt sich hieraus für den gesammten Druck, welchen derselbe von der Luft erleidet, die ungeheure Größe von 300 Centnern. Daß wir diesen Druck nicht empfinden, rührt daher, daß die in unserem Körper eingeschlossene Luft der äußeren, mit welcher sie gleiche Dichtigkeit, also auch gleiche Elasticität hat, das Gleichgewicht hält. Anders verhält es sich jedoch, wenn der äußere Luftdruck plötzlich vermehrt oder vermindert wird. So empfanden Personen, welche in Luftballons schnell zu bedeutenden Höhen emporstiegen, in Folge des verminderten äußeren Luftdruckes einen Drang des Blutes nach Außen, namentlich in den Augen und der Nase.

(Fig. 91.)



Wenn man ein Glas mit Wasser füllt, dann mit einem Stücke Papier bedeckt und dieses mit der flachen Hand fest an den Rand des Glases andrückt, so kann man das Glas umkehren und die Hand wegziehen, ohne daß das Wasser ausläuft. — Dieser einfache Versuch zeigt eben so, wie der Torricellische, das Vorhandensein des Luftdruckes, gibt aber über die Größe desselben keinen Aufschluß.

Der menschliche Oberschenkel- und Oberarmknochen endigen in einen kugelförmigen Kopf, welcher in die spiegelglatte, mit einer schlüpfrigen Feuchtigkeit beneigte Pfanne des Beckens oder Schulterblattes eingelenkt ist. Durch den Luftdruck wird dieser Kopf gegen die Pfanne, in welche derselbe genau einpaßt, gepreßt und so Arm und Fuß durch den Druck der Luft und nicht durch die Anstrengung der Arms- und Beinmuskeln getragen. — Es erklärt sich hieraus die auffallende Müdigkeit, welche Reisende bei dem stark verminderten Luftdrucke auf hohen Bergen empfinden, weil hier die Muskeln nicht bloß die Glieder in Bewegung zu setzen, sondern auch einen Theil ihres Gewichtes zu tragen haben.

§. 61. Das Barometer. α

Durch den Torricellischen Versuch sind wir bereits zu einer ohngefähren Bestimmung des Druckes der Luft gelangt; soll aber ein Barometer zur genauen Abmessung des Luftdruckes dienen, so müssen den einzelnen Theilen desselben noch gewisse Eigenschaften zukommen, welche wir jetzt näher erörtern wollen.

1) Das Torricellische Vacuum muß wirklich luftleer sein, die unerläßlichste und am schwersten zu erfüllende Bedingung eines guten Barometers, da die Luft den Wänden der Röhre adhärirt, auch in dem Quecksilber selbst absorbirte Luft enthalten ist. Um diese auszutreiben, muß man das Quecksilber in der Röhre auskochen, eine Operation, welche mit mancherlei Schwierigkeiten verbunden ist. — Wir berücksichtigen ferner:

2) Die Scala, welche bestimmt ist, die Höhe des Quecksilbers im verschlossenen Schenkel über der Oberfläche des Quecksilbers im offenen Schenkel zu messen. Man theilt diese in Deutsch-

land am gewöhnlichsten in Pariser Zolle. Außerdem wird auch häufig die neufranzösische Eintheilung in Millimeter*) angewendet. — Es versteht sich von selbst, daß bei einer richtigen Beobachtung die Scala eine lotrechte Lage haben muß.

3) Das Quecksilber in der Röhre, welches durch sein Gewicht dem äußeren Luftdrucke das Gleichgewicht hält. Da dieses Gewicht nicht allein von der Höhe, sondern auch wesentlich von dem specifischen Gewichte des Quecksilbers abhängt, so können zwei Barometer bei einerlei Luftdruck nur dann in ihren Angaben übereinstimmen, wenn das Quecksilber in beiden das nämliche specifische Gewicht hat. Um diese Bedingungen zu erfüllen, fällt man die Barometer mit reinem Quecksilber, da das specifische Gewicht des Quecksilbers sich ändert, wenn demselben fremdartige Stoffe, z. B. Blei oder andere Metalle, beigemischt sind.

Das Gewicht des Quecksilbers in der Barometerrohre wird aber nicht bloß durch die Reinheit, sondern auch durch die Temperatur desselben bedingt. Die Quecksilbersäule im Barometer verlängert sich, ohne daß der Luftdruck sich geändert hat, wenn dieselbe erwärmt wird. Bei Barometern, welche zu genauen Beobachtungen dienen sollen, ist daher jedesmal auch ein Thermometer angebracht, welches die Temperatur des Quecksilbers angibt. Man pflegt alle Beobachtungen auf Null Grad zu reduciren, d. h. man berechnet aus der beobachteten Länge der Quecksilbersäule im Barometer und aus der Temperatur derselben diejenige Länge, welche diese Quecksilbersäule annehmen würde, wenn ihre Temperatur gleich Null Grad wäre. (Es vergrößert sich nämlich die Quecksilbersäule für jeden Centesimal-Grad um $\frac{1}{5550}$ ihrer Länge.) Bei sehr genauer Beobachtung berücksichtigt man auch die Ausdehnung der Scale durch die Wärme.

4) Die Röhre darf nicht zu eng sein, da durch die Reibung an den Wänden der Röhre das Quecksilber an Beweglichkeit verliert. (Die Weite der Röhre soll nicht unter $1\frac{1}{2}$ bis 2 Linien betragen.) Wegen des angeführten Grundes ist es zweckmäßig, vor jeder Beobachtung das Barometer etwas zu erschüttern.

Da der Luftdruck sich in horizontaler Linie gleichmäßig fortpflanzt, so muß derselbe in unjeren Zimmern, überhaupt in allen nicht luftdicht verschlossenen Räumen derselbe wie im Freien sein. Es ist daher ganz gleichgültig, ob man das Barometer im Zimmer oder im Freien aufhängt. Dagegen ist die absolute Höhe des Beobachtungsortes, wie wir bald weiter unten sehen werden, von wesentlichem Einflusse auf den Barometerstand.)

Von besonderen Einrichtungen des Barometers führen wir nur das Gefäß- und das Heberbarometer an. Bei dem ersteren, welches vorzüglich da gebraucht wird, wo es sich mehr um Bequemlichkeit als um große Genauigkeit der Beobachtungen handelt, besteht der kürzere Schenkel aus einem oben offenen Gefäße (Fig. 93). Ist dieses nun beträchtlich weiter, z. B. zehnmal so weit, als die Röhre, so wird das Quecksilber im Gefäße, wenn es in der Röhre um einen Zoll steigt oder fällt, nur um $\frac{1}{100}$ Zoll fallen oder steigen. Man kann daher, wenn es sich um keine große Genauigkeit der Beobachtung handelt, den Stand des Quecksilbers im Gefäße als unveränderlich ansehen und die Scale mit der Röhre fest verbinden, so daß der Nullpunkt derselben mit der Oberfläche des Quecksilbers im Gefäße bei dem mittleren Barometerstande (von etwa 28 Zoll) gleiche Höhe hat. — Will man jedoch mit einem Gefäßbarometer genaue Beobachtungen anstellen, so hat man auch das Steigen und Fallen des Quecksilbers im Gefäße zu berücksichtigen.

*) Ein Millimeter = 0,443295 Pariser Linien.

(Fig. 95.)



Das vollkommenste Barometer ist ohnstreitig das Heberbarometer, welches aus einer heberförmig gekrümmten Röhre besteht, deren längerer Schenkel verschlossen und deren kürzerer Schenkel offen ist. Da bei jedem Steigen oder Fallen des Quecksilbers im verschlossenen Schenkel zugleich das Quecksilber im offenen Schenkel fällt oder steigt, so muß hier die Scale sich längs der Röhre oder die Röhre längs der Scale verschieben lassen. Das in Fig. 95 abgebildete Barometer stellt die letztere Richtung dar. Die Scale *ss'* ist an ein Brett befestigt, dagegen die Röhre, deren aufrecht stehende Schenkel durch die Hülfsen *c* und *d* frei hindurchgehen, beweglich. Diese Bewegung wird durch die Schraube *r* bewerkstelligt, durch welche die Messingplatte *e*, mit welcher die Röhre in ihrer Biegung bei *b* fest verbunden ist, nach oben und nach unten bewegt werden kann. Man stellt nun zunächst bei jeder Beobachtung die Röhre so, daß die Oberfläche des Quecksilbers im offenen Schenkel *a* mit dem Nullpunkte der Scale gleiche Höhe hat, und sieht dann zu, bis zu welchem Punkte der Scale das Quecksilber im verschlossenen Schenkel reicht.

Das Heberbarometer, dessen beide Schenkel eine nahe gleiche Weite haben, gewährt auch noch den Vortheil, daß man die Capillardepression außer Acht lassen kann. Das Gefäßbarometer gibt dagegen den Barometerstand allemal etwas zu niedrig an, da in engen Röhren das Quecksilber bekanntlich niedriger steht, als in weiten. Es bedarf daher hier jede Beobachtung einer Correction wegen der durch die Capillarität bewirkten Depression.

§. 62. Schwankungen des Barometers.

Der Luftdruck ist an dem nämlichen Orte der Erde nicht beständig derselbe, sondern fortwährenden Veränderungen und daher das Barometer beständigen Schwankungen unterworfen. Nördliche und östliche Winde sind in der Regel von einem höheren, südliche und westliche von einem niedrigeren Barometerstande begleitet.

Die Schwankungen des Barometers sind im Winter beträchtlicher, als im Sommer; sie betragen in unseren Breiten überhaupt ohngefähr 2 Bar. Zoll; (sie erstrecken sich am Meerespiegel von etwa 27 Zoll Barometerstand bis 29 Zoll;) in höheren Breiten sind dieselben noch beträchtlicher, viel geringer aber in der Nähe des Aequators, wo sie, mit Ausnahme außerordentlicher Fälle, z. B. vor dem Ausbruche heftiger Stürme, nur wenige Linien umfassen.

Sie zeigen hier eine merkwürdige Regelmäßigkeit; das Barometer steigt nämlich regelmäßig alle Tage ohngefähr von 4 Uhr bis 10 Uhr des Morgens, fällt dann bis 4 Uhr Nachmittags, steigt dann wieder bis 10 Uhr Abends und fällt dann aufs neue bis 4 Uhr Morgens. Es erreicht also zweimal täglich, um 10 Uhr Morgens und Abends, ein Maximum und zweimal, um 4 Uhr Morgens und Abends ein Minimum. Der Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Stande beträgt am Aequator noch keine volle Linie. In größerer Entfernung vom Aequator zeigt der Stand des Barometers viel beträchtlichere und sehr unregelmäßige Schwankungen. Wenn man aber ganze Monate hindurch alle Tage das Barometer ohngefähr zu den angegebenen Stunden beobachtet und aus den zu der nämlichen Tagesstunde angestellten Beobachtungen das Mittel nimmt, so wird man auch selbst in unseren Breiten noch zwei Maxima und zwei Minima unterscheiden können, deren Differenz jedoch bedeutend geringer ist, als am Aequator. Diese regelmäßigen Schwankungen sind eine Folge der Erwärmung der Erde und der Atmosphäre durch die Sonnenstrahlen und der hierdurch bewirkten Verdunstung. Dove in Berlin hat nämlich gezeigt, daß, wenn man von dem Ge-

sammtdrucke der Atmosphäre, wie ihn das Barometer angibt, die Elasticität des Wasserdampfes abzieht, der noch übrig bleibende Druck der trockenen Luft zur Zeit der kleinsten Tageswärme (Sonnenaufgang) am größten, zur Zeit der größten Tageswärme aber (eine bis zwei Stunden nach dem Mittage), wo die am stärksten erwärmte und ausgedehnte Luft oben abfließt, am kleinsten ist, während umgekehrt die Elasticität des in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfes zur Zeit der kleinsten Tageswärme am kleinsten und zur Zeit der größten Tageswärme, wenigstens für Orte, welche vom Meere oder großen Wasserbehältern nicht allzu entfernt sind, am größten ist. Da hiernach die täglichen Veränderungen des Druckes der trockenen Luft und der Elasticität des Wasserdampfes in entgegengesetztem Sinne erfolgen, die Größe der ersteren aber im allgemeinen die der letzteren übertrifft, so erklärt sich hieraus ohne Schwierigkeit, daß das Barometer, welches den Gesamtdruck der trockenen Luft und des Wasserdampfes anzeigt, innerhalb 24 Stunden abwechselnd zweimal steigt und zweimal fällt, also zweimal ein Maximum und zweimal ein Minimum erreicht. Eben so ist klar, daß mit der Größe der täglichen Temperaturveränderung, als der bedingenden Ursache, auch die Größe der täglichen Veränderung des gesammten Luftdruckes wachsen, also dieselbe vom Winter nach dem Sommer, von den Polen nach dem Aequator hin zunehmen muß.

Außer den periodischen täglichen zeigt das Barometer auch jährlich regelmäßig wiederkehrende Schwankungen, welche ihre Erklärung in den nämlichen durch den Wechsel der Wärme bedingten Ursachen, welche im Vorhergehenden für die täglichen Schwankungen entwickelt sind, finden und nach Dove im mittleren und westlichen Europa den folgenden Gang nehmen: Der atmosphärische Druck nimmt vom Januar nach dem Frühjahr hin ab und erreicht im April in der Regel ein Minimum; er wächst von da an langsam und ziemlich regelmäßig bis zum September und fällt dann wieder rasch bis in den November, wo er in der Regel zum zweiten Male ein Minimum erreicht.

§. 63. Barometrische Höhenmessung (Hypsometrie.)

Eine der nützlichsten Anwendungen, welche man von dem Barometer macht, ist die Bestimmung des Höhenunterschiedes zweier Orte durch correspondirende Barometerbeobachtungen. Da nämlich der Luftdruck offenbar mit der Höhe abnimmt, so muß auch das Barometer fallen, wenn man in die Höhe steigt, und zwar um die Länge einer Quecksilberfäule, welche eben so viel wiegt, als die Luftsäule, um welche man gestiegen ist. Da nun die Luft (bei Null Grad Wärme und) bei einem Barometerstande von 28 (Bar.) Zoll ohngefähr 10,500mal leichter ist, als Quecksilber, so wird man um 10,500 Linien oder ohngefähr 73 Fuß steigen müssen, damit das Quecksilber im Barometer um eine Linie fällt, und umgekehrt wird man, wenn an einem Orte A das Barometer auf 28 Zoll und an einem andern Orte B zu derselben Zeit nur auf 27" 11" steht, hieraus schließen, daß B um 73 Fuß höher liegt, als A. Da aber zufolge des Mariotte'schen Gesetzes die Dichtigkeit der Luft mit der Höhe abnimmt, so wird das Barometer nicht in demselben Verhältnisse fallen, in welchem man steigt. So wird man z. B., wenn man in eine Höhe gelangt ist, in welcher das Barometer auf 14 Zoll steht, die Dichtigkeit der Luft also nur noch halb so groß ist, offenbar um $2 \cdot 73 = 146$ Fuß steigen müssen, damit das Barometer um eine Linie fällt.

Um mit Leichtigkeit aus den Barometerständen, welche man zu gleicher Zeit an zwei Standpunkten beobachtet hat, den Höhenunterschied dieser beiden Standpunkte ableiten zu können, hat man besondere (hypsometrische) Tabellen berechnet, welche sich, so wie die Anweisung zum Gebrauche derselben, bei jedem neueren logarithmischen Handbuche finden, weshalb wir hierbei nicht länger verweilen. Wir bemerken nur noch, daß man bei dem barometrischen Höhenmessen auch die Temperatur der Luft zu berücksichtigen hat, da die Luft durch die Wärme ausgedehnt, also leichter wird und daher

das Gewicht der zwischen beiden Standpunkten befindlichen Luftschicht wesentlich von der Temperatur dieser Luftschicht abhängt.

Da man diese Temperatur nur an den beiden Grenzen, dem oberen und unteren Standpunkte zu beobachten Gelegenheit hat, Beobachtungen der Luft-Temperatur an zwischenliegenden Punkten fehlen, so muß man sich darauf beschränken, das arithmetische Mittel der an beiden Standpunkten beobachteten Lufttemperaturen als die mittlere Temperatur der ganzen Luftschicht anzunehmen, eine Annahme, welche nur dann für streng richtig gelten kann, wenn die Lufttemperatur wirklich mit der Höhe gleichmäßig abnimmt, was jedoch keineswegs immer der Fall ist, indem gar nicht selten wärmere und kältere Luftschichten in verschiedenen Höhen mit einander abwechseln.

Man sieht schon hierin einen Grund, warum Höhenmessungen mit dem Barometer keine volle Genauigkeit gewähren können. Ein anderer Grund besteht in dem schwer zu ermittelnden und in Rechnung zu bringenden Feuchtigkeitsgehalte der Luft, indem feuchte Luft leichter ist, als trockene.

Weiter ist klar, daß das bisher Gesagte eigentlich streng genommen nur von zwei in lotrechter Linie über einander liegenden Orten oder unter der Voraussetzung gilt, daß überall in gleicher Höhe auch ein gleicher Barometerstand stattfindet. Da jedoch Luftströmungen, Winde, sehr wohl veranlassen können, daß das Barometer an zwei gleich hoch liegenden Orten, welche in horizontaler Richtung von einander entfernt sind, einen verschiedenen Stand hat, so begreift man leicht, daß man, um zuverlässige Resultate zu erhalten, den Punkt, dessen Höhe man sucht, mit einem nicht allzu entfernten Standpunkte von bekannter Höhe vergleichen muß. Sehr windige Tage und solche, an denen das Barometer unregelmäßige Schwankungen macht, sind aber von den Beobachtungen, welche zu Höhenmessungen dienen sollen, ganz auszuschließen. Endlich ist klar, daß die Resultate um so mehr an Zuverlässigkeit gewinnen werden, je größer die Zahl der an beiden Orten gemachten gleichzeitigen Beobachtungen ist, z. B. wenn man diese durch mehrere Monate oder Jahre täglich zu denselben Stunden anstellt. Auf diese Art lassen sich auch zwei entfernte Orte in Hinsicht ihrer Höhe mit einander vergleichen, wenn man hierbei die aus mehrjährigen Beobachtungen abgeleiteten mittleren Barometerstände zu Grunde legt. Hierdurch wird es möglich, auch die absolute Höhe tiefer im Binnenlande gelegener Orte über dem Meerespiegel durch Beobachtungen des Barometers zu finden.

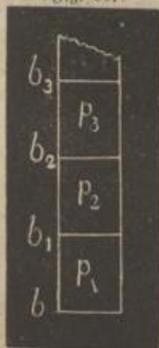
Wird der Höhenunterschied zweier Orte unter übrigens günstigen Umständen aus einem einzigen Paar correspondirender Beobachtungen hergeleitet, so wird auf einen Höhenunterschied von 1000 Fuß die Abweichung von der Wahrheit etwa 5 bis 10 Fuß betragen können.

Sind jedoch zwei Orte um mehrere Längen- oder Breitengrade von einander entfernt, so können die in der Atmosphäre beständig stattfindenden (regelmäßigen oder unregelmäßigen) Strömungen, wie Erdmann in Berlin gezeigt hat, sehr beträchtliche Differenzen veranlassen.

Auch der mittlere Barometerstand am Meerespiegel ist nicht für alle Gegenden der Erde genau derselbe, etwa zwischen 30—40° nördl. Br. am größten und von da nach dem Pole und nach dem Aequator hin etwas abnehmend.

Bezeichnen wir mit b den Barometerstand am Fußpunkte einer zu messenden Höhe (Fig. 96), mit $b_1, b_2, b_3 \dots$ aber die Barometerstände in 1, 2, 3... Fuß Höhe, setzen

(Fig. 96.)



wir ferner die Differenz, um welche das Barometer fällt, wenn wir von dem untersten Punkte aus um einen Fuß gestiegen sind, $b - b_1 = p_1$, dann ist p_1 offenbar die Länge einer Quecksilbersäule, welche mit der untersten Luftschicht von ein Fuß Höhe gleiches Gewicht hat. Uebereinstimmend hiermit setzen wir noch $b_1 - b_2 = p_2, b_2 - b_3 = p_3$ u. s. w. Da die Dichtigkeiten der auf einander folgenden Luftschichten, also auch ihre Gewichte sich wie die drückenden Kräfte verhalten, so ergibt sich hieraus die

$$\begin{aligned} \text{Proportion} \quad & p_1 : p_2 = b_1 : b_2, \\ \text{folglich auch} \quad & b_1 + p_1 : b_2 + p_2 = b_1 : b_2, \\ \text{oder da } b_1 + p_1 = b \text{ und } b_2 + p_2 = b_1 \text{ ist,} \quad & b : b_1 = b_1 : b_2. \end{aligned}$$

Ganz eben so finden wir weiter

$$\begin{aligned} b_1 : b_2 &= b_2 : b_3, \\ b_2 : b_3 &= b_3 : b_4 \text{ u. s. f.} \end{aligned}$$

Es bilden daher, wenn wir um gleiche Höhen in der Luft

emporsteigen, die zugehörigen Barometerstände die Glieder einer abnehmenden geometrischen Reihe, während diese Höhen selbst, da wir immer um eine gleiche Größe gestiegen sind, eine arithmetische Reihe darstellen.

Sehen wir den beständigen Quotienten der eben erwähnten geometrischen Reihe = q , so erhalten wir die Gleichungen

$$\begin{aligned} b &= q \cdot b_1, \\ b_1 &= q \cdot b_2, \\ b_2 &= q \cdot b_3 \text{ u. s. w.} \end{aligned}$$

folglich $b = q \cdot b_1 = q^2 \cdot b_2 = q^3 \cdot b_3 \text{ u. s. w.}$

Auf diesem Wege fortfahrend, finden wir, wenn wir den in der Höhe von h Fuß stattfindenden Barometerstand mit b' bezeichnen,

$$b = q^h \cdot b'$$

also $\log b = h \log q + \log b'$

und folglich $h = \frac{\log b - \log b'}{\log q}$

Da die Luft bei Null Grad Temperatur und einem Barometerstand von 28 Par. Zoll 10500mal leichter, als Quecksilber ist, so muß das Barometer um den 10500ten Theil eines Fußes oder 0,001143 Zoll fallen, wenn wir in dieser Luft um einen Par. Fuß steigen, also das Barometer von 28 Zoll auf 27,998857 Zoll herabgehen. Demnach ist

$$q = \frac{b}{b_1} = \frac{28}{27,998857}$$

und $\log q = \log 28 - \log 27,998857 = 0,0000177$,

folglich $h = \frac{\log b - \log b'}{0,0000177} = 56500 \cdot (\log b - \log b')$.

Der so eben berechnete Coefficient 56500 ist unter der Voraussetzung erhalten worden, daß die Lufttemperatur gleich Null Grad ist. Ist die Temperatur an dem untern Standpunkte = t , an dem obern = t' , so hat man denselben, da die Luft für jeden Centesimalgrad sich um 0,00366 ihres Volumens ausdehnt, wenn man als mittlere Temperatur der Luftschicht zwischen beiden Standpunkten das arithmetische Mittel der beiden beobachteten Lufttemperaturen $\frac{t + t'}{2}$ annimmt, noch mit der Zahl

$1 + 0,00183 \cdot (t + t')$ zu multipliciren, wodurch die obige Formel übergeht in

$$h = 56500 \cdot [1 + 0,00183 \cdot (t + t')] \cdot (\log b - \log b').$$

Außerdem hat man bei sehr genauen Bestimmungen eine Correction wegen des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft, wegen der Abnahme der Schwere mit der Höhe und wegen der verschiedenen Größe der Schwere in verschiedenen Gegenden der Erde anzubringen. Wir verweilen jedoch hierbei nicht länger, sondern verweisen wegen dieser Correctionen auf die hypsometrischen Tafeln.

Zufolge des Vorstehenden beträgt z. B. der mittlere Stand des Barometers auf dem Brocken (3500') ohngefähr 24", auf der Schneetoppe (4900') 23", Mexiko (7000') 21", Hospiz auf dem St. Bernhard (7700') 20", Chimborasso (20800') 12", Dhawalagiri (25000') 10" u. dgl. m.

§. 64. Anderweitiger Gebrauch des Barometers.

Der Gebrauch, welchen der Physiker von dem Barometer macht, beschränkt sich jedoch nicht auf das Höhenmessen; auch bei vielen chemischen, akustischen, optischen und thermischen Untersuchungen ist ihm die Kenntniß des Barometerstandes unentbehrlich. So werden wir z. B. weiter unten zeigen, daß ohne die Abmessung des Luftdruckes durch das Barometer die Anfertigung übereinstimmender Thermometer ganz unmöglich sein würde.

Auf die Verhältnisse des gewöhnlichen Lebens äußern dagegen die Veränderungen des Luftdruckes an dem nämlichen Orte keinen merklichen Einfluß. Während eine Zu- oder Abnahme der Lufttemperatur von wenigen Graden auf unser Gefühl schon bedeutend einwirkt, empfinden wir nichts, selbst von den stärksten Veränderungen im Luftdrucke.

Schon bald nach der Erfindung des Barometers hat man dasselbe zur Vorherbestimmung von Witterungsveränderungen zu benutzen versucht.

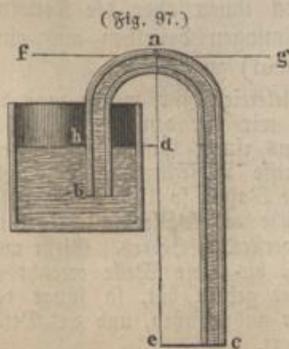
Da die südlichen und westlichen Winde uns in der Regel feuchte und warme, also leichtere Luft zuführen, so steht das Barometer bei diesen gewöhnlich niedriger als bei den nördlichen und östlichen Winden, welche uns meist trockene und kalte, also schwerere Luft bringen. Da nun die Regenwolken uns in den meisten Fällen durch südwestliche Winde zugeführt werden, während die nordöstlichen Winde uns häufiger heiteres als regnerisches Wetter bringen, so erklärt sich schon hieraus, warum in den meisten Fällen die Schwankungen des Barometers mit den Veränderungen der Witterung zusammentreffen. Hierzu kommt noch, daß der Wechsel der Luftströmung sehr gewöhnlich früher in den obern als in den unteren Regionen eintritt, und indem derselbe den Luftdruck vermehrt oder vermindert, das Barometer schon steigt oder fällt, noch ehe eine Drehung des in den untern Regionen wehenden Windes und ein Wechsel der Witterung eingetreten ist, und so der letztere durch den veränderten Stand des Barometers vorher verkündigt wird. — Sehr starkes und plötzliches Fallen des Barometers ist als ein Vorbote heftiger Stürme anzusehen.

Wir haben oben angegeben, daß feuchte Luft leichter ist, als trockene. Feucht nennen wir die Luft dann, wenn sie neben den sogenannten Gasen, Sauerstoff und Stickstoff, reichlich Wasserdämpfe enthält. In §. 238 werden wir sehen, daß bei gleichem Drucke und gleicher Temperatur das spezifische Gewicht des Wasserdampfes nur $\frac{1}{8}$ von dem der trocknen aus Sauerstoff und Stickstoff gemischten Luft beträgt. So wie nun bei gleichem Volumen ein Gemenge aus Wasser und Spiritus um so weniger wiegt, je mehr Spiritus darin enthalten ist, so muß dasselbe aus gleichem Grunde von der atmosphärischen Luft gelten, je größer ihr Gehalt an Wasserdämpfen ist.

Wenn in den meisten Fällen das Steigen oder Fallen des Barometers auf einen verminderten oder vermehrten Feuchtigkeitsgehalt der Luft schließen läßt und daher jenes das Vorstehen trockener, dieses dagegen nasser Witterung wahrscheinlich macht, so werden dagegen rasch vorübergehende Gewitterschauer, welche sich nur über schmale Landstriche ergießen, während zu beiden Seiten derselben trockene Witterung herrscht, und auch da, wo sie niedergefallen sind, bald wieder die Sonne am klaren Himmel erscheint, durch ein locales Fallen des Barometers nicht angezeigt. Denn es ist nicht wohl möglich, daß an nahe benachbarten Orten das Barometer auch nur kurze Zeit andauernd einen erheblich verschiedenen Stand zeigt, da eine beträchtliche Ungleichheit im Luftdruck benachbarter Gegenden sich sofort wieder durch ein heftiges Strömen der Luft aus der Gegend des stärkeren in die des schwächeren Druckes ausgleichen müßte.

§. 65. Der gekrümmte Heber.

Auf den Gesetzen des Luftdruckes beruhen auch die Erscheinungen des gekrümmten Hebers, welcher aus einer zweischenkelligen gebogenen Röhre *bac* (Fig. 97) besteht. Wird der eine Schenkel in ein Gefäß mit Wasser getaucht und hierauf der Heber auf irgend eine Art, z. B. durch Saugen mit dem Munde



an der Oeffnung *c* des äußeren Schenkels, gefüllt, so fließt das Wasser durch diesen so lange aus, als überhaupt noch der innere Schenkel ins Wasser reicht, wenn nämlich der äußere Schenkel länger ist, als der innere, entgegengesetzten Falles nur so lange, als die Oeffnung des äußeren Schenkels sich unter dem Spiegel des Wassers im Gefäße befindet. Der Heber bietet so die auffallende Erscheinung einer aufwärts gehenden Wasserströmung dar, welche sich zu einer größeren Höhe erhebt, als der Spiegel des Wassers, aus welchem sie entspringt.

Zur Erklärung dieser Erscheinung dient Folgendes: Das in dem Gefäße befindliche Wasser erleidet an seiner Oberfläche den Druck der Atmosphäre, welcher, wie wir im Vorhergehenden gesehen haben, ohngefähr dem Drucke einer Wassersäule von 32 par. Fuß Höhe gleich ist. Da dieser Druck sich auch durch das im Heber befindliche Wasser fortpflanzt, so erleidet ein Wassertheilchen, welches sich in demselben bei *h* in gleicher Höhe mit dem Wasserspiegel im Gefäße befindet, genau den nämlichen Druck; dagegen erleidet ein an der höchsten Stelle des Hebers bei *a* befindliches Wassertheilchen offenbar nur noch einen Druck, welcher gleich ist dem Gewichte einer Wassersäule von der Höhe 32' — *ad*.

An der äußern Oeffnung bei *c* übt die Luft ebenfalls einen Druck aus, welcher gleich dem Gewichte einer Wassersäule von 32' Höhe ist, und indem dieser Druck durch das im Schenkel *ac* eingeschlossene Wasser sich fortpflanzt, die Schwere desselben aber diesem Drucke entgegenwirkt, so wird dieser Druck bei *a* nur noch durch das Gewicht einer Wassersäule von der Höhe 32' — *ae* gemessen.

Hiernach erleidet das Wasser im Heber bei *a* einen zweifachen und zwar entgegengesetzten Druck, nämlich in der Richtung *ag* einen Druck, welcher 32' — *ad*, und in der Richtung *af* einen Druck, welcher 32' — *ae* zum Maße hat. Der erstere Druck übertrifft aber den letzteren um das Gewicht einer Wassersäule von der Höhe *de*, d. h. einer Wassersäule, welche die Tiefe der Oeffnung des äußeren Schenkels unter dem Spiegel des Wassers im Gefäße zur Höhe hat. — Da das, was wir für die höchste Stelle des Hebers gezeigt haben, eben so für jede andere Stelle desselben dargethan werden kann, so muß sich das Wasser folglich im Heber in der Richtung *ba* fortbewegen.

Man sieht aus dieser Darstellung auch noch, daß das Wasser aus dem Heber um so rascher ausfließt, je tiefer die Oeffnung des äußeren Schenkels unter dem Wasserspiegel liegt, ferner daß, wenn der äußere Schenkel kürzer ist, als der eingetauchte, das Wasser aufhört auszuliefern, sowie der Spiegel des Wassers im Gefäße bis zu einer gleichen Höhe mit der Oeffnung des äußeren Schenkels gefallen ist, und endlich, daß das Wasser im Heber zu keiner größeren Höhe, als 32 Par. (oder 33 preuß.) Fuß über den Wasserspiegel im Gefäße emporsteigen kann. — Bei einem mit Quecksilber gefüllten Heber würde diese Höhe nur 28 Par. (oder 29 preuß.) Zoll betragen. /

Man benutzt den Heber, um Flüssigkeit aus einem Gefäße in ein anderes überzufüllen.

Der Heber war schon den Alten bekannt; da ihnen aber die Kenntniß des Luftdruckes abging, so suchten sie die Erscheinungen desselben aus einer anziehenden Kraft des leeren Raumes (*horror vacui*) zu erklären.

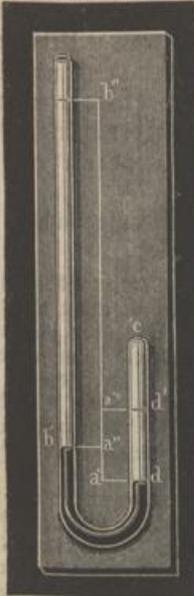


Unter den vielen Spielereien, für welche man den Heber benutzt hat, führen wir nur den *Bezirkbecher* (Fig. 98) an, welcher aus einem Gefäße mit irgend einem, z. B. im Handgriffe versteckten Heber besteht. Befindet sich in dem Gefäße Wasser, so fließt kein Tropfen aus, so lange die Oberfläche des Wassers niedriger ist, als die höchste Stelle des versteckten Hebers. Gießt man aber nun noch Wasser zu, bis diese Stelle erreicht ist und sich folglich der Heber gefüllt hat, so fängt das Wasser an, durch den Heber auszuliefern, und das Gefäß wird beinahe gänzlich entleert.

§. 66. Das Mariottesche Gesetz.

Wenn man in eine heberförmig gebogene Röhre mit einem kürzeren, oben verschlossenen und einem längeren, oben offenen Schenkel etwas Quecksilber gießt, so erleidet die im kürzeren Schenkel abgessperre

(Fig. 99.)



Luft zunächst den Druck einer Quecksilbersäule von der Höhe $a'a''$ (Fig. 99), um welche das Quecksilber im offenen Schenkel höher steht, als im verschlossenen, und außerdem noch den Druck der Atmosphäre. Nehmen wir an, daß das Barometer auf 28'' steht, und daß $a'a'' = 2''$ ist, so ist der gesammte Druck, welchem die abgessperre Luftsäule cd vermöge ihrer Elasticität das Gleichgewicht hält, $= 30''$. Wird hierauf im offenen Schenkel Quecksilber zugegossen, so steigt auch das Quecksilber im verschlossenen Schenkel und die abgessperre Luftmasse wird in einen engeren Raum zusammengedrückt. Wird hiermit so lange fortgefahren, bis der Raum cd' die Hälfte von cd ist, so findet man, daß die Höhe $a''b''$, um welche jetzt das Quecksilber im offenen Schenkel höher steht, als im verschlossenen, 32'' beträgt. Die in den halben Raum zusammengedrückte Luft hält also einem Drucke von $32'' + 28'' = 60''$, d. h. einem doppelt so großen Drucke als vorhin das Gleichgewicht. Indem die Luft in den halben Raum zusammengedrückt wurde und folglich ihre Dichtigkeit verdoppelte,

ist auch ihre Elasticität auf das Doppelte gestiegen.

In ähnlicher Art findet man, daß überhaupt der Raum, welchen die abgessperre Luft einnimmt, in demselben Verhältnisse abnimmt, in welchem die drückende Kraft zunimmt, und daß also die Dichtigkeit der Luft in gleichem Verhältnisse mit ihrer Elasticität wächst.

(Fig. 100.)



Dieses Gesetz, welches man für atmosphärische Luft bis zur 27fachen Verdichtung nachgewiesen hat, gilt auch für andere Gasarten, jedoch für diejenigen, welche bei starkem Drucke flüssig werden, innerhalb engerer Grenzen.

Um das nämliche Gesetz auch für verdünnte Luft nachzuweisen, taucht man eine beiderseits offene Röhre in ein hohes Gefäß mit Quecksilber; dann wird das Quecksilber in der Röhre, (wenn dieselbe nicht sehr eng ist,) eben so hoch, als im Gefäße stehen, und dieses wird auch dann noch stattfinden, wenn die Röhre am oberen Ende luftdicht verschlossen wird. Es hält daher die in der Röhre eingeschlossene Luft vermöge ihrer Elasticität dem Drucke der Atmosphäre, d. h. einer Quecksilbersäule von der Höhe des Barometerstandes, für welchen wir 28'' annehmen wollen, das Gleichgewicht. Wird nun die Röhre in die Höhe gezogen, so dehnt sich die in derselben enthaltene Luft aus, und das Quecksilber in der Röhre steht jetzt höher, als im Gefäße. Nehmen wir an, daß dasselbe in der Röhre bis a (Fig. 100), im Gefäße bis b

reicht, so hat die Luft zwischen a und c nur noch dem um die Quecksilber-
säule ab verminderten Luftdrucke das Gleichgewicht zu halten. Ist z. B.
ab = 21", so ist der Druck, welchem die Elasticität der abgesperrten Luft-
masse das Gleichgewicht hält, gleich dem Gewichte einer Quecksilbersäule von
der Höhe 28" — 21" = 7", und der Raum ac, welchen diese Luftmasse
jetzt einnimmt, ist viermal so groß, als er ursprünglich war. Ueberhaupt
findet man, daß die Elasticität der abgesperrten Luftmasse in dem nämlichen
Verhältnisse abnimmt, in welchem sich dieselbe ausdehnt, also dünner wird.

Es gilt folglich das Gesetz, daß sich die Elasticität der Luft
wie ihre Dichtigkeit verhält, eben sowohl für verdichtete als
für verdünnte Luft.

Dieses Gesetz ist zuerst von Boyle in England 1660 aufgefunden und
bald nachher von Mariotte in Frankreich bestätigt worden.

Da die Elasticität der Luft auch wesentlich von ihrer Temperatur abhängt, so
können die angeführten Versuche nur dann richtige Resultate ergeben, wenn die Tem-
peratur der Luft in allen Versuchen die nämliche ist. Auch muß bei den Versuchen
mit verdichteter Luft dieselbe frei von Feuchtigkeit sein, weil beigemischte Dämpfe, wenn
der Druck eine gewisse Grenze überschreitet, sich in flüssiges Wasser verdichten.

Nach Regnault gilt das Mariottesche Gesetz für atmosphärische Luft, Stickstoff,
Wasserstoff und Kohlenäure auch bei mäßigem Drucke, zwischen 1 bis 20 Atmosphären,
nicht mit vollkommener Genauigkeit. Die Abweichungen sind jedoch nur bei der Kohlen-
säure beträchtlich, bei den andern drei Gasen gering.

Nach Rattexer vermindern die folgenden Gase bei dem ungeheuern Drucke von
2700 Atmosphären ihr Volumen nicht auf den 2700ten Theil, sondern Wasserstoffgas
nur auf den 1008ten, Stickstoffgas auf den 705ten, atmosphärische Luft auf den 726ten
und Kohlenoxydgas auf den 727ten Theil ihres ursprünglichen Volumens. Keines
dieser Gase ging jedoch bei dem stärksten angewendeten Drucke und einer künstlichen
Kälte von 80° in den flüssigen Zustand über.

§. 67. Anwendungen des Mariotteschen Gesetzes.

Aus dem Vorhergehenden folgt, daß, wenn zwei mit Luft gefüllte Räume
mit einander Gemeinschaft haben, das Gleichgewicht nur dann bestehen kann,
wenn die Luft in beiden dieselbe Dichtigkeit hat. Eine Ausnahme hiervon
würde in dem Falle stattfinden, wenn der eine Raum bedeutend höher als
der andere gelegen oder die Luft in dem einen wärmer als in dem andern
wäre. Abgesehen von dergleichen Ausnahmefällen muß bei verschiedener Dich-
tigkeit der Luft in beiden Räumen eine Strömung aus dem Raume, in
welchem die Luft größere Dichtigkeit und also auch größere Elasticität hat,
in den mit der weniger dichten Luft gefüllten Raum eintreten. — Eben so
ist klar, daß das hydrostatische Gesetz über die gleiche Höhe einer Flüssig-
keit in communicirenden Röhren nur so lange richtig bleibt, als die über
den Oberflächen des Flüssigen in beiden Schenkeln befindliche Luft dieselbe
Dichtigkeit hat. Ist dagegen diese Dichtigkeit verschieden, so wird die Flüssig-
keit in dem Schenkel, über welchem sich die weniger dichte Luft befindet,
höher stehen, als in dem Schenkel, über welchem die Luft eine größere
Dichtigkeit und also auch größere Elasticität besitzt, und zwar um so mehr, je
größer der Unterschied dieser Dichtigkeiten ist, wie wir dies deutlich an den im
vorhergehenden Paragraphen näher beschriebenen Versuchen gesehen haben.

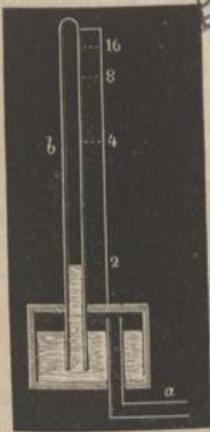
Aus dem Angeführten ergibt sich die Erklärung sehr vieler Erscheinungen;
wir führen zunächst an:

Das Athmen. Wenn durch Ausdehnung des Brustkastens die Lungen-
säcke sich erweitern und also die Luft in denselben verdünnt wird, so vermag

sie nicht mehr der äußeren das Gleichgewicht zu halten, und diese muß folglich durch die Luftröhre in die Lungen einströmen. Das Gegentheil findet statt, wenn durch Verengung des Brustkastens die Luft in den Lungen verdichtet wird. — Ferner führen wir an:

Das Saugen und Trinken. Wenn wir das eine Ende eines Röhrchens in den Mund nehmen, während das andere Ende in eine Flüssigkeit eintaucht, und nun durch Erweiterung des Brustkastens die Luft in den Lungen, im Munde und in dem Röhrchen verdünnen, so steigt die Flüssigkeit wegen des überwiegenden Druckes der äußeren Luft in dem Röhrchen in die Höhe. — Aehnliches gilt vom Trinken, nur daß hier die Lippen ohne dazwischen gebrachte Röhre unmittelbar mit der Flüssigkeit in Berührung sind. (Der Kehlschließmuskel, welcher den Kehlkopf bedeckt, bewirkt, daß die Flüssigkeit beim Schlucken nicht in die Luftröhre, sondern in die Speiseröhre und durch diese in den Magen gelangt.)

(Fig. 101.)



Noch mehr Anwendungen des Mariotteschen Gesetzes enthalten die folgenden Paragraphen.

Eine besonders nützliche Anwendung des Mariotteschen Gesetzes, welche man vorzüglich bei Dampfmaschinen anwendet, um die Spannkraft der Dämpfe zu messen, ist das in Fig. 101 abgebildete Manometer. Dasselbe besteht aus einem starken eisernen, zum Theil mit Quecksilber gefüllten Gefäße, welches mit den Dämpfen, deren Spannkraft gemessen werden soll, durch das Rohr a verbunden ist. Der Druck derselben treibt das Quecksilber in die mit Luft gefüllte Röhre b und comprimirt die in derselben eingeschlossene Luft. Die Zahlen der neben der Röhre angebrachten Scale 2, 4, 8, 16 zeigen einen Druck von 2, 4, 8, 16 Atmosphären an.

Ueber das Athmen bemerken wir noch Folgendes: Bei der Erweiterung des Brustkastens, welcher überall geschlossen ist, wird zunächst die denselben erfüllende und die Lungen umgebende Luft ausgedehnt und verdünnt. In Folge hiervon bekommt die in den Lungen befindliche Luft das Uebergewicht, dehnt sich aus, und durch die Luftröhre strömt von außen Luft in die Lungen ein. Das Gegen-

theil findet bei der Zusammenziehung des Brustkastens statt, indem zunächst die in demselben die Lungen umgebende Luft verdichtet wird. Wäre der Brustkasten nicht luftdicht geschlossen, so würden die Lungen bei nachlassendem Drucke sich nicht wieder ausdehnen, sondern sich wie eine Blase verhalten, aus welcher man durch Zusammenpressen die Luft ausgetrieben hat.

(Fig. 102.)



§. 68. Der Stechheber.

Der Stechheber (Fig. 102) besteht aus einer Röhre, welche unten eine feine Oeffnung hat und sich nach oben bauchig erweitert. Taucht man denselben in eine Flüssigkeit, so wird dieselbe innerhalb eben so hoch als außerhalb stehen. Verschließt man nun die obere Oeffnung etwa mit dem Daumen und hebt den Stechheber aus der Flüssigkeit heraus, so fließt nur ein geringer Theil der in demselben enthaltenen Flüssigkeit aus; indem nämlich hierdurch die im Heber über der Flüssigkeit befindliche Luft verdünnt wird, bekommt der äußere Luftdruck am unteren offenen Ende das Uebergewicht und verhindert das Ausfließen, welches erst dann eintritt, wenn man die obere Oeffnung öffnet. Die untere Oeffnung muß jedoch so eng sein,

daß die Luft und die Flüssigkeit sich nicht ausweichen können; entgegengesetzten Falles würden in der Röhre Luftblasen durch die Flüssigkeit emporsteigen und die über derselben befindliche Luft verdichten.

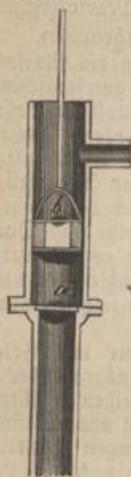
Aus dem nämlichen Grunde, weshalb die Flüssigkeit aus dem Heber erst dann ausfließt, wenn man die obere Oeffnung öffnet, pflegt man bei Fässern, welche eine Flüssigkeit enthalten, wenn man diese abzapsen will, den Spund zu öffnen, die Deckel der Thee- und Kaffeekannen mit einer kleinen Oeffnung zu versehen u. dgl. m.

Eben so wird man nach dem Vorhergehenden leicht im Stande sein, die Erscheinungen, welche die gewöhnliche Handspritze darbietet, zu erklären.

× §. 69. Die Saug- und die Druckpumpe.

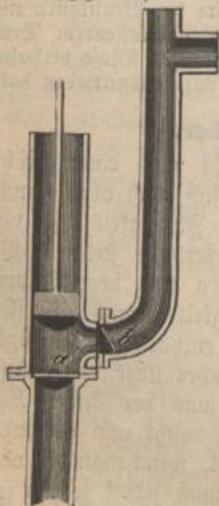
Die Saugpumpe (Fig. 103) besteht aus einem Cylinder, gewöhnlich Stiefel genannt, in welchem sich der Kolben luftdicht auf und nieder bewegt, und der Saugröhre, welche vom Boden des Stiefels bis in das zu hebende Wasser reicht.

(Fig. 103.)



Da wo die Saugröhre mit dem Stiefel verbunden ist, befindet sich ein Ventil a, welches sich nur nach oben öffnet; das nämliche gilt von einem im Boden des Kolbens befindlichen Ventile b. Bei dem in die Höhe Ziehen des Kolbens öffnet sich das Ventil a, b schließt sich, und die Luft wird im Stiefel und in der Saugröhre verdünnt; sie wird aber beim Niedergange des Kolbens in der Saugröhre nicht wieder verdichtet, indem sich jetzt a schließt und b öffnet. Je mehr nun beim abwechselnden Auf- und Niedergange des Kolbens die Luft in der Saugröhre verdünnt wird, um so höher wird das Wasser in derselben durch den äußeren Luftdruck emporgetrieben, bis es in den Stiefel über das Ventil a, beim Niedergange des Kolbens auch über das Ventil b tritt und endlich beim Aufsteigen des Kolbens bis zu der Ausgusröhre gehoben wird.

(Fig. 104.)



Die Druckpumpe (Fig. 104) unterscheidet sich von der Saugpumpe nur darin, daß mit derselben nahe am Boden eine aufwärts gehende Röhre, die Steigeröhre, verbunden ist, an deren Mündung in den Stiefel ein in die Steigeröhre sich öffnendes Ventil b befindlich ist, statt des Ventils im Kolben, welches hier fehlt. Nachdem das Wasser durch das Ventil a bis in den Stiefel getreten ist, wird es beim Niedergange des Kolbens in der Steigeröhre, in dem sich a schließt und b öffnet, emporgetrieben.

Da der Luftdruck nur einer Wassersäule von etwa 32 Par. (oder 33 preuß.) Fuß das Gleichgewicht zu halten vermag, so darf auch bei der vollkommensten Einrichtung einer Saug- oder Druckpumpe der Theil der Saugröhre zwischen dem Wasserspiegel und dem Bodenventile a diese Länge nicht erreichen. Dagegen kann bei der Saugpumpe der Stiefel und

bei der Druckpumpe die Steigeröhre jede beliebige Länge haben, nur daß natürlich bei vermehrter Höhe der Wassersäule die zum Heben derselben erforderliche Kraft in gleichem Verhältniß zunimmt.

§. 70. Der Heronsball oder Windkessel und die Feuerspritze*).

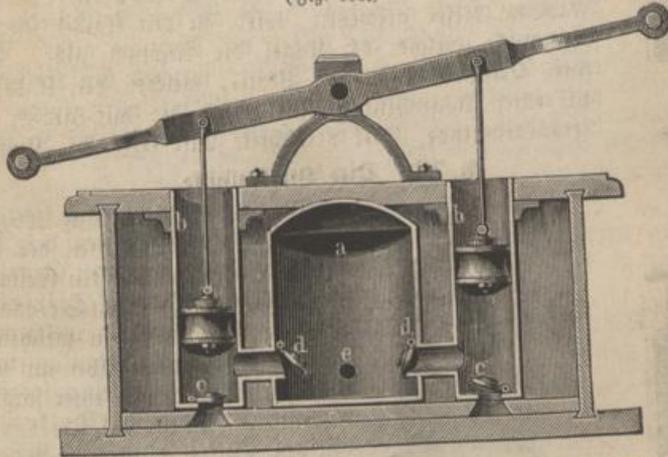
Der Heronsball (Fig. 105) besteht aus einem luftdicht verschlossenen Gefäße, in welchem sich ein Röhrchen befindet, das unten bis nahe an den Boden des Gefäßes reicht und oben in eine feine Spitze endet. Wenn nun der Heronsball etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt ist und die Luft in demselben auf irgend eine Art, z. B. durch Einblasen mit dem Munde verdichtet wird, so bekommt die innere verdichtete Luft über die äußere das Uebergewicht und treibt das Wasser in der Röhre empor, so daß es durch die Spitze in einem feinen Strahle hervorspritzt.

(Fig. 105.)



Der Heronsball findet mannigfache Anwendungen, von denen eine der wichtigsten und bekanntesten die Feuerspritze (Fig. 106) ist, bei welcher er den Namen Wind-

(Fig. 106.)



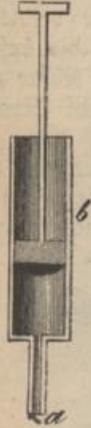
kessel führt. Die Feuerspritze besteht nämlich aus dem Windkessel und zwei Druckpumpen b und b, welche in einem Kasten mit Wasser stehen. Beim Aufsteigen des Kolbens öffnet sich das Ventil c, durch welches das Wasser in den Stiefel tritt und d schließt sich. Beim Niedergange des Kolbens aber schließt sich c, d öffnet sich, und das Wasser tritt aus dem Stiefel in den Windkessel a. Je mehr es sich hier ansammelt, um so mehr wird die Luft in dem Windkessel verdichtet. In demselben ist entweder ein bis nahe an den Boden reichendes Rohr, welches oben in eine bewegliche engere Röhre, den sogenannten Schwanenhals, ausläuft, angebracht, oder, was in mancher Hinsicht bequemer ist, es befindet sich in dem Windkessel nahe am Boden bei e eine Oeffnung, an welche ein Schlauch, der in ein Rohr mit

*) Heron lebte um das Jahr 210 zu Alexandrien. Von demselben rührt auch der Heronsbrunnen her, eine sehr sinnreiche Spielerei, welche wir jedoch übergehen, da sie keine Anwendung findet.

enger Oeffnung endet, angeschraubt werden kann. So wie nun durch fortgesetztes Pumpen die Luft in dem Windkessel verdichtet wird, so wird das Wasser durch den Druck der comprimirten Luft aus der Oeffnung des Rohres in einem kräftigen Strahle hervorgetrieben. — Der Hauptnutzen des Windkessels besteht darin, daß das Wasser nicht bei dem Niedergange des einen oder andern Kolbens stoßweise, sondern in einem continuirlichen Strahle fortgetrieben wird, indem die verdichtete Luft einen beständigen Druck auf das Wasser im Windkessel ausübt.

§. 71. Die Compressionspumpe und die Windbüchse.

(Fig. 107.)

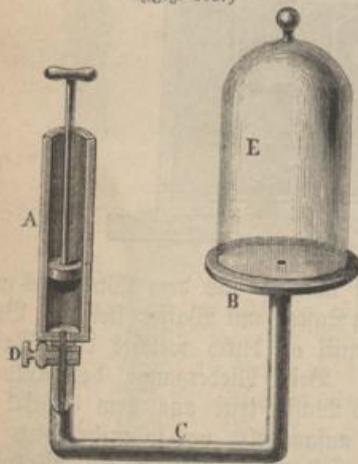


Die Compressionspumpe (Fig. 107) besteht aus einem starken metallenen Stiefel, in welchem sich ein dicht anschließender Kolben auf und nieder bewegt. Unten bei a befindet sich ein Ventil, welches sich nur nach außen öffnet, und nahe am oberen Ende bei b eine kleine Oeffnung, durch welche die zu verdichtende Luft in den Stiefel tritt. Das Gefäß, in welchem die Luft verdichtet werden soll, wird bei a an den Stiefel angeschraubt.

Man bedient sich der Compressionspumpe unter andern, um die Luft in dem Kolben der Windbüchse zu verdichten. Nachdem dieses geschehen, wird an den Kolben der Lauf angeschraubt, welcher der Kugel die Richtung gibt. Vermittelst eines Drückers wird das Ventil, welches den Kolben schließt, auf einen Augenblick geöffnet, und die mit großer Heftigkeit hervordringende, stark verdichtete Luft treibt die Kugel fort.

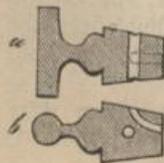
§. 72. Die Luftpumpe.

(Fig. 108.)



Die Luftpumpe (Fig. 108), eine der wichtigsten Geräthschaften des Physikers, besteht in ihrer einfachsten Gestalt 1) aus einem hohlen Cylinder (Stiefel) A von Messing oder Glas, in welchem sich ein dicht anschließender Kolben auf und nieder bewegen läßt; 2) aus einer sorgfältig abgeschliffenen Platte B (Teller), welche mit dem Stiefel durch eine Röhre C verbunden ist, und auf welche eine gläserne Glocke E (Recipient), in der die Luft verdünnt werden soll, zu stehen kommt, und 3) aus dem Hahne D, welcher eine doppelte Bohrung hat, wie die in größerem Maßstabe ausgeführten Abbildungen a und b (Fig. 109) zeigen. Wenn der Kolben in die Höhe gezogen

(Fig. 109.)



wird, hat der Hahn die in Fig. 109, a abgebildete Stellung; die in dem Recipienten E und der Röhre C enthaltene Luft dehnt sich in den Stiefel A aus und wird folglich verdünnt. Damit sie aber beim Niedergange des Kolbens sich nicht wieder verdichte, wird vorher der Hahn D um 90° in die Fig. 109, b abgebildete Stellung gedreht, hierdurch die Röhre C und der Recipient E ab-

gesperrt, der Stiefel A aber mit der äußeren Luft verbunden, so daß die in dem Stiefel befindliche Luft nach außen entweichen kann. — Wird dann der Hahn wieder in die Fig. 109, a abgebildete Stellung gedreht und der Kolben in die Höhe gezogen, so wird die in dem Recipienten enthaltene Luft aufs neue ausgedehnt und so fort bei jedem folgenden Kolbenzuge immer mehr verdünnt. — Nehmen wir an, daß der Recipient E und die Röhre C zusammen mit dem Stiefel A einen gleichen Raumesinhalt haben, so wird nach dem ersten Kolbenzuge die Luft auf die Hälfte, nach dem zweiten Kolbenzuge die Hälfte wieder auf die Hälfte, also auf den vierten Theil, nach dem dritten Kolbenzuge auf den achten Theil u. s. w. verdünnt, so daß nach zehn Kolbenzügen schon eine 1024fache Verdünnung stattfinden müßte*), eine Verdünnung, welche jedoch in der Wirklichkeit auch die ausgezeichnetsten Luftpumpen kaum jemals hervorzubringen im Stande sind. Im Vorhergehenden ist nämlich zunächst vorausgesetzt, daß alle Theile vollkommen luftdicht schließen, was in der Wirklichkeit nie ganz zu erreichen ist, und dann zweitens, daß der Kolben bei seiner tiefsten Stellung dicht an den Boden des Stiefels und den Hahn anschließt, so daß zwischen denselben gar kein Raum übrig bleibt. Dieser Zwischenraum nämlich, welcher bei keiner Luftpumpe gänzlich fehlt und der schädliche Raum genannt wird, füllt sich, so wie man durch Umdrehung des Hahnes den Stiefel mit der äußeren Luft in Verbindung setzt, mit äußerer Luft, welche sich demnächst beim in die Höhe Ziehen des Kolbens in den Stiefel ausbreitet; man vermag daher die Luft nur höchstens so vielmal zu verdünnen, als wie vielmal der schädliche Raum in dem Stiefel enthalten ist. Diesem schädlichen Raume ist es vorzüglich beizumessen, daß auch bei guten Luftpumpen nur selten eine mehr als 1000fache Verdünnung erzielt werden kann.

Statt eines Stiefels bringt man an den Luftpumpen deren gewöhnlich zwei an, mit der Einrichtung, daß, während der Kolben in dem einen Stiefel niedergeht, er in dem andern in die Höhe steigt.

Auch wendet man statt des Hahnes B häufig zwei Ventile an, von denen das eine im Boden des Stiefels, das andere im Kolben angebracht wird. Ventilluftpumpen haben zwar keinen schädlichen Raum, dagegen vermag, wenn die Verdünnung einen gewissen Grad überschritten hat, die Elasticität der verdünnten Luft die Ventile nicht mehr in Bewegung zu setzen.

Um den Grad der Verdünnung zu bestimmen, bedient man sich eines kleinen Barometers von wenigen Zollen Höhe, welches man unter den Recipienten der Luftpumpe stellt. Steht dieses z. B. auf 1 Linie Höhe, während in der äußeren Luft ein Barometerstand von 28 Zoll stattfindet, so ist die Luft im Recipienten $12 \cdot 28 = 336$ mal verdünnt.

Man kann sich der Hahnluftpumpen auch zum Verdichten der Luft bedienen, indem man an das Ende der Röhre C statt des Tellers das Gefäß luftdicht anschraubt, in welchem die Luft verdichtet werden soll, und beim Niedergange des Kolbens den Hahn D so stellt, daß der Stiefel mit dem Gefäße verbunden ist, beim Aufziehen des Kolbens aber den Hahn so stellt, daß das Gefäß abgesperrt und der Stiefel mit der äußeren Luft verbunden ist.

*) Ist überhaupt der Raumesinhalt des Stiefels a, der des Recipienten nebst der Röhre C = b, so ist nach m Kolbenzügen die Zahl der Verdünnung = $\left(1 + \frac{a}{b}\right)^m$.

Die Luftpumpe ist von Otto v. Guericke, Bürgermeister zu Magdeburg, (1650) erfunden worden.

Für stärkere Verdichtungen wendet man niemals die Luftpumpe, sondern die schon oben (§. 71) beschriebene Compressionspumpe an, indem hierbei die Luftpumpe wegen der feineren Construction ihrer Theile leicht Schaden leidet.

§. 73. Versuche mit der Luftpumpe.

Mit der Luftpumpe lassen sich zur augenfälligen Bestätigung der schon früher angeführten Gesetze folgende lehrreiche Versuche anstellen, deren leichte Erklärung wir der Kürze wegen dem Leser selbst überlassen wollen:

1) Nach einem oder einigen Kolbenzügen haftet der auf dem Teller lose aufgestellte Recipient an demselben, so daß er sich nur mit Gewalt wieder losreißen läßt.

2) Wenn man einen hohlen, beiderseits offenen Cylinder, welcher am oberen Rande mit einer Blase überbunden oder mit einer sorgfältig abgeschliffenen dünnen Glasplatte bedeckt ist, mit dem unteren Rande auf den Teller der Luftpumpe stellt, so wird die Blase oder die dünne Glascheibe nach einigen Kolbenzügen zersprengt.

3) Wenn man in einer hohlen Kugel, welche aus zwei luftdicht auf einander passenden und äußerlich mit Handgriffen versehenen Hälften (Magdeburger Halbkugeln) besteht, die Luft stark verdünnt und dann die Kugel durch einen Hahn absperrt, so setzen ihre Hälften dem Auseinanderreißen einen bedeutenden Widerstand entgegen, während sich dieselben mit Leichtigkeit von einander trennen lassen, nachdem man den Hahn geöffnet hat.

4) Quecksilber kann mittelst des Luftdruckes durch Holz getrieben werden.

5) Eine zugebundene, mit wenig Luft angefüllte 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) Körper von verschiedenem specifischen Gewichte, eine Flaumfeder und ein Ducaten, fallen unter dem Recipienten der Luftpumpe bei starker Verdünnung fast mit gleicher Geschwindigkeit.

Ein Heronsball fängt unter dem Recipienten, so wie die Luft verdünnt wird, an zu springen. Stellt man denselben mit nach unten gerichteter Spitze in ein Glas mit Wasser, so treten bei der Verdünnung zahlreiche Luftblasen durch die Spitze aus, bei dem Wiedereintritt der Luft aber füllt sich der Heronsball mit Wasser. — Bier kommt unter dem Recipienten zum Schäumen (vergl. §. 77). — Ein runzlicher Apfel wird glatt, indem er anschwillt. — Aus einem Ei oder einem Stückchen Holz, welches sich unter Wasser befindet, treten zahlreiche Luftblasen aus u. dgl. m.

Anderer Versuche mit der Luftpumpe, welche erst in den folgenden Abschnitten erklärt werden können, werden später an den betreffenden Stellen angeführt werden. Den folgenden interessanten Versuch können wir uns jedoch nicht enthalten, schon hier vorläufig zu erwähnen: Stellt man ein Gefäß mit lauwarmem Wasser unter den Recipienten der Luftpumpe, so kommt dieses, wenn man die Luft rasch und stark verdünnt, in heftiges Sieden, (ohne daß sich seine Temperatur erhöht).

Im Jahre 1654 stellte Otto v. Guericke auf dem Reichstage zu Regensburg mit der Luftpumpe Versuche an, welche den Kaiser und die versammelten Reichsfürsten in das größte Erstaunen setzten. 24 Pferde vermochten die Magdeburger Halbkugeln, welche ohngefähr eine Elle im Durchmesser hatten, nicht aus einander zu reißen.

Bezeichnen wir den in Zollen ausgedrückten Halbmesser der beiden Halbkugeln mit r , und nehmen wir an, daß die Luft in denselben so stark verdünnt worden ist, daß wir ihre Elasticität als unbedeutend vernachlässigen können, und daß die äußere Luft auf jeden Quadrat Zoll mit einer Kraft von 15 U drückt, so ist die zur Trennung der Halbkugeln erforderliche Kraft $= r^2 \cdot 15 \text{ U}$. — Nehmen wir die Magdeburger Elle zu $21\frac{1}{2}$ Par. Zollen an, so ergibt sich für jede der Guericke'schen Halbkugeln ein Druck

der Luft von ohngefähr 5400 \bar{u} ; rechnen wir nun die größte Kraft eines Pferdes zu 180 \bar{u} , so würden 30 Pferde an jeder Halbkugel, also im Ganzen 60 Pferde, im Stande gewesen sein, die Halbkugeln aus einander zu reißen.

§. 74. *Specificisches Gewicht der Gase.*

Durch die Luftpumpe werden wir auch in den Stand gesetzt, das specificische Gewicht der atmosphärischen Luft und der übrigen Gase zu bestimmen. Zu diesem Zwecke nimmt man einen Vallon 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 Vallons an einer empfindlichen Wage. Hierauf öffnet man den Hahn, läßt die atmosphärische Luft eintreten und bestimmt nun aufs neue das Gewicht des Vallons. Der Unterschied der beiden Gewichte gibt an, wie viel die in dem Vallon enthaltene atmosphärische Luft wiegt*).

Will man das specificische Gewicht einer anderen Gasart, z. B. des Wasserstoffgases, wissen, so läßt man, nachdem man den Vallon möglichst luftleer gemacht hat, nicht atmosphärische Luft, sondern Wasserstoffgas in denselben eintreten, und wendet im übrigen dasselbe Verfahren an. Man erhält auf diese Art zunächst die Gewichte gleicher Volumina atmosphärischer Luft und Wasserstoffgas und durch das Verhältniß derselben das specificische Gewicht des Wasserstoffgases, wenn das der atmosphärischen Luft als Einheit angenommen wird. — Um nun noch die atmosphärische Luft mit Wasser zu vergleichen, hat man nur nöthig, den Vallon mit Wasser zu füllen, sorgfältig abzuwägen und natürlich von dem so erhaltenen Gewichte das des leeren Vallons in Abrechnung zu bringen. Man findet auf diese Art, daß die atmosphärische Luft bei 28 Zoll Barometerstand und Null Grad Temperatur 777**) mal leichter, als Wasser ist, und daß folglich ein par. Kubfuß atmosphärische Luft ohngefähr $2\frac{1}{2}$ Loth wiegt.

Tabelle der specificischen Gewichte einiger Gase, das der atmosphärischen Luft als Einheit angenommen.

| | | | |
|----------------------------|------|---|------|
| Atmosphärische Luft***) | 1,00 | Kohlensaures Gas | 1,52 |
| Sauerstoffgas | 1,10 | Kohlenoxydgas | 0,97 |
| Stickstoffgas | 0,97 | Schweres Kohlenwasserstoffgas | 0,97 |
| Wasserstoffgas | 0,07 | Leichtes Kohlenwasserstoffgas | 0,56 |
| Chlor | 2,47 | Schwefelwasserstoffgas | 1,19 |
| Stickstoffoxydul | 1,53 | Phosphorwasserstoffgas | 0,92 |
| Stickstoffoxyd | 1,04 | Cyan | 1,81 |
| Ammoniakgas | 0,59 | Flußsaures Gas | 2,37 |
| Salzsaures Gas | 1,25 | Schwefeligaures Gas | 2,20 |

§. 75. *Der Luftballon.*

Da die atmosphärische Luft flüssig und schwer ist, so muß nach dem archimedischen Principe jeder in derselben befindliche Körper so viel an seinem Gewichte verlieren, als die durch ihn verdrängte Luftmasse wiegt. Ein

*) Streng genommen findet man das Gewicht der Luft auf diese Art etwas zu klein, da es nicht möglich ist, den Vallon ganz luftleer zu machen. Die hieraus entspringende Correction ist jedoch, wenn man mit einer guten Luftpumpe die Verdünnung möglichst weit getrieben hat, so klein, daß man dieselbe als unbedeutend vernachlässigen kann.

**) Genauer 773.

***) Wir beschränken uns auf zwei Decimalstellen, da kaum über irgend eine Gasart die Angaben verschiedener Physiker in der dritten Decimalstelle noch übereinstimmen.

Körper wird folglich in der Luft in die Höhe steigen, wenn er ein geringeres Gewicht hat, als eine gleich große Luftmasse. Man gelangt dazu, einen solchen herzustellen, wenn man einen hinreichend großen Ballon von möglichst leichtem, aber luftdichtem Zeuge mit einer Gasart füllt, welche ein geringeres specifisches Gewicht hat, als die atmosphärische Luft. Am besten wendet man Wasserstoffgas an, welches im ganz reinen Zustande beinahe 15mal leichter ist, als atmosphärische Luft. Zur Füllung großer Luftballons nimmt man häufig wegen der größeren Wohlfeilheit Steinkohlengas, wie es zur Gasbeleuchtung gebraucht wird, obgleich dasselbe nur wenig mehr als zweimal*) leichter ist, als atmosphärische Luft. — Auch ein mit atmosphärischer Luft gefüllter Ballon kann zum Steigen gebracht werden, wenn man unter dem Ballon, welcher unten mit einer Oeffnung versehen ist, Feuer anbringt, wodurch die in demselben befindliche Luft ausgedehnt und verdünnt wird. — Der praktischen Anwendung der Luftballons steht die bis jetzt noch nicht besiegte Schwierigkeit ihrer Lenkung entgegen.

Den ersten mit erwärmter Luft gefüllten Ballon ließen die Gebrüder Montgolfier im Juni 1783 zu Anonay emporsteigen, und im August desselben Jahres ließ Charles den ersten mit Wasserstoffgas gefüllten Ballon zu Paris aufsteigen. Noch im October dieses Jahres wagte Pilatre de Rozier zuerst mit einer von Montgolfier angefertigten Maschine sich in die Luft zu erheben. Bei einer späteren Lustreise, welche derselbe mit Germain unternahm, entzündete sich die Maschine in einer Höhe von ohngefähr 1200 Fuß. Die Luftschiffer stürzten herab und wurden so beschädigt, daß kaum noch die menschliche Gestalt an ihnen zu erkennen war. — Blanchard führte im Januar 1785 die erste Lustreise von Frankreich über den Canal nach England aus. — Von den unzähligen seit dieser Zeit angestellten Luftfahrten verdienen noch diejenigen, welche Biot und Gay-Lüssac und wenige Wochen nachher Gay-Lüssac allein im Jahre 1804 unternahmen, wegen der damit verbundenen wissenschaftlichen Beobachtungen eine Erwähnung. — Gay-Lüssac erreichte eine Höhe von 3600 Toisen, eine der größten Höhen, bis zu welcher sich überhaupt Menschen erhoben haben; sie übertrifft selbst noch die Höhe des Chimborasso (um 333 Toisen). Das Thermometer zeigte in dieser Höhe 10° C. unter Null, während unten auf der Erde eine Hitze von 30° statthatte. Gay-Lüssac legte bei dieser Reise einen Weg von 15 Meilen zurück. — In neuerer Zeit hat besonders der Engländer Green zahlreiche Lustreisen unternommen. Im November 1836 stieg derselbe mit zwei Gefährten in einem mit Kohlen-gas gefüllten Ballon in London auf und ließ sich nach einer Lustreise von 19 Stunden bei Weilburg nieder.

Um die Kraft, mit welcher ein Luftballon emporsteigt, oder die Last, welche derselbe zu tragen vermag, um sich eben in der Luft schwebend zu erhalten, zu finden, hat man zuerst das Gewicht einer dem Ballon gleichen Luftmasse (1 Par. Kubikfuß = 2,6 Lot) zu berechnen und hiervon das Gewicht einer gleich großen Masse des den Ballon füllenden Gases, ferner das Gewicht der Hülle, zu welcher man gewöhnlich einen mit Firniß getränkten Taffet nimmt, (von welchem ein Quadratfuß ohngefähr 1½ Loth wiegt), in Abrechnung zu bringen. Nimmt man an, daß das (nicht chemisch reine) Wasserstoffgas 7mal leichter als atmosphärische Luft ist, so erhält man

| | | |
|-------------------------|--|----------|
| für einen Ballon von | 5 Par. Fuß Durchmesser eine Steigkraft von | 1 A |
| " " " " 10 " " " " " " | " " " " " " " " | 23 " |
| " " " " 20 " " " " " " | " " " " " " " " | 232 " |
| " " " " 50 " " " " " " | " " " " " " " " | 4240 " |
| " " " " 100 " " " " " " | " " " " " " " " | 35300 " |
| " " " " 200 " " " " " " | " " " " " " " " | 288000 " |

Ist überhaupt der in Fußcn ausgedrückte Halbmesser eines Ballons r , das Gewicht eines Kubikfußes atmosphärischer Luft a , das Gewicht eines Kubikfußes Wasserstoffgas b , das Gewicht eines Quadratfußes der Hülle c , so ist die Steigkraft des Ballons gleich

$$\frac{4}{3}r^3\pi (a - b) - 4r^2\pi \cdot c.$$

*) Die Dichtigkeit des Steinkohlengases ist im Mittel in England = 0,476.

Da der Raumesinhalt eines Ballons in gleichem Verhältnisse mit der dritten Potenz, seine Oberfläche aber nur wie die zweite Potenz seines Durchmessers zunimmt, so begreift man leicht, warum die Steigkraft eines Ballons mit dem Durchmesser wächst. Wenn man z. B. den Durchmesser verdoppelt, so wird der körperliche Inhalt des Ballons, also auch das Gewicht der verdrängten Luftmasse 8mal vergrößert, während die Oberfläche, also auch das Gewicht der Hülle nur 4mal größer wird.

Da die Luft in den oberen Regionen eine geringere Dichtigkeit hat, so muß natürlich die Steigkraft des Ballons, je mehr er in die Höhe kommt, abnehmen und endlich der Ballon ganz aufhören zu steigen.

Da ferner die Hülle niemals ganz luftdicht schließt, so sinkt der Ballon nach längerer oder kürzerer Zeit wieder zu Boden.

Steigt der Ballon rasch in die Höhe, so wird das den Ballon füllende Gas, welches mit den unteren Luftschichten eine gleiche Elasticität besitzt, die oberen dünneren Luftschichten an Elasticität übertreffen und den Ballon zu zerreißen streben. Zur Vermeidung dieser Gefahr öffnet man eine am Ballon angebrachte Klappe und läßt etwas Gas ausströmen, wonach natürlich der Ballon wieder etwas fällt. Außerdem pflegen die Luftschiffer in der an den Ballon angehängten Gondel Ballast mitzunehmen, durch dessen Auswerfen der Ballon erleichtert und zum weiteren Emporsteigen gebracht werden kann. Da hiernach der Luftschiffer es einigermaßen in seiner Gewalt hat, eine größere oder geringere Höhe zu erreichen, und die Luftströmungen in verschiedenen Höhen oft ganz verschiedene Richtungen haben, so kann dieser Umstand dem Luftschiffer für die horizontale Fortbewegung des Ballons in einer gewünschten Richtung sehr günstig werden, wenn es ihm gelingt, einen Luftstrom, welcher diese Richtung hat, anzutreffen und sich längere Zeit in derselben Höhe zu erhalten, was jedoch große Schwierigkeit hat, da die zu den Ballons bis jetzt verwendeten Stoffe nicht völlig luftdicht sind.

* §. 76. Mengung zweier Gase.

Die atmosphärische Luft ist kein einfaches Gas, sondern ihren Hauptbestandtheilen nach ein Gemenge von zwei Gasen, Sauerstoff und Stickstoff. In 100 Theilen atmosphärischer Luft sind dem Volumen nach 21 Theile Sauerstoff und 79 Theile Stickstoff enthalten. Dieses Verhältniß ist für alle Schichten der Atmosphäre das nämliche; es bleibt dasselbe auf hohen Bergen, wie in der Ebene und in tiefen Thälern, obgleich das specifische Gewicht des Sauerstoffs das des Stickstoffs ohngefähr um $\frac{1}{8}$ übertrifft.

Wenn man überhaupt in einen Raum oder in zwei mit einander verbundene Räume zwei Gase bringt, so ordnen sich dieselben nicht nach Maßgabe ihres specifischen Gewichtes über einander, sondern vermischen sich überall gleichförmig. So ist z. B. das kohlenfaure Gas anderthalbmal so schwer als atmosphärische Luft; wenn man aber eine mit kohlenfaurem Gase gefüllte aufrechtstehende Flasche öffnet, so mischt sich dieses Gas trotz seines größeren Gewichtes mit der leichteren atmosphärischen Luft, und nach einiger Zeit wird man in der Flasche kaum noch eine Spur von kohlenfaurem Gase entdecken, (nämlich nicht mehr, als in der atmosphärischen Luft überhaupt, welche jederzeit einen geringen Antheil von Kohlenensäure enthält).

* §. 77. Absorption der Gase.

Luftförmige Körper werden von flüssigen und porösen festen Körpern absorbirt, wobei sich der absorbirende Körper erwärmt und zwar um so mehr, je größer die Menge des absorbirten Gases ist. — Die Menge, welche eine Flüssigkeit von einem Gase verschluckt, hängt eben so wohl von der Natur der Flüssigkeit, als von der Natur des Gases ab. So absorbirt z. B. ein Maß reines Wasser (bei 15°) über 700 Maß Ammoniakgas, aber nur 1 Maß Kohlenäuregas, $\frac{1}{33}$ Maß Sauerstoffgas und $\frac{1}{65}$ Maß Stickstoffgas. In einem Maße Wasser, welches hinreichend lange an der

Luft gestanden hat, ist daher $\frac{1}{33}$ so viel absorbirter Sauerstoff und nur $\frac{1}{66}$ so viel Stickstoff als in einem Maße atmosphärischer Luft enthalten. Dieser verhältnismäßig größere Gehalt an Sauerstoff als an Stickstoff der vom Wasser absorbirten Luft dürfte nicht ohne Nutzen für das Athmen der im Wasser lebenden Thiere sein.

Im allgemeinen gilt von der Absorption der Gase durch Flüssigkeiten folgendes Gesetz: — Eine Flüssigkeit absorbirt von einem Gase bei jedem Drucke das nämliche Volumen, wenn die Temperatur jedesmal dieselbe ist; sie absorbirt dagegen ein um so geringeres Volumen, je höher die Temperatur ist.

So absorbirt z. B. ein Maß Wasser bei 0° beinahe 2 Maß (genauer $1\frac{4}{5}$ Maß), bei 15° aber nur 1 Maß Kohlensäure.

Da nach dem Mariotte'schen Gesetze (S. 66) die Dichtigkeit eines Gases in gleichem Verhältnisse mit dem ausgeübten Drucke wächst, so muß auch in gleichem Verhältnisse die Gewichtsmenge des absorbirten Gases zunehmen. Umgekehrt muß von einem unter starkem Drucke absorbirten Gas ein Theil entweichen, wenn dieser Druck vermindert wird, wie man dieses z. B. am Champagner, Weißbiere, Selterser und anderen Kohlensäure enthaltenen Mineralwässern zu beobachten Gelegenheit hat. — In den beiden ersteren Flüssigkeiten entwickelt sich durch den Gährungsproceß Kohlensäure, welche, wenn die Flaschen gut verkorkt sind, größtentheils von der Flüssigkeit absorbirt wird, bis auf einen Theil, welcher nebst etwas atmosphärischer Luft den Theil der Flasche ausfüllt, welchen die Flüssigkeit leer gelassen hat. Je größer nun die Menge des überhaupt in der Flasche enthaltenen Gases ist, um so größer ist der Druck, welchen die Wände der Flasche und der Kork erleiden. Wird durch Oeffnung des Korkes dieser Druck vermindert, so entweicht das Gas mit Heftigkeit. — Aehnliches geschieht, wenn die Flüssigkeit sich in einem offenen Gefäße befindet, bei der Erwärmung, da, wie schon angegeben, mit der Erhöhung der Temperatur sich das Absorptionsvermögen einer Flüssigkeit verringert. Bier, in einem Glase auf den Ofen gestellt, fängt wieder an zu schäumen; eben so steigen aus dem Trinkwasser Luftblasen empor, wenn man dasselbe erwärmt. — Am vollständigsten, wenn auch nicht gänzlich, wird eine Flüssigkeit durch Sieden von den in ihr enthaltenen Gasen befreit. Aehnliches findet beim Frieren statt.

Bringt man in eine Flüssigkeit in derselben lösliche, feste Körper, so vermindert sich in der Regel das Absorptionsvermögen derselben, und ein Theil des verschluckten Gases entweicht; so kommt Bier ins Schäumen, wenn man in demselben Zucker auflöst. Auch durch Umrühren, Schütteln u. s. w. wird die Gasentwicklung beschleunigt.

Von den festen porösen Körpern heben wir besonders die Kohle hervor, welche die Eigenschaft, Gase zu absorbiren, in ausgezeichnetem Grade besitzt, wobei sich allemal Wärme entwickelt, welche bei frisch bereiteter und in großen Massen aufgehäufter, fein pulverisirter Holzkohle sich bis zur Entzündung steigern kann.

Aber nicht bloß poröse Körper, sondern auch die alle andern Körper an Dichtigkeit übertreffenden Metalle besitzen die Eigenschaft, Gase, mit denen sie in Berührung stehen, zu absorbiren und durch sich hindurch gehen zu lassen, und zwar in um so größerer Menge je höher ihre Temperatur ist. So absorbirt

3. B. Eisen, besonders wenn es bis zum Glühen erhitzt ist, Kohlenoxydgas in beträchtlicher Menge und läßt es durch sich hindurch gehen. Da nun dieses äußerst giftige Gas sich jederzeit beim Verbrennen von Holz, Torf, Kohlen u. dgl. in unsern Defen entwickelt, so erklärt sich hieraus das Uebelbefinden, welches man in Zimmern empfindet, die durch stark erhitzte gußeiserne Defen erwärmt werden.

Die Untersuchungen über die Absorption der Gase durch Metalle sind zuerst (1863) von Deville in Frankreich und später von Graham in England und andern fortgesetzt worden. Diese Untersuchungen haben ergeben, daß die verschiedenen Gase von verschiedenen Metallen in sehr ungleichen Verhältnissen absorbiert werden. Eisen absorbiert, wie schon oben erwähnt, Kohlenoxydgas in beträchtlicher Menge; besonders läßt das stets poröse Gußeisen dieses, sowie auch andere Gase, reichlich durch sich hindurchgehen; Sauerstoffgas wird besonders reichlich von rothglühendem Silber, Wasserstoffgas von Palladium, einem in der Natur spärlich vorkommenden, dem Silber ähnlichen Metalle, absorbiert. Sehr dünne Palladiumblättchen, welche Graham in Wasserstoffgas eine Stunde lang bis 100° erwärmte, absorbierten das 982fache ihres Volumens Gas. Aber auch das durch seine große Dichtigkeit ausgezeichnete Platin vermag Wasserstoffgas zu absorbieren. Eine Platinplatte als negative Electrode bei der Wasserzerlegung angewandt, absorbierte etwas mehr als das doppelte ihres Volumens Wasserstoffgas. Eine Palladiumplatte absorbierte unter gleichen Bedingungen das 200fache ihres Volumens. Das auf diese Art von Platin oder Palladium absorbierte Gas wird von den Metallen bei niederen Temperaturen festgehalten und erst bei beträchtlicher Erwärmung, (oder wenn man dieselbe als positive Electrode anwendet), wieder frei.

In nahem Zusammenhange mit der Absorption der Gase durch Metalle dürften die folgenden Erscheinungen stehen, welchen man auch den Namen: chemische Erscheinungen durch Contact, beigelegt hat. Wenn man ein ganz reines Platinblech in ein Gemisch von Sauerstoff- und Wasserstoffgas eintaucht, so tritt eine langsame Vereinigung beider Gase zu Wasser ein. Die hierbei entbundene Wärme steigert sich allmählich so weit, daß das Platin glühend wird, worauf eine rasche Verbindung beider Gase erfolgt. Am wirksamsten zeigt sich das Platin hierbei, wenn es als ein feines Pulver in Form kleiner Schwämmchen in das Gasgemenge gebracht wird, theils wegen der mit der vergrößerten Oberfläche vermehrten Anziehung, theils weil es in dem fein vertheilten Zustande sich leichter erwärmt; man wendet diese Schwämmchen unter andern in den früher mehr gebräuchlichen Platinfeuerzeugen an. — Auf gleiche Weise wird durch das fein zertheilte Platin die Oxydation von Alkoholdämpfen zu Essigsäure, von schwefeliger Säure zu Schwefelsäure u. dgl. m. herbeigeführt. — Ein ähnliches Verhalten, wie Platin, zeigen auch andere Metalle, Palladium, Gold, Osmium, Iridium u. a. m. Selbst nichtmetallische Körper, wie Bimstein, zerstoßenes Glas u. a. m. vermögen, wenn sie bis über die Temperatur des siedenden Quecksilbers erwärmt werden, die nämlichen Wirkungen hervorzubringen.

Wenn feste oder flüssige Körper mit Dämpfen in Berührung sind, so kann die Verdichtung, welche die Dämpfe durch die Adhäsionsanziehung an der Oberfläche des festen oder flüssigen Körpers (oder durch Absorption) erleiden, die Condensation der Dämpfe zu tropfbarer Flüssigkeit herbeiführen. So schlagen sich die Wasserdämpfe an den Wänden fester Körper zu Wasser nieder, womit zugleich, wie Magnus in Berlin (1864) gezeigt hat, eine Erhöhung der Temperatur verbunden ist. Thoniger Boden saugt aus der Luft Wasserdämpfe ein, condensirt dieselben und ist feucht, auch ohne daß es geregnet hat.

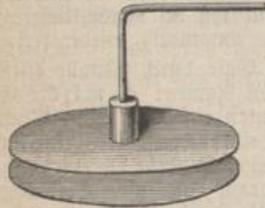
Da alle Flüssigkeiten bei der gewöhnlichen Lufttemperatur, ja selbst feste Körper verdunsten, so müssen der Atmosphäre beständig geringe Mengen der mannigfaltigsten Dämpfe beigemischt sein, welche sich in flüssiger oder fester Form an den Oberflächen fester Körper wieder ablagern; es müssen sich auf diese Art alle in der Luft befindlichen Körper mit der Zeit an ihrer Oberfläche theils mit condensirten Dämpfen, theils mit den in der Luft schwebenden Staubtheilchen bekleiden. Sind sich die Oberflächen zweier Körper sehr genähert, so werden sich diese Ablagerungen zwischen beiden vertheilen, aber für verschiedene Stellen ungleich, wenn die Oberflächen nicht glatt, sondern mit Erhabenheiten und Vertiefungen versehen sind und also an verschiedenen Stellen ungleiche Abstände von einander haben. Eben so wird der auf der einen Fläche vorhandene Schmutz sich ungleich auf die andere übertragen. Hierdurch kann

es geschehen, daß, wenn die eine Fläche glatt und polirt ist und beide Flächen sich längere Zeit einander gegenüber befinden, auf der glatten Fläche ein den Erhabenheiten und Vertiefungen der andern entsprechendes Bild hervorgerufen wird. Es erklärt sich hieraus die Erscheinung, daß man nicht selten in Uhren den auf dem Deckel des Uhrwerks eingravirten Namen des Verfertigers an der Innenseite des Gehäuses abgebildet findet, ferner daß auf einer Glascheibe, welche lange Zeit vor einem Kupferstiche befestigt gewesen ist, sich ein mattes Bild desselben erzeugt u. dgl. m. Man kann ähnliche Bilder leicht hervorrufen, wenn man den Stempel eines Petschaftes auf einer polirten Metallplatte oder ganz reinen Glasplatte längere Zeit stehen läßt und nachher die Platte anhaucht. Das auf diese Art erhaltene Bild ist eine Folge davon, daß die Wasserdämpfe sich an solchen Stellen der Oberfläche, welche eine, wenn auch sehr geringe und an sich für das Auge nicht wahrnehmbare Verschiedenheit besitzen, ungleich ablagern. — Da Moser in Königsberg zahlreiche Versuche über diese Bilder angestellt hat, so gibt man ihnen auch den Namen Moser'sche Bilder.

Wir haben die Pneumatik, die Lehre von den Gesetzen der Bewegung luftförmiger Körper, ganz übergangen, weil eine den wirklich stattfindenden Erscheinungen entsprechende Theorie mit zu großen Schwierigkeiten verbunden ist.

Die folgende zuerst von *Clement* und *Desormes* beschriebene Erscheinung wollen wir noch anreihen. Wenn ein rasch bewegter Luftstrom, welcher aus einer engen Oeffnung austritt, sich plötzlich in einen größeren Raum ausbreitet, so kann es geschehen, daß die

(Fig. 110.)



Dichtigkeit der Luft in diesem Raume beträchtlich unter die der äußeren Luft herabgeht und daher die diesen Raum umschließenden Wände einen stärkeren Druck von der äußeren als von der umschlossenen Luft erleiden. Läßt man z. B. das eine Ende einer Röhre durch einen Kork gehen, an welchem man eine kreisförmige Scheibe von dünnem Pappdeckel befestigt hat, und hält unter diese Scheibe eine eben solche Scheibe in einem kleinen Abstände (Fig. 110), während man durch die Röhre bläst, so wird die untere Scheibe durch den stärkeren äußeren Luftdruck nach der oberen hingetrieben und getragen; sie fällt aber ab, wenn man mit Blasen aufhört.

§. 78. Geschichtliche Uebersicht.

- 210 v. Chr. Heron von Alexandrien erfindet den Windkessel und kennt die Erscheinungen des Hebers.
 1644 n. Chr. Torricelli erfindet das Barometer.
 1650. Otto v. Guericke erfindet die Luftpumpe.
 1660. Boyle in England entdeckt und 1676 Mariotte in Frankreich bestätigt das nach letzterem benannte Gesetz.
 1783. Montgolfier und Charles lassen die ersten Luftballons aufsteigen.
 1823. Faraday in England stellt verschiedene Gase flüssig dar.
 1863. Deville in Frankreich lehrt die Absorption der Gase durch Metalle kennen.