



Lehrbuch der Experimentalphysik

Lommel, Eugen von

Leipzig, 1908

IV. Gase (Aerostatik).

[urn:nbn:de:hbz:466:1-83789](https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hbz:466:1-83789)

IV. Gase.

(Aerostatik.)

79. **Expansivkraft.** Die luftförmigen Körper oder Gase haben mit den flüssigen die leichte Verschiebbarkeit und große Beweglichkeit der Teilchen gemein, sie unterscheiden sich aber sehr wesentlich von ihnen durch die leichte Zusammendrückbarkeit, welche gestattet, eine eingeschlossene Luftmenge durch einen Druck von außen auf die Hälfte, ein Drittel, ein Zehntel usw. ihres ursprünglichen Rauminkaltes einzuengen, und andererseits durch das Bestreben, sich auszudehnen und jeden auch noch so großen ihnen dargebotenen Raum auszufüllen. Die Gase müssen daher, um nicht zu entweichen, in rings geschlossene Gefäße eingesperrt werden. Vermöge dieses Ausdehnungsbestrebens, welches man auch **Expansivkraft**, **Spannkraft** oder **Tension** nennt, übt das eingeschlossene Gas auf die Gefäßwände einen Druck aus, welcher überall senkrecht gegen die Gefäßwand gerichtet und dem Flächeninhalt des gedrückten Flächenstückchens proportional ist; auch im Innern der Gasmasse wirkt dieser Druck nach allen Seiten mit gleicher Stärke, so daß ein in das Gas hineingebrachtes ebenes Flächenstückchen, welche Lage man ihm auch geben mag, von beiden Seiten her den gleichen zu seiner Oberfläche senkrechten Druck erfährt. Man kann die **Expansivkraft** der Luft leicht nachweisen mittels einer fest zugebundenen Blase, welche nur wenig Luft enthält und daher schlaff und runzelig erscheint. Die **Expansivkraft** der eingeschlossenen Luft kann sich zunächst nicht äußern, weil die umgebende Luft mit gleicher Kraft von außen her auf die Blase drückt. Bringt man aber die Blase unter eine Glasglocke, aus welcher man die Luft mittels einer Luftpumpe entfernt, so wird die Blase durch das Ausdehnungsbestreben der in ihr enthaltenen Luft aufgebläht, bis sie straff gespannt ist. Läßt man dann die äußere Luft wieder in die Glasglocke eintreten, so schrumpft die Blase auf ihren ursprünglichen Rauminkhalt zusammen.

80. **Gewicht der Luft. Luftdruck.** Vermöge der **Expansivkraft** würde sich die Luft, welche den Erdball als Lufthülle oder **Atmosphäre** rings umgibt, in den Weltenraum zerstreuen, wenn sie nicht durch die Anziehungskraft der Erde oder durch die Schwerkraft daran

gehindert würde. Um zu zeigen, daß die Luft schwer ist, macht man einen Glasballon, dessen Hals mit einem luftdicht schließenden Hahn versehen ist, mittels der Luftpumpe möglichst luftleer, hängt ihn an den einen Arm einer Wage und bringt ihn durch Auflegen von Gewichten auf der anderen Seite ins Gleichgewicht. Läßt man nun, indem man den Hahn öffnet, die Luft wieder einströmen, so neigt sich die Wage nach der Seite des Ballons, und man muß, wenn der Ballon 1 Liter Inhalt hat, etwas mehr als 1 g auf die andere Wagschale legen, um das Gleichgewicht wieder herzustellen; die Luft ist hiernach nicht ganz 1000 mal (genau 773 mal) leichter als Wasser. Der Boden eines mit Luft oder einem anderen Gas gefüllten Gefäßes wird sonach außer dem Druck, welcher von dem Ausdehnungsbestreben herrührt, noch einen durch die Schwerkraft verursachten Druck auszuhalten haben, welcher gleich dem Gewicht der lotrecht darüberstehenden Gassäule ist, und wenn man in einem Gas von einem tiefer gelegenen Punkte zu einem höher gelegenen sich erhebt, so wird wie in einer Flüssigkeit der Druck abnehmen und zwar um das Gewicht der Gassäule, welche man unter sich zurückgelassen hat. Die vom Gewicht der Gase bedingten Druckunterschiede mit der Höhe sind freilich im Vergleich zu dem von der Expansivkraft herrührenden Drucke so gering, daß sie bei kleinen Gasmengen gar nicht in Betracht kommen; bei sehr hohen Gefäßen aber und namentlich in unserer Atmosphäre spielen sie eine wichtige Rolle. Da die Luft zusammendrückbar ist, so wird jede Schicht der Atmosphäre durch das Gewicht der darüberliegenden Schichten zusammengepreßt und verdichtet; die Dichte der atmosphärischen Luft nimmt daher wie ihr Druck von unten nach oben fortwährend ab. An der Erdoberfläche selbst, auf dem Grunde des Luftmeeres, welches den Erdball rings umflutet, ist dieser Druck ein sehr beträchtlicher.

81. **Barometer.** Um die Größe des Luftdrucks zu bestimmen, fülle man eine etwa 80—90 cm lange, an einem Ende zugeschmolzene gerade Glasröhre ganz mit Quecksilber, welches man in kleinen Portionen eingießt und portionsweise auskocht, um die an der Glaswand haftende Luft auszutreiben, bringe das offene, mit dem Finger zugehaltene Ende unter Quecksilber, welches sich in einer Schale befindet, entferne den verschließenden Finger und stelle die Röhre lotrecht (Fig. 81, A). Das Quecksilber fließt dann nur teilweise aus, und eine Quecksilbersäule, deren Gipfel 76 cm hoch über dem Spiegel des Quecksilbers im Gefäß liegt, bleibt in der Röhre stehen. Der Raum über dem Quecksilber in der Röhre ist, wenn dieselbe durch Sieden des Quecksilbers von anhaftender Luft befreit war, vollkommen luftleer; denn neigt man die Röhre, so bleibt der Gipfel der Quecksilbersäule stets in der gleichen Höhe über dem Quecksilber des Gefäßes, das Quecksilber füllt jenen Raum immer mehr aus (Fig. 81, B), und füllt ihn endlich ganz aus, ohne daß das kleinste Luftbläschen zurückbleibt, wenn man die Röhre so weit

geneigt hat, daß ihr zugeschmolzenes Ende sich weniger als 76 cm über dem Quecksilberniveau des Gefäßes befindet (Fig. 81, *C*). Nach Torricelli, welcher 1644 diesen Versuch zuerst angestellt hat, nennt man den leeren Raum im obersten Teil der Röhre die Torricellische Leere. Warum fließt aber die Quecksilbersäule nicht aus, obgleich ihr unteres Ende mit dem Quecksilber des Gefäßes in freier Verbindung steht? Offenbar deswegen nicht, weil sie von dem auf die Oberfläche des Quecksilbers wirkenden Luftdruck getragen wird, der sich durch diese Flüssigkeit nach allen Richtungen

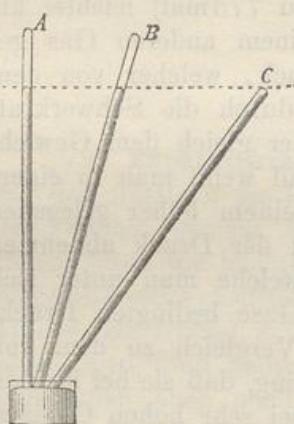


Fig. 81.
Torricellis Versuch.

fortpflanzt und an der unteren Mündung der Röhre nach oben wirkt. Es ergibt sich also, daß eine Quecksilbersäule von 76 cm oder 760 mm Höhe dem Luftdruck das Gleichgewicht hält und sonach als Maß für denselben dienen kann. Es läßt sich nun auch leicht angeben, wie groß der Luftdruck, in Gewichtseinheiten ausgedrückt, für jede Flächeneinheit ist. Wenn nämlich der Querschnitt der Röhre 1 qcm beträgt, so enthält die 76 cm hohe Quecksilbersäule 76 ccm; sie hat also, da jedes Kubikzentimeter Quecksilber 13,6 g wiegt, ein Gewicht von $76 \times 13,6 = 1033$ g oder etwas mehr als 1 kg; mit diesem Gewicht ist die Quecksilbersäule bestrebt, herabzusinken; der Luftdruck muß ihr, um sie in der Röhre schwebend zu erhalten, mit der gleichen Kraft entgegendrücken.

Die Luft übt demnach auf jedes Quadratzentimeter Fläche einen Druck von etwa 1 kg aus, oder eine Luftsäule von 1 qcm Grundfläche, welche von der Erdoberfläche bis zum Ende der Atmosphäre lotrecht emporreicht, wiegt 1 kg, d. i. soviel wie eine 10 m hohe Wassersäule. Ein Blatt Briefpapier, welches 20 cm lang und 15 cm breit ist, folglich 300 qcm Flächeninhalt besitzt, hat demnach von seiten der Luft einen Druck von 300 kg auszuhalten; da aber dieser Druck gerade so stark auf die untere Seite des Blattes nach aufwärts wie auf die obere Seite nach abwärts wirkt, so können wir dasselbe ebenso ungehindert hin und her bewegen, als wenn gar kein Druck der Atmosphäre auf ihm lastete. Der menschliche Körper ist, wenn wir seine Oberfläche gleich einem Quadratmeter annehmen, dem ungeheuren Luftdruck von 10 000 kg ausgesetzt; wir empfinden aber diesen Druck nicht, weil er von allen Seiten, von oben und von unten, von vorn und von hinten, von außen und von innen auf gleiche Flächenteile mit gleicher Stärke wirkt. Dagegen tritt die Gewalt des Luftdrucks sofort in die Erscheinung, wenn man ihn nur einseitig wirken läßt. Setzt man z. B. einen Bleiring, über welchen eine straff gespannte Schweinsblase gebunden ist, mit seinem eben abgeschliffenen Rand auf den Teller der Luftpumpe und pumpt die Luft unter der Blase fort, so wird diese durch den nur noch von

obenher wirkende Luftdruck nach einwärts gedrückt und zerplatzt nach wenigen Pumpenzygen mit heftigem Knall. Quecksilber, in ein Holznäpfchen gegossen, das auf eine Glasglocke gekittet ist, wird durch den Luftdruck in feinen Tröpfchen durch die Poren des Holzes gepreßt, wenn man die Luft aus der Glocke entfernt (Quecksilberregen). Berühmt geworden ist der Versuch, welchen der Erfinder der Luftpumpe, Otto v. Guericke, Bürgermeister in Magdeburg, 1654 im Beisein des Kaisers Ferdinand III. auf dem Reichstage von Regensburg zum Nachweise des Luftdrucks anstellte. Zwei hohle metallene Halbkugeln von $\frac{2}{3}$ Ellen innerer Weite, welche luftdicht aneinander paßten (die Magdeburger Halbkugeln), wurden möglichst luftleer gepumpt. Sie hielten alsdann infolge des Luftdrucks so fest zusammen, daß 16 kräftige Pferde kaum imstande waren, sie auseinander zu reißen.

Man pflegt jedoch den Druck der Luft (oder luftförmiger Körper überhaupt) gewöhnlich nicht in Kilogrammen, sondern bequemer bloß durch die Höhe der Quecksilbersäule anzugeben, welche diesem Druck das Gleichgewicht hält. Man bringt daher neben der Röhre einen lotrechten, in Millimeter geteilten, verschiebbaren Maßstab an, dessen in einer Spitze liegender Nullpunkt auf den Spiegel des Quecksilbers im Gefäß eingestellt wird; die Teilung braucht bloß oben in der Nähe des Gipfels der Quecksilbersäule wirklich ausgeführt zu sein. Eine solche Vorrichtung nennt man ein Barometer (Luftdruckmesser), und zwar, weil sich die untere Quecksilberfläche in einem weiten Gefäß befindet, ein Gefäßbarometer. Wenn das Quecksilber in der Barometerröhre sinkt, so muß es, weil ja Quecksilber aus der Röhre austritt, in dem Gefäß steigen, und hier wieder sinken, wenn es dort steigt. Diese Schwankungen der Quecksilberoberfläche sind um so unbedeutender, je breiter das Gefäß ist im Vergleich zu dem Durchmesser der Röhre, und können, wenn das Gefäß sehr weit ist, außer acht gelassen werden. Bei dem gewöhnlichen in jedem Haus eingebürgerten Barometer bestehen Röhre und Gefäß nur aus einem Stück, indem an die unten umgebogene Glasröhre ein birnförmiges Gefäß angeschmolzen ist (Phioleinbarometer); da der Durchmesser desselben nicht hinlänglich groß ist, so erreichen die Schwankungen des Quecksilberspiegels im Gefäß eine merkliche Größe, so daß an der feststehenden Skala eine genaue Messung des Barometerstandes, wozu diese Instrumente übrigens auch nicht bestimmt sind, nicht möglich ist. Beim Heberbarometer (Fig. 82) sind beide Schenkel der unten heberartig umgebogenen Glasröhre gleichweit, so daß die untere Quecksilberkuppe um ebensoviel steigt, wie die obere sinkt, und umgekehrt. Um den Barometerstand zu finden, stellt man

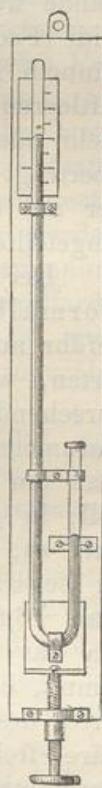


Fig. 82.
Heber-
barometer.

durch Verschiebung der Röhre mittels einer Schraube die untere Kuppe auf den Nullpunkt der Skala ein, oder man liest bei feststehender Skala den Stand beider Kuppen ab.

Das Quecksilberbarometer bietet einerseits wegen seiner Füllung mit der schweren Flüssigkeit, andererseits wegen seiner beträchtlichen Länge manche Unbequemlichkeiten dar, namentlich wenn das Instrument auf Reisen mitgenommen werden soll. Bei den Metallbarometern, in welchen dem Luftdruck durch die Elastizität eines festen Körpers das Gleichgewicht gehalten wird, fallen diese Übelstände weg. Bei dem Aneroid- oder Holosterikbarometer von Vidi (Feder- oder Dosenbarometer) wirkt der Luftdruck auf die aus dünnem Metallblech verfertigte, wellig gebogene vordere Wand einer luftleeren Metalldose und biegt sie nach Maßgabe seiner Stärke mehr oder weniger stark nach innen. Die Größe dieser Eindrückung überträgt sich durch eine Fühlhebelvorrichtung auf einen Zeiger, der auf einem durch Vergleichung mit einem Quecksilberbarometer eingeteilten Zifferblatt die Stärke des Luftdrucks angibt.

Der oben angegebene Barometerstand von 760 mm (der Normalbarometerstand) entspricht einem Luftdruck, wie er ungefähr an der Oberfläche des Meeres herrscht. An höher gelegenen Orten, wo der Luftdruck geringer ist, steht das Barometer entsprechend niedriger; in Potosi z. B., 4300 m ü. M., beträgt der Barometerstand nur noch 471 mm. Vom Meeresspiegel aus muß man um 10,5 m steigen, wenn die Quecksilbersäule um 1 mm sinken soll; in größeren Höhen, wo die Dichte der Luft geringer ist, bedarf es, um eine gleichgroße Verminderung des Barometerstandes zu bewirken, einer größeren Erhebung; von Potosi aus z. B. muß man 16,8 m emporsteigen, damit das Barometer um 1 mm falle. Da das Gesetz, nach welchem der Luftdruck nach oben hin abnimmt, bekannt ist (s. u.), so kann man aus dem Barometerstand eines Ortes dessen Höhe über dem Spiegel des Meeres berechnen. Dabei wäre freilich vorausgesetzt, daß an jedem Orte ein bestimmter Barometerstand beständig herrsche. Dem ist aber nicht so. Es ändert sich vielmehr der Luftdruck an ein und demselben Orte ununterbrochen. Wenn man daher von dem Barometerstand eines Ortes spricht und daraus etwa dessen Höhe über der Meeresoberfläche bestimmen will, so ist damit der mittlere Barometerstand des Ortes gemeint, wie er sich als Mittelwert aus zahlreichen länger fortgesetzten Beobachtungen ergibt.

Die ebenerwähnten ziemlich beträchtlichen Schwankungen des Barometers röhren von Störungen im Gleichgewicht der Atmosphäre her, welche den Änderungen des Wetters vorausgehen oder sie begleiten. Diesem Zusammenhang zwischen Witterung und Luftdruck verdankt das Barometer seinen Ruf als Wetterprophet und seine Einbürgerung unter die Hausgeräte.

Da sich der Luftdruck nach allen Seiten mit der gleichen Stärke fortpflanzt, so herrscht in unseren Zimmern, welche ja niemals, auch

wenn man Fenster und Türen schließt, luftdicht abgesperrt sind, immer der nämliche Luftdruck wie draußen. Man braucht daher das Barometer nicht etwa im Freien aufzuhängen, sondern man wird es im Zimmer an geschützter Stelle unterbringen. Wo man aber auch das Barometer beobachten mag, muß man darauf Rücksicht nehmen, daß das Quecksilber durch die Wärme ausgedehnt und dadurch spezifisch leichter wird; die Folge davon ist, daß bei gleichem Luftdruck, aber ungleicher Temperatur die Höhen der Quecksilbersäule verschieden ausfallen. Man ist daher übereingekommen, als Maß des Luftdrucks stets die Höhe einer Quecksilbersäule von 0° anzugeben. Da man die Ausdehnung des Quecksilbers kennt (sie beträgt 0,000 181 für 1° C.), so läßt sich die kleine Verbesserung, welche man an dem beobachteten Barometerstand, um ihn „auf 0° zu reduzieren“, anbringen muß, leicht ermitteln, wenn man nur gleichzeitig mit dem Barometerstand auch die Temperatur des Barometers an einem zu diesem Zweck beigefügten Thermometer abliest. Auch die Ausdehnung der Skala muß berücksichtigt werden. Die Quecksilbersäule wird ferner durch die Oberflächenspannung ihrer gewölbten Kuppe etwas herabgedrückt; diese Kapillardepression, die um so geringer ausfällt, je weiter die Röhre ist, muß (bei Gefäßbarometern) dem abgelesenen Barometerstand hinzugezählt werden.

82. **Mariottesches (Boylesches) Gesetz.** Boyle (1662) und Mariotte (1679) haben zuerst den gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen dem Druck und dem Volumen einer gegebenen Gasmenge aufgefunden. Zwei Glasröhren (Fig. 83), deren eine oben durch einen Glashahn verschließbar, die andere beiderseits offen ist, sind unten durch einen Kautschukschlauch verbunden, der ebenso wie ein Teil der Röhren mit Quecksilber gefüllt ist. Beide Röhren sind mittels Schlitten längs einer vertikalen in Zentimeter und Millimeter geteilten Säule verschiebbar und in jeder Höhe feststellbar. Bei offenem Hahn steht das Quecksilber in beiden Röhren gleich hoch und behält diesen Stand auch noch, wenn man den Hahn schließt; die in der geschlossenen Röhre abgesperrte Luft übt also denselben Druck aus wie die in die offene Röhre hineinwirkende äußere Luft. Schiebt man nun letztere Röhre hinauf, so steigt das Quecksilber in beiden Röhren, in der geschlossenen jedoch viel langsamer, indem es die daselbst eingesperrte Luftmenge zusammendrückt. Wenn diese Luftmenge gerade auf die Hälfte ihres anfänglichen Rauminhalts zusammengepreßt ist, so findet man, daß die Quecksilbersäule in der offenen Röhre, vom Quecksilberniveau im kürzeren Schenkel aus gerechnet, gerade so hoch ist wie die Quecksilbersäule in einem gleichzeitig beobachteten Barometer. Der Druck der abgesperrten Luft hält also jetzt außer dem Druck der Atmosphäre, welcher nach wie vor in das offene Rohr hinein wirkt, auch noch dem Druck dieser Quecksilbersäule, welcher dem Druck der Atmosphäre gleich ist, das Gleichgewicht; die auf die Hälfte ihres ursprünglichen

Raumes eingeengte Luft übt also einen doppelt so großen Druck aus wie vorher, nämlich einen Druck, der doppelt so groß ist als der Druck der Atmosphäre oder welcher, wie man sich auszudrücken pflegt, zwei Atmosphären beträgt. Wird die Luft im geschlossenen

Schenkel durch weiteres Heben der offenen Röhre auf ein Drittel ihres anfänglichen Raumes zusammengedrängt, so trägt sie außer dem äußeren Luftdruck eine Quecksilbersäule von doppelter Barometerhöhe, also im ganzen einen Druck von 3 Atmosphären usf. Wird ferner das offene Rohr, von gleichem Quecksilberstand oder von Atmosphärendruck ausgehend, gesenkt, so dehnt sich die eingesperrte Luft aus, und im geschlossenen Rohr stellt sich das Quecksilber um $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ Barometersäule höher als im offenen, sobald die Luft das doppelte, dreifache Volumen erreicht hat, ihr Druck kann also nur im Verein mit einer Quecksilbersäule von $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ Atmosphäre dem ganzen in das offene Rohr hineinwirkenden Atmosphärendruck das Gleichgewicht halten, und beträgt sonach bei doppeltem, dreifachem Volumen nur noch die Hälfte, bzw. ein Drittel des anfänglichen Drucks. Es ergibt sich also das Gesetz von Boyle und Mariotte, gewöhnlich das Mariottesche Gesetz genannt: Der Druck, den eine gegebene Gasmenge ausübt, steht im umgekehrten Verhältnis zu ihrem Rauminhalt oder im geraden Verhältnis zu ihrem spezifischen Gewicht (zu ihrer Dichte), vorausgesetzt, daß die Temperatur ungeändert bleibt.

Bezeichnet man mit p_0 und v_0 Druck und Volumen einer und derselben Gasmasse im Anfangs-, mit p und v in irgend einem anderen Zustande, so ist hier nach $p:p_0 = v_0:v$, oder $p v = p_0 v_0$. Da $p_0 v_0$ für eine gegebene Gasmenge eine gegebene unveränderliche Größe ist, so kann man das Mariottesche Gesetz auch wie folgt aussprechen: Bei gleichbleibender Temperatur ist das Produkt aus Druck und Volumen einer und derselben Gasmenge unveränderlich.

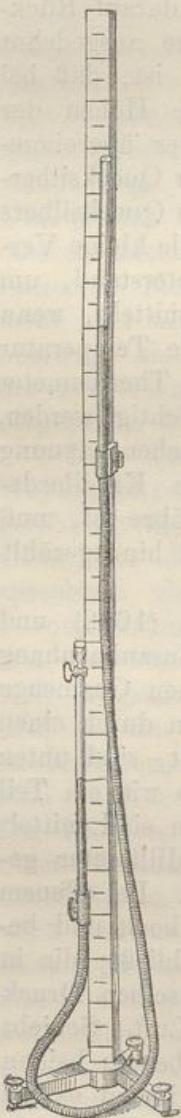


Fig. 83.
Mariottesches
Gesetz.

einem Druck von 27 Atmosphären geprüft und richtig gefunden. Spätere Versuche von Regnault (1847) haben aber gezeigt, daß das Mariottesche Gesetz, wenn auch sehr nahe, doch nicht ganz genau gültig ist, daß nämlich bei wachsendem Druck Wasserstoffgas etwas weniger, die übrigen Gase etwas stärker zusammengedrückt werden, als das Mariottesche Gesetz verlangt.

83. Barometerformel. Aus dem Mariotteschen Gesetz ergibt sich nun auch das Gesetz, nach welchem der Luftdruck bei der Erhebung in der Atmosphäre abnimmt. Ist b in Millimeter ausgedrückt der Barometerstand in irgend einer Höhe, und steigt man von hier um 1 m empor, so sinkt die Quecksilbersäule um ein kleines Stückchen, das soviel wiegt, wie die durchmessene Luftsäule von gleichem Querschnitt. Da nun Wasser 773 mal so schwer ist wie Luft von 0° und 760 mm Druck, und Quecksilber 13,6 mal so schwer wie Wasser, und da sich die Dichten der Luft nach dem Mariotteschen Gesetz verhalten, wie die Drucke b und 760, so beträgt die Höhe der kleinen Quecksilbersäule, welche mit der Luftsäule von 1 m oder 1000 mm Höhe gleich

schwer ist, nur $\frac{1000}{773 \cdot 13,6} \cdot \frac{b}{760}$ mm. Um soviel also sinkt die Quecksilbersäule b bei der Erhebung um 1 m und der Barometerstand b_1 in der um 1 m höheren Lage beträgt noch

$$b_1 = b - \frac{1000}{773 \cdot 13,6} \cdot \frac{b}{760} = \left(1 - \frac{1000}{773 \cdot 13,6 \cdot 760}\right) b = k b,$$

wenn man den eingeklammerten Zahlenwert, der ein von der Einheit nur wenig verschiedener echter Bruch ist, mit k bezeichnet. Man findet also den Barometerstand an einer um 1 m höher liegenden Stelle, wenn man den vorhergehenden Barometerstand mit dem Zahlenfaktor k multipliziert. Steigt man also in Stufen von je 1 m empor, so findet man bei 2 m Erhebung den Barometerstand $b_2 = k b_1 = k \cdot k b = k^2 b$, bei 3 m Erhebung $b_3 = k b_2 = k^3 b$ usf., endlich den Barometerstand b' bei h Meter Entfernung

$$b' = k^h b,$$

wodurch das Gesetz der Abnahme des Barometerstandes mit der Höhe ausgesprochen ist. Man kann aus dieser „Barometerformel“, wenn die Barometerstände b und b' an einem tiefer und an einem höher gelegenen Orte beobachtet sind, deren Höhenunterschied leicht berechnen. Es folgt nämlich hieraus:

$$h = - \frac{1}{\log k} (\log b - \log b'),$$

oder, wenn man für k den obigen Zahlenwert einsetzt, in Metern:

$$h = 18400^m (\log b - \log b').$$

Dabei ist allerdings auf die Verschiedenheit der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit und der Schwerkraft an beiden Orten keine Rücksicht genommen, durch welche Umstände noch kleine Korrekturen bedingt werden.

84. Manometer nennt man Vorrichtungen zum Messen des Drucks eingeschlossener Gase. Das offene Manometer, gewöhnlich zur Messung von Drucken bestimmt, welche den Druck einer Atmosphäre nur wenig übersteigen, besteht in seiner einfachsten Form aus einer U-förmigen Röhre, deren einer Schenkel mit dem das Gas enthaltenden Raum in Verbindung steht, während der andere Schenkel dem Zutritt der Luft offen ist. In der Biegung der Röhre befindet sich Quecksilber, welches, wenn es in beiden Schenkeln gleich hoch steht, anzeigt, daß der innere Druck dem äußeren Atmosphärendruck gleich ist. Übertrifft aber der innere Druck den äußeren, so steigt das Quecksilber in dem offenen Schenkel, bis der Druck der gehobenen Quecksilbersäule im Verein mit dem Atmosphärendruck dem inneren Gasdruck das Gleichgewicht hält. Die an einer Millimeterteilung abzulesende Höhe der Quecksilbersäule im offenen Schenkel über der Quecksilberkuppe im anderen Schenkel gibt also ein Maß für den Überschuß des Gasdrucks über den gleichzeitigen Luftdruck, und

müßte, wenn man den Gasdruck selbst durch die Höhe einer Quecksilbersäule ausgedrückt erfahren wollte, zu dem gleichzeitig abgelesenen Stande des Barometers hinzugefügt werden. Bei sehr geringem Überdruck, z. B. wenn der Druck in einer Leuchtgasleitung bestimmt werden soll, kann man das Manometer auch mit Wasser füllen, welches, da es 13,6 mal leichter ist als Quecksilber, einen 13,6 mal größeren Ausschlag gibt. Bei sehr großem Druck würde das offene Manometer wegen der großen erforderlichen Höhe des zweiten Schenkels unbequem werden; man bedient sich daher in diesem Falle des geschlossenen Manometers (vgl. 71), bei welchem der zweite Schenkel oben zugeschmolzen ist und eine durch das Quecksilber abgesperrte Luftmenge enthält, deren Druck beim Steigen des Quecksilbers nach dem Mariotteschen Gesetz im umgekehrten Verhältnis ihres sich vermindernden Raumes zunimmt; dieser Druck wird in Atmosphären an der diesem Gesetz entsprechend eingeteilten Glasröhre abgelesen und gibt, dem Druck der gehobenen Quecksilbersäule hinzugerechnet, denjenigen des eingeschlossenen Gases oder Dampfes an. Das bei Dampfkesseln häufig angewendete Metallmanometer enthält eine gebogene Röhre aus dünnem elastischen Metallblech, welche sich, wenn man den Dampf in sie einströmen läßt, um so mehr streckt, je stärker der Druck des Dampfes ist, und vermöge dieser Formänderung einen Zeiger in Bewegung setzt, der auf einem durch Versuche eingeteilten Zifferblatt den Druck des Dampfes angibt.

85. **Luftpumpe** heißt jede Vorrichtung, welche den Zweck hat, die Luft in einem Raume zu verdünnen. Die um 1650 von Otto v. Guericke erfundene Kolbenluftpumpe erreicht diesen Zweck mittels eines in einem hohen Zylinder (Stiefel) bewegten Pumpenkolbens. Ihre wesentliche Einrichtung läßt sich am besten an der Handluftpumpe (Fig. 84) erläutern. Der Kolben *M* kann mittels eines an der Kolbenstange angebrachten Handgriffs in dem Stiefel *NN* luftdicht auf und ab bewegt werden. Der Kanal *kdefgh* führt vom Stiefel zu dem Raum, aus welchem die Luft gezogen werden soll; dieser besteht häufig aus einer am Rand sorgfältig abgeschliffenen Glasglocke, Rezipient genannt, welche mit eingefettetem Rande auf den eben geschliffenen Teller *ii* luftdicht aufgesetzt werden kann. Der durchbohrte Kolben *OP* ist mit einem Ventil versehen, welches dadurch hergestellt wird, daß man über die obere Öffnung des Stücks *P* ein Stück Schweinsblase bindet und in letzterer seitlich von der Öffnung zwei Einschnitte anbringt. Ein gleiches Ventil befindet sich am Boden des Stiefels bei *k*; beide Ventile öffnen sich durch einen Druck von unten und werden durch einen Druck von oben geschlossen. Zieht man den Kolben in die Höhe, während der Hahn *c* offen ist, so dehnt sich die in Rezipient und Kanal enthaltene Luft in den ihr dargebotenen größeren Raum aus, indem sie durch ihren Druck das Bodenventil *k* öffnet; das Kolbenventil *P* bleibt unterdessen durch den von oben her dagegen drückenden stärkeren äußeren Luftdruck geschlossen. Drückt man nun den Kolben wieder hinab,

so wird die im Stiefel zurückgebliebene Luft wieder verdichtet, versperrt sich durch Schließung des Bodenventils den Ausweg nach dem Rezipienten und erreicht bald hinreichende Spannkraft, um dem äußeren Druck entgegen das Kolbenventil zu öffnen und durch die Bohrung *O* zu entweichen, während in Rezipient und Kanal verdünnte Luft zurückbleibt. Ist der Kolben unten angekommen und somit die in den Stiefel herübergesaugte Luft hinausgeschafft, so wiederholt sich beim nächsten Kolbenzug dasselbe Spiel, und die bereits verdünnte Luft wird in demselben Verhältnis von neuem verdünnt. Hiernach sollte man meinen, daß durch hinreichend viele Kolbenzüge freilich niemals vollkommene Luftleere, jedoch jeder beliebige Grad der Verdünnung erreicht werden könnte. Dies ist aber nicht möglich, sondern die Luftverdünnung erreicht bald eine Grenze, weil zwischen Boden- und Kolbenventil unvermeidlich ein kleiner Zwischenraum, der sogenannte schädliche Raum, vorhanden ist, in welchem stets Luft von atmosphärischer Dichte zurückbleibt. Denkt man sich nun während des Aufsteigens des Kolbens den Stiefel vom Rezipienten abgesperrt, so wird sich die Luft des schädlichen Raumes im ganzen Stiefel verbreiten, und

ihre Dichte wird sich jetzt zu derjenigen der atmosphärischen Luft verhalten wie der schädliche Raum zum Stiefelraum; ist nun die Luft im Rezipienten bereits auf diesen Grad verdünnt, so wird von ihr nichts mehr in den Stiefel übergehen, und alles weitere Pumpen ist nutzlos. — Die abwechselnde Verbindung des Stiefels mit dem Rezipienten und der freien Luft kann entweder wie hier durch Ventile (Ventilluftpumpen) oder durch einen Hahn (Hahnluftpumpen) bewirkt werden. Der Grad der erreichten Verdünnung wird durch die Barometerprobe bestimmt. Denken wir uns eine etwa 86 cm lange Glasröhre, welche mit ihrem unteren Ende in ein Gefäß voll Quecksilber taucht, während sie oben umgebogen und mittels eines Stückchens Kautschukschlusses mit einer durch den Hahn *b* verschließbaren Seitenröhre des Luftpumpenkörpers verbunden ist. Wenn dieser Hahn offen ist, erhebt sich das Quecksilber in der Röhre, bis die gehobene Quecksilbersäule samt dem Druck der inneren verdünnten Luft dem äußeren Luftdruck das Gleichgewicht hält. Man erfährt daher den inneren Druck, wenn man die Höhe der Quecksilbersäule in dieser Röhre von der gleich-

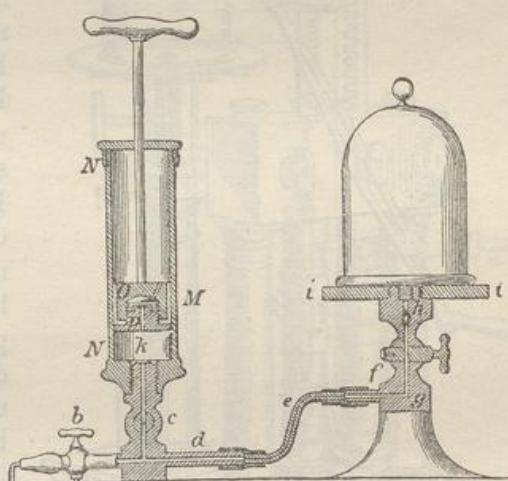


Fig. 84.
Handluftpumpe.

zeitig beobachteten Barometerhöhe abzieht. Hätte z. B. jene Quecksilbersäule eine Höhe von 740 mm bei einem Barometerstand von 750 mm, so entspricht der innere Druck einer Quecksilbersäule von 10 mm und beträgt daher nur $\frac{10}{750}$ oder $\frac{1}{75}$ des ursprünglichen atmosphärischen Drucks. Da nun nach dem Mariotteschen Gesetz die Dichte der Luft in demselben Verhältnis steht wie ihr Druck,

so weiß man hierdurch auch, daß die Luft im Rezipienten auf $\frac{1}{75}$ ihrer anfänglichen Dichte herabgemindert ist. Man kann die gleiche Messung auch in der Weise ausführen, daß man die Phiole eines Phiole-Barometers luftdicht mit dem Pumpenraume verbindet. Dann sinkt beim Pumpen das Quecksilber in der Barometerröhre. Die Länge der Quecksilbersäule über dem Niveau in der Phiole mißt dann direkt den noch vorhandenen Luftdruck im Rezipienten. Da es sich nun bei den Luftpumpenversuchen immer nur um sehr geringe Drucke handelt, so kann man bei der letzten Art der Druckmessung das Manipulieren mit den langen Barometerröhren vermeiden, indem man der Barometerprobe die Gestalt eines abgekürzten Barometers gibt. Diese gewöhnlich an den Luftpumpen angebrachte Barometerprobe

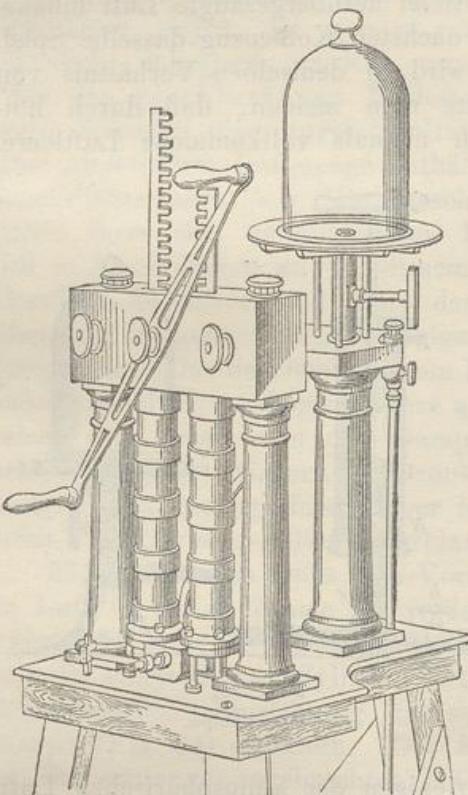


Fig. 85.
Zweistiefelige Hahnluftpumpe.

(Fig. 86) besteht aus einer U-förmigen Glasröhre mit einem offenen und einem zugeschmolzenen Schenkel. Das Quecksilber füllt die Biegung und den zugeschmolzenen Schenkel, welcher viel kürzer ist als bei einem gewöhnlichen Barometer, ganz aus und beginnt erst zu sinken, wenn der in den offenen Schenkel hereinwirkende Druck der verdünnten Luft weniger beträgt als der Quecksilberhöhe im zugeschmolzenen Schenkel entspricht; der Unterschied des Quecksilberstandes in beiden Schenkeln gibt alsdann den im Rezipienten herrschenden Druck und somit auch die Dichte der da selbst noch vorhandenen Luft an. Zu physikalischen Versuchen werden gewöhnlich Luftpumpen mit zwei Stiefeln angewendet (Fig. 85, zweistiefelige Hahnluftpumpe), in deren einem der Kolben steigt, während derjenige im anderen niedergeht. Diese Bewegung wird durch ein Zahnrad bewirkt, welches beiderseits in die gezahnten

Kolbenstangen eingreift. Bei zweistiefeligen Luftpumpen wird der Einfluß des schädlichen Raumes dadurch verringert, daß man, nachdem in gewöhnlicher Weise die Grenze der Verdünnung erreicht ist, durch Verstellung eines entsprechend gebohrten Hahns (Babinetscher Hahn bei Ventilluftpumpen, Graßmannscher Hahn bei Hahnluftpumpen) den rechten Stiefel vom Rezipienten ganz absperrt und, sobald die Aufwärtsbewegung des Kolbens in ihm beginnt, mit dem Stiefel links in Verbindung setzt; geht jetzt der Kolben links herab, so wird die unter ihm befindliche, aus dem Rezipienten angesaugte, verdünnte Luft ohne Verdichtung in den Stiefel rechts hinübergeschafft, so daß sich der schädliche Raum nur mit sehr verdünnter Luft füllen kann.

Man kann die Luft in einem Rezipienten auch dadurch verdünnen, daß man ihn mit dem



Fig. 86.

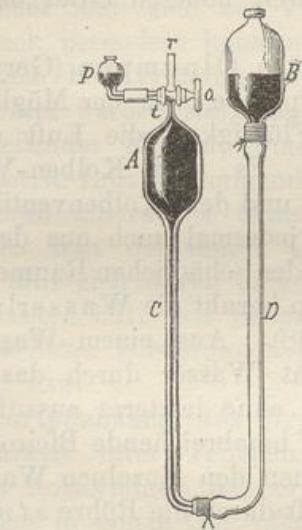


Fig. 87.

Abgekürztes Barometer. Quecksilberluftpumpe.

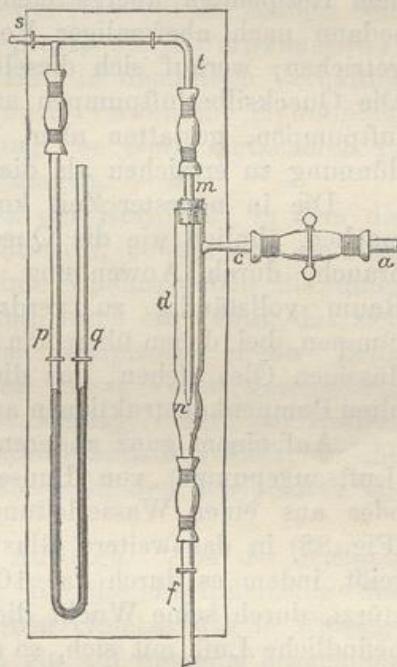


Fig. 88.

Bunsens Wasserluftpumpe.

leeren Raum über dem Quecksilber eines Barometers (Torricellische Leere) in Verbindung setzt; eine barometerähnliche Vorrichtung, welche durch Wiederholung dieses Verfahrens eine hohe Luftverdünnung zu erzielen gestattet, bezeichnet man als Quecksilberluftpumpe (Geißler, 1857). Ein etwa 76 cm langes Glasrohr *C* (Fig. 87) trägt oben das weite Glasgefäß *A*, während sein unteres Ende durch den Kautschukschlauch *D* mit dem oben offenen Glasgefäß *B* in Verbindung steht. In eine Erweiterung der Glashöhre *tr*, in welche das Gefäß *A* oben ausläuft, ist ein doppelt durchbohrter Hahn *o* eingeschliffen, durch welchen *A* nach Belieben mit dem bei *r* angefügten auszupumpenden Raum oder mit der nach der äußeren Luft offenen Glaskugel *p* in Verbindung gesetzt werden kann. Während *A* nach *p* offen ist, wird das Gefäß *B* so weit ge-

hoben, daß sich *A* vollständig und auch *p* teilweise mit Quecksilber füllt; wird nun durch geeignete Stellung des Hahnes *A* nach oben abgesperrt und das Gefäß *B* allmählich gesenkt, so sinkt auch das Quecksilber, bleibt aber in der Röhre *C* um die Höhe des jeweiligen Barometerstandes über dem Quecksilberspiegel des Gefäßes *B* stehen; die Vorrichtung ist jetzt nichts anderes als ein Barometer mit einem sehr umfangreichen leeren Raum im Gefäß *A*, mit welchem man nunmehr durch eine entsprechende Drehung des Hahnes den Rezipienten in Verbindung setzt. Nachdem sich die Luft in den ganzen ihr nun zugänglichen Raum verbreitet hat, wird der Rezipient wieder abgesperrt, durch den zweiten Hub des Gefäßes *B* die nach *A* aus dem Rezipienten übergetretene Luft zunächst zusammengepreßt und sodann nach abermaliger Verstellung des Hahnes durch *p* hinausgetrieben, worauf sich dieselbe Reihe von Verrichtungen wiederholt. Die Quecksilberluftpumpen arbeiten zwar langsamer als die Kolbenluftpumpen, gestatten aber, einen weit höheren Grad der Luftverdünnung zu erreichen als diese.

Die in neuester Zeit konstruierten Ölpumpen (Gerykpumpen) machen, ähnlich wie die Quecksilberpumpe, von der Möglichkeit Gebrauch, durch Anwendung einer Flüssigkeit die Luft aus einem Raum vollständig zu verdrängen. Es sind Kolben-Ventil-Luftpumpen, bei denen über dem Boden- und dem Kolbenventil Schichten flüssigen Öles stehen, das die Luft jedesmal auch aus dem bei den alten Pumpenkonstruktionen auftretenden schädlichen Raume verdrängt.

Auf einem ganz anderen Prinzip beruht die Wasserluftpumpe (Luftsaugpumpe) von Bunsen (1868). Aus einem Wasserbehälter oder aus einer Wasserleitung strömt Wasser durch das Rohr *a c* (Fig. 88) in das weitere Glasrohr *d*, ohne letzteres auszufüllen, und reißt, indem es durch das 10 m tief hinabreichende Bleirohr *f* herabstürzt, durch seine Wucht die zwischen den einzelnen Wassertropfen befindliche Luft mit sich, so daß Luft durch die Röhre *s t m n*, welche mittels eines Kautschukpropfens in das Rohr *d* luftdicht eingesetzt ist, nachströmen muß, um ebenfalls durch das fallende Wasser mit hinabgerissen zu werden. Setzt man daher die Röhre *s t* mit einem geschlossenen Raum in Verbindung, so wird aus diesem Luft herausgesaugt, und es entsteht in ihm eine Luftverdünnung, deren Grad man an dem mit der Röhre in Verbindung stehenden offenen Manometer (*p q*) erkennt, indem das Quecksilber im Schenkel *p* steigt, in *q* sinkt. Bei den neueren Formen dieser Pumpe pflegt man die Verbindung umgekehrt zu machen, indem man das Wasser durch das Rohr *m m* aus der Spitze bei *n* in das Abflußrohr *f*, das nur kurz zu sein braucht, ausströmen und die Luft durch das Rohr *a c* absaugen läßt. Das Manometer muß dann natürlich am Rohre *a c* befestigt sein. Die Wasserluftpumpe wird in chemischen Laboratorien zum raschen Filtrieren und zum Trocknen der Niederschläge verwendet, indem man die Röhre *s t* mit dem Innenraum eines Gefäßes verbindet, auf welches der Trichter mit dem Filter luftdicht aufgesetzt

ist. Der überwiegende äußere Luftdruck treibt alsdann zuerst die Flüssigkeit und später Luft durch den Niederschlag hindurch und bewirkt so ein rasches Trocknen desselben. Auf die gleiche Wirkung herabstürzender Flüssigkeitstropfen gründet sich die Quecksilberluftpumpe von Sprengel; sie besteht aus einer oben mit einem Trichter versehenen Glasröhre, welche unten in Quecksilber taucht. Gießt man Quecksilber in den Trichter, so reißt es herabfallend Luft mit sich, und saugt durch ein seitlich unter dem Trichter mündendes Rohr die Luft aus dem zu entleerenden Raume heraus.

86. **Kompressionspumpe.** Jede Hahnluftpumpe kann, wenn man dem Hahn beim Arbeiten die entgegengesetzte Stellung gibt, so daß der Kolben beim Hinaufgehen Luft aus der Atmosphäre schöpft und beim Hinabgehen in den Rezipienten preßt, als Kompressionspumpe gebraucht werden, welche die Luft in demselben Verhältnis verdichtet wie bei umgekehrtem Gebrauch verdünnt. Gewöhnlich jedoch bedient man sich zur Verdichtung der Gase einfacherer zu diesem Zweck besonders konstruierter Pumpen.

In einem Hohlzylinder, an welchen der Rezipient, in dem die Luft verdichtet werden soll, angeschraubt wird, bewegt sich ein luftdicht schließender Kolben, welcher beim Hineinschieben die unter ihm abgesperrte Luft zusammendrückt und durch ein Ventil, das sich durch äußeren Überdruck öffnet, in den Rezipienten preßt. Beim Herausziehen hält der innere Überdruck dieses Ventil geschlossen, der Stiefel füllt sich durch eine seitliche Öffnung, sobald der Kolben dieselbe passiert hat, von neuem mit atmosphärischer Luft, welche bei dem nächsten Niedergange des Kolbens in den Rezipienten geschafft wird usw.

87. **Fortpflanzung des Druckes. Auftrieb.** Aus der leichten Verschiebbarkeit ihrer Teilchen folgen für die Fortpflanzung des Druckes in luftförmigen Körpern dieselben Gesetze wie in Flüssigkeiten. Auch in einem Gas pflanzt sich ein auf dasselbe ausgeübter Druck nach allen Seiten mit der gleichen Stärke fort. Unter der Einwirkung der Schwerkraft kann eine Gasmasse, wie z. B. unsere Atmosphäre, nur dann im Gleichgewicht sein, wenn in einer und derselben wagerechten Schicht überall der gleiche Druck herrscht. Auch in das Wasser hinein pflanzt sich der auf der Oberfläche lastende Luftdruck fort, und fügt sich überall im Innern dem dort herrschenden hydrostatischen Druck hinzu. Man beobachtet dies z. B. an den Cartesianischen Tauchern, nach ihrem Erfinder Cartesius (Descartes) so genannt. Kleine, hohle Glasfiguren, welche teils mit Luft, teils mit Wasser gefüllt und mit einer seitlichen Öffnung versehen sind, schwimmen in einem mit Wasser gefüllten, oben mit einer Kautschukplatte luftdicht verschlossenen Zylinder. Durch einen Druck mit der Hand auf die Kautschukplatte wird die Luft im oberen Teil des Zylinders zusammengepreßt, ihr erhöhter Druck pflanzt sich durch das Wasser fort und treibt Wasser in den hohlen Glaskörper, wodurch dieser schwerer wird und sinkt. Läßt

der Druck wieder nach, so treibt die in der Glasfigur zusammengepreßte Luft das eingedrungene Wasser wieder aus, und die dadurch leichter gewordene Figur steigt empor. Man hat es also in seiner Gewalt, die Taucher nach Belieben steigen oder sinken zu lassen. Desgleichen wird in einer Taucherglocke die Luft sich unter erhöhtem Druck befinden, indem der Druck gleich dem der äußeren Luft, vermehrt um den Druck derjenigen Wassersäule sein muß, welche von der Wasseroberfläche in der Glocke bis zum Wasserspiegel emporreicht.

Auch das Archimedische Prinzip gilt für die Gase ebensogut wie für die Flüssigkeiten, da ja in einem Gas infolge der Schwere der Druck nach unten zunimmt: jeder von Luft umgebene Körper verliert so viel von seinem Gewicht, wie die von ihm verdrängte Luftmenge wiegt. Um dies nachzuweisen, hängt man an einen kleinen Wagebalken einerseits eine Halbkugel, andererseits ein kleines Bleigewicht, so daß im luftefüllten Raum der Balken wagerecht im Gleichgewicht schwebt. In Wirklichkeit ist die Kugel schwerer als das Bleistück und das scheinbare Gleichgewicht wird nur durch den größeren Auftrieb herbeigeführt, den die umfangreichere Kugel durch die Luft erleidet. Dies zeigt sich sofort unter der Glocke der Luftpumpe; die Hohlkugel sinkt bei fortschreitendem Auspumpen immer tiefer herab, beim Einlassen von Luft aber stellt sich das scheinbare Gleichgewicht wieder her. Diese von Otto v. Guericke erfundene Vorrichtung wurde von ihm statt der damals noch unbekannten Barometerprobe benutzt, um den Grad der im Rezipienten erreichten Verdünnung zu beurteilen, und wird daher das Guericke'sche Manometer (auch Dasymeter) genannt.

Läßt man einen an einer Wage tariert aufgehängten Glasballon in andere Gase tauchen, so senkt er sich oder steigt, je nachdem das Gas spezifisch leichter oder schwerer ist als Luft, weil der Auftrieb, den er durch das umgebende Gas erleidet, in jenem Falle kleiner, in diesem größer ist als in Luft. Bringt man durch Gewichte die Wage jedesmal wieder zum Einspielen, so erfährt man, um wieviel ein dem Ballon gleiches Volumen des Gases mehr oder weniger wiegt als das gleiche Volumen Luft, und kann daraus die spezifischen Gewichte der Gase ermitteln (Lommel, 1886).

Bei genauen Wägungen muß auf den Luftauftrieb Rücksicht genommen und dem gefundenen scheinbaren Gewicht der kleine in der Luft erlittene Auftrieb noch hinzugerechnet werden, um das wirkliche Gewicht, wie es eine Wägung im luftleeren Raum ergeben würde, zu finden.

Ist das Gewicht eines Körpers kleiner als das Gewicht des gleichen Raumhaltes Luft, so steigt er mit einer Kraft, welche dem Überschüß des letzteren Gewichtes über das erstere gleichkommt, in der Atmosphäre empor und bleibt schwebend in derjenigen höheren Luftschicht, in welcher er ebenso schwer ist wie die von ihm verdrängte Luftmenge. Luftballons sind solche Körper, deren aus leichtem Stoff verfertigte Hülle, um jener Bedingung zu genügen,

entweder mit erhitzter Luft (Montgolfier, 1782) oder — in neuerer Zeit ausschließlich — mit einem spezifisch leichteren Gas, Wasserstoffgas oder Leuchtgas (Charles, 1783) gefüllt ist.

88. Spezifisches Gewicht der Gase. Wir betrachten unter dem im vorigen Abschnitt gewonnenen Gesichtspunkte noch einmal den oben (S. 129) beschriebenen Versuch der Wägung der Luft. Wird der Ballon in völlig leer gepumptem Zustande gewogen, so müßte man in Wahrheit das Gewicht der Ballonmasse um das Gewicht der ganzen, von dem geschlossenen Ballon verdrängten Luftmasse vermindern. Bei der Wägung in offenem Zustande dagegen erhält man das Gewicht der Ballonmasse vermindert nur um das Gewicht derjenigen Luft, die die Ballonmasse selbst verdrängt. Beide Wägungen unterscheiden sich also um das Gewicht der den Hohlraum des Ballons erfüllenden Luft; man wähgt also in der Tat diese Luftmasse.

Um aus dem so bestimmten Gewicht q einer Luftmasse vom Volumen v der Hohlkugel das spezifische Gewicht der Luft beim Normaldrucke von 760 mm zu erhalten, muß man berücksichtigen, daß die äußere Luft im allgemeinen nicht unter dem Normaldrucke, sondern unter dem Drucke b steht, der durch den jeweiligen Barometerstand gegeben ist, und ferner, daß beim Leerpumpen des Ballons nicht alle Luft entfernt wird, sondern noch ein Rest unter dem Drucke b' übrig bleibt. Dieser Luftrest, der beim Drucke b' das Volumen v erfüllt, würde beim Drucke b einen Raum $v' = v b'/b$ einnehmen, und die wirklich gewogene Luftmasse hätte beim Druck b in Wahrheit nicht das Volumen v , sondern nur das Volumen $v - v'$. Um ihr Volumen v_0 beim Normaldruck 760 mm zu finden, hat man nach dem Mariotteschen Gesetze die Beziehung: $v_0 \cdot 760 = (v - v')b = v(b - b')$. Daraus ergibt sich das spezifische Gewicht der Luft unter dem Normaldrucke und bei der Temperatur, bei der die Wägung ausgeführt wurde, zu q/v_0 . (Über die Reduktion auf die Temperatur 0° siehe unter Wärme.)

Wägt man den Ballon mit anderen Gasen gefüllt, so findet man in entsprechender Weise deren spezifische Gewichte. Die folgende Tabelle gibt die Zahlenwerte der spezifischen Gewichte einiger Gase bei 0°, in der ersten Spalte bezogen auf Wasser. Da aber diese

| | Spezifische Gewichte der Gase, bezogen auf | | | Molekularformel und Molekulargewicht |
|--------------------|--|--------|-------------|---|
| | Wasser | Luft | Wasserstoff | |
| Luft | 0,001 293 | 1 | 14,45 | — |
| Wasserstoff . . | 0,000 090 | 0,0695 | 1 | $H_2 = 2$ |
| Stickstoff . . . | 0,001 251 | 0,9673 | 14 | $N_2 = 28$ |
| Sauerstoff . . . | 0,001 429 | 1,1053 | 16 | $O_2 = 32$ |
| Chlor | 0,003 22 | 2,49 | 35,8 | $Cl_2 = 70$ |
| Ammoniak . . . | 0,000 763 | 0,590 | 8,5 | $NH_3 = 17$ |
| Chlorwasserstoff . | 0,001 641 | 1,269 | 18,3 | $ClH = 36,5$ |
| Kohlenoxyd . . | 0,001 250 | 0,967 | 14 | $CO = 28$ |
| Kohlensäure . . | 0,001 977 | 1,529 | 22 | $CO_2 = 44$ |

Zahlen sehr klein ausfallen, so bezieht man die spezifischen Gewichte der Gase lieber auf Luft (zweite Spalte) oder noch besser auf Wasserstoff als das leichteste aller Gase (dritte Spalte). Diese Zahlen geben also an, wievielmal schwerer das Gas ist als Luft (oder Wasserstoff) von gleichem Druck und gleicher Temperatur.

Die Zahlen der letzten Spalte stehen in einem einfachen Zusammenhange mit denjenigen Zahlen, welche die chemischen Verbindungsverhältnisse der Gase miteinander ausdrücken. Gay-Lussac hat nämlich gefunden, daß sich die Gase immer nach einfachen Volumverhältnissen miteinander verbinden; 1 Raumteil Wasserstoff und 1 Raumteil Chlor geben zu Chlorwasserstoff vereinigt genau 2 Raumteile Chlorwasserstoff; 2 Raumteile Wasserstoff und 1 Raumteil Sauerstoff geben 2 Raumteile Wasserdampf; 3 Raumteile Wasserstoff und 1 Raumteil Stickstoff geben 2 Raumteile Ammoniak. Dabei ist vorausgesetzt, daß die Gase sich stets unter gleichem Druck und auf gleicher Temperatur befinden. Dann entsprechen aber die Massen, die in gleichen Raumteilen enthalten sind, den Dichtigkeiten. Man kann also die angeführten Beispiele auch so ausdrücken: 1 Gewichtsteil Wasserstoff verbindet sich mit 35,8 Gewichtsteilen Chlor zu Chlorwasserstoff, mit $\frac{16}{2}$ Gewichtsteilen Sauerstoff zu Wasser, mit $\frac{14}{3}$ Gewichtsteilen Stickstoff zu Ammoniak. Es stehen also die Verbindungsgewichte in einfachen Verhältnissen zu den Dichten der Gase.

Diese Tatsache findet ihre einfachste Deutung auf dem Boden der Molekulartheorie durch die zuerst von Avogadro (1811) ausgesprochene Annahme, daß alle Gase, sowohl die elementaren Gase, wie die gasförmigen Verbindungen, in gleichen Raumteilen bei gleichem Druck und gleicher Temperatur die gleiche Anzahl von Molekülen enthalten. Man muß hierzu nur die weitere Annahme hinzufügen, daß die Moleküle der elementaren Gase aus zwei Atomen bestehen, um für die oben beschriebenen Tatsachen unmittelbar folgende ganz einfache Formulierung zu erhalten: m Moleküle H_2 und m Moleküle Cl_2 geben $2m$ Moleküle HCl ; $2m$ Moleküle H_2 und m Moleküle O_2 geben $2m$ Moleküle H_2O ; $3m$ Moleküle H_2 und m Moleküle N_2 geben $2m$ Moleküle H_3N .

Auf Grund dieser Vorstellungen erhält man, wenn man statt der Verbindungsgegewichte die Molekulargewichte betrachtet, eine außerordentlich einfache Beziehung zu den Gasdichten. Ist nämlich m das Gewicht des einzelnen Moleküls, N die Zahl der Moleküle im ccm, so ist $N \cdot m$ das Gewicht des Gases im ccm oder die Gasdichte. Ist nun N für alle Gase unter gleichen Umständen als gleich anzunehmen, so stehen die Gasdichten in den gleichen Verhältnissen zu einander wie die Molekulargewichte. Bezieht man also die Gasdichten auf den Wasserstoff und setzt dessen Dichte nicht gleich 1, sondern gleich 2, so stimmen die Zahlen für die Gasdichten mit denen für die Molekulargewichte überein. Wegen dieser Beziehung ist die Bestimmung der Gasdichten eines der wichtigsten Hilfsmittel der chemischen Forschung.

Die gleichen Gesetze, wie für die Gase, gelten für die Stoffe in gelöstem Zustande. Der osmotische Druck (78) entspricht dem Gasdruck. Wie dieser der Dichte des Gases, so ist jener der Konzentration, d. h. der Dichte des gelösten Stoffes proportional, und diese Dichten, berechnet unter den gleichen Druck- und Temperaturverhältnissen, sind den Molekulargewichten proportional, und ergeben, wenn die Dichte des Wasserstoffes = 2 gesetzt wird, unmittelbar die Zahlenwerte der Molekulargewichte. So ist der osmotische Druck einer einprozentigen Zuckerlösung bei 0° 493 mm Quecksilber. Eine Zuckerlösung, deren osmotischer Druck 760 mm betragen würde, muß demnach 1,541 g in 100 ccm oder 0,01541 g Zucker in 1 ccm enthalten. 1 ccm Wasserstoff von dem gleichen Druck wiegt 0,000090 g. Das Verhältnis beider Zahlen ist 171 und sagt aus, daß die Dichte des gelösten Zuckers 171 mal größer ist als die Dichte des Wasserstoffes bei demselben Druck und derselben Temperatur. Nimmt man die letztere = 2, so wäre die Dichte des gelösten Zuckers 342, und diese Zahl ist genau gleich dem Molekulargewicht des Zuckers (van't Hoff).

Da für das Verhalten der Lösungen der osmotische Druck, ebenso wie bei den Gasen der Gasdruck, bestimend ist, so empfiehlt es sich, die Konzentrationen nicht nach Gewichtsprozenten, wie es früher üblich war, sondern nach Gehalt an Molekülen zu rechnen. Gelöste Stoffe und Gase, deren Dichten sich wie ihre Molekulargewichte verhalten, haben in gleichem Volumen gleiche Molekülezahl und stehen unter dem gleichen Druck; sie sind äquimolekular und isotonisch. Als Einheit nimmt man dabei das „Gramm“-Molekül im Liter. Eine „normale Lösung“ in diesem Sinne ist eine Lösung, welche die dem Molekulargewicht des gelösten Stoffes entsprechende Anzahl Gramme im Liter der Lösung enthält. Eine normale Zuckerlösung enthält 342 g im Liter und steht unter einem osmotischen Drucke von 22,4 Atmosphären. Den gleichen Druck üben 2 g Wasserstoff oder 32 g Sauerstoff oder 44 g Kohlensäure aus, wenn sie in einem Liter enthalten sind.

89. Pumpen. Die Pumpen dienen zur Hebung des Wassers, meist mit Hilfe des Luftdrucks. Die Saugpumpe ist durch den Pumpbrunnen allbekannt. In dem Pumpenstiefel (C, Fig. 89) bewegt sich ein möglichst dicht anschließender, durchbohrter Kolben K, in dessen Bohrung eine Klappe oder ein Ventil (das Kolbenventil) angebracht ist, welches sich durch einen Druck von unten öffnet, durch einen Druck von oben aber schließt. Ein in ganz gleicher Weise spielendes Ventil, das Bodenventil V, befindet sich am Boden des Stiefels, wo sich an diesen das unter den Wasserspiegel U des Brunnen schachtes hinabreichende Saugrohr R anschließt. Das Spiel dieser beiden Ventile ist genau das gleiche, wie bei der Luftpumpe (85), nur daß die in der Pumpe ursprünglich vorhandene Luft hier nicht fortgesetzt verdünnt wird, sondern statt dessen der auf den Wasserspiegel U wirkende äußere Luftdruck Wasser in der Höhe treibt. Der

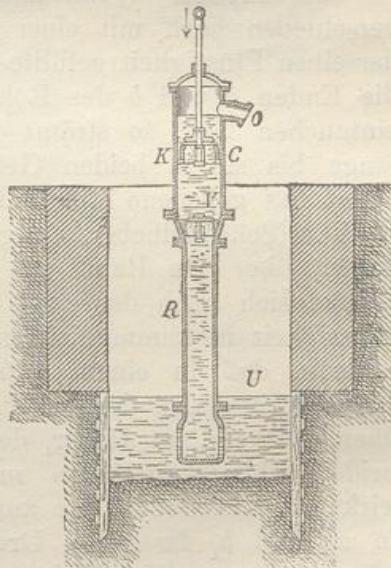


Fig. 89.
Saugpumpe.

Höhe, bis zu welcher das Wasser durch eine Saugpumpe gehoben werden kann, ist durch die Größe des Luftdrucks eine unübersteigliche Grenze gesetzt. Der Luftdruck, welcher einer Quecksilbersäule von 76 cm Höhe das Gleichgewicht hält, vermag, da Wasser 13,6 mal leichter ist als Quecksilber, eine etwa 10 m hohe Wassersäule zu tragen und keine höhere. Befände sich daher das Bodenventil höher als 10 m über der Wasserfläche des Brunnenschachtes, so könnte kein Wasser in den Pumpenstiel steigen, und es würde, wenn die Pumpe mit idealer Vollkommenheit gearbeitet wäre, unter dem Kolben ein leerer Raum (die Torricellische Leere) entstehen. Bei der geringeren Sorgfalt, mit welcher die Pumpen unserer Brunnen ausgeführt sind, darf man das Bodenventil höchstens 7 bis 8 m über den Wasserspiegel legen, wenn die Pumpe gut arbeiten soll. Durch die Beobachtung der Florentiner Pumpenmacher, daß das Wasser nicht höher steigen wollte, wurde Torricelli zum Nachweis und zur Messung des Luftdrucks durch das Barometer geführt, nachdem man bis dahin das Aufsteigen des Wassers in den Pumpen durch einen angeblichen Abscheu der Natur vor dem leeren Raum (*horror vacui*) erklärt hatte.

Bei der Druckpumpe ist der Kolben nicht durchbohrt; das durch Ansaugen oder durch Zufluß in den Pumpenstiel gelangte Wasser wird durch den Druck des niedergehenden Kolbens in ein unten vom Pumpenstiel ausgehendes Steigrohr gepreßt, welches mit einem nach auswärts sich öffnenden Ventil (Gurgelventil) versehen ist.

90. **Heber.** Wenn man zwei Gefäße *A* und *B* (Fig. 90), die verschieden hoch mit einer Flüssigkeit gefüllt sind, durch ein mit derselben Flüssigkeit gefülltes gebogenes Rohr *s* verbindet, indem man die Enden *a* und *b* des Rohres unter die beiden Flüssigkeitsspiegel eintauchen läßt, so strömt die Flüssigkeit von *B* nach *A* über, so lange bis sie in beiden Gefäßen im gleichen Niveau steht. Man nennt das gebogene Rohr, das dieses Überströmen vermittelt, einen Heber (Schenkelheber, Saugheber), weil es die Flüssigkeit gewissermaßen über den Rand von *B* nach *A* hinüberhebt. Der Vorgang erklärt sich nach denselben Grundsätzen, wie die Einstellung einer Flüssigkeit in kommunizierenden Gefäßen (59), nur mit dem Unterschiede, daß in einem aufrecht stehenden **U**-Rohre (Fig. 64) die Flüssigkeitssäulen der beiden Schenkel einen Druck aufeinander ausüben, während im Heber, der ein umgekehrtes **U**-Rohr darstellt, die beiden Flüssigkeitssäulen *ma*₁ und *mb*₁ durch Zug aufeinander wirken. Die Größe des auf den beiden freien Flüssigkeitsspiegeln in *a*₁ und *b*₁ lastenden Druckes ist für die Wirkung des Hebers offenbar ganz gleichgültig, wenn nur der Druck auf beiden freien Flächen der gleiche ist. Dieser Druck kann auch null sein, d. h. der Heber kann auch in einem ganz luftleeren Raum wirken, vorausgesetzt, daß die Zugkraft der beiden Flüssigkeitssäulen nicht größer ist als die Kohäsion der Flüssigkeit (72). Sobald dieses eintritt, reißt die Flüssigkeitssäule auseinander und der Heber hört auf zu

fließen. Bei der gewöhnlichen Anwendung des Hebers aber lastet auf der Flüssigkeitsoberfläche der Luftdruck. Infolgedessen herrscht in der Flüssigkeitssäule des Hebers tatsächlich kein Zug, sondern ein Druck, solange die Höhe des Hebers kleiner ist als die Barometerhöhe für die betreffende Flüssigkeit. Ist aber der Heber höher, so treten Zugkräfte auf und damit die Möglichkeit eines Auseinanderreibens der Flüssigkeitssäule. Die Biegung des Hebers darf also für Quecksilber höchstens 760 mm, für Wasser höchstens 10 m über dem Niveau des Gefäßes liegen.

Bei der gewöhnlichen Anwendung des Hebers macht man den Schenkel ma länger als mb , und läßt ihn bei a in der Luft endigen (Fig. 91). Dann fließt die Flüssigkeit bei a frei heraus, solange a tiefer liegt als der Flüssigkeitsspiegel im Gefäß; liegt also a tiefer als der Boden des Gefäßes, so kann man das Gefäß mit Hilfe des Hebers vollständig entleeren.

Um den Heber in Gang zu setzen, bedient man sich der Mitwirkung des Luftdrucks, indem man, nachdem sein kurzer Schenkel in die Flüssigkeit getaucht ist, bei a mit dem Munde saugt. Um bei ätzenden oder giftigen Flüssigkeiten zu vermeiden, daß beim Saugen etwas in den Mund gelangt, verbindet man mit dem längeren Schenkel ein seitliches Saugrohr t (Fig. 92), an dem man, während

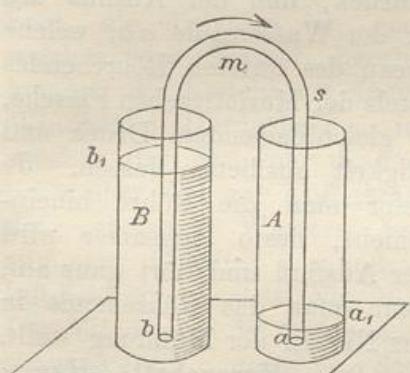


Fig. 90.
Heberwirkung.



Fig. 91.
Heber.

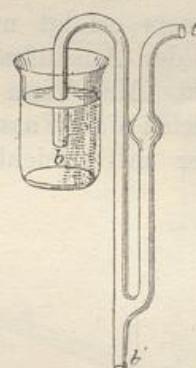


Fig. 92
Giftheber.

die Mündung b' verschlossen gehalten wird, saugt, bis die Flüssigkeit in die kugelige Anschwellung des Saugrohres zu steigen beginnt (Giftheber).

Deckt man über ein mit Wasser gefülltes Trinkglas ein Papierblatt und kehrt das Glas um, so fließt das Wasser nicht aus; denn der von unten gegen die Papierfläche wirkende Luftdruck, der ja eine Wassersäule von 10 m Höhe zu tragen vermöchte, hindert das Herabfallen des Wassers. Das Papier hat nur den Zweck, zu verhindern, daß beim Umkehren Wasser ausfließe und Luft statt dessen in das Gefäß eindringe. Ist die Öffnung eines Gefäßes so eng, daß sich daselbst ein abgerundeter Tropfen bilden kann, so bedarf es

keines Papiers, sondern die Oberflächenspannung des Flüssigkeitshäutchens genügt, um das Eindringen von Luft zu verhüten. Darauf beruht der Stechheber, ein oben und unten enges, in der Mitte erweitertes, an beiden Enden offenes Rohr (Fig. 93), welches zum Herausheben von Flüssigkeitsproben aus Fässern und anderen Gefäßen dient, indem man nach Einsenken des Hebers in die Flüssigkeit die obere Öffnung luftdicht mit dem Daumen verschließt. Zu den Stechhebern gehören auch die von den Chemikern zum Überfüllen gemessener Flüssigkeitsmengen benutzten, in Kubikzentimeter geteilten Pipetten.



91. **Mariottesche Flasche.** Die Mariottesche Flasche (Fig. 93. 1686) ist eine unten mit einer seitlichen Ausflußmündung versehene Flasche, in die durch den oben luftdicht aufgesetzten Kork eine an beiden Enden offene Glasröhre hineinragt (Fig. 94). Fließt etwas Wasser aus der Flasche, so dehnt sich die im oberen Teil befindliche Luft aus, und ihr Druck wird geringer, bis der in die Glasröhre hineinwirkende äußere Luftdruck den inneren samt dem Druck der vom unteren Ende der Röhre bis zum Wasserspiegel stehenden Wassersäule überwinden kann und Luftsäulen aus dem unteren Röhrenende emporsteigen. Alsdann herrscht im Niveau *b* des unteren Röhrenendes, solange der Wasserspiegel *c* nicht unter *b* sinkt, der äußere Luftdruck, und der Ausfluß des Wassers erfolgt nur unter dem Druck der Wassersäule *ab*, welche von der Ausflußmündung bis zum Niveau des unteren Röhrenendes reicht. Man kann daher das Wasser mittels der Mariotteschen Flasche, obgleich der Wasserspiegel sinkt, unter gleichbleibendem Druck und daher mit gleichbleibender Geschwindigkeit ausfließen lassen.

Je tiefer man die Röhre hineinschiebt, desto langsamer wird der Ausfluß und hört ganz auf, wenn man das Röhrenende in das Niveau der Mündung stellt.

92. **Heronsball** (Heron, 50 n. Chr.) heißt ein zum Teil mit Wasser gefülltes Gefäß (Fig. 95), in welches ein unter das Wasser hinabreichendes beiderseits offenes Rohr luftdicht eingesetzt ist. Ist der Druck der Luft im Gefäß größer als der äußere, so wird das Wasser in der Röhre gehoben

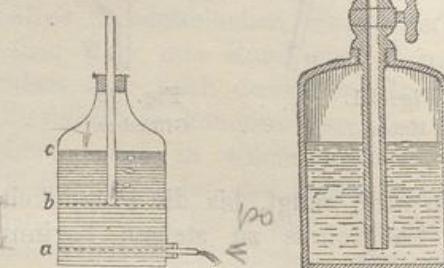


Fig. 94.
Mariottesche Flasche.

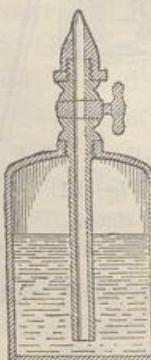


Fig. 95.
Heron's bell.

und springt als Wasserstrahl aus der oberen Mündung. Um den inneren Druck größer zu machen als den äußeren, kann man entweder die Luft im Innern verdichten durch Einblasen von Luft in das durch einen Hahn verschließbare Rohr mit dem Mund oder mittels der Kompressionspumpe, oder die äußere Luft verdünnen,

indem man den Heronsball unter die Glocke der Luftpumpe bringt. Ein Heronsball einfachster Form ist die Spritzflasche, durch deren luftdicht schließenden, doppelt durchbohrten Kork zwei Glasröhren gesteckt sind, deren eine fast bis auf den Boden der Flasche reichende oben umgebogen und in eine Spitze ausgezogen ist, während die andere dicht unter dem Kork mündet; bläst man in die letztere, so springt das Wasser in feinem Strahl aus jener Spitze. Die sogenannte Siphonflasche für moussierende Getränke ist ebenfalls ein Heronsball, bei dem die Flüssigkeit durch den Druck der aus ihr sich entwickelnden Kohlensäure emporgetrieben wird. Der Windkessel der Feuerspritze ist nichts anderes als ein großer Heronsball, in welchen mittels zweier abwechselnd wirkender Druckpumpen Wasser hineingepreßt und dadurch die im Innern des Windkessels eingesperrte Luft zusammengedrückt wird; öffnet man dann den Hahn des Steigrohrs, so treibt die innere Luft vermöge ihres erhöhten Drucks das Wasser in ununterbrochenem, kräftigem Strahl heraus. Heronsbrunnen nennt man einen Heronsball, in welchem die Luft durch den Druck einer Wassersäule zusammengedrückt wird (Zimmerfontaine).

93. **Stoßheber** (hydraulischer Widder) heißt eine von Montgolfier (1797) erfundene Wasserhebemaschine, welche durch die Wucht des fließenden Wassers einen Teil desselben auf eine größere Höhe hebt, als diejenige ist, von welcher das Wasser herabkommt. Er besteht aus einem Windkessel (Heronsball) *r*, in welchen das Steigrohr *d*, das bei *e* über dem zur Aufnahme des gehobenen Wassers bestimmten Behälter *l* mündet, luftdicht eingesetzt ist (Fig. 96). Der Windkessel ist unten mit einem Ventil *c* versehen, das sich nach oben öffnet; am freien Ende der Leitungsröhre *b*, welche von dem Behälter *a*, etwa einem Teich oder Fluß, herabkommt, befindet sich ein Ventil *v*, welches sich vermöge seines Gewichts nach unten öffnet. Das durch die Röhre *b* herabfließende Wasser reißt, wenn es eine gewisse Geschwindigkeit erlangt hat, das Ventil *v* mit sich und schließt es, hebt nun durch seine Wucht bei dieser plötzlichen Hemmung das Ventil *e*, dringt in den Windkessel und drückt die Luft in ihm zusammen, bis sich das Ventil durch den stärkeren Druck von oben schließt. Sobald nun das Wasser zur Ruhe gekommen, öffnet sich das Ventil *v* durch sein eigenes Gewicht und läßt Wasser ausfließen; dadurch kommt die Wassermasse wieder in Bewegung, schließt das Ventil *v* abermals, stößt das Ventil *e* auf und preßt unter regelmäßiger Wiederholung

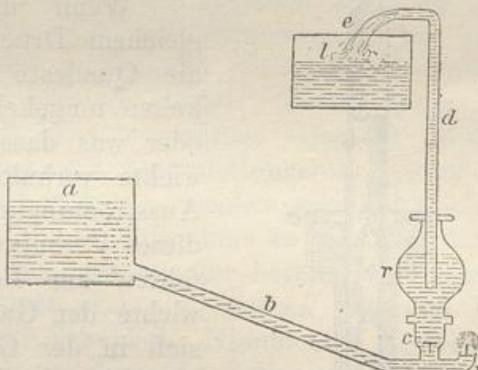


Fig. 96.
Stoßheber.

des Spiels der Ventile die Luft in dem Windkessel immer mehr zusammen, bis dieselbe imstande ist, vermöge ihres Druckes eine Wassermenge, die jedoch geringer ist als die gleichzeitig unten abfließende, durch die Steigröhre in den oberen Behälter zu fördern.

94. Ausströmen der Gase. Ein Gas strömt aus einem geschlossenen Behälter, in dessen dünner Wand eine Öffnung angebracht ist, in den äußeren Raum aus, wenn der Druck innen größer ist als außen. Für diesen Vorgang gelten die gleichen Betrachtungen wie oben (67) für das Ausströmen einer Flüssigkeit aus einer Öffnung in der Wand eines Gefäßes. Ist p der Überdruck des Gases in dem Behälter über den äußeren Druck, so wird das Gas mit der Geschwindigkeit

$$v = \sqrt{\frac{2p}{s}}$$

ausströmen.

Es gilt also unter den gemachten Voraussetzungen das folgende von Graham durch Versuche bewiesene Gesetz: die Ausströmungsgeschwindigkeit eines Gases ist der Quadratwurzel aus dem Überdruck direkt, der Quadratwurzel aus dem spezifischen Gewichte umgekehrt proportional.

Wenn daher verschiedene Gase unter gleichem Druck ausströmen, so verhalten sich die Quadrate ihrer Ausströmungsgeschwindigkeiten umgekehrt wie ihre spezifischen Gewichte, oder was dasselbe heißt, ihre spezifischen Gewichte verhalten sich wie die Quadrate der Ausströmungszeiten gleicher Raumteile. Auf dieses Verhalten hat Bunsen ein sinnreiches Verfahren zur Bestimmung der spezifischen Gewichte der Gase begründet. Das Gas befindet sich in der Glasküvette AA (Fig. 97), die sich oben in ein Röhrchen B verengt, in welches bei o ein dünnes Platinplättchen mit einer feinen Öffnung eingeschmolzen ist, aus der nach Wegnahme des Stöpsels s das Gas ausströmt. Die Röhre AA wird, während der Stöpsel aufgesetzt ist, so tief in das Quecksilber des Standgefäßes CC hinabgedrückt, daß die Spitze r des gläsernen Schwimmers DD genau im äußersten Niveau C des Quecksilbers erscheint. Wird der Stöpsel weggenommen, so beginnt das Gas unter dem Überdruck des äußeren über das innere Quecksilber auszuströmen, und man braucht jetzt nur die Zeit zu beobachten, die von der Wegnahme des Stöpsels an vergeht, bis die am Schwimmer angebrachte Marke t die äußere Quecksilberoberfläche erreicht hat. Hat man z. B. auf diese Weise

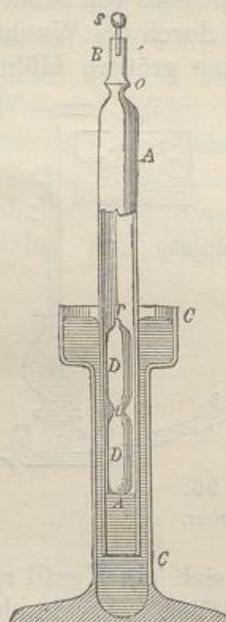


Fig. 97.

Bunsens Apparat zur Bestimmung der spezifischen Gewichte der Gase.

Stöpsel weggenommen, so beginnt das Gas unter dem Überdruck des äußeren über das innere Quecksilber auszuströmen, und man braucht jetzt nur die Zeit zu beobachten, die von der Wegnahme des Stöpsels an vergeht, bis die am Schwimmer angebrachte Marke t die äußere Quecksilberoberfläche erreicht hat. Hat man z. B. auf diese Weise

gefunden, daß gleiche Raumteile von atmosphärischer Luft und von Knallgas beziehungsweise 117,6 und 75,6 Sekunden zum Ausströmen gebrauchen, so ist das spezifische Gewicht des Knallgases auf Luft bezogen $= (75,6)^2 : (117,6)^2 = 0,413$.

95. Diffusion der Gase. Setzt man zwei Gefäße, von denen das obere Wasserstoffgas, das untere die 22 mal schwerere Kohlensäure enthält, miteinander in Verbindung, so werden nach einer gewissen Zeit die zwei Gase in beiden Gefäßen gleichmäßig verbreitet sein und ein Gasgemenge von durchaus gleicher Zusammensetzung bilden. Jedes Gas verbreitet sich in dem ganzen dargebotenen Raum allmählich so, als ob das andere nicht vorhanden wäre, vorausgesetzt, daß sie nicht chemisch aufeinander einwirken. Deshalb ist der Druck eines Gasgemisches gleich der Summe der Drucke der einzelnen Gase. (Gesetz von Dalton, 1803.) Man nennt diesen Vorgang Diffusion. Aus der Diffusion erklärt es sich, daß in unserer Atmosphäre das schwerere Sauerstoffgas und das leichtere Stickstoffgas in allen Höhenschichten stets das gleiche Mischungsverhältnis bewahren.

Werden zwei Gase durch eine poröse Scheidewand, z. B. durch eine dünne Platte aus unglasiertem gebrannten Ton oder aus Gips, voneinander getrennt, so findet der Austausch der beiden Gase durch die Poren der Scheidewand statt, wobei das spezifisch leichtere Gas schneller hindurchdringt als das spezifisch schwerere. Über eine poröse Tonzelle (wie man sie für galvanische Elemente verwendet), in deren nach unten gekehrte Öffnung mittels eines Korkes ein U-förmiges, in der Biegung mit Wasser gefülltes Glasrohr (Manometer) eingesetzt ist, werde eine mit Gaszuleitungsrohr versehene Glasglocke gestülpt. Läßt man Leuchtgas, welches spezifisch leichter ist als Luft, in die Glocke strömen, so diffundiert es schneller durch die Tonwand in die Zelle, als die Luft aus ihr heraus, und erhöht den Druck im Innern; das Wasser sinkt im inneren Schenkel des Manometers und steigt im äußeren Schenkel. Nimmt man die Glocke weg, so geht das Leuchtgas, mit welchem die Zelle jetzt erfüllt ist, schneller zur umgebenden Luft hinaus als diese hinein, der Druck im Innern wird geringer, und die Wassersäule steigt im inneren und fällt im äußeren Schenkel. Das Umgekehrte findet statt, wenn man die spezifisch schwerere Kohlensäure in die Glocke leitet.

Man hat dieses Verfahren zur Erkennung der Anwesenheit von Grubengas (schlagenden Wettern) in der Luft der Kohlenbergwerke nutzbar zu machen gesucht. Bringt man nämlich ein mit einer porösen Tonplatte verschlossenes Gefäß, welches mit dem einen Schenkel einer U-förmigen mit Quecksilber gefüllten Glasröhre in Verbindung steht, in die mit jenem Gas vermischt Grubenluft, so wird infolge der schnelleren Diffusion des spezifisch leichteren Grubengases der Druck im Innern des Gefäßes vermehrt, die Quecksilbersäule im anderen Schenkel steigt und kann nun, indem sie durch Schließung

eines galvanischen Stromes eine elektrische Klingel in Bewegung setzt, die drohende Gefahr verkünden.

Nach Graham verhalten sich die Diffusionsgeschwindigkeiten zweier Gase umgekehrt wie die Quadratwurzeln ihrer spezifischen Gewichte; Wasserstoffgas z. B. durchdringt die Scheidewand 4 mal schneller als das 16 mal schwerere Sauerstoffgas.

96. Absorption der Gase. Flüssigkeiten sind fähig, Gase, die mit ihnen in Berührung stehen, in sich aufzunehmen, aufzulösen. Man nennt diesen Vorgang *Absorption*.

Das sogenannte Sodawasser ist nichts anderes als Wasser, welches Kohlensäure absorbiert hat und dieses Gas nunmehr aufgelöst in sich enthält. 1 Liter Wasser löst bei 15°C . stets 1 Liter Kohlensäure, unter welchem Druck auch das Gas stehen mag; da nun nach dem Mariotteschen Gesetze bei dem doppelten, dreifachen, vierfachen usw. Druck in demselben Raum die doppelte, dreifache, vierfache usw. Gasmenge enthalten ist, so folgt, daß (bei unveränderter Temperatur) das Gewicht der von einer bestimmten Flüssigkeit verschluckten Gasmenge in demselben Verhältnis steht wie der Druck, unter welchem die Absorption stattgefunden hat (Henrys Gesetz, 1803). Bei der Sodawasserfabrikation wird der Druck, welcher nötig ist, um das Wasser mit einer genügenden Menge Kohlensäure zu sättigen, entweder durch das in engem Raum sich entwickelnde Gas selbst oder durch geeignete Pumpwerke hervorgebracht. Die Champagnerbereitung beruht ebenfalls darauf, daß die bei der Gärung gebildete Kohlensäure unter dem hohen Druck, welchen sie in der verkorkten Flasche erreicht, in der Flüssigkeit absorbiert bleibt. Dieser Druck ist es, welcher den gelockerten Kork mit einem Knall hinaustreibt; aus der Flüssigkeit, welche in der geöffneten Flasche nur noch dem gewöhnlichen Luftdruck ausgesetzt ist, entweicht jetzt die Kohlensäure, welche vorher durch den hohen Druck in ihr festgehalten war: der Champagner schäumt.

Das Absorptionsvermögen ist verschieden je nach der Natur der Flüssigkeit und des Gases, welche aufeinander einwirken. Besonders gierig wird Ammoniakgas von Wasser verschluckt. Durch den Kork eines mit diesem Gas gefüllten Kolbens sei eine Glasröhre gesteckt, deren inneres Ende offen, deren äußeres mit einem kleineren Kork verschlossen ist. Taucht man letzteres Ende in ein Gefäß mit Wasser und öffnet es, so stürzt das Wasser wie ein Springbrunnen in den Kolben und erfüllt ihn bald ganz, nachdem sämtliches Gas absorbiert ist. Hat man das Wasser in dem Gefäß mit angesäuerter Lackmustinktur rötlich gefärbt, so wird es im Innern der Flasche durch die alkalische Wirkung der gebildeten Ammoniakflüssigkeit blau. Die käufliche Ammoniakflüssigkeit (Salmiakgeist) ist mit absorbiertem Ammoniakgas, ebenso die käufliche Salzsäure mit Chlorwasserstoffgas gesättigtes Wasser.

Ein Raumteil Wasser absorbiert bei 15°C . 727 Raumteile Ammoniakgas, 450 Chlorwasserstoff, 43,5 schweflige Säure, $3\frac{1}{4}$ Schwefel-

wasserstoff, 1 Kohlensäure, $\frac{1}{34}$ Sauerstoffgas, $\frac{1}{70}$ Stickstoffgas; 1 Raumteil Alkohol dagegen verschluckt 3,2 Raumteile Kohlensäure. Diese Zahlen, welche ausdrücken, wieviel Raumteile eines Gases von einem Raumteil einer Flüssigkeit verschluckt werden, unabhängig vom Druck, nennt man Absorptionskoeffizienten. Aus einem Gemenge von Gasen absorbiert eine Flüssigkeit soviel von jedem einzelnen Gas, als dem Druck entspricht, welchen dieses Gas ausüben würde, wenn es allein vorhanden wäre (Daltons Gesetz). Es wird daher z. B. die absorbierte Kohlensäuremenge nicht vergrößert, wenn man in den über dem Wasser befindlichen, mit Kohlensäure erfüllten Raum ein anderes Gas, z. B. atmosphärische Luft, hineinpreßt. Die atmosphärische Luft ist bekanntlich ein Gemenge von 21 Raumteilen Sauerstoffgas mit 79 Raumteilen Stickstoffgas; wären die Absorptionskoeffizienten dieser beiden Gase einander gleich, so müßte die im Wasser absorbierte Luft in demselben Verhältnis aus ihnen zusammengesetzt sein. Da jedoch der Sauerstoff eine größere Absorptionsfähigkeit besitzt als der Stickstoff, so ist die im Wasser aufgelöste Luft verhältnismäßig reicher an Sauerstoff als die gewöhnliche Luft, indem sie von diesem für die Atmung notwendigen Gas 35 Prozent (statt nur 21 Prozent) enthält, gegenüber 65 Prozent des nicht atembaren Stickstoffs. Dieses Verhalten ist von Wichtigkeit für die mit Kiemen versehenen Wassertiere, welche die im Wasser absorbierte Luft atmen. Das Absorptionsvermögen nimmt in der Regel mit steigender Temperatur ab. Das Wasser z. B. verschluckt bei 0° : 1,8, bei 15° : 1, bei 20° : 0,9 Raumteil Kohlensäure. Beim Erwärmen entweicht daher ein Teil des Gases aus einer gashaltigen Flüssigkeit, und durch Sieden werden die meisten absorbierten Gase vollständig ausgetrieben. Andererseits geben manche Metalle, namentlich Silber und Kupfer, welche im geschmolzenen Zustande Sauerstoff absorbieren, das verschluckte Gas beim Erkalten wieder ab, wobei das aus dem noch flüssigen Metall stürmisch entweichende Gas feine Tropfen des Metalls umherschleudert. Man nennt diese Erscheinung Spratzen. Auch feste Metalle vermögen Gase zu verschlucken und, in sich eingeschlossen (okkludiert), zu beherbergen; Palladiummetall z. B., welches eine Zeitlang in verdünnter Schwefelsäure als negativer Pol einer galvanischen Säule gedient hat, kann das 936 fache seines Rauminhalts an Wasserstoffgas in sich aufnehmen; dieser Vorgang wird „Okklusion“ genannt. Platin und Eisen absorbieren in der Glühhitze Wasserstoffgas, letzteres besonders leicht auch Kohlenoxydgas, und behalten diese Gase dann auch bei gewöhnlicher Temperatur zurück.

Übrigens besitzen alle festen Körper die Eigenschaft, die sie umgebenden Gase an ihrer Oberfläche zu verdichten; jeder Körper, welcher eine Zeitlang an der Luft oder in einem anderen Gas gelegen hat, bedeckt sich an seiner Oberfläche mit einer verdichteten Gasschicht, welche durch Adhäsion fest an ihm haftet und nur durch Erhitzen oder sorgfältiges Putzen mit Alkohol, ausgeglühtem Tripel,

Kohlenpulver usw. entfernt werden kann. Da diese Art der Absorption, welche man passender Adsorption nennt, von der Größe der Oberfläche des wirksamen Körpers abhängt, so zeigt sie sich in besonders hohem Grade bei porösen Körpern, wie z. B. Holzkohle, weil hier die Innenwände der unzähligen feinen Höhlungen eine im Verhältnis zum Rauminhalt des Körpers außerordentlich große Oberfläche darbieten. Bringt man in eine über Quecksilber in der pneumatischen Wanne mit Kohlensäure gefüllte Glasröhre von unten her durch das Quecksilber ein Stück frisch ausgeglühter Holzkohle, so verschluckt diese allmählich das Gas, und das Quecksilber samt der auf ihm schwimmenden Kohle steigt nach. Auf diese Weise findet man, daß Buchsbaumkohle, welche durch Ausglühen von der in ihr absorbiert gewesenen Luft befreit worden, das 35 fache ihres Rauminhals an Kohlensäure, das 90 fache an Ammoniak einzuschlucken vermag. Da das absorbierte Gas verdichtet wird, jede Verdichtung aber von Wärmeentwicklung begleitet ist, so findet bei jeder Absorption Erwärmung statt, welche sich unter Umständen bis zur Glühhitze steigern kann. Daraus erklärt sich die bisweilen sich erzeugende Selbstentzündung der zum Behuf der Schießpulverbereitung fein gemahlenen und zu großen Haufen aufgeschütteten Holzkohle. Das in den Apotheken als Heilmittel geführte, auf chemischem Weg dargestellte fein gepulverte Eisen absorbiert, wenn man es ausschüttet, den Sauerstoff der Luft so heftig, daß es sich entzündet und verbrennt. Körper, welche diese Eigenschaft besitzen, heißen Pyrophore oder Luftpünder. Läßt man auf Platinschwamm (d. h. feinporöses Platin, wie es durch Glühen von Platinsalmiak gewonnen wird), welcher Sauerstoff aus der Luft aufgenommen und in seinen Poren verdichtet hat, Wasserstoffgas strömen, so wird auch dieses Gas absorbiert unter solcher Wärmeentwicklung, daß der Platinschwamm glühend und der Wasserstoffstrom entzündet wird; hierauf gründet sich Döbereiners Zündmaschine. Viele Körper besitzen das Vermögen, den Wasserdampf aus der Luft zu absorbieren und ihn zu Wasser zu verdichten, z. B. die konzentrierte Schwefelsäure; feste Körper werden dadurch feucht und zerfließen endlich in dem absorbierten Wasser, z. B. Kochsalz, Pottasche, Chlorkalzium. Gewöhnliches (alkalireiches) Glas überzieht sich an seiner Oberfläche mit einer dünnen Wasserschicht. Man nennt solche Körper hygroskopisch; viele Körper aus dem Tier- und Pflanzenreich, z. B. Haare, Fischbein, Darmsaiten, Holz usw. zeigen sich ebenfalls hygroskopisch, indem sie aus feuchter Luft Wasser in sich aufnehmen und dadurch anschwellen.