# Zur Einführung in die Physik.

(Schluß.)

## II. Hälfte des 2. Teiles.

### § 9.

### Luftförmige Körper, Luftdruck.

1. Versuch. In einen Glascylinder wird ein luftdicht schließender Kolben schnell hineingepreßt: Beim Aufhören des Druckes steigt derselbe wieder in die Höhe.

2. Dem.-Obj. Modell einer gewöhnlichen Saugpumpe aus Glas.

3. Torricellis Versuch. Oben verschlossene Glasröhren, teils länger, teils kürzer als 76 cm, werden mit Quecksilber gefüllt und umgekehrt in ein Gefäß mit Quecksilber getaucht. Beobachtung: In den Röhren, die kürzer sind als 76 cm, bleibt das Quecksilber bis zur Spitze stehen; in denjenigen, welche länger sind, fällt es, bis es cca. 76 cm über dem äußeren Niveau steht, gleichgiltig, wie viel länger die Röhre ist als 76 cm. Werden die Röhren geneigt, so steigt das Quecksilber in denselben, bis seine Kuppe wieder in der früheren, vertikal gemessenen Höhe steht.

4. Versuch. Schüttet man auf das Quecksilber des vorigen Versuches Wasser und hebt die längeren Röhren soweit empor, daß die Mündung in das Wasser hineinragt, so steigt letzteres in denselben aufwärts und füllt den vorher leeren Raum über dem Quecksilber völlig aus.

5. Versuch. Ein beiderseits offenes Glasrohr wird in Quecksilber getaucht: Das Quecksilber steht innen niedriger als außen.

6. Versuch. Ein Manometer, d. h. ein Rohr, dessen einer Schenkel abgeschlossen und mit Quecksilber gefüllt ist, wird unter den Recipienten einer Luftpumpe gebracht und evacuiert: Das Quecksilber sinkt im verschlossenen Schenkel und stellt sich in beiden Schenkeln nahezu gleich hoch.

#### Erläuterungen.

Luftförmig nennen wir diejenigen Körper, welche neben der leichten Verschiebbarkeit ihrer Teile noch die Eigenschaft besitzen, daß sie sich zusammendrücken lassen und dann wieder sich nach allen Richtungen hin auszudehnen streben.

Da die Teilchen derselben sich ohne Widerstand gegen einander verschieben lassen, so pflanzt sich ein auf dieselben ausgeübter Druck wie bei den tropfbar flüssigen Körpern nach allen Richtungen hin gleichmäßig fort. Sie unterscheiden sich von den flüssigen Körpern durch das Bestreben, sich auf einen immer größeren Raum auszudehnen, und durch die Fähigkeit, auf einen immer kleineren Raum zusammen-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gedrückt werden zu können. (Vers. 1) Man hat sie daher zum Unterschiede von den tropfbar flüssigen Körpern auch wol ausdehnsam oder elastisch (expansiv) flüssige Körper genannt.

Während die festen Körper bestimmtes Volum und bestimmte Gestalt haben, die flüssigen noch bestimmtes Volum, aber keine bestimmte Gestalt mehr besitzen, haben die luftförmigen Körper weder bestimmtes Volum noch bestimmte Gestalt. Als Repräsentant der luftförmigen Körper dient uns die atmosphärische Luft, welche den Erdball mit einer bis zu 50 Meilen hohen Schicht umgiebt, wie man aus dem Aufblitzen von Meteoren in dieser Höhe geschlossen hat. (Heis.) Während die Meere nur an gewissen Orten den Erdball bedecken, breitet sich die Luft als schützende Hülle in seiner ganzen Erstreckung um denselben aus. Da die tropfbaren Flüssigkeiten incompressibel sind, so hat das Meer auf seinem Grunde eine nur um einen verschwindend kleinen Bruchteil größere Dichte als an der Oberfläche; die Luft aber als compressibele Masse ist in ihren tieferen Regionen infolge des Druckes der überlagernden Luftschichten bedeutend dichter als in der Höhe und erreicht in größerer Entfernung von der Erdoberfläche allmählich eine solche Verdünnung, daß sie für uns mehr und mehr unbemerkbar wird.

Da ein auf flüssige Körper ausgeübter Druck sich nach allen Richtungen gleichmäßig fortpflanzt, so muß auch jeder in der Luft befindliche Körper den Druck erleiden, unter dem die Luft an diesem Orte selbst steht, welche Lage und Gestalt auch die Oberfläche desselben habe. Der erste, welcher die Existenz des Luftdruckes entdeckte, war Torricelli (1645), ein Schüler Galileis.

Damals hatten Pumpenmeister in Florenz Saug-Pumpen angelegt, deren Saugröhren mehr als 10 m. lang waren. Sie bemerkten bald, daß das Wasser nicht bis zum Kolben emporstieg und fragten Torricelli um Rat. — Schon Aristoteles (cca. 300 Jahre vor Christus) hatte die Wirkungsweise der Pumpen dahin erklärt, daß die Natur eine Scheu vor dem leeren Raume habe (horror vacui), keinen leeren Raum dulde und daß sie deshalb den Raum, der durch Emporziehen des Kolbens sonst luftleer würde, sofort wieder auszufüllen strebe. Aristoteles wußte auch schon, daß das Wasser in den Pumpen nur bis zu 10 m über das äußere Wasserniveau in die Höhe steigt, vermochte aber keine andere Erklärung dafür zu geben, als daß hier die Scheu vor dem leeren Raum eine Grenze habe. — Torricelli konnte sich mit dieser Erklärung nicht zufrieden geben, sondern suchte zu erforschen, wie die Natur sich anderen Flüssigkeiten gegenüber mit Rücksicht auf den leeren Raum verhalte. Er füllte zu diesem Zwecke mehrere oben geschlossene Glasröhren mit Quecksilber und stülpte sie unter Quecksilber um. Da sah er denn, daß in einigen, die kürzer waren als 760 mm, das Quecksilber bis oben hin stehen blieb, in längeren Röhren aber stets so tief heruntersank, daß die Höhendifferenz der äußeren und inneren Quecksilberkuppe ca. 760 mm betrug.

Das Quecksilber drängt in allen Fällen mit seinem ganzen Gewichte nach unten: Welches ist die Kraft, die diesem Gewicht das Gleichgewicht hält?

Eine Scheu vor dem leeren Raum ist keine durchschlagende Erklärung; in sehr vielen Fällen bildet sich ein bald größerer, ein bald kleinerer leerer Raum. (Vacuum Torricellianum).

Durch die Anziehung der Glasröhre kann diese Erscheinung auch nicht bewirkt werden; denn wenn man eine offene Glasröhre in Quecksilber taucht, so stellt sich dasselbe im Innern der Röhre bei weiten Röhren ebenso hoch, bei engen sogar tiefer als im äußeren Niveau. (Capillar-Depression).

Es läßt sich keine andere Kraft ergründen, als eine solche, die auf die äußere Fläche des Quecksilbers im Gefäße drückt. Hier befindet sich aber nur die Luft; folglich ist es der Luftdruck, der das Quecksilber in der Röhre in der Höhe erhält. Da das äußere Quecksilber mit einer gleich hohen inneren Säule im Gleichgewichte ist, so hat der Luftdruck nur diejenige Quecksilbersäule zu tragen, welche über dem äußeren Niveau steht.

Die Größe dieses Druckes läßt sich daraus leicht berechnen. Nehmen wir als Querschnitt der Röhre 1 qcm, so ist das Gewicht der Quecksilbersäule gleich: 76. 13,6 g=1033 g. Da nämlich das Volum der Röhre 76 ccm und 1 ccm Wasser ein g wiegt, so wiegt eine Wassersäule von gleichem Volum

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

76 g; da aber Quecksilber 13,6 mal so schwer ist wie Wasser, so wiegt die gleiche Quecksilbersäule 76.13,6 g=1033 g. Dieses ist aber das Gewicht, welchem der Luftdruck das Gleichgewicht hält. Die Luft drückt also im Mittel auf jedes qcm mit einem Gewichte von 1 kg 33 g.

Dieser Druck ist der Grund dafür, daß in der Natur ein leerer Raum nicht bestehen kann, sondern daß überall, wo sich ein solcher bilden müßte, Luft oder Wasser in denselben hineinzudringen suchen. Darin liegt also die Ursache für das Aufsteigen des Wassers in den Pumpen, sobald der Kolben in die Höhe gezogen wird; zugleich aber wird dadurch begründet, weshalb das Wasser nicht über 10 m emporsteigt. Denn da Wasser 13,6 mal so leicht ist wie Quecksilber, so wird der Luftdruck einer Wassersäule von 13,6.76 cm=10 m (cca.) das Gleichgewicht halten, eine höhere Wassersäule emporzutreiben aber nicht vermögen.

1. Anm. Der Einfachheit halber versteht man in der Technik nach dem Reichsgesetze von 1871 unter einem Atmosphärendrucke einen Druck von 1 kg auf 1 qcm.

2. Anm. Ein direkter Beweis, daß der Luftdruck das Quecksilber in der Höhe erhält, liegt darin, daß sich in einem Manometer unter der Glocke einer Luftpumpe das Quecksilber innen und außen, d. h. in beiden Schenkeln der Röhre, gleich hoch einstellt, wenn man die Luft auspumpt.

3. Anm. Geschichtliches. Torricelli stieß mit seiner Behauptung, daß der Luftdruck den sonst luftleeren Raum ausfülle, auf vielfachen Widerspruch. Besonders wurde der Einwand gemacht, daß, wenn er Recht habe, der Luftdruck an hoch gelegenen Punkten, z. B. auf hohen Bergen, geringer sein müsse, wie im Thale, da dort nicht mehr soviel Luft auf dem Quecksilber laste. Um diesen Einwand zu entkräften, stieg Pascal 1648 mit einem Torricellischen Apparate auf den Turm der Kirche St. Jacques zu Paris und sein Schwager Perrier 1649 auf den 6458 Pariser Fuß hohen Puy de Dôme. Da in beiden Fällen ein deutliches, im letzteren Falle sogar ein bedeutendes Sinken des Quecksilbers nachgewiesen wurde, so nahmen seit dieser Zeit auch die entschiedensten Gegner Torricellis Lehre vom Luftdrucke an.

4. Anm. Wird die Oberfläche des erwachsenen Menschen zu $1^1/_2$ qm=15000 qcm angenommen, so ergiebt sich der Druck, welchen dieselbe erleidet, zu cca. 15000 kg. Daß wir von diesem bedeutenden Drucke nichts fühlen, rührt daher, daß die Luft, welche die Hohlräume und Poren unseres Körpers ausfüllt, genau denselben Gegendruck leistet. Wenn wir daher auch für gewöhnlich den Luftdruck nicht bemerken, so ist unser Körper doch gegen plötzliche Druckveränderungen sehr empfindlich, und Personen, die in sehr kurzer Zeit zu bedeutenden Höhen (auf Bergen oder in Luftballons) emporgestiegen sind, berichten, daß sie oben aus Nase und Mund geblutet haben.

Aus der Abnahme des Luftdruckes mit der Höhe erklärt sich auch die größere Ermüdung beim Bergsteigen in höheren Regionen, als bei gleicher Steigung in tiefer gelegenen Gegenden, insbesondere die Ermüdung der Muskeln des Oberschenkels. Da nämlich das Oberschenkelbein in einen kugelförmigen Gelenkkopf endigt, der sich luftdicht in die kugelförmige Gelenkfläche des Beckens einfügt, so wird schon der Luftdruck das Oberbein am Rumpfe festhalten, und unsere Beinmuskeln werden nur wenig von dem Gewichte des Beines zu tragen haben. Daß dies wirklich der Fall ist, haben zuerst die Gebrüder W. Weber in Göttingen nachgewiesen, indem sie zeigten, daß der Oberschenkel auch ohne jede Sehnen- und Muskel-Verbindung fest am Becken hängen bleibt, sofort jedoch abfällt, wenn man den Beckenknochen von innen so durchbohrt, daß Luft in die Gelenkkapsel eintreten kann. — Da der Luftdruck nun in der Höhe geringer ist als in tieferen Regionen, so wird er dort auch nur einen geringeren Teil des Schenkelge-



Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wichts tragen als unten; dafür muß dann die Kraft der Beinmuskeln eintreten, die deshalb in höheren Gegenden mehr zu tragen hat als im Thale.

Fragen. 1. Ist der Luftdruck größer im Zimmer oder auf dem anstoßenden Balkon?

2. Wie groß ist der mittlere (normale) Luftdruck auf ein a) qmm? b) qm? c) eine Quadratmeile? d) ganz Europa? e) die übrigen Weltteile f) die ganze Erdoberfläche?

Der Druck auf die ganze Erdoberfläche ist gleich dem Gewichte der ganzen Atmosphäre der Erde.

§ 10.

## Barometer.

Dem.-Obj. a) Fortins Gefäß-, b) Gewöhnliches Birn-, c) Delucs und Gai-Lussacs Heber-Barometer.

Erläuterungen: Der Torricellische Apparat dient nicht allein dazu, die Existenz des Luftdruckes nachzuweisen, sondern auch, denselben seiner Größe nach zu messen. Man nennt ihn dann Barometer (βαρύς=schwer). Die Beobachtungen desselben haben ergeben, daß der Luftdruck zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten nicht immer derselbe, sondern in einem fortwährenden Schwanken begriffen ist. Man hat sich daran gewöhnt, als Maß für die Größe des Luftdrucks die Höhe der Quecksilbersäule anzugeben, welcher er das Gleichgewicht hält. In diesem Sinne reden wir von einem Luftdrucke von 760, 770 mm 2c.; es bedeutet dies also immer einen Druck, welcher einer Quecksilbersäule von 760, 770 mm das Gleichgewicht zu halten vermag. Bisweilen giebt man die Quecksilberhöhe statt in mm in Zollen an. Alsdann ist der mittlere Barometerstand für Deutschland 28″=760 mm.

Der ursprüngliche Torricellische Apparat ist aber später für die Luftdruck-Messung sehr vervollkommnet worden. So insbesondere in dem Fortinschen Barometer. Bei diesem ist der obere Teil des Gefäßes aus Glas, der untere aus Messing und enthält einen Lederbeutel, der sich dicht an das Glas anschmiegt. Das Quecksilber in demselben kann durch eine in dem Messingboden angebrachte Stellschraube mitsamt dem Lederbeutel so eingestellt werden, daß es genau die Spitze des Elfenbeinstäbchens, welches von der oberen Verschlußplatte in das Gefäß hineinragt, berührt; das Koincidieren der Spitze mit ihrem Spiegelbilde unter der Quecksilberoberfläche giebt genau diese Stellung an. Von dieser Spitze als Nullpunkt ist an dem Glasrohre, welches fest in die obere Verschlußplatte eingefügt ist, die Skala in Zollen oder mm abgetragen und erlaubt so ein direktes Ablesen der Erhebung der oberen Quecksilberkuppe über das Niveau der unteren. Für Reisezwecke ist das Barometer in eine dreiteilige Hülse eingeschlossen, die bei der Beobachtung als Gestell dient, um das Barometer senkrecht aufzuhängen. — Außer diesen und ähnlichen Gefäßbarometern unterscheidet man noch das Phiolen- und das Heber-Barometer. Beim ersteren läuft die untere senkrecht nach oben gebogene Barometerröhre in eine weitere Kugel aus, in der das Quecksilber bei mittlerem Luftdruck bis zur Mitte stehen soll. Von hier an ist die Skala auf dem Brette, worauf der Apparat befestigt ist, gerechnet. Sinkt aber das Quecksilber in der Röhre, so wird das Quecksilber in der Kugel steigen, folglich wird die Differenz der Quecksilberhöhen geringer sein, als die Skala angiebt, und man muß daher den beobachteten Druck etwas niedriger nehmen; steigt das Quecksilber in der Röhre über das Mittel, so sinkt es in der Kugel unter das Niveau des Mittelpunktes, und man muß dann zu dem beobachteten Drucke noch etwas hinzufügen, um den wirklichen Druck zu erhalten. Das Phiolen- oder Birn-Barometer zeigt daher niedrige Drucke nicht niedrig, und hohe Drucke nicht hoch genug. Außerdem ist sowohl für das Phiolen- wie das Fortinsche Barometer zu beachten, daß die Quecksilberkuppe infolge der Kapillar-Depression bei jedem Barometerstande etwas zu niedrig steht.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Das Heberbarometer ist das genaueste von allen Barometern. Es besteht aus einer gleichmäßig weiten, oben geschlossenen, unten offenen, nach oben gebogenen Röhre, hat also die Gestalt eines Hebers. Um hier die Erhebung der einen Quecksilberkuppe über die andere zu bestimmen, ist auf dem Stativ ein verschiebbarer Maßstab angebracht, dessen Nullpunkt bei jeder Beobachtung mit der unteren Quecksilberkuppe in gleiche Höhe gebracht werden muß. Die Höhe der oberen Kuppe läßt sich dann direkt oder genauer mit Lupe und Nonius ablesen. (De Luc.) Das Heberbarometer hat auch noch den Vorzug, daß sich in ihm die Kapillar-Depressionen des Quecksilbers in beiden Röhren aufheben, da sie gleich stark sind und sich entgegenwirken.

Bei dem Gai-Lussacschen Heberbarometer ist die kurze Röhre bis auf eine kapillare Oeffnung geschlossen; außerdem ist sie mit der längeren durch ein Röhrenstück verbunden, welches so enge ist, daß selbst beim Umkehren des Barometers kein Luftbläschen dahindurch in den längeren Schenkel und somit in die Torricellische Leere gelangen kann.

Nach Buntens Verbesserung ist das untere Ende des längeren Schenkels in eine Spitze mit feiner Oeffnung ausgezogen und von einem weiteren Röhrenstück umschlossen, an welches die enge Verbindungsröhre beider Schenkel angeschmolzen ist. Geschieht es nun auch, daß Luft durch die enge Röhre eindringt, so sammelt sie sich bei A, wo sie unschädlich ist.

Um mittels der genannten Barometer den Luftdruck richtig zu bestimmen, muß man noch folgende Bedingungen erfüllen:

1) Die Weite der Röhre darf nicht unter 3 mm betragen, damit die Kapillar-Depression vernachlässigt werden kann.
2) Das Quecksilber muß chemisch rein und frei von allen Beimengungen sein, damit es das specifische Gewicht von 13,596 besitze, auf welches sich alle genauen Beobachtungen und Berechnungen beziehen.
3) Es darf sich keine Luftblase in der Röhre und oberhalb des Quecksilbers befinden; zu diesem Zwecke muß das Barometer bei der Füllung hinreichend ausgekocht werden.
4) Bei jeder genauen Bestimmung des Luftdruckes ist die Temperatur des Quecksilbers zu berücksichtigen und die Höhe der Quecksilbersäule auf $0^0$ zu reducieren. Die Quecksilbersäule verlängert sich bei jedem Centesimalgrade um $^1/_{5550}$ ihrer Länge.

1. Anmerkung. Man kann jedes Barometer ansehen als ein Paar kommunicierender Gefäße, von denen das eine, die verschlossene Röhre, nur mit Quecksilber, das andere, der offene Schenkel, mit Quecksilber und der darüber lagernden, bis zur Grenze der Atmosphäre gehenden Luftsäule angefüllt ist. Beide Säulen halten sich das Gleichgewicht. Man wird daher stets einen Atmosphärendruck ersetzen können durch eine Quecksilbersäule von ca. 760 mm Höhe.

Fragen: 1. Welches ist die genaue Höhe einer Wassersäule, welche einem Luftdrucke von 760 mm das Gleichgewicht hält, wenn das Quecksilber 13,596 mal so schwer ist wie Wasser?

2) Welche Petroleumsäule übt einen Druck von 760 mm, das spec. Gew. des Petroleums zu 0,85 gerechnet?

3) Desgl. welche Säule von Schwefeläther, Weinzeist, Baumöl, Schwefelsäure von den spec. Gew. 0,736; 0,795; 0,92; 1,84?

## § 11.

## Aneroid-Barometer.

1. Versuch. In einen ringförmig gekrümmten, hohlen, an den Enden verschlossenen Metallreif wird durch eine mit dem Innern in Verbindung stehende Röhre Luft eingeblasen, dann herausgesogen. Beobachtung: Der Reif krümmt sich im ersten Falle nach innen, im zweiten nach außen.



Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

2. Versuch. Ein gleicher, aber ganz verschlossener Metallreif wird unter der Luftpumpe beim Evakuieren beobachtet.

3. Dem.-Obj. a) Bourdons Aneroid-Barometer, b) Bourdons Manometer, c) Vidis Aneroid-Barometer.

Erläut. Wenn man in einen hufeisenförmigen, hohlen Metallstreifen Luft hineinpreßt, so werden die Enden desselben weiter auseinandergedrängt; denn der Überdruck im Innern wirkt auf die nach außen gekehrte Seite des Hohlkörpers stärker als auf die innere, da selbe größer ist als letztere. Saugt man umgekehrt einen Teil der Luft aus demselben heraus, so muß er sich infolge des entstehenden äußeren Überdruckes nach innen krümmen. Lötet man den Reifen völlig zu, nachdem man vorher die Luft in ihm verdünnt hat, um ihn in eine gewisse Spannung zu versetzen, so hat man darin einen Apparat, der sich beim Wachsen des äußeren Luftdruckes zusammenkrümmt, beim Abnehmen desselben aber ausdehnt, was man leicht erkennen kann, wenn man ihn unter die Glocke einer Luftpumpe bringt und evakuiert. Bourdon hat einen solchen Hohlreifen als Barometer benutzt. Er befestigt seinen Apparat in der Mitte auf einer Scheibe und bringt an den Enden desselben Stäbchen an, welche an einem Zeiger nahe bei der Achse desselben drehend angreifen. Die Bewegungen des Zeigers geben die Änderungen des Luftdruckes an; der Vergleich mit einem richtig gehenden Quecksilberbarometer giebt die Einteilung in Grade. Derartige Instrumente heißen Aneroidbarometer (α — ohne, νηρός zusammenhängend mit Νηρεύς — flüssig) oder Holosterik- (Ganz — starr) Barometer. Der Bourdonsche Hohlreif findet auch Anwendung als Manometer (Druckmesser) bei Dampfmaschinen 2c., indem der Dampf direkt in den Hohlreifen hineinpressen und die Stellung des Zeigers verändern kann. — Vidi wählt zu seinem Aneroidbarometer statt des Hohlreifens eine vollkommen luftdicht verschlossene Kapsel mit verdünnter Luft, deren untere Platte fest liegt, und deren obere mit wellenförmigen, vom Mittelpunkte ausgehenden Erhöhungen und Vertiefungen versehen ist, damit sich ihr Mittelpunkt um so leichter, den Änderungen des Luftdruckes folgend, heben und senken könne. In diesem Punkte ist das kürzere Ende eines Hebels befestigt, welcher seine Bewegung durch mehrere Hebelwerke vergrößert auf einen Zeiger überträgt, der durch eine Feder in eine gewisse Gleichgewichtslage gedrängt wird. Die Einteilung geschieht auch hier nach einem richtigen Quecksilberbarometer. Sollte der Zeiger durch irgend welche Einflüsse aus seiner richtigen Lage herauskommen, so kann man ihn mittels einer auf der Rückseite angebrachten Schraube wieder einstellen. — Man findet derartige Hohlkapseln auch wol zu mehreren über einander festgelötet, immer die Mitte der unteren mit der Mitte der oberen Platte fest verbunden; alsdann giebt die obere Platte die Summe der Hebungen und Senkungen der einzelnen Platten an.

Ein Aneroidbarometer läßt sich sehr gut zum Selbstregistrieren verwenden, indem man das Ende eines der Hebelarme stark verlängert auf einer um eine vertikale Achse sich gleichmäßig drehenden Papiertrommel schleifen und seine Stellungen darauf einzeichnen läßt. Verbindet man die Papiertrommel mit einem Uhrwerke, welches sie jede Woche einmal um ihre Achse dreht, und bestimmt dann durch Vergleichung mit einem richtigen Quecksilberbarometer die zu den einzelnen Punkten gehörigen Barometerstände, so hat man in den auf der Trommel eingezeichneten Kurven ein getreues Bild von den Veränderungen des Luftdruckes.

Anm. Im praktischen Leben, in Fabriken 2c., bedient man sich häufig eines Metallmanometers. Der Dampf strömt unten ein und drückt gegen eine gewellte Gußstahlplatte, welche mittels einer Stange an einem Rade drehend angreift. Die Rotation dieses Rades wird auf ein anderes, mit einem Zeiger versehenes, übertragen.

Man läßt nun auf den Apparat a) den gewöhnlichen Luftdruck b) 2, 3, 4, 5 2c. Atmosphären

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wirken und bezeichnet die Punkte, auf welche der Zeiger hinweist, der Reihe nach mit 0, 1, 2, 3, 4 ꝛc. Der so geaichte Apparat wird dann dem Gebrauche übergeben.

Zeigt ein solches Manometer, welches z. B. an einem Dampfkessel angebracht ist, auf 4, so ist im Kessel ein Druck von 5 Atmosphären vorhanden, der Dampf hat also gegen die äußere Luft einen Ueberdruck von 4 Atmosphären.

§ 12.

## Schwankungen des Luftdruckes.

## Verteilung des Luftdruckes auf der Erdoberfläche.

1. Dem.-Obj. Karte der Isobaren für die Erdoberfläche.

Erläuterungen: Vergleicht man die verschiedenen Barometerstände im Laufe des Jahres nach Reduktion auf 0° C, so findet man mannigfaltige Schwankungen. Dieselben sind geringer am Äquator, wo sie — Ausnahmefälle abgerechnet, z. B. heftige Stürme — nur etwa eine Linie betragen, während sie nach den Polen zu und mit der tieferen Lage des Ortes größer werden. So betragen sie in unseren Breiten schon etwa 2 Zoll.

Man unterscheidet die Veränderungen des Luftdruckes in periodisch regelmäßige und unregelmäßige.

Die regelmäßigen Schwankungen zerfallen in tägliche und jährliche.

Die ersteren zeigen sich am stärksten in den Tropen. In dieser Region bis zu den Wendekreisen erreicht das Barometer täglich um 10 Uhr morgens und 10 Uhr abends ein Maximum und um 4 Uhr morgens und 4 Uhr nachmittags ein Minimum.

Auch außerhalb der Wendekreise lassen sich solche Maxima und Minima erkennen, wenn man das Mittel aus vielen Beobachtungen in den verschiedenen Tagesstunden zieht. — Berechnet man den mittleren Luftdruck für die einzelnen Tage des Jahres, so findet man, daß derselbe im Sommer geringer ist als im Winter. — Nimmt man endlich für den ganzen Verlauf des Jahres aus den sämtlichen täglichen Barometerständen eines Ortes das arithmetische Mittel, so zeigt sich, daß dieses für jeden Ort im ganzen und großen konstant ist. Berechnet man für diejenigen Orte, welche nicht im Meeresniveau liegen, wie groß der Luftdruck sein würde, wenn sie bis zu diesem Niveau einsänken, so findet sich, daß der auf 0° C und das Meeresniveau reducierte mittlere jährliche Luftdruck für alle die Orte, welche auf demselben Breitengrade liegen, nahezu der gleiche ist. Besonders tritt dies auf der südlichen Halbkugel hervor, wo die Erdoberfläche gleichförmiger und die Bewegung der Luft daher regelmäßiger ist. Es stellt sich heraus, daß vom Äquator an, wo der Luftdruck etwa 338—339 Linien beträgt, nach Norden und Süden bis zum 33. Breitengrade etwa der Luftdruck zunimmt, von da bis zum 66. Breitengrade geringer wird und, in höheren Breiten von neuem wächst. — Es ist augenscheinlich eine Folge der großen äquatorial-polaren Luftströmung, welche am Äquator, wo die erwärmte Luft aufsteigt, und in der gemäßigten Zone, der Zone der veränderlichen Winde, wo die großen Wirbelstürme, die Cyklonen, ebenfalls ein Aufsteigen der Luft in ihrem Trichter veranlassen, eine Druckverminderung, — in der Gegend des 33. Breitengrades aber, wo bereits ein Teil der am Äquator aufgestiegenen Luft herunter sinkt, sowie in der Nähe der Pole, wo die kalte Luft schwer nach unten fällt, eine Druckerhöhung bewirken muß.

Die Wärme und die durch sie bewirkten Luftbewegungen sind die wesentlichste Ursache für die Barometerschwankungen; neben ihr kommt in geringem Grade auch der Feuchtigkeitsgehalt der Luft in Betracht.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Je feuchter die Luft, um so leichter muß dieselbe bei sonst gleichen Verhältnissen, (Druck, Temperatur 2c.) sein.

Da sich nämlich das Durchschnittsgewicht eines Moleküls reiner Luft zum Gewichte eines Wassermoleküls verhält wie: 14.45 : 9, und da nach dem Avogadroschen Satze in gleichen Raumteilen unter denselben Verhältnissen immer gleich viel Moleküle enthalten sind, so muß die Luft um so leichter werden, je mehr ihrer Moleküle durch Wassermoleküle ersetzt werden, d. h. je feuchter die Luft wird.

Dieselben Kräfte, welche die regelmäßigen Veränderungen des Luftdruckes herbeiführen, bewirken auch die unregelmäßigen Schwankungen, die namentlich außerhalb der Wendekreise viel bedeutender sind, als die regelmäßigen. Auch diese stehen im engsten Zusammenhange mit dem durch Temperaturveränderungen hervorgerufenen Wechsel der Luftströmungen und Winde. Mit der Änderung der Windrichtung hängt aber die des Wetters eng zusammen. Im mittleren Europa bringen die Südwestwinde, da sie von wärmeren Meeren kommen und deshalb viele Feuchtigkeit mit sich führen, trübes Wetter resp. Regen, während die kalten Nordwinde nur wenig feucht, und die Ostwinde als Landwinde sehr trocken sind und daher meist heiteres Wetter im Gefolge haben. Da aber die Südwestwinde wärmere und also leichtere Luft mit sich führen, so muß bei ihrem Vorherrschen das Barometer niedrig, bei den andern dagegen hoch stehen. Da eine Änderung der Luftströmung gewöhnlich zuerst in den oberen Regionen eintritt, den Luftdruck aber sofort bis unten hin beeinflußt, so können wir aus der Schwankung des Barometers auf eine baldige Änderung des Luftdrucks schließen. Starke Schwankungen deuten immer auf heftige Luftbewegungen, Stürme.

Insofern kann das Barometer als „Wetterglas" angesehen werden; der Stand der Quecksilberkuppe bei „Schön — Veränderlich — Regen" ist für die Vorausbestimmung des Wetters von geringerer Bedeutung.

§ 13.

## Mariottes Gesetz.

1. Versuch. In dem kurzen, verschlossenen Schenkel einer U-förmigen Röhre, deren anderer Schenkel mehrere Meter lang ist, wird ein Volumen Luft durch Quecksilber, welches in beiden Schenkeln gleich hoch eingestellt wird, abgesperrt. Man gießt in der längeren Röhre so viel Quecksilber zu, daß es um die einfache, doppelte, dreifache Länge des derzeitigen Barometerstandes höher steht, als im abgeschlossenen kürzeren Schenkel. Beob.: Die eingeschlossene Luft wird dabei auf die Hälfte, ein Drittel, Viertel ihres ursprünglichen Volums zusammengepreßt.

2. Versuch. Eine dünne, oben verschlossene Röhre wird zum Teil mit Quecksilber gefüllt und in eine weitere mit Quecksilber gefüllte Röhre umgekehrt eingesenkt, so daß die innere Quecksilberkuppe 1) mit der äußeren gleich steht, 2) die äußere um den halben Atmosphärendruck, 3) $^2/_3$, $^3/_4$, $^4/_5$ 2c. Atmosphärendruck übertrifft. Beobachtung: Das (im ersten Falle) eingeschlossene Luftvolum hat sich auf das Doppelte, Drei-, Vier-, Fünffache 2c. ausgedehnt.

3. Dem.-Obj. Quecksilber-Manometer (Druck-Messer).

Erläuterungen: Da die Luft kompressibel ist, so läßt sie sich durch Druck auf ein geringeres Volumen zusammenpressen und zwar um so mehr, je größer der Druck ist. Um das dafür geltende Gesetz zu erforschen, schließen wir ein bestimmtes Volum Luft in einer U-förmig gebogenen Glasröhre ab und pressen dasselbe durch einen Überdruck im anderen Schenkel zusammen; wir finden dann, daß die Luft

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

auf ihr halbes Volum zusammengedrückt ist, wenn der Quecksilberüberdruck die Größe des Luftdruckes erreicht hat, wenn also auf das eingeschlossene Volum der doppelte Druck wirkt. Es ist nur $^1/_3$ des ursprünglichen, wenn wir den Quecksilber-Überdruck doppelt so groß wie den Atmosphärendruck, also im ganzen einen Druck von 3 Atmosphären nehmen. Arago und Dulong haben nachgewiesen, daß dies Gesetz noch beim Drucke von 27 Atmosphären gilt, daß also dann das eingeschlossene Luftvolum auf $^1/_{27}$ des ursprünglichen zusammengepreßt ist.

Gesetz { Demnach ist das Volumen der Luft dem auf ihr lastenden Drucke, oder was dasselbe ist, ihrer eigenen Spannung oder Expansivkraft, d. h. der Kraft, womit sie dem Drucke Widerstand leistet, umgekehrt proportional. Da ferner die Dichte mit der Zusammenpressung zunimmt, so ist die Dichte dem Drucke oder der Spannkraft direkt proportional.

Regnaults Versuche (1845) ergaben, daß bei höheren Drucken die Dichte etwas stärker zunahm, sowie daß auch die Temperatur mit einwirkt, indem das Gesetz bei höheren Temperaturen besser erfüllt ist, wie bei niederen. Obiges Gesetz, welches von Boyle (1660) zuerst und unabhängig davon (1676) von Mariotte entdeckt wurde, heißt das Mariottesche Gesetz.

Es gilt am genauesten für die sogenannten permanenten Gase, für die übrigen näherungsweise, und zwar um so genauer, je weiter sie von ihrem Siedepunkte entfernt sind, d. h. von dem Punkte, wo sie in den flüssigen Zustand übergehen.

Läßt man unter eine mit Quecksilber angefüllte, in einem weiteren Cylinder stehende, oben verschlossene Glasröhre etwas Luft aufsteigen und stellt dann die Röhre zunächst so, daß das Quecksilber außen und innen gleich hoch steht, so befindet sich das abgeschlossene Volum augenscheinlich unter demselben Drucke wie die äußere Luft, da die Quecksilberdrucke sich gegenseitig aufheben.

Hebt man dann die innere Röhre empor, so zeigt sich, daß das Quecksilber in derselben sinkt, aber nicht bis zum Niveau des äußeren. Mißt man die Erhebung der inneren Quecksilberkuppe über die äußere, wenn das Luftvolum sich verdoppelt hat, so findet man, daß sie den halben Luftdruck repräsentiert. Da wir diesen Druck als entgegengesetzt vom Luftdrucke subtrahieren müssen, so bleibt als wirksamer Druck noch ein halber Atmosphärendruck übrig. — Heben wir die innere Röhre höher, bis die eingeschlossene Luft sich auf das Dreifache ihres ursprünglichen Volums ausgedehnt hat, so finden wir die Differenz der beiden Quecksilberkuppen gleich $^2/_3$ des Luftdrucks, so daß als wirksamer Druck auf die eingeschlossene Luft noch $^1/_3$ Atmosphärendruck übrig bleibt. Setzen wir diese Versuche fort, so zeigt sich ganz allgemein, daß das Volum der Luft in demselben Maße zunimmt, wie der Druck abnimmt. Es gilt also auch für abnehmende Drucke das Mariottesche Gesetz.

Auf diesem Gesetze beruht das Quecksilber-Manometer, eine starke, U-förmige, an einem Ende verschlossene Glasröhre, in der durch eine Säule von Quecksilber ein gewisses Luftvolum so abgesperrt ist, daß das Quecksilber bei normalem Atmosphärendruck in beiden Schenkeln gleich hoch steht. Der offene Schenkel steht mit dem zu messenden Drucke, z. B. im Dampfkessel 2c., in Verbindung. Die Zusammenpressung der Luft auf $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$, . . . . $^1/_n$ giebt an, daß im Innern des Kessels 2, 3, 4, . . . . n Atmosphären Druck enthalten sind.

Anmerkung. Drücken P und V einerseits und $P_n$ und $V_n$ andererseits zwei zusammengehörige Drucke und Volumina für dieselbe Luftmenge aus, so ist: $P.V = P_n . V_n$. Kommt noch die Temperatur in Betracht, so ist zu merken, daß: $V_{n,t} = V_{n,o} (1 + \alpha.t)$, wo t die Temperatur in Celsius-Graden, $V_{n,t}$ und $V_{n,o}$ die Volumina bei t resp. $0^0$ darstellen und $\alpha = 0{,}003665$.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ist $P_n$ der Normaldruck von 760 mm und wollen wir ein Volumen V vom Drucke P und der Temperatur t auf den Normaldruck und die Normaltemperatur 0° C reducieren, so geschieht dies nach der Formel:

$$V_{n,o} = \frac{P.V}{P_n.\ (1 + \alpha t)} = \frac{P.V}{760.\ (1 + 0{,}003665.t)}$$

Fragen: 1. Welches Volum nimmt 1 l Luft an bei einem Drucke von 7, 9, 20, $5^1/_2$ Atmosphären?

2. Welches bei $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_{10}$, 0,4, 0,11 Atmosphären?

3. Welcher Druck ist in einem Kessel, wenn die Luft des daran befindlichen Manometers auf 0,275 ihres normalen Volums zusammengepreßt ist?

4. Wie groß ist das reducierte Volum von 10 l Luft, gemessen bei einem Drucke von 755 mm und einer Temperatur von 20° C?

§ 14.

## Apparate, die auf dem Luftdrucke beruhen.

1. Versuch. Ein Blasebalg, Cylindergebläse in Thätigkeit.

2. Versuch. Ein Glas Wasser wird mit einem Papier überdeckt und umgekehrt gehalten: Das Wasser fließt nicht heraus.

3. Versuch. Ein Stechheber wird in eine Flüssigkeit getaucht, oben verschlossen und herausgezogen: Die Flüssigkeit fließt aus demselben nicht heraus. — Pipette.

4. Versuch. Eine Handspritze wird mit der Mündung in Wasser getaucht und der Kolben emporgezogen: Das Rohr füllt sich mit Wasser.

5. Versuch. Ein gekrümmter Heber wird in Wasser getaucht und dieses angesogen: Es fließt so lange aus demselben heraus, wie das äußere Ende des Hebers tiefer liegt als das Wasserniveau.

6. Versuch. Das Glasmodell einer Wasserpumpe wird in Thätigkeit gesetzt, ebenso das Modell einer Druckpumpe.

Erläuterungen: Auf dem ganz allgemeinen Vorhandensein des Luftdrucks beruht es, daß überall da, wo in einem Raume eine Druckverminderung hervorgebracht wird, sofort die angrenzenden Flüssigkeiten, seien es gasförmige oder tropfbare, in denselben so lange hineingepreßt werden, bis die Expansivkraft der inneren Luft dem Atmosphärendrucke das Gleichgewicht hält.

Diese Erscheinung wird bei verschiedenen Apparaten benutzt.

Der gewöhnliche Handblasbalg besteht aus zwei kongruenten, an den Seiten durch weites Leder luftdicht verbundenen Brettern, deren unteres vorn eine spitz zulaufende Düse trägt und mit einem nach innen sich öffnenden weiten Ventil versehen ist.

Zieht man die beiden Bretter auseinander, so strömt infolge der Druckverminderung im Innern die äußere Luft durch das Ventil in den Blasebalg hinein; drückt man sie aber wieder zusammen, so schließt sich das Ventil, und die innere Luft wird durch die Düse herausgepreßt. — Dieser Blasbalg hat den Nachtheil, daß die Luft aus ihm nicht in einem kontinuierlichen Strome, sondern absatzweise, intermittierend herausströmt; dem ist abgeholfen durch den doppelten oder Schmiedeblasbalg, bei dem die Luft aus einem Blasebalg in einen anderen, mit einem schweren Gewichte versehenen hineingepreßt wird, welchem sie dann gleichmäßig entströmt.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ein noch gleichmäßigeres und stärkeres Ausströmen der Luft gewähren die Cylindergebläse. Hierbei geht ein luftdicht anschließender Kolben in einem Cylinder, in dessen oberer und unterer Wandung sich je ein Einströmungs- und Ausströmungs-Ventil befinden, auf und nieder. Die Einströmungsventile können sich nur nach innen öffnen, die Ausströmungsventile nur nach außen; die letzteren münden in eine gemeinsame Blaseröhre. Geht der Kolben abwärts, so öffnet sich das untere Ausströmungsventil, die unter dem Kolben befindliche innere Luft strömt dort heraus, und die äußere Luft dringt durch das obere Einströmungsventil in den luftverdünnten Raum über dem Kolben; geht der Kolben aufwärts, so geschieht dasselbe mit den beiden anderen Ventilen. Bei jeder Kolbenbewegung wird daher Luft in die Blaseröhre getrieben. Aus dieser gelangt sie zunächst in einen größeren Raum, den Windkessel, um von hier aus in gleichmäßigem Strom dem Verbrauchsorte zugeführt zu werden. Derartige Cylindergebläse finden hauptsächlich bei Hochöfen, großen Essen, sowie bei der Ventilation großer, mit nicht atembaren Gasen erfüllter Räume Anwendung.

Die Windkessel kommen auch bei anderen Apparaten, Orgel, Lötrohr, Sirene vor. Wenn nämlich der Raum derselben sehr groß ist, so kommt es nicht darauf an, ob einmal in der Sekunde ein paar Liter mehr, ein anderes Mal weniger einströmen; weil dadurch die Luft nicht wesentlich dichter oder dünner wird, so bleibt auch ihre Ausströmungsgeschwindigkeit nahezu dieselbe. Eine noch größere Gleichförmigkeit des Druckes wird herbeigeführt, wenn der Windkessel unten durch Wasser abgeschlossen ist, welches bei größerem Drucke nachgiebt und den Raum vergrößert, bei geringerem Drucke aber wieder emporsteigt. Auch das Atmen der Menschen und luftatmenden Tiere kommt durch den Druck der Luft zu stande. Beim Atmen nämlich dehnen wir durch Streckung des Zwerchfells und Anziehung der Brustmuskulatur unsere Lungen aus. Dadurch verdünnt sich die Luft in denselben, und die äußere Luft dringt durch den Kehlkopf und die stets offen stehende Luftröhre in die Lungen hinein. Ganz ähnlich sind die Vorgänge beim Rauchen, Schlürfen, Saugen 2c.

## § 15.

## Fortsetzung.

Ist der luftverdünnte Raum durch eine tropfbare Flüssigkeit abgeschlossen, so wird diese durch den Luftdruck hineingetrieben. Wir erkennen dies an der Handspritze, in welche das Wasser durch den Luftdruck hineingepreßt wird, sobald wir den Kolben in die Höhe ziehen. Daß das aufgenommene Wasser nicht herausdringt, wenn wir die Mündung über die Oberfläche des äußeren Wassers heben, bewirkt ebenfalls der Luftdruck. Das Gleiche geschieht beim Stechheber, einer in der Mitte bauchig erweiterten Röhre, welche dazu dient, Proben aus beliebiger Tiefe einer Flüssigkeit herauszuholen. Sie wird verschlossen in die Flüssigkeit bis zu der betreffenden Stelle eingesenkt. Erst wenn man oben öffnet, dringt die Flüssigkeit unten hinein, und wenn man die Röhre oben verschlossen herauszieht, bleibt die Flüssigkeit darinnen. Aus demselben Grunde fließt aus dem geöffneten Hahne eines Wein- oder Bierfasses die Flüssigkeit nicht eher heraus, bis oben das Spundloch geöffnet wird. Alsdann wirken auf die Öffnung von oben der Druck der Luft und der Flüssigkeit und bekommen das Übergewicht über den von unten wirkenden Druck der Luft. Die Pipette, ein chemischer Apparat, ist ebenfalls ein Stechheber, welcher auch gebraucht wird, um beim Lüften des verschließenden Fingers die Flüssigkeit tropfenweise ausfließen zu lassen.

Der gekrümmte Heber ist eine beiderseits nach unten gebogene Röhre, deren einer Schenkel in eine auszuleerende Flüssigkeit taucht, während die Mündung des anderen tiefer liegen muß als die Oberfläche der Flüssigkeit. Saugt man an der Mündung des letzteren, so treibt der Luftdruck, der auf der Oberfläche der Flüssigkeit lastet, die Flüssigkeit im Heber in die Höhe 2c., bis sie das ganze Heberrohr ausfüllt. Öffnet man nun die Mündung, so strömt die Flüssigkeit dort aus. Um zu finden, wie sich die



Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Flüssigkeit im Heber verhalten muß, betrachten wir am einfachsten einen Flüssigkeits-Querschnitt (Q), der am höchsten Punkte der Röhre liegt. So wie dieser sich bewegen muß, so müssen auch die benachbarten Teilchen und somit die ganze Flüssigkeit im Heber sich bewegen, da sich sonst ein luftleerer Raum bilden würde. Von jeder Seite drückt gegen den Querschnitt Q der Luftdruck, den wir durch eine Wassersäule von der Höhe $L = 10\,^1/_2$ m repräsentiert denken wollen. Einem Teile derselben wird auf jeder Seite das Gleichgewicht gehalten, nämlich auf Seite des Gefäßes einer Wassersäule, welche die Erhebung h von Q über das Wasser im Gefäße zur Höhe hat, auf der andern einer Wassersäule, deren Höhe der Erhebung H von Q über die Ausflußöffnung gleich ist. Als auf den Querschnitt Q wirkende Drucke bleiben daher zwei Wassersäulen, deren Höhe auf der einen Seite: **L—h,** auf der anderen: **L—H** ist. So lange L—h größer ist wie L—H, oder h kleiner wie H, d. h. so lange die Ausflußöffnung noch unterhalb des Wasserspiegels im Gefäße ist, wird die Flüssigkeit aus der Heberöffnung hervorströmen; ist L—h = L—H, d. h. h = H, liegt die Heberöffnung mit dem Wasserspiegel in gleicher Höhe, so tritt Gleichgewicht ein; ist L—h kleiner wie L—H, d. h. h größer als H oder liegt die Heberöffnung höher als das Wasserniveau im Gefäße, so wird das Wasser ins Gefäß zurückfließen.

Eine anschauliche Erklärung des Hebergesetzes giebt die folgende Betrachtung. — Man denke sich beide Enden der Heberröhre in Wasser tauchend und auf diese Wasseroberflächen wieder je eine Wassersäule von $10^1/_2$ m drückend; dann kann man vom Luftdrucke gänzlich absehen, da eine solche Wassersäule auf jeder Seite den Luftdruck auf die Wasseroberflächen vollständig ersetzt. Wir haben dann aber nichts anderes als zwei kommunicierende Gefäße vor uns, in welchen sich nach dem bekannten Gesetze eine Flüssigkeit nur dann im Gleichgewichte befinden kann, wenn ihre Oberfläche in beiden Gefäßen eine gleiche Höhe hat. Dieses ist aber nur dann der Fall, wenn die Flüssigkeit in beiden Gefäßen, in welche die Heber einmünden, in gleicher Höhe steht. In jedem anderen Falle wird daher stets ein Ausströmen von der höheren zur niederen Flüssigkeit stattfinden müssen und zwar um so stärker, je größer der Niveau-Unterschied ihrer Oberflächen ist. — Läßt man das eine Heberende frei ausmünden, so tritt dieses an die Stelle der betreffenden Flüssigkeitsoberfläche, und wir gelangen zu dem oben hergeleiteten Resultate.

Bei den vorhergehenden Betrachtungen wurde die stillschweigende Annahme gemacht, daß der ganze Heber mit Wasser angefüllt sei. Dies ist aber nur dann statthaft, wenn die Erhebung des höchsten Punktes über das Wasserniveau im Gefäße nicht über $10^1/_2$ m beträgt, da bei größerer Erhöhung etwa vorhandenes Wasser nach beiden Seiten hinabfließen und oben einen luftleeren Raum lassen würde.

Auf dem Luftdruck beruhen endlich die Saug- und Druckpumpe. Die Saugpumpe besteht aus 1) dem Ausflußrohre, 2) dem Stiefel, in dem ein mit einem Ventile versehener Kolben wasserdicht auf und nieder geht, und 3) dem Saugrohre, welches oben durch ein Ventil verschlossen ist und mit dem unteren Ende im Wasser steht. Beide Ventile lassen sich nur nach oben öffnen und sind für gewöhnlich durch ihr eigenes Gewicht geschlossen. — Zieht man den Kolben in die Höhe, so wird die Luft unter ihm verdünnt, ihre Spannung geringer und das Wasser in der Saugröhre durch den äußeren Luftdruck in die Höhe getrieben. Drückt man den Kolben nieder, so schließt sich das Saugröhrenventil wieder, und der Kolben preßt auf das Wasser, das etwa schon darüber steht. Dadurch öffnet sich das Kolbenventil, und das Wasser tritt über den Kolben. Ein zweites Heben desselben bringt dieses zur Ausflußröhre und läßt von neuem Wasser in der Saugröhre emporbringen. — Es ist schon oben bemerkt, daß sich mittels der Saugpumpe Wasser nur dann emporheben läßt, wenn die Erhöhung des Kolbens über das Niveau des zu hebenden Wassers nicht mehr als ca. 10 m beträgt, da sich sonst unter dem Kolben ein luftleerer Raum bilden würde.

Die Druckpumpe unterscheidet sich von der Saugpumpe dadurch, 1) daß die Ausflußröhre, hier Steigröhre genannt, zwischen dem Kolben und dem Saugröhrenventil ihren Anfang nimmt, und 2) daß der Kolben massiv, und dafür ein Ventil am Anfang der Steigröhre angebracht ist. Die Druckpumpe

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

besteht also 1) aus dem Steigrohr mit einem Ventil, 2) dem Stiefel mit dem massiven Kolben und 3) aus dem Saugrohre mit Ventil; auch hier öffnen sich beide Ventile nur nach oben Das Wasser steigt wie in der Saugpumpe über das Saugröhrenventil empor, wird aber beim Niederpressen des Kolbens in die Steigröhre gedrückt. Sobald der Druck des Kolbens nachläßt, schließt das Ventil die Steigröhre ab. Ein zweiter Kolbengang hebt Wasser nach und treibt die Wassersäule in der Steigröhre empor, und hat man nur genügenden Druck zur Verfügung, so kann man das Wasser beliebig hoch empordrücken. Derartige Pumpen wendet man vielfach bei tiefen Bergwerken an; die Wasserkunst bildet dort häufig den imposantesten Teil der ganzen Anlage. — Von großem Vorteil ist die doppelt wirkende Saug- und Druckpumpe, die genau so eingerichtet ist, wie das Cylindergebläse des vorigen §, nur mit dem Unterschiede, daß sie Wasser statt Luft pumpt.

§ 16.

## Kompression der Gase.

1. Dem.-Obj. Kompressionspumpe. — Windbüchse; Modell des Natterer'schen Apparates.

2. Versuch. Die Luft in einem halb mit Wasser gefüllten Heronsball wird mit der Kompressionspumpe verdichtet und die Spitze aufgeschroben: Das Wasser spritzt mit großer Gewalt heraus.

3. Versuch. Ein Heronsbrunnen wird mit Wasser gefüllt und in Thätigkeit gesetzt.

4. Versuch. Das Modell einer Feuerspritze wird in Thätigkeit versetzt.

Erläuterungen. Die Expansivkraft der Luft oder irgend eines Gases läßt sich nach dem Mariotteschen Gesetze dadurch bedeutend vermehren, daß man es auf einen geringeren Raum zusammenpreßt. Dies geschieht am besten mittels der Kompressionspumpe. Dieselbe besteht aus einem Hohlcylinder, dem Stiefel, in welchem ein Kolben luftdicht auf und nieder getrieben werden kann; am unteren Ende befindet sich an demselben ein Ventil, das sich nur nach außen öffnet, und um die Kolbenlänge vom oberen Rande entfernt, eine kleine Durchbohrung. Sobald der Kolben bis zum oberen Rande in die Höhe gezogen wird, strömt Luft durch die Durchbohrung in den Innenraum der Pumpe hinein; beim Hineintreiben desselben wird dieselbe abgeschlossen und findet keinen anderen Ausweg, als das untere Ventil. Schraubt man die Kompressionspumpe luftdicht auf einen Hohlraum, so wird durch das Auf- und Nieder-Bewegen des Kolbens mehr und mehr Luft in diesen hineingetrieben und gespannt. Man benutzt die so gesteigerte Expansivkraft zu den mannigfaltigsten Zwecken.

Die Windbüchse ist ein Schießinstrument, dessen hohler Kolben mit komprimierter Luft gefüllt wird. Durch einen Druck auf den Hahn läßt sich das Kolbenventil ein wenig öffnen, und die hervordringende Luft treibt die Kugel mit großer Heftigkeit aus dem Laufe hervor. Auf dem gleichen Principe beruht die Rohrpost, wobei in einem Röhrensystem luftdicht anschließende Trommeln mit Packeten und Briefen durch den Druck verdichteter, resp. verdünnter Luft von einem Punkte zum anderen befördert werden. Insbesondere in den letzten Jahren sind derartige Posten meist unterirdisch in größeren Städten (London, Berlin 2c.) angelegt. Auch die Versorgung der Taucherglocken mit frischer Luft geschieht durch Kompressionspumpen.

Der Heronsball ist eine ungefähr bis zur Hälfte mit Wasser gefüllte, luftdicht verschlossene Flasche, durch deren Hals eine oben verengte Röhre sehr nahe an den Boden reicht. Wird die Luft darin durch Einblasen mit dem Munde oder besser mit der Kompressionspumpe verdichtet, so wird das Wasser in starkem Strahle so lange hervorgetrieben, bis der äußere Luftdruck mitsamt dem Drucke der im Rohre befindlichen Wassersäule dem inneren Drucke das Gleichgewicht hält. — Verwendet man den Überdruck einer Wassersäule dazu, um die Luft im Heronsballe zu verdichten, so erhält man den Heronsbrunnen.



Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Derartige Apparate benutzt man jetzt vielfach in der verschiedensten Form als Zimmerspringbrunnen, insbesondere um bei Luftheizung die zu trockene Luft mäßig anzufeuchten.

Bei der Feuerspritze wird die Spannkraft der verdichteten Luft benutzt, um ein möglichst gleichmäßiges Hervorströmen des Wasserstrahles zu bewirken. Hier wird das Wasser durch zwei abwechselnd wirkende Druckpumpen in den Windkessel, einen luftdichten Hohlraum, an dessen unterer Fläche sich die Anflußöffnung des Wassers befindet, getrieben. Dringt mehr Wasser hinein als ausströmt, so wird dadurch die Luft im Windkessel verdichtet und treibt nun ihrerseits das Wasser stetig heraus. Ein anderer Vorteil des Windkessels besteht darin, daß die Luft in demselben bei jedem Drucke stets nachgiebt und sich komprimieren läßt, während ohne Windkessel die Röhren bei starkem Drucke in Gefahr wären, gesprengt zu werden. Die Kompressionspumpe wendet man endlich auch an, um Gase zu Flüssigkeiten zu verdichten; insbesondere gebraucht man dazu den Natterer'schen Apparat, eine Kompressionspumpe, welche die Gase ansaugt und in eine ebenfalls mit einem Verschlußventile versehene, schmiedeeiserne, hohle „Birne" treibt.

Hierbei hat sich insbesondere durch die Untersuchungen von Pictet in Genf und Cailletet in Paris (1877) herausgestellt, daß alle Gase, die atmosphärische Luft nicht ausgenommen, sich bei genügender Abkühlung und hinreichendem Drucke zu Flüssigkeiten komprimieren lassen und daß sich diese Flüssigkeiten, in den meisten Fällen schon beim Verdunsten an der Luft, selbst zu festen Körpern umgestalten lassen, woraus hervorgeht, daß ein Wesensunterschied zwischen luftförmigen, flüssigen und festen Körpern nicht existiert. — Doch ist für jedes Gas eine Temperatur vorhanden, oberhalb deren es, selbst bei dem stärksten Druck, in den flüssigen Zustand nicht übergehen kann. So kann die Kohlensäure (das Kohlendioxyd $= CO_2$) nur dann flüssige Form annehmen, wenn ihre Temperatur unterhalb des 31. Grades der hundertteiligen Skala liegt. — Man nennt eine solche jedem Gase eigene Temperatur die „kritische Temperatur" oder den „kritischen Punkt".

1. Anmerkung. Hero lebte ums Jahr 210 v. Chr. zu Alexandria.

2. Anmerkung. Die Kompressionspumpen werden heutzutage vielfach in Heilanstalten für asthmatische Leiden gebraucht; die Kranken verweilen eine Zeit lang in großen eisernen Glocken, in denen die Luft verdichtet wird.

3. Anmerkung. Ist das Volum der Kompressionspumpe v, das des mit dichter Luft zu füllenden Raumes V, so ist darin nach n Kolbenzügen die Dichte $D = \frac{V + n.v}{V}.d$, wobei d die Dichte der atmosphärischen Luft bedeutet.

§ 17.

## Die Luftpumpen.

Dem.-Obj. 1) Hahn- und Ventil-Luftpumpe,
2) Quecksilber-Luftpumpe,
3) Wasser-Luftpumpe.

Erläuterungen. Die Luftpumpen sind Apparate zur Verdünnung der Luft. Man unterscheidet nach dem Mechanismus derselben drei verschiedene Arten:

1) Ventil- und Hahn-Luftpumpen,
2) Quecksilber-Luftpumpen,
3) Wasser-Luftpumpen.

Die sogenannten Ventil-Luftpumpen sind ganz nach Art der gewöhnlichen Wasser-Saugpumpen gebaut, nur daß an die Stelle des auszupumpenden Wassers die Luft des leer zu pumpenden Raumes

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

tritt. Sie bestehen aus dem Stiefel, in dem sich ein Kolben luftdicht auf und nieder bewegt, dem Teller mit dem luftdicht aufgesetzten Rezipienten, einem luftleer zu pumpenden Gefäße und einer Verbindungsröhre zwischen Rezipient und Stiefel. Im Kolben sowie an der Verbindungsstelle zwischen Stiefel und Röhre befindet sich je ein Ventil, das sich nur nach oben öffnen läßt. Sobald man den Kolben in die Höhe zieht, dringt Luft aus dem Rezipienten in den Stiefel, sich auf beide Räume gleichmäßig verteilend. Wird der Kolben niedergepreßt, so schließt sich das Röhrenventil, die im Stiefel enthaltene Luft aber wird durch das Kolbenventil nach außen gedrückt. — Die Hahn-Luftpumpe besteht ebenfalls aus Stiefel, Teller mit Rezipient und Verbindungsröhre; nur ist statt der Ventile ein doppelt durchbohrter Hahn angebracht, welcher sie beide ersetzt. Der Hahn trägt nämlich parallel zum Griffe eine Querdurchbohrung und eine in demselben Umkreise beginnende, um 90° von der ersteren entfernte Durchbohrung von der Seite nach dem unteren Ende. Stellt man den Griff des Hahnes mit der Röhre parallel, so ist der Stiefel in Verbindung mit dem Rezipienten, und man kann durch Aufziehen des Kolbens die im Recipienten enthaltene Luft auf den Gesamtraum des Rezipienten, der Röhre und des Stiefels verteilen; durch Drehung des Hahnes um 90° schließt man den Rezipienten in sich ab und verbindet zugleich den Innenraum des Stiefels mit der äußeren Luft, so daß beim Niederdrücken des Kolbens die Luft des Stiefels durch den Hahn ins Freie gelangen kann. — Stellt man darauf den Hahn um 90° zurück und zieht den Kolben wieder aufwärts, so kann man die im Rezipienten enthaltene Luft wiederum über den ganzen Innenraum von Stiefel, Röhre und Rezipient verteilen und auf diese Weise immer stärker verdünnen. — Statt der angegebenen einstiefligen wendet man meistens Luftpumpen mit zwei Stiefeln an. Diese sind so eingerichtet, daß mittels einer Doppelkurbel der eine Kolben aufwärts bewegt wird, während der andere nieder geht. Die Verbindung zwischen Rezipient und Stiefeln wird durch den Grassmannschen Hahn hergestellt. Bezeichnet man bei allen den Raum des Stiefels mit v, den der Röhre und des Rezipienten zusammen mit V, die ursprüngliche Dichte der Luft mit d, so wird die Dichte nach dem ersten Kolbenzuge sowohl in der Ventil- wie Hahnluftpumpe: $\frac{V}{v+V}.d$ sein; nach n Kolbenzügen ist die Dichte der zurückgebliebenen Luft: $\left(\frac{V}{V+v}\right)^n.d$. Man müßte daher, von den Fehlern des Apparates abgesehen, mit einer solchen Luftpumpe durch fortgesetztes Pumpen zuletzt einen nahezu luftleeren Raum herstellen können; doch ist es in beiden Fällen nicht möglich, über eine gewisse Verdünnung hinauszukommen.

Denken wir uns den Rezipienten nahezu luftleer! — Wir haben die im Stiefel enthaltene Luft durch die schräge Durchbohrung des Hahnes nach außen gepreßt und drehen nun den Hahn wieder so, daß er Stiefel und Rezipient verbindet; so wird im selben Augenblicke die atmosphärische Luft, welche sich in dem Röhrenstücke zwischen Hahn und Kolben befindet, sich auf den Raum der Röhre und des Rezipienten ausbreiten, und beim Aufziehen des Kolbens werden wir also im günstigsten Falle keine größere Verdünnung bekommen, als der Quotient zwischen dem Raume $\delta$ des angegebenen Röhrenstückchens und dem ganzen Innenraume der Luftpumpe angiebt, d. h. $\frac{\delta}{v+V}.d$.

Man nennt diesen Raum $\delta$ den schädlichen Raum und sucht ihn so viel wie möglich zu verkleinern oder durch Auspumpen mittels einer zweiten Luftpumpe unschädlicher zu machen; ganz fortschaffen läßt er sich aber nicht.

Bei den Ventil-Luftpumpen steht dem gänzlichen Exantlieren im Wege, daß die im Rezipienten befindliche Luft bei weiter fortgesetzter Verdünnung nicht mehr die Kraft hat, das Röhrenventil zu heben, um nach außen zu gelangen; und so wird auch hier nur ein mehr oder weniger hoher Grad der Luftverdünnung erreicht werden können.

Einen solchen luftverdünnten Raum bezeichnen wir im Gegensatz zu dem wirklich luftleeren

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Torricellischen Raume als Vacuum Guerickianum nach dem Bürgermeister Otto von Guericke von Magdeburg, der zuerst eine Hahnluftpumpe construiert hat (1650).

Es liegt der Gedanke nahe, auch das Torricellische Vacuum zu Experimenten im luftverdünnten Raum zu verwenden: Der erste, der davon Gebrauch machte, war Geissler in Bonn. Er brachte am oberen Ende der Barometerröhre ein weites Gefäß an, welches oben durch einen ähnlich wie bei der Hahnluftpumpe durchbohrten Hahn verschlossen war und in einem Luftpumpenteller endigte. An dem unteren Ende der Barometerröhre war ein längerer Gummischlauch mit einem Glasgefäß voll Quecksilber befestigt.

Der Hahn wird nun zuerst so eingestellt, daß er die Röhre mit der äußeren Luft verbindet, und dann das Glasgefäß bis an den Teller gehoben. Alsdann füllt das Quecksilber die Röhre mitsamt dem daran angebrachten Gefäße an und treibt die Luft heraus. Stellt man nun den Hahn so, daß er den Innenraum des Rezipienten mit der Röhre verbindet, und senkt das Quecksilbergefäß, so sinkt auch das Quecksilber in der Röhre, und die Luft des Rezipienten muß sich auf Rezipient und Röhre verteilen. Dann dreht man den Hahn um 90°, hebt das Quecksilbergefäß, bis das Quecksilber wieder die Röhre angefüllt hat, stellt den Hahn zurück und senkt das Gefäß u. s. w. So kann man ebenfalls in kurzer Zeit evakuieren.

Geissler verwendete eine solche Luftpumpe zum Auspumpen der von ihm zuerst konstruierten Geisslerschen Röhren.

Eine dritte Art von Luftpumpen, die Wasserluftpumpe, beruht auf der Adhäsion der Luft am Wasser. An die Ausflußöffnung der Wasserleitung ist eine eiserne Röhre festgeschraubt, welche sich in der Mitte verengt und in welche direkt unterhalb der Verengung ein Seitenrohr einmündet, das durch einen starken Gummischlauch (etwa mit Drahteinlage) mit einem Luftpumpen-Teller verbunden wird. Der Wasserstrahl breitet sich hinter der Verengung wieder seitlich aus, hält sich aber noch eine Strecke lang von der Seitenwand der Röhre fern und nimmt auf seinem Wege einen großen Teil der im Innern der Röhre enthaltenen Luftteilchen mit sich. Diese werden immer wieder durch neue Luftteilchen aus dem Rezipienten ersetzt, so daß fortwährend mehr und mehr Luft aus dem Rezipienten fortgeschafft wird.

Man kann die Verdünnung durch Wasserluftpumpen bei einigermaßen starkem Wasserdrucke leicht auf $^1/_{100}$ und mehr treiben; bei Hahn- und Ventil-Luftpumpen wird infolge des schädlichen Raumes selten mehr als eine 800-fache Verdünnung erreicht; die Quecksilberluftpumpe läßt eine 1500-fache Verdünnung zu.

1. Anmerkung. Die Hahn-Luftpumpen kann man bei umgekehrter Stellung des Hahnes augenscheinlich auch zur Verdichtung der Luft benutzen.

2. Anmerkung. Die Dichtung der leer zu pumpenden Räume wird gewöhnlich durch eine Mischung von Wachs und Talg bewirkt; es genügt dazu auch schon ein Talglicht.

§ 18.

## Experimente mit der Luftpumpe.

Die Experimente, welche mit der Luftpumpe anzustellen sind, lassen sich in 5 Gruppen einteilen:

a) solche, welche die Verminderung des Druckes unter dem Rezipienten anzeigen,
b) solche, welche beweisen, daß im luftleeren Raume alle Körper gleich schnell fallen,
c) solche, die darthun, daß sich im luftleeren Raume der Schall nicht fortpflanzt,
d) solche, die auf Mangel an Sauerstoff beruhen,
e) solche, die das Überwiegen des äußeren Luftdrucks zur Anschauung bringen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

a. Verminderung des inneren Druckes.

1) Das mit dem Recipienten in Verbindung stehende Barometer (die Barometerprobe) sinkt schon nach einigen Kolbenzügen; eine Bourdonsche Röhre krümmt sich nach außen.

2) Eine fest zugebundene, wenig Luft enthaltende tierische Blase schwillt unter dem Rezipienten beim Evakuieren an und fällt beim Zutritt der Atmosphäre wieder zusammen.

3) Eine unter dem Recipienten befindliche, fest zugekorkte, dünnwandige Kochflasche platzt nach wenigen raschen Kolbenzügen infolge des inneren Druckes in Tausende von Splittern auseinander.

4) Ein runzliger Apfel wird beim Evakuieren glatt, beim Luftzutritt wieder runzlig.

5) Aus einem Ei oder Stück Holz unter Wasser treten zahlreiche Luftblasen aus; Bier fängt an zu schäumen.

6) Ein in einem Glasrohre durch Wasser abgesperrtes Luftvolum dehnt sich beim Evakuieren aus und zieht sich bei Luftzutritt wieder zusammen.

7) Ein in Ruhe befindlicher Heronsball fängt unter dem Rezipienten schon nach wenigen Kolbenzügen an zu springen.

8) Ein Heber hört auf zu fließen.

9) Von zwei ungleich großen Körpern, die sich an einem Wagebalken das Gleichgewicht halten, sinkt der größere im luftverdünnten Raume (Dasymeter).

10) Ein Gefäß mit lauwarmem Wasser über Schwefelsäure verdunstet so stark, daß ein Teil desselben zu Eis erstarrt. Wasser siedet unter der Luftpumpe bei ca. 16° R.

11) Äther in einem auf Kork stehenden Uhrglase verdunstet so rasch, daß das Wasser eines Platingefäßes, welches darin eingetaucht ist, gefriert.

b. Aufhebung des Widerstandes gegen Bewegung.

1) Ein Stein, ein Stück Blei und eine Flaumfeder oder ein Stückchen leichtes Papier fallen im luftleeren Raum gleich schnell.

c. Aufhebung der Fortpflanzung des Schalles.

1) Ein Wecker, der in einigen Sekunden ablaufen muß, ist auf Gummistützen unter den Rezipienten gestellt: Man sieht den Anschlag des Klöpfels gegen die Glocke, hört aber nichts.

d. Mangel an Sauerstoff.

1) Ein Licht erlischt unter dem Rezipienten sehr bald.

2) Der Stahl giebt am Feuersteine keine Funken. (Davy.)

e. Überwiegen des äußeren Luftdruckes.

1) Der Rezipient haftet schon nach wenigen Kolbenzügen fest am Teller der Luftpumpe.

2) Quecksilber wird durch einen Holzstöpsel getrieben, der eine luftdicht auf den Teller der Luftpumpe gesetzte Glasglocke luftdicht verschließt.

3) Wenn man einen cylindrischen Metallreif fest mit einer Blase überbindet und am Feuer scharf trocknet, oder mit einer dicht anschließenden dünnen Glasscheibe überdeckt und luftdicht auf den Luftpumpenteller setzt, so wird schon nach wenigen Kolbenzügen die Blase resp. die Glasplatte unter heftiger Detonation gesprengt.

4) Magdeburger Halbkugeln, evakuiert, lassen sich nur schwer von einander reißen.

1. Anmerkung. Otto von Guerike führte im Jahre 1654 auf dem Reichstage zu Regensburg dem Kaiser und den versammelten Fürsten ein Paar luftleer gepumpte Halbkugeln vor, welche auseinander zu reißen 24 Pferde nicht vermochten; dieselben hatten ungefähr eine Elle im Durchmesser.

Bezeichnen wir mit r den in cm ausgedrückten Radius der beiden Halbkugeln und nehmen wir

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

an, daß der Druck im Innern der Halbkugeln verschwindend klein sei, so ist der Druck auf den Querschnitt ($r^2\pi$) derselben bei einem Atmosphärendrucke von 1 kg auf 1 qcm von jeder Seite gleich: $r^2\pi$ kg. — Rechnen wir die Magdeburger Elle zu 57,5 cm, so erhalten wir für jede der beiden Halbkugeln einen Druck von 2700 kg. Da aber die größte Zugkraft eines Pferdes ungefähr 90 kg beträgt, so würden auf jeder Seite 30, also im ganzen 60 Pferde nötig gewesen sein, um die Kugeln auseinander zu reißen.

§ 19.

## Verhalten fester und flüssiger Körper zu einander.

1. Versuch. Kochsalz wird in Wasser gelöst; Beobachtung: Nachdem eine gewisse Menge gelöst ist, hört die weitere Auflösung auf; alles übrige Kochsalz bleibt selbst beim Erwärmen ungelöst.

2. Versuch. Salpeter wird in Wasser gelöst; Beobachtung: Die kalt gesättigte Lösung nimmt beim Erhitzen immer neue Mengen Salpeters in sich auf.

3. Versuch. Sand löst sich in Wasser nicht auf; desgl. Glas und Metalle.

4. Versuch. Die Gefäße mit Salz- und Salpeterlösung werden an einem ruhigen Orte bei Luftzutritt aufbewahrt; Beobachtung: Es krystallisieren Salzwürfel und Salpeternadeln heraus.

5. Versuch. Beim Abdampfen einer Salzlösung bleibt das ganze darin aufgelöste Salz zurück; die Flüssigkeit, in welcher Sand geschüttelt ist, läßt keinerlei Rückstand.

Erläuterungen. Wenn wir Kochsalz in Wasser werfen, so bemerken wir bald, daß sich dasselbe im Wasser löst, und war die hineingeworfene Menge nicht zu groß, so wird bald nichts mehr ungelöst sein. Wir fügen neues Kochsalz hinzu, auch dieses löst sich noch; bei öfterer Wiederholung dieses Versuches stellt sich aber heraus, daß endlich die Lösungsfähigkeit des Wassers erschöpft wird: Das Kochsalz, welches wir jetzt zufügen, bleibt ungelöst. Wir nennen eine solche Lösung „gesättigt". — Ähnliche Verhältnisse wie beim Kochsalz ergeben sich bei allen anderen Salzen, die in irgend einer Flüssigkeit löslich sind: Eine bestimmte Menge Flüssigkeit kann immer nur eine bestimmte Menge derselben aufnehmen; sie ist dann gesättigt und vermag neues Salz derselben Art nicht mehr zu lösen.

Enthält die Flüssigkeit nur einen kleinen Bruchteil des maximalen Salzgehaltes, so nennen wir sie eine „schwache", enthält sie einen großen, eine „koncentrierte" Salzlösung.

Der maximale Gehalt einer Flüssigkeit an einem Salze ist sehr verschieden; so ist er beim Kochsalz 27%, d. h. auf 100 kg gesättigter Kochsalzlösung (Sole) kommen 27 kg Kochsalz; in einer gesättigten Salpeterlösung von 0° sind jedoch nur cca. 11,8% Salpeter enthalten.

Bei fast allen Salzen ist die Lösungsfähigkeit abhängig von der Temperatur und zwar in der Weise, daß mit steigender Temperatur auch die Aufnahmefähigkeit der Flüssigkeiten wächst.

Sehr gering ist diese Änderung für Kochsalz, indem warmes Wasser nur sehr wenig mehr davon aufnimmt als kaltes; ganz besonders abhängig von der Temperatur ist die Lösungsfähigkeit des Salpeter ($KNO_3$) und zwar lösen sich in 100 Teilen Wasser:

bei 0°C: 13,3,
18° : 29,
50° : 85,
100° : 246,15 Teile Salpeter.

Eine siedende (116°) gesättigte Lösung enthält auf 100 Teile Wasser 335 Teile Salpeter.

Diesen löslichen Körpern stehen die unlöslichen gegenüber. Schütteln wir Sand oder Glassplitter mit Wasser, so bleiben diese gänzlich ungelöst zurück.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Wenn wir eine gesättigte Salzlösung an einem ruhigen Orte unter Luftzutritt aufbewahren, so bemerken wir bald kleine Krystalle, die sich an der Oberfläche und am Rande des Gefäßes bilden: Würfelförmige Kochsalz- und nadelförmige Salpeter-Krystalle.

Indem ein Teil des Wassers in die Luft verdunstet, muß derselbe seinen Gehalt an Salz fahren lassen, und dieser bleibt in Gestalt von Krystallen zurück. — Geht das Entweichen des Wassers langsam vor sich, so werden die Krystalle groß und regelmäßig; befördert man dasselbe durch Erhitzen bis zum Sieden, so erhält man kleine und unregelmäßige Krystalle.

Dampft man das ganze Lösungswasser ab, so bleibt genau dieselbe Menge Salz zurück, die man aufgelöst hatte. Es ist also mit den Wasserdämpfen kein Salz in die Luft entwichen.

Hierauf beruht die Gewinnung des Kochsalzes, indem man entweder wie in den Salzgärten am mittelländischen Meere, das Meerwasser von der Sonne abdunsten läßt, oder, wie in den Siedehäusern, das Lösungswasser der Sole über Feuer verdampft.

1. Anmerkung. Da der letzte Rest des beim Abdampfen zurückbleibenden Lösungswassers neben geringen Mengen Kochsalz hauptsächlich andere leichter lösliche Salze: Chlorkalium, Chlormagnesium, schwefelsaures Natrium 2c. enthält, so unterbricht man den Siedeprozeß, ehe das ganze Wasser verdampft ist; die zurückgebliebene Flüssigkeit „Mutterlauge" wird zu Bädern benutzt.

2. Anmerkung. Wenn man einen festen Körper, z. B. Zucker, Kochsalz 2c., in einer Flüssigkeit auflöst, so nimmt das Volumen der Flüssigkeit um weniger zu, als das Volumen des aufgelösten Körpers beträgt. Ganz ebenso geschieht es bei Auflösung einer Flüssigkeit in einer anderen, d. h. bei der Mischung zweier Flüssigkeiten. Schüttet man z. B. 100 ccm absoluten Alkohol zu 100 ccm Wasser, so entstehen nur 192.75 ccm Mischung. Man erklärt diese Erscheinung dadurch, daß beim Zwischenlagern der ersteren Moleküle zwischen die Moleküle der Flüssigkeit die Poren zwischen denselben zum Teile ausgefüllt werden, so daß die Mischung kleinere Zwischenräume zwischen ihren Molekülen enthält, als die ursprüngliche Flüssigkeit.

§ 20.

## Verhalten flüssiger und luftförmiger Körper zu einander.

1. Versuch. Auf einer ebenen Glasplatte sind zwei gleiche, bis zu bestimmten Marken mit Wasser gefüllte Bechergläser aufgestellt und das eine von ihnen mit einer am unteren Rande mit Talg bestrichenen Glasglocke luftdicht überdeckt; Beobachtung: Nach einigen Wochen ist der Wasserspiegel im offenen Gefäße gesunken, während er in dem überdeckten fast genau dieselbe Höhe beibehalten hat; noch stärker tritt dieses in längerer Zeit hervor.

Erläuterungen: Ganz ähnlich wie mit der Auflösung fester Körper in flüssigen verhält es sich mit der Lösung flüssiger Körper in luftförmigen.

Auch von den flüssigen Körpern löst sich in einer gewissen Luftmenge nur ein ganz bestimmter Bruchteil auf. Hat die Luft diese Menge Feuchtigkeit aufgenommen, so hört ihr weiteres Aufnahmevermögen auf; wir nennen die Luft dann „gesättigt". Die Sättigungsmenge ist jedoch bei verschiedenen Flüssigkeiten unter sonst gleichen Umständen verschieden.

Setzen wir ein Gefäß mit Wasser unter eine luftdicht abgeschlossene Glasglocke und daneben ein offenes Gefäß mit Wasser, so wird sich nach einiger Zeit eine geringe Verminderung des Wassers im bedeckten Gefäße erkennen lassen, indem der Raum der Glocke sich mit Wasser gesättigt hat, — dann aber wird das Niveau selbst nach Jahren beständig dasselbe bleiben, während das Wasser im äußeren Gefäße mehr und mehr abnimmt und endlich ganz verschwindet.



Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ebenso wie bei der Auflösung fester Körper durch flüssige ist auch hier die Temperatur entscheidend für den Maximalgehalt; bei höherer Temperatur vermag die Luft mehr Flüssigkeit aufzunehmen als bei niederer.

Die folgende Tabelle giebt die Menge des in 1 l Luft, welches bei 0° 1,2936 g wiegt, enthaltenen Wasserdampfes in mg an, wenn dasselbe bei der betreffenden Temperatur ganz mit Wasserdampf gesättigt ist:

| t | mg | |
|---|---|---|
| — 20 | 1,06 | Maximaler Feuchtigkeitsgehalt. |
| — 10 | 2,30 | |
| 0 | 4,89 | |
| + 10 | 9,38 | |
| + 20 | 17,23 | |
| + 30 | 30,23 | |

Gewöhnlich enthält die Luft nicht diejenige Menge Feuchtigkeit, welche zu ihrer Sättigung notwendig ist (die maximale), sondern weniger. Man nennt diejenige Feuchtigkeitsmenge, welche in 1 l der Luft enthalten ist, ihre „absolute" Feuchtigkeit, das Verhältnis der absoluten zur maximalen ihre „relative" Feuchtigkeit. Diese kommt vorzüglich für das Wohlbefinden des Menschen in Betracht, da z. B. die Transspiration und somit der Stoffwechsel des menschlichen Körpers in Luft von relativ geringer Feuchtigkeit kräftig, bei relativ hoher Feuchtigkeit gering ist. Die relative Feuchtigkeit der Atmosphäre in nicht zu großer Entfernung vom Erdboden scheint im Mittel cca 60% der maximalen zu betragen.

Ist ein Raum mit Flüssigkeit gesättigt, so muß jede Erniedrigung der Temperatur die Kondensation eines Teiles der in ihm enthaltenen Dämpfe bewirken. Nimmt die Temperatur eines nicht gesättigten Raumes ab, so wird die in demselben enthaltene Feuchtigkeit sich mehr und mehr der maximalen nähern; wird aber diejenige Temperatur, für welche diese Feuchtigkeitsmenge der Sättigungswert ist, überschritten, so muß dieselbe in Gestalt kleiner Tröpfchen sich verdichten und niederschlagen: es entsteht der Tau. Wir nennen daher diese Temperatur den Taupunkt.

Kommen wir mit einem kühlen Gegenstande in eine feuchtwarme Luft, so daß die Luft in der Nähe dieses Gegenstandes bis unter den Taupunkt abgekühlt wird, so muß sich der unmittelbar um den Körper herum gebildete Nebel auf dem Körper ansetzen. Der Körper beschlägt. — Wir sehen dies deutlich an einem Wasserglase, welches wir im Winter ins warme Zimmer tragen; an den Fensterscheiben in bewohnten Räumen, wenn die Temperatur der äußeren Luft stark gegen die Zimmertemperatur zurücksteht; insbesondere auch an dem Tau, welcher nach klaren Nächten aus den Kelchen der Blumen, an den Halmen der Gräser uns entgegen blinkt.

Wollen wir einen Körper vor dem Beschlagen schützen, so müssen wir ihn auf oder über die Temperatur des feuchten Raumes erwärmen; wir werden hiervon besonders bei elektrischen Isolatoren Anwendung zu machen haben.

Anmerkung: Die Aufnahme des Wasserdampfes in die Luft wird durch die erwärmenden Sonnenstrahlen bewirkt; durch die Ausscheidung desselben in Form von Wassertröpfchen entstehen: Tau Nebel, Wolken und Regen.

Brilon, im December 1887.

**Dr. Husmann.**

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf