



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Handbuch der Physik zur Selbstbelehrung für jedermann

Spiller, Philipp

Berlin, 1865

Dritte Abtheilung. Vom Gleichgewichte irdischer Körper.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-75469](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-75469)

Dritte Abtheilung.

Von Gleichgewichten der irdischen Körper.

Erster Abschnitt.

Das Gleichgewicht eines festen Körpers.

Arten des Gleichgewichtes.

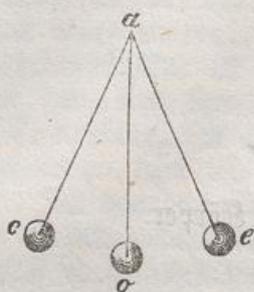
Obwohl jeder materielle Punkt eines außerhalb der Erde befindlichen Körpers als ein die Erde anziehender zu betrachten ist, so kann doch für sämmtliche Punkte nur der Schwerpunkt des Körpers als der einzige Anziehungspunkt angesehen werden. Es sind also der Erdmittelpunkt und der Schwerpunkt eines jeden auf ihr befindlichen Körpers als die einzigen anziehenden Punkte anzusehen. Wegen der überwiegenden Masse des Erdkörpers wird jeder Körper auf ihr mit seinem Schwerpunkte ihr am nächsten zu kommen suchen und, wenn er beweglich angebracht ist, auch wirklich am nächsten kommen und dann erst ruhen, wenn dies erreicht ist.

Will man diesem Bestreben begegnen und den Körper in Ruhe oder im Gleichgewichte halten; so muß man in irgend einem Punkte der starrgedachten Schwerlinie eine Kraft wirken lassen, welche dem in ihrer Richtung wirkenden Zuge der Erde entgegengesetzt gerichtet ist, also nach obenhin wirkt und der Anziehungskraft der Erde gegen den Körper gleich ist.

Dieses kann an drei Stellen geschehen: im Schwerpunkte selbst, in einem Punkte der Schwerlinie über ihm, in einem Punkte unter ihm und es heißt demnach das Gleichgewicht beziehungsweise das indifferente, das stabile, stehende, und das labile, fallende.

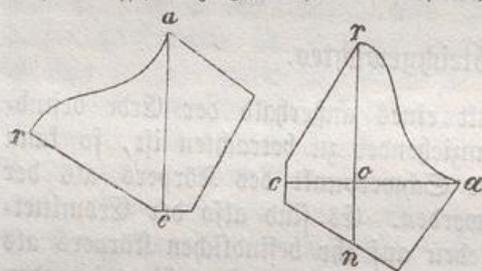
Wird ein Körper in seinem Schwerpunkte festgehalten, so kann er nach allen Richtungen bewegt werden, ohne daß er fällt und er bleibt in allen Lagen im Gleichgewichte; wird er über dem Schwerpunkte in der Schwerlinie festgehalten, d. h. ist er aufgehängt, oder unter ihm, d. h.

ist er unterstützt, so ist er nur dann in Ruhe, wenn sein Schwerpunkt in der vom Aufhängepunkte nach dem Horizonte lothrecht gezogenen Linie liegt; im letzten Falle endlich balancirt er, wenn um den Unterstützungspunkt eine nur ganz unbedeutende Fläche vorhanden ist.



(Fig. 37.)

Ist ein Körper *o* (Fig. 37) im stabilen Gleichgewichte, so kehrt er bei der geringsten Aenderung desselben dahin zurück, indem er je nach der größeren oder geringeren Entfernung des Aufhängepunktes *a* vom Schwerpunkte *o* langsamere oder schnellere Schwingungen mit immer geringer werdender Weite macht, bis er endlich zur Ruhe gelangt ist. Wir haben ein Pendel, wovon später noch ganz besonders die Rede sein wird.



(Fig. 38.)

An der sogenannten Setzwage ist ein Pendel, welches, wenn es in der Ruhelage den Halbirungspunkt der Basis trifft, anzeigt, daß die Basis horizontal liegt.

Da beim stabilen Gleichgewichte der Schwerpunkt stets unter dem Aufhängepunkte liegt, so kann man ersteren dadurch auffinden, daß man den Körper in zwei, nicht in einer Schwerlinie liegenden Punkten aufhängt und den Durchschnittspunkt der von den Aufhängepunkten gezogenen Lothrechten bestimmt; denn der Schwerpunkt muß in jeder der beiden Lothrechten Linien liegen und kann nur ihr Durchschnittspunkt sein. Ist der Körper das eine Mal in *a* (Fig. 38) aufgehängt und *ac* die Schwerlinie, das andere Mal in *r* und *rn* die Schwerlinie; so ist ihr Durchschnittspunkt *o* der Schwerpunkt des Körpers.

Ist ein Körper im labilen Gleichgewichte, so übt er auf die unterstützende Stelle einen Druck aus, welchen wir das Gewicht des Körpers nennen. Die Kraft, mit welcher der Körper drückt ist gleich der, mit welcher er beim stabilen Gleichgewichte zog und gibt stets seine Masse an, ohne Rücksicht auf den Stoff, aus welchem er besteht.

Wir können also auch sagen, daß der Schwerpunkt eines Körpers derjenige Punkt ist, in welchem das ganze Gewicht desselben vereint zu sein scheint. Wird also ein Körper irgendwie festgehalten oder fortbewegt, z. B. gestoßen, so hängt die Größe der Wirkung von der Lage des Schwerpunktes gegen die Richtung der angewendeten Kraft ab.

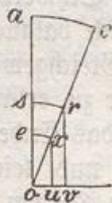
Eine Kraft wird nur dann die ihr zukommende volle Wirksamkeit

auf einen Körper haben, wenn ihre Richtung durch den Schwerpunkt des betreffenden Körpers geht und ein bewegter Körper wird nur dann sein Kraftmoment ungeschwächt als lebendige Kraft äußern, wenn die Bewegungsrichtung von seinem Schwerpunkte ausgeht. Beide Fälle sind praktisch sehr wichtig.

Das Balanciren.

Man balancirt einen Körper, wenn man ihn im labilen Gleichgewichte zu erhalten sucht, also ihn an der Stelle unterstützt, an welcher die Schwerlinie aus ihm heraustritt. Wenn also die Schwerlinie seitwärts von dieser Stelle zu kommen droht, so muß man die Unterstützung sofort nach dieser Seite hin verlegen, bis der obige Zweck erreicht ist, was eine besondere Übung zur Ausbildung dieser Geschicklichkeit verlangt. Es gehört dazu ein gutes Augenmaß und eine schnelle und leichte Beurtheilung des Unterschiedes des Druckes, welchen ein Körper nach der Lage seines Schwerpunktes verursacht.

Ein Körper läßt sich um so leichter balanciren 1) je länger er bei bestimmtem Gewichte und bei bestimmter Entfernung seines Schwerpunktes vom Unterstützungspunkte ist, 2) je höher unter übrigens gleichen Umständen über dem Unterstützungspunkte der Schwerpunkt liegt, 3) je gewichtiger bei bestimmter Länge und Lage des Schwerpunktes er ist.



(Fig. 39.)

Sind oa und os (Fig. 39) ungleich lange, in o zu balancirende Körper, und kommen sie, indem sie um denselben Winkel aoc von der lothrechten Lage abweichen, in die Lage oc und or ; so beschreibt der längere mit seinem Endpunkte a einen größeren, also eher wahrnehmbaren Bogen ac , als der kürzere mit dem Punkte s . Man wird also bei dem längeren Körper den Stützpunkt o schon bei einem kleineren Abweichungswinkel zu verlegen Veranlassung finden, um das Fallen zu verhindern, als bei dem kürzeren.

Wenn ferner bei derselben Länge oa und demselben Gewichte zweier Körper der Schwerpunkt des einen in s , des anderen in e läge; so würde bei derselben Abweichung beider von der lothrechten Lage der Schwerpunkt s nach r und e nach x , jener also mit seiner Schwerlinie rv weiter, als x mit der seinigen, welche xu ist, von dem Unterstützungspunkte o zu liegen kommen und in jenem Falle der Gewichtsunterschied oder der verminderte Druck auf o eher wahrgenommen werden, als in diesem.

Endlich ist auch klar, daß von zwei gleich langen Körpern, deren Schwerpunkte in gleicher Entfernung vom Unterstützungspunkte liegen, der leichtere sich schwerer wird balanciren lassen, weil er bei einer ge-

wissen Abweichung einen geringeren Unterschied des Druckes gegen den früheren darbieten wird, als der schwerere Körper.

Ein Degen läßt sich schwerer am Griffe, als auf der Spitze, eine Pfauenfeder schwerer, als ein gleichlanger Holzstab und dieser schwerer, als ein ebenso langer Eisenstab im labilen Gleichgewichte erhalten.

Von den drei Stücken zweier zu balancirenden Körper, nämlich den Längen, den Gewichten und den Entfernungen der Schwerpunkte von dem Unterstützungspunkte, können je zwei gleich und das dritte verschieden oder je zwei ungleich und das dritte gleich oder alle drei verschieden sein, so daß es im Ganzen 7 Fälle gibt.

Man balancirt sich selbst, wenn man seinen Körper auf einer schmalen und dabei vielleicht noch wankenden Unterlage (auf einer Stange, einem ausgespannten Seile) im labilen Gleichgewichte zu erhalten sucht.

Der Schwerpunkt des menschlichen Körpers liegt gegen die Mitte des Unterleibes. Um es leichter zu verhindern, daß die von ihm ausgehende Schwerlinie seitwärts von der Unterstützungsstelle falle, streckt man beide Arme aus, oder faßt eine gleichmäßig beschaffene Stange, Balancirstange, in ihrer Mitte an. Es hat nämlich jeder der beiden Arme, so wie jeder der beiden hervorragenden Stangentheile seinen eigenen Schwerpunkt, welcher durch das Auf- und Abwärtsbewegen der Arme oder das Hin- und Herschieben der Stange je nach dem Bedürfnisse verlegt werden kann. Droht z. B. der Körper nach links hin zu fallen, so bringt man den linken Arm dem Körper näher oder schiebt die Stange mit ihren Schwerpunkten nach rechts. Je weiter diese Schwerpunkte von dem Körper entfernt liegen, desto leichter kann man sich balanciren, weil eine kleine Verlegung derselben zur Herstellung des Gleichgewichtes hinreicht und, ist es sehr gestört, die Möglichkeit, es wieder zu erlangen, größer ist. Daher sind die längeren und noch dazu gegen das Ende mit Blei ausgelegten Stangen vortheilhafter, als die kurzen und leichten.

Wenn man statt der Stange einen starken, an beiden Seiten nach unten gebogen Draht mit schweren Kugeln an den Enden festhält, so wird man selbst unwillkürlich bei jeder Lage des Körpers dann balanciren, wenn der Schwerpunkt des Ganzen unter dem Stützpunkte liegt; denn das Ganze ist im Stützpunkte wie aufgehängt und somit im stabilen Gleichgewichte.

Man kann daher kleine Figuren zu sehr geschickten Seiltänzern machen. Bringt man die Vorrichtung aus der Lage des Gleichgewichtes, so kehrt sie wie ein hängender Körper durch eine Reihe von Schwingungen immer wieder dahin zurück.

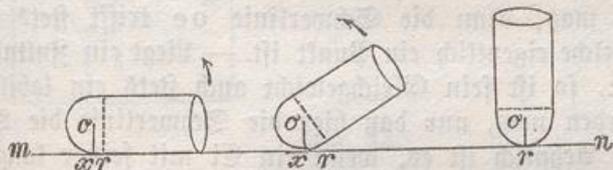
Durch ähnliche Vorrichtungen wird es u. a. erreicht, daß eine Figur einige Zeit den Mund abwechselnd auf- und zumacht, daß sie die Augen verdreht, daß sie mit einer Säge zu sägen, mit einem Hobel zu hobeln scheint.

Man kann auf einer Nadelspitze drei Messer oder Gabeln gleich-

zeitig scheinbar balanciren, eigentlich aber hängen lassen, wenn man an die beiden Enden der mittelsten die beiden anderen durch Anstechen nach unten anbringt.

Das Streben nach stabilem Gleichgewichte.

Das Streben eines Körpers nach dem stabilen Gleichgewichte zeigt sich stets darin, daß der Schwerpunkt desselben stets die tiefste, d. h. der Erde am nächsten kommende Stelle einzunehmen sucht. Dies zeigt sich auch dann, wenn der Körper sich frei in der Luft (Luftballon) oder im Wasser (Schiff) bewegen kann. Ein fester Körper wird auf einem anderen festen nicht eher zur Ruhe kommen, als bis seine Schwerlinie die unterstützende Stelle trifft.



(Fig. 40.)

Hat ein Tringlas einen dicken halbkugelförmigen Boden, so daß der Schwerpunkt o (Fig. 40) in ihm liegt, so wird es weder in horizontaler, noch in schiefer Lage auf einer horizontalen Ebene mn liegen bleiben, weil die Schwerlinie ox aus dem Körper nicht da hervortritt, wo er unterstützt wird, sondern seitwärts (hier links von r) und daher muß das Glas in der Richtung der Pfeile sich erheben, bis es nach einigen Schwankungen die dritte Lage angenommen hat. Das sind die sogenannten Taumelbecher. Hierher gehören auch die Stehaufmännchen, welche man aus Kork oder dem Marke der Sonnenrosenstaude anfertigt und ihnen an den Füßen eine halbe Bleikugel anklebt.

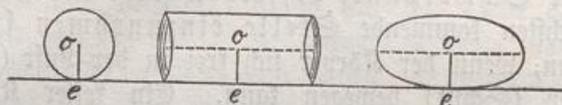
Falsche Würfel, mit denen man immer eine große Augenzahl wirft, haben auf der entgegengesetzten Seite, also in der Nähe der Seiten mit wenigen Augen im Innern ein Stück Blei, so daß letztere unten zu liegen kommen.

Die Stocklaternen hängen an einer in ihren Lagern drehbaren Ase, welche auch bei schiefer Lage des Stockes, an dessen Ende eine Gabel diese Ase trägt, gestattet, daß der Schwerpunkt stets unter sie zu liegen kommt, wodurch die Laternen in lothrechtlicher Richtung erhalten werden.

Da die Schiffe auf den Meeren einer mehrseitigen Schwankung ausgesetzt sind, so mußte man darauf denken, die zu Kompassen dienenden Magnetnadeln stets in horizontaler Lage zu erhalten. Dieses wird dadurch erreicht, daß man drei aufeinander lothrechte kreisförmige Ringe anwendet, von denen der mittelste und kleinste mit seiner Ase in dem zweiten und dieser ebenso in dem äußersten und größten sich dreht. An

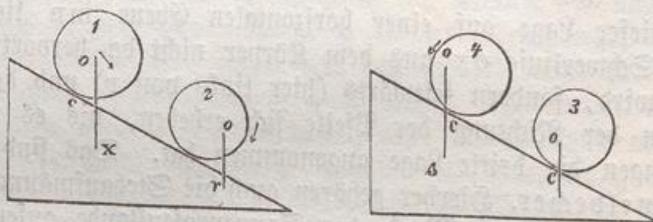
der drehbaren Axe des innersten Ringes befindet sich der Kompaß so angebracht, daß sein Schwerpunkt stets unterhalb der Axe liegt.

Dieses ist das schon bei der Kollampe des Kardanus angewendete Prinzip. Eine solche mit Del versorgte Lampe kann man auf den Dielen hinrollen, ohne daß sie übergießt. — Etwas Aehnliches hat man häufig bei Küchenlampen. Der Kardansche Ring hat aber bloß zwei auf einander winkelrechte Ringe mit zwei diametralen Drehungsaxen.



(Fig. 41.)

Die Kugel, deren Mittelpunkt o der Schwerpunkt ist, befindet sich auf einer horizontalen Ebene stets im labilen Gleichgewichte, wie sie auch gerollt werden mag, denn die Schwerlinie oe trifft stets die unterstützte Stelle e , welche eigentlich ein Punkt ist. — Liegt ein Zylinder auf einer solchen Ebene, so ist sein Gleichgewicht auch stets ein labiles, wie er auch gerollt werden mag, nur daß hier die Schwerlinie die Berührungslinie trifft. — Aehnlich ist es, wenn ein Ei mit seiner langen Axe parallel zur Ebene liegt.



(Fig. 42.)

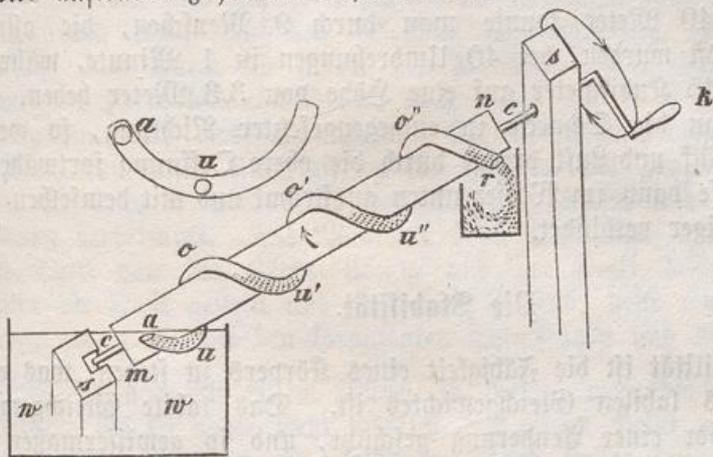
Anders ist es, wenn jene Kugel auf einer schiefen Ebene liegt (Fig. 42); denn hier fällt die Schwerlinie ox unterhalb der unterstützten

Stelle c und sie muß deshalb fortwährend herabrollen.

Ist der Schwerpunkt o nicht im Mittelpunkte, wie wenn man in einer Holzkugel dicht unter ihrer Oberfläche ein Stück Blei angebracht hat; so wird der Körper (auch Zylinder, Scheibe u. a.) auf der schiefen Ebene eine Strecke abwärts rollen, oder ruhen oder sogar eine Strecke aufwärts rollen, jenachdem die Schwerlinie or unterhalb der unterstützten Stelle die Ebene trifft, oder in ihr oder oberhalb einschneidet; im ersten und dritten Falle aber schließlich auch zur Ruhe kommen und die Lage des zweiten annehmen. — Jeder beliebige Körper wird auf einer schiefen Ebene ruhen, wenn seine Schwerlinie die unterstützende Stelle trifft.

Statt einer schiefen Ebene kann man sich zweier Billardstäbe bedienen, die man unter einem spitzen Winkel mit ihren spitzen Enden aneinander legt. Eine hier aufgelegte Billardkugel rollt scheinbar aufwärts nach den dickeren Enden der Stäbe hin; ihr Schwerpunkt aber geht in

der That dabei an immer tiefere Stellen, so daß sie herabrollt. —
 Ähnlich ist es mit einem Doppelkegel (zwei gleiche grade Kege, mit
 ihren Grundflächen an einander gefügt), welchen man zwischen die Schenkel
 zweier aufwärts gehenden Schienen legt.



(Fig. 43.)

deutet, wo bei u die Ruhelage der Kugel ist.

Ist nun mn ein Zylinder, liegt derselbe mit seiner Axe cc auf den
 Ständern ss, ist um ihn spiralförmig eine Röhre auour gewunden,
 hat er gegen den Horizont eine Neigung von etwa 45 Graden und
 legt man bei a eine kleinere Kugel in den von da nach dem nächsten u
 herabgehenden Röhrentheil; so wird diese Kugel bis zum tiefsten Punkte u
 herabrollen und nach wenigen Schwingungen daselbst liegen bleiben. Dreht
 man aber an der Kurbel k den Zylinder mit der an ihm befestigten
 Röhrenspirale in der Richtung der angegebenen Pfeile, so kommen die
 Punkte o, welche bei jeder einzelnen Windung die höchsten waren, immer
 tiefer herab und nehmen endlich die tiefsten Stellen u', u'' ein; also die
 Kugel, welche in u lag, ist nach der ersten halben Drehung in o, nach
 der zweiten in u', nach der dritten in o' u. s. w. bis sie endlich bei
 dieser Zeichnung nach sechs halben oder drei ganzen Drehungen in r
 angelangt ist und dort herausfallen muß. Es drehen die oberen Röhren-
 theile sich gewissermaßen zurück unterhalb der Kugel, während die Stellen,
 in denen sie sich vorher befand, höher zu liegen kommen.

Liegt nun die Spirale mit ihrem unteren Ende a so weit in einem
 Wasserbehälter ww, daß grade nur ein halber Umlauf derselben gefüllt
 ist, und dreht man wie vorhin, aber fortwährend; so wird nach drei
 Drehungen bei dem höher gelegenen r auch fortwährend das Wasser
 ausfließen, was sich dort auffangen und weiter leiten läßt.

Statt dieses frei liegenden spiralförmigen Kanales können auch um
 eine eiserne Spindel in einem aus Holz gemachten Zylinder oder Mantel

Nicht bloß
 auf einer ebe-
 nen, sondern
 auch auf einer
 ausgetieften,
 krummen ge-
 gen Horizont
 geneigten Flä-
 che wird eine
 Kugel, die ihren
 Schwerpunkt
 im Mittel-
 punkte hat, her-
 abrollen, wie
 es Fig. 43 an-

solche Kanäle angelegt werden. Diese Vorrichtung ist die Wasserschraube von Archimedes, oder die Wasserschnecke.

In Betreff der Leistungsfähigkeit dieser Wasserschnecke führen wir folgendes Beispiel an. Bei einer Länge von 5,85 und einem Durchmesser von 0,49 Meter konnte man durch 9 Menschen, die alle 2 Stunden abgelöst wurden, bei 40 Umdrehungen in 1 Minute, während einer Stunde 45 Kubikmeter auf eine Höhe von 3,3 Meter heben.

Dreht man die Schnecke in entgegengesetzter Richtung, so weicht das Wasser zurück und Luft dringt durch die obere Oeffnung fortwährend ein, so daß diese dann im Wasser unten ausströmt und mit demselben sich mehr oder weniger verbindet.

Die Stabilität.

Die Stabilität ist die Fähigkeit eines Körpers zu stehen, was eine Befestigung des labilen Gleichgewichtes ist. Das labile Gleichgewicht wird dadurch vor einer Aenderung geschützt, und so gewissermaßen zu einem stabilen gemacht, daß man die Stelle, an welcher die Schwerlinie unterhalb aus dem Körper tritt, in mindestens drei, um sie nicht in einer graden Richtung gelegenen Punkten unterstützt.

Da drei solche Punkte stets in einer bestimmten Ebene liegen, so stehen selbst auf unebenem Boden dreibeinige Stühle, Tische, Gestelle fest und man wendet daher auch beim Feldmessen und zur Aufstellung physikalischer und astronomischer Instrumente dreifüßige Stativen an.

Die Stabilität wird um so größer sein, je größer die durch die Stützpunkte nach ihren Grenzen bestimmte Fläche ist, je näher in ihrem Schwerpunkte die Schwerlinie in sie einschneidet, je näher der Schwerpunkt des Körpers ihr liegt und je schwerer er selbst ist.

Es ist demnach natürlich, daß breitspurige Wagen nicht so leicht umwerfen, als schmalgleisige; daß vierbeinige Thiere im allgemeinen fester stehen als zweibeinige und unter diesen diejenigen am festesten, welchen die Füße die größte Unterstützungsfläche gewähren; ferner, daß ein Keil fester steht, als ein Zylinder mit gleicher Grundfläche und Masse; ein Eisenkörper fester als ein Holzkörper von gleicher Form und Größe.

Stellen wir die beiden Füße in derselben Richtung, den einen hinter den anderen, so fallen wir leicht nach vorn oder hinten; wird der eine schräge vor den anderen in einiger Entfernung gestellt, so stehen wir am festesten.

Durch Bewegung des Körpers oder Aufnahme von Lasten verlegen wir den Schwerpunkt, damit die Schwerlinie beim Stehen stets zwischen die beiden Füße falle; ist die Last vorn, so legt man den Oberkörper nach hinten über, wie es auch die korpulenten Leute und die ziemlich grade stehenden Tauchervögel thun müssen; ist die Last auf dem Rücken, so beugt man sich nach vorn; ist sie an der einen Seite, so streckt man

den anderen Arm aus oder neigt sich dorthin. Geht man bergauf, so muß man sich nach vorn; geht man bergab, nach hinten überlegen. — Der Schwerpunkt muß auch verlegt werden, wenn man ein Bein hebt, einen Arm ausstreckt und sich fortbewegt. Beim Laufen fällt man eigentlich fortwährend etwas auf den jedesmal vorausgesetzten Fuß und erhebt sich auf ihm durch die Kraft der Muskeln. Die Schwerlinie wird immer vorwärts hin abwechselnd nach rechts und links gelegt und diese Verlegung durch das abwechselnde Schlendern mit beiden Armen erleichtert, bei dessen Unterlassung die Haltung des ganzen Körpers eine mehr schwankende wird, was das Gehen erschwert und weit eher Ermüdung herbeiführt. Die Manieren beim Schlendern der Arme hängen zum Theil von der Körperbildung und der Kraft desselben ab. Je breiter die Füße gestellt und je kleiner sie sind, desto wankender ist der Gang, wie z. B. bei den korpulanten Chinesinnen und den Gänsen.

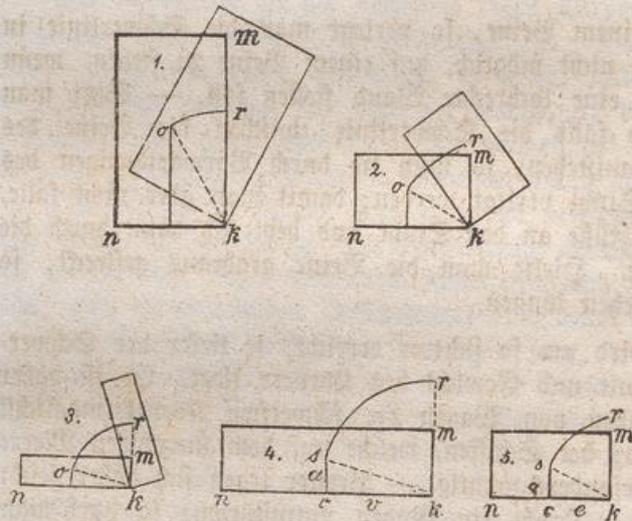
Steht man auf einem Beine, so verlegt man die Schwerlinie in dasselbe. Es ist daher nicht möglich, auf einem Beine zu stehen, wenn man dasselbe dicht an eine lothrechte Wand stellen soll. — Sitzt man auf einem Stuhle, so fällt die Schwerlinie zwischen die Beine des Stuhles. Will man aufstehen, so muß sie durch Vorwärtsneigen des Oberkörpers vor den Stuhl verlegt werden; damit man aber nicht falle, zieht man zugleich die Füße an den Stuhl und hebt sich dann durch die Muskelkraft der Beine. Hielte man die Beine gradeaus gestreckt, so würde man nicht aufstehen können.

Die Stabilität wird um so sicherer erreicht, je tiefer der Schwerpunkt bei einerlei Gestalt und Gewicht des Körpers liegt. Es ist daher angemessen beim Beladen von Wagen die schwersten Körper möglichst weit unten anzubringen; bei Schiffen, welche auf dem unruhigen Meere fahren, ist dies ganz besonders wichtig. — Bretter legen sich daher leicht auf die flache Seite. — Droht ein Wagen umzustürzen, so darf man sich nicht erheben, muß sich vielmehr auf die entgegengesetzte Seite möglichst tief herab begeben. — Da bei einer Pyramide und einem Kegele der Schwerpunkt näher an der Grundfläche liegt, als bei einem Prisma und Zylinder von demselben Stoffe und Gewichte, so stehen jene fester, als diese. — Die Füße der Lampen und anderer Gegenstände, die eine ziemliche Höhe haben und fest stehen sollen, werden mit Blei ausgegossen. — Wenn die in ihren Bestandtheilen fest zusammenhängenden schiefen Thürme zu Pisa und Bologna nicht umfallen, so liegt dies daran, weil ihre Schwerlinie immer noch die Basis trifft und die überhängenden Theile ein zusammenhängendes Ganzes bilden. Bei Mauerwerk, welches aus kleinen Backsteinen, die durch Mörtel meist, wenigstens anfänglich, nur lose zusammengefügt sind, dürfte man es nicht wagen, die Kanten und Flächen derselben aus der gegen den Horizont lothrechten Lage aufzubauen.

Das Umkanten.

Es kommt häufig vor, daß man einen Körper, welcher auf einer seiner Begrenzungsflächen eine gewisse Stabilität erlangt hat und ruht, auf eine andere benachbarte Begrenzungsfläche legen will. Es ist zu diesem Zwecke nothwendig, den Körper aus der ersten stabilen Lage auf die Kante zwischen den beiden benachbarten Ebenen ins labile Gleichgewicht und dann in die zweite stabile Lage zu bringen. Diese Arbeit nennt man das Umkanten.

Je stabiler das erste Gleichgewicht ist, d. h. je tiefer an der Grundfläche der Schwerpunkt des Körpers liegt, je größer sie ist, je mehr in ihre Mitte die Schwerlinie fällt, und je schwerer der Körper ist, desto schwieriger ist die Arbeit.



(Fig. 44.)

liegen; beim Holze liegt er am höchsten, beim Eisen am tiefsten. Sollen die Körper aus dem jetzigen stabilen Gleichgewichte ins labile gebracht werden, so muß der Schwerpunkt o lothrecht über der Kante k zu liegen kommen. Bei fester Lage der Kante k wird der Schwerpunkt des Holzkörpers den kleinsten Bogen or , der des Eisenkörpers den größten beschreiben müssen, jener sich also am leichtesten umkanten lassen.

Denken wir uns ferner zwei Körper (4, 5) wieder von gleichem Gewichte; aber ungleichen Grundflächen, über welchen die Schwerpunkte s aber gleich entfernt sind; so läßt sich der mit der größeren Grundfläche, bei welchem also der Treffungspunkt c der Schwerlinie a weiter von der Kante k entfernt ist (v größer, als e), schwerer umkanten, weil bei ihm der Schwerpunkt einen größeren Bogen zurück zu legen hat, als bei dem anderen.

Nehmen wir zunächst drei gleich schwere Körper (Fig. 44) 1, 2, 3, nm von verschiedenen Stoffen, z. B. Holz, Sandstein und Eisen an, welche eine gleiche und gleichgestaltete Grundfläche und lothrecht darauf gestellte Seitenflächen haben; so werden die Schwerpunkte o von ihnen in ungleicher Höhe über der Basis nk

Daß unter übrigens gleichen Umständen der schwerere Körper auch schwerer umzukanteten ist, dürfte nun wohl eines Beweises nicht weiter bedürfen.

Daraus ergibt sich also, daß man einen Körper, welchen man möglichst leicht umkanten will, wenn irgend thunlich, immer so legen muß, daß sein Schwerpunkt möglichst hoch zu liegen kommt.

Diese Betrachtungen führen uns zu dem Schlusse, daß der feste Stand oder die Stabilität eines Körpers im graden Verhältnisse mit seinem Gewichte und der Entfernung des Treffungspunktes der Schwerlinie in die Grundfläche von der Umkantungslinie, aber im umgekehrten Verhältnisse des Abstandes seines Schwerpunktes von der Grundfläche steht.

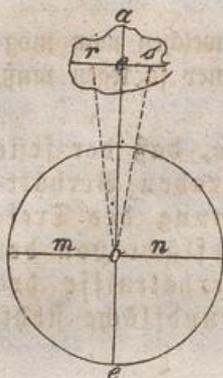
Vom Gewichte.

Zufolge der Anziehung, welche die Erde auf jeden Körper an ihrer Oberfläche ausübt und ihn nöthigt bei ihr zu bleiben, übt er oberhalb seines Schwerpunktes einen Zug und unterhalb desselben einen Druck aus. Die Stärke dieses Zuges oder Druckes nennt man das Gewicht des Körpers und dieses richtet sich bei einem bestimmten Stoffe nach der Menge der Stofftheile von bestimmter Größe und bei verschiedenen Stoffen nach dem Wesen des Stoffes oder seiner Atome. Es ist natürlich, daß Körper auch aus verschiedenen Stoffen dasselbe Gewicht haben können und dann ist ihre Masse gleich.

Es ist klar, daß man die Begriffe Schwere und Gewicht nicht verwechseln darf: jene ist die gegenseitige Anziehung der Erde und eines Körpers außerhalb ihr, dieses ist eine Folge von jener oder eine von ihren Aeußerungen, zu denen wir auch das Fallen rechnen. Alle Körper an der Erdoberfläche sind zwar als gleich schwer anzusehen (fallen auch gleich schnell), weil die Anziehung der Erde gegen die Körper auf ihr als unendlich groß zu betrachten ist gegen die Anziehung, welche sie auf die Erde ausüben; aber nicht als gleich gewichtig, weil die Summe der Kräfte, womit jedes Körperatom von der Erde angezogen und wodurch der Druck oder Zug ausgeübt wird, von ihrer Menge und Beschaffenheit, also von der Masse des Körpers abhängt.

Wir können zwar die Größe des Druckes oder Zuges aus der Wirkung auf unsere Muskelkraft einigermaßen beurtheilen, es gibt dies aber keinen sicheren Maßstab, weil, wenn wir z. B. kränklich sind, derselbe Körper uns gewichtiger zu sein scheint, als es bei voller Gesundheit der Fall ist. Manche Menschen haben freilich durch fortgesetzte Uebung, welche beim Mangel an anderen Mitteln eine Nothwendigkeit war, eine erstaunliche Fertigkeit erlangt, das Gewicht von Körpern annähernd zu schätzen oder durch das Gefühl sie abzuwägen; aber es ist

dies bei großen Massen nicht ausführbar und bei sehr geringen ganz unzuverlässig.



(Fig. 45.)

betreffenden Theile der Erde auf derselben Seite jener Ebene liegen, vollkommen gleich stark an, nämlich m das r und n das s. — Statt dessen können wir aber auch die von dem Mittelpunkte o ausgehende Gesamtwirkung der Erde auf die Theile r und s setzen, so daß die Schwerpunkte der Theile r und s von o in gleicher Entfernung sind oder die Verbindungslinie derselben in eine horizontale Richtung geführt und erhalten werden.

Dies ist der Grundgedanke, welcher beim Abwägen der verschiedenartigsten Körper festgehalten werden muß. Im gewöhnlichen Leben wird auf die verschiedenen Orte der Erdoberfläche, an denen das Abwägen geschieht, und auf den Einfluß der Luft und deren verschiedene Dichtigkeit nicht Rücksicht genommen. Aber so viel ist sofort klar, daß ein bestimmter Körper einen um so geringeren Druck ausüben muß, je mehr wir uns von dem Erdmittelpunkte entfernen, also wenn wir aus dem Thale den benachbarten Berg besteigen, oder wenn wir von den Polen her nach dem Aequator gehen. Der Einfluß der Luft soll später besonders betrachtet werden.

Um nun die Gewichte verschiedener Körper mit einander vergleichen zu können und eine genaue Vorstellung von dem Gewichte eines jeden einzelnen Körpers zu erlangen, muß man den Druck oder das Gewicht eines Körpers aus einem bestimmten Stoffe von bestimmter Größe und bestimmter Dichte als Normalgewicht oder als Maßeinheit annehmen und von ihr dann zweckmäßige Unterabtheilungen machen.

Die Metalle haben selbst in ihrer Reinheit nicht stets einerlei Dichtigkeit und noch weniger ist es bei anderen festen Körpern der Fall. Als zu einer Maßeinheit für die Gewichte ist das vollkommen reine, von fremdartigen Körpern freie Wasser, welches keinem Drucke ausgesetzt ist, bei 4 Grad Wärme (nach dem Thermometer von Celsius) geeignet. Bei dieser Temperatur hat es nämlich seine größte Dichtigkeit.

In Frankreich hat man das Gewicht eines Kubikzentrums (oder den millionsten Theil von dem Gewichte eines Kubikmeters) solchen Wassers im luftleeren Raume als Einheit genommen und Gramm genannt. 1000 Gramm geben ein Kilogramm und dies ist das Gewicht von einem Kubikdezimeter (1000 Kubikzentimeter) oder einem Liter Wasser.

Das Gramm zerfällt nun in zehnthellige Unterabtheilungen mit den Namen Dezigramm, Zentigramm, Millegamm, so daß diese nach der Reihe $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1000}$ eines Grammes sind.

1 preussisches Pfund ist gleich 0,4677110 Kilogramm oder 467,711 Gramme, 1 Wiener Pfund ist gleich 0,5600164 Kilogramm oder 560 Gramme, 1 badenches oder schweizerisches Pfund ist gleich 0,5000000 Kilogramm oder 500 Gramme. Letzteres ist seit 1858 das Zollpfund.

Ein preussischer Kubikfuß Wasser wiegt 66,1 preussische oder 61,83 Zollpfunde.

Gewichtsverminderung durch eine Seitenkraft.

Jeder Körper wird zufolge seiner Masse mit einer bestimmten Kraft von der Erde angezogen. Diese lothrecht abwärts auf den Horizont wirkende Kraft, welche durch das Gewicht gemessen wird, kommt nur dann zu ihrer vollen Geltung, wenn eine andere Kraft ihr nicht irgendwie entgegenwirkt.

Nicht ohne Interesse ist der Fall, wenn eine zweite Kraft horizontal wirkt. Andere Fälle kommen später zur Sprache.

Ein Trappe, welches ein schwerfälliger Vogel mit verhältnißmäßig nicht großen Flügeln ist, wird durch sein ganzes Gewicht, welches man durch eine beliebige grade Linie ausdrücken kann, an dem Erdboden festgehalten, wenn er still steht. Es wird ihm nicht gelingen von der Stelle aufzusteigen; er läuft also, indem er eine zweite Kraft, seine Muskelkraft, in Anspruch nimmt, mit ausgebreiteten Flügeln horizontal vorwärts. Aus diesen zwei Kräften entsteht eine Resultirende, welche gegen den Horizont einen um so kleineren Winkel bildet, je schneller er läuft, indem die horizontale Seite des Parallelogramms der Kraft wächst. Je kleiner aber der Winkel wird, desto kleiner wird auch die Kraft, mit welcher der Vogel noch lothrecht abwärts gezogen wird und um so eher kann er sich durch seine Flügel erheben. Dasselbe gilt von den Gänsen und vielen anderen Vögeln.

Ein Schlittschuhläufer wird um so gefahrloser über eine dünne Stelle des Eises hinwegkommen, je schneller er fährt. — Ähnliches gilt von dem mehr oder minder schwerfälligen Gange der Menschen, namentlich aber von Eisenbahnzügen, welche um so weniger auf die Schienen drücken, je schneller sie fahren. Ein sehr schnelles Laufen und Fahren nähert sich in der That dem Fliegen, was auch der gewöhnliche Sprachgebrauch angenommen hat. Das sehr schnelle Fahren kann einem Eisen-

bahnzuge weniger dadurch gefährlich werden, daß er über Stellen kommt, an denen die Schienen eine schwache Unterlage haben, als wenn ein Sturmwind ihn von der Seite trifft; denn er kann dann, wie es, ich glaube in England, schon einmal vorgekommen ist, um so leichter auf die Seite geworfen, oder aus den Schienen gehoben werden. Man muß also bei starken von der Seite, namentlich lothrecht ankommenden Stürmen langsamer fahren.

Ähnliche Betrachtungen finden statt, wenn auch andere Kräfte unter anderen Winkeln gegen die Richtung der Schwerkraft, ja ihnen gradlinig entgegengesetzt einwirken.

Gleichgewicht dreier Kräfte an einer starren Linie.

Die Masse eines Körpers kann als die Kraft angesehen werden, mit welcher die Erde den Körper anzieht. Bei einem einzelnen Körper greift diese Kraft in seinem Schwerpunkte an und sein Gewicht ist das Maß derselben.

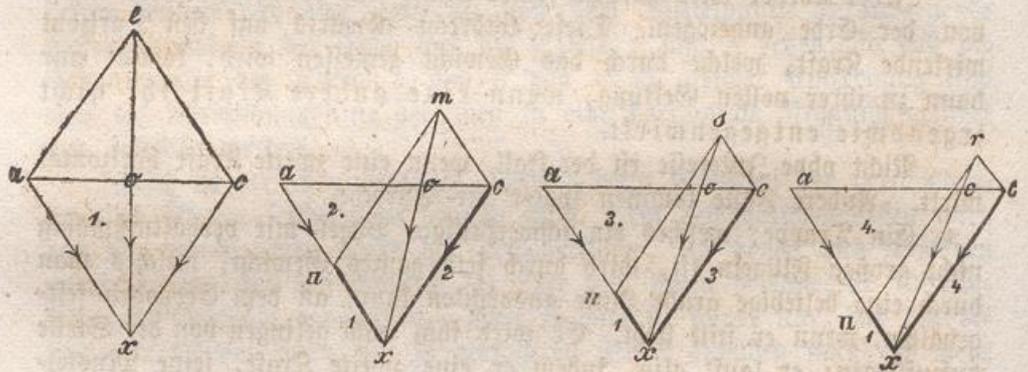


Fig. 46.

Hat man nun zwei Körper, deren Schwerpunkte *a* und *c* (Fig. 46) sein sollen und denkt man sich diese durch die schwerlose, horizontale und starre grade Linie *ac* verbunden, so entsteht die Frage:

wo liegt der Angriffspunkt der Resultirenden der Schwerkräfte dieser verbundenen Körper?

Denkt man sich in *x* den Mittelpunkt der Erde, so sind *xa* und *xc* einander gleich und *axc* ist ein gleichschenkeliges Dreieck. Sind die Massen in *a* und *c* einander gleich (Fall 1), so können *xa* und *xc* als die Maße der auf sie wirkenden Anziehungskräfte der Erde, oder als die Schwerkräfte angesehen werden und der Angriffspunkt ihrer Resultirenden *xe* geht durch den Halbierungspunkt der *ac*.

Ist die Masse in *c* das Doppelte von der in *a* (2), so wird für letztere das Maß nur $xu = \frac{xa}{2}$ sein. Zeichnet man aus *xu*, *xc* und

dem Winkel uxc das Parallelogramm der Kräfte, nämlich $xumc$ und darin die Diagonale xm ; so schneidet sie die ac in o so, daß ao das Doppelte von co ist.

Ist die Masse in c das Dreifache (3) von der in a , die $xc = 3.xu$ und zeichnet man aus xu , xc und Winkel uxc das Parallelogramm, so schneidet seine Diagonale xv die ac so, daß ao das Dreifache von co ist.

Wäre die Masse in c das Vierfache (4) von der in a und in gleicher Weise $xc = 4.xu$, so muß der Angriffspunkt o der Resultirenden so in der ac so liegen, daß ao das Vierfache der co ist.

In dieser Weise kann die Betrachtung fortgesetzt werden für jedes Verhältniß der beiden Massen, die durch eine grade Linie, von deren Gewichte wir einstweilen abgesehen haben, verbunden sind.

Daraus ist also der Schluß zu ziehen:

der Angriffspunkt der Resultirenden aus den Schwerkräften zweier Körper liegt in der Verbindungslinie ihrer Schwerpunkte so, daß seine Entfernungen von diesen sich wie umgekehrt diese Kräfte verhalten.

Ist, wie wir oben angenommen haben, x der Erdmittelpunkt, so werden die von ihm aus nach a und c , welche eine verhältnißmäßig nur geringe Entfernung von einander haben, gezogenen graden Linien in der Nähe der ac als parallel unter einander und als senkrecht auf ac ohne einen irgend merklichen Fehler sich ansehen lassen.

Aus bekannten Betrachtungen ist ferner klar, daß eine Kraft, welche in o angreift, der in den verschiedenen Fällen sich ergebenden Resultirenden gleich ist, und ihr gradlinig entgegengesetzt wirkt, diese Resultirende, also auch die ursprünglichen beiden Kräfte aufhebt oder das Gleichgewicht mit ihnen herstellt, so daß dadurch der Punkt o zu einer festen Lage gelangt, um welche die Linie ac drehbar gedacht werden kann.

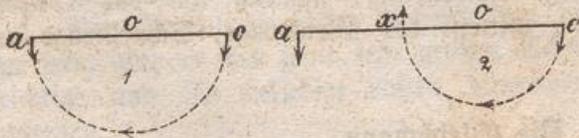


Fig. 47.

Ist die starre Linie ac (Fig. 47) um o als festen Punkt drehbar, so können wir in a und c beliebige Arten von Kräften (z. B. Menschenkräfte, Pferdekräfte, die an der Wage eines Wagens angreifen) in einer lothrechten Richtung, so daß sie ganz zur Wirkung gelangen, auf ac einwirken lassen, ohne daß für das Gleichgewicht eine andere Bedingung eintritt, als die obige.

Dreht man a nach unten (1), so geht c nach oben; ist aber in c eine auch nach unten wirkende Kraft angebracht, so will sie a nach oben drehen. Ist oa gleich oc und die Kraft in c gleich der in a ; so ist es, als wäre die Kraft in c von da nach a verlegt und als wirkten

Ist die starre Linie ac (Fig. 47) um o als festen Punkt drehbar, so können wir in a und c beliebige Arten von Kräften (z. B. Menschenkräfte, Pferdekräfte, die an der Wage eines Wagens an-

nun in a zwei gleiche einander gradlinig entgegengesetzte Kräfte, welche einander aufheben; also heben die in a und c der um o drehbaren Linie a c angreifenden, und nach einerlei Richtung (beide nach oben), wirkenden Kräfte einander auf.

Ist aber o c kleiner als o a (2), so müßte zur Herstellung des Gleichgewichtes die Kraft in c so viel mal größer, als die in a sein, wie viel mal o c kleiner, als o a war. Nun ist nach dem Gesagten klar, daß man den Angriffspunkt der größeren Kraft von c nach x verlegen kann, wenn o x gleich o c ist und sich weiter nichts ändert.

Jetzt wirkt die Kraft in a nach unten, die in x nach oben, wie es die Pfeile andeuten und das Gleichgewicht bleibt ganz unter der obigen Bedingung, obwohl der Drehpunkt o der starren Linie a o jetzt der eine ihrer Endpunkte ist, die Kräfte auf derselben Seite von ihm und nach entgegengesetzter Richtung wirken.

Es ergibt sich daher als allgemeines Gesetz:

zwei beliebige Kräfte, welche an beliebigen Punkten einer um einen gewissen Punkt drehbaren Linie angreifen und lothrecht auf sie wirken, verhalten sich zu einander wie umgekehrt die Entfernungen der Angriffspunkte vom Drehpunkte, wenn sie das Gleichgewicht herstellen.

Weil für den Fall des Gleichgewichtes $k : K = E : e$ steht, wenn k u. K die beiden Kräfte, e u. E die dazu gehörigen Entfernungen sind; so muß $ek = EK$ sein, d. h. die Produkte aus den Kräften und ihren Entfernungen vom Drehpunkte, die man statische Momente nennt, müssen einander gleich sein. Sind also die Entfernungen gleich, so müssen es auch die Kräfte sein und umgekehrt; verhalten sich aber die Entfernungen wie 1 : n, so verhalten sich die Kräfte wie n : 1.

Von diesen Betrachtungen machen wir im praktischen Leben zunächst eine dreifache höchst wichtige Anwendung, nämlich um das Gewicht von Körpern zu bestimmen, mittelst der Gleichwage, Schnellwage und Brückenwage.

Die Gleichwage.

Im praktischen Leben ist es von der größten Wichtigkeit, Mittel zu besitzen, um die uns durch den Erdbörper selbst dargebotene Möglichkeit, die Massen der verschiedenen Körper aufs genaueste zu bestimmen, zur Wirklichkeit zu machen. Die zu diesem Zwecke angefertigten Instrumente sind die Wagen, welche je nach den verschiedenen Zwecken eine verschiedene Konstruktion haben, denn man hat theils sehr große Lasten abzuwägen, theils das Gewicht außerordentlich kleiner und zarter Körper zu bestimmen, bei denen es wegen ihres hohen Werthes (Gold, Diaman-

ten), oder ihrer Bedeutsamkeit für die Gesundheit (Medikamente) oder wissenschaftlicher Untersuchungen wegen (Chemie) auf sehr geringe Gewichtsunterschiede ankommt. Man hat in beiden Beziehungen bereits Vorzügliches geleistet, so daß eine Wage es z. B. angibt, wenn ein mit Salzwasser getränktes und dann vollständig getrocknetes ganz kleines Stückchen Löschpapier aus der feuchten Luft etwas Wasserdünste angezogen hat.



Fig. 48.

bestimmt sind, so angebracht, daß die Befestigungspunkte m und n eine unverrückbare Lage haben. Das Ende der Gabel hat noch eine Vorrichtung o, um sie frei aufhängen zu können. Statt der die Axe des Wagebalkens tragenden Schere kann auch ein Ständer genommen werden und statt die Zunge vom Balken aus lothrecht aufwärts gehen zu lassen, kann sie auch an dem Ständer lothrecht abwärts gerichtet sein.

Die Herstellung dieser Bedingungen scheint nun zwar ganz einfach zu sein, aber es hat seine sehr großen Schwierigkeiten, eine vollkommen richtige und für beliebige Lasten hinreichend empfindliche Wage herzustellen.

1) Es ist zunächst ein wesentliches Erforderniß einer guten Wage, daß der Wagebalken sowohl für sich, als auch mit den bloßen Wageschalen und endlich noch mit den angebrachten Lasten eine horizontale Lage habe. Hierbei sind drei Paare von Schwerpunkten und die Lage ihres gemeinschaftlichen Schwerpunktes gegen den Drehungspunkt des Balkens zu berücksichtigen: nämlich jeder Arm des Balkens hat seinen, jede Wageschale und jede Last hat ihren Schwerpunkt.

Denkt man sich die Schwerpunkte der Arme durch eine grade Linie, die Längsaxe des Balkens, verbunden und läge der Drehpunkt im ge-

Eine gewöhnliche Gleichwage (Fig. 48) besteht aus einem unbiegsamen hölzernen oder metallenen möglichst leichten Wagebalken mn, in dessen Mitte lothrecht die Zunge cc angebracht ist; etwas oberhalb seines Schwerpunktes geht durch ihn, lothrecht auf ihm und auf der Zunge, die daran befestigte kurze Axe a; die Axe ruht mit ihren Enden in den Oeffnungen zweier Scheiben, welche sich an einer Gabel re befinden, zwischen deren beiden Theilen die Zunge bei der Bewegung des Balkens spielt. An den von der Axe gleich entfernten Enden des Balkens sind durch drei Schnüre oder Ketten die beiden Wageschalen, statt deren auch Scheiben genommen werden können, die zur Aufnahme von verschiedenen Körpern und Gewichten

meinschaftlichen Schwerpunkte des ganzen Balkens, so würde dieser im indifferenten Gleichgewichte sein, in jeder Lage ruhen und die allergeringste Belastung auf der einen Seite würde den Balken lothrecht ins stabile Gleichgewicht stellen, wobei vorläufig auf den Reibungswiderstand an der Drehungsaxe keine Rücksicht genommen wird.

Läge der Drehungspunkt unter der Aze des Balkens, so würde nur dann, und zwar labiles Gleichgewicht vorhanden sein, wenn der Drehungspunkt genau lothrecht unter dem gemeinschaftlichen Schwerpunkte läge, was aber praktisch ebensowenig ausführbar ist, als wenn man eine kleine Kugel auf einer Nadelspitze balanciren wollte.

Es wird also der Wagebalken nur dann eine horizontale Lage annehmen, wenn er mit den Wageschalen und den angebrachten Lasten im stabilen Gleichgewichte ist, d. h. wenn der gemeinschaftliche Schwerpunkt unter dem Drehungspunkte sich befindet.

Es kann sein, daß der Wagebalken für sich im indifferenten Gleichgewichte ist, daß er aber durch das Anhängen der Wageschalen ins stabile gebracht wird, weil dann der gemeinschaftliche Schwerpunkt derselben unterhalb der Aze des Balkens liegt.

Da das stabile Gleichgewicht ein um so festeres ist, je tiefer der Schwerpunkt liegt, so darf er bei guten Wagen nur wenig unter der Drehungsaxe liegen; denn je tiefer er liegt, einen desto größeren Weg muß er zurücklegen, um eine Abweichung des Wagebalkens von der horizontalen Lage oder einen Ausschlag erkennen zu lassen, welcher also nur durch ein vergrößertes Uebergewicht auf der einen Seite der Wage erzeugt werden könnte.

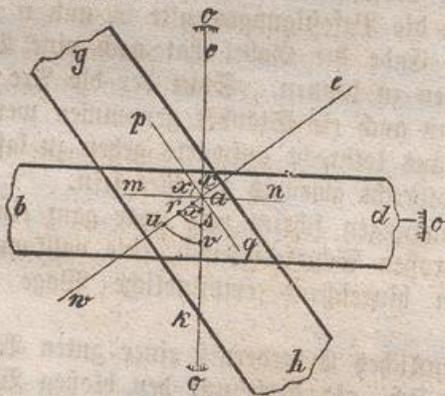


Fig. 49.

Wenn in Fig. 49 bd den horizontalen Wagebalken bedeutet, a sein Drehungspunkt ist, ac und ak die lothrecht auf ihm stehenden auf- oder abwärts gehenden Zungen sind, der Schwerpunkt des Ganzen, also des Balkens ohne oder auch mit Schalen und Belastung, das eine Mal in s, ein zweites Mal in v angenommen wird; so hat bei der neuen Lage des Balkens in der Richtung gh der Schwerpunkt s den Bogen sr, der tiefer liegende Schwerpunkt v aber den größeren Bogen vu zurückgelegt, wobei der Ausschlag der Zungen ac und ak derselbe ist. Während nämlich mn in die neue Lage pq übergeht, bewegt die Zunge ac sich nach ae, die Zunge ak nach aw, so daß die drei mit x bezeichneten Winkel einander gleich sind und den Ausschlag angeben.

Da eine größere Kraft dazu gehört, v nach u, als in derselben

Zeit s nach r hinzubewegen, so wird die Wage bei tieferer Lage ihres Schwerpunktes gegen den Drehungspunkt weniger gut sein oder es wird erst eine größere Mehrbelastung auf der einen Seite im Stande sein, einen gewissen Ausschlag hervorzubringen.

Um die genau horizontale Lage des Wagebalkens zu erlangen oder seine Lage zu prüfen, spielen entweder die Enden der Zungen an eingetheilten Kreisbogen mit einem Nullpunkte, auf welchen sie bei horizontaler Lage zeigen müssen, oder es ist seitwärts von dem Wagebalken auf einem besonderen Ständer ein solcher Bogen angebracht. Damit eine recht genaue Einstellung möglich werde, ist hinter der Zungenspitze häufig ein Spiegelchen vorhanden. Wenn Zunge und Spiegelbild einander decken, so ist der horizontale Stand erreicht.

2) Der horizontale Stand des Wagebalkens ist allein noch nicht ausreichend, um eine Gleichwage für praktisch brauchbar ansehen zu können; sie muß auch, wie man zu sagen pflegt, richtig sein. Das Gleichgewicht fand nach den obigen Betrachtungen nur dann statt, wenn ek gleich EK war und da hier eine Gleichheit zwischen k und K verlangt wird, wenn die Masse irgend eines Körpers auf der einen Seite gleich dem auf der anderen Seite angewendeten Gewichte sein soll; so müssen außer den angebrachten Massen auch die beiden Theile oder Arme des Wagebalkens gleich sein.

Nun besitzt jeder der beiden Arme aber auch eine bestimmte Masse, deren Schwerpunkt eine bestimmte Entfernung vom Drehpunkte hat, so daß die Arme für sich schon ein Gleichgewicht verlangen, welches, wenn die Massen m und M , die Abstände ihrer Schwerpunkte vom Drehungspunkte a und A heißen, durch $am = AM$ ausgedrückt ist. Es ist also mit den angehängten Lasten l und L , welche die beiden Kräfte k und K vertreten, der vollständige Ausdruck des Gleichgewichtes.

$$el + am = EL + AM.$$

Soll nun eine Gleichwage nicht bloß für einzelne Lasten l und L brauchbar sein, sondern auch für ein Vielfaches oder für einen Theil von l und L (für $nl = nL$ und für $\frac{1}{n}l = \frac{1}{n}L$); so müssen e und E , a und A , m und M einander absolut gleich sein, d. h.

soll eine Gleichwage richtig sein, so müssen beide Arme des Wagebalkens an Materiale, Länge und Dimensionen einander völlig gleich sein.

Es läßt sich nämlich ein Zustand des Gleichgewichtes für ein einzelnes l und L denken, wenn die Ungleichheiten auf beiden Seiten einander aufheben, welcher aber bei derselben Wage nicht mehr vorhanden ist, wenn man ein Vielfaches oder einen Theil von l abwägen will.

Ein solches Gleichgewicht findet statt, wenn man in dem obigen allgemeinen Ausdrucke z. B. folgende besondere Zahlenwerthe einsetzt:

$$6.3 + 3.2 = 5.3 + 3.3, \text{ was } 24 \text{ gibt.}$$

Hierbei sind die angehängten Lasten l und L gleich 3, (z. B. 3 Pfunde), die Entfernungen e und E der Aufhängepunkte 6 und 5 (z. B. 6 und 5 Zolle), die Massen m und M der beiden Arme 2 und 3 (z. B. 2 und 3 Lothe) die Abstände a und A ihrer Schwerpunkte vom Drehungspunkte 3 und 3 (Zolle). Es werden also hier die Ungleichheiten an den Armen, welche durch die Ungleichheiten ihrer Massen und ihrer Entfernungen vom Drehungspunkte hervorgebracht sind, nämlich 6 und 9 aufgehoben durch gleiche Lasten (3 und 3) bei ungleichen Entfernungen (6 und 5) ihrer Befestigungspunkte vom Drehpunkte, da $18 + 6 = 15 + 9$, beides nämlich 24 ist.

Wenn man aber bei derselben Wage statt der Lasten 3 an jedem der beiden Arme z. B. das Doppelte anbringt, so ist in den Ausdrücken $6.6 + 3.2$ und $5.6 + 3.3$.

ein Gleichgewicht nicht mehr vorhanden, indem Ersteres 42, Letzteres 39 gibt.

Es gehört also zur Richtigkeit einer Gleichwage durchaus, daß nicht nur $e = E$ oder die beiden Arme gleich sind; sondern auch, daß die statischen Momente der Arme gleich sind ($am = AM$ ist) und daß ausdrücklich hierbei nicht blos die Massen wie umgekehrt die Entfernung ihrer Schwerpunkte vom Drehpunkte sich verhalten ($m:M = A:a$, was auch $am = AM$) gibt; sondern daß einzeln $a = A$ und $m = M$ ist.

Ob nun die zwei nächsten Bedingungen wirklich stattfinden, muß vor Allem festgestellt werden.

Zu diesem Zwecke ist die horizontale Lage des Balkens nicht ausreichend, sondern es ist die gleiche Länge der Arme zu prüfen und zu bewirken. Dazu verschafft man sich zwei genau gleich schwere Wageschalen und dann auch gleiche Gewichte. Dies kann selbst mit einer Wage geschehen, deren Arme ungleich sind, wenn sie nur dabei im Gleichgewicht ist. Man bringt nämlich an den einen Arm durch ein Gewicht die eine Wageschale in's Gleichgewicht und sorgt dafür, daß die zweite Schale durch dasselbe Gewicht auf derselben Seite in's Gleichgewicht gesetzt wird.

Auf dieselbe Weise setzt man sich in den Besitz gleicher Gewichte. Man legt nämlich in die eine Schale ein Gewicht G und setzt es in der anderen durch die Gewichtstheile R in's Gleichgewicht; dann nimmt man G heraus und legt ein anderes H hinein, welches, wenn dadurch das Gleichgewicht mit R noch nicht erreicht ist, hinreichend vermindert oder vergrößert werden muß, bis es geschieht und dann sind die Gewichte G und H einander gleich.

Mit solchen gleich schweren Wageschalen und Gewichten kann man es prüfen, ob der Wagebalken, welcher für sich wohl schon im Gleichgewicht ist, auch übrigens nach den obigen Bedingungen noch richtig ist. Denn vertauscht man an ihm die Wageschalen, oder wenn dies nicht bald ausführbar

ist, die gleichen Gewichte in ihnen, so darf das Gleichgewicht nicht gestört werden, wenn er richtig ist. Läge der Drehpunkt trotz seines selbstständigen Gleichgewichtes nicht in der Mitte des Balkens, so würde der längere Arm nach Anbringung der gleichen Gewichte sinken.

Damit der Anhängepunkt der Lasten oder auch der Schwerpunkt der Arme nach den Bedürfnissen verlegt werden kann, hat man bei den guten Wagen an den Enden des Balkens kleine Schrauben angebracht. Es kann sich durch die Schraube auch ein kleines Gewicht mehr oder weniger tief in den Balken schrauben lassen.

Der Balken einer Gleichwage ist also nur dann vollkommen richtig, wenn

- 1) Die Arme gleich lang und die Befestigungspunkte für die Lasten vom Drehpunkte gleich entfernt,
- 2) die Gewichte der Arme gleich groß,
- 3) Die Schwerpunkte der Arme von dem Drehpunkte gleich entfernt und
- 4) die Schalen gleich schwer sind.

Für die Aufsichtsbehörden, deren Pflicht es ist, Uebervortheilungen im Handel zu verhüten, genügt es bei der Untersuchung der Richtigkeit einer Wage, sie durch beliebige Gewichte in den beiden Wageaschen ins Gleichgewicht zu bringen, die gebrauchten Gewichte umzutauschen und zu sehen, ob noch Gleichgewicht stattfindet.

Eine richtige Gewichtsbestimmung ist selbst mit einer Wage, welche diese Kennzeichen der Richtigkeit auch nicht darbietet, noch möglich, und zwar durch das Verfahren einer doppelten Wägung. Man legt nämlich auf die eine Seite den abzuwägenden Körper mit noch beliebigen Gewichtstheilen, bringt das Ganze durch das erforderliche Gegengewicht ins Gleichgewicht; dann nimmt man den Körper heraus und ersetzt ihn durch Gewichte, deren Werth und Richtigkeit man kennt, bis mit dem alten Gegengewichte wieder das Gleichgewicht hergestellt ist. Die den Körper ersetzenden Gewichtstücke geben sein Gewicht an. — Hierbei ist die Wage für verschiedene Fälle gleichmäßig belastet, was zu ihrem Vortheile gereicht.

3) Die dritte Bedingung für eine gute Wage ist, daß sie den für die verschiedenen Zwecke hinreichenden Grad von Empfindlichkeit zeigt, was man wohl auch Feinheit nennt. Dies ist der Fall, wenn sie bei der geringsten Mehrbelastung auf der einen Seite die Gleichgewichtslage verläßt und einen Ausschlag zeigt, was freilich um so weniger der Fall ist, je größere Lasten sie abwägen zu lassen bestimmt ist. Man mißt die Feinheit nach der Größe des Antheiles, welchen das Uebergewicht von der ganzen Last ausmacht, welche die Wage, ohne Gefahr beschädigt zu werden, wägen zu lassen fähig ist. Man fertigt Wagen an, deren Empfindlichkeit mehr, als ein Milliontel beträgt. Wenn nämlich eine Wage höchstens ein Kilogramm tragen kann, so gibt ihr ein Milligramm noch einen merkklichen Ausschlag.

Die größere Feinheit einer Wage wird erlangt:

- a) durch eine größere Länge der Wagebalken und auch der Zunge, weil man an ihnen einen kleineren Ausschlag leichter erkennt;
- b) durch die Leichtigkeit des Wagebalkens, ohne seiner Tragkraft Abbruch zu thun, also auch ohne daß er sich biegt.

Wenn sich nämlich bei einem vorhandenen Uebergewichte der Balken bewegt, so muß das Uebergewicht nicht nur die in den Wageschalen befindlichen Lasten, sondern auch die Balken gleichzeitig in Bewegung setzen und dieses wird ihm um so schwerer fallen, je gewichtiger sie sind. Dazu kommt noch, daß die Drehungsaxe des schwereren Balkens einen größeren Reibungswiderstand darbieten wird, als die des leichteren, das Erscheinen des Ausschlages in jenem Falle also schwieriger ist, als in diesem. — Würde der Balken durch die angehängten Lasten gebogen, so würde der Schwerpunkt des Ganzen tiefer unter die Drehungsaxe verlegt, was die Stabilität vergrößern, also die Empfindlichkeit vermindern würde.

Um unbiegsame und leichte Balken zu erhalten, macht man sie nach der Drehungsaxe hin stärker, als nach den beiden Enden, gibt ihnen eine größere Höhe als Dicke und fertigt sie hohl an, wie es nach den früher angegebenen Grundsätzen für die Festigkeit der Körper angegeben worden ist. Ueberdies brauchen sie nicht aus dem Ganzen zu sein, sondern können durchbrochen werden. Stahl und Eisen sind dem Einflusse des Erdmagnetismus ausgesetzt und zu ganz scharfen Wägungen wohl nicht so brauchbar wie das übrigens sehr feste Glockenmetall

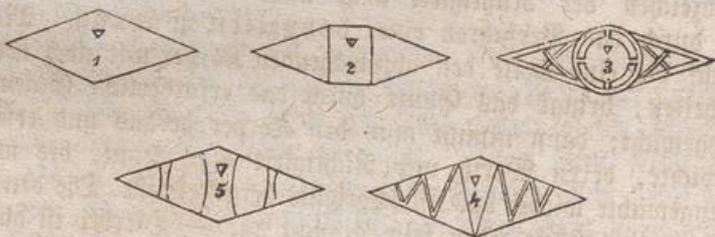


Fig. 50.

Fig. 50. gibt einige ganz brauchbare Formen und Einrichtungen an. 1) stellt zwei mit ihren Grundflächen aneinander gelegte Kegele dar; in 2) schließen die beiden Kegele sich an ein würfelförmiges Mittelstück; 3) enthält einen etwa zwei Linien dicken Metallkreis, von welchem aus solche Streben gehen, die wieder durch solche Bogen abgesteift sind; in 4) sind die etwas schwer anzufertigenden Bogen durch grade Stäbe ersetzt und in 5) ist diese Vorrichtung noch mehr vereinfacht.

c) Ein ferneres Mittel zur Erlangung einer möglichststen Empfindlichkeit der Wage ist die möglichste Beseitigung der Reibung sowohl an der Drehungsaxe des Balkens, als auch an den Aufhängepunkten der Wageschalen. Wollte man eine zylindrische Axe wählen und diese sich in

ebenso ausgetieften Lagern bewegen lassen, so würden bei jeder Lage des Balkens zu viele Berührungspunkte beider vorhanden sein. Eine ebene Unterlage würde zwar nur eine Berührungslinie darbieten, aber die Sicherheit der Schwingung über dieser Linie beeinträchtigen, wodurch die Länge der Hebelarme verändert würde. In Betreff des Materiales ist solches ausgeschlossen, welches durch die Reibung sehr leidet.

Man wendet also Stahl an und formt daraus polirte schneidenförmig zugehende Axen, bei denen der Neigungswinkel je nach der Tragkraft von 90 Graden herabgeht bis zu 30 und noch weiter. Zu Unterlagen wählt man entweder glasharten Stahl oder, was besser ist, Achat und formt sie wenig konkav, bei ganz feinen Wagen wohl auch eben, ja sogar schneidenförmig zugespitzt, so daß die Berührung beider Schneiden fast nur in einem Punkte stattfindet.

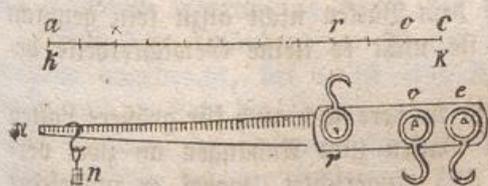
Weil aber die härtesten Körper durch häufigen Gebrauch sich abnutzen, sorgt man dafür, daß die Wage im Zustande der Ruhe entweder durch Herablassen des Balkens oder durch bewegliche Unterlagen getragen werde, wodurch man auch bei dem Gebrauche allzu lange dauernde Schwingungen vermeiden kann.

Daß die Axen auf dem Balken genau lothrecht stehen müssen, versteht sich von selbst.

d) Die Empfindlichkeit einer Wage muß mit der Verminderung der Lasten wachsen, weil die Vermehrung der Lasten die Reibung in demselben Verhältnisse vermehrt und trotz aller sinnreichen Vorrichtungen die Reibung nie vermieden werden kann.

e) Endlich hängt die Empfindlichkeit der Wage von der Lage des Drehpunktes gegen den gemeinschaftlichen Schwerpunkt der beiden Lasten und der beiden Arme des Wagebalkens ab. Bei guten Wagen müssen die Angriffspunkte der Lasten mit den beiden letzten Schwerpunkten in dieselbe grade Linie fallen. Soll der Balken sich horizontal stellen, so muß dieser Drehpunkt über dieser graden Linie liegen und je näher er ihr liegt, desto empfindlicher wird die Wage sein. Bei guten Wagen ist also durch zarte Schrauben eine Vorrichtung vorhanden, um den Drehungspunkt gegen den Schwerpunkt des Balkens und der Last zu verlegen. Die Größe des Ausschlages gibt für eine bestimmte Belastung nach Anwendung eines Uebergewichtes den jedesmaligen Grad der Empfindlichkeit an.

Die Schnellwage.



(Fig. 51.)

Greifen an den zwei Endpunkten a und c (Fig. 51) einer graden Linie zwei ungleiche Kräfte k und K an, so geht die aus den beiden Kräften zusammengesetzte Mittel- oder resultierende Kraft durch den so

gelegenen Punkt o der ac , daß die beiden Theile der Linie sich wie umgekehrt die beiden Kräfte verhalten, also k zu K , wie oc zu oa . Ist z. B. k nur der zehnte Theil von K , so ist auch oc nur ein Zehntel von oa .

Die in a und c wirkenden Kräfte können auch die Gewichte zweier Körper sein, welche also nach der Erdoberfläche, d. h. nach unten wirken. Ist dann in o eine dritte Kraft angebracht, welche der Resultirenden gleich ist und ihr entgegengesetzt, also nach oben wirkt; so findet Gleichgewicht statt. Das o kann auch der feste Drehungspunkt der Linie ac sein. Findet unter den drei in a , o und c wirkenden Kräften das Gleichgewicht statt, kennt man die Größe (das Gewicht) der einen Kraft und das Verhältniß der Länge beider Arme, so ist die Größe der anderen Kraft leicht zu bestimmen. Wenn z. B. für den Drehungspunkt o die Arme oc und oa sich wie 1 zu 10 verhalten und in a ein Pfundgewicht angebracht ist, so sind in c zehn Pfunde. — Wäre das Pfundgewicht in x , so würden in c nur acht Pfunde sein u. s. f., so daß man mit dem einen an dem langen Arme verschiebbaren Gewichte im Stande ist verschiedene Lasten am kürzeren Arme zu bestimmen.

Es ist klar, daß man durch Verlegung des Drehungspunktes mittelst derselben Gewichtseinheit ebenfalls verschiedene Lasten abwägen kann. Ist z. B. r der Drehungspunkt und sind in a und c die Lasten angebracht, so verhalten sich jetzt die Arme wie 8 zu 3. Wäre also in a ein Pfund angebracht, so würden in c dadurch $\frac{8}{3}$ oder $2\frac{2}{3}$ Pfunde im Gleichgewichte erhalten.

Ist ac die Längenangabe eines Wagebalkens, o die Drehungsaxe desselben und sind für das Anbringen der Gewichte und Lasten, so wie für die Leichtigkeit der Drehung des Balkens um die stabile Gleichgewichtslage dieselben Vorrichtungen angebracht, wie bei der Gleichwage; so hat man eine Schnellwage, welche diesen Namen führt, weil man mittelst desselben Gewichtes bei seiner bloßen Verschiebung auf dem längeren Arme schneller auch große Lasten ohne Zulagegewichte abzuwägen im Stande ist. Dazu kommt der Vortheil der geringeren Reibung an der tragenden Ase, auf welche außer dem Gewichte des Balkens und der einen Schale nur noch wenig mehr, als die abzuwägende Last drückt; denn statt des bei der Gleichwage nothwendigen Gegengewichtes der Last, welches so groß wie sie ist, hängt nur noch das kleine Laufgewicht daran.

Da indeß die Eintheilung auf dem Balken nicht allzu fein gemacht werden kann, so lassen sich durch sie nicht so kleine Gewichtstheile bestimmen, als durch die Gleichwage.

Um die Schnellwage sowohl für kleinere als auch für größere Lasten geeignet zu machen, hat man den Balken zum Anhängen an zwei verschiedenen Punkten o und r (Fig. 51) eingerichtet, wobei er umgekehrt wird und zwei verschiedene Eintheilungen haben muß. Für größere

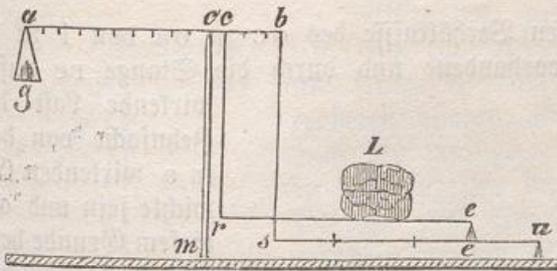
Lasten dient o als Drehpunkt, oa und oc sind die Arme; für kleinere Lasten ist r der Drehpunkt, ra und re sind die Arme.

Bei der sogenannten dänischen Schnellwage hängt der Balken in einem Rahmen und ist in ihm verschiebbar, während das Laufgewicht und die Wageeschale ihre Stelle am Balken nicht verändern lassen. Die Eintheilung kann durch den Rahmen abgelesen werden. Ist der Balken lang und leicht, so lassen sich mit ihr ziemlich feine Abwägungen vornehmen.

Daß in allen Fällen die Arme für sich und mit der etwa angehängten Wageeschale im Gleichgewichte sein müssen, versteht sich von selbst.

Die Brückenwage.

Bei den angeführten Wagen muß man die abzuwägende Last immer aufwärts in die Wageeschale bringen. Dies ist bei schweren Lasten oft sehr umständlich oder mit einem bedeutenden Kraftaufwande verknüpft, ja unter manchen Umständen gar nicht ausführbar, wie wenn man z. B. einen beladenen oder unbeladenen Frachtwagen abwägen wollte. Wüßte man das Gewicht eines bestimmten Frachtwagens und könnte man ihn belastet abwägen, so wäre mit Bequemlichkeit das Gewicht des Frachtgutes bestimmt, ohne es abladen zu dürfen. — In England wird die Höhe des auf Landstraßen zu zahlenden Zolles nach der Größe der Belastung bei einer gewissen Breite der Radreifen bemessen, wozu eine rasche Abwägung des belasteten Wagens auf der Fläche der Landstraße selbst nothwendig ist. — Ebenso kann man schweres Frachtgut abwägen wollen.

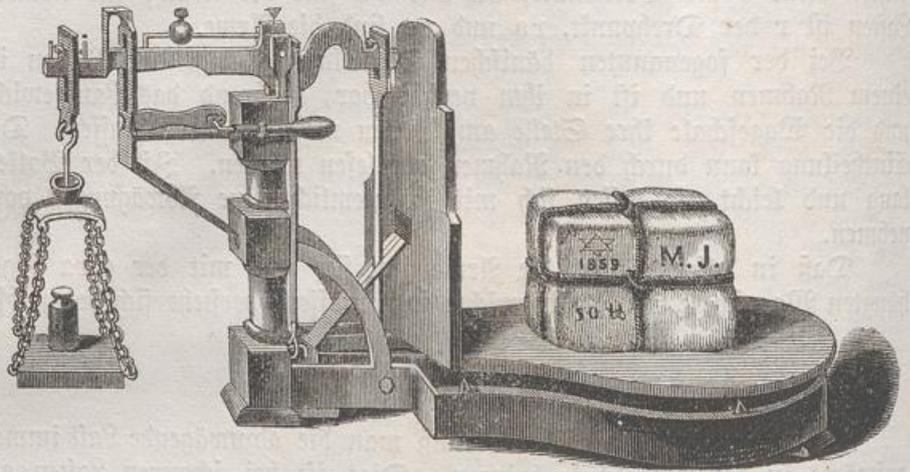


(Fig. 52.)

die besondere Einrichtung durch die folgenden Figuren leicht verstehen.

Auf dem Ständer om ist bei o als Wagebalken die Stange ab drehbar angebracht, bei a ist eine Wageeschale zu Gewichten angehängt, bei c und b sind die Zugstangen cr und bs um ihre Endpunkte ebenfalls drehbar; die erstere trägt in r die in ihrem Ende e drehbar gestützte Brücke re zur Aufnahme der Last L , die letztere in s die an ihrem Ende u drehbar gestützte Stange su . Die Stütze für u kann mit dem Ständer om auf derselben Basis ruhen.

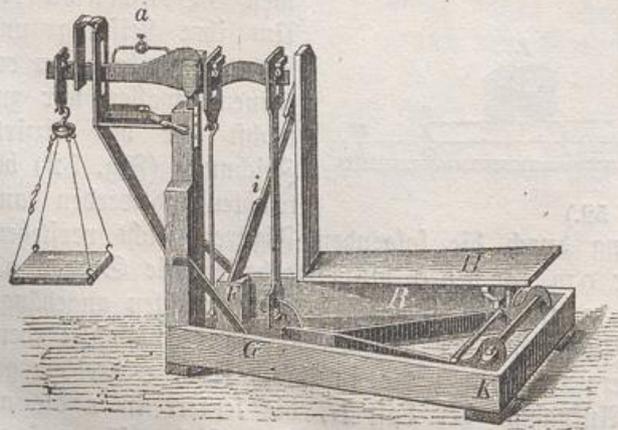
Spiller, Physik.



(Fig. 53.)

Ist oc von ob der ebensoviele Theil, als ue von us , z. B. der vierte, so verändert die Brücke ungeachtet der etwaigen Drehung von ob ihre Lage nicht; war sie also ursprünglich horizontal, so bleibt sie es und es ist, als ob die Last L in e angehängt wäre. Geht nämlich für das angeführte Verhältniß der Punkt e (also auch r) um 1 Zoll abwärts, so bewegt sich b , also auch s um 4 Zoll in dieser Richtung; geht aber s 4 Zoll, so kann e nur 1 Zoll in derselben Richtung gehen. Weil also sowohl r , als auch e stets um gleich viel (hier um 1 Zoll) abwärts oder auch aufwärts sich bewegen, so bleibt die Brücke sich selbst stets parallel.

Bei dem angenommenen Verhältnisse des oc zu oa von 1 zu 10 muß die auf der Brücke vorhandene und durch die Stange rc auf e



(Fig. 54.)

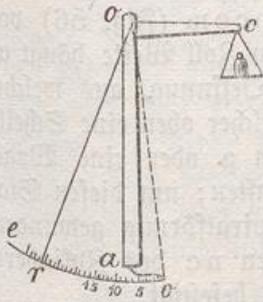
wirkende Last das Zehnfache von dem in a wirkenden Gewichte sein und aus diesem Grunde heißt auch diese Brückenscale eine Dezimalscale. Sie würde eine Zentesimalscale sein, wenn die Eintheilung so eingerichtet wäre, daß die Last das Hundertfache des Gewichtes ist.

Es ist klar, daß alle Theile der Brücke vor jeder Abwägung mit sich selbst ins Gleichgewicht gebracht sein müssen, was durch ein verschiebbares, in der perspektivischen Zeichnung (Fig. 53) bei a dargestelltes Laufgewicht an dem längeren Hebelarme bewerkstelligt wird, daß ferner zur möglichsten Verminderung der Reibung ähnliche Vorrichtungen, wie sie bei der Gleichwage erwähnt wurden, anzuwenden sind und daß man zur Schonung der schneidenförmigen Zapfen und Lager die Wage aretiren, d. h. die Beweglichkeit der Theile muß aufheben können, wie es auf der linken Seite in der Zeichnung angedeutet ist.

Um die innere Einrichtung der Dezimalwage besser zu erkennen, ist in Fig. 54 die Brücke H nur halb gezeichnet. Der darunter liegende Hebel ist nicht eine einfache Stange, sondern hat die Form eines gleichschenkligen Dreiecks, so daß der Drehungspunkt für die Brücke in den beiden Endpunkten der Basis liegt, was den Vortheil darbietet, daß die Last mehr oder weniger seitwärts auf der Brücke liegen kann, ohne daß sie ihren Druck verändert. Die Brücke selbst ist der Festigkeit wegen durch die eiserne Stange i mit dem sie stützenden Rahmen RF fest verbunden. Es ist natürlich auch gleichgiltig, ob die Last mehr oder weniger nach vorn auf der Brücke liegt; denn je näher sie ihrem Drehungspunkte liegt, desto mehr drückt sie zwar auf den unteren Hebel, aber desto weniger zieht sie auch an der Stange.

Für die Abwägung bedeutender Lasten bringt man die Wage so an, daß die Brücke mit den Dielen oder dem Fußboden in derselben Ebene liegt, um die Waaren leicht darauf wälzen oder fahren zu können.

Die Reigerwage.



(Fig. 55.)

Bilden zwei ungleich lange Stäbe oa und oe (Fig. 55) einen Winkel, ist dieser Winkel um seinen Scheitel leicht drehbar, wie bei den früheren Wagen und der längere Schenkel oa auch der massigere; so wird diese Vorrichtung in der Ruhelage sich so einstellen, daß oa fast lothrecht auf dem Horizonte ist. Hängt man an den kürzeren Schenkel eine Waageschale, so zieht sie diesen Schenkel etwas herab und oa stellt sich dadurch höher. Nun kann man einen am Ende angebrachten Draht vorwärts oder, wie in der Zeichnung, rückwärts so biegen, daß seine Spitze auf den lothrecht unter o liegenden Nullpunkt des Kreisbogens zeigt.

Wenn man nun in die Waageschale der Größe nach bekannte Gewichte legt, so wird bei deren Vermehrung der Schenkel oa aufwärts gehen und die Spitze an dem Kreisbogen nach e hinspielen z. B. bis r. Es lassen sich nun auf dem Kreisbogen Theilstriche so anbringen, daß

man dann, wenn man beliebige Körper auf die Wageschale bringt, deren Gewicht sofort ablesen kann.

Da diese Wagen sehr empfindlich sein können, so wendet man sie u. a. an, um Garn- oder Seidensträhne von gleicher Feinheit, wie man sie zu einem bestimmten Gewebe braucht, abzuwägen.

Auch kann man durch sie leicht erkennen, ob ein Körper, selbst wenn er sich in einem ganz abgeschlossenen Raume, wie z. B. in dem luftleer gemachten Raume einer Glasglocke befindet, stets dasselbe Gewicht behält. Er muß z. B. leichter werden, wenn fremdartige Stoffe aus ihm entweichen oder wenn er selbst schwindet.

Die Federwage.

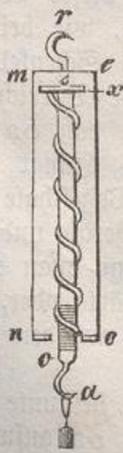
Die Federwage läßt uns das Gewicht der Körper zwar nicht allein, sondern nur zum Theil zufolge ihrer Gravitation zur Erde bestimmen; aber sie möge hier bei Anführung der andern Wagen mit erwähnt werden.

Wir kennen bereits die Eigenschaft der Elastizität der Körper, nach welcher ihre Massentheilchen gegen einander dieselbe bestimmte Lage behalten wollen, welche sie bei der Bildung des Körpers angenommen haben. Wenn nun eine Kraft, welche wie hier, auch die Schwerkraft eines Körpers sein kann, ihre Lage verändern will, so wird zu einer größeren Aenderung auch eine größere Kraft gehören. Hört die Einwirkung der Kraft auf, so nehmen die Theilchen wieder ihre ursprüngliche Lage ein, wenn sie durch jene Kraft nicht etwa gezwungen worden sind, sich vollständig von einander abzulösen, sondern wenn man innerhalb der Elastizitätsgränze bleibt.

Die Einrichtung der Federwagen kann sehr verschieden sein; wir wollen nur die beiden gebräuchlichsten Arten betrachten.

Ein hohler Metallzylinder *ncm* (Fig. 56) von etwa 6 Zollen Länge und einem Zoll Weite hängt an einem Haken *r*; unten ist eine Oeffnung, aus welcher ein Metallstab so hervorragt, welcher oben eine Scheibe *s* trägt und unten einen Haken *a* oder eine Wageschale hat zum Anhängen von Lasten; um diesen Stab ist eine elastische Metallfeder spiralförmig gewunden, und sowohl unten an dem Boden *no* des Zylinders, als auch oben an die Scheibe *s* befestigt.

Hängt man nun bei *a* verschiedene Gewichte an, so ziehen sie den Stab mit seiner Scheibe herab und die Feder wird um so mehr zusammengezogen, je mehr Gewichte angehängt sind. Wenn die Scheibe einen horizontalen Stift *x* trägt, der aus einem Schlitze in dem Zylinder hervorragt, so kann man auf der Außenfläche des Zylinders durch Theilungsstriche die verschiedenen Gewichte angeben. Statt dessen kann die

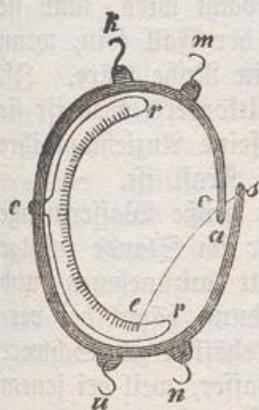


(Fig. 56.)

Eintheilung auch unten am Stabe angebracht werden; sie ist aber stets nur durch Versuche zu ermitteln.

Statt die Feder durch Ziehen könnte sie auch durch Drücken von oben zusammengebracht werden. Die dazu nöthige Einrichtung läßt sich leicht bewerkstelligen.

Die Vorrichtung könnte auch so eingerichtet werden, daß die Gewichte die Spiralfeder auseinander ziehen.



(Fig. 57.)

gewichte anhängen.

Je weiter die Haken zum Abhängen nach dem mittleren und dickeren Theile der Feder angebracht sind, desto größer muß die Kraft sei, um sie auf eine gewisse Entfernung auseinander zu bringen. Wenn man also noch zwei Haken m und n an Stellen anbringt, welche den dünneren Enden der Feder näher liegen, so werden kleinere Lasten die Zunge ebenso weit bewegen, als größere an den vorigen Haken. Für diese Haken wird man auf der anderen Fläche des Messingstreifens noch eine besondere Eintheilung anbringen.

Wenn auch diese Federwagen nicht eine so große Genauigkeit gestatten, zumal sie bei höherer Temperatur eine größere Ausdehnung haben und sich leichter auseinander ziehen lassen, als bei niedrigerer; so sind sie doch für viele häusliche und technische Zwecke sehr bequem, da sie wenig Raum einnehmen, leicht selbst in der Rocktasche fortgebracht werden können und ohne Gewichtsstücke das Gewicht von Gegenständen (Heu, Stroh, Kornfrüchten, Fleisch u. s. w.) unmittelbar bestimmen lassen.

Zweiter Abschnitt.

Gleichgewicht tropfbarer Körper.

Das Niveau.

Nur dann, wenn eine tropfbare Flüssigkeit der Einwirkung einer jeden äußeren Kraft entzogen und selbst in Ruhe gedacht wird, kann sie sich vollkommen kugelförmig gestalten. Dies würde der Fall sein, wenn sie frei im Weltraume schwebte, ganz allein und in Ruhe wäre. Ist aber die Flüssigkeit in der Nähe eines anderen Weltkörpers oder ist sie selbst ein Bestandtheil eines Weltkörpers, so muß seine Anziehung ihre Form um so mehr ändern, je größer die anziehende Kraft ist.

Die Gesammtanziehung der Erde ist auf eine große Wassermenge größer, als auf eine kleine und daher ist letztere eher im Stande zufolge der Massenanziehung ihrer Molekel die Kugelgestalt anzunehmen und Tropfen zu bilden. Die Leichtigkeit der Tropfenbildung hängt bei verschiedenen Flüssigkeiten von dem Verhältnisse ihrer Kohäsion zur Schwere ab: das Quecksilber bildet leichter Kugeln, als das Wasser, weil bei jenem die Kohäsion verhältnißmäßig größer ist, als bei diesem.

Größere Mengen von Flüssigkeiten kann man für sich in einer bestimmten Gestalt nicht frei halten, weil die Schwere den Zusammenhang, welchen die Kohäsion erstrebt, verhindert. Man muß sie also umschließen durch Gefäße aus festen Körpern, zu welchen sie keine chemische Verwandtschaft haben und sie nehmen deren Gestalt an. Erstarren also Flüssigkeiten in festen Körpern und kann man sie dann von ihnen ablösen, so haben sie die Form des inneren Raumes, wie es die Metallgußarbeiten u. a. beweisen.

Tropfbare Flüssigkeiten lassen sich aber auch in den Gefäßen nicht anhäufen, wie etwa Sand; denn die obersten Theilchen üben wegen ihres Gewichtes einen Druck auf die darunter befindlichen aus, diese entweichen wegen der geringeren Kohäsion mit den übrigen und des Widerstandes, welchen die darunter befindlichen ausüben, nach der Seite, wo sie den geringsten Widerstand finden, nämlich nur den der Luft; sie schieben wie auf einer schiefen Ebene herab, bis sie endlich oben eine mit dem Horizonte parallele oder eine horizontale Ebene, das Niveau, bilden, welche lothrecht auf der Richtung der nach dem Erdmittelpunkte gerichteten Schwere ist.

Streng genommen ist dies allerdings nicht ganz der Fall, denn in engeren Gefäßen wirken der Schwere die Adhäsion und Kapillarität entgegen und auf den Meeren ist das Wasser stets in einem Bestreben das durch die Anziehungskraft der Sonne und des Mondes gestörte

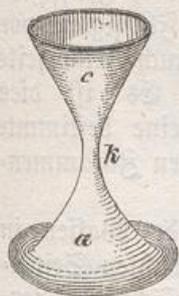
Gleichgewicht durch die irdische Schwere wieder herzustellen, abgesehen von den Bewegungen durch die Luft und Drehung der Erde.

Wird Wasser in einem Gefäße in der Luft gehalten, so bildet es sich selbst das Niveau; wollte man aber Wasser innerhalb des Quecksilbers in einem Gefäße erhalten, so müßte die Oeffnung nach unten gerichtet sein und das Quecksilber-Niveau bestimmt das des Wassers.

An dem Niveau einer Flüssigkeit ist die Anziehung der Molekel untereinander größer, als im Inneren; denn dort werden die der obersten Schichten fast nur nach unten gezogen, hier aber ist die Anziehung nach allen Richtungen eine ziemlich gleiche, zumal die Molekularanziehung nur auf kleine Entfernungen sich wirksam zeigt. Daher kommt es denn, wie wir früher schon gesehen haben, daß kleine schwere Körper auf dem Niveau schwimmen, im Innern aber untersinken, als wenn dort die Flüssigkeit eine inniger zusammenhängende Haut bildete.

Bringt man in dasselbe Gefäß (nicht in eine sehr enge Röhre) tropfbare Flüssigkeiten, welche bei demselben Rauminhalte ein verschiedenes Gewicht und keine chemische Verwandtschaft haben, wie z. B. Quecksilber, Weinsteinöl, Alkohol, Steinöl; so lagert jede leichtere sich über die zunächst schwerere und die Gränzflächen sind so gebildet, als ob eine andere Flüssigkeit nicht darüber wäre. Man hat eine Röhre mit vier solchen Flüssigkeiten sonderbarer Weise eine Elementarwelt genannt.

Diese Erscheinung hat man zu der bekannten Täuschung, Wasser in Wein zu verwandeln benutzt. Eine dazu geeignete Vorrichtung, das Passavin, würde folgende sein: Man fertigt (Fig. 58) einen Becher an, dessen Fuß a hohl und undurchsichtig ist und mittelst eines engeren Kanals k mit dem oberen Becherglase in Verbindung steht. Gießt man nun in den Fuß a Spiritus oder Burgurderwein und dann, indem der Becher ruhig gehalten wird, langsam (am besten vom Rande aus) in den oberen Theil Wasser, so bildet sich in k eine Doppelströmung, indem das Wasser hinabgeht, der Wein herauf kommt und in kurzer Zeit hat man in c Wein statt des Wassers, welches sich in a befindet. Es ist ange-



(Fig. 58.) messen, die Räume a und c gleich zu machen.

Das Wasser der ins Meer mündenden Flüsse strömt weite Strecken hin über dem wegen seines Salzgehaltes schwererem Meerwasser hin und letzteres dringt sogar unterhalb des Flußwassers landeinwärts.

Es ist häufig wichtig, daß Instrumente genau horizontal gestellt werden, wie z. B. in der Astronomie, beim Feldmessen, beim Bauen, beim sehr genauen Abwägen. Die dazu dienenden Vorrichtungen heißen Libellen.

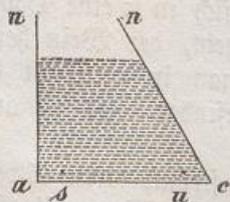
Die Dosenlibelle besteht aus einem kleinen kreisförmigen Messinggefäße, dessen Boden und absperrende Glascheibe genau eben geschliffen

und parallel sind; in dem Gefäße befindet sich Spiritus und eine kleine Luftblase. Letztere wird genau in der Mitte der kreisförmigen Glasscheibe stehen, wenn das Instrument auf einer horizontalen Basis ruht; ist die Basis auch nur äußerst wenig schief, so tritt die Luftblase zur Seite oder gar bis an den höher gelegenen Rand und man kann, um die horizontale Lage zu erhalten, entweder die Fläche auf der niederen Seite erhöhen oder auf der höheren niedriger machen. Damit das Einstellen der Luftblase recht genau geschehen kann, ist der Mittelpunkt der Scheibe und ein kleiner Kreis um ihn angegeben.

Die Zylinderlibelle besteht aus einem einige Zoll langen Glaszylinder, welcher zum Schutze in Messing eingefast ist und nur auf der oberen Seite einen Schlitz hat, durch welchen man das Glas sieht. Der Zylinder ist auf einer gut eben geschliffenen Metallschiene so befestigt, daß seine Axe mit dieser Ebene parallel ist; das Innere enthält auch Spiritus und eine Luftblase, welche sich länglich gestaltet. Damit letztere gut eingestellt werden kann, ist nicht nur die Mitte des Zylinders angegeben, sondern es sind auch zu beiden Seiten in gleichen Entfernungen noch Theilstriche angebracht. Man muß das Instrument auf der horizontal zu stellenden Ebene ringsum drehen, um ihrer richtigen Lage nach allen Seiten sicher zu sein.

Gleichgewicht im Innern.

Der Zustand des Gleichgewichtes im Innern einer Flüssigkeit hängt davon ab, daß jedes noch so kleine Theilchen der Flüssigkeit von allen Seiten ringsum gleich stark gedrückt wird und auch seinerseits gleich stark wieder drückt oder den Druck fortpflanzt. Es ist dies durchaus anders, als bei festen Körpern, die für sich eine bestimmte Form haben und deren Theile im Innern einen bestimmten Zusammenhang besitzen.



(Fig. 59.)

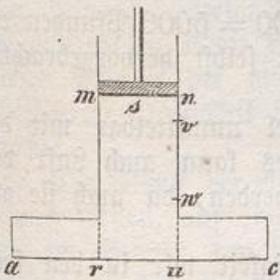
Denken wir uns das ruhende Wasser in einem Gefäße (Fig. 59) mit lothrechten Seitenwänden in lauter äußerst zarte Schichten zerlegt und vom Niveau aus lauter lothrechte Linien, deren jede von jeder Wasserschicht je einen Wasserpunkt enthält; so ist es klar, daß die oberste Schicht wegen ihres Gewichtes auf die zweite drückt, daß diese, wenn sie nicht seitwärts entweicht, nicht nur mit ihrem eigenen Gewichte auf die dritte drückt, sondern auch das Gewicht der ersten auf diese überträgt, so daß die dritte Schicht mit der Summe der Gewichte der beiden ersten gedrückt wird. So geht dieses fort bis auf den horizontal gedachten Boden des Gefäßes, welcher mit der Summe der Gewichte aller Schichten über ihm bis zum Niveau gedrückt wird.

Was aber findet statt, wenn diese Schichten nicht gleiche Ausdehnungen haben und die Seitenwände nicht lothrecht auf dem Boden stehen? Liegt ein Wasserpunkt *s* in dem Gefäße nach (Fig. 59) z. B. in der sechsten Schicht und zunächst lothrecht unter dem Niveau, so hat er das Gewicht aller fünf über ihm liegenden Punkte unmittelbar zu tragen. Da nun dieser Punkt absolut leicht beweglich ist oder da jede kleinste Kraft hinreicht, ihn zu bewegen; so muß er den empfangenen Druck auf die ihn unmittelbar umgebenden Wasserpunkte fortpflanzen und namentlich auf die in derselben horizontalen Schicht liegenden ebenso stark drücken, als er selbst gedrückt wurde. Die an ihn in der Schicht unmittelbar gränzenden Wasserpunkte befinden sich aber in derselben Lage wie er selbst und pflanzen daher den erlittenen Seitendruck wieder fort, selbst bis zu solchen Theilen, welche nicht mehr lothrecht unter dem Niveau liegen, so daß z. B. *u* so stark gedrückt wird, als lägen auch fünf Wasserpunkte über ihm, wie über *s*.

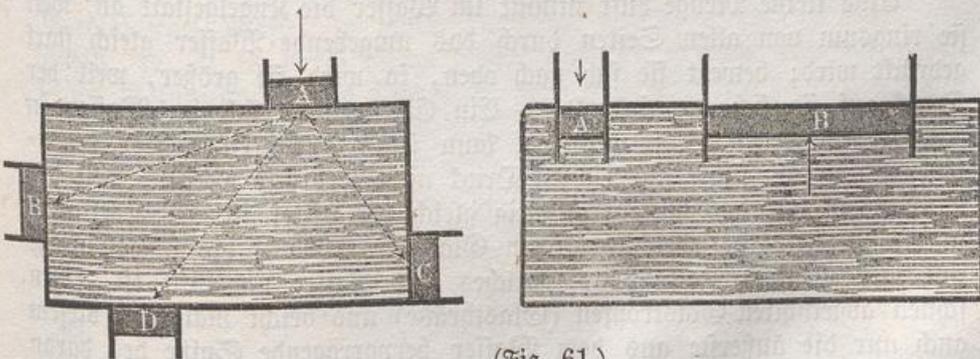
In diesen Betrachtungen liegt das Gesetz: der Druck, welchen jedes ruhende Flüssigkeitstheilchen erleidet und ausübt, ist ein allseitiger und seine Stärke richtet sich nur nach der Tiefe unter dem Niveau, es mag lothrecht unter ihm liegen oder nicht.

Denken wir uns die in einem Gefäße *mnc* (Fig. 60) enthaltene Flüssigkeit auch oben durch einen Stempel *s* abgesperrt und durch diesen Stempel auf die oberste Schicht *mn* einen Druck ausgeübt, so ist es für jedes im Innern vorhandene Flüssigkeitstheilchen ebenso, als wäre über *mn* eine dem Drucke des Stempels entsprechend drückende Wasserfäule vorhanden.

Die Figuren 61 1, 2 sind zur Versinnlichung der allseitigen Fortpflanzung des Druckes in einem



(Fig. 60.)



(Fig. 61.)

überall abgesperrten Gefäße geeignet. Drückt z. B. ein Stempel *A* von 1 Quadratfuß Querschnitt auf die Flüssigkeit mit einer Kraft von z. B.

50 Pfunden und sind an den Seitenwänden in verschiedenen Höhen bei B und C, so wie am Boden bei D Stellen von derselben Größe; so wird der an sich schon vorhandene hydrostatische Druck auf jede dieser Stellen um 50 Pfunde vermehrt. Ist aber, wie in der zweiten Figur, eine Stelle B vorhanden, deren Fläche 25 Quadratfuß beträgt, so ist bei demselben Drucke auf A der auf B 25.50 d. i. 1250 Pfunde, also ein verhältnißmäßig recht bedeutender.

Ist die Flüssigkeit vollkommen abgesperrt, so kann der Druck auf sie auch an irgend einer anderen Stelle bei v oder w (Fig. 60) ausgeübt werden und es gilt als weiteres Gesetz:

der auf eine abgesperrte Flüssigkeit irgendwo von außen mittelbar oder unmittelbar ausgeübte Druck pflanzt sich ungeschwächt im Innern nach allen Richtungen fort.

Sofort ergibt sich aus dem Gesetze der ungeschwächten Fortpflanzung des Druckes, daß der auf eine kleine Stelle ausgeübte Druck auf einer großen, anderen Stelle einen sovielmal größeren Gesamtdruck hervorbringt, wievielmals diese Stelle größer ist, als die gedrückte.

Hätte der Stempel eine Fläche von 1 Quadrat Zoll, die Fläche ac eine Ausdehnung von 100 Quadrat Zoll, so würde ein Druck von 50 Pfunden auf mn einen Gesamtdruck von $50 \cdot 100 = 5000$ Pfunden erzeugen, abgesehen von dem durch die Flüssigkeit selbst hervorgebrachten Drucke.

Es ist nicht nothwendig, daß der Stempel unmittelbar mit der tropfbaren Flüssigkeit in Berührung kommt, es kann auch Luft dazwischen sein und auf sie der Druck ausgeübt werden, da auch sie als Flüssigkeit ihn fortpflanzt.

Auf diesen Gesetzen, deren praktische Wichtigkeit wir in den späteren Betrachtungen erkennen werden, beruhen u. a. folgende Erscheinungen:

Eine kleine Menge Luft nimmt im Wasser die Kugelgestalt an, weil sie ringsum von allen Seiten durch das umgebende Wasser gleich stark gedrückt wird; bewegt sie sich nach oben, so wird sie größer, weil der Druck auf sie sich vermindert. — Ein Ei, welches sich im Wasser in einer zugebundenen Blase befindet, kann selbst durch einen sehr bedeutenden, auf die Blase ausgeübten Druck nicht zerdrückt werden, weil der Wasserdruck auf das Ei ein allseitig gleich vertheilter ist. — Hält man in ein Medizinglas oder irgend ein Glas von etwa 2 bis 3 Zoll Höhe und mindestens 1 Zoll Weite, welches mit Wasser angefüllt ist, einen schnell abgekühlten Glastropfen (Glasthräne) und bricht man von diesem auch nur die äußerste aus dem Wasser hervorragende Spitze des daran befindlichen Glasfadens ab; so wird das Fläschchen zersprengt, weil die Erschütterung vom zerberstenden Tropfen aus rasch bis an dasselbe

sich fortpflanzt. Wäre nur Luft im Glase, so würde es ganz bleiben. — Man kann Fische unter schwachem Eise todtschlagen, wenn man über ihnen auf das Eis einen kräftigen Schlag, etwa mit einer Art ausübt. Dies ist das sogenannte Fischpressen. — Der kartesianische Taucher bestätigt die Fortpflanzung des auf die verschließende Gummiplatte ausgeübten Druckes durch die Luft auf den Wasserspiegel und durch das Wasser bis auf die Mündung des kleinen Röhrchens am hohlen Glaskörper, so daß dadurch Wasser in denselben gepreßt und die Luft in ihm zusammengedrückt wird, wodurch sein Gewicht bei gleichbleibendem Volumen zunimmt und er im Wasser so weit sinkt, bis der Gegendruck des Wassers sein Gewicht aufhebt. Läßt man mit dem Drucke auf die Gummiplatte nach, so dehnt sich die zusammengepreßte Luft im Taucher aus und drückt das Wasser heraus, der Körper wird leichter und er steigt. Wir erkennen also an diesem in mehrfacher Beziehung belehrenden Spielzeuge sehr deutlich, wie der Druck der Flüssigkeit mit wachsender Tiefe unter dem Niveau wächst, obwohl die Dichtigkeit derselben bei so geringen Entfernungen unter ihm als dieselbe angesehen werden darf.

Bei diesen Betrachtungen ist es also besonders wichtig, daß die tropfbaren Flüssigkeiten bei einem selbst sehr bedeutenden auf sie ausgeübten Drucke ihr Volumen nur um sehr wenig vermindern, so daß sie ganz besonders geeignet sind, die Fortpflanzung der Wirkung einer auf sie ausgeübten Kraft zu vermitteln. Ich kann mir wohl vorstellen, wie dieses Prinzip der ungeschwächten Fortpflanzung des Druckes auf eine abgesperrte Flüssigkeit selbst zum Telegraphiren anwendbar zu machen sein möchte.

Der Druck der Atmosphäre, welcher, wie wir später genauer werden kennen lernen, auf einen Quadratfuß gegen $14\frac{1}{2}$ Pfund beträgt, ist doch nur im Stande, den Raum des Wassers um 0,000047 zu vermindern; so daß er bei einem Drucke von 100 Atmosphären um 0,0047 vermindert würde, da der Grad der Raumverminderung in gradem Verhältnisse mit der zusammendrückenden Kraft steht. Wenn wir uns unter dem Meerespiegel Wasser in einer Tiefe von etwas mehr als 3000 Fuß denken, so ist es durch diesen bedeutenden Druck doch nur um 0,005 seines Volumens an der Oberfläche zusammengedrückt.

Wir können bei der weiteren Betrachtung des von einer Flüssigkeit auf die sie umfassenden Gefäßwände ausgeübten Druckes füglich den lothrechten Druck von dem Seitendrucke unterscheiden und jenen sowohl nach unten, als nach oben gerichtet betrachten.

Der lothrechte Druck nach unten.

Wenn ein Gefäß (Fig. 62) mit dem Boden horizontal steht und lothrechte Seitenwände hat (1), so muß jede kleine Stelle des Bodens das ganze Gewicht der unmittelbar lothrecht über ihr liegenden dünnen Flüssig-



(Fig. 62)

heits säule tragen. Die Summe der gedrückten Stellen gibt die ganze Bodenfläche, die Summe der Säulen die ganze Flüssigkeit. Für diesen Fall also hat der Boden das Gewicht der ganzen über ihm befindlichen Flüssigkeit zu tragen.

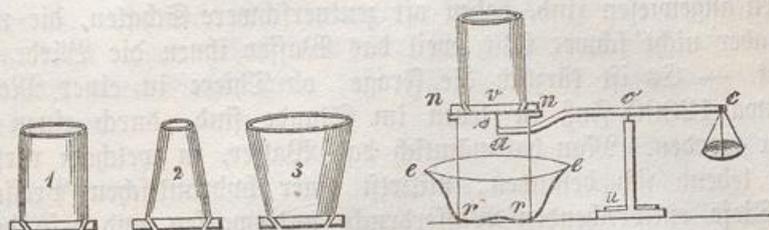
Wäre die Bodenfläche größer, als die Oeffnung des Gefäßes (2), wie wenn es sich nach oben kegelförmig verengte; so würden Stellen des Bodens zwar nicht lothrecht unter dem Niveau liegen, sie würden aber ebenso stark gedrückt werden, als wenn es der Fall wäre, weil die unmittelbar über ihnen liegenden Theile der Flüssigkeit von den seitwärts an sie gränzenden und in derselben horizontalen Schicht liegenden ebenso stark gedrückt werden, als die lothrecht unter dem Niveau befindlichen, also üben sie ihrerseits diesen Druck nach allen Richtungen, also auch nach unten wieder aus. Da dieses von allen Stellen des Bodens gilt, so findet es auch auf dem ganzen Boden statt und er wird ebenso stark gedrückt, als wären die Seitenwände, wie im ersten Falle lothrecht über ihm, obwohl bei derselben Niveauentfernung jetzt weniger Flüssigkeit im Gefäße ist.

Wäre die Bodenfläche des Gefäßes kleiner, als seine Oeffnung (3), so daß mehr Flüssigkeit in ihm enthalten ist, als wenn die Seitenwände lothrecht auf dem Boden ständen; so wird dieser in jenem Falle doch nicht mehr gedrückt, als in diesem, weil der die lothrechte Säule umgebende Mantel *mm* der Flüssigkeit nur dazu dient, diese Säule, wie im ersten Falle die Gefäßwände, von der Seite zu stützen.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich also als hydrostatisches Gesetz:

Der durch eine Flüssigkeit in einem Gefäße ausgeübte Bodendruck ist gleich dem Gewichte einer Säule dieser Flüssigkeit, welche den Boden zur Grundfläche und seine lothrechte Entfernung vom Spiegel zur Höhe hat.

Es scheint paradox oder gegen die augenblickliche Ansicht zu sein, daß man mit verschiedenen Mengen einer Flüssigkeit denselben Druck oder mit einer gewissen Menge einer Flüssigkeit bald einen größeren, bald einen kleineren Druck hervorbringen kann, jenachdem das Gefäß nach unten oder nach oben sich erweitert und deshalb heißt auch das genannte Gesetz, das hydrostatische Paradoxon. Eine sehr anschauliche Bestätigung des Gesetzes erhält man auf folgende Weise.



(Fig. 63.)

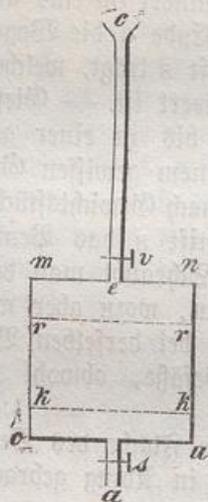
Man hat drei gleich hohe Gefäße (Fig. 63.) von den oben angegebenen Formen; der gleich weite Boden wird geschlossen durch ein Kegelvventil *v*, welches genau in die das Gefäß umschließende Messinghülse einpaßt und sich nach oben zu öffnen läßt; die Hülse mit dem Gefäße läßt sich auf einen Ständer *nrrn* schrauben, welcher sich über einem Becken *ee* befindet. Daneben befindet sich auf dem Ständer *ou* eine um *o* drehbare Gleichwage, von welcher der eine Arm am Ende *e* die Wageschale, der andere bei *a* einen nach oben gerichteten Stift *s* trägt, welcher das Ventil unten nur berührt, wenn die Wage unbeschwert ist. — Gießt man nun in das erste aufgeschraubte Gefäß Wasser bis zu einer gewissen Höhe, so drückt es auf das Bodenventil mit einem gewissen Gewichte. Legt man dann auf die Wageschale nach und nach Gewichtsstücke, so wird endlich bei einer gewissen Belastung der Stift *s* das Ventil empordrücken und das Wasser in's Becken fließen. — Schraubt man das zweite Gefäß auf und gießt Wasser so hoch wie vorhin, wozu aber weniger erforderlich ist, so wird doch das Ventil genau bei derselben Belastung aufwärts gedrückt und auch beim dritten Gefäße, obwohl zu diesem Gefäße mehr Wasser erforderlich ist.

Will man den Druck des Wassers auf die obere Fläche des Ventils allein haben, so muß das Gewicht des Ventils in Abzug gebracht werden.

Der Druck des Wassers in größeren Tiefen des Meeres ist ein sehr bedeutender. So fand z. B. Cambell, daß leere Flaschen in einer Tiefe von 1200 Fuß entweder zerdrückt oder, wenn sie kugelförmig und hermetisch geschlossen waren, mit Wasser angefüllt wurden. In dieser Tiefe beträgt aber auch der Wasserdruck, selbst wenn wir das Gewicht eines Kubikfußes Meerwasser nur zu 66 Pfunden annehmen, auf einen Quadratfuß $1200 \cdot 66 = 79200$ Pfunde. — Es ist vorgekommen, daß das Holz, welches verwundete Wallfische mit in die Tiefe des Meeres genommen hatten, durch den Druck des Wassers so verdichtet war, daß es nicht mehr schwamm. — Wenn Fahrzeuge einige Zeit in größerer Tiefe unter Wasser gelegen haben, so sind sie nicht mehr recht brauchbar. — Wenn man beim Baden bis auf den Boden untertauchen will, so gelingt es um so schwieriger, je tiefer das Wasser ist, weil das Wasser mit wachsender Tiefe einen um so stärkeren Gegendruck nach oben aus-

übt. — Diejenigen Schalthiere, welche in größeren Tiefen des Meeres zu leben angewiesen sind, haben oft zentnerschwere Schalen, die zu tragen ihnen aber nicht schwer fällt, weil das Wasser ihnen die Bürde sehr erleichtert. — Es ist kürzlich die Frage, ob Thiere in einer Meerestiefe von etwa 12000 Fuß zu leben im Stande sind, durch einen Versuch erörtert worden. Man hat nämlich das Wasser, in welchem verschiedene Thiere lebend sich befanden, mittelst einer hydraulischen Presse einem jener Tiefe entsprechenden Wasserdrucke unterworfen und gefunden, daß die Thiere sofort starben, indem sie gewissermaßen zerdrückt wurden. Der daraus gezogene Schluß, daß dort Thiere nicht leben können, ist, wie ich glaube, falsch, weil die Thiere zwar nicht einen in so kurzer Zeit vorgenommenen Wechsel des Druckes, aber einen nur langsam wachsenden vertragen können, indem dann eine Ausgleichung des von innen wirkenden Gegendruckes stattfindet.

Das obige Prinzip ist namentlich dazu benutzt worden, um aus Pflanzentheilen die heilkräftigen Stoffe auszu ziehen oder Extrakte zu machen. Dazu dient die Real'sche Presse (Fig. 64).



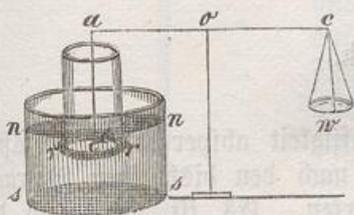
(Fig. 64.)

Es ist *mnuo* ein Zylinder von Glas, Porzellan oder Metall, am Boden *ou* ist ein Abzugsrohr *a*, welches durch einen Hahn *s* verschließbar ist, an dem abzuschraubenden Deckel *mn* befindet sich eine etwa 8 Fuß lange und nur etwa $\frac{1}{2}$ Zoll weite Röhre *ec*, welche oben sich trichterförmig endigt und unten einen Hahn *v* besitzt. Innerhalb des Zylinders sind noch zwei siebartig durchbrochene Scheiben angebracht, die eine *kk* in der Nähe des Bodens, die andere *rr* darüber, so daß sie in verschiedenen Entfernungen von ihr gelegt werden kann. Das Ganze bringt man auf einem Gestelle an. Zwischen die beiden Scheiben kommt der Körper, aus welchem der Extrakt gemacht werden soll und durch den Trichter *c* wird die dazu nöthige Flüssigkeit, welche im Stande ist, sich mit dem auszu ziehenden Stoffe zu verbinden, aufgegossen. Der Hahn *v* dient dazu, den Zufluß, der Hahn *s* den Abfluß nach dem Bedürfnisse zu bewirken oder zu hemmen. Aromatische Flüssigkeiten wird man von *a* aus sogleich in abgeschlossenen Gefäßen ansammeln.

Der lothrechte Druck nach oben.

Ist das Wasser einer horizontalen inneren Schicht in Ruhe, so ist dies eine Folge von zwei einander entgegengesetzt wirkenden Kräften: das über ihr befindliche Wasser drückt sie mit einem von ihrer Größe

und dem lothrechten Abstände vom Niveau abhängigen Gewichte herab, das unter ihr befindliche mit demselben Gewichte hinauf. Dieser Druck aufwärts folgt zwar schon aus der Fortpflanzung des empfangenen Druckes nach allen Richtungen, läßt sich aber auch durch einen Versuch leicht bestätigen.



(Fig. 65.)

Bei einer Gleichwage (Fig. 65) hängt an der einen Seite a mittelst eines Fadens eine mattgeschliffene Glasscheibe rr mit einem Haken e zum Befestigen des Fadens, an der anderen Seite c die Waageschale w, welche so beschwert ist, daß das Gleichgewicht hergestellt ist. Außerdem hat man einen offenen Glaszylinder, dessen unterer

Rand gut abgeschliffen sein muß und noch ein Gefäß ss mit Wasser. — Hält man den Glaszylinder lose auf die Glasplatte und taucht diese Seite in's Wasser, so wird es nicht eindringen, weil die Platte durch dasselbe aufwärts gedrückt wird und zwar um so mehr, je tiefer das Eintauchen stattfindet. Man kann demnach von der Waageschale nach und nach Gewichte abnehmen, um das Gleichgewicht mit der Platte herzustellen. Hätte man aber keine Gewichte von w abgenommen, sondern in den Zylinder, während er eingesenkt ist, so viel Wasser gegossen, daß es in ihm so hoch steht, als außerhalb im Gefäße, so wäre durch den hierdurch von obenher auf die Platte erzeugten Druck, der von unten her aufgehoben und das Gleichgewicht wieder hergestellt.

Es läßt sich hierdurch bestätigen, daß der Druck einer Flüssigkeit nach oben für gleich dicke horizontale Schichten derselben abnimmt, wie die ganzen Zahlen in ihrer natürlichen Reihenfolge.

Hat man eine offene Röhre an dem einen Ende mit einer thierischen Blase verbunden, senkt man dieses Ende in's Wasser und verlegt man die Blase durch einen Nadelstich; so springt durch die Oeffnung ein um so höherer Wasserstrahl, je tiefer die Röhre eingetaucht ist.

Bekommt ein Schiff einen Leck, so strömt das Wasser mit um so größerer Gewalt in's Schiff, je tiefer unter dem Wasserspiegel die Beschädigung stattgefunden hat.

Wegen des starken Wasserdruckes müssen daher die Böden der Schiffe sehr stark konstruirt sein; ebenso die Schleußenböden und die tief liegenden Röhren von Wasserleitungen.

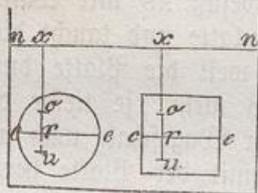
Der kartesianische Taucher kann nur dann tiefer sinken, wenn sein Gewicht zunimmt, weil in größerer Tiefe der Druck nach obenhin wächst.

Wenn Taucher auch nur in mäßig tiefen Stellen des Meeres, z. B. in einem Hafen, Arbeiten verrichten sollen, so werden sie mit einer an die Arme und Beine wasserdicht anschließenden Guttaperchabekleidung versehen, haben an den Stiefeln dicke Bleisohlen und be-

kommen einen über Kopf, Nacken und Brust reichenden Metallpanzer. Der Gegendruck des Wassers macht es möglich, daß sie ungeachtet dieser Last gegen 2 Stunden hintereinander arbeiten können, wobei ihnen natürlich fortwährend frische Luft zugepumpt wird.

Der Seitendruck.

Daß die Seitenwände eines eine Flüssigkeit absperrenden Gefäßes ebenfalls einen Druck erleiden müssen, ist nach den bisherigen Betrachtungen einem Zweifel nicht mehr unterworfen. Es ist nur noch die Größe dieses Druckes zu bestimmen.

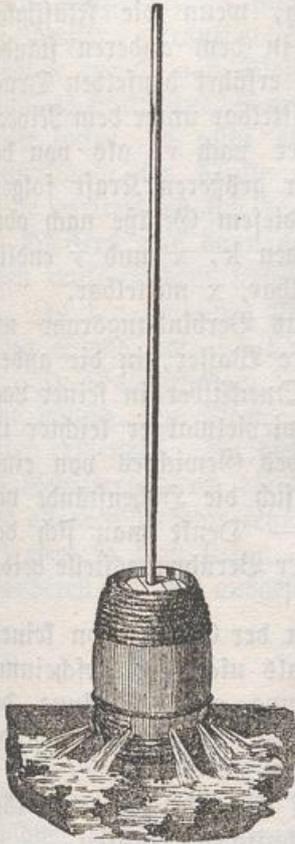


(Fig. 66.)

Denken wir uns in einem Gefäße mit lothrechten Seitenwänden (Fig. 66) zunächst einen Kreis oder ein Quadrat, von welchem zwei Seiten horizontal liegen mögen, in diesen Figuren die sie halbirende Linie ce und zu beiden Seiten derselben Paare von Punkten, wie o und u , welche in gleichen Entfernungen von der ce sich befinden; so wird der Punkt o weniger, der Punkt n aber mehr als r gedrückt, weil o von dem Niveau nn nur um ox , n aber um nx entfernt ist. Da dieses Mehr und Weniger aber gleich ist, so ist der Druck auf o und u zusammen so groß, als der doppelte Druck auf r oder es würde derselbe Gesamtdruck auf die drei Punkte o , r und u stattfinden, wenn die Fläche, in welcher sie liegen, sich um die ce gedreht hätte, bis sie horizontal liegt, also o , r , und u vom Niveau dieselbe Entfernung haben. Diese Betrachtung gilt von jedem denkbaren Paare von Punkten, welche eine solche Lage haben, also von den ganzen Ebenen. Für anders gestaltete Figuren müssen wir durch ihren Schwerpunkt horizontal gehende Linie denken, um diese Betrachtungen anzuwenden. Es wird demnach das hydrostatische Gesetz gelten:

Der Druck einer Flüssigkeit auf irgend eine Stelle einer Seitenwand ist gleich dem Gewichte einer Säule dieser Flüssigkeit, welche die gedrückte Stelle zur Grundfläche und zur Höhe den Abstand ihres Schwerpunktes vom Niveau hat.

Dieses Gesetz bezieht sich auch auf den Boden eines Gefäßes, welcher nicht eine horizontale Lage hat.

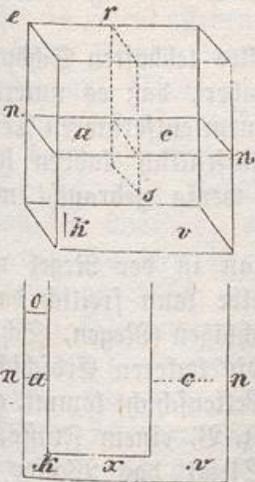


(Fig. 67.)

Es ist nothwendig, daß man die Schleußenthore bei Kanälen namentlich für einen hohen Wasserstand, sehr fest baue, weil sie einen bedeutenden Druck zu ertragen haben. Nehmen wir jeden der beiden Flügel nur 8 Fuß breit und 16 Fuß hoch an, so beträgt der Druck auf das ganze Thor 16.8.66 Pfund = 8448 Pfunde. Auch bei der Anlage von Dämmen muß dies berücksichtigt werden. Sind dieselben den Wellen sehr ausgesetzt, so müssen sie, wie an den Meeren, gegen das Wasser hin sehr flach geneigt sein, damit die Wellen unter möglichst kleinen Winkeln den Damm oder die Dünen treffen und nur eine geringe zerstörende Wirkung haben. — Löcher in den Dämmen, selbst wenn sie nur von Maulwürfen und Mäusen herrühren, müssen beseitigt werden, weil das Wasser, wenn es in dieselben eindringt, den Erdboden hebt. — Ebenso ist es mit den Schleußenböden, die man also dicht machen und sehr gut versichern muß.

Wenn man durch die Decke einer ganz festen mit Wasser gefüllten Tonne (Fig. 67) wasserdicht eine hohe Röhre gehen läßt, so wird beim allmählichen Anfüllen dieser Röhre die Tonne durch das Wasser endlich gesprengt.

Kommunizirende Gefäße.



(Fig. 68.)

Spiller, Physik.

Hat man ein Gefäß eu (Fig. 68) zum Theil mit Wasser gefüllt und schiebt man eine an die entgegengesetzten Wände sich gut anschließende Platte rs in das Gefäß und das Wasser, aber nicht ganz bis auf den Boden; so entstehen dadurch zwei Abtheilungen ak und cv, welche unterhalb mit einander noch in Verbindung oder Kommunikation stehen und man hat kommunizirende Gefäße, welches auch Röhren von gleicher oder ungleicher Weite sein können, wie es die Nebenzeichnung andeutet.

Unter allen Umständen steht bei kommunizirenden Gefäßen, wenn Ruhe eingetreten ist, eine bestimmte Flüssigkeit in gleicher Höhe oder die beiden Niveau's liegen in derselben horizontalen Ebene.

Das Gleichgewicht ist nämlich unmöglich, wenn die Flüssigkeit in dem einen Gefäße höher, z. B. bei o , als in dem anderen stände; denn ein Theilchen x in dem Verbindungskanale erfährt denselben Druck, als wenn es wie k oder v in gleicher Tiefe unmittelbar unter dem Niveau läge, es wird also von der Säule ok stärker nach v , als von der Säule cv nach k gedrückt und muß somit der größeren Kraft folgen, nach v hin sich bewegen und die Flüssigkeit in diesem Gefäße nach oben drücken, bis die in demselben Horizonte liegenden k , x und v endlich einen gleichen Druck erleiden, k und v unmittelbar, x mittelbar.

Wäre bei zwei kommunizirenden Röhren das Verbindungsrohr mit Quecksilber erfüllt, gösse man in die eine Röhre Wasser, in die andere absoluten Alkohol; so müßte letzterer, wenn das Quecksilber in seiner Lage bleiben sollte, sovielmal höher über ihm stehen, wievielmal er leichter ist, als Wasser. Da reiner Alkohol nur etwa $\frac{4}{5}$ des Gewichtes von einer eben so großen Wassermenge besitzt, so müßten sich die Höhenstände von Wasser und Alkohol wie 4 zu 5 verhalten. — Denkt man sich das Quecksilber fort, so sind diese Höhenstände von der Berührungsstelle beider Flüssigkeiten an zu rechnen.

In allen diesen Betrachtungen ist die Form der Gefäße von keinem Einflusse und ihre Weite so lange auch nicht, als nicht die Erscheinung der Haarröhrchen eintritt, welche eine Erhöhung oder Senkung der darin befindlichen Flüssigkeiten erzeugt, jenachdem Adhäsion stattfindet oder nicht.

Diese Gesetze finden wir sowohl in vielen Erscheinungen des täglichen Lebens, als auch bei Vorrichtungen zu technischen Zwecken.

In den Gießkannen und den ähnlich gestalteten Theekannen steht die Flüssigkeit im Abgußkanale ebenso hoch als im Hauptgefäße, was zu berücksichtigen ist, wenn man ein dergleichen Geräth anfertigen und es gebrauchen will, ohne überzugießen.

Wenn das Wasser in Brunnen ungeachtet alles lebhaften Schöpfens immer dieselbe Höhe behält, so rührt das nur daher, daß es unterhalb in guter Verbindung mit einem Wasserbehälter (einem entfernteren Teiche, Flusse u. s. w.) steht, dessen Stand sich nicht wesentlich ändern kann, wenn auch von ihm etwas und verhältnißmäßig wenig gebraucht wird. Solche Brunnen nennt man Standbrunnen.

In Niederungen mit losem Boden darf man in der Regel nicht tief graben, um auf Wasser zu kommen. Dasselbe kann freilich davon herrühren, daß das aus den atmosphärischen Niederschlägen (Regen, Schnee, Nebel, Thau, Reif) sich ergebende Wasser durch die lockeren Erdschichten sickert, bis es auf eine undurchlassende Lehm- oder Lettenschicht kommt, aber es kann auch mit einem benachbarten Gewässer, z. B. einem Flusse, in mehr oder minder guter Verbindung stehen. Steigt das Wasser im Flusse, so steigt es auch an jenem Orte, bei lockerem Boden schnell, bei festerem langsam; in letzterem Falle kann es sogar noch steigen, während

es im Flusse bereits fällt, weil es noch von den höheren Stellen des mit Wasser getränkten Erdreiches herabkommt. In den Kellern der Gebäude nennt man Wasser, für dessen Erscheinen die angegebene Veranlassung stattfindet, Grundwasser. Ist der Erdboden bis zum nächsten Flusse locker, so nützt alles Auspumpen des Wassers bei noch höherem Wasserstande im Flusse gar nicht; beim Abnehmen der Wasserhöhe im Flusse verliert es sich dann im Keller von selbst, so daß das Auspumpen des Wassers nur dann angemessen und nothwendig ist, wenn der Erdboden zwischen dem Keller und Flusse das Wasser nicht gut durchläßt.

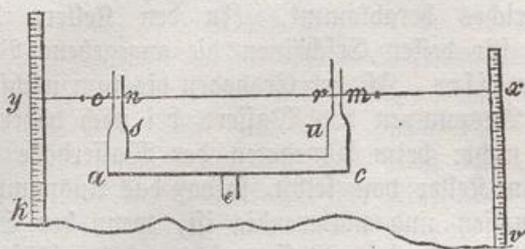
In den einfachen Studirlampen hat das Del im Brennzylinder denselben Stand, wie im Delgefäße.

In Gasanstalten, Brennereien, chemischen Laboratorien u. s. w. will man häufig den Stand der Flüssigkeit in einem undurchsichtigen Behälter ermitteln. Zu diesem Zwecke läßt man von dem untersten Theile des Behälters durch die Wand eine Röhre gehen, auf die man lothrecht eine offene Glasröhre setzt. In dieser äußeren Glasröhre wird die Flüssigkeit eben so hoch stehen, wie innerhalb, wenn sie hier nicht etwa einem besonderen Drucke ausgesetzt sind. Dies sind die Standmesser.

Das Nivelliren.

Will man Straßen, Eisenbahnen, Kanäle, Einrichtungen zum Drainiren, zur Veriefelung von Wiesen und Feldern, offene Gerinne, in Städten Wasserleitungen u. A. anlegen; so kommt es darauf an, zu wissen, ob ein gewisser Punkt mit einem zweiten, oft sehr weit entfernten in demselben Horizonte liegt oder nicht, und wenn nicht, ob der zweite höher und tiefer sich befindet und um wie viel. Man wird z. B. Wasser in einem offenen Gerinne von dem Punkte a bis zu dem Punkte b nicht leiten können, wenn b mit a in demselben Horizont oder höher liegt. Für die auf Straßen und Eisenbahnen zu verwendenden Kräfte darf der Weg nicht allzusteil in die Höhe gehn; worüber bestimmte, auf Gesetzen beruhende Erfahrungen vorliegen. In geschlossenen Röhren läßt Wasser sich über Anhöhen leiten, wenn sie niedriger liegen als das Niveau des Wassers, von welchem die Röhren ausgehen; für die Anlage von Kanälen ist es wichtig, in voraus die Menge der nöthigen Schleußen zu wissen und so sehen wir, daß die Beantwortung der Frage nach dem Höhenunterschiede oder der relativen Höhe zweier Punkte von der größten praktischen Wichtigkeit ist.

Für alle diese Zwecke ist die Kanalwage geeignet und da das Verfahren bei ihrer Anwendung das Nivelliren heißt, so wird sie auch Nivellirwage genannt. Auf eine Blechröhre a c (Fig. 69), deren Enden rechtwinklig umgebogen sind, kittet man zwei Glaszylinder n s und r u, welche etwa die Weite von Lampenzylindern haben oder selbst solche



(Fig. 69)

sein können; und versieht die Mitte der Blechröhre mit einer Kapsel *e*, um sie dadurch auf ein Gestell mit drei Füßen zu stellen. Ist nun in diese kommunizierenden Röhren so viel Wasser gegossen, daß es bei ungefähr horizontaler Lage von *a c* in den Gläsern bis etwa an die Mitte

reicht; so ist es leicht bei ruhigem Wasserstande horizontaler Linien abzustechen, zu untersuchen, um wie viel ein Punkt höher oder tiefer liegt, als ein zweiter (welche Neigung oder welches Gefälle vorhanden ist) und auch auf gewisse Entfernungen ein gewisses Gefälle oder eine gewisse Steigung herzubringen.

Hat man das Instrument vor sich und sieht man von *o* aus grade über das Niveau *n* so, daß auch das andere Niveau *r* in der Seh- und Visirlinie liegt; so sieht man in einer horizontalen Linie und trifft man mit dieser Linie auf einen Punkt *x* eines in *v* lothrecht aufgestellten Maßstabes, einer sog. Nivellirlatte, so liegt auch *x* in dieser horizontalen Linie. Stellt man sich, indem das Instrument stehen bleibt, mit dem Auge nach *m* und sieht über die Niveaus *r* und *n* nach dem Punkte *y* des jetzt in *k* aufgestellten Maßstabes, so liegt auch *y* mit *x*, also auch mit *x* in derselben horizontalen Linie.

Um recht genau horizontal zu sehen, ist bei sehr guten Instrumenten ein Fernrohr mit Fadenkreuz oder es sind wenigstens Dioptern oder Schwimmer mit gleich hoch überragenden Plättchen angebracht. An den Nivellirlatten sind durch eine Schnur verschiebbare Tafeln mit schwarz-weißen Abtheilungen zum sicheren Einstellen durch ein dem Gehilfen gegebenes Signal vorhanden. Beobachtet man mit Libellen und den Fernröhren, so ist die Tafel nicht nothwendig, und man liest selbst auf dem Maßstabe ab.

Stünde bei *x* auf dem Maßstabe die Zahl 8 Fuß, bei *y* die Zahl 6 Fuß, so liegt der Fußpunkt *v* um 2 Fuß tiefer, als der Fußpunkt *k*. Wollte man also von *k* aus eine horizontale Linie haben, so müßte man nach *v* hin um 2 Fuß erhöhen; wollte man aber von *v* aus die horizontale Richtung haben, so müßte man bei *k* 2 Fuß abtragen, wie es namentlich bei der Anlage von Eisenbahnen sehr häufig vorkommt.

Hätte man die Absicht in einem offenen Gerinne das Wasser von *k* bis *v* zu leiten, so würde dies unmittelbar ausführbar sein, wenn zwischen *k* und *v* Erhöhungen nicht mehr vorhanden wären; wären dergleichen da, so müßte man sie abtragen.

Betrüge die horizontale Entfernung von *k* nach *v* 30 Ruthen, so

wäre also das Gefälle auf 30 Ruthen 2 Zoll. Man pflegt die Größe des Gefälles durch einen Bruch auszudrücken, dessen Nenner die horizontale Entfernung der beiden Endpunkte und dessen Zähler der Abstand der durch sie gelegten horizontalen Ebenen ist, nachdem man beide in derselben Maßsorte ausgedrückt hat. In diesem Beispiele wäre es also $\frac{2}{30 \cdot 12 \cdot 12} = \frac{2}{4320}$ oder $\frac{1}{2160}$. Meistens nimmt man jedoch ein für allemal 100 Ruthen als horizontale Entfernung. Die Steigung ist natürlich immer gleich dem Gefälle.

Es ist natürlich, daß man bei großen Entfernungen der Punkte x und y und sehr unebener Gegend dazwischen das Instrument wiederholt wird aufstellen müssen. Bei der Wahl von Eisenbahnlinien ist ein Nivellement erforderlich, um die Höhenunterschiede der ausgezeichnet hoch und tief liegenden Punkte zu bestimmen.

Wollte man Wasser in Röhren über Unebenheiten leiten, so müßte vor Allem ermittelt werden, ob der höchste Punkt noch tiefer liegt, als das Niveau des Behälters, von welchem die Röhren mit Wasser versorgt werden. Ist es nicht der Fall, so muß der Plan aufgegeben oder die Leitung tiefer angelegt werden.

Berieselung.

Pflanzen können weder beim Mangel noch beim Ueberflusse von Wasser gedeihen, sondern nur, wenn der Erdboden mäßig feucht erhalten wird. Bewässerung und Entwässerung sind also für die Landeskultur von unendlicher Wichtigkeit.

Haben Aecker und Wiesen einen die Feuchtigkeit sehr leicht durchlassenden Untergrund, so trocknen sie bei Regenmangel bald aus und die Vegetation stirbt ab. In diesem Falle muß man eine Berieselung anzubringen suchen, d. h. man leitet aus höher gelegenen Wasserbehältern in offenen, zuerst weiteren und von ihnen in engeren Verzweigungen auslaufenden Gerinnen mit geringem Gefälle das Wasser an die gewünschten Stellen. Diese Gerinne müssen an den höher gelegenen Borten des Ackers oder der Wiese liegen und sich von da aus in schrägen Nesten abwärts verbreiten, damit die Bewässerung von den höheren Punkten aus sich gleichmäßig entwickle. Ein zu starker Zufluß muß zeitweise durch Absperrung gehemmt werden. Da, wo ein natürlicher Wasservorrath an den höheren Punkten nicht ist, oder durch offene Gerinne hingebracht werden kann, sollte man, wenn irgend möglich, durch Windmühlenspumpen, welche sehr einfach gebaut sind, das Wasser heraufschaffen. Der Ertrag lohnt auf's reichlichste die Anlagekosten.

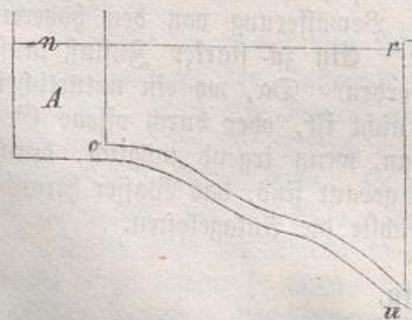
Drainirung.

Die Entwässerung könnte zwar auch durch offene Abzugsgräben geschehen, wenn nur das nöthige Gefälle vorhanden ist, aber durch tief

einschneidende Gräben verliert man nicht nur an nutzbarer Oberfläche, sondern erschwert sich auch die Bewirthschaftung. Ist ein das Wasser nicht durchlassender Untergrund (Lehm, Letten) vorhanden, so sammelt sich über ihm sowohl das durchsickernde Regenwasser, als auch das aus höher gelegenen Orten, selbst aus größeren Behältern herabkommende Gewässer und man hat fortwährend im Untergrunde Wasser, Grundwasser, welches durch die Kapillaranziehung nach oben dringt und den Erdboden fortwährend übermäßig naß erhält, so daß nicht nur die Bäume eingehen, wenn sie mit den Wurzeln etwas tiefer kommen, sondern auch andere Pflanzen gar nicht oder nur kümmerlich wachsen. Liegt in einem solchen Falle unter der das Wasser tragenden Schicht, eine mächtigere Sandschicht, so kann man erstere an einer Menge von Stellen durchbohren, und das Wasser fließt nach der letzteren ab. Dieses Verfahren ist aber theils nicht nachhaltig, theils unsicher und daher wendet man das Drainiren an. Man legt nämlich in einer Tiefe von mindestens 4 Fuß parallele Reihen von Röhren aus gebranntem Thone mit einem sehr mäßigen Gefälle, und läßt diese Stränge in weitere Sammelröhren (Sammelrain) münden, die es weiter fortführen. — Auf diese Weise kann das Grundwasser höchstens nur bis zu den Drainröhren emporsteigen und der Erdboden darüber wird von der übermäßigen Nässe befreit und auch frei erhalten, ohne daß er durch das abfließende Wasser ausgetrocknet werden könnte.

Wasserleitungen.

In den Wasserleitungen zum häuslichen Gebrauche kommt natürlich ebenfalls das Princip der kommunizirenden Röhren in Anwendung. Sind die Höhen in den Häusern bestimmt, bis zu welchen das Wasser gelangen soll, so muß man entweder natürliche Wasserbehälter auffuchen, deren Niveau mindestens diese Höhe hat, oder man muß das Wasser durch kräftige Maschinen, namentlich Dampfmaschinen, bis zu dieser Höhe heben oder drücken, und dann durch geschlossene Röhren weiter leiten.



(Fig. 70.)

Von der Sohle des Borrathsbeckens A (Fig. 70) aus können die Ableitungsröhren o u in beliebiger Richtung ab- und aufwärts gehen, wenn nur die höchsten Punkte noch unter dem Niveau n r des Beckens liegen, bis sie endlich in den Gebäuden aufwärts geleitet werden und in den verschiedenen Stockwerken die mit Hähnen abzusperrenden Seitenröhren a, b, c, d haben. Der Seitendruck in der Steigröhre B nimmt natürlich von unten

nach oben ab und daher strömt das Wasser aus den unteren Röhren mit einer größeren Geschwindigkeit, als aus den oberen. Es ist natürlich, daß die in dem Wasser enthaltene Luft bei der Erwärmung des Wassers in Gebäuden in den Röhren emporsteigt, sich in deren höchsten Stellen ansammelt und beim Oeffnen eines Hahnes zuerst und oft gleichzeitig mit dem Wasser herausströmt.

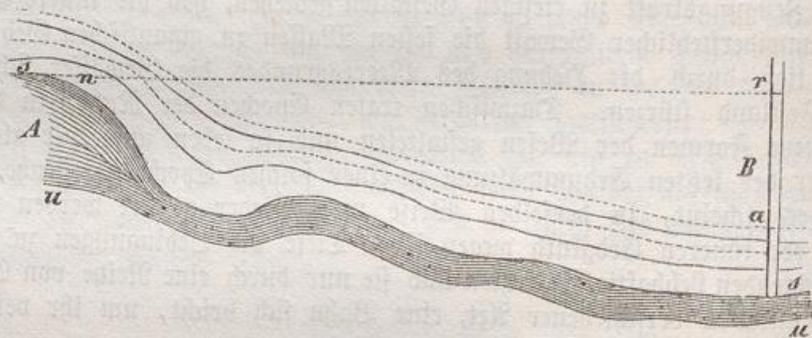
Artesische Brunnen.

Unser Erdkörper hat seit der Zeit, als er sich in seinem feuerflüssigen Zustande kugelförmig gestalten konnte, bis jetzt nachweislich drei großartige Zerstörungs- und Erneuerungsperioden durchzumachen gehabt. Nachdem die Erdrinde sich schon so bedeutend abgekühlt und das Flüssige von dem Festen sich gesondert hatte, daß organische Wesen mit urmächtiger Zeugungskraft zu riesigen Gestalten gediehen, hob die innere Gluth mit unwiderstehlicher Gewalt die festen Massen zu gigantischen Gebirgen und ließ durch die Hebung des Meeresgrundes die Gewässer sich auf das Festland stürzen. Dazwischen traten Epochen der Ruhe, in denen sich neue Formen der Wesen gestalteten und so leben auch wir als die Kinder der letzten Erdumwälzung in einer solchen Epoche der Ruhe, die, wie es scheint, in derselben Weise nicht wieder gestört werden wird, weil der inneren Erdgluth wegen ihrer Tiefe die Bedingungen zu einer vernichtenden Lebhaftigkeit fehlen und sie nur durch eine Reihe von Essen, den Vulkanen verschiedener Art, eine Bahn sich bricht, um ihr verhältnißmäßig kümmerliches Dasein zu verkünden.

Durch jede der wiederholten Ueberfluthungen der Erdrinde haben sich Schichten von den grade im Wasser aufgelösten oder mit ihm fortgeführten Massen gebildet, die ohne eine neue Erhebung ohne Ausnahme horizontal gelagert sein würden, wie wir es an den jüngsten Schichtungen in der That erkennen; die aber, insofern sie älteren Epochen und den aus inneren Erhebungen entstandenen Gebirgsbildungen angehören, gegen den Horizont eine geneigte Lage haben müssen. Es darf uns nicht in Verwunderung setzen, daß der Granit, diese Urgebirgsmasse, also eigentlich die unterste, auf den Gipfeln der Gebirge sich vorfindet, daß ferner die Schichtungen rings um einen Berg aufsteigen und sich wie ein Mantel um ihn gelagert haben und daß endlich diese Schichten durchbrochen und zerklüftet sein müssen, wodurch die sogenannten Gänge, in denen sich oft die herrlichsten Krystalle durch Sublimation gebildet haben, entstanden sind; denn sowie die horizontalen Schichten von unten gehoben und genöthigt wurden, einen größeren Flächenraum um den auf derselben Grundfläche gebildeten Berg einzunehmen, so mußten sie zerklüften.

Die verschiedenen Schichten sind nun entweder so lose, wie der kultivirte Boden, der Sand, loses Steingeroll oder selbst Sandstein, daß

sie das Wasser durchlassen, oder sie sind so fest, wie Lehm, Letten, Felsen verschiedener Art, daß sie das Wasser zurückhalten. Wenn nun in den Gebirgen, wo die wässerigen Niederschläge aus der Atmosphäre sich besonders häufig bilden, das Wasser durch die losen Schichten und inneren Spalten tiefer dringt; so sammelt es sich theils in offenen Becken, theils in unterirdischen Höhlen oft in bedeutenden Massen an. Diese offenen oder bedeckten Gebirgsseen haben bisweilen keine unterirdischen Abflüsse, bisweilen aber stehen sie mit tiefer liegenden durchlassenden und von den Gebirgen aus weit in's Land sich verbreitenden Schichten in Verbindung, werden aber oberhalb von undurchlassenden bedeckt. Im letzten Falle reichen diese Bedeckungen häufig zwar auf große Strecken, hören aber endlich auf und an solchen Stellen brechen dann mächtige Quellflüsse hervor oder es entstehen große Seen, wie in den nordamerikanischen Freistaaten.



(Fig. 71.)

Wenn nun (Fig. 71) A ein solcher unterirdischer und hochgelegener Wasserbehälter ist, von seiner Sohle an eine wasserhaltige Schicht zwischen zwei undurchlassenden *uu* und *ss* abwärts geht, wobei letztere noch von einer ganzen Menge verschiedener Schichten bedeckt sein kann und man bohrt von der Erdoberfläche bei *a* an durch die oberen Schichten bis man durch die letzte *ss* über dem Wasser gekommen ist; so bringt es aus dem Bohrloche mit um so größerer Festigkeit, je höher das Niveau des A liegt. Bringt man bei *a* Anfahrrohre an, so läßt sich die Höhe des Niveaus *n* von A bestimmen, weil es in dieser Röhre bis zu derselben Höhe *r* steigt.

Mündet die Röhre bei *a* oder überhaupt unterhalb *r*, so springt ein Wasserstrahl aufwärts und man hat einen natürlichen Springbrunnen, wie z. B. der zu Grenelle bei Paris, welcher einen 50 Fuß hohen Wasserstrahl gibt.

Beim Anlegen dieser Brunnen verfährt man anfänglich wie bei gewöhnlichen Brunnen. Man gräbt nämlich ein rundes Loch aus, setzt in dasselbe einen Kranz von doppelten Bohlen, mauert auf diesen bis über die Erdoberfläche so weit man bequem reichen kann, dann schafft

man den Erdboden oder den Sand ringsum unter dem Kranze nach und nach fort, wodurch er mit seinem Mauerwerke sinkt, so daß man wieder aufmauern kann. Dieses Verfahren wiederholt man so lange, als das Mauerwerk beim Herabsinken durch die Reibung an den Wänden der Oeffnung noch nicht leidet oder hört auch damit schon früher auf. Dann wird von der Mitte der Sohle mittelst eines Erdbohrers ein Loch gebohrt und, wenn der Boden lose ist, sogleich eine Gußeisenröhre hineingetrieben; ist der Boden fest, so kann man tiefer bohren und das Eintreiben des Rohres später vornehmen. Das Rohr darf aber nicht durch Rammern hinabgeschlagen werden, weil es leicht springen würde, sondern man muß kräftig wirkende Schrauben anwenden, wobei selbst noch große Vorsicht angewendet werden muß. Wesentlich ist, daß das Loch absolut lothrecht gebohrt werde, weil jede Abweichung die spätere Arbeit bei größerer Tiefe unmöglich macht. Sind die Tiefen, bis zu welchen man ein Rohr eingetrieben hat und somit auch die Reibung sehr bedeutend, so kann man in das erste weite Rohr ein zweites engeres schieben, und in diesem weiter bohren. Kommt man auf Gestein, so muß dies mit excentrischen Stahlbohrern durchbrochen werden, damit für die Röhre eine hinreichend weite Oeffnung gewonnen werde.

Ist man endlich auf den Springquell gekommen, so stürzt das Wasser aus dem Bohrloche bisweilen mit solcher Heftigkeit hervor, daß die Arbeiter kaum Zeit haben sich aus dem Brunnenschachte vor dem Ertrinken zu retten.

Der ungeheure Wasserdruck auf die Wände des Bohrloches macht es auch nothwendig, daß dasselbe ausgefüttert werde, weil sonst selbst der festere Kettenboden abgespült würde, wodurch man, wie z. B. an dem Reformaten-Fort der Festung Posen, fortwährend sehr getrübbtes Wasser erhielt, oder Gefahr liefe, daß das Bohrloch bis zum Einsturz des seine Mündung umgebenden Erdbodens ausgespült würde, was meines Wissens bereits schon einmal vorgekommen ist, so daß eine Mühle, welche durch das Bohrwasser getrieben wurde, verschwand und an ihrer Stelle ein ungeheurer tiefes Wasserloch entstand. — In Posen hat man einem solchen Unglücke dadurch vorgebeugt, daß man auf die Sohle des ausgemauerten Brunnens eine Menge Steingruß und scharfen Kiesel sand gethan hat, wodurch nächst der Wassermasse im gemauerten Brunnen die Kraft des aufsteigenden Wassers gebrochen und es zugleich geklärt wurde.

Außerhalb dieses Festungswerkes in einer Entfernung von etwa 400 Schritten ist später ein artesischer Brunnen mit eingetriebenem Rohre angelegt worden, welcher vollkommen klares Wasser gibt. Aber in dem benachbarten Rochus-Fort hat man bereits seit dem Jahre 1839 fortwährend hellbraunes Wasser, weil es durch Braunkohlenlager geht, deren mehre sogar auch durchbohrt worden sind. Man kann bei diesem Brunnen das Rohr nicht tiefer bis zu der wohl auch dort vorhandenen

weißen Quelle treiben, weil es bei dem Eintreiben durch eine Schraube mit einer Wirkung von etwa 80,000 Pfunden einen schiefen Sprung in einer Tiefe von mehr als 200' bekommen und man den oberen Theil schon etwas über diese Stelle schräge fortgetrieben hat. Hier steigt das Wasser in den Anfahröhren über der Hoffsole zu 32 Fuß Höhe.

Die artesischen Brunnen haben den großen Vorzug einer zu keiner Jahreszeit versagenden bedeutenden Wassermenge, so daß dadurch verschiedene Maschinen in Zuckersiedereien, Brennereien, Brauereien, Färbereien, Eisenwerken betrieben werden können, z. B. im Dorfe Hemmerde treiben mehre Bohrbrunnen 2 Mühlen, deren jede in 1 Sekunde 3 Kubikfuß Wasser verbraucht; bei Königsborn unweit Anna werden die Salinenwerke größtentheils durch Bohrwasser betrieben.

Von unendlichem Nutzen sind die von den Franzosen in den Provinzen Algier und Konstantine angelegten äußerst ergiebigen Brunnen für die Landeskultur. — Die früher fast ganz wasserlose und unfruchtbare Gegend zwischen den Kreidhügeln von Louth in England und der Meeresküste ist jetzt durch viele mehre Fuß hoch gehende Brunnen bewässert.

Einen anderen Nutzen gewähren artesische Brunnen, wenn man auf Wasser kommt, welches über Salzlager gegangen ist und sich mit Salz ziemlich gesättigt hat. So ist man z. B. bei Preussisch Minden in einer Tiefe von 2219,5 Fuß auf eine Salzsoole gekommen, die sogar 1994 Fuß unter dem Meeresspiegel liegt.

Vor vier Jahren haben die Nordamerikaner dergleichen Bohrungen angewendet, um das Petroleum, womit jetzt ganz Europa versorgt wird, in größeren Massen zu gewinnen.

Zu Warmbrunn am Riesengebirge hat man mit außerordentlicher Mühe ein Bohrloch durch Felsen getrieben, um eine ergiebigere Schwefelquelle zum Gebrauche für die Bäder zu erhalten und hat seinen Zweck vollständig erreicht.

Weil die Temperatur des Wassers mit wachsender Tiefe zunimmt (bei 90—100 Fuß um 1 °C.), so ist es auch schon zum Beheizen gebraucht worden, wie z. B. in einer Papierfabrik bei Heilbronn. Das Wasser des Brunnens von Grenelle, welches aus einer Tiefe von 1784' kommt und 50 Fuß über die Oberfläche steigt, hat eine Temperatur von 24 °R. Die ganze Vorstadt St. Germain wird täglich mit 100000 Kubikfuß Wasser versorgt.

Die Bedingungen für das Auffinden artesischer Quellen sind in der Nähe von Gebirgen eher vorhanden, wie z. B. im nördlichen Italien in der Nähe der Appenninen und der Alpen, als in sehr großer Entfernung von ihnen. Trifft man, ohne eine Quelle erhalten zu haben, auf Urgebirgsarten, auf Granite, Dioriten und andere vulkanische Gebilde, wie Lava; so muß man die Arbeit unbedingt aufgeben. Die Unterlage der Quellen müssen Urgebirgsmassen, feste jüngere Felsarten

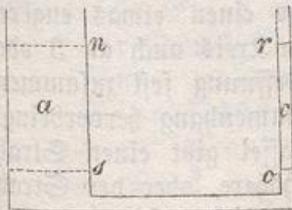
oder wasserdichte Erdarten, wie eisenschüssiger Mergel und Thon sein. Je häufiger die aufgelagerten Schichten mit Thon und Mergel wechseln, desto wahrscheinlicher ist der Erfolg. In großen Entfernungen von den Gebirgen wird man in der Regel viel tiefer bohren müssen, als in deren Nähe, weil dort sich das Erdreich mit feinen Schichten gesenkt hat, während die Gebirge durch Erhebung von Innen sich bildeten.

Diese Brunnen werden zwar allgemein nach der ehemaligen französischen Grafschaft Artois artesische genannt, sie sollten aber eigentlich chinesische heißen, weil dieses unermülich fleißige Volk sie weit früher schon angelegt hat, freilich unendlich viel mühsamer mit ihren Seilbohrern, als wir mit den Stangenbohrern.

In der Gegend von Kia-ting-su unter 101,5 Grad östlicher Länge von Paris und 29,5 Grad nördlicher Breite sind auf einer Strecke von etwa 10 französischen Meilen Länge und 5 Meilen Breite über 2000 solcher Brunnen, welche man auch Feuerbrunnen nennt; weil aus ihnen eine Menge Schwefelwasserstoff aufsteigt, welches zum Heizen der Pfannen mit dem Salzwasser benutzt wird. — Man senkt durch die 3 bis 4 Fuß hohe Erdschicht eine hölzerne Röhre von 5 bis 6 Zoll Durchmesser, legt obenauf eine Steinplatte mit entsprechender Oeffnung, läßt hinein einen Eisenbohrer von 300 bis 400 Pfund Gewicht, welcher kronenartig krenelirt und oben ausgehöhlt ist, vermitteltst einer Hebelvorrichtung immer etwa aus einer Höhe von 2 Fuß fallen, indem man in das Loch von Zeit zu Zeit Wasser gießt, um die zermalnte Masse in einen Brei zu verwandeln und sie dann mit dem Bohrer herauszuziehen. Das Seil aus Rohr ist zwar nur fingerdick, aber so haltbar, als unsere Darmseiten.

Es ist erklärlich, daß eine solche Arbeit wenigstens 3 Jahre in Anspruch nimmt, wenn auch ununterbrochen gearbeitet wird, denn im günstigsten Falle bringt man in 24 Stunden 2 Fuß zustande und wenn der Ring des Bohrers abbricht, so bedarf es einer Arbeit von 5 bis 6 Monaten, um den alten Bohrer mittelst neuer Widderköpfe zu zermalmen.

Der hydrodynamische Springbrunnen.



(Fig. 72.)

Denkt man sich von zwei kommunizirenden Gefäßen a und c (Fig. 72), in welchen eine Flüssigkeit, z. B. Wasser, in gleichem Niveau n und r steht, das eine bei o plötzlich abgekürzt; so wird das Wasser der Schicht o von der Wassersäule ns, welche in dem anderen Gefäße über dem Niveau von o liegt, mit einer solchen Kraft aufwärts gedrückt, daß es, wäre die Röhre vorhanden, in ihr bis zum Niveau im anderen Gefäße steigen würde; nun aber die Röhre nicht vorhanden ist, wenigstens das Bestreben in einem frei aufsteigenden Strahle zeigt. Wenn auch das

Niveau in dem Gefäße in gleicher Höhe erhalten wird, so kann der Springstrahl doch nicht seine Höhe erreichen, denn das Wasser findet einen Widerstand bei seiner Bewegung 1) an den Gefäß- und Röhrenwänden und zwar einen um so größeren, je enger und je länger sie sind, 2) an den Wänden der Ausflußöffnung, 3) an der Luft und 4) reißen die bereits abwärts gehenden Wassertheile die noch im Aufsteigen begriffenen zum Theil mit herab.

Je mehr diese Widerstände vermindert werden, desto höher hinauf geht der Strahl. Dieses wird geschehen, 1) wenn sowohl der Wasserbehälter, als auch das Zuflußrohr bis zur Springöffnung eine hinreichende Weite hat, wobei das Zuleitungsrohr desto weiter sein muß, je länger es ist; 2) wenn viele und starke Krümmungen in diesem Rohre möglichst vermieden werden; 3) wenn man die Reibung an der Ausflußmündung möglichst vermeidet, sie also in einer nur dünnen Metallwand anbringt, was allerdings mehr oder minder den Uebelstand mit sich bringt, daß das Wasser sich eher zertheilt, als daß es einen glatten Strahl hervorbringt; 4) wenn man den Strahl im Verhältnisse zu der Zuflußmenge des Wassers nicht zu dick werden läßt; 5) wenn man ihn einwenig von der lothrechten Lage ableitet.

Da sich das Wasser an allen Kanten theilen der Ausflußöffnung stößt, so verengt sich bei einer kreisrunden Oeffnung in einer Platte der Strahl kegelförmig. Bringt man ein dieser Verengung entsprechendes kegelförmiges Ausflußrohr an, so erreicht man eine größere Höhe, als durch ein zylindrisches und erhält einen glatten Wasserstrahl. Die Geschwindigkeit des mittelsten Wasserkernes wird durch das von den Wänden des Rohres zurückgeworfene Wasser vermehrt, indem die bewegten Wassertheilchen einander unter einem spitzen Winkel treffen und nach derselben Gegend sich bewegen.

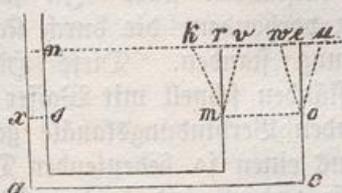
Um bei einem gewissen Durchmesser des Strahles die Wassermenge zu vermindern, kann man den Strahl hohl machen, indem man entweder in die Deckplatte des Ausflußrohres einen mehr oder minder breiten kreisförmigen Spalt einschneidet, wobei der undurchbrochene innere Kreis an 3 oder 4 Stellen mit dem äußeren im Zusammenhange bleiben muß, oder man steckt in ein zylindrisches Ausflußrohr einen etwas engeren massiven Keil mit der Spitze nach unten, dessen Kreis auch an 3 oder 4 Stellen mit dem Rande der kreisförmigen Oeffnung fest zusammenhängt, wenn man nicht etwa unten einen Zusammenhang hervorbringt.

Die Fontaine an der Wilhelmshöhe bei Kassel gibt einen Strahl von 80 bis 90 Fuß Höhe. Es gibt wohl noch höhere, aber der Strahl derselben ist nicht immer bloß durch den hydrostatischen Druck erzeugt.

Daß die Ausflußmündungen mancherlei Gestalt haben können, um verschiedene Figuren herzustellen, versteht sich von selbst. — Es lassen sich noch mancherlei angenehme Abwechslungen und Spielereien anbringen; man kann z. B. durch viele kleine Oeffnungen ein Farbenbündel von

feinen Strahlen erzeugen, mehre dergleichen neben einander von verschiedener Richtung anlegen; das Wasser glockenförmig sich gestalten lassen, indem es durch einen kreisförmigen, nach unten gerichteten Spalt ausläuft; bei kleinen einfachen Strahlen kann man um die Mündung des Rohres einen etwas breiteren Drahtkorb anbringen, so daß eine hohle Metallkugel, welche man hineinwirft, von dem Strahle getragen und oft längere Zeit schwebend erhalten wird, bis sie wieder in den Korb fällt, nach seiner tiefsten Stelle in der Mitte rollt und aufsneue durch den Strahl sich tragen läßt. Von den eine Drehung hervorbringenden Reaktionserscheinungen werden wir später im Zusammenhange sprechen.

Das hydrodynamische Gesetz.



(Fig. 73.)

Ist in zwei kommunizirenden Gefäßen na und ro (Fig. 73) eine Flüssigkeit in Ruhe oder befinden sich die beiden Niveaus in derselben Horizontalebene, so wird jede innerhalb befindliche horizontale Schicht, wie z. B. mo von zwei Kräften im Gleichgewichte erhalten: von der Flüssigkeitssäule $moer$ über mo wird ein Druck nach unten ausgeübt und von der Flüssigkeit unter mo ein eben so großer Druck nach oben, gleichgiltig, ob sich das Gefäß nach unten verengt oder erweitert, gleichgiltig, ob das in Verbindung stehende Gefäß weiter oder enger ist, denn der aufwärts gerichtete Druck jedes Theilchens unter mo richtet sich nur nach der Höhe der Säule ns , welche in dem anderen Gefäße über ihrem Niveau liegt. Die ganze Flüssigkeit zwischen $xaco$ dient nur dazu, sich selbst im Gleichgewichte zu erhalten und den Druck der Säule ns fortzupflanzen.

Wird also statt der Schicht mo ein Verschluss durch einen festen Körper angebracht, und somit die Säule ro außer Wirksamkeit gesetzt; so hat dieser Verschluss nur noch einen Druck nach oben zu ertragen. Dieser einseitige Druck wird unter allen Umständen durch das hydrodynamische Gesetz angegeben, welches sagt:

der Druck ist gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, welche die den Verschluss berührende Schicht zur Grundfläche und ihre lothrechte Entfernung vom Niveau im anderen Gefäße zur Höhe hat.

Der Druck auf die Schicht mo sowohl nach unten als auch nach oben kann durch verschiedene Mengen von Flüssigkeiten bewirkt werden. Statt eines Gefäßes von gleicher Weite mit mo kann ein nach oben sich erweiterndes $kmou$ oder ein sich verengendes $vmou$ aufgesetzt werden, wobei der Druck auf mo sich nicht ändert, wenn nur der Höhenstand des Niveaus in allen Fällen derselbe ist.

Der Druck nach oben wird also nicht geändert, wie auch die Form und Größe des Gefäßes so beschaffen sein mag, wenn nur auch die Höhe des Niveaus in ihm sich nicht ändert. Man kann demnach mit wenigem Wasser in einer engen langen Röhre auf einen Deckel, welcher ein kurzes und weites damit kommunizirendes Gefäß verschließt, einen sehr großen Gesamtdruck ausüben. Dies ist das hydrodynamische Paradoxon.

Verhielten sich die Durchmesser zweier Röhren wie 1 zu 10, also ihre Querschnitte wie 1 zu 100, so würde ein Druck von 50 Pfunden auf sx einen von $100 \cdot 50 = 5000$ auf m_0 geben was ein unstreitig sehr bedeutender Erfolg mit geringen Mitteln ist.

Es ist daher nicht selten vorgekommen, daß plötzlich statt fruchtbaren Erdbodens tiefe Seen und Teiche entstanden sind. In solchen Fällen waren unter dem Erdboden Höhlen vorhanden, die durch Kanäle mit höher gelegenen Orten in Verbindung standen. Diese Höhlen füllten sich nach und nach oder unter Umständen schnell mit Wasser und wenn nun auch noch die nach oben gehenden Verbindungskanäle gefüllt wurden, so übte das Wasser von diesen aus einen so bedeutenden Druck auf die untere Seite der Erdkruste, daß sie zerborst und in dem Wasser versank.

Der anatomische Heber.

Wenn man ein kurzes Metallgefäß, woran sich, mit ihm kommunizirend, eine enge und lange Metallröhre anschließt, mit Wasser füllt, es mit einer thierischen Blase verbindet und dann in die enge Röhre Wasser nachgießt; so wird die Blase durch den Druck nach oben in allen Stellen gleichmäßig ausgedehnt und man kann dann leicht erkennen, wie ihre Fasern untereinander zusammenhängen; man kann sie gewissermaßen anatomiren und deshalb heißt auch diese Vorrichtung der anatomische Heber.

Ist die thierische Blase über den kurzen Schenkel des anatomischen Hebers so gebunden, daß die ursprünglich äußere Seite nach innen liegt, so schwißt zufolge des Druckes das Wasser in kleinen Tropfen durch, während dieses bei Umkehrung der Blase nicht stattfindet. Der Harn kann also aus dem Körper durch zarte Kanäle wohl in die Urinblase treten, nicht aber durch dieselben wieder heraus.

Sticht man in die kugelförmig aufgetriebene Blase kleine Oeffnungen, so spritzt das Wasser in feinen Strahlen aufwärts.

Die hydrodynamische Wage.

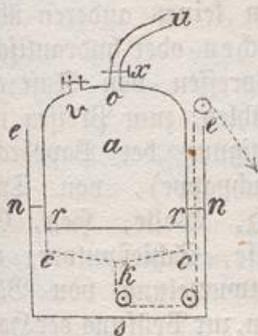
Beschwert man die mit einer Blase verbundene Mündung des weiteren Gefäßes mit Gewichten, so wird jede Wasserfäule von einer

bestimmten Höhe in dem längeren Schenkel über der des kürzeren im Stande sein auf einer bestimmten Fläche auch ein bestimmtes Gewicht zu heben. Ist das Verhältniß der Durchmesser der Röhre und des Gefäßes gleich 1 zu 10, so trägt die Blase das Hundertsache von dem Gewichte des Wassers, welches in der Röhre von dem Niveau der Blase an bis ans Niveau des engeren Schenkels enthalten ist.

Hydrodynamische Gebläse.

Man benutzt auch den Druck des Wassers, um abgesperrte Luft so zu verdichten, daß sie durch Röhren strömt und entweder zur Unterhaltung eines lebhafteren Verbrennens dient, wie bei den hydrodynamischen Gebläsen oder daß sie selbst brennt, wie bei den Gasometern der Leuchtgasanstalten, so wie der physikalischen und chemischen Laboratorien.

Ein hydrodynamisches Gebläse würde wesentlich in Folgendem bestehen (Fig. 74): esse ist ein Behälter mit Wasser, auf dasselbe ist ein unten offenes und oben bei *o* mit einer Ausströmungsröhre versehenes zylinder- oder kastenförmiges Gefäß *coc* aus Metall oder Holz umgestürzt, während die Röhre *ou* abgesperrt ist. Das Gewicht des Gefäßes *coc* drückt die in ihm enthaltene und unten durch das Wasser abgesperrte Luft in *a* zusammen und zwar um so mehr, je schwerer es ist und je mehr es belastet ist. Der Wasserstand *rr* im Gefäße wird niedriger sein, als der außerhalb, welchen wir uns bei *nn* denken wollen, weil ihn die Expansivkraft der zusammengedrückten Luft herabdrückt.



(Fig. 74.)

Die Kraft aber, mit welcher die Luft in *a* zusammengedrückt wird, ist gleich der Summe des Gewichtes des Gefäßes und einer Wassersäule, welche seine Oeffnung *cc* zur Grundfläche und den Unterschied der Höhe der beiden Wasserstände außerhalb und innerhalb zur Höhe hat.

Wird die Röhre *ou* durch den Hahn *x* geöffnet, so strömt aus ihr ein Luftstrahl bis der Raum *a* mit Wasser erfüllt ist, wenn das Gefäß *coc* aus Metall besteht. Da das Luftgefäß beim Ausströmen der Luft sinkt, so mußte das Rohr *ou* in einen beweglichen Schlauch übergehen. Man kann daher statt dessen das Ausströmungrohr durch den Boden des Wasserbehälters so hoch hinauf in das Luftgefäß gehen lassen, daß selbst beim höchsten Wasserstande in dasselbe Wasser nicht eindringt.

Will man einen fortwährenden Luftstrahl haben, so muß man zwei oder mehre solche Vorrichtungen anbringen, es so einrichten, daß die Luftgefäße abwechselnd in verschiedenen Zeiten ihren Zweck erfüllen und

daß die Ausströmungsröhren in einen gemeinschaftlichen Behälter münden, von wo dann die zusammengedrückte Luft durch ein einziges Rohr abgeleitet wird.

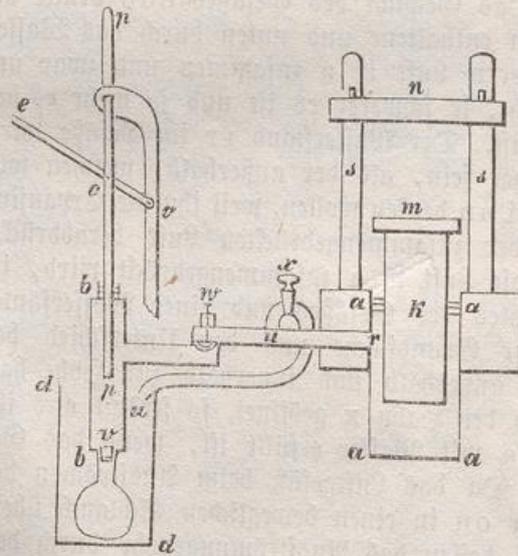
Statt das Gefäß zu belasten, namentlich wenn es von Holz ist, kann es auch durch unten angebrachte Ketten *ek* mittelst einiger Leitrollen herabgezogen werden. Hat es seinen Dienst verrichtet, so muß es wieder aufwärts gezogen werden, indem man gleichzeitig von oben durch eine hinreichend weite Oeffnung *v* Luft hineinläßt und letztere wieder absperrt, wenn das Gefäß aufsneue blasen soll.

Hydrodynamische Presse.

Endlich benutzt man das hydrodynamische Paradoxon und das Prinzip der ungeschwächten Fortpflanzung eines auf eine abgesperrte Flüssigkeit ausgeübten Druckes noch zur Konstruktion zwar ziemlich einfacher, aber außerordentlich wirksamer Maschinen, die, wenn es auf Beseitigung eines Widerstandes für kurze Wege ankommt, von keinen anderen übertroffen werden. Es sind dies die hydrodynamischen oder hydraulischen Pressen. Man wendet sie u. a. an zum Auspressen von Saft aus Pflanzen, z. B. im Rübenzuckerfabriken, in Oelmühlen, zum Pressen und Glätten von Papier (in Druckereien, zur Anfertigung der Pappdeckel,

Dachpappe), von Tuch, Filz, Wolle, Heu, Gemüse, Schießpulver, zur Entwurzelung von Bäumen, zur Prüfung der Haltbarkeit von Ketten (für Anker, Brücken u. a.) zum Biegen von kalten Eisenplatten zu Schiffspanzern, zum Heben und Schieben von großen Lasten u. s. w.

10 Pfunde Druckkraft, welche auf 1 Quadratzoll des eine Flüssigkeit absperrenden Gefäßes ausgeübt werden, bringen auf einen irgendwie gelegenen Flächenantheil dieses Gefäßes von 20 Quadratz-



(Fig. 75.)

zollen einen Gesamtdruck von $20 \cdot 10 = 200$ Pfunden hervor; aber diese 10 Pfunde Druckkraft, wirksam auf eine Fläche von 10 Quadratz-

zollen (auf jeden Quadratzoll also 1 Pfund), bringen auf dieselbe Fläche von 20 Quadratzollen einen Gesamtdruck von nur $1 \cdot 20 = 20$ Pfunden hervor. Wir können also die Regel aufstellen:

Für einen bestimmten, durch eine von außen wirkende Kraft ausgeübten Druck nimmt der fortgepflanzte Druck in demselben Verhältnisse ab, in welchem die drückende Fläche zunimmt.

Man wird also mit einer bestimmten Kraft durch Fortpflanzung des von ihr ausgeübten Druckes mittelst einer Flüssigkeit einen um so größeren Erfolg erzielen, je kleiner die Fläche ist, auf welche die Kraft wirkt, und je größer die Fläche ist, auf welche der Druck fortgepflanzt wird.

Fig. 75 soll eine Vorstellung von dem Wesen der Brahma'schen Maschine geben, ohne daß sie alle besonderen Einzelheiten wiedergibt. bb ist der Druckzylinder, welcher am Boden ein nach oben sich öffnendes Regelventil v hat und unten ein Sieb s trägt, damit nur klares Wasser aus dem Behälter dd, in welchem er steht, in ihn gelange; pp ist der wasserdicht oben durchgehende Druckkolben, welcher bei c durch die um o drehbare Stange eo auf- und abwärts bewegt werden kann. Von dem Druckzylinder geht ein Rohr rr nach dem Preßzylinder aaaa, durch dessen Decke wasserdicht der Preßkolben k mit seiner oben außerhalb befindlichen Preßplatte m geht. Der Preßzylinder ist durch starke Säulen ss mit der an ihnen befestigten Gegenplatte n verbunden. Das Verbindungsrohr rr enthält bei w ein sich nach oben öffnendes Regelventil und läßt sich durch ein bei x abschließbares Seitenrohr uu mit dem Behälter dd in Verbindung setzen.

Vor dem Gebrauche schraubt man die wasserdichte Ueberung des Druckzylinders ab, füllt alle Räume mit ausgekochtem, also luftfreiem Wasser an, schraubt den Zylinder wieder zu und preßt durch einen Druck bei e den Druckkolben herab. Da das Ventil schon wegen seines Gewichtes die untere Oeffnung geschlossen hat, so öffnet das gedrückte Wasser das Ventil w, dringt in den Preßzylinder und treibt den Preßkolben aufwärts.

Wird der Druckkolben nicht mehr bewegt, so schließt sich das Ventil w wegen seines Gewichtes und wird, wenn man dann den Kolben aufwärts zieht, durch das Wasser vom Preßzylinder aus, sogar herabgedrückt, während v durch das Wasser im Behälter aufgestoßen wird, so daß der Druckzylinder mit neuem Wasser gespeist wird.

So kann durch wiederholtes Ziehen und Drücken des Druckkolbens die Preßplatte m immer höher und näher an die Gegenplatte n getrieben und ein zwischen ihnen befindlicher Körper mehr und mehr zusammengepreßt werden. Die Bewegung des m geht sovielmal langsamer als die des n, wie vielmal der Querschnitt des ersteren größer, als der des letzteren ist.

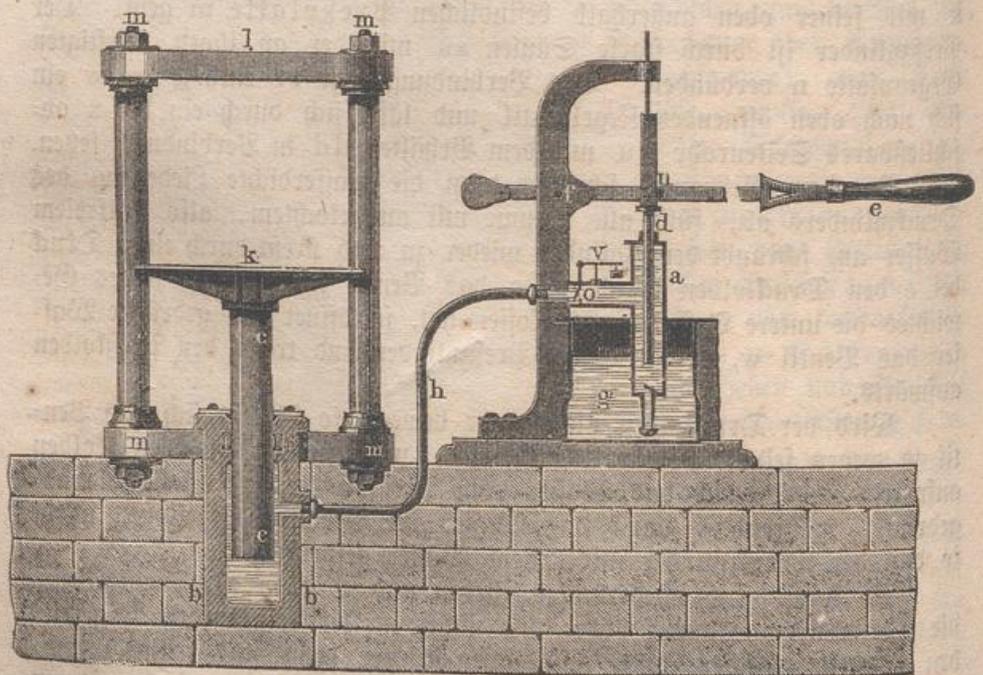
Die Berechnung des theoretischen Erfolges hat keine Schwierig-

keiten. Wäre eo gleich 3 Zoll, eo gleich 30 Zollen, also eo der zehnte Theil von eo , so würde eine Kraft von 1 Pfunde bei e einer von 10 Pfunden bei c oder eine von 50 Pfunden bei e einer von 500 Pfunden bei c das Gleichgewicht halten. Drückt man also mit einer Kraft von 50 Pfunden bei e abwärts, so geht der Druckkolben mit 500 Pfunden abwärts.

Sind ferner die Durchmesser der beiden Kolben 2 Zolle und 40 Zolle oder 1 Zoll und 20 Zolle, so verhalten sich ihre Querschnitte wie 1 zu 400 oder der Querschnitt des Preßkolbens ist das 400fache von dem des Druckkolbens und eine von diesem ausgeübte Kraft wird durch jenen das 400fache werden; also ist die Wirkung des Preßkolbens $50 \cdot 10 \cdot 400$ oder 200000 Pfunde = 2000 Zentnern.

Daß die Preßplatte m nicht mit dieser vollen Kraft von 2000 Zentnern aufwärts gehen kann, ist natürlich, weil verschiedene Reibungswiderstände, nämlich bei o , bei c und an den beiden Stopfbüchsen und das Gewicht des Preßkolbens mit seiner Platte zu überwinden sind; der Rest aber ist immerhin noch sehr bedeutend.

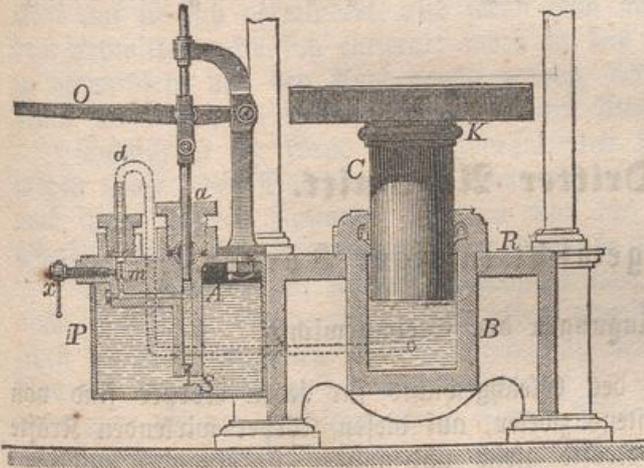
Wenn das Verhältniß des Nutzeffektes zum theoretischen wie 32 zu 34 angenommen wird, was man im Allgemeinen annehmen kann, so ist in diesem Beispiele immer noch ein Erfolg von fast 149000 Pfunden.



(Fig. 76. [1])

Die Einrichtungen im Einzelnen sind für die verschiedenen Zwecke verschieden. In Fig. 76 [1] ist a der in einem Wasserbehälter g stehende

Druckzylinder, mit einem Saugventile am Boden; d ist der durch eine Stopfbüchse gehende Druckkolben, welcher bei u durch den Hebel ef bewegt werden kann; in dem Presszylinder bb befindet sich der Presskolben cc, welcher oben die Pressplatte k trägt, die gegen eine andere l in dem festen Rahmen mm sich bewegen läßt. Der Druckzylinder ist durch ein Seitenrohr mit einem nach außen sich öffnenden Ventile o und dann durch das starke Verbindungsrohr h mit dem Presszylinder verbunden. Geht der Druckkolben abwärts, so wird das Ventil o geöffnet; hört man auf zu drücken, oder geht er aufwärts, so wird es durch den von k aus wirkenden Widerstand geschlossen; das Saugventil macht die entgegengesetzte Bewegung. v ist das Sicherheitsventil.



(Fig. 76. [2])

zuerst horizontal nach links, dann aufwärts geht, dort bei m ein nach oben sich öffnendes Ventil hat, und sich dann bei d abwärts krümmt, um in den Zylinder B geleitet zu werden.

Zieht man den Presskolben in die Höhe, so tritt Wasser aus P durch das Ventil S nach A; drückt man ihn hinab, so wird das Wasser durch das Ventil m nach oben und in den Zylinder B gepreßt. Durch Wiederholung des Vorganges wird B mit Wasser versorgt, und endlich der Kolben C emporgetrieben.

Für die Arbeiten des 12700 Meter oder 40175 rhl. Fuß langen Tunnels, welchen man zur Eisenbahn-Verbindung von Piemont mit Frankreich durch den Mont Cenis bricht, wird auch eine hydraulische Presse verwendet, um durch sie Luft für Arbeit der Steinbohrer und zur Ventilation des Tunnels zusammen zu pressen.

Die kolossalen Röhren der Menai-Röhrenbrücke in England zwischen der Insel Anglesea und dem Festlande, von denen jede der mittleren 31360 Zentner wog, wurden auch durch hydraulische Pressen über 200 Fuß hoch gehoben.

In Figur 76 [2] steht der Druckzylinder A mit seinem Bodenventile S in dem Wasserbehälter P; a ist der massive Druckkolben, welcher durch den Hebel O bewegt wird; B ist der starkwandige Presszylinder mit dem Presskolben C, welcher die Pressplatte K trägt. Der Druckzylinder A hat einen Abflußkanal, welcher

Um das größte aller vorhandenen Schiffe, den früheren Leviathan, jetzigen Great Eastern, vom Stapel zu lassen, wirkte man auf den Quadrat Zoll mit 20000 Zentnern, wobei Metallzylinder eines Apparates von mehr als 7 Zoll Dicke zersprengt und die stärksten Doppelbalken wie Zündhölzer zerbrochen wurden.

In England wendete man u. a. eine hydrodynamische Presse an, welche mit einem Drucke sogar von 40000 Zentnern auf den Quadrat Zoll wirkte, um die stärksten Eisenplatten im kalten Zustande zu den Schiffspanzern zu krümmen.

Durch die hydraulische Presse lassen sich Holzarten im Stamme mit den verschiedenartigsten Farben durch und durch versehen, was für Fourniere sehr wichtig ist, da zugleich die Holzmaserung weit kräftiger hervortritt.

Dritter Abschnitt.

Gleichgewicht luftiger Körper.

Bedingungen des Gleichgewichts.

Die Bedingungen des Gleichgewichts für jeden Körper sind von dem Verhältnisse wenigstens zweier, auf diesen Körper wirkenden Kräfte abhängig. Sind diese Kräfte gleich und wirken sie einander entgegengesetzt, so ist Gleichgewicht vorhanden.

Wir wissen, wie bei einem festen Körper eine Kraft, welche in einem Punkte seiner Schwerlinie angreift, der Gravitationskraft zur Erde das Gleichgewicht hielt, oder wie zwei Kräfte, welche beide auch die Anziehungskräfte der Erde sein könnten, den festen Körper im Gleichgewichte hielten, wenn er um einen bestimmten Punkt drehbar war, und die Kräfte eine Drehung nach entgegengesetzten Richtungen hervorbringen wollten. Wir wissen auch wie bei tropfbaren Körpern die Schwere nur durch die Kohäsionskraft der sie als Gefäße umschließenden festen Körper im Gleichgewicht zu halten war, wozu eigentlich auch das die Meere umschließende Festland zu rechnen ist.

Anders aber verhält es sich mit den luftigen Körpern, welche als gewichtig zwar auch den Gesetzen der Schwere unterworfen sind, aber noch eine ihnen eigenthümliche Eigenschaft, die Spannkraft oder Expansivkraft, und einen damit in Verbindung stehenden, sehr hohen Grad von Elastizität besitzen.

Alle luftigen Körper haben nämlich das Bestreben, einen größeren Raum einzunehmen, wenn sie daran durch einen äußeren Druck nicht

verhindert werden. Hat man z. B. in der Tiefe des Wassers in einer thierischen Blase nur etwas Luft, welche die Blase nicht erfüllt; so schwillt sie um so mehr an, je weiter man sie nach dem Niveau bringt, weil dadurch der äußere Druck auf sie vermindert wird und bekommt außerhalb des Wassers ein noch größeres Volumen. Bringt man sie dann noch unter eine Glasglocke, aus welcher durch eine Luftpumpe, welche wir später werden kennen lernen, die sie umgebende Luft nach und nach beseitigt wird, so nimmt die in der Blase eingeschlossene Luft immer größere Räume ein und kann unter Umständen durch den von Innen wirkenden Druck die Blase sogar zersprengen.

Die Luft dehnt sich aber nicht blos dann aus, wenn der von außen auf sie ausgeübte Druck, sondern auch, wenn die Anziehungskraft der Erde auf sie sich vermindert, also wenn man mit abgeschlossener Luft von dem Erdmittelpunkte sich entfernt; indes ist das nicht bedeutend und nicht zu verwechseln mit der Ausdehnung zufolge der Verminderung des äußeren Druckes beim Aufwärtssteigen in der Atmosphäre.

Endlich ist der Grad der Ausdehnbarkeit der luftigen Körper, sie mögen Gase oder Dämpfe sein, noch von einem allen Körpern, also auch ihnen eigenen Zustande, welchen man die Temperatur nennt, abhängig, indem ihre Ausdehnung mit Zunahme der Wärme wächst.

Sind die luftigen Körper ausdehnbar oder expansibel, so sind sie auch in gleichem Grade zusammendrückbar oder kompressibel oder besitzen die Fähigkeit einen kleineren Raum einzunehmen, was sie aber nicht blos bei der Zunahme des von außen auf sie ausgeübten Druckes, sondern auch bei der Abnahme ihrer eigenen Wärme thun. Diese Raumverminderung kann so weit gehen, daß ihre Molekel bei einer hinreichend großen Annäherung einen tropfbar flüssigen, ja sogar einen festen Körper bilden können. Bis jetzt ist es nur erst bei manchen Gasen gelungen sie zu tropfbaren oder selbst festen Körpern zu verwandeln, die Dämpfe aber sind ohne Ausnahme dieser Verwandlung fähig.

Daß die Eigenschaft der luftigen Körper, sich ausdehnen und zusammendrücken zu lassen, mit einem hohen Grade von Elastizität verbunden ist, zeigen sie, weil sie von selbst wieder den früheren Raum einnehmen, wenn die Kraft, welche sie ausdehnte und zusammendrückte, unter unveränderten sonstigen Umständen zu wirken aufhört. Läßt sich ein Stempel ohne Schwierigkeit, aber mit luftdichtem Verschlusse, in einem Zylinder von Glas oder Metall nach dem Boden hin drücken, so wird er durch die zusammengedrückte Luft zurückgestoßen, wenn die drückende Kraft zu wirken aufhört.

Wenn ein Metall, wie etwa beim Prägen von Münzen, zusammengedrückt und dichter geworden ist, so tritt eine rückwirkende Kraft nicht mehr hervor, und die angewendete lebendige Kraft kann insofern als verloren angesehen werden; wird aber ein luftiger Körper zusammengedrückt und ändert er hierbei nur die Dichte, nicht aber seinen Aggregatzustand,

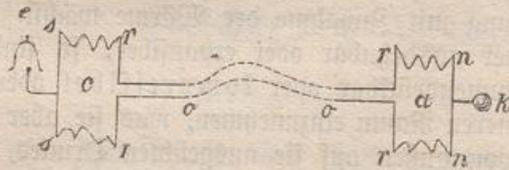
so tritt die rückwirkende Kraft ganz in demselben Maße als lebendige Kraft auf, wie die angewendete drückende Kraft.

Aus diesen Eigenschaften der luftigen Körper lassen sich alle Erscheinungen, welche sie darbieten, ableiten. Da die Dämpfe nicht als dauernde luftige Körper angesehen werden können, sondern vorzüglich durch die Wärme ihr Bestehen sichern, so werden sie am besten in der Wärmelehre abgehandelt, so daß wir hier zunächst nur von den eigentlichen Gasen sprechen wollen.

Gleichgewicht in einem geschlossenen Raum.

Aus den für die luftigen Körper bekannten Eigenschaften und den Bedingungen des Gleichgewichtes derselben ergeben sich ohne Schwierigkeit zwei gesetzmäßige Thatsachen:

- 1) in einem geschlossenen Raume ist die Expansivkraft der darin enthaltenen Luft an allen Stellen dieselbe, und
- 2) der auf irgend einer Stelle der abgesperrten Luft ausgeübte Druck pflanzt sich ungeschwächt durch die übrige Luft fort, bis die Expansivkraft überall dieselbe ist.



(Fig. 77.)

Diese Thatsache hat man zu Luftklingelzügen benutzt. Ihre Einrichtung läßt sich leicht aus folgenden Angaben erkennen. In Fig. 77 sind a und c zwei luftdicht abgeschlossene Behälter, jeder aus zwei Holzscheiben von wenigen Zollen Durchmesser bestehend, deren Ränder mit in Falten gelegtem Kautschuck oder Leder luftdicht an einander befestigt sind, so daß man sie einander nähern und von einander entfernen kann; die beiden Scheiben rr sind irgendwie befestigt und durch ihre Oeffnungen oo geht ein beliebig lauges und beliebig gerichtetes Kautschuckrohr, welches also die Behälter a und c mit einander verbindet. Wird die Scheibe nn am Knopfe k von rr weggezogen, also der Raum a erweitert, so strömt von c aus sofort durch das Rohr oo Luft dorthin und die Scheibe ss bewegt sich, weil der innere Druck auf sie vermindert ist, sofort nach a hin. Ist also an die Scheibe ss ein Metallklöppel angebracht, welcher an eine Glocke e schlägt, so hat man den gewünschten Glockenlaut; drückt man nn hinein, so wird die Glocke an der entgegengesetzten Seite angeschlagen.

Da mit jedem Zuge und Drucke nur ein Schlag gemacht wird, so läßt es sich wohl denken, daß man eine ähnliche Vorrichtung zum Telegraphiren anwenden könnte, wobei sich die Leitungsröhren im Erdboden anbringen und so gegen Zerstörung durch muthwillige Hände schützen

fließen. Die Anzahl und Schnelligkeit aufeinander folgender Laute könnte wie beim Morfeschen Schreibtelegraphen die verschiedenen Buchstaben bedeuten. Statt des Klöppels *x* ließe sich wohl auch ein Stift anbringen, wenn die Einrichtung etwas verändert würde, so daß durch ihn auf ein mit gleichmäßiger Geschwindigkeit vorüberbewegtes Papier Punkte und Striche gemacht werden könnten, wie beim Morfeschen Schreibtelegraphen.

Auf das Prinzip der ungeschwächten Fortpflanzung des Druckes, welches eigentlich auch schon bei dem Luftklingelzuge seine Anwendung fand und uns bereits von den tropfbaren Flüssigkeiten als ungemein wichtig bekannt ist, stützt sich ein in mehrfacher Beziehung belehrendes, bereits gelegentlich erwähntes Spielzeug, nämlich der fatesianische Taucher.



Ein etwa 8 Zoll hohes und $1\frac{1}{4}$ Zoll weites Zylindergefäß von Glas wird zum größten Theile, z. B. bis *nn* (Fig. 78) mit Wasser gefüllt; in das Wasser legt man eine kleine hohle Glasfigur, der man meist eine abenteuerliche Gestalt gibt, wie etwa die hirnverbrannte Phantasie zu Zeiten sich den Teufel vorgestellt hat, nämlich mit Hörnern, Pferdefüßen und einem gekrümmten röhrenartigen Schwänzchen *x*, welches am Ende offen ist. Das Körperchen muß gerade so tief eintauchen, daß eben nur die Hörnerspitzen über das Wasser vorragen. Sinkt es von selbst nicht so tief ein, so muß man es dadurch etwas schwerer machen, daß man Wasser in dasselbe schafft. Dieses geschieht, wenn man das Glaskörperchen, also auch die Luft in ihm, etwas erwärmt, wodurch ein Theil derselben sich durch das Schwänzchen entfernt. Bringt man es nun schnell unter kälteres Wasser, so dringt bei seiner Abkühlung etwas davon hinein, wodurch es mit Beibehaltung seines Volumens schwerer wird, also tiefer einsinkt; hat man die obige Tiefe erreicht, so verbindet man den Glaszylinder luftdicht mit einer recht nachgiebigen Kautschukplatte *k*.

Drückt man nun auf die Kautschukplatte mit einem Finger, so wird die Luft darunter in *a* zusammengedrückt, dieser Druck wird auf das Niveau *nn* und von da durch die ganze Flüssigkeit, also auch bis an die Oeffnung des Schwänzchens fortgepflanzt. Die Folge davon ist, daß etwas Wasser ins Körperchen dringt, welches die Luft in ihm zusammendrückt, wodurch es, ohne sein Volumen zu ändern, schwerer wird und sinkt. Man hat es vollkommen in seiner Gewalt es bis zu beliebigen Tiefen, *c* oder *e*, einsinken zu machen und hat somit zugleich den praktischen Beweis geliefert, daß mit vergrößerter Tiefe unter dem Niveau der Wasserdruck nach oben wächst, weil ja das Körperchen schwerer gemacht werden muß, um es in größeren Tiefen zum Schweben zu

bringen. Von einer nach unten vermehrten Dichtigkeit des Wassers kann für so niedrige Wassersäulen nicht die Rede sein.

Beim Nachlassen des Druckes auf k , vermindert sich auch der Druck der Luft auf nn und des Wassers auf x , so daß die im Körperchen abgesperrte Luft sich ausdehnen kann und einen Theil des Wassers her-
 austreibt. Geschieht letzteres schnell genug, oder in kurz auf einander-
 folgenden Absätzen, was man natürlich in seiner Gewalt hat; so dreht
 sich das Körperchen nach der der Oeffnung am Schwänzchen entgegen-
 gesetzten Richtung, was bei den Reactionerscheinungen seine Erklärung
 finden wird.

Gleichgewicht der Atmosphäre.

Auf das verbreitetste aller Gase, nämlich die atmosphärische Luft, wirkt zunächst die Schwere, und deshalb kann sie sich ungeachtet ihrer Expansivkraft in den Weltraum nicht entfernen, sondern ist mit allem, was in ihr sich befindet, in alle Ewigkeit an sie gefesselt. Jedes Lufttheilchen aber drückt wegen seines eigenen Gewichtes auf das unter ihm befindliche, dieses kann seitwärts nicht entweichen, weil die dort befindlichen einen gleichen Gegendruck ausüben; es wird also zusammengedrückt, ohne daß es sein Gewicht verliert. In diesem Zustande will es sich mit derselben Kraft, mit welcher es zusammengedrückt wurde, wieder ausdehnen und drückt nach allen Seiten, also auch nach unten hin mit dieser Kraft, die es durch das Gewicht des ersten Theilchens empfangen hat; also das dritte Theilchen darunter hat das Gewicht des zweiten und die dem Gewichte des ersten gleiche Expansivkraft desselben zu tragen. Diese Betrachtung gilt durch die ganze Atmosphäre und ergibt:

- 1) daß die Atmosphäre die kugelhähnliche Gestalt der Erde angenommen hat,
- 2) daß die Dichtigkeit und die Druckkraft der Atmosphäre im Zustande des Gleichgewichts nach der Erdoberfläche hin zunimmt,
- 3) daß in ihrem Innern der Druck ein allseitiger ist, und
- 4) daß ein irgendwie ausgeübter Druck ungeschwächt nach allen Richtungen sich fortpflanzt.

Hat man an einer bestimmten Stelle der Erdoberfläche ein mit Luft aus dieser Stelle erfülltes Gefäß, so ist der Druck der inneren Luft auf die Gefäßwände ebenso groß, als der äußeren an demselben Orte zu derselben Zeit. Begibt man sich mit der abgesperrten Luft nach oben, so wird die Expansivkraft der inneren Luft um so mehr die der äußeren übertreffen, je höher man steigt, und es kann der Fall eintreten, daß die Gefäßwände dem inneren Drucke nicht mehr widerstehen

können; begibt man sich nach unten, so wird der äußere Druck größer, als der innere.

Da die Erdanziehung immer kleiner wird, je höher die Luft in der Atmosphäre sich befindet, und da in größeren Höhen ihre Expansivkraft wegen vermindelter Dichtigkeit geringer ist, als in kleineren, so muß es Orte geben, in welchen die Schwere und Expansivkraft der Luft einander aufheben und diese kann man in der angegebenen Beziehung als das Ende der Atmosphäre ansehen. — Da man Explosionen von Meteoriten, die in einer Höhe von 50 englischen Meilen stattfanden, an der Erdoberfläche noch hörte, so muß die Luft in dieser bedeutenden Höhe doch noch eine ziemliche Dichtigkeit haben, obwohl ihre Schwere hier schon geringer ist, als die Expansivkraft.

Die Luft hat in einer Stube dieselbe Spannkraft als im Freien in derselben horizontalen Schicht zu derselben Zeit. Es ist nicht möglich, daß die Dichtigkeit und auch die Spannkraft an zwei mit einander verbundenen Orten verschieden sei, weil der erhöhte Druck an einer Stelle auch eine sofortige Erhöhung an der anderen zeigen muß. Es reichen dazu die kleinsten Oeffnungen hin, und selbst durch ganz dicke Mauern stellt sich das Gleichgewicht her.

Die Diffusion der Atmosphäre.

Die atmosphärische Luft ist nicht ein einfacher Körper. Dies läßt sich auf folgende Weise zeigen.

Wenn man in einem abgesperrten Raume, welcher atmosphärische Luft enthält, etwas Quecksilber erhitzt, so vermindert sich das Volumen der Luft, und das Quecksilber verwandelt sich theilweise in einen rothen festen Körper; aber die Verminderung der eingeschlossenen Luft überschreitet nicht eine gewisse Gränze. Die zurückgebliebene Luft ist nicht mehr atmosphärische, denn ein Licht erlischt darin sofort und ein Thier erstickt. Wird nun der aus dem Quecksilber entstandene rothe Körper für sich stärker erhitzt, so entwickelt sich eine Lustart, in welcher ein glimmend hineingebrachter Stran mit lebhafter Farbe brennt, und sogar Stahl funkenprühend mit lebhaftem Glanze zerschmilzt.

Die in dem Gefäße zurückgebliebene Luft heißt Stickstoff, die aus dem rothen Körper entwickelte Sauerstoff und seine Verbindung mit dem Quecksilber ist Quecksilberoxyd. In 100 Raumtheilen atmosphärischer Luft sind stets 21 Raumtheile (23 Gewichtstheile) Sauerstoff und 79 Raumtheile (76 Gewichtstheile) Stickstoff. Die ihr noch beigemengten Anthelle von Kohlensäure, Wasserdampf und Ammoniak sind von Umständen abhängig; in einem erhöhten Grade aber das Vorhandensein von Salz (in der Nähe der Meere und selbst bis auf 20 Meilen Entfernung), von Staub (wie der Wüstenstaub), von Blütenstaub verschiedener Gewächse, von Essen-, Hütten- und Höhenrauch u. a.

In den den Erdförper umgebenden 5,193154 Billionen Kilogrammen atmosphärischer Luft sind enthalten 3,990419 Stickstoff, 1,199619 Sauerstoff und 3116 Kohlenensäure. In 10000 Raumtheilen atmosphärischer Luft sind durchschnittlich etwa 4 Raumtheile Kohlenensäure enthalten. Der Ammoniakgehalt, welcher für das Gedeihen der Pflanzen wichtig ist, wie Gewitterregen zeigen, ist sehr veränderlich von 1 Zehnmilliontel bis 5 Hunderttausendtel gefunden worden.

Man hat berechnet, daß in Paris durch das Verbrennen und Athmen mindestens 3 Millionen Kubikmeter Kohlenensäure entwickelt werden (durch letzteres freilich nur 51000), man hat aber durch direkte Versuche in menschen erfüllten abgesperrten Räumen ihre Menge doch nur höchstens auf 0,01 gefunden, meistens geringer, so daß sie für die Gesundheit gerade nicht sehr gefährlich wird, zumal sie ungeachtet ihres größeren spezifischen Gewichtes wegen ihrer ziemlich hohen Temperatur beim Ausathmen sich mehr in die obersten Theile solcher Räume begibt, als nach unten, wo sie überhaupt durch den Zufluß kälterer Luft bald verdrängt wird. Hat das kohlen-saure Gas die Temperatur der atmosphärischen Luft, so läßt es sich in ihr auf kurze Zeit aus einem Glase in ein anderes übergießen wie Wasser und macht sich bemerklich, daß man ein Licht, auf welches man es gießt, auslöscht. Die Diffusion der in der Atmosphäre vorhandenen Gase setzt bald das normale Mischungsverhältniß wieder her, wenn es durch den Verbrauch des einen oder durch die Erzeugung des anderen gestört worden ist.

Hat man nämlich in zwei Gefäßen, die durch einen, wenn auch engen Kanal, z. B. ein Kapillarröhrchen, mit einander verbunden werden können, zwei Lustarten getrennt aufgefangen, z. B. Wasserstoff und Kohlenensäure, welche keine chemische Verwandtschaft zu einander besitzen, und stellt man dann die Verbindung her; so verbreitet sich jedes Gas auch in das andere Gefäß und erfüllt schließlich beide Gefäße mit überall gleicher Dichte und Spannkräft, als wäre das andere Gas gar nicht vorhanden. Diese Verbreitung, welche man Diffusion nennt, findet auch dann statt, wenn die beiden Gase dieselbe Spannkräft besaßen und das Gefäß mit dem leichteren Gase das obere ist: es steigt also hier die schwerere Kohlenensäure allmählig aufwärts, der leichtere Wasserstoff geht abwärts, bis das Gemenge in beiden Räumen überall eine gleiche Spannkräft hat.

Die Spannkräft, womit beide Gase schließlich den gegebenen ganzen Raum einnehmen, ist gleich der Summe der Spannkräfte, mit welchen sie einzeln diesen Raum einnehmen würden.

Wäre eines der Gefäße luftleer gewesen, so würde die Einstromung des Gases aus dem anderen Gefäße schneller geschehen, als es bei dem vorhandenen Widerstande eines anderen Gases geschieht. Es ist höchst auffallend, daß die Verbreitung der Gase durch vorhandene Widerstände

nur verzögert, nicht aber völlig aufgehoben werden kann, was eine Bestätigung der Porosität aller Körper ist. Man hat z. B. Wasserstoff in einer Glasflasche gesammelt, diese durch einen Glaspfropfen gut geschlossen, die Flasche so in Quecksilber umgestürzt, daß ein großer Theil des Halses damit bedeckt war, und hat nach 1 bis 1½ Jahren gefunden, daß das Wasserstoffgas zum Theil oder ganz durch atmosphärische Luft ersetzt war.

Ist zwischen zwei verschiedenen Gasen eine Scheidewand aus einem zwar festen, aber ziemlich porösen Körper, wie etwa einer thierischen Blase oder aus ungebranntem Thone u. a.; so durchdringen sie dieses Hinderniß mit ungleicher Kraft, selbst wenn ihre Expansivkraft ursprünglich dieselbe war.

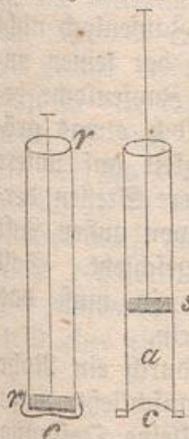
Die Diffusion hat einige Aehnlichkeit mit den Erscheinungen der Endosmose und Exosmose, wenn die Gase durch einen porösen Körper getrennt sind und Verwandtschaft zu einander haben.

Ist eine unbeschädigte Glasglocke über eine andere, die einen ganz feinen Riß hat und Wasserstoff enthält, gestürzt, befindet sich im Zwischenraume atmosphärische Luft, und sind die Gase durch Wasser in demselben Niveau abgesperrt, was ihre gleiche Expansivkraft anzeigt; so durchdringen diese beiden Luftarten den Riß mit großer Lebhaftigkeit in entgegengesetzter Richtung, aber das Wasserstoffgas rascher, was sich durch den Höhenunterschied der Sperrflüssigkeit zeigt.

Der Druck der freien Atmosphäre.

Wir haben bereits aus den Eigenschaften der luftigen Körper überhaupt und der atmosphärischen Luft insbesondere die Nothwendigkeit ihres nach allen Seiten hin gerichteten Druckes kennen gelernt. Wir wollen nun an einer Reihe von ganz einfachen Erfahrungen diesen Druck bestätigen und prüfen und dann seine Größe kennen zu lernen suchen.

Hat man bei einer offenen Röhre *rr* (Fig. 79) den in sie gut passenden Stempel *s* bis an das eine Ende *o* geschoben, dieses Ende luftdicht mit einer weichen Blase *c* verbunden und zieht man dann diesen Stempel zurück (2), so wird die Blase durch den Druck der äußeren Luft um so mehr in die Röhre gepreßt, je weiter der Stempel zurückgezogen wird und kann, namentlich wenn sie trocken ist und zwischen ihr und dem Stempel in *a* sich möglichst wenig Luft befand, leicht zerdrückt werden. Dieses geschieht bei allen Lagen der Röhre. — Hier ist also der Fall, daß auf die beiden Flächen der Blase ungleiche Kräfte wirken: von innen die geringe Druckkraft der wenigen und nach ihrer Raumerweiterung wenig dichten Luft, welche etwa noch in der Röhre war, bevor man den Stempel zurück-



(Fig. 79.)

zog; von außen der unveränderte und verhältnißmäßig große Druck der freien Atmosphäre.

Hält man eine offene Röhre mit der einen Mündung ins Wasser und saugt man durch die andere Luft aus ihr, so steigt das Wasser in der Röhre um so höher, je mehr man die Luft aus ihr saugt. Hier ist auch der Druck auf das innere Wasser durch das Saugen kleiner geworden, als der äußere, unverändert gebliebene ist.

Hat man ein Trinkglas bis an den Rand vollständig mit Wasser gefüllt, bedeckt man es mit einem Blatte Papier, welches man an den Rand ringsum dicht andrückt, legt man dann die eine Hand aufs Papier, kehrt das Glas um und wartet bis das im Innern in Bewegung gerathene Wasser zur Ruhe gelangt ist, so fließt das Wasser nicht aus, weil der auf das Papier von der Atmosphäre ausgeübte Druck es verhindert. Je enger das Glas ist, desto leichter gelingt es, weil sich das Wasser im Innern eher beruhigt und auf verschiedene Stellen des Papiers nicht mit verschiedener Kraft stößt.

Der Druck der Atmosphäre auf die Mündung eines gefüllten Gefäßes kann auch mittelbar durch eine tropfbare Flüssigkeit in einem anderen Gefäße ausgeübt werden, wenn sie die Mündung absperret. Ein mit Wasser gefülltes und so auf Wasser umgekehrtes Trinkglas, daß seine Mündung noch unter dem Niveau liegt, bleibt gefüllt.

Hierher gehört auch das Füllen von Gefäßen mit sehr engen Oeffnungen, nachdem man die innere Luft entweder durch Ausaugen oder anfänglich durch Erwärmen und dann, wenn schon etwas Flüssigkeit eingedrungen ist, durch das Kochen derselben beseitigt hat.

Ferner sammelt man verschiedene Lustarten in Flaschen dadurch, daß man diese zuerst mit Wasser, oder nach den Umständen mit Quecksilber, Del anfüllt, sie in der sogenannten pneumatischen Wanne auf den Spiegel der darin befindlichen Flüssigkeit derselben Art umstürzt und dann die Lustarten von unten in die Flaschen leitet.

Daß Flüssigkeit aus einer Tonne durch das enge Zapfenloch nicht abfließen will, wenn das Spundloch gut verschlossen ist, hat keinen anderen Grund, als den von der Atmosphäre auf die am Zapfenloche befindliche Flüssigkeit ausgeübten Druck. Ist das Zapfenloch etwas größer, so ist der von innen wirkende Druck der Flüssigkeit auf untere Theile der Oeffnung um so viel größer, als der auf obere Stellen derselben, daß dort tropfbare Flüssigkeit ausströmt, hier von außen Luft eindringt, was wegen Ungleichheit der Kräfte stoßweise geschieht. Soll also die Flüssigkeit mit einem Strahle herausdringen, so muß das Spundloch geöffnet oder wenigstens hinreichend gelüftet sein.

Wenn bei Thee- und Kaffeekannen das Ausgießen durch ein Rohr stattfindet, so muß der Deckel, zumal wenn er sich dicht anschließt, wozu noch die Dünste der warmen Flüssigkeit beitragen, eine kleine Oeffnung

haben, damit durch sie die äußere Luft eindringen und die Flüssigkeit beim Ausgießen allein ihrem Gewichte folgen kann.

Nimmt man die Oeffnung einer abgeschnittenen Federpose, deren anderes Ende noch geschlossen ist, in den Mund, saugt man von der darin befindlichen Luft einen Theil aus und verschließt die Oeffnung schnell mit der Zunge, so bleibt die Pose an der Zunge frei hängen, weil sie durch den äußeren, stärker wirkenden Atmosphärendruck festgehalten wird.

Wenn man aus einer nur mit Luft gefüllten Blase durch Saugen einen Theil der Luft entfernt, so fällt sie bei fortgesetztem Saugen mehr und mehr zusammen, weil der innere Druck gegen den äußeren immer kleiner wird.

Wenn man in die Körperhaut eine kleine Wunde macht, auf sie ein Gläschen setzt, aus welchem durch das Zurückziehen eines Stempels ein Theil der Luft fortgeschafft wird; so fließt das Blut aus der Wunde um so lebhafter, je stärker die Luftverdünnung im Gläschen ist, weil es der äußere Luftdruck aus der Entfernung um das Gläschen um so mehr hineinpreßt. Die Beseitigung eines Theiles der Luft im Gläschen kann auch durch die Wärme geschehen. Erkaltet das warm aufgesetzte Glas, so nimmt die innere Luft denselben Raum mit geringerer Dichtigkeit ein, und der Erfolg muß derselbe sein. Dies sind die Schröpfköpfe und künstlichen Bluteigel.

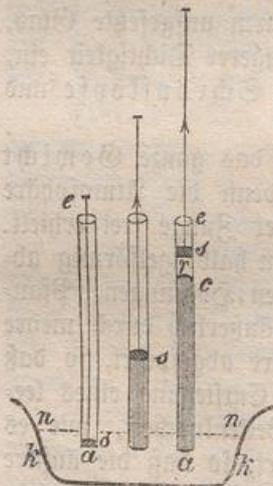
Es ist ein Glück, daß wir beim Gehen nicht das ganze Gewicht unserer Arme und Beine zu heben haben, denn die Atmosphäre hilft sie uns tragen, wie sie die Federpose an der Zunge frei erhielt. Die Arm- und Bein-Knochen befinden sich mit ihren halbkugelförmig abgerundeten Enden (dem Kopfe) in ebenso ausgetieften Höhlungen (Pfan- nen) anderer Knochen; der Zwischenraum ist aber äußerlich durch mehre sich luftdicht anschließende Häute von der Atmosphäre abgesperrt, so daß sie die Gliedmaßen an den Körper drückt und die Entstehung eines leeren Raumes verhindert. Wenn man daher den Beckenknochen, wie es bei Leichen wiederholt gemacht worden ist, durchbohrt, so daß die äußere Luft in den inneren Zwischenraum dringen kann, so fällt das Bein ab, was bei einer bloßen Durchschneidung der Muskeln noch nicht der Fall ist. — Da die Atmosphäre in höheren Schichten weniger dicht ist, als unten, so ist auch ihre Expansiv- oder Druckkraft dort geringer, und das Laufen muß uns auf hohen Bergen und Plateaus in der dünneren Luft mehr ermüden, als unten in der Tiefebene, namentlich wenn der Wechsel des Aufenthaltes schnell eingetreten ist; denn geschieht es langsam, so tritt eher eine Ausgleichung des Druckes ein.

Messung des Atmosphärendruckes.

Wie jede bestimmte Kraft auch nur einer bestimmten Leistung fähig ist, so muß dieses auch mit dem Drucke der atmosphärischen Luft

zu einer bestimmten Zeit und an einem bestimmten Orte der Fall sein. Um die Größe dieses Druckes zu erkennen, müssen wir die Bedingungen des Gleichgewichtes aufheben. Haben wir nämlich in der freien Atmosphäre irgendwo eine dünne Scheibe, so wird der Druck auf eine Stelle von gewisser Ausdehnung in der einen Seitenfläche durch den ebenso großen Gegendruck auf dieselbe Stelle in der entgegengesetzten Seitenfläche aufgehoben, und die Scheibe wird wenigstens durch diese zwei Kräfte nicht in Bewegung gesetzt, sondern sie bleibt im Gleichgewichte oder in Ruhe; wenn aber der Druck auf die eine Seitenfläche aufgehoben oder wenigstens vermindert werden könnte, so käme der auf die andere Seite wirkende zur Geltung und würde die Scheibe in seinem Sinne in Bewegung setzen, und zwar um so mehr, je größer sie ist.

Es wird zur Auffuchung eines Maßes für den Atmosphärendruck aber besser sein, statt eines festen und wenig leicht beweglichen Körpers eine tropfbare Flüssigkeit zu wählen, weil ihre Theile außerordentlich leicht verschiebbar sind, jedem geringsten Drucke nachgeben und ihn ungeschwächt durch ihr ganzes Innere fortpflanzen.



(Fig. 80.)

Hat man ein Gefäß *kk* (Fig. 80) mit Quecksilber, eine an beiden Enden offene Glasröhre *ae* von etwa 32 Zoll Länge, paßt in dieselbe ein Stempel *s* luftdicht ein, schiebt man diesen Stempel bis an das eine Ende *a* der Röhre, hält man dieses Ende unter das Quecksilber-Niveau *nn* (1) und zieht dann den Stempel aufwärts (2), so folgt ihm das Quecksilber sofort und ohne einen Zwischenraum zu lassen; denn die Atmosphäre drückt auf das Niveau *nn* des Quecksilbers, dieser Druck pflanzt sich durch das Quecksilber bis zur Mündung *a* der Röhre fort und preßt es nun aufwärts, weil dort ein Druck abwärts auf dasselbe nicht mehr vorhanden ist, indem er durch den Stempel gehindert wird einzutreten.

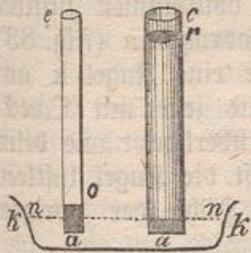
So folgt nun das Quecksilber dem Stempel eine Strecke aufwärts, bis es endlich bei noch weiterem Hinaufziehen des Stempels stehen bleibt, eine nach oben erhabene abgerundete Fläche bildend, so daß zwischen ihm und dem Stempel ein vollkommen leerer Raum *r* (3) entsteht, wenn nicht etwa das Quecksilber oder das Glasrohr etwas Luft in sich enthielten.

Wir sehen also, daß die Atmosphäre eine Quecksilberssäule von nur gewisser Höhe durch ihren Druck zu erzeugen und zu tragen vermag. Diese Säule reicht aber nicht von dem unteren Ende *a* der Röhre bis zu der höchsten Stelle *e*, sondern nur von dem Niveau *n* bis *e* und

beträgt, wenn wir den Versuch an dem Meerespiegel anstellen, so ziemlich 28 pariser Zolle oder $2\frac{1}{3} = \frac{7}{3}$ Fuß; denn das Stück von a bis n wird nicht durch die Atmosphäre getragen, sondern von dem Quecksilber im Gefäße, indem dieselbe Flüssigkeit in verbundenen oder kommunizirenden Behältern in gleicher horizontaler Höhe steht. Würde der Stempel, nachdem er oben angelangt ist, ganz aus der Röhre gezogen, so würde das Quecksilber in dieser sofort bis zum äußeren Niveau herabfallen. (Eigentlich würde es zuerst tiefer fallen, aber nach einigen Schwankungen sich bald ruhig ins Niveau einstellen.)

Die Höhe hängt durchaus nicht von der Weite und Gestalt der Röhre ab. Daß Haarröhrchen nicht genommen werden können, versteht sich von selbst.

Nimmt man statt des Quecksilbers eine andere Flüssigkeit, z. B. Wasser, welches 13,59 mal leichter ist als Quecksilber, so folgt sie dem Stempel zu einer sovielman größeren Höhe, wievielman die neue Flüssigkeit leichter ist, als die frühere; bei Wasser also 13,59 mal $\frac{7}{3}$ Fuß, d. i. 31,71 Fuß. Spiritus würde zu einer noch größeren Höhe aufsteigen, und so werden sich die Höhen verschiedener Flüssigkeiten, wie umgekehrt ihre spezifischen Gewichte verhalten, gerade so wie es für kommunizirende Röhren stattfand. Hätte die Luft überall die Dichtigkeit, wie sie an der Erdoberfläche stattfindet, so würde die Atmosphäre eine Höhe von etwas über 1 Meile haben. Die Dichtigkeit des Quecksilbers übertrifft die der Luft 10614mal, und die des Wassers 773mal.



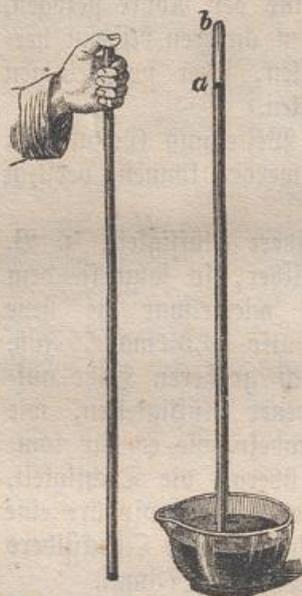
(Fig. 81.)

Diese Betrachtung gilt eigentlich auch schon für den obigen Versuch. Taucht man nämlich zwei gleiche oder ungleich weite offene Röhren (Fig. 81) ae und ac in ein Gefäß mit Quecksilber, so steigt es in beiden so hoch, daß ihr Niveau mit dem äußeren in derselben Ebene nn liegt. Füllt man nun in die eine ae einen Zoll Quecksilber bis o auf, so wird man in die andere 13,59 Zoll Wasser bis r füllen müssen, um das vorige Niveau zu bewahren. Das Quecksilber in den beiden Röhren von n ab abwärts und in dem Gefäße zwischen den Röhren dient nur dazu den Druck der aufgefüllten Flüssigkeiten fortzupflanzen, wie es schon bei den kommunizirenden Gefäßen entwickelt worden ist.

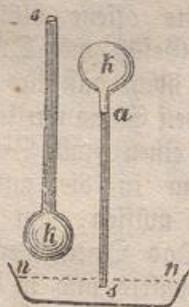
Nun kann man sich statt der durch die Röhre ar abgesperrten Wassersäule eben so gut auf das Quecksilber im ganzen Gefäße Wasser bis zu derselben Höhe r aufgegossen denken, ohne den Stand o des Quecksilbers in der Röhre zu verändern.

Im vorigen Versuche ist die freie atmosphärische Luft auf das Quecksilber im Gefäße ausgegossen gewesen, und sie vermochte es eine Quecksilbersäule von 28 Zollen oder eine Wassersäule von 31,71 Fuß

im kommunizirenden Rohre zu tragen. Daß in diesem Rohre der Luftdruck von oben beseitigt werden mußte, um die Größe des von unten wirkenden Druckes zu bestimmen, ist aus dem Angeführten klar. Es halten also eine Quecksilbersäule von 28 Zollen und die freie Atmosphäre einander das Gleichgewicht.



(Fig. 82.)



(Fig. 83.)

Hat man keinen Stempel zu der Röhre, so kann der obige Versuch auch anders, und zwar so angestellt werden, wie es Torizelli, der Entdecker des Luftdruckes, gethan hat. Man schmilzt die eine Oeffnung der etwa 30 Zoll langen Glasröhre zu, füllt sie mit Quecksilber, hält auf die Mündung den Finger (Fig. 82, 1), kehrt die Röhre um, ohne Luft in dieselbe zu lassen, führt die Mündung unter das Niveau des Quecksilbers in einem Gefäße (2) und nimmt dann erst den Finger weg. Nachdem dies geschehen ist, so fällt das Quecksilber von dem verschlossenen oberen Ende sofort etwa um 2 Zoll bis a, so daß ba luftleer ist und das Quecksilber von a bis zum Niveau im Gefäße wie in dem früheren Versuche etwa 28 Zolle steht. Der obere leere Raum heißt die torizellische Leere.

Es ist klar, daß man diesen Versuch dazu benutzen kann, ein Gefäß vollkommen luftleer zu machen. Ist an das Glasrohr sa (Fig. 83) von etwa 30 Zollen Länge eine Kugel k angeblasen, füllt man sie und jene mit Quecksilber, und verfährt man überhaupt wie beim torizellischen Versuche, so ist die Kugel luftleer geworden, wenn as die Höhe der vorigen Quecksilbersäule ist.

Nachträglich kann man von s aus irgend eine Luftart in die Kugel aufsteigen lassen, um sie besonders zu untersuchen, wenn die Kugel sich abnehmen und absperren läßt.

Wollen wir die Größe des Atmosphärendruckes auf eine Fläche von bestimmter Ausdehnung in Gewichten darstellen, so hat dies keine Schwierigkeiten. Da es gleichgiltig ist, wie weit in den obigen Versuchen die Röhre ist, so wollen wir uns zunächst eine vorstellen, deren horizontaler Querschnitt grade ein Quadratfuß ist. Da ferner die Atmosphäre eine Wassersäule von 31,71 Fuß Höhe trägt, und in diesem Falle in der Röhre 31,71 Kubikfuß Wasser enthalten sind, von denen

jeder 66,1 Pfunde wiegt, so ist das Gewicht der ganzen Wassersäule 31,71 mal 66,1 Pfund, d. i. 2196,031 Pfunde; also:

die Atmosphäre übt auf jeden Quadratfuß einen Druck von mehr als 2000 Pfunden, und auf jeden Quadratzoll einen von fast 15 Pfunden aus.

Das auf der ganzen Erdoberfläche lastende Gewicht der Atmosphäre beträgt mehr als 100,000 Billionen Zentner. Wäre kein Atmosphärendruck vorhanden, so würden die Gewässer völlig verdunsten und die Pole würden nur Eismassen haben.

Wenn wir die Körperoberfläche eines erwachsenen Menschen zu 15 Quadratfuß annehmen, so wird dieser Mensch durch die Atmosphäre mit 15 mal 2196 Pfunden, d. i. mit fast 33,000 Pfunden gedrückt. Daß wir diesen enormen Druck nicht nur nicht übel, sondern unter den gewöhnlichen Umständen gar nicht empfinden, hat seinen Grund darin, daß nicht nur die Höhlungen im Inneren unseres Körpers, sondern auch alle Körperbestandtheile: die Knochen, Muskeln, Nerven, das Blut u. s. w. bis auf die Zellen, Luft von derselben Spannkraft enthalten, wodurch das Gleichgewicht hergestellt wird.

Bermag doch eine dünne Seifenblase von 3 Zoll Durchmesser den auf ihre Außenfläche wirkenden Druck von mehr als 400 Pfunden auszuhalten und zwar nur durch den Gegendruck der geringen Menge der eingeschlossenen Luft. Ebenso klar ist es, daß der Druck der Atmosphäre uns weder seitwärts noch abwärts pressen kann.

Begeben wir uns aber in kurzer Zeit auf hohe Berge oder, was auffallender wirkt, steigen wir mit einem Luftballon schnell in höhere Schichten der Atmosphäre, welche eine dünnere Luft enthalten; so drängt sich die Luft in unserem Körper zur Herstellung des gestörten Gleichgewichtes nach außen und namentlich geht das lufthaltige Blut nach der Oberfläche des Körpers. Daher röthen sich die Augen, man bekommt Ohrenstechen, es entsteht Nasenbluten, ja sogar aus Lippen und Zahnfleisch dringt das Blut, es erfolgt ein Andrang nach dem Gehirn, so daß, wie wir gelegentlich schon bemerkt haben, bei bedeutenden Erhebungen in kurzer Zeit Bewußtlosigkeit die Folge ist. Begibt man sich aber allmählig aus dichter Luft in dünnere, so findet zwischen der Dichtigkeit der in unserem Körper und außerhalb desselben befindlichen Luft eine solche Ausgleichung statt, daß wir eine unangenehme Empfindung nicht haben.

Begibt man sich schnell in dichtere Luft, wie es der Fall ist, wenn man sich in der Taucherglocke unter den Meeresspiegel herabläßt, so findet der umgekehrte Fall statt und es fällt, namentlich anfänglich, schwerer zu sprechen, weil die dabei aus den Lungen kommende Luft einen größeren äußeren Widerstand an der dichteren zu überwinden hat.

Barometer.

Der Druck der Atmosphäre ist weder an verschiedenen Orten zu derselben Zeit, noch an demselben Orte zu verschiedenen Zeiten stets derselbe. Die gewöhnlichsten Beobachtungen zeigen schon, daß die von der Luft getragene Quecksilbersäule am Fuße eines hohen Thurmes länger ist, als die in großer Höhe, daß sich die Länge der Säule bei veränderter Richtung des Windes, bei Veränderung des Feuchtigkeitszustandes der Luft und in anderen Fällen, z. B. bei Erdbeben, bei hereinbrechenden Stürmen mehr oder weniger bedeutend ändert. Man hat daher seit längerer Zeit schon in sehr verschiedener Weise Instrumente hergestellt, welche es gestatten, den Atmosphärendruck jederzeit genau zu bestimmen; sie heißen Barometer, Schweremesser für die Luft.

Wir wollen hier nur drei Arten anführen, nämlich das für gewöhnliche Zwecke dienende Phiolenbarometer (Gefäßbarometer), das zu wissenschaftlichen Zwecken verwendete Heberbarometer, welches mit Benützung eines besonders eingerichteten Maßstabes (Nonius) die Messung der getragenen Quecksilbersäule bis auf Hundertel einer pariser Linie gestattet, und das Aneroidbarometer, was für Reisen, namentlich auf dem Meere geeignet ist.



(Fig. 84.)

1) Das Gefäßbarometer. An eine oben geschlossene (Fig. 84) etwa 32 Zoll lange überall gleich weite Glasröhre von $2\frac{1}{2}$ Linien innerem Durchmesser schließt sich eine nur gegen 2 Zoll lange zweite, die zu einem oben offenen birnförmigen Gefäße ausgeblasen ist; der größte Theil der langen Röhre, die kurze und ein Theil des Gefäßes enthalten Quecksilber, der oberste Theil der langen Röhre ist aber luftleer. Diese Vorrichtung ist an einem Brettchen befestigt, auf welchem ein in Zolle und Unterabtheilungen eingetheilter Maßstab angebracht ist, der seinen Nullpunkt am Niveau des Quecksilbers im Gefäße hat. Es ist für die gewöhnlichen Beobachtungen nicht nothwendig, den Maßstab von unten an in seine Unterabtheilungen zu zerlegen, sondern erst, wie hier in der Zeichnung von 24 Zollen an, weil an der Erdoberfläche selbst das Quecksilber niemals tiefer fällt.

Das Füllen des langen Schenkels geschieht natürlich durch die Mündung des kurzen, indem man das Glasrohr so weit neigt, daß das Quecksilber über die Biegung weg in den langen Schenkel bis ans geschlossene Ende fließt. Hat man so den langen Schenkel gefüllt und bringt man dann das Instrument in die Lage der Zeichnung, so entsteht natürlich die torzelli'sche Leere und das Gefäß wird

zum Theil gefüllt. Es ist aber für die Richtigkeit des Instrumentes unerlässlich, daß der oberste Raum wirklich luftleer ist und bleibt. Dies zu bewirken, hat seine Schwierigkeiten und wird daher bei diesen Instrumenten leider meistens vernachlässigt. Das Quecksilber muß nämlich selbst durch lange anhaltendes Kochen von der in ihm enthaltenen Luft befreit werden, und die an den inneren Röhrenwänden mit großer Hartnäckigkeit anhaftende Luft kann auch nur durch das Kochen des Quecksilbers in ihr fortgeschafft werden.

Man fragt sich, welches ist bei diesem Instrumente die von der Atmosphäre getragene Quecksilbersäule, welche man den Barometerstand nennt? Es ist jedesmal die Säule in dem langen Schenkel, welche von dem hier durch den Strich angedeuteten Niveau des Quecksilbers im Gefäße bis ans Ende dieses Schenkels reicht, weil der Theil unter dem Striche nach dem Gesetze der kommunizirenden Röhren von dem Quecksilber im anderen Schenkel bis zum Niveau getragen wird.

Nur wenn das Niveau des Quecksilbers im Gefäße mit dem Nullpunkte des Maßstabes zusammentrifft, gibt dieses Gefäßbarometer den Barometerstand, also auch den Luftdruck richtig an; für jeden anderen Luftdruck aber um so ungenauer, je enger das Gefäß ist; denn vermindert sich der Luftdruck, so fällt das Quecksilber im langen Schenkel, steigt also im Gefäße, freilich um weniger, aber immer so, daß das jetzige Niveau über dem Nullpunkte des festen Maßstabes liegt. Wenn man also auf dem Maßstabe den neuen kleineren Barometerstand abliest, so ist er immer noch zu groß, weil von ihm noch die Erhebung des Niveaus im Gefäße abgezogen werden müßte.

Steigt dagegen bei wachsendem Luftdrucke das Quecksilber im langen Schenkel, so fällt es, wenn auch weniger, im Gefäße, und das neue Niveau ist unter dem Nullpunkte des Maßstabes, so daß zu dem abgelesenen Barometerstande noch diese Senkung addirt werden müßte, um den richtigen Barometerstand zu bekommen.

Auf diese Weise geben also die gewöhnlich gebräuchlichen Gefäßbarometer niedrige Barometerstände zu hoch und hohe zu niedrig an, wenn ihr Maßstab für einen mittleren Stand eingerichtet worden ist.

2) Von diesen Fehlern frei sind die für meteorologische und andere wissenschaftliche Zwecke eingerichteten Heberbarometer (Fig. 85). Der Unterschied dieses Barometers von dem vorigen besteht zunächst darin, daß der kürzere Schenkel kein Gefäß trägt, sondern um einige Zolle verlängert und genau gleich weit mit dem längeren ist, so daß das Quecksilber, wenn es im



(Fig. 85.) langen Schenkel steigt oder fällt, in diesem um gleichviel be-

ziehungsweise fällt oder steigt. Weil nun die Barometerhöhe stets von dem Niveau des Quecksilbers im kürzeren Schenkel als Nullpunkt zu rechnen ist, so muß die Einrichtung so getroffen sein, daß der Nullpunkt des Maßstabes immer mit diesem Niveau zusammen gelegt werden kann. Demnach kann man, wie hier in der Zeichnung, durch eine an dem unteren Theile des Glasrohres angreifende Schraube dieses mit dem Niveau des kürzeren Schenkels auf den Nullpunkt einstellen, oder, was noch zweckmäßiger ist, den Maßstab durch eine Schraube mit seinem Nullpunkte auf das Niveau bringen.



Da das Quecksilber sich im Glase nach oben halbkugelförmig abrundet oder eine konvexe Fläche bildet, so geschieht das genaue Einstellen unten in den Nullpunkt, so wie das Einstellen oben für das Ablesen am besten dadurch, daß man einen horizontal frei oder in einem Mikroskope ausgespannten schwarzen Faden als Berührungslinie der Quecksilbertuppe zu (Fig. 86.) erhalten sucht, wie es Fig. 86 angibt.

Feinere Instrumente schützt man vor dem Zerbrechen dadurch, daß man die Glasröhre fast vollständig in einer Holzumfassung verbirgt und von ihr nur die Theile oben und unten sichtbar werden läßt, in denen für gewöhnlich die Schwankungen des Quecksilbers stattfinden.

Um die Stellen des Glases, an denen im kürzeren Schenkel das Quecksilber mit der Luft in Berührung kommt, immer rein zu erhalten, was für das genaue Einstellen in den Nullpunkt wichtig ist, gibt man dem Instrumente in den Zwischenzeiten seines Gebrauches eine schräge Lage, so daß der leere Raum auch erfüllt wird. Wenn man nach dem Herablassen desselben beobachten will, so muß man darauf sehen, daß es genau im Lothe hängt, und daß das Quecksilber an der Röhre nicht haftet, was durch einige mäßige Schläge mit dem Finger an das Instrument vermieden wird.

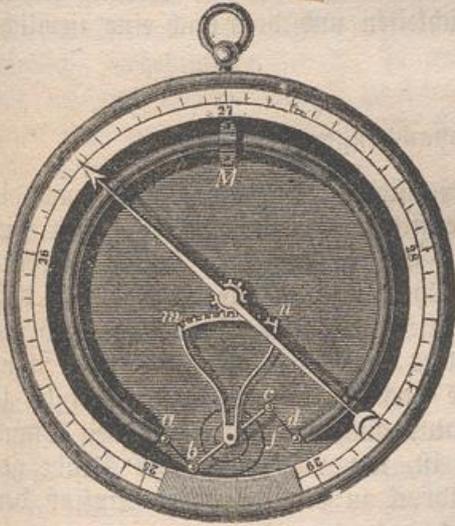
Da das Quecksilber, wie jede andere Flüssigkeit, etwas Luft anzieht, so ist es nothwendig, das Barometer, wenn auch immer nur nach mehreren Jahren, auszulochen. Wenn beim Neigen des längeren Schenkels das Quecksilber nur einen matten oder gedämpften Schlag an den Verschuß gibt, so ist dies ein Zeichen, daß der obere Raum nicht absolut luftleer ist, und man wird in diesem Falle sogar oft ein Luftbläschen über dem Quecksilber erkennen. Solche Barometer sind untauglich, weil sie stets einen zu niedrigen Stand angeben, indem die abgesperrte Luft das Quecksilber etwas herabdrückt.

Damit der Verschuß beim Anschlagen des Quecksilbers nicht zerstoßen werde, läßt man die Röhre gegen das obere Ende sich etwas verengen und dann wieder erweitern, wodurch der Stoß geschwächt wird.

Will man das Instrument auf Reisen verwenden, so gibt man dem kürzeren Schenkel einen besonderen Verschuß, indem man einen kegelförmigen Kork, durch welchen ein Haarröhrchen geht, bis auf das Queck-

silber schiebt, nachdem dieses durch Neigen die torizellische Leere ausgefüllt hat. Trägt man ein Barometer auf kurze Strecken, so muß man es stets so schräg halten, daß die torizellische Leere ausgefüllt bleibt, weil sonst das Quecksilber durch die Schwankungen aus dem kürzeren Schenkel fließen würde.

3) Auf Seereisen lassen sich Quecksilberbarometer zu genauen Beobachtungen nicht anwenden, weil die nie ausbleibenden Schwankungen der Schiffe ein genaues Einstellen unmöglich machen, überdies aber sind sie Verletzungen und dem Verluste eines Theiles des Quecksilbers allzu leicht ausgesetzt. Auf dem Meere kommt es weniger auf eine zusammenhängende Reihe von feinen Beobachtungen an, als vielmehr auf die Beantwortung der Frage, ob der Luftdruck zu- oder abnimmt, und in welchem Maße dieses ungefähr geschieht.



(Fig. 87.)

Für solche Zwecke, so wie für Luftfahrten und Fußreisen, sind die Aneroidbarometer geeignet. Fig. 87 gibt das Bourdonsche Metallbarometer an.

Innerhalb einer kreisförmigen Metallkapsel befindet sich eine luftleere, flachgedrückte, also bandförmige Röhre von dünnem Messingbleche, welche fast einen vollständigen Kreis bildet. Sie ist nur in ihrer Mitte bei M an den Rand der dosenförmigen Kapsel befestigt, so daß sie übrigens ganz frei beweglich schwebt, indem die größere äußere Fläche der Kapselwand, die kleinere innere dem Mittelpunkte zugewendet ist, und die schmalen Ranten der Röhre nach dem Boden und der Decke der Kapsel liegen. An den freien Enden a und e befinden sich zwei Drähte ab und dc, welche an den Enden eines Stäbchens bc angreifen, welches in seiner Mitte einen gezahnten Kreisbogen nm festhält; die Zähne dieses Bogens greifen in die Zähne eines kleinen Getriebes, dessen Axe den großen auf der Außenfläche befindlichen Zeiger trägt. Außerdem ist in der Mitte des Stäbchens bc eine dünne Spirale befestigt, deren Ende mit ab verbunden ist.

Da die innere Fläche der Röhre kleiner ist, als die äußere, so ist unter allen Umständen der Druck der Atmosphäre auf jene geringer, als auf diese. Nimmt nun dieser Druck zu, so nimmt er für die größere Fläche mehr zu, als für die kleinere, und die Röhre wird sich mehr krümmen müssen, der gezahnte Bogen bewegt sich von n nach m hin und die Spitze des Zeigers von links nach rechts. Nimmt der Atmo-

sphärendruck ab, so nimmt er für die äußere Fläche der Röhre mehr ab, als für die innere, und sie muß flacher werden, die Enden a und d müssen auseinander und der Zeiger muß zurückgehen, welche Bewegungen durch den Zug der Spirale unterstützt, aber nicht bewirkt werden dürfen.

Wenn man nun die gleichzeitig stattfindenden Barometerstände eines guten Heberbarometers auf den Umfang der Kapsel an die Stellen, welche der Zeiger jedesmal einnimmt, aufzeichnet, so leistet dieses Instrument wenigstens so viel, daß man Unterschiede des Luftdruckes von $\frac{1}{4}$ Linie Barometerstand noch wahrnehmen kann.

Zu leugnen ist zwar nicht, daß das Aneroidbarometer nach und nach etwas unempfindlicher wird, und daß man den Einfluß des Temperaturwechsels nicht in einer solchen Weise durch Rechnung beseitigen kann, wie wir es bei den Quecksilberbarometern später werden kennen lernen; es bietet aber viele Bequemlichkeiten und doch auch eine ziemliche Genauigkeit auf lange Zeit dar.

Barometerbeobachtungen.

Wir wissen bereits, daß die Expansivkraft der Luft, also auch die Kraft, mit welcher sie auf das Quecksilber des Barometers drückt, in einer Stube eben so groß sein muß, wie in derselben Horizontalebene außerhalb. Es zeigen ferner die gewöhnlichsten Erfahrungen schon, daß die Wärme, die Luft und die Metalle, hier das Quecksilber und die Skale oder den Maßstab des Barometers ausdehnen. Daraus folgt nun, daß bei demselben äußeren Luftdrucke das Barometer in der Stube je nach der Verschiedenheit der Temperatur auch einen verschiedenen Stand haben wird, daß man also genöthigt ist, um aus der in der Stube gemachten Beobachtung den wahren Luftdruck zu ermitteln, den Einfluß der Temperatur zu beseitigen.

Um nun vergleichende Beobachtungen für verschiedene Zeiten und denselben Ort oder für verschiedene Orte und dieselbe Zeit oder verschiedene Zeiten und Orte anstellen zu können, muß man alle Beobachtungen durch Rechnung so abändern, daß sie für dieselbe Temperatur, als welche man Null Grad angenommen hat, gelten.

Durch äußerst genaue Beobachtungen weiß man, daß sich das Quecksilber für jeden Wärmegrad nach Celsius um 0,00018, und Messing um 0,0000189 seiner Länge ausdehnt, und hat nun Tabellen entworfen, durch welche der beobachtete Barometerstand auf 0 Grad zurückgeführt wird. Bei Vernachlässigung des Einflusses einer höheren Temperatur des Quecksilbers wäre der Barometerstand zu hoch, und bei Nichtberücksichtigung dieses Einflusses auf die Metallskale zu niedrig angegeben worden.

Wenn an einem bestimmten Orte zu einer bestimmten Zeit der Luftdruck, also auch der Barometerstand ein gewisser ist, so wird er ein

kleinerer, wenn man sich senkrecht über oder nahe neben ihm erhebt. Blicke bei diesen Erhebungen die Temperatur der Luft überall dieselbe, so würde es keine großen Umstände machen, aus dem Fallen des Barometerstandes die Größe der Erhebung zu ermitteln, indem bei 0 Grad an der Erdoberfläche das Quecksilber um 1 Linie fällt, wenn man sich um 73 Fuß erhoben hat und bei weiteren Erhebungen um je 73 Fuß der Barometerstand gesetzmäßig immer um weniger abnehmen muß. Da aber die Luft nach oben kälter, also dichter wird, so drückt sie mehr, als es in derselben Höhe der Fall sein würde, wenn der Temperatur dieselbe wärmere geblieben wäre; also würde man die Erhebung nach dem beobachteten zu großen Barometerstande zu klein beurtheilen. Kommt man bei der Erhebung in der Atmosphäre in eine warme Luftströmung mit lockerer Luft, welche weniger drückt; so ist der Barometerstand niedriger, als er der betreffenden Erhebung zukommt, wenn die Temperatur dieselbe geblieben wäre, also beurtheilt man die Erhebung mit Beibehaltung der höheren Temperatur allzu groß. Will man in diesen Fällen also die wirkliche Erhebung ermitteln, so muß der Einfluß des Temperaturwechsels beseitigt werden, wobei zu berücksichtigen ist, daß eine Luftsäule für jeden Zentesimalgrad zunehmender Wärme sich um 0,003665 ihrer Länge ausdehnt.

Da das Barometer für die Beurtheilung von Witterungsverhältnissen entschieden ein höchst wichtiges Instrument ist, und da es hierbei nicht auf einzelne Beobachtungen, sondern auf große Reihen derselben ankommt, so wollen wir die dabei vorkommenden allgemeinen Verhältnisse anführen.

Wollte man den mittleren Barometerstand für einen Tag recht genau haben, so müßte man das Instrument in gleichen Zwischenzeiten recht oft, etwa stündlich, beobachten, die sämtlichen Beobachtungen addiren und die erhaltene Summe durch die Anzahl dividiren. Da dies aber schwer ausführbar ist, so hat man drei Zeiten des Tages zu ermitteln gesucht, von denen das Mittel der angestellten Beobachtungen fast genau mit dem vorigen zusammen fällt, und diese Zeiten sind 6 Uhr früh, 2 Uhr Mittags und 10 Uhr Abends. 7 Uhr früh ist weniger gut, als 6 Uhr.

Wenn man diese täglichen Mittel von fünf Tagen addirt und die Summe durch fünf dividirt, so bekommt man die fünfjährigen Mittel, und in gleicher Weise kann man die monatlichen und die Jahresmittel für einen bestimmten Ort aus den Beobachtungen berechnen.

Hat man diese Beobachtungen und Rechnungen, bei welchen stets die für 0 Grad Temperatur berechneten Zahlen zum Grunde gelegt werden, für eine recht große Anzahl von Jahren angestellt, so hat man Resultate erreicht, aus denen sich das Gesetzmäßige des Atmosphärendruckes ermitteln läßt. Obwohl erst in den letzten Jahrzehnten mit ganz guten Instrumenten an sehr vielen Orten der Erdoberfläche, na-

mentlich in Europa, besonders in Deutschland, und vorzugsweise in Preußen, genaue Beobachtungen angestellt worden sind, so lassen sich doch bereits einige allgemeine Resultate angeben, wovon wir das Wichtigste anführen.

Es gibt regelmäßige Schwankungen, die sich nach Tages- und Jahreszeiten richten, und unregelmäßige. Jene werden durch diese, besonders in den gemäßigten Zonen, sehr verdeckt und können nur durch größere Beobachtungsreihen erkannt werden.

Bei diesen Betrachtungen ist es wichtig, den Barometerstand, wie er hervorgebracht wird durch den Druck der Luft und den in ihr enthaltenen Wasserdunst zu unterscheiden von dem Drucke der bloßen trockenen Luft, welchen man natürlich dadurch erhält, daß man von dem beobachteten Barometerstande den durch die in der Luft zu dieser Zeit gerade vorhandenen Dämpfe bewirkten abzieht. Der Dampfdruck muß natürlich besonders ermittelt werden, wozu wir in der Lehre von der Wärme die nöthigen Instrumente und Anleitungen geben werden. Zunächst betrachten wir den Gesamtdruck.

In Europa ist der Gang des Barometers so ziemlich folgender: zwischen 9 und um 10 Uhr vormittags und 10 Uhr abends steht es am höchsten, zwischen 3 und 4 Uhr nachmittags und um 4 Uhr früh steht es am tiefsten. Im Sommer rücken die Zeiten für den dem Mittage vorangehenden höchsten und nachfolgenden tiefsten Stand etwas von dem Mittage fort.

In den Tropen ist der Wechsel des Luftdruckes am regelmäßigsten, und es beträgt der Unterschied zwischen dem höchsten und tiefsten Stande 1,3 Linien; in den gemäßigten Zonen weniger (in Wien 0,4, in Paris 0,3); in den Polarregionen wird er nach und nach unmerklich. In höheren Regionen der Atmosphäre verschwinden diese Schwankungen auch nach und nach; auf dem Rigi z. B. betragen sie nur noch 0,1 Linie. Manche Inseln, wo ein fortwährender Ueberfluß an Wasserdampf ist, und manche Binnenländer, wo der Wasserdampf sehr fehlt, haben täglich nur einmal einen höchsten und tiefsten Stand.

In Betreff der jährlichen Schwankungen ist für unsere gemäßigte Zone zu bemerken, daß im Allgemeinen in den kältesten Zeiten des Jahres der stärkste Luftdruck stattfindet und in der warmen sich der niedrigste zeigt; doch sind auch hier zwei höchste Barometerstände, nämlich im Januar und August, und zwei tiefste, im April und Oktober, bemerklich, wobei der Unterschied zwischen dem mittleren höchsten und tiefsten Stande nur etwa $1\frac{1}{2}$ Linie beträgt.

Die unregelmäßigen Schwankungen bewegen sich in den Tropen nur innerhalb enger Gränzen und haben mit zunehmender geographischer Breite einen wachsenden Spielraum, so daß für das mittlere Deutschland zwischen den überhaupt vorkommenden höchsten und tiefsten Barometerständen ein Unterschied von fast $2\frac{1}{2}$ Zoll liegt. Durchschnittlich

ist der Unterschied bei 15 Grad nördlicher Breite 2 Linien, bei 25 Gr. Br. 4 Linien, bei 40 Gr. 8 Linien, bei 70 Gr. sogar 18 Linien.

Will man die Ursachen für die Aenderungen des Barometerstandes erforschen, so muß man Zweierlei berücksichtigen, nämlich daß durch die Zunahme der Wärme 1) die Dichtigkeit der Luft, also auch ihr Druck vermindert, 2) aber die Verdunstung des Wassers an der Erdoberfläche befördert und somit der Druck der Dünste vergrößert wird.

Es kommt bei dieser Verminderung und Vermehrung nicht blos auf die Tages- und Jahreszeiten und die geographische Breite eines Ortes an, sondern auch auf seine sonstige Lage und Umgebung. Inseln haben in der heißen Jahreszeit einen großen Dunstdruck aufzuweisen, wasserarme Binnenländer einen geringen, dort muß also der Gesamtdruck auf das Barometer größer sein als hier. Die große Auflockerung der Luft über dem Innern Asiens bringt dort einen niedrigen Barometerstand hervor, während er an den Orten, wohin die emporsteigende Luft abfließt, höher werden muß.

Die Abnahme des Dunstdruckes mit Zunahme der geographischen Breite wird durch folgende Tabelle deutlich:

Bei einer nördlichen Breite von 0 Gr. beträgt der Dunstdruck 8,0 Linien.									
=	=	=	=	=	10	=	=	=	7,8
=	=	=	=	=	20	=	=	=	7,6
=	=	=	=	=	30	=	=	=	6,5
=	=	=	=	=	40	=	=	=	5,6
=	=	=	=	=	50	=	=	=	4,0
=	=	=	=	=	60	=	=	=	2,0
=	=	=	=	=	70	=	=	=	0,5

Während in den Tropengegenden der Dunstdruck am größten ist, muß der Druck der dunstfreien oder trockenen Luft am geringsten sein; in den Polargegenden ist es umgekehrt. Daraus ergibt sich, daß weder dort noch hier der Gesamtdruck am größten sein wird, sondern daß dies etwa bei 30 Grad Breite, in der sogenannten subtropischen Zone, der Fall ist. Ferner folgt, daß in unseren Breiten der zweite höchste Jahresstand des Barometers im August nur durch den überwiegenden Dunstdruck hervorgebracht ist, so daß wir ohne Dunstdruck nur einmal einen höchsten, also auch nur einmal einen tiefsten Barometerstand hätten, wie es in wasserarmen, natürlich aber auch in sehr wasserreichen Gegenden wirklich der Fall ist, weil in diesem Falle der Einfluß des Wasserdampfes ein während des ganzen Jahres sich ziemlich gleich bleibender ist.

Wie bei ruhiger Luft die regelmäßigen täglichen Schwankungen entstehen, läßt sich leicht nachweisen. Der erste höchste Stand wird dadurch hervorgebracht, daß in den unteren Schichten der Atmosphäre noch kältere Luft vorhanden ist, während in den oberen durch den Einfluß der Sonnenwärme die nebligen Dünste in Dampf verwandelt werden; bei

steigender Temperatur an der Erdoberfläche wird die ganze Luft darüber leichter, und da um 2 Uhr nachmittags die größte Wärme stattfindet, so ist um 3 Uhr, nachdem die aufgestiegene warme Luft theilweise seitwärts abgefließen ist, der erste tieffte zu bemerken. Da sich aber durch die Wärme an der Erdoberfläche das Wasser mehr und mehr in Dämpfe auflöst, so muß das Quecksilber wieder steigen und erlangt erst abends 10 Uhr, nachdem sich in den tiefsten Schichten der Dampf niederschlagen und die Luft abgekühlt hat, das zweite Mal einen höchsten Stand, um dann in der Nacht bei fortwährender Niederschlagung der Dämpfe, ohne daß die Luft sich noch bedeutend abkühlt, das zweite Mal einen tiefsten Stand zu erlangen.

Die unregelmäßigen Schwankungen werden vorzüglich durch die Winde erzeugt, die nach ihren Richtungen kalte oder warme Luft zuführen und entweder das Wasser in Dampf auflösen, oder die Dämpfe in Wasser verwandeln.

Kommt bei uns ein Südwind, so bringt er vom Aequator her wärmere, dünnere, leichtere, aber mit mehr Dampf versehene Luft. Trifft nun diese Luft auf kältere, so entstehen aus den vorher unsichtbaren Wasserdämpfen Wolken und Regen und das Barometer sinkt; weht aber dieser warme Südwind längere Zeit über uns hinweg, so nimmt er noch mehr Wasser in Dunstgestalt auf, und das Barometer steigt. Wenn dagegen ein kalter, dichter und schwererer Polarstrom mit weniger Dampf ankommt, so wird er zwar die vorhandenen Dünste der wärmeren Luft, auf die er trifft, auch in Wasser verwandeln, was ein Fallen des Barometers bewirkt; wenn er aber andauert, so muß es steigen, und zwar mehr, als bei einem andauernden Südwinde.

Wir können also im Allgemeinen sagen, bei südlichen Winden fällt und bei nördlichen steigt das Barometer; bei Regen fällt es, bei heiterem Wetter, wenn die Luft mit unsichtbarem Dampf erfüllt ist, steigt es oder steht hoch.

Diese Betrachtungen sind es, welche dem Barometer den Namen Wetterglas gegeben haben, als ob man unter allen Umständen durch dasselbe das Wetter in voraus angeben könne, was durchaus nicht der Fall ist. Das Barometer für sich allein zeigt nichts weiter an, als den Druck der Luft und der in ihr in sehr verschiedener Menge enthaltenen Wasserdämpfe. Zur Beurtheilung des Wetters gehört noch die Untersuchung des Dunstdruckes, dessen Größe von der Menge und Temperatur der vorhandenen Wasserdämpfe abhängt, die Beobachtung des Windes nach Richtung, Wechsel und Dauer, und die Berücksichtigung der geographischen Lage des Beobachtungsortes.

Denken wir uns z. B., daß an einem Orte die Luft so viel Wasser in Dunstgestalt enthielte, als sie nur immer bei der betreffenden Temperatur zu tragen vermag, so kann heiteres oder trübes Wetter folgen, jenachdem ein warmer oder kalter Wind einbricht, weil jener

die Dünste noch mehr auflösen, dieser aber verdichten wird, so daß nur im letzten Falle Nebel oder Niederschläge entstehen.

Ferner wird es nicht gleichgiltig sein, durch welche Drehung ein Wind aus einer gewissen Richtung, z. B. ein Nordwind, entstanden ist, ob er nämlich vorher ein Nordwest oder Nordost war; für Deutschland wird nämlich jener Feuchtigkeit, dieser Trockenheit bringen, denn jener kam vorzüglich über Meere, dieser über Länder.

Endlich ist die geographische Lage bestimmend für den Wassergehalt der Winde aus gewissen Richtungen. Die Westwinde z. B. sind für das westliche Europa feucht, weil sie die Dünste des atlantischen Ozeans mit sich führen, aber für die Ostküste Nordamerikas sind sie trocken, weil sie das vom stillen Ozean aufgenommene Wasser größtentheils an der von der Norden nach Süden im Westen des Kontinents sich hinziehenden Gebirgswand abgesetzt haben.

Wir sehen also, daß es weggeworfenes Geld ist, wenn man sich ein Wetterglas mit den bekannten feststehenden Bezeichnungen, wie sie auf den häufig ausgedienten und dabei meist sonst noch schlechten Instrumenten enthalten sind, anschafft, um an ihm allein einen sicheren Anhaltspunkt fürs künftige Wetter zu haben. Bei anhaltend heiterem Wetter steht das Barometer hoch und bei anhaltend schlechtem tief; diese Thatfachen sind aber nur Folgen und keine Ursachen. Aber eines ist doch unzweifelhaft, nämlich schnelles und bedeutendes Fallen des Barometers kündigt einen hereinbrechenden Sturm, seltener nur ein bedeutendes Gewitter an. Der Grund davon liegt wohl darin, daß das nach unten wirkende Gewicht der Luft durch die horizontal wirkende Kraft des Windes vermindert wird, wie wir es früher bei einem schnell fahrenden Schlittschuhläufer oder Eisenbahnzuge erwähnten.

Durch eine sehr große Reihe von Beobachtungen auf der meteorologischen Station Posen veranlaßt, machte ich bereits vor einer Reihe von Jahren in den öffentlichen Blättern darauf aufmerksam, daß man diese Barometerbeobachtung benutzen solle, um auf telegraphischem Wege die Schiffer in den verschiedenen Häfen des benachbarten Meeres von dem Auslaufen abzuhalten oder andere durch Signale zurückzurufen. In der That sind an der englischen und zum Theil an der französischen Küste eine Menge von Stationen für solche Warnungssignale angelegt, durch welche schon so manches Schiff vor dem Untergange gerettet worden ist.

Es bleibt der Zukunft vorbehalten, aus den bereits angestellten, ungemain zahlreichen und den noch lange Zeit hindurch anzustellenden Beobachtungen ein noch gründlicheres System der Meteorologie aufzubauen, durch welches wir nicht bloß das Geschehene zu erklären im Stande sind, sondern auch, wenn auch nur die nächsten Ereignisse vorherzubestimmen vermögen.

Barometrische Höhenmessung und Mariottes Gesetz.

Sehr wesentliche und wenig unsichere Dienste leistet uns das Barometer in der Geographie, nämlich zu den Höhenmessungen.

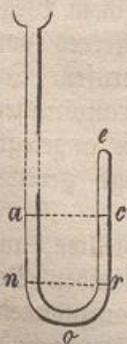
Wenn wir auch Bedenken tragen müssen, in diesem Werke eine Anleitung zu dem Verfahren für Höhenmessungen zu begründen, so müssen wir der Wichtigkeit der Sache wegen doch Einiges anführen und schließlich eine Formel angeben, nach welcher diejenigen Leser, welche im Stande sind, mit Logarithmen zu rechnen, Höhenbestimmungen vornehmen zu können.

Selbst wenn man auch nur in einem höheren Gebäude mit einem Barometer von dem untersten nach dem obersten Stockwerke geht, findet man, daß das Quecksilber fällt. Dieses Fallen beträgt, wenn man vom Meerespiegel an 73 Fuß oder fast 4 Meter aufwärts steigt, 1 pariser Linie; steigt man nun weitere 73 Fuß aufwärts, so kann das Quecksilber nicht wieder um 1 Linie fallen, sondern um weniger, weil die Luft nach oben zu weniger dicht ist, oder, wenn man es wieder um 1 Linie wollte fallen sehen, so müßte man höher, als 73 Fuß steigen.

Dieses Fallen des Barometerstandes steht aber mit dem Steigen in der Atmosphäre nicht in einem willkürlichen, sondern in einem gesetzmäßigen Zusammenhange, denn die Dichtigkeit der Luft steht bei einer bestimmten Temperatur im graden Verhältnisse zu dem Drucke, welchem sie ausgesetzt ist, und welchen sie auch wieder ausübt, denn mit der Dichtigkeit wächst ihre Expansivkraft im graden Verhältnisse und das Volumen im umgekehrten.

Es hat keine Schwierigkeit dieses auch für die zukünftigen Betrachtungen, namentlich bei der Beurtheilung der Wirkungen des Dampfes höchst wichtige, nach Mariotte benannte Gesetz durch die Erfahrung zu bestätigen.

Man nimmt eine überall genau gleichweite zweischenk-
lige Glasröhre (Fig. 88), von welcher das Ende des lan-
gen Schenkels offen und trichterförmig, der kürzere e ge-
schlossen ist. Gießt man bei lothrechtlicher Stellung der Dop-
pelröhre etwas Quecksilber ein, so wird es die Luft im kür-
zeren Schenkel zwar zusammendrücken und wegen des da-
durch hervorgebrachten größeren Widerstandes nicht so hoch
stehen, als im längeren Schenkel; aber man kann es durch
Herauslassen einiger Luftblasen, indem man das Instrument
neigt, leicht dahin bringen, daß das Quecksilber in beiden
Schenkeln bei lothrechtlicher Stellung des Instrumentes genau
in derselben Horizontalebene sein Niveau hat, z. B. in n
und r. Ist dies erreicht, so drückt die im kürzeren Schen-
kel abgesperrte Luft auf das Quecksilber desselben ebenso
stark, als die freie Atmosphäre auf das Quecksilber des offenen Schen-



(Fig. 88.)

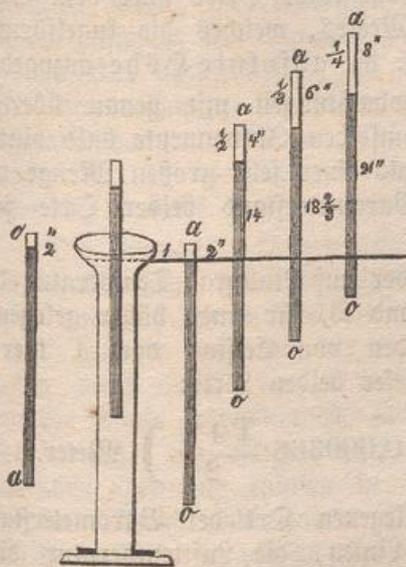
fels und die abgesperrte Luft ist dem Drucke einer Atmosphäre ausgesetzt.

Füllt man nun bei unveränderter Lage des Instrumentes auf n so viel Quecksilber, daß durch seinen Druck die Luft im kürzeren Schenkel, welche zuerst den Raum re einnahm, auf die Hälfte ihres Volumens beschränkt ist, nämlich auf ce , wenn $ce = \frac{1}{2} re$ ist; so zeigt es sich, daß die Länge der Quecksilbersäule, welche von dem Niveau des c oder von a aus bis ans Ende reicht, dem grade stattfindenden Barometerstande gleich ist, daß also auf a ein doppelter Atmosphärendruck lastet, welcher bis c ungeschwächt fortgepflanzt wird, daß also auch die auf die Hälfte ihres früheren Volumens zusammengedrückte Luft dem doppelten Atmosphärendrucke das Gleichgewicht hält.

In gleicher Weise würde der dreifache Atmosphärendruck die Luft auf den dritten Theil ihres Raumes beschränken u. s. w. Das Gesetz hat sich bei einem Drucke, welcher das Hundertfache eines Atmosphärendruckes angibt, noch als richtig gezeigt.

Von anderen Luftarten werden manche durch Vermehrung des Druckes tropfbar und dann nimmt ihre Expansivkraft an der Gränze dieser Verwandlung ab.

Daß das obige Gesetz nicht bloß für einen größeren, sondern auch für einen kleineren Druck gilt, als für den einer Atmosphäre, läßt sich auf folgende Weise zeigen.



(Fig. 89.)

Eine überall gleich weite Glasröhre oa , von etwa 36 Zollen Länge (Fig. 89), wird bis auf etwa 2 Zolle mit Quecksilber gefüllt, die Mündung o verschlossen, unter das Quecksilberniveau eines hinreichend langen Zylinderglases gebracht und dann der Verschluss aufgehoben.

Es ist natürlich, daß beim Umkehren der Röhre die 2 Zoll Luft aufwärts an den Verschluss steigen und dort auch 2 Zoll von der Röhrenlänge einnehmen, ferner daß beim Deffnen der Röhre dicht unter dem Niveau das Quecksilber in ihr mehr fällt und nicht eine so hohe Säule bildet, als beim Versuche von Torizelli, weil über dem Quecksilber Luft ist, welche einen Theil des Atmosphärendruckes aufhebt, und zwar um so weniger,

je länger die Röhre ist, je mehr also die 2 Zoll Luft sich ausbreiten können.

Drückt man die Röhre in den Zylinder hinab, so verengt sich der Raum für die abgesperrte Luft mehr und mehr, ihre Druckkraft auf das Quecksilber wächst, bis sie endlich der von der äußeren Luft gleich ist, wenn das Quecksilber in der Röhre mit seiner Kuppe im Niveau des Quecksilbers im Zylinder steht. Die Luft nimmt dann in der Röhre wieder 2 Zolle ein, wie es nebenbei angedeutet ist.

Zieht man die Röhre dann aufwärts, so vergrößert sich sowohl die Länge der Luft-, als auch die der Quecksilbersäule, aber in einer ganz gesetzmäßigen Weise: nimmt nämlich die Luft einen 2, 3, 4 . . . mal größeren Raum ein (4, 6, 8 . . . Zolle), so gehören dazu Quecksilbersäulen, die von dem zu dieser Zeit stattfindenden Barometerstande (z. B. von 28 Zollen) $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$. . . sind, also 14", 18 $\frac{2}{3}$ " 21" . . . , so daß zu dem vollen Barometerstande $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$. . . fehlen und die abgesperrte Luft nur noch $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$. . . von dem ganzen Atmosphärendrucke erleidet, wobei ihre Dichtigkeit auch nur $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$. . . von der früheren ist.

Diese Betrachtungen gelten in aller Strenge natürlich nur dann, wenn die Temperatur der Luft und des Quecksilbers unverändert bleibt, aber führen mit ihrer Berücksichtigung dazu aus der Größe der gleichzeitig oder wenigstens in einer ganz kurzen Zwischenzeit beobachteten Barometerstände zweier ungleich hohen Orte den Höhenunterschied, d. i. die relative Höhe oder auch die Höhe eines Ortes über dem Spiegel des unter diesem Orte gedachten Meeres, welches die kugelförmige Gestalt der Erde verlangen würde, d. i. die absolute Höhe anzugeben.

Kann man nicht gleichzeitige Beobachtungen mit genau übereinstimmenden Instrumenten oder mit demselben Instrumente bald hintereinander anstellen, so muß man den aus einer sehr großen Menge von Beobachtungen erhaltenen mittleren Barometerstand beider Orte zum Grunde legen.

Wenn für einen bestimmten Ort der auf Nullgrad Temperatur des Quecksilbers zurückgeführte Barometerstand B, für einen höher gelegenen Ort b, die Lufttemperatur nach Graden von Celsius dort T hier t heißt, so ist der Höhenunterschied x dieser beiden Orte:

$$18398 (\log B - \log b) \left(1 + 0,000366 \frac{T+t}{2} \right) \text{ Meter.}$$

Wäre z. B. für den niedrig gelegenen Ort der Barometerstand 334,5 Linien, für den höheren 302,6 Linien, die Lufttemperatur dort 16° C., hier 7° C.; so wäre der besondere Ausdruck:

$$18398 (\log 334,5 - \log 302,6) \left(1 + 0,000366 \cdot \frac{16+7}{2} \right)$$

Ausrechnung:

$$\frac{16+7}{2} = \frac{23}{2} \text{ ist } 11,5, \text{ multipliziert mit } 0,000366, \text{ gibt}$$

$$\text{als Produkt } 0,0042090, \text{ dazu}$$

$$\text{addirt } 1, \text{ , gibt}$$

$$\frac{1,0042090}{1,0042090}$$

$$\log 334,5 \text{ ist } 2,5243961$$

$$\log 320,6 \text{ ist } 2,5059635$$

$$\text{Ihr Unterschied } 0,0184326$$

Also der obige Ausdruck ist jetzt:

$$18398 \cdot 0,0184326 \cdot 1,0042090.$$

Durch Ausführung der beiden Multiplikationen erhält man:

340,82 Meter als Höhenunterschied der beiden Orte.

Bei einer Erhebung von 8 Meilen würde der Barometerstand nur noch 1 Millimeter betragen und die Dichtigkeit der Luft so gering sein, wie man sie nur durch die besten Luftpumpen erreichen kann; bei 13000 Fuß Höhe ist die Dichtigkeit etwa $\frac{1}{2}$ von der an der Oberfläche des Meeres. — Bei 760 Millimeter Barometerstand und 0° Temperatur wiegt ein rheinländischer Kubikfuß trockene Luft 39,98 Gramme oder 656,47 preussische Gran.

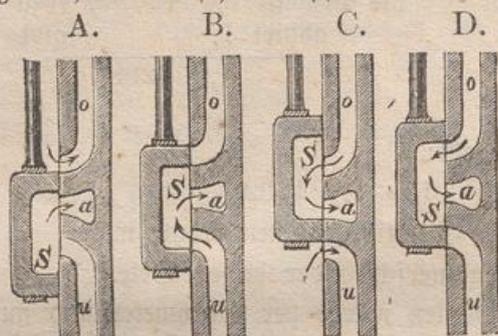
Von den Ventilen und Hähnen.

Da wir in den folgenden Betrachtungen öfterer werden Veranlassungen haben, Vorrichtungen anzuwenden, um zwei, drei oder vier Räume entweder mit einander zu verbinden oder sie ganz oder theilweise von einander abzuschließen, so wollen wir, um späterer Einschaltungen und Unterbrechungen überhoben zu sein, hier das Wesentlichste davon im Zusammenhange anführen. Bei manchen dieser Vorrichtungen ist es gleichgiltig, ob die Räume tropfbare Flüssigkeiten, Gase oder Dämpfe enthalten; manche dagegen sind nur für besondere Zwecke geeignet.

Die Ventile können bei Luftpumpen zunächst Blasenventile sein, welche sehr dauerhaft sind. Man nimmt ein recht gleichmäßig dickes und mit keinem Fett überzogenes Stück einer Schweinsblase und bindet dasselbe naß auf die recht eben, aber matt geschliffene Metallplatte, durch welche die zu verschließende kleine Oeffnung geht. Nachdem die Blase getrocknet ist, schließt sie sehr genau und unterbricht die Verbindung. In einiger Entfernung von der in der Metallplatte befindlichen Oeffnung müssen in die Blase einige kleine Löcher gestochen werden. Durch unbedeutende Hebungen und Senkungen der Blase wird die Verbindung hergestellt oder unterbrochen.

Die Scheibventile sind entweder Klappen, welche sich nach einer Seite hin öffnen lassen, oder Schieber, welche hin und her geschoben werden können, und heißen im letzten Falle auch Schieberventile.

Die Klappenventile bestehen wie bei den Straßenpumpen entweder aus Sohlenleder, welches einseitig befestigt, dabei beweglich angebracht und beschwert ist, oder aus Metallplatten.



(Fig. 90.)

Die Schieberventile sind je nach den Zwecken sehr verschieden geformt. Wir wollen eines anführen, wie es bei Dampfmaschinen brauchbar ist. In Fig. 90 führe der Kanal o nach der einen und u nach der anderen durch den Kolben gebildeten Abtheilung des Stiefels, a stehe mit der äußeren Luft (oder mit dem Kondensator)

in Verbindung und S sei der an einer Stange befindliche Schieber mit zwei über einen hohlen Raum hervorragenden ebenen Flächen, welche bei ihrer mittelst der Stange bewirkten Bewegung die Mündungen der beiden Kanäle genügend bedecken. Die Luft, das Wasser oder der Dampf haben rings um die Außenfläche des Schiebers und die Stange ungehinderten Zutritt, können aber, je nach der Stellung der Schieberflächen von dem oberen oder dem unteren Kanale abgehalten werden.

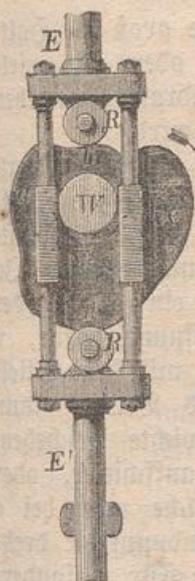
In Fig. A. wird durch den oberen Kanal o dem oberen Theile des Stiefels Dampf zugeführt und aus dem unteren Theile u kann der Dampf nach a entweichen.

In Fig. B. ist der Schieber so weit hinaufgerückt, daß das Entweichen von unten zwar noch stattfindet, aber der Zutritt sowohl nach oben als auch nach unten noch unterbrochen ist, weshalb der entwickelte Dampf (oder die atmosphärische Luft) sich um die Außenfläche des in einem abgesperrten Raume sich bewegenden Schiebers verdichten (kondensiren) muß und dann durch seine Ausdehnung (Expansion) bei der weiteren Benutzung um so kräftiger wirkt, je mehr dieses stattfand.

In Fig. C. ist der Schieber so weit hinauf bewegt, daß der Dampf nur durch den unteren Kanal u in den unteren Raum des Stiefels gelangen, der aber im oberen befindliche nach a entweichen kann.

In Fig. D. ist der Schieber auf dem Rückwege begriffen, sperrt den unteren Kanal, gestattet aber dem Dampfe noch nicht den Zutritt in den oberen Raum, aus welchem er noch nach a entweicht, weshalb derselbe vor dem Eintritte in den oberen Raum sich auch verdichtet, wie es in Fig. B. für den unteren Raum stattfand.

Soll das Schieberventil seinen Zweck, namentlich auch, wie in diesem Beispiele, als Expansivschieber erfüllen, so müssen seine Bewegungen sehr regelmäßig in den genau abgegränzten Zeitabschnitten während der ganzen Bewegung des Kolbens sich vollenden. Dies thut die Maschine selbst zuverlässiger, als irgend eine Menschenhand. Zu



(Fig. 91.)

diesem Zwecke ist die Ase W des sogenannten Schwungrades, dessen Zweck wir bei den Maschinen selbst näher werden kennen lernen, zugleich die Ase einer unruunden Scheibe (Fig. 91), so daß beide in genau derselben Zeit eine Umdrehung machen. Diese Scheibe hat nicht einen kreisförmigen, sondern aus den Bogen von vier Kreisen mit verschiedenen Radien und demselben Mittelpunkte zusammengesetzten Umfang. An diesem Umfange schleifen bei ihrer Drehung die Stahlrollen, welche an den Enden zweier, in festen Rahmen beweglichen Stangen E und E' angebracht sind, so daß diese auf und ab oder hin und her geschoben werden, jenachdem sie auf einen größeren oder kleineren Radius der Scheibe treffen.

Bei der gezeichneten Lage hat die Stange E die tiefste Stellung, welche der Figur 90, A entspricht; hat sie sich um den vierten Theil der ganzen Drehungszeit fortbewegt, so ist a unter der oberen Rolle und der Schieber steht wie Figur B, in welcher Lage er so lange verharret, als seine Rolle noch den Bogen desselben Radius berührt; ist d unter der Rolle, so hat der Schieber die höchste Stellung in Figur C, um dann den Rückweg anzutreten.

Es ist klar, daß man den Umfang der unruunden Scheibe für jede beliebige, der Expansion des Dampfes gewidmete Zeit einrichten kann.

Eine andere Art von Verschluß wird durch die Regel- und Kugelventile bewirkt, und die letzteren zerfallen noch in Druck- oder Hebelventile.



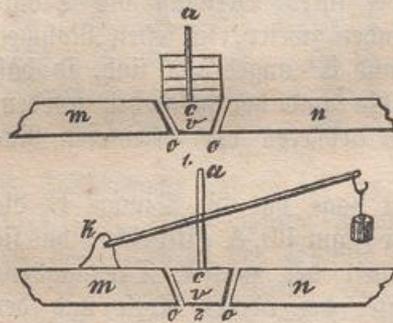
(Fig. 92.)

Sollen die Räume n und r (Fig. 92) von zylindrischen Röhren abwechselnd in Verbindung gesetzt und von einander abgesperrt werden, so dient dazu ein Regelventil: v ist ein abgekürzter Keil von Metall, dessen Mantel in eine Vertiefung genau eingeschliffen ist; von seiner oberen größeren Fläche geht eine kurze Stange v c mit einem Knopfe oder Querstücke lose durch die Oeffnung einer Querleiste a a. Das Spiel auf- und abwärts kann nur bis zu dieser Leiste gehen und dadurch wird die Verbindung hergestellt und unterbrochen. Statt des Keils kann eine Kugel in eine halbkugelförmige Vertiefung, in welcher von unten aus die Verbindung stattfindet, eingelassen werden.

Um das Zerspringen der Dampfkessel nicht eintreten zu lassen, wendet man Druck- oder Hebelventile an, welche durch die Spannkraft der Dämpfe eher geöffnet werden, als der Kessel in Gefahr ist, durch sie zersprengt zu werden.

Es ist durch die Erfahrung festgestellt worden, wie groß die Haltbarkeit des Kessels bei einer gewissen Metallstärke ist, oder wie viele Atmosphärendrucke, die man in Pfunden auf einen Quadratzoll angeben kann, der Kessel zu ertragen vermag, ehe er zersprengt wird.

Ist nun eine Oeffnung von gewisser Größe, z. B. einem Quadratzolle vorhanden, so wird man dieselbe durch ein Ventil schließen, welches mit einer geringeren Kraft angedrückt wird, als es die höchste Spannkraft, welche der Kessel ohne Gefahr vertragen kann, anzeigt. In

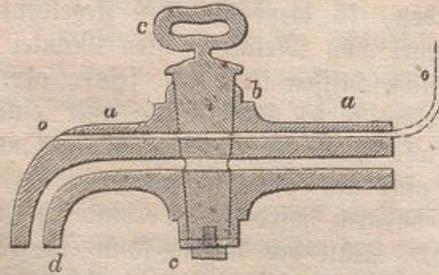


(Fig. 93.)

Fig. 93 bedeutet *mn* ein Stück der Kesselwand, *oo* die Oeffnung darin, *v* das hineinpassende Ventil mit dem Stiele *ca*. Die Belastung des Ventils kann entweder (1) durch Gewichte geschehen, die man auf den Stiel aufschiebt, oder (2) durch Gewichte, welche man bei *e* an den um den festen Endpunkt *k* drehbaren Hebel anhängt. Für besondere Zwecke, wie bei den Aeolipilen, kann das Ventil auch durch eine elastische Feder angedrückt werden. Es ist natürlich, daß das Ventil durch die Dämpfe um so eher herausgeworfen werden, je weniger es belastet ist. Das Einrosten desselben muß natürlich verhindert werden, um nicht Gefahr herbeizuführen.

Daß solche Ventile auch zur Messung des Druckes von tropfbaren und anderen luftigen Körpern als Dämpfen angewendet werden können, ergibt sich aus dem Obigen von selbst.

Endlich dienen noch die verschiedenartigen Hähne zur Herstellung und Aufhebung der Verbindung zweier oder mehrerer Räume. Sie bestehen aus einem Rohre, Gehäuse und Schlüssel.



(Fig. 94.)

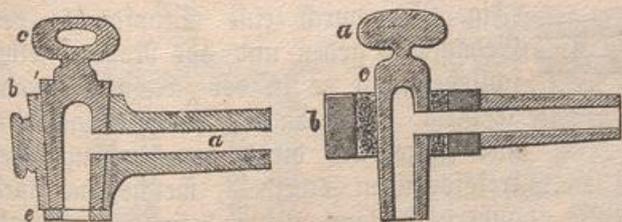
1) Der Guericke'sche oder einfache Hahn (Fig. 94) besteht aus einem zylindrisch durchbohrten und gegen das eine Ende gebogenen Rohre *aad*, welches gegen seine Mitte stärker gearbeitet ist, damit in dieses Gehäuse *be* eine etwas weitere kegelförmige Durchbohrung, welche lothrecht durch die erste geht, gemacht werden kann. In diese Oeffnung ist der mit einem Handgriffe *c* versehene Schlüssel *i* genau eingeschliffen. Der Schlüssel ist senkrecht so durchbohrt, daß, wenn er die Oeffnung schließt, das Bohrloch der Röhre mit dem des Schlüssels beim angemessenen Drehen zusammentrifft.

Der Schlüssel, so wie die Oeffnung des Gehäuses sind deshalb kegelförmig, damit bei der während des Gebrauches durch die Reibung unvermeidlichen Abnutzung immer noch ein dichter Verschluss stattfindet. Weil aber in diesem Falle der Schlüssel tiefer in das Gehäuse dringt, wird seine Durchbohrung nicht zylindrisch, sondern länglich rund (elliptisch) mit dem größeren Durchmesser in der Längsrichtung gemacht. Damit endlich der Schlüssel durch den Druck der ausströmenden Flüssigkeit nicht emporgehoben werde, wird er unten bei e durch ein breiteres Querstück, welches in ihn eingeschraubt werden kann, fest an das Gehäuse geschraubt.

Wird der Schlüssel um den vierten Theil seines Umfanges gedreht, so steht seine Durchbohrung auf der des Rohres lothrecht und die Verbindung ist aufgehoben. Um die innere Stellung auch äußerlich zu erkennen, ist der Griff länglichrund in der Richtung der Durchbohrung gemacht.

Benutzt man den Hahn zur Verbindung zweier Gefäße, so ist das Rohr grade; will man aber Flüssigkeiten aus Gefäßen durch ihn ablassen, so ist das eine Ende d gekrümmt, wie es die Zeichnung angibt; er heißt dann Faßhahn. Damit die tropfbare Flüssigkeit aus dem Zapfenloche eines Fasses durch einen Hahn abgelassen werden kann, ohne das Spundloch für den Zutritt der äußeren Luft zu öffnen, müssen Rohr und Schlüssel noch eine feine Durchbohrung oo haben, durch welche die äußere Luft nur während des Ablassens in das Faß und dann über die Flüssigkeit eindringt.

Statt atmosphärischer Luft kann man aus einem besonderen Gefäße z. B. Kohlensäure hineinlassen, wie es beim Abzapfen gegorner Flüssigkeiten angemessen ist, um sie vor dem Verderben zu bewahren.

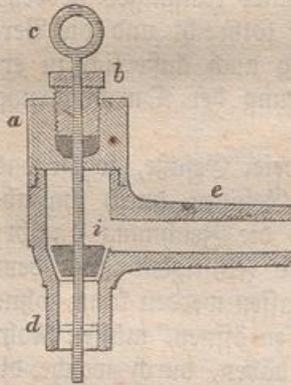


(Fig. 95.)

das verdickte Gehäuse geschlossen, der in dasselbe eingepaßte Schlüssel ce ist von seinem spitzeren Ende an der Länge noch bis etwas über die Oeffnung des Rohres a eingebohrt und zur Verbindung beider Kanäle noch eine Seitenverbindung angebracht. Beim Absperren ist es angemessen, den Schlüssel um die Hälfte seines Umfanges zu drehen, obwohl bei nicht großen Bohröffnungen der Zweck schon durch eine Vierteldrehung erreicht wird. Auch hier wird der Schlüssel durch die Flüssigkeit, sowohl beim Verschlusse, als auch beim Fließen nach oben gedrückt und er muß daher unten auch angeschraubt werden können.

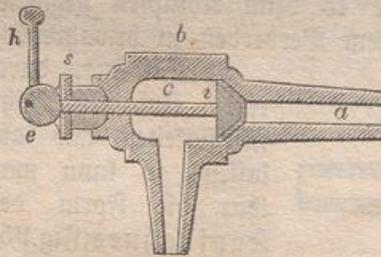
Ist der Hahn aus Holz gemacht, so füttert man des besseren Verschlusses wegen den Kopf mit durchbohrtem Korkholze aus, welches nach seiner Abnutzung leicht erneuert werden kann.

3) Eine recht bequeme Art von Hähnen sind die Ventil- oder Klapphähne, besonders wenn sie die Einrichtung haben, daß sie sich nach dem Gebrauche durch den Druck der Flüssigkeit von selbst schließen, wie ich es an den öffentlichen Trinkanstalten in Nordamerika meist gefunden haben, und wie es bei unseren Wasserleitungen nachzuahmen wohl angemessen wäre, weil ein unwillkürliches Laufen nicht stattfindet, indem nach dem jedesmaligen Gebrauche der Verschuß von selbst geschieht.



(Fig. 96.)

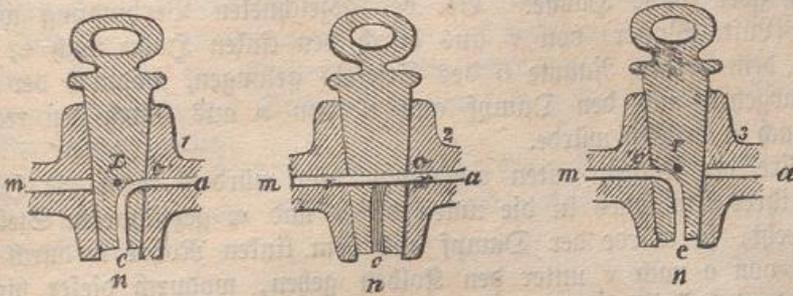
Der Haupteinrichtung nach ist es ein Kopfhahn. Das Gehäuse a (Fig. 96) trägt oben eine Stopfbüchse b, durch welche wasserdicht eine runde Metallstange mit einem Griffe c geht; an der Stange ist ein Regelventil i befestigt, welches zum besseren Anschlusse mit Leder oder Guttapercha umgeben ist, und zum Abschlusse des vom Gehäuse nach unten ausgehenden Rohres dient. Damit das Ventil immer in grader Richtung gehe, ist die Stange durch eine Oeffnung in einem Querstücke d geführt. Bei der in der Zeichnung dargestellten Lage des Ventils ist das Wasser im Rohre e abgesperrt und kommt erst in den Fluß, wenn das Ventil aufwärts gezogen wird.



(Fig. 97.)

Statt dieser Einrichtung kann die Ventilstange in der Richtung des Rohres (Fig. 97) durch eine Stopfbüchse des Gehäuses b gehen und das Rohr a selbst schließen, wie es in der Zeichnung grade geschieht. Das Ende s der Stange wird hier festgedrückt durch den Umfang einer kreisförmigen Scheibe e, welche um einen außerhalb ihrer Mitte befindlichen Punkt (exzentrisch) mittelst des Griffes h drehbar ist. Dreht man nun h weg, so kann sich s dem Drehpunkte nähern, das Wasser stößt durch seinen Druck das Ventil auf und fließt unten am Gehäuse aus; dreht man h aber hin, so drückt die Scheibe das Ventil wieder hinein. Die gradlinige Bewegung des Ventils wird durch die Form des hohlen Raumes im Gehäuse bedingt.

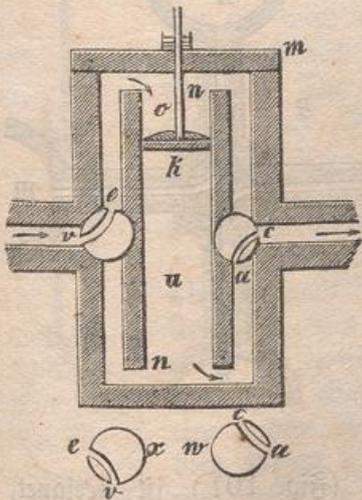
Es läßt sich nun auch leicht eine solche Einrichtung denken, daß der Wasserdruck selbst die Zufuhröhre abgesperrt, und ein Druck mit dem Finger die Verbindung herstellt, so daß, wenn letzterer aufhört, der Abfluß auch aufhört.



(Fig. 98.)

4) Der Senguerdsche Hahn (Fig. 96) ist in zweifacher Weise durchbohrt, um drei verschiedene Räume a, m, n in beliebiger Weise paarweise mit einander zu verbinden. Steckt der Schlüssel im Gehäuse, in welches die beiden Räume a und m mittelst Röhren münden, so geht die eine Bohrung (1) von o aus in einer flachen Krümmung nach dem spitzeren Ende c des Schlüssels, wodurch die Räume a und n verbunden werden; dreht man den Schlüssel um den vierten Theil seines Umfanges in zweite Lage, so ist der Anfang o seiner ersten Durchbohrung durch die innere Wandung des Gehäuses bedeckt und eine zweite lothrecht durch den Schlüssel geführte Bohrung xr verbindet die Räume a und m; dreht man noch weiter und wieder um den vierten Theil, so tritt o an die Mündung des m, x und r sind bedeckt und es ist die Verbindung zwischen m und n hergestellt.

5) Von diesem für Luftpumpen geeigneten Hahne unterscheidet sich der Zweiweghahn, welcher für Dampfmaschinen brauchbar ist. Die Bohrung geht von dem Umfange des Schlüssels lothrecht nach der Axe hin und in einer Krümmung unter einem rechten Winkel wieder nach außen, so daß die Oeffnungen um $\frac{1}{4}$ des Umfanges von einander entfernt sind.

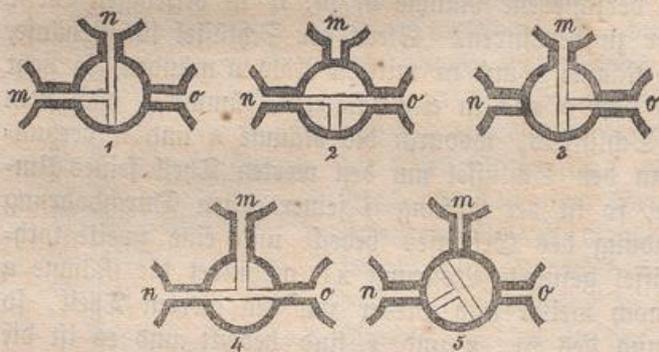


(Fig. 99.)

Seine Anwendung wird durch die Zeichnung (Fig. 99), worin sein Querschnitt viermal sichtbar ist, bald deutlich werden. mm sei ein Metallzylinder, k ein darin luftdicht beweglicher Kolben, dessen Stange durch eine Stopfbüchse s geht. Sowohl sein oberer Raum o, als auch sein unterer u sei durch Seitenrohre einerseits mit einem Dampfkessel, andererseits mit der äußeren Luft oder einem kalten Raume (Kondensator) in Verbindung. An den beiden Stellen, wo die Seitenrohre rr mit den Verbindungsrohren zusammen treffen, befin-

den sich zwei solche Hähne. Bei der gezeichneten Verbindung würde Dampf (Luft, Wasser) von *v* aus durch den linken Hahn nach *e*, von da nach dem oberen Raume *o* des Stiefels gelangen, wodurch der Kolben herabgehen und den Dampf aus *u* von *a* aus durch den rechten Hahn nach *c* drücken würde.

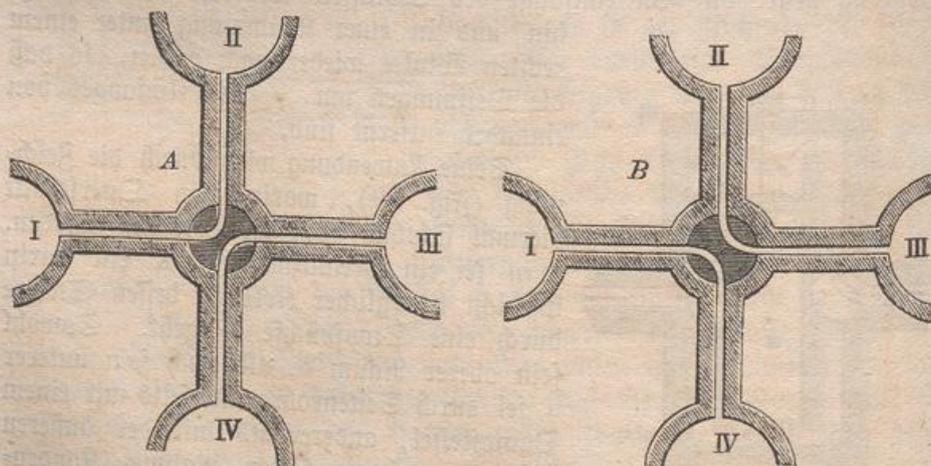
Wäre der Kolben unten angelangt und würden dann die Hähne um $\frac{1}{4}$ ihres Umfanges in die unten bei *x* und *w* gezeichneten Stellungen gedreht, so würde der Dampf aus dem linken Rohre *r* durch den Hahn *x* von *e* nach *v* unter den Kolben gehen, wodurch dieser hinauf und der dort befindliche Dampf durch den Hahn *w* von *c* nach *a* ausgedrückt würde. So kann durch abwechselnde und rechtzeitige Drehung der beiden Hähne das Spiel des Kolbens unterhalten werden.



(Fig. 100.)

von den drei Räumen *m*, *n* und *o* je zwei verbindet: *m* mit *n*, *n* mit *o*, *m* mit *o*, oder alle drei, oder wie er alle drei von einander abschließt.

6) Der Dreiweghahn. Bei diesem Hahne ist der Schlüssel einmal durch seine Mitte ganz durchbohrt und die zweite Bohrung geht rechtwinklich auf der ersten bloß bis zu seiner Mitte. Fig. 100 zeigt im Querschnitte wie er

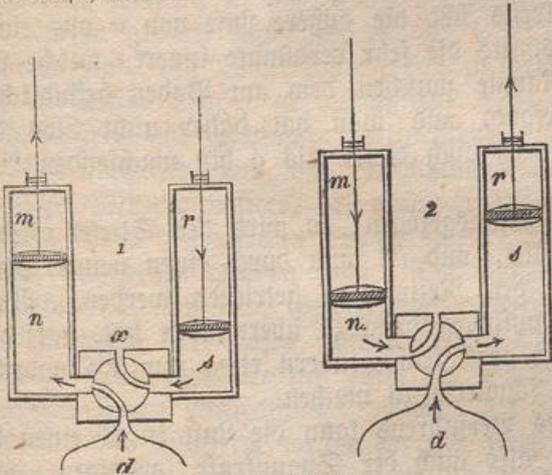


(Fig. 101.)

7) Der Leopoldische Vierweghahn (Fig. 101) ist geeignet, um von vier Räumen zwei und zwei miteinander zu verbinden oder von

einander zu trennen. Es sind nämlich bei ihm zwei mit einander nicht in Verbindung stehende Durchbohrungen, also ringsum in einem Kreise vier Oeffnungen, von denen jede von der nächsten um einen Quadranten entfernt ist. In der Stellung A ist einerseits I mit II und III mit IV verbunden, in der Stellung B aber ist I mit IV und II mit III in Verbindung gesetzt.

Man kann diese Hähne bei solchen Dampfmaschinen anwenden, bei welchen der verbrauchte Dampf ins Freie geleitet wird, also bei Hochdruckmaschinen.



(Fig. 102.)

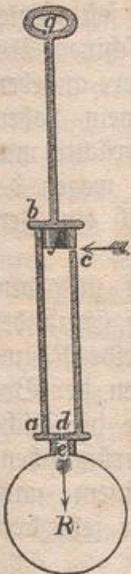
können; in der zweiten Zeichnung sind u und x, so wie d und s verbunden und die Kolben bewegen sich in entgegengesetzter Richtung.

Fig. 102 stellt das Spiel eines solchen Hähnes im Querschnitte dar. In der ersten Zeichnung werden von den vier Räumen d, n, s und x die Räume d und n einerseits und s mit x andererseits verbunden. Räume also aus d Dampf, so würde derselbe von n aus den linken Kolben aufwärts drücken, und der Dampf von s aus ins Freie durch x entweichen

Kuftpumpen.

Es wird nicht selten nothwendig, die Luft in einem abgeschlossenen Raume entweder zu verdichten oder zu verdünnen. Die besonders dazu eingerichteten Instrumente nennt man Kuftpumpen, welche also Verdichtungs- und Verdünnungspumpen sein können; bisweilen aber versteht man unter Kuftpumpen nur die zur Verdünnung der Luft geeigneten Pumpen.

1) Die Verdichtungspumpe. Es sei (Fig. 103) ab ein metallner Zylinder oder Stiefel, gegen das eine Ende sei eine Seitenöffnung c angebracht; in denselben Paffe ein massiver Stempel oder Kolben f luftdicht, welcher durch eine Stange mit einem Griffe g oder auf irgend eine andere Weise hin und her bewegt werden kann; von dem Boden des Stiefels aus gehe eine kurze Röhre bis in ein metallnes Gefäß R, den Rezipienten, und gegen



(Fig. 103.)

das Ende der Röhre sei eine sich nach letzterem öffnende Klappe bei e, oder ein Ventil.

Wenn der Stiefel von e aus mit Luft erfüllt ist, und man bewegt den Kolben nach dem Boden hin, so wird die Luft im Stiefel verdichtet, das Ventil dadurch aufgedrückt und der größte Theil der Luft begiebt sich nach dem Rezipienten R, so daß jetzt hier verdichtete Luft sich befindet.

Hört die Bewegung des Kolbens auf, und tritt er den Rückweg an, so verschließt die verdichtete Luft von R aus das Ventil. Bei dieser Zurückbewegung des Kolbens übt die äußere Luft von c aus einen größeren Druck auf ihn aus, als die sehr verdünnte innere, welche sich etwa noch in dem kleinen Raume zwischen dem am Boden befindlichen Kolben und dem Ventile befand, und man hat daher nicht blos die Reibung zu überwinden, sondern auch diesen bis c hin wachsenden Widerstand.

Ist der Kolben über c hinausgezogen, so wird der Stiefel wieder mit atmosphärischer Luft gefüllt, und sie kann durch einen neuen Stoß auch wieder größtentheils in den Rezipienten getrieben werden. Weil man oft einen mehrfachen Atmosphärendruck zu überwinden hat, darf der Querschnitt des Stiefels nicht groß sein, sondern etwa nur 1 Quadrat-zoll, um die Arbeit nicht zu schwierig zu machen.

Durch Fortsetzung dieses Verfahrens kann die Luft in R einen so hohen Grad der Dichtigkeit, also auch der Spannkraft, erlangen, daß selbst ein starkes Metallgefäß zersprengt wird, was höchst gefährlich ist, weil die Explosion die Metallstücke mit großer Kraft fortschleudert. Man darf also für ein Gefäß von gewisser Stärke und Stoffbeschaffenheit die Verdichtung nicht bis zu einer erfahrungsmäßig festgesetzten Gränze treiben. Wir werden bei Gelegenheit der Dampfmaschinen über diese, selbst durch Landesgesetze festgestellten Gränzen das Nähere angeben.

Hätte man den Rezipienten mit kalter Luft bis zu einem hohen, aber noch ungefährlichen Grade von Spannkraft erfüllt, und brächte man ihn dann ins Warme, z. B. in den Sonnenschein, so kann wegen der durch die Wärme erzeugten namhaften Ausdehnung auch noch ein Zersprengen stattfinden.

Kennt man das Raumverhältniß zwischen dem Stiefel und dem Rezipienten, so läßt sich aus der Anzahl der Kolbenstöße der Grad der Verdichtung leicht berechnen. Nehmen wir z. B. an, daß beide Räume gleich sind, und vernachlässigen wir den kleinen Raum zwischen der Bodenfläche und dem Ventile, so ist nach dem ersten Kolbenstoße die Dichtigkeit der Luft im Rezipienten das Doppelte von der ursprünglichen, denn die Luft aus zwei gleichen Raumtheilen befindet sich in einem; nach dem zweiten Stoße ist sie das Dreifache, weil der Rezipient jetzt drei Raumtheile von Luft enthält u. s. w.

Verdichtungspumpen werden zu verschiedenen Zwecken gebraucht.

Sollen Taucher in ihrer Glocke längere Zeit in der Tiefe eines Gewässers sich aufhalten, um dort verschiedene Arbeiten zu verrichten, so muß man ihnen durch eine Verdichtungs- oder Druckpumpe in Schläuchen immerfort frische Luft zuführen, so daß am Rande der Taucherglocke stets Luftblasen entweichen.

Wird eine Kautschuckflasche von geringem Durchmesser in heißem Wasser oder in Aether erweicht, so kann sie durch zeitweises Hineinpumpen von Luft, oder Hineinlassen von verdichteter Luft außerordentlich ausgedehnt werden, so daß sie einen Durchmesser bis zu 3 Fuß bekommt.

Um in großen Aquarien, wie sie z. B. in New-York in Barnums Museum sind, den Wasserthieren das zu ihrem Wohlfinden unentbehrliche lufthaltige Wasser zu verschaffen, wird in die Behälter von unten durch Röhren und Schläuche fortwährend atmosphärische Luft gepumpt.

Unentbehrlich sind die Verdichtungspumpen zur Herstellung von künstlichen Mineralwässern, die man vorzüglich mit Kohlensäure versorgt, nachdem ihnen die anderen Stoffe, welche die verschiedenen Zwecke verlangen, beigegeben worden sind. Der ganze Apparat besteht aus drei Haupttheilen: aus dem Gasentwickelungsgefäße mit der zum Reinigen und Sammeln des Gases nöthigen Vorrichtung, aus der Druckpumpe und dem Wasserbehälter mit einer zur Vertheilung des Gases im Wasser angemessenen Einrichtung. Durch die Maschine zum Füllen und Verforken des Wassers, welche für sich besteht, muß die Berührung des Wassers mit der äußeren Luft möglichst vermieden werden.

Die verdichtete Luft wird ferner als bewegende Kraft bei den Windbüchsen angewendet. Gibt man dem Rezipienten eine längliche abgerundete Form, annähernd an die eines Flintenkolbens, und richtet man ihn so ein, daß er von der Pumpe kann ab- und an einen Flintenlauf geschraubt werden; so bedarf es nur noch einer starken Stahlfeder mit einem Stifte, welcher beim Zurückschlagen der gelösten Feder das Ventil nach dem Rezipienten einen Augenblick aufstößt, um einen Theil der verdichteten Luft ins Rohr zu lassen, wodurch eine Kugel oder Schrotkörner, die man zwischen zwei Pfropfen in den Lauf gebracht hat, mit gleicher Kraft, wie durch Schießpulver, herausgeschleudert werden können. Der Knall ist hierbei viel unbedeutender, weil nicht noch an der Mündung des Laufes eine besondere Gasentwicklung stattfindet, wie es beim Schießpulver zum Theil stattfindet, sondern weil die treibende Kraft auch außerhalb des Laufes vorzüglich nach dieser einen Richtung wirksam ist.

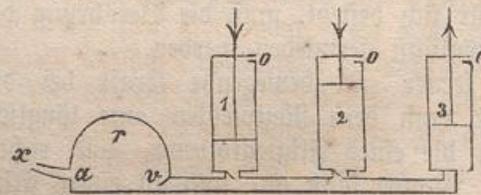
Ein Knall kann übrigens nur auf doppelte Weise entstehen:

1) daß in einer Flüssigkeit (Luft, Wasser) plötzlich ein leerer oder fast leerer Raum gebildet wird, so daß die umgebende Flüssigkeit von allen Seiten nach der Mitte dieses Raumes zusammenstürzt und sich daselbst mit Heftigkeit aneinander schlägt. So ist es u. a. wenn man eine mit Knallgas (2 Maß Wasserstoff und 1 Maß Sauerstoff) gefüllte

Seifenblase anzündet, oder wenn man Dämpfe von kochendem Wasser in ein Gefäß mit kaltem Wasser leitet (bei Lokomotiven und deren Tendern, in Brennereien u. s. w.), worin sie zu Wasser von sehr geringem Volumen werden, so daß hier das Wasser nach der Mitte des fast leeren Raumes zusammenstürzt und sich aneinander schlägt.

2) Ein Knall kann noch dadurch entstehen, daß ein Stoff von sehr geringem Volumen, wie Schießpulver, Knallsilber (Knallbonbons) plötzlich in einen anderen von sehr großem verwandelt wird. In diesem Falle wird die den kleinen Körper umgebende Luft plötzlich nach allen Seiten auseinander getrieben, und stürzt dann von allen Seiten wieder nach der Mitte dieses Ortes zurück, wodurch auch ein Schlag entsteht.

Eine weitere Anwendung finden die Luftdruckpumpen bei den Zylindergebläsen. Es ist nämlich für viele technische Zwecke bei Feuerungen unerläßlich, oder wenigstens sehr zweckmäßig, wenn das Feuer fortwährend eine sich gleich bleibende Wärme entwickelt. Dieses kann nur durch eine möglichst gleichmäßige Zuführung von Feuerungsmaterialien geschehen, wozu vorzüglich die atmosphärische Luft wegen ihres Sauerstoffgehaltes gehört. Es ist also nothwendig, außer den Kohlen oder einem anderen Brennstoffe für einen sich möglichst gleich bleibenden Strom zugeführter Luft zu sorgen, und dies leisten in einem ziemlich genügenden Maße die Gebläse mit drei Zylindern.



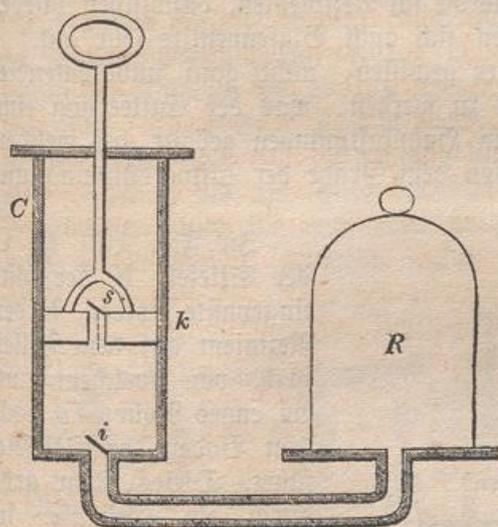
(Fig. 104.)

In Fig. 104 bedeuten 1, 2, 3 die drei Verdichtungs-
tumpen mit ihren Bodenventilen, durch welche sie in Verbindung mit einem gemeinschaftlichen Kanale cv stehen, der in einen größeren Metallbehälter r als Rezipienten mündet, und an seinem Ausgange ein sich dahin öffnendes Ventil v hat; von diesem Rezipienten oder Windkessel führt endlich ein Rohr ax nach dem Feuer hin. Das Ausflusrohr muß man kegelförmig zuspitzen, wobei die Seiten mit der Aze einen Winkel zwischen 3 und 12 Graden machen, und die Innenfläche polirt sein muß.

Die drei Kolbenstangen werden durch irgend eine Kraftmaschine und zwar so in Bewegung gesetzt, daß die Zeit für den ganzen Hin- und Rückweg im Stiefel in drei gleiche Theile getheilt ist, welche sie abwechselnd nach einander zurücklegen. Beginnt der erste Kolben das letzte Drittel des Hinweges, so muß der zweite Kolben das zweite Drittel auch des Hinweges, aber der dritte das dritte Drittel des Rückweges beginnen, oder: ist der erste Kolben unten angekommen, so beginnt der zweite das letzte Drittel des Hinweges und der dritte ist oben ange-
langt u. s. f.

Auf diese Weise wird fortwährend, und zwar mindestens von einer der drei Pumpen in den Windkessel Luft geschafft, so daß die Verdichtung in ihm und das Ausströmen aus ihm niemals unterbrochen wird.

2) Die Verdünnungspumpe, auch Evakuations- oder Entleerungspumpe genannt. Die Hauptbestandtheile sind dieselben wie bei der Verdichtungspumpe, nur daß die Verbindungen der Räume andere sind. Wegen der Wichtigkeit der Apparate hat man sich, namentlich in neuerer Zeit, viele Mühe gegeben, dieselben zu vervollkommen, und daher ist die Art ihrer Herstellung im Ganzen und Einzelnen sehr verschieden; wir wollen aber nur das Wichtigste anführen.



(Fig. 105.)

paßt mit ihrem Rande luftdicht eine Glasglocke R, welche der Rezipient, Aufnehmer, heißt, weil sie zum Aufnehmen der Gegenstände dient, mit denen man im luftverdünnten Raume Versuche anstellen will, weshalb er auch verschiedene Formen hat.

Die Art der Handhabung und die Wirkungsfähigkeit dieser Pumpe ergibt sich leicht. Denken wir uns den Kolben ganz am Boden des Stiefels, so daß ein möglichst genauer Anschluß stattfindet, und ziehen wir ihn dann aufwärts, so öffnet die Luft im Rezipienten und im Verbindungsrohre wegen ihrer Spannkraft das Ventil i und verbreitet sich hinter dem Kolben im Stiefel. Ist der Kolben, dessen Ventil durch den Druck der äußeren Luft geschlossen bleibt, bis ans Ende des Stiefels gelangt, so ist die Luft im Rezipienten schon und um so mehr verdünnt, je weiter der Stiefel ist, denn sie erfüllt jetzt beide Räume gleichmäßig. — Wird der Kolben herabgedrückt, so kann die unterhalb desselben befindliche Luft durch das Ventil, welches sich schließt und durch den vergrößerten Luftdruck geschlossen wird, nicht wieder zurück in den Rezipienten, sondern geht durch das beim weiteren Hineindrücken des

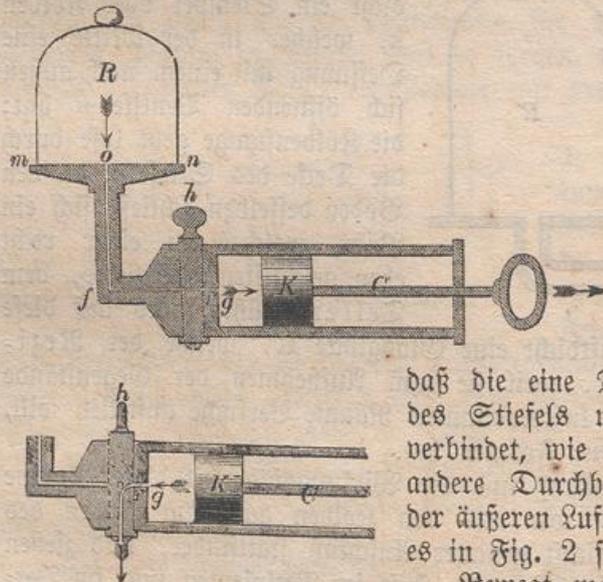
Fig. 105 stellt eine ganz einfache Ventil-Luftpumpe dar. C ist ein sehr gut ausgedrehter Metallzylinder oder Stiefel, an dessen Boden ein nach innen sich öffnendes Ventil i sich befindet; in den Stiefel paßt luftdicht ein Stempel oder Kolben k, welcher in der Mitte eine Oeffnung mit einem nach außen sich öffnenden Ventile s hat; die Kolbenstange geht lose durch die Decke des Stiefels; an den Boden desselben schließt sich ein Rohr, welches zu einer recht eben geschliffenen Scheibe, dem Teller, führt, und auf diese

Kolbens durch sie geöffnete Kolbenventil nach außen. Dieses Ventil wird aber erst dann geöffnet, wenn der Druck der inneren Luft größer ist, als der von der äußeren und der Widerstand des Ventils.

So wird bei jedem neuen Zuge des Kolbens nach oben die Luft immer weniger dicht, und bei jedem Drucke ein Theil derselben herausgeschafft; aber eine vollständige Entleerung des Rezipienten ist nicht möglich, weil die schon stark verdünnte Luft in ihm und der Verbindungsröhre das Bodenventil nicht mehr zu öffnen vermag, und weil ungeachtet sehr sorgfältiger Arbeit die untere Fläche des Kolbens sich niemals so dicht an den Stiefel schließt, als daß nicht eine dünne Luftschicht von größerer Dichtigkeit, als die im Rezipienten, dazwischen bliebe.

Für solche Luftpumpen eignen sich auch Blasenventile sehr gut.

Weil die Ventile immer einer gewissen, nicht ganz unbedeutenden Druckkraft bedürfen, um geöffnet zu werden, was der Entleerung eine zu enge Gränze steckt, so hat man Hahnlustpumpen gebaut, bei welchen das Drehen durch eine äußere, von dem Grade der Luftverdünnung unabhängige Kraft bewirkt wird.



(Fig. 106.)

Bewegt man den Kolben weg vom Boden des Stiefels, wie es der Pfeil am Griffe zeigt, so geht bei der ersten Hahnstellung die Luft aus dem Rezipienten nach dem Stiefel in der Richtung der Pfeile, ohne daß sie einen Widerstand zu überwinden hat. Ist der Kolben am Ende des Stiefels angelangt, so dreht man den Hahn in die zweite Stellung, wodurch der Rezipient und das Rohr bis an den Hahn abgesperrt, der Rezipient aber mit der äußeren Luft in Verbindung gesetzt wird. Es ist also klar, daß sofort von der äußeren Luft in den Rezipienten strömt; wird aber der Kolben nach dem Boden hin bewegt, so muß

In Fig. 106 ist O der Stiefel, K der hineingepaßte Kolben, R der Rezipient auf dem Teller m n, von welchem aus ein enges Rohr o g nach dem Boden des Stiefels führt. Dieses Rohr geht durch ein Gehäuse, in welches ein Senguerdscher Hahn so eingepaßt ist,

daß die eine Durchbohrung den Raum des Stiefels mit dem des Rezipienten verbindet, wie es Fig. 1 zeigt, und die andere Durchbohrung den Stiefel mit der äußeren Luft in Verbindung setzt, wie es in Fig. 2 sichtbar ist.

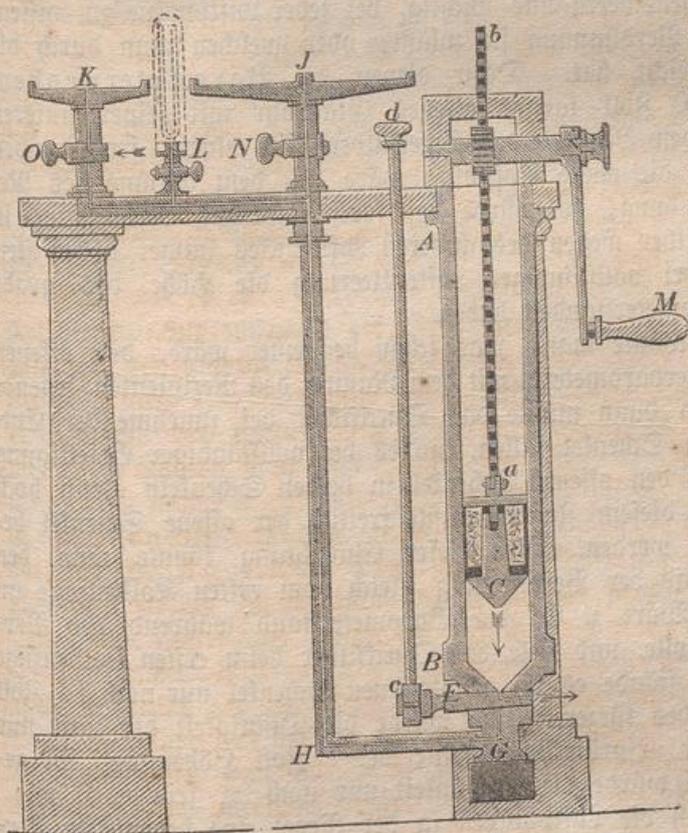
Bewegt man den Kolben weg vom Boden des Stiefels, wie es der Pfeil

diese Luft und die vorher schon vorhandene durch den Hahn entweichen. Hat man den Kolben bis dicht an den Boden des Stiefels gebracht, so dreht man den Hahn wieder in die erste Stellung, und kann eine neue Verdünnung vornehmen u. s. w.

Wenn auch, wie es angemessen ist, der Hahn möglichst dicht an den Boden des Stiefels sich anschließt, so muß doch noch von ihm bis in den Stiefel ein kurzes, wenn auch enges Röhrenstück vorhanden sein. Dieses und die Unmöglichkeit eines absolut genauen Anschlusses des Kolbens an die Bodenfläche des Zylinders läßt auch bei dieser Pumpe, obwohl sie mehr leistet, als die vorige, die Verdünnung nur bis zu einer gewissen Gränze führen; denn wenn die äußere Luft mit dem Stiefel in Verbindung gesetzt worden ist, so befindet sich nach dem Zurückstoßen des Kolbens bis an den Boden in jenem kleinen Raume, welchen man den schädlichen Raum nennt, Luft von der Dichtigkeit der äußeren, welche nach der Umdrehung des Hahnes in den Rezipienten geht, und jedesmal, bis ans Ende der Arbeit, die bereits erreichte Verdünnung vermindert, wenn sich auch beim Vorwärtsziehen des Kolbens die Luft noch in den Stiefel vertheilt. Der Grad der möglichen Verdünnung

hängt von dem Verhältnisse des schädlichen Raumes zu dem Gesamttraume des Rezipienten und Stiefels ab; ist jener z. B. der tausendste Theil von diesem, so ist auch schließlich die Dichtigkeit der Luft im Rezipienten nur $\frac{1}{1000}$ von der der äußeren Luft. Ist man bis dahin gekommen, so nützt alles weitere Arbeiten nichts mehr.

Um den Nachtheil des schädlichen Raumes nach Möglichkeit zu vermeiden, hat man daher Pumpen gebaut (Fig. 107), bei welchen der Kolben C kegelförmig gestaltet



(Fig. 107.)

ist, sehr genau in eine ebenso geformte Vertiefung des Stiefels BA paßt und bis an den Hahn E reicht, um mit seinem abgeflachten Ende dessen Durchbohrung grade zu bedecken. Bei dieser Einrichtung ist es möglich, den Hahn bis ganz ans Ende des Stiefels zu verlegen. Der Kolben befindet sich an einer gezahnten Stange, welche durch das oben sichtbare Triebrad auf- und abgeschoben wird, wenn man die an seiner Axe befindliche Kurbel an dem Handgriffe M beziehungsweise nach hinten oder vorn dreht. Um den Hahn E mit Bequemlichkeit zu drehen, ist an ihm seitwärts eine Stange cd beweglich angebracht, die man bei d nur abwechselnd heraufzuziehen und hinabzulassen braucht.

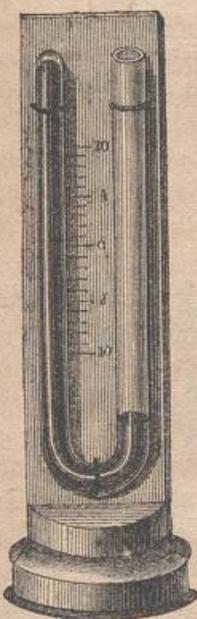
Von dem Boden des Stiefels geht ein Verbindungsrohr GHJ zu einem Teller bei J, auf welchen sich ein Rezipient stellen läßt, und von ihm ein Zweigrohr zu einem zweiten Teller bei K, zu welchem die Hähne N und O gehören.

Diese Einrichtung gestattet gleichzeitig zwei Versuche zu machen. Bei der in der Zeichnung angegebenen Stellung kann die Entleerung nur bei J stattfinden, und der Kolben ist im Herabgehen begriffen, um die Luft im Stiefel ins Freie zu drücken.

Es ist wünschenswerth und wichtig, bei jeder Luftpumpe zu wissen, welchen Grad der Verdünnung sie zuläßt, oder welchen man durch die Arbeit bereits erreicht hat. Dazu dienen die Barometerproben. Wenn ein etwa 30 Zoll langes offenes Glasrohr mit seiner unteren Mündung unter dem Niveau des Quecksilbers in einem freistehenden Gefäße steckt, und die obere Oeffnung wäre mit dem Raume des Rezipienten in Verbindung, so würde bei fortschreitender Verdünnung in diesem das Quecksilber wegen des äußeren Luftdruckes immer höher steigen, und würde bei vollständiger Luftentleerung die Höhe des grade stattfindenden Barometerstandes haben.

Statt dessen könnte man, was schon bequemer wäre, den offenen Schenkel eines Heberbarometers mit dem Raume des Rezipienten irgendwie verbinden, und dann müßte das Quecksilber bei zunehmender Entleerung im anderen Schenkel fallen, bis es bei vollständiger Beseitigung des Luftdruckes auf den offenen Schenkel in beiden Schenkeln gleich hoch stehen würde. Zu diesem Zwecke müßte freilich der offene Schenkel bedeutend verlängert werden. Bei dieser Einrichtung könnte man den fortschreitenden Grad der Verdünnung gleich vom ersten Kolbenzuge an genau verfolgen. Wäre z. B. der Barometerstand während des Versuches grade 28 Zolle, und fiel das Quecksilber beim ersten Kolbenzuge um 14 Zoll (d. h. stände es im geschlossenen Schenkel nur noch 14 Zoll über dem Niveau des kürzeren), so würde die Dichtigkeit der Luft nur noch die Hälfte der ursprünglichen sein; bei 7 Zoll Höhenstand im geschlossenen Schenkel würde die Dichtigkeit nur noch $\frac{1}{4}$ sein u. s. w.

Da man durch die Luftpumpen in der Regel eine bedeutende Verdünnung bezweckt, so ist es nicht nothwendig, ein vollständiges Baro-



(Fig. 108.)

meter anzuwenden, sondern nur ein abgekürztes Heberbarometer mit zwei etwa vier bis sechs Zolle langen Schenkeln, wie es Fig. 108 angibt, wobei der geschlossene Schenkel in der freien Luft stets gefüllt bleibt, und der offene leer ist. Dieses Instrument kann man entweder unter den Rezipienten der Luftpumpe stellen, oder, was bequemer ist, in einer besonderen kleinen Glasglocke anbringen, deren Raum mit der Röhre, durch welche die Verdünnung bewirkt wird, in unmittelbarer Verbindung steht, wie es die Fig. 107 bei L anzeigt.

Beim Beginne der Verdünnung wird das Quecksilber im geschlossenen Schenkel noch nicht sinken, sondern erst, wenn der Druck der verdünnten Luft auf den offenen Schenkel so schwach ist, daß er die Quecksilbersäule des geschlossenen über dem Niveau des offenen nicht mehr zu tragen vermag. Sinkt endlich das Quecksilber in jenem, so steigt es bei gleich weiten Röhren in diesem um gleich viel, und steht es in jenem z. B. noch 4 Zolle über diesem, so ist die Dich-

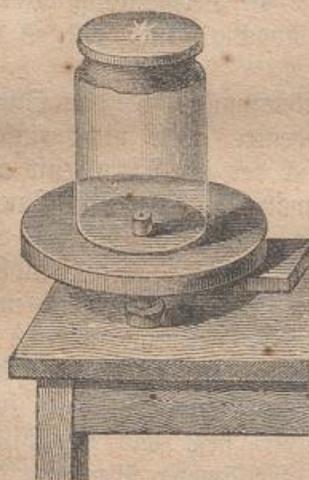
tigkeit der drückenden Luft nur noch $\frac{1}{4}$ von der ursprünglichen, bei 1 Zoll nur $\frac{1}{2}$ u. s. w. Bei ganz guten Luftpumpen steht das Quecksilber des geschlossenen Schenkels zuletzt nur noch 1 Millimeter über dem des offenen. Der zwischen den beiden Schenkeln angebrachte Maßstab muß so eingerichtet sein, daß man von dem jedesmaligen Stande des Niveaus im offenen Schenkel an bis ans Niveau des geschlossenen ablesen kann.

Bei der oben angeführten Luftpumpe findet die Verdünnung im Rezipienten nur während der einen Bewegung der Kurbel statt, indem während der anderen rückgängigen die unter dem Kolben im Stiefel befindliche Luft herausgeschafft wird, und man ist auch genöthigt, bei jedem Gange des Kolbens den Hahn mit der Hand rechtzeitig, also erst wenn der Kolben ganz unten und oben angelangt ist, zu drehen. Deshalb hat man in neuerer Zeit zweistieflige Luftpumpen mit Selbststeuerung gebaut. Das durch die Kurbel in Bewegung gesetzte Getriebe greift zu beiden Seiten in die Zähne der beiden Kurbelstangen ein, und zwingt sie zu einem abwechselnden Gange: während die eine heraufgeht und saugt, drückt die andere.

Von dem Boden der beiden Stiefel führt ein enger Kanal zu einem einzelnen Hahne, welcher durch ein Gestänge erst dann gedreht wird, nachdem der Kolben bereits seinen tiefsten und höchsten Punkt erreicht hat, und auch die Drehung bereits vollendet haben muß, ehe die Bewegung des Kolbens wieder beginnt. Diese für die Entleerung des Rezipienten unerläßliche Bedingung ist nur dadurch zu erfüllen, daß man der Kolbenstange, oder dem sie bewegenden Getriebe einen sogen. todten

Gang gibt, so daß der Kolben bei jedem beginnenden Wechsel der Bewegung so lange ruht, als die Drehung der Hähne dauert. Da man indeß auch öfters, ohne daß der Kolben die äußersten Punkte seiner Bahn erreicht hat, die Arbeit unterbrechen will, so muß die Steuerung des Hahns auch jederzeit bewirkt werden können.

Versuche mit der Luftpumpe.



(Fig. 109.)

1) Schon nach dem ersten Kolbenzuge haftet der Rezipient am Teller fest, weil die Atmosphäre auf seine Außenfläche einen größeren Druck ausübt, als die bereits verdünnte Luft auf die Innenfläche.

2) Wird ein niedriger Metallzylinder mit gut abgeschliffenem Rande auf den Teller gesetzt und mit einer thierischen Blase gut verbunden, oder mit einer nicht zu starken Glastafel luftdicht bedeckt, wie es Fig. 109 andeutet, und pumpt man dann die Luft aus, so wird die Blase mehr und mehr hineingedrückt, bis sie mit einem Knalle zerspringt, und die Glastafel wird in gleicher zertrümmert.



(Fig. 110.)



3) Schraubt man auf die Mündung des Entleerungsrohres eine aus zwei gut aneinander passenden Hälften bestehende Metallkugel auf, wie es Fig. 110 andeutet, pumpt man die Luft aus dieser Kugel, und schraubt man sie ab, nachdem sie durch einen Hahn abgeschlossen worden ist, so werden sie durch die atmosphärische Luft kräftig zusammengedrückt. Otto v. Guericke, Bürgermeister von Magdeburg, stellte schon 1654 zu Regensburg in Gegenwart des Kaisers Ferdinand III. und der versammelten Großen des Reiches, mit seiner von ihm er-

fundenen Luftpumpe und den beiden Halbkugeln von 0,67 magdeburger Ellen Durchmesser einen Versuch an, welcher das größte Erstaunen erregte. Nachdem er seine Kugel entleert hatte, ließ er an die beiden Hälften Pferde anspannen, zuerst zwei, dann immer mehr und mehr, und erst 16 Pferde waren mit Mühe im Stande, die beiden Hälften unter einem starken Knalle zu trennen. Später fertigte er eine andere Kugel von einer Elle Durchmesser an, zu deren Trennung 24 bis 30 Pferde nothwendig waren.

Die Kraft, mit welcher die beiden Halbkugeln zusammengedrückt werden, ist der Unterschied zwischen dem äußeren und inneren Luftdruck. Der äußere Luftdruck ist für eine bestimmte Kugeloberfläche von dem grade stattfindenden Barometerstande, der innere von dem Grade der Verdünnung und der Größe der Innenfläche abhängig. — Da eine Kugel von 2 Fuß Durchmesser eine Oberfläche von fast 50,6 Quadratfuß hat, und der Atmosphärendruck bei einem Barometerstande von 28 Zollen auf den Quadratfuß, wie wir bereits wissen, gegen 2196 Pfunde beträgt; so würde der Druck auf die Außenfläche der Kugel gegen 111117 Pfunde betragen. Davon ist der nach dem Grade der Verdünnung zu bemessende innere Druck in Abzug zu bringen, welcher mit Benutzung der neueren Luftpumpen sehr vermindert werden kann.

4) Wenn man in einem Metallzylinder eine leicht bewegliche, sich aber gut anschließende Scheibe *s* hat, durch welche der innere Raum des Zylinders in zwei Theile *a* und *c* getrennt wird, und man pumpt aus dem Raume *c* die Luft; so wird die in den Raum *a* eindringende äußere Luft die Scheibe um so tiefer hineindrücken, je mehr in dem sich dadurch verkleinernden *c* die Luft verdünnt wird. Die Größe des Druckes hängt unter übrigens gleichen Umständen von der Größe der Scheibe ab, an welche man einen kleinen Wagen zur Aufnahme von Briefschaften u. a. hängen kann, wie man es in London unterhalb des Straßenpflasters eingerichtet hat.

5) Diesem Gedanken haben die Engländer noch einen großartigeren Ausdruck gegeben, indem sie eine sogen. atmosphärische Eisenbahn von mehren Meilen Länge gebaut haben. Zu diesem Zwecke war es nothwendig, zwei Zylinder anzuwenden, und die Scheibe oder den Stempel in jedem mit einem nach oben durch die Röhre gehenden Stiele zu versehen, damit diese Stiele zur Stütze für die Wagen, zur Aufnahme von Personen und Sachen dienten. Hierbei bot sich die große Schwierigkeit dar, den Verschuß des Raumes *c*, aus welchem die Luft gepumpt wird, ungeachtet der Vorwärtsbewegung der Stiele luftdicht zu erhalten. Dies bewirkte man durch luftdicht schließende Klappen, welche während der Bewegung durch die Stiele nur einen Augenblick geöffnet wurden, um sich sofort wieder zu schließen. Bei der Schwierigkeit, diesen Verschuß immer luftdicht zu erhalten, und dem nicht unbedeutenden

Kraftaufwände zur Bewegung der Luftpumpen, hat man diese Eisenbahnen aufgegeben.

6) Legt man unter den Rezipienten ein Stück weichen Teig oder Thon, so bläht es sich während der Entleerung mehr und mehr auf; ein runzlicher Apfel wird glatt. Ebenso dehnt sich die wenige Luft in einer zugebundenen thierischen Blase nach allen Richtungen so aus, daß sie, wenn deren Menge anfänglich nicht zu gering war, die Blase zersprengt. So kann auch eine luftgefüllte Fischblase oder ein Glaskügelchen mit dünnen Wänden leicht zersprengt werden. Die Fische selbst können wegen allzugroßer Ausdehnung der Luft in ihrer Blase nicht unter Wasser bleiben.

7) Bei den Vögeleiern enthält der dickere Theil zwischen der Schale und der ledrigen Haut etwas Luft. Wenn man daher am spitzen Theile die Schale und Haut mit einer Nadel durchsticht, das Ei in ein Gläschen mit der Spitze nach unten und das Ganze unter den Rezipienten der Luftpumpe stellt; so wird beim Verdünnen der Luft im Rezipienten das Innere des Eies durch die in ihm eingeschlossene Luft herausgedrückt, geht aber wieder hinein, wenn man Luft in den Rezipienten gelangen läßt.

8) Wird eine oben geschlossene Glasröhre oder ein Gefäß mit der, wenn auch sehr engen Mündung, unter das Niveau des Wassers, welches unter einem Rezipienten steht; getaucht; so steigen beim Entleeren immerfort Luftblasen durch die Oeffnung, ohne daß Wasser eindringt. Läßt man aber wieder Luft in den Rezipienten, so füllt sich die Röhre um so mehr, je mehr die Luft verdünnt worden war. Das ist ein Mittel, um Glasgefäße mit engen Oeffnungen zu füllen, und die Flüssigkeit dann durch Zuschmelzen abzuschließen, damit sie aufbewahrt werde. Umgekehrt kann ein Gefäß mit sehr enger Oeffnung unter dem Rezipienten entleert werden. — Ist der kartesianische Taucher im Wasser untergesunken, so steigt er unter dem Rezipienten bei der Verdünnung der Luft, weil die Luft in ihm das Wasser theilweise oder ganz herausdrückt, wodurch er leichter wird.

9) Wenn man soeben aus dem Brunnen geschöpftes Wasser in einem Glase unter den Rezipienten setzt, so entwickeln sich beim Entleeren im Wasser vor unseren Augen kleine Luftblasen, die sich an die Ränder oder hineingehaltene Glasstäbchen anlegen. Die Luft war vorher in einem so verdichteten Zustande und fein vertheilt vorhanden, daß man sie nicht erkennen konnte, während bei der ihr gestatteten Ausdehnung benachbarte Theilchen in einander verschwimmen und einander vergrößern.

10) Wenn man einen Holzbecher, selbst mit einem zolldicken Boden, auf einen dazu passenden Rezipienten von Glas luftdicht aufsetzt, in den Becher etwas Quecksilber gießt, und nun die Luft im Rezipienten, also unter dem Boden des Bechers verdünnt; so regnet das Quecksilber durch

die Poren des Holzes, indem es dem äußeren stärkeren Luftdrucke folgt. Ebenso läßt Quecksilber sich durch Leder treiben.

11) Daß die Poren der Körper, namentlich also auch des Holzes, welches sich in der Luft befindet, auch mit Luft erfüllt sind, zeigt sich recht auffallend, wenn man ein Stückchen Holz in einem Glase mit Wasser unter dem Wasserspiegel festhält (etwa durch einen darüber eingeklemmten Draht), das Ganze unter den Rezipienten bringt und die Luft herauschafft; denn es entwickeln sich Tausende von Luftbläschen, welche sich zunächst an die Oberfläche des Holzes setzen, und dann bei ihrer Vergrößerung emporsteigen. Läßt man nach Beseitigung der Luft aus dem Holze in den Rezipienten wieder Luft eindringen, so begibt sich in das Holz statt der früheren Luft etwas Wasser, wodurch das Holz natürlich schwerer, und bisweilen so schwer geworden ist, daß es nicht mehr, wie früher, schwimmt.

Auf diese Weise kann man Hölzer mit verschiedenen Farben oder mit Stoffen versehen, welche ihnen eine größere Dauer und Festigkeit geben, sie vor der Fäulniß schützen, und es hindern, daß sie sich verziehen. Wird die Luft aus färbenden Flüssigkeiten durch Verminderung des auf ihnen lastenden Druckes entfernt, so dringt der Farbestoff derselben in die Zeuge besser ein.

12) Daß eine luftleere Glasugel leichter ist, als eine luftgefüllte, ist wohl selbstverständlich. Durch das Erfüllen derselben Uugel mit verschiedenen Luftarten, und das Abwägen der gefüllten, läßt sich das spezifische Gewicht der Luftarten bestimmen.

13) Wenn Körper durch Berührung mit der atmosphärischen Luft leicht in Gährung übergehen, und so dem Verderben ausgesetzt sind, so kann man dieses dadurch verhüten, daß man sie in luftleere Räume einschließt. Nach dem Verfahren von Appert kann man Fleisch, Gemüse und andere Gegenstände für viele Jahre brauchbar erhalten. Auch bei Sämereien ist dieses der Fall. Man hat bei ägyptischen Mumien Weizenkörner gefunden, welche noch nach Jahrtausenden keimfähig waren.

14) Es läßt sich auch leicht zeigen, daß die atmosphärische Luft wegen ihres Sauerstoffgehaltes zum Verbrennen und zum Leben unbedingt erforderlich ist; denn ein unter dem Rezipienten befindliches Licht verlöscht viel schneller beim Entleeren, als wenn es ohne Entleerung des Rezipienten in ihm brennt.

Bringt man ein lebendes Thier, z. B. einen kleinen Vogel, unter den Rezipienten, so sinkt er beim Entleeren bald um und stirbt, wenn man ihm nicht rechtzeitig wieder Luft zukommen läßt. Warmblutige Thiere sterben natürlich eher, als kaltblutige, weil bei letzteren der Athmungsprozeß weniger lebhaft ist, als bei ersteren. Ebenso gibt ein Feuerschloß unter dem entleerten Rezipienten keinen Funken.

15) Wenn man unter den Rezipienten ein aufgezogenes Schlagwerk auf eine weiche Unterlage, z. B. auf Watte, setzt, oder es an einen

Faden aufhängt; so hört man den Schall um so weniger, je mehr man die Luft herausgeschafft hat. Dies ist ein Beweis davon, daß die Luft die Verbreitung des Schalles, also auch die Möglichkeit seiner Wahrnehmung vermittelt. Ohne Luft würden wir den Gesang der Nachtigall nicht hören, ohne Luft wäre der Genuß der Harmonie der Töne unmöglich, ohne Luft wäre uns die Mittheilung durch die Lautsprache versagt; ohne Luft wäre es über der Erdoberfläche still und lautlos, und nur durch die anderen Körper wäre noch eine nothdürftige Vermittelung der Schallbewegungen möglich.

Es gibt noch eine ganze Reihe anderer Beobachtungen, welche durch die Luftpumpe vermittelt werden, und ebenso interessant, als wichtig sind, wir wollen sie aber lieber für die einzelnen Abschnitte aufsparen, in welche sie sachgemäß gehören.

Das Athmen.

Wir haben bei allen Versuchen, welche wir mit der Luftpumpe anstellten, das Bestreben der Luft zur Herstellung des gestörten Gleichgewichtes in Räumen, welche mit einander verbunden sind, kennen gelernt. Eben darauf beruht auch das Athmen, bei welchem allerdings auch noch andere Erscheinungen eintreten, auf welche wir aufmerksam machen wollen.

Erweitert man durch die Muskelkraft den inneren Raum des Brustkastens, so dehnt sich die Luft in ihm aus, wird dünner, hat eine geringere Spannkraft, als die äußere, und daher dringt die letztere ein; drückt man den Brustkasten zusammen, so wird die Luft in ihm dichter, und ein Theil derselben kommt heraus.

Von der Luftröhre führen zwei Aeste in die beiden Lungenflügel, welche an der Wand der Brusthöhle dicht anliegen; jeder Ast theilt sich wiederholt bis in die feinsten Aestchen, deren verzweigte Enden die hohlen Lungenbläschen sind, welche durch die Aufnahme von Luft sich erweitern, aber wegen ihrer faserigen und elastischen Wand sich von selbst wieder verengen können. Das Einathmen wird nur durch die Muskelthätigkeit des Brustkastens bewirkt, das Ausathmen vorzüglich durch die Elastizität der Lunge.

Aehnlich wie mit dem Athmen verhält es sich beim Trinken, nur daß statt Luft ein Theil der in den Mund gebrachten Flüssigkeit hineingetrieben wird, wozu allerdings dann auch die Muskeln das ihrige beitragen, welche stoßweise in Thätigkeit gesetzt werden. Es giebt freilich auch Menschen, welche, wie man zu sagen pflegt, ein so gutes Gefälle oder einen so weiten Schlund haben, daß sie die Flüssigkeit ununterbrochen durch den Schlund hineinlaufen lassen, während die Luft darüber durch die Luftröhre herauskommt.

Ebenso findet das Tabakrauchen nur durch das Bestreben zur Herstellung des gestörten Gleichgewichtes statt, denn bei dem Saugen in

dem Rohre der Pfeife oder zwischen den Blättern der Cigarre wird eine Luftverdünnung bewirkt, die äußere Luft drückt den Rauch dorthin und in den Mund, damit er dort einen Nervenreiz erzeuge, von dem man sagt, daß er ein Genuß sei, nachdem man über die ersten von der Natur gesetzten Schwierigkeiten glücklich hinweggekommen ist, und endlich wird er aus dem Munde als einen nicht eben sehr naturgemäßen Schornsteine durch einen Muskeldruck ins Freie geblasen, um noch die Luft für die Nichtraucher mit Nikotin, welches auch im Rauche nachgewiesen ist, zu vergiften.

Wenn viele Menschen einige Zeit in einem Raume, z. B. im Theater, beisammen sind, so verzehren sie von der eingeathmeten atmosphärischen Luft eine große Menge ihres Sauerstoffes, wodurch das Blut in den Lungen geröthet wird und athmen viel kohlensaures Gas nebst Wasserdampf und dem eingeathmeten Stickstoffe aus. Daß man wirklich kohlensaures Gas ausathmet, ist schon früher nachgewiesen worden. Wenn man aber dieselbe Luft wiederholt ein- und ausathmet, so enthält sie viel weniger von diesem Gase, als das verschwundene Sauerstoffgas hätte erzeugen müssen, so daß in diesem Falle von den Lungen etwas Kohlenäure zurückgehalten worden ist.

Es ist natürlich, daß die über die Menge der von einem Menschen ein- und ausgeathmeten Luft angestellten Versuche zu ziemlich verschiedenen Resultaten geführt haben, weil das Athmen von verschiedenen Personen mit verschiedener Lebhaftigkeit geschieht, und auch die Menge der jedesmal eingeathmeten Luft verschieden ist. Wir wollen hier das Mittel aus mehren Beobachtungen mittheilen.

In der Lunge befinden sich nach möglichst tiefem Einathmen bei einem erwachsenen Manne überhaupt 179 Kubitzolle Luft, beim möglichst vollständigen Ausathmen verschwinden 121 Kubitzolle, so daß noch 58 Kubitzolle darin verbleiben, um durch die bereits früher erwähnte Diffusion mittelst der Lungenzellen die obige Verwandlung hervorzubringen und zu erleiden.

Hierbei ist die ganze dem Athmungsprozesse unterworfenen Luftmenge von ziemlicher Bedeutung. Man kann bei einem erwachsenen und kräftig athmenden Menschen auf jeden Athemzug 15 Kubitzolle, also etwa $\frac{1}{4}$ der in der Lunge verbleibenden Luft rechnen, die sowohl ein-, als größtentheils ausgeathmet werden. Nimmt man in der Minute 24 Athemzüge an, so kommen auf einen Tag 518400 Kubitzolle oder 300 Kubikfuß oder 651 Loth Luft, welche eingeathmet worden ist. Die ausgeathmete beträgt dem Raume nach etwa $\frac{1}{5}$ weniger. (Die Durchschnittszahl aus einigen französischen Beobachtungen ergibt als täglichen Verbrauch nur etwa 229000 Kubitzolle).

Mit diesen 518400 Kubitzollen atmosphärischer Luft sind 79 Prozent oder 409336 Kubitzolle Stickstoff und 21 Prozent oder 108864 Kubitzolle Sauerstoff eingeathmet worden. Jener wird wieder aus-

geathmet, dieser aber nur zum Theil; denn ein Theil davon dient dazu mit dem Kohlenstoffe des Blutes sich zu verbinden, den Kohlenstoff also zu oxydiren und kohlensaures Gas zu bilden; ein anderer Theil verbindet sich mit dem Wasserstoffe des Blutes zu Wasser oder eigentlich zu Wasserdampf, welche beide ausgeathmet werden.

Die Entwicklung der Kohlen Säure ist bei verschiedenen Menschen und bei demselben Menschen zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten, bei verschiedenen Nahrungsmitteln und selbst sogar Gemüthsbewegungen sehr verschieden und aus 14 Beobachtungen für je 100 Maß einmal eingeathmeter Luft 6,3 Maß gefunden worden. Während die eingeathmete atmosphärische Luft nur 0,0004 Kohlen Säure enthält, sind in der ausgeathmeten 0,04 vorhanden. Die Luft verliert durch das Einathmen etwas mehr an Sauerstoff, als die ausgeathmete an Kohlenstoff zugenommen hat.

Die Menge des ausgeathmeten Wasserdampfes ist stets recht bedeutend. Für einen erwachsenen Mann kann man auf 24 Stunden mehr als ein Pfund (5760 Gran), im Mittel wohl 7963 Gran Wasser rechnen, dem natürlich auch thierische Stoffe, je nach dem Gesundheitszustande, beigemischt sind.

Bei dem in den Lungen stattfindenden Stoffwechsel wird:

1) Das dunkle, venöse Blut des Körpers, welches aus der rechten Herzkammer durch die Lungenarterie mit ihren äußerst zarten Verzweigungen in sie gelangt, roth gefärbt, indem es von der in den Lungenzellen enthaltenen Luft nur durch sehr dünne Häutchen getrennt ist, und es geht dann durch die Lungenvenen als hellrothes arterielles Blut in die linke Seite des Herzens, von wo es durch die Arterien oder Schlagadern in den ganzen Körper geleitet wird. Es wird sogar soeben geronnenes Blut in der atmosphärischen Luft noch purpurroth gefärbt, indem es einen Theil ihres Sauerstoffes in Kohlen Säure verwandelt, ohne das Volumen zu verändern.

2) Eine zweite Wirkung dieses Stoffwechsels ist die Erzeugung von Wärme, welche außerdem und vorzüglich durch die Umwandlung der genossenen Nahrungsmittel hervorgebracht wird, so daß sie beim Menschen in allen Zonen 37° C. (nahe 30° R.), bei den Vögeln 40 bis 41° , bei den nicht viel Sauerstoff verbrauchenden Fischen und Amphibien aber wenig mehr beträgt, als die des umgebenden Wassers oder der Luft. Das nach den Lungen durch die Venen strömende dunkle Blut ist etwas wärmer, als das aus ihnen fließende rothe arterielle, so daß in den Lungen eine kleine Abkühlung durch die eingeathmete Luft stattfindet, und überdies enthält jenes mehr Sauerstoff, dieses mehr Kohlen Säure.

Daß der mit Bewegung verbundene Aufenthalt im Freien, namentlich in kalter Luft, die Ekflust vermehrt ist klar, weil wir bei lebhafterem Athmen mehr Sauerstoff verzehren und somit der Stoffwechsel ein leb-

hafterer ist. Die Nordländer bedürfen, da sie mehr Wärme an die Umgebung abgeben, zu ihrer Nahrung vorzüglich des Fleisches und der Fette; die Südländer oder vielmehr die Bewohner heißerer Gegenden mehr einer vegetabilischen Kost und einer freien Ausdünstung des Körpers, welche eine Herabsetzung der Temperatur des Körpers bewirkt.

Ungeachtet der so wesentlichen Veränderung der atmosphärischen Luft durch den Athmungsprozeß wird, wenn auch noch so viele Menschen zusammen in einem abgeschlossenen Zimmer oder Saale sind, das Verhältniß des Sauerstoffes zum Stickstoffe gar nicht geändert. Der verbrauchte Sauerstoff wird sofort unmittelbar durch den unerschöpflichen Vorrath aus der Atmosphäre ersetzt, weil ja jedes Gas in einem ihm zugänglichen Raume sich ohne Rücksicht auf ein anderes Gas für sich überallhin ins Gleichgewicht setzt, indem die Spannkraft an verschiedenen einander zugänglichen Stellen eines Raumes nicht verschieden sein kann. Die Luft dringt aber in ein Zimmer nicht bloß durch die feinsten Ritzen an Thüren und Fenstern, sondern selbst durch die dicksten Mauern. Man hat Luft über den Köpfen der Zuschauer in der Oper zu Paris, man hat sie in verschiedenen Höhen der freien Atmosphäre aufgefangen und hat überall dasselbe Mischungsverhältniß gefunden. Nur der Gehalt an Kohlensäure hat etwa von 2 bis 10 Tausenteln geschwankt.

Wenn nun dessenungeachtet das Athmen in menschen erfüllten und nicht gehörig gelüfteten Räumen mit der Zeit unangenehm wird, so rührt dies von den gleichzeitig ausgeathmeten und ausgedünsteten anderen Stoffen her, welche den Gesetzen der Gase nicht unterworfen sind, also ohne besonderen Luftzug den Ort ihrer Entstehung nicht verlassen, höchstens in dem oberen Theile des Raumes wegen ihrer größeren Wärme sich mehr ansammeln, als in den unteren Theilen.

Wenn wir auch für eine kurze Zeit den Vorrath an Sauerstoff in der ganzen Atmosphäre für unerschöpflich ansehen dürfen, so ist es bei der ungeheuren Menge von Thieren nicht auf die Dauer. Es ist aber in der Natur für die Erhaltung aller Wesen gesorgt, weil die Pflanzen Sauerstoff ausathmen und die von den Thieren ausgestoßene, für sie tödtliche Kohlensäure einathmen.

Ein kräftiges Athmen in gesunder Luft ist eine der wesentlichsten Bedingungen für unser Wohlbefinden, und daher sollte jede unnatürliche Beengung der Brust sorgfältigst vermieden und darauf gehalten werden, daß man, namentlich bei einer sitzenden Lebensweise, öfters in tiefen langen Zügen athmet, um der Beengung der Brust zu begegnen.

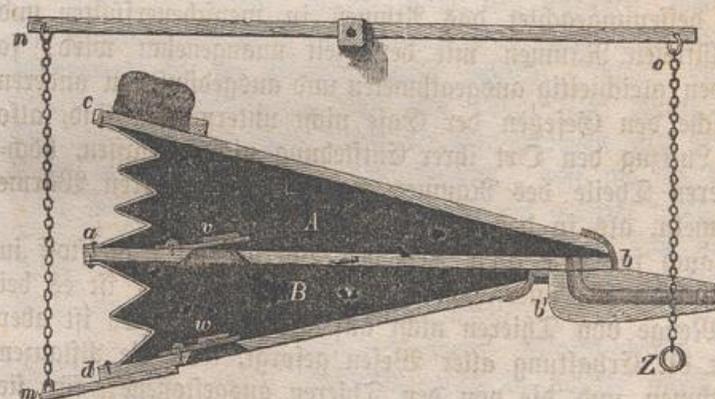
Blasebälge.

Wir haben schon bei Anführung der Zylindergebläse auf das technisch wichtige Mittel einen Strom von atmosphärischer Luft zum Unter-

halt eines Feuers herzustellen, hingewiesen. Die Zylindergebläse sind aber theils zu kostspielig, theils nicht immer unumgänglich nothwendig, da es in vielen Fällen nicht darauf ankommt, einen sich fortwährend gleichbleibenden Strahl von Luft zu erhalten. Wir haben für häusliche und andere Zwecke den einfachen, den doppelten Blasebalg und das Trommelgebläse.

1) Der einfache oder Hand-Blasebalg besteht aus zwei spitz zulaufenden Brettchen oder Brettern, welche seitwärts und an der breiten Kante mit nachgebendem, luftdicht befestigtem und in Falten gelegtem Leder besetzt sind; das eine Brettchen hat ein nach innen sich öffnendes Klappenventil und das spitze Ende beider läuft in eine Metallröhre aus.

Werden die Brettchen von einander gezogen, so wird die Luft im Innern weniger dicht und hat eine geringere Spannkraft, als die äußere; deshalb drückt die äußere atmosphärische Luft das Ventil auf und der innere Raum füllt sich mit Luft von derselben Dichtigkeit. Werden nun die beiden Brettchen etwas kräftiger zusammengedrückt, so wird die innere Luft dichter, weil das Ventil zufällt und durch diese Luft auch zgedrückt wird, und es strömt aus dem Rohre ein um so kräftigerer Luftstrahl, je mehr man drückt. Auf diese Weise werden durch Wiederholung des Verfahrens unterbrochene Luftströme ins Feuer gebracht.



(Fig. 111.)

2) Der doppelte Blasebalg leidet weniger an den Unterbrechungen, durch welche der Erfolg eines früheren Stoßes zum Theil aufgehoben wird, ehe der neue beginnt. Er besteht (Fig. 111) aus zwei Kammern A und B, welche durch drei solche spitz zulaufende Bretter *cb*, *ab* und *db'* und das nöthige Leder gebildet werden. Das erste und oberste dieser Brettchen ist irgendwie beschwert, in dem zweiten und dritten sind nach innen sich öffnende Klappenventile *w* und *v*; das Rohr zum Blasen geht nur von der oberen Kammer A aus.

Um den Blasebalg angemessen zu handhaben, ist das mittelfte Brett *ab* irgendwie befestigt, von dem hervorragenden Ende *m* des untersten geht eine Kette nach dem einen Endpunkte einer um einen Punkt drehbaren und über dem Blasebalge befindlichen Stange *no*, von dem an-

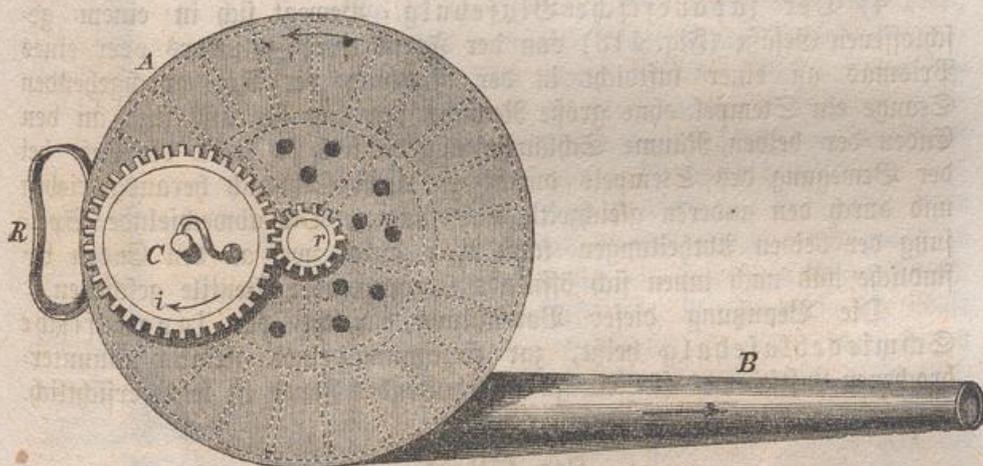
deren Ende o derselben geht eine zweite Kette oder ein Strick mit einem Handgriffe Z herab.

Zieht man bei Z herab, so geht das unterste Brett bei geschlossenem Ventil aufwärts, die Luft in der Kammer B wird zusammengedrückt, sie drückt das Ventil v nach A auf und verdichtet sich hier. Hört man auf zu ziehen, so geschieht zweierlei:

1) das unterste Brett fällt herab, wodurch die Luft in B verdünnt, das Ventil w durch die äußere Luft aufgestoßen und so die Kammer B gefüllt wird;

2) das oberste und beschwerte Brett eb kommt herab, verdichtet die Luft in A, wodurch das Ventil v zugedrückt und ein Luftstrahl aus dem Rohre gepreßt wird.

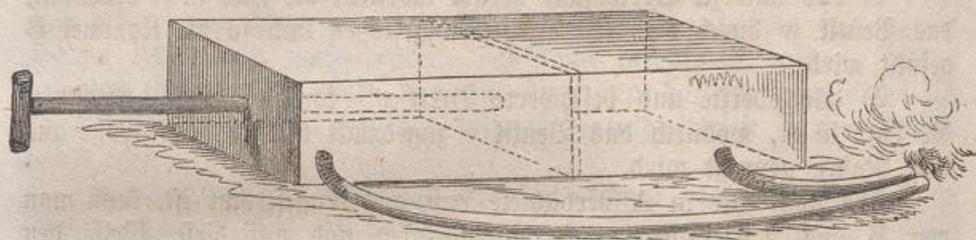
Ehe noch alle in A verdichtete Luft aus A geströmt ist, kann man von B aus wieder neue Luft hineindrücken und auf diese Weise den Luftstrahl ununterbrochen, wenn auch in nicht immer gleicher Stärke erhalten.



(Fig. 112.)

3) Für den Handgebrauch ist das Trommelgebläse ganz geeignet, indem es auch einen fortwährenden Luftstrahl hervorzubringen gestattet. In Fig. 112 bedeutet A eine zylindrische hohle Trommel, an welche sich das spitz zulaufende Ausflußrohr B anschließt; an der drehbaren Ase ist auf zwei kreisförmigen Ringen ein Schaufelrad, ähnlich wie bei den Raddampfern, angebracht; außerhalb ist an dieser Ase ein kleines gezahntes Rad (Getriebe) befestigt, dessen Zähne durch ein größeres gezahntes Rad C, welches mittelst einer Kurbel um einen bestimmten Punkt an der Außenfläche der Trommel gedreht werden kann, fortgeschoben werden. Außerdem ist der Bequemlichkeit wegen noch ein Handgriff R angebracht.

Dreht man das Rad um C in der Richtung des Pfeiles bei i, so dreht sich das innere Schaufelrad in entgegengesetzter, wie es der Pfeil bei i' anzeigt, und jede der Schaufeln stößt die vor ihr befindliche Luft in und durch die Röhre B. Damit aber der Abgang der Luft in der Trommel sofort wieder ersetzt werde, hat dieselbe eine Menge kleinerer Oeffnungen, wie es die dunkel gezeichneten Kreise zeigen.



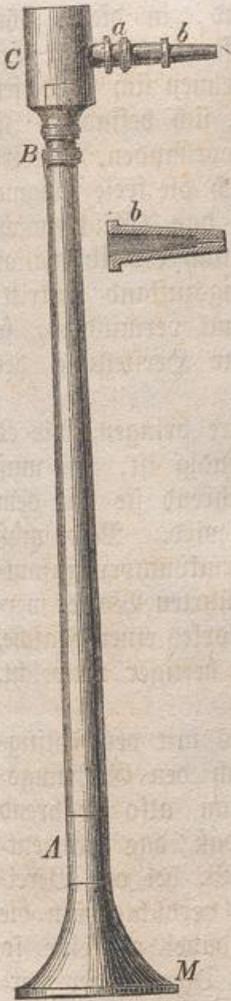
(Fig. 113.)

4) Der japanesische Blasebalg. Bewegt sich in einem geschlossenen Gefäße (Fig. 113) von der Form eines Zylinders oder eines Prismas an einer luftdicht in der Richtung der Axe durchgehenden Stange ein Stempel ohne große Reibung hin und her und sind an den Enden der beiden Räume Schläuche angebracht, so wird die Luft bei der Bewegung des Stempels durch den einen Schlauch herausgetrieben und durch den anderen gleichzeitig eingesaugt. Die abwechselnde Speisung der beiden Abtheilungen kann auch durch zwei an den Enden befindliche und nach innen sich öffnende Klappen oder Ventile geschehen.

Die Benutzung dieser Vorrichtung, welche der japanesische Schmiedebalsebalg heißt, zur Erzeugung eines ziemlich ununterbrochenen Luftstromes für ein zu unterhaltendes Feuer ist leicht ersichtlich.

Das Löthrohr.

In vielen Fällen ist ein feiner Luftstrahl erforderlich zur Hervorbringung einer bedeutenden Hitze an einer kleinen Stelle, wie z. B. beim Zusammenlöthen zweier Metallstückchen. Eine sehr große Hitze kann allerdings wohl erzeugt werden, wenn man den durch ein hydraulisches Gebläse erzeugten Strahl von Knallgas anzündet und noch ein sehr intensives Licht, wenn man diesen Strahl auf Kreide oder frisch gebrannten Kalk leitet; aber theils ist dieses Verfahren ziemlich umständlich, theils für gewöhnliche Zwecke nicht erforderlich, sondern man nimmt das höchst einfache Löthrohr. Es besteht (Fig. 114) aus einem zylindrischen oder etwas kegelförmig zulaufenden Metallrohre AB, bei A ist ein Mundstück angeschraubt, welches den Mund ringsum einschließt, bei B ein etwas weiterer zylindrischer Behälter C, welcher seitwärts ein kurzes Ansatzrohr a mit einer fein durchbohrten Platinspitze trägt. C dient



(Fig. 114.)

Spitze ist leuchtend, die Spitze selbst aber bläulich und oxydirt; nur der gegen die Mitte des ganzen Kegels befindliche leuchtende Theil reduziert und kann allein auch zum Löthen gebraucht werden.

Der gelbe Flammenkegel aus Kohlenstoff nimmt den Sauerstoff der Atmosphäre auf und verbrennt zu Kohlensäure; ist aber ein Metalloxyd in ihm, so entzieht er diesem den Sauerstoff und das reine Metall bleibt zurück.

Gleichgewicht absorbirter Gase.

Endlich sind noch einige Bemerkungen über das Gleichgewicht der von festen und tropfbaren Körpern in ihr Inneres aufgenommenen oder absorbirten Gase zu machen.

Sind Körper der allgemeinen Massenanziehung oder auch der chemischen Anziehung gefolgt, so ist es natürlich, daß sie, wenn sie in

dazu, um die beim Blasen sich etwa ansammelnde Feuchtigkeit aufzunehmen.

Um einen andauernden Luftstrahl zu erhalten, legt man das Mundstück so an, daß es gut an die Lippen schließt, bläst die Backen auf und treibt durch die Spannung der Backenmuskeln, nicht aber unmittelbar durch die Lungen, die Luft hinaus, wobei man ungehindert durch die Nase fortathmen kann.

Geht nun der Luftstrahl durch die Flamme einer Lampe, so wird sie seitwärts gebogen, läuft in eine Spitze aus und verliert ihre Leuchtkraft fast vollständig. Die Wirkungen dieser Stichtlamme sind aber nicht nur in ihren Theilen, sondern auch nach jeder Stelle, in welcher sie erzeugt wird, verschieden. Hält man die Spitze nur ein wenig in die Flamme unmittelbar über das Docht, so erhält man die sogenannte Oxydationsflamme; hält man aber die Spitze des Löthrohres nur dicht an die Flamme, so bekommt man die Reduktionsflamme. Durch jene kann man ein Metall oxydiren, z. B. Blei in Bleioxyd verwandeln, durch diese das Metall reduzieren, also aus dem Oxyd das Metall wieder herstellen. In jenem Falle bildet sich ein fast ganz blauer Keil, bei welchem die vollständige Verbrennung der Gase gegen die Spitze stattfindet, so daß dort wegen der großen Hitze ein Metall verbrennt, d. h. oxydirt. In diesem Falle ist der blaue Keil kürzer, sein umgebender Mantel und eine Strecke von der

das Innere von massigeren Körpern eingedrungen sind, in diesen Körpern in einem verdichteten Zustande vorkommen müssen; aber ihre Expansivkraft hat sich dadurch nicht vermehrt, und sie dehnen sich in diesen Körpern nicht aus, selbst wenn sie in der freien Luft sich befinden. Ist nun eine Verwandtschaft des Körpers zu dem Gase vorhanden, so wird die Absorption von Gas so lange stattfinden, bis endlich die freie Spannkraft des verschluckten Gases dem äußeren Drucke das Gleichgewicht hält. Wird der äußere Druck vermehrt, so beginnt auch die Absorption oder Verschluckung wieder, bis ein neuer Sättigungszustand eintritt; wird aber nach erfolgter Sättigung der äußere Druck vermindert, so entweicht ein Theil des absorbirten Gases bis zur Herstellung des Gleichgewichtes.

Will man in das Wasser z. B. viele Kohlensäure bringen, wie es bei der Anfertigung künstlicher Mineralwässer nothwendig ist, so muß man diese Luft einem größeren Drucke aussetzen, während sie mit dem Wasser in möglichst vielseitige Berührung gebracht wird. Man muß zu diesem Zwecke die entwickelte Kohlensäure durch Druckpumpen zusammendrücken und in vielen kleinen Strahlen im ungerührten Wasser vertheilen. Es ist natürlich, daß bei der Lüftung des Korkes einer Flasche, welche kohlenfaures Wasser absperrt, das Gas um so heftiger entweicht, je mehr es zusammengedrückt worden war.

Es ist übrigens hierbei gleichgiltig, wie das Gas mit der Flüssigkeit zusammengebracht worden ist; es kann auch durch den Gährungsprozeß in ihm selbst erzeugt worden sein. Wenn man also während des Gährungsprozesses die Flüssigkeit so absperrt, daß das sich entwickelnde Gas nicht mehr entweichen kann, wie es z. B. bei der Bereitung des Bieres und des Champagners geschieht; so verdichtet sich die Kohlensäure im Innern der Flüssigkeit und erlangt dabei oft eine so große Expansivkraft, daß sie die Flaschen zersprengt. Die bei der Verminderung des äußeren Druckes aus der Flüssigkeit aufsteigenden Gasblasen wachsen nach oben hin, theils weil der Druck der Flüssigkeit nach oben auf sie sich vermindert, theils weil sie beim Aufsteigen andere Gasblasen in sich aufnehmen. — Die Regentropfen werden beim Fallen um so größer, je weiter sie in dunstreicher Luft herabkommen.

Die Flüssigkeiten verlieren einen Theil des absorbirten Gases, wenn sie fest werden, daher die Luftblasen z. B. im Eise; sie verlieren es aber ganz, wenn sie hinreichend lange gekocht werden, wozu allerdings in manchen Fällen Stunden gehören, wie z. B. beim Quecksilber, was bei der Anfertigung der Barometer und Thermometer höchst wichtig ist.

Wenn ein Körper, welcher ein Gas absorbirt hat, mit einem andern Gase in Berührung gebracht wird, so tritt bis zur Herstellung des stabilen Gleichgewichtes, d. h. bis zur Ausgleichung der Expansivkraft beider, eine gleichmäßige Mischung des absorbirten und des freien Gases ein.

Vierter Abschnitt.

Gleichgewicht fester Körper in flüssigen.

Gleichgewicht in luftigen Körpern.

Wägt man eine mit atmosphärischer Luft erfüllte Glasugel, so ist sie schwerer, als wenn die Luft aus ihr irgendwie geschafft worden ist. Wenn der hohle Raum der Uugel einen Kubikfuß beträgt, so ist der Unterschied bei 0 Temperatur etwa 2,7 Loth; also wiegt ein rheinländischer Kubikfuß atmosphärischer Luft 2,7 Loth (eigentlich 656,47 Gran, 1 Liter fast genau 1,3 Gran). Denkt man sich nun eine Luftugel gerade von einem Kubikfuß Rauminhalt innerhalb der freien Atmosphäre in vollkommener Ruhe, so trägt die übrige Luft, welche jene Uugel umgibt, gerade ihr ganzes Gewicht, mit welchem sie nach der Erdoberfläche hin gelangen will.

Wäre statt der Luftugel eine andere Uugel von größerem Gewichte und gleichem Rauminhalte vorhanden, so würde sie von der umgebenden Luft nicht mehr getragen, sondern würde auf eine Unterlage drücken, aber nur mit dem Mehrgewichte, weil ja die atmosphärische Luft von ihr immer noch, wie vorhin, 2,7 Loth trägt.

Wäre eine Uugel von demselben Rauminhalte, aber kleinerem Gewichte in der ruhigen atmosphärischen Luft vorhanden, wie wenn man eine Seifenblase mit der warmen und dünnen Luft aus dem Munde oder mit dem so leichten Wasserstoffgase gefüllt hätte; so müßte sie sogar emporsteigen, weil der Druck der umgebenden Luft von unten nach oben größer ist, als der durch ihr Gewicht nach unten ausgeübte.

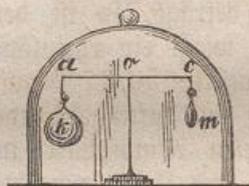
Aus dieser Betrachtung ergibt sich, daß jeder Körper von seinem Gewichte in der Luft so viel verliert, als das Gewicht der von ihm verdrängten Luft wiegt.

Ein jeder Körper kann also nur dann das ihm zukommende ganze Gewicht, welches man sein absolutes Gewicht nennt, zeigen, wenn er im luftleeren Raume abgewogen wird; denn in der Luft zeigt er sich stets leichter, als er ist und verliert um so mehr von seinem absoluten Gewichte, je größer sein Volumen bei einem bestimmten Gewichte ist.

Hat man z. B. mit einem Pfundgewichte von Eisen ein Pfund Holz in der Luft abgewogen, so hat man eigentlich weder ein Pfund Eisen, noch ein Pfund Holz, noch überhaupt gleiche Massen; denn jeder der beiden Körper hat in der Luft von seinem Gewichte verloren, ist also schwerer, als ein Pfund; aber das Holz hat mehr verloren, als das Eisen, weil es wegen seines größeren Volumens eine größere Menge Luft verdrängt, als dieses. Brächte man beide, die in der Luft einander

im Gleichgewichte hielten, in einen luftleeren Raum, so müßte die Holz-
kugel sinken.

Kauft man also ein Pfund Zucker, so hat man mehr als ein Pfund,
weil die Luft das Gewicht des Zuckers mehr erleichtert, als das Auflege-
gewicht. Da aber der Kaufmann beim Einkufen denselben Vortheil
genießt, so wird der Nachtheil beim Verkaufen ausgeglichen. — Uebrigens
ist der Unterschied zwischen dem absoluten Gewichte eines Körpers und
seinem relativen in der Luft dann, wenn er sehr wenig dicht ist, gar
nicht so unbedeutend.



(Fig. 115.)

Hätte er auch nur ein um 3 Kubikfuß größeres
Volumen, als das Auflagegewicht, so würde er
in der That 3, 2, 7 oder 8, 1 Loth schwerer sein,
als die Waage zeigt.

Den soeben geschilderten Einfluß der atmo-
sphärischen Luft auf das Gewicht der Körper kann
man an einem kleinen Instrumente (Fig. 115)
sehr gut erkennen, welches eine kleine Gleichwaage
ist, an deren einem Schenkel bei a man eine nicht
große Kugel k von recht dünnem Glase mit einem kleinen Körper m
von einem recht schweren Metalle am anderen Schenkel c in der Luft
zuerst ins Gleichgewicht gesetzt hat. Wenn man dann das Ganze unter
eine Glasglocke setzt und aus dieser die Luft nach und nach fortschafft,
so sinkt die Kugel um so tiefer, je mehr dieses geschieht. Hierbei wird
das kleine Gegengewicht zwar auch schwerer, aber wegen seines kleineren
Volumens um weniger, als die Glaskugel. Die Tiefe des Sinkens gibt
auch einigermaßen den Grad der Luftverdünnung an, wenn man an der
Waage einen Zeiger für den damit zu messenden Ausschlag hat. Das
Instrument würde also die Dichtigkeit der Luft messen lassen und heißt
deshalb Waage-Manometer oder auch Dashmeter, Dichtigkeitsmesser.

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß das Fallen und Steigen eines
Körpers in der Luft unter übrigens gleichen Umständen, namentlich bei
bestimmter Form des Körpers, von dem Unterschiede seines absoluten
Gewichtes und des Gewichtes der von ihm verdrängten Luft abhängig ist.
Es muß demnach eine Bleikugel in der Luft schneller fallen, als eine
Holzkugel von demselben absoluten Gewichte, und jene auch schneller, als
diese, wenn sie einerlei Größe haben, obwohl sie in beiden Fällen im
leeren Raume gleich schnell fallen.

Soll ein Körper fallen, so muß sein Gewicht größer sein, als das
der verdrängten Luft; soll er steigen, so muß es umgekehrt sein und er
wird um so schneller steigen, je mehr das Gewicht der Luft das des Körpers
übertrifft.

Feste Körper schweben in der Luft nur dann, wenn sie äußerst fein
zertheilt vorkommen, wie z. B. der Stubenstaub, auch Sonnenstaub ge-
nannt, weil man ihn, wenn die Sonnenstrahlen auf ihn scheinen, durch

deren Zurückwerfung erkennt, oder wie der Blütenstaub von Blumen, welcher sich uns durch den Geruch geltend macht.

Sollen größere feste Körper in der Luft schweben oder steigen, so muß man sie entweder mit leichteren, als die atmosphärische Luft ist, verbinden oder sie zu diesem Zwecke mit ihnen füllen.

Als leichtere Luft dient entweder erwärmte atmosphärische Luft oder eine andere Luftart, wie Leuchtgas und Wasserstoffgas, welches letztere in seiner Reinheit etwa 14,5 mal leichter, und somit die leichteste aller Luftarten ist.

Wasserstoff läßt sich sehr leicht dadurch entwickeln, daß man mit Wasser verdünnte Schwefel- oder Salzsäure auf Zinkspähne gießt. Es verbindet sich nämlich der Sauerstoff des Wassers mit dem Metall zu einem weißlichen Pulver (Zinkoxyd) und der Wasserstoff entweicht, so daß man ihn auffangen kann. Angezündet brennt er mit einer matten bläulichen Farbe und gibt viele Wärme.

Wenn man aus dünnem Papiere einen hohlen Ball, dem man verschiedene Formen geben kann, zusammenklebt, unten eine etwas größere Oeffnung läßt, die durch einen Reifen offen erhalten wird, an diesen Reifen in die Mitte eine Spiritusflamme oder ein kleines Kohlenbecken anbringt; so wird die Luft in dem Balle erwärmt und erfüllt ihn endlich, wenn er vorher auch ganz schlaff war oder es wird ein Theil der Luft herausgetrieben, indem die warme und leichte in ihm emporsteigt. Dadurch wird der Ball mit der in ihm enthaltenen Luft leichter, als die von ihm verdrängte und kältere, so daß er in ihr nicht bloß allein steigt, sondern auch im Stande ist, angehängte schwerere Körper mit sich empor zu nehmen.

Auf diese Weise brachten die Brüder Montgolfier bereits im Jahre 1782 Luftbälle zustande, von denen der erste größere von 35 Fuß Durchmesser 450 Pfunde wog, noch 400 Pfunde Last trug, 1000 Fuß in die Höhe stieg und in einer Entfernung von 12000 Fuß wieder herabkam.

Den 19. September 1783 ließ der jüngere der beiden Brüder, Joseph, zu Versailles einen Ball mit einem angehängten Käfige aufsteigen, worin ein Hammel, eine Ente und ein Hahn saßen, welcher in einer Entfernung von 1700 Toisen so sanft niederfiel, daß die Thiere vollkommen unbeschädigt blieben und der Hammel freßend angetroffen wurde.

Schon am 15. Oktober 1783 wagte es Pilatre de Rozier, Vorsteher des Museums, selbst mit 84 Fuß hoch zu steigen und fast 5 Minuten oben zu bleiben, indem er durch Vermehrung oder Verminderung des Feuers sich bald hob, bald senkte; aber der Ball wurde noch durch einen Strick festgehalten.

Endlich am 21. November bestieg er mit noch einem Herrn eine Maschine von 60000 Kubikfuß Inhalt und 1600 bis 1700 Pfund Ge-

wicht und kam nach 25 Minuten in einer Entfernung von 5000 Toisen wohlbehalten zur Erde.

Inzwischen hatten unter der Leitung des Professors der Physik Charles die Mechaniker Gebrüder Robert einen Ball aus Taffent gemacht und mit einer Harzauflösung überzogen. Sie ließen ihn allein aufsteigen; er verschwand bald in den Wolken und wurde dann 5 Lieues von Paris mit einem Risse aufgefunden, den er wohl bekommen haben mochte, weil das eingeschlossene Gas in der oberen dünneren Luft sich allzustark ausdehnen konnte.

Dessen ungeachtet stiegen Charles und der eine Robert am 1. Dezember 1783 mit einem Balle von 26 Fuß Durchmesser zu einer Höhe von 250 bis 300 Toisen; aber sie kamen nach 2 Stunden in einer Entfernung von 9 Stunden unbeschädigt zur Erde, wo Robert ausstieg. Dadurch wurde der Ball um 130 Pfunde erleichtert, und er erhob sich wieder bis zu 1500 Toisen und kam nach 35 Minuten herab, ohne daß dem Charles ein Unfall zugestoßen wäre.

Seit dieser Zeit sind unzählige Luftschiffahrten meist aus Spekulation, aber auch zu wissenschaftlichen Zwecken gemacht worden, deren Ergebnisse wir an geeigneten Orten werden kennen lernen.

In verschiedenen Kriegen hat man sich derselben bedient, um die Stellungen der Feinde zu erforschen. Hierbei ist der Umstand sehr hinderlich, daß es bis jetzt noch nicht hat gelingen wollen, dem Luftballe eine beliebige Richtung zu ertheilen. Der Luftball, welchen französische Offiziere am Tage der Schlacht von Fleurus benutzten, um die Stellung und Stärke der Oesterreicher zu erforschen, mußte wegen des widrigen Windes von 30 bis 40 Pferden gehalten werden. Man muß sich sonst der Luftströmung, in welcher man sich grade befindet, unbedingt überlassen und der Ball hat dieselbe Richtung und Geschwindigkeit, wie die Luft, so daß man von dem stärksten Sturme, in welchem man sich befindet, nichts empfindet, höchstens daß das dem Balle angehängte Schiff, in welchem man sitzt, gegen den Ball etwas zurückbleibt, weil dieser dem Winde eine größere Fläche darbietet, also stärker gestoßen wird.

Nur daran erkennt der Luftschiffer einigermaßen, ob er steigt oder fällt, daß herausgeworfene Papierschnitzchen im ersten Falle sinken, im zweiten steigen. Ein Steuerruder kann also eine Lenkung des Luftschiffes nicht bewirken, es würde höchstens eine Drehung desselben entstehen, bis es dem Winde die kleinste Fläche darbietet. Nur dadurch hat man es bis zu einem gewissen Grade einigermaßen in seiner Gewalt nach einer bestimmten Richtung zu gelangen, daß man sich bald hebt, bald senkt, weil in unsern Gegenden in verschiedenen Höhen die Luftströmungen meist nach verschiedenen Richtungen gehen. Im Jahre 1785 hatte Blanchard die Kühnheit, mit einer solchen Strömung von Dover über den Kanal nach Frankreich zu reisen und im November 1836 flog Green mit zwei

Gefährten mittelst eines mit Kohlendgas gefüllten Ballons in 19 Stunden von London bis Weilsburg. Am 16. Dezember ließ man zu Paris einen großen Ärostaten aufsteigen, der nach 22 Stunden bei Rom niederfiel, also in 1 Stunde mehr, als 10 geographische Meilen zurückgelegt hatte. Die Idee von Amerika in einem mit aller Bequemlichkeit ausgestatteten Luftschiffe nach Europa zu fahren, scheint vollkommen aufgegeben zu sein und möchte sich wegen der unsicheren Windströmungen schwieriger ausführen lassen, als eine Luftreise zwischen Japan oder China und Nordamerika. Die Höhen, bis zu welchen man gelangte, waren bisweilen sehr bedeutend. Charles Green erreichte eine Höhe von 27146 Fuß; in neuester Zeit ist man bis zu 35 oder 36 tausend Fuß gelangt; aber es ist nicht nur wegen der sehr niedrigen Temperatur, sondern besonders wegen der in diesen Höhen schon recht unbedeutenden Dichtigkeit der Luft für die Gesundheit gefährlich, indem bei Beschleunigung des Pulses ein Zustand von Kraftlosigkeit und dann sogar Bewußtlosigkeit eintritt.

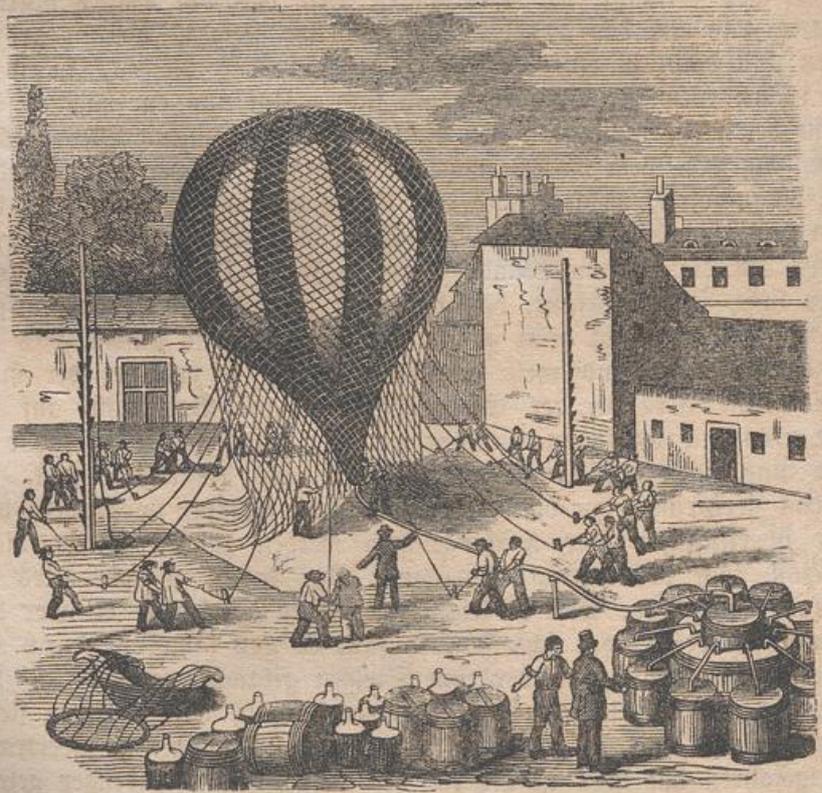
Der Ball steigt mit dem, was daran gehängt ist, um so heftiger, je mehr das Gewicht der verdrängten Luft das des Balles übertrifft. Er muß also an der Erdoberfläche schneller steigen, als in größeren Höhen und dann in einer solchen Höhe schwebend bleiben, in welcher diese beiden Gewichte einander gleich sind. Um nun ein höheres Steigen zu bewirken, muß man den Ball erleichtern können. Dies geschieht, indem man von dem mitgenommenen Ballaste, welcher aus Sand besteht, herauswirft, welches nach den Umständen wiederholt werden kann. Wenn das eingeschlossene Gas den Ball nicht nur vollständig erfüllt, sondern auf die inneren Wände einen größeren Druck ausübt, als die äußere Luft, so ist Gefahr, daß der Ball zerspringt. Er darf also an der Erdoberfläche nicht ganz gefüllt werden, weil das innere Gas beim Steigen sich mehr und mehr ausdehnen kann, je geringer der äußere Druck wird. Der an der Erdoberfläche schlaffe Ball kann auf diese Weise nicht nur vollkommen erfüllt werden, sondern es kann sogar das innere Gas einen größeren Druck ausüben, als die äußere Luft. Um nun das Zerspringen zu vermeiden, sind daher Klappen vorhanden, durch welche überflüssiges Gas herausgelassen werden kann. Bleibt hierbei der Ball noch vollkommen angespannt oder behält er sein altes Volumen, so steigt er, weil er leichter geworden ist; wird er aber beim Herauslassen des Gases schlaffer, so fällt er und kann nur durch Herauswerfen von Ballast wieder zum Steigen gebracht werden. Auf diese Weise hat man es einigermaßen in seiner Gewalt, wiederholt zu steigen und zu sinken, und so sich verschiedenen Luftströmungen anzuvertrauen. Lebensgefahren hat man in neuerer Zeit so ziemlich vorzubeugen gelernt. Um beim Herabkommen an die Erdoberfläche, wenn es nicht windstill ist, den Ball festzuhalten, wirft man Anker aus, welche aber nachgiebig, vielleicht aus Gummi gemacht sein sollten, um einen plötzlichen

Ruck zu vermeiden. Zur Sicherung der Personen dienen außerdem noch Fallschirme.

Da bei einem kugelförmigen Ballon der Rauminhalt in einem stärkeren Verhältnisse wächst, als seine Umhüllung (jener wie die dritte, diese wie die zweite Potenz des Durchmessers — $d.d.d$ und $d.d$); so wächst die Steigkraft, d. h. der Unterschied zwischen dem absoluten Gewichte der von dem Ballon aus dem Wege gedrängten atmosphärischen Luft und seinem eigenen Gewichte sammt Füllung in einem größeren Verhältnisse, als ihr Durchmesser, und daher nehmen große Bälle verhältnismäßig größere Lasten mit sich in die Höhe, als kleinere.

Nimmt man einen pariser Kubikfuß atmosphärische Luft zu 2,8 Loth, das unreine Wasserstoffgas zu 0,4 Loth, einen Quadratsfuß luftdicht gemachten Taffent zur Hülle zu etwa 1,5 Loth an, so hat ein Ballon von 10 par. Fuß Durchm. eine Steigkraft von 24 Pfunden,

= 20	=	=	=	=	=	=	255	=
= 50	=	=	=	=	=	=	4542	=
= 100	=	=	=	=	=	=	37796	=



(Fig. 116.)

Fig. 116 ist geeignet, eine Vorstellung von der ganzen Einrichtung und der Füllung eines Aërostaten zu geben. Der Ball selbst besteht

aus langen Streifen von Seidenzeug, welches zusammengenäht und sehr sorgfältig mit einer Auflösung von Kautschuk überstrichen ist, so daß die Gase nicht entweichen können. Ist er gefüllt, so hat er eine birnförmige Gestalt, deren Spitze nach unten gerichtet ist. Das Klappenventil befindet sich in dem obersten Theile, und kann durch eine Leine, welche aus dem spitzen Theile hervorkommt, geöffnet werden. Zum Schutze ist der Ball von einem dichten Netze aus dünnen Leinen umstrickt. Vor der Füllung hängt man ihn schwebend zwischen zwei Masten an einem Stricke auf. Das Füllen geschieht durch einen in dem spitzen Ende mündenden Schlauch. Hat man Kohlenwasserstoffgas oder Leuchtgas aus einer Gasanstalt, so ist das Geschäft sehr einfach; muß man sich aber selbst Wasserstoffgas entwickeln, so ist es sehr umständlich. Man braucht eine ziemliche Anzahl von Fässern, in denen es aus Eisen, Wasser und Schwefelsäure entwickelt und durch kurze Röhren behufs seiner oberflächlichen Reinigung in das Wasser in einem größeren Fasse geführt und von da erst durch einen Schlauch in den Ball geleitet wird. Damit der sich nun aufblähende Ball nicht bald in die Höhe steige, muß er durch eine Anzahl von Menschen an Leinen, die sie der Sicherheit wegen um Pfähle in der Erde geschlungen haben, gehalten werden. Schwebt er bereits frei, so hängen man die Gondel an, welche den Ballast, die Menschen u. a. aufnimmt.

Gleichgewicht fester Körper in tropfbaren.

Man kann sich innerhalb einer ruhenden Wassermenge in einem Gefäße einen Wasserkörper von irgend einer Form, z. B. der eines Eies vorstellen, und muß von diesem ruhenden Wasserkörper sagen, daß sein ganzes Gewicht, welches nach unten wirkt, aufgehoben worden ist durch den Druck des umgebenden Wassers nach oben. Statt des Wasserkörpers kann man sich irgend einen andern Körper vorstellen, wie wenn man aus 225 Gewichtstheilen weißen Waxes und 1 Gewichtstheile fein gepulvertem Zinnober ein sorgfältiges Gemenge macht, oder wenn man in Wasser soviel Kochsalz auflöst, daß ein Ei in ihm grade unter sinkt. Diese Körper haben also im Wasser ihr Gewicht vollständig verloren und werden, wenn ihre Dichtigkeit überall dieselbe ist, in jeder Lage in Ruhe oder im Gleichgewichte verharren; denn ihr Schwerpunkt ist auch der Schwerpunkt des Wasserkörpers, den sie bei ihrer jedesmaligen Lage aus dem Wege gedrängt haben: sie sind im indifferenten Gleichgewichte.

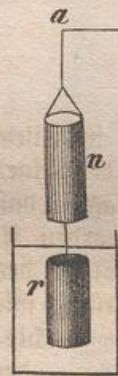
Hätte man in einer Wachskugel in der Nähe ihrer Oberfläche ein Bleikügelchen angebracht, so würde ihr Schwerpunkt nicht der Mittelpunkt sein, sondern nach dem Bleie hin liegen. Jetzt würde die Kugel nur dann im Gleichgewichte sein, wenn ihr Schwerpunkt lothrecht unter dem Schwerpunkte des Wasserkörpers läge: sie ist dann im stabilen

Gleichgewichte und muß, wenn man sie aus ihm in eine andere Lage bringt und losläßt, ebensolche Schwingungen machen, wie wenn sie in der Luft aufgehängt wäre, nur daß der Punkt, um welchen die Schwingungen geschehen, der Wasserschwerpunkt ist und somit die Kugel schwingend ihren Ort nicht verläßt, sondern sich abwechselnd nach entgegengesetzten Seiten dreht.

Wenn der im Wasser untertauchende Körper ein größeres Gewicht hat, als der verdrängte Wasserkörper, so kann das Wasser ihn nicht schwebend in sich tragen, sondern er sinkt mit der Kraft seines Mehrgewichtes; ist der untergetauchte Körper leichter, als der Wasserkörper von demselben Volumen, so muß er, wenn man ihn sich selbst überläßt, mit dem Mindergewichte steigen. Wiegt z. B. der untergetauchte Körper 7 Pfunde, der ebenso große Wasserkörper 9 Pfd., so steigt er mit einer Kraft von 2 Pfunden.

Auch während des Sinkens und Steigens bleibt der Schwerpunkt des Körpers unter dem Wasserschwerpunkte.

Es läßt sich durch einen einfachen Versuch leicht bestätigen, daß ein untertauchender Körper grade soviel von seinem absoluten Gewichte verloren hat, als der Wasserkörper von demselben Rauminhalte wiegt.



(Fig. 117.)

Man hängt (Fig. 117) an die eine Seite *a* einer Gleichwage einen hohlen Metallzylinder *n*, an ihn unterhalb mittelst eines feinen Metalldrahtes einen massiven, welcher jenen grade auszufüllen im Stande ist, und bringt beide durch ein Gegengewicht *e* auf der anderen Seite ins Gleichgewicht. Wird nun bloß der massive Zylinder *r* unter Wasser getaucht, so hebt sich die Seite *a* und man müßte von *e* Gewichtstheile wegnehmen, um aufs neue das Gleichgewicht herzustellen. Thut man aber letzteres nicht, sondern gießt man den Hohlzylinder grade voll mit Wasser, so ist das Gleichgewicht wieder hergestellt. Das eingegossene Wasser ersetzt also den Gewichtsverlust, welchen der massive Zylinder von demselben Volumen beim Untertauchen im Wasser erlitt, und das obige Gesetz ist bestätigt.

Will man den Gewichtsverlust des untergetauchten Körpers in Gewichtseinheiten bestimmen, so darf man nur angeben, welches Gewicht von *e* weggenommen werden muß, um, nachdem *r* völlig untergetaucht ist, das Gleichgewicht wieder herzustellen.

Der Versuch läßt sich noch in einer anderen Weise anstellen. Man setzt auf die eine Wageschale ein Glas mit Wasser, auf die andere einen Hohlzylinder mit soviel Zulagegewicht, daß das Gleichgewicht hergestellt ist; dann hält man an einem Faden einen in den Hohlzylinder genau

passenden massiven frei schwebend ins Wasser, bis er untertaucht und sieht die Waagschale sinken; aber das Gleichgewicht ist wieder hergestellt, nachdem man den Hohlzylinder mit Wasser gefüllt hat.

Daraus folgt übrigens auch, daß ein in eine Flüssigkeit völlig eingetauchter und in ihr schwebend erhaltener Körper das Gewicht der Flüssigkeit um seinen darin erlittenen Gewichtsverlust vermehrt. Auf diese Weise kann man z. B. den Gewichtsverlust, welchen ein Geschützrohr erfährt, bestimmen. Man bringt nämlich ein Gefäß mit Wasser auf einer Gleichwage ins Gleichgewicht, hält das Rohr an einem Taue schwebend ins Wasser, so ist die Gewichtszulage das Gewicht des eben so großen Wasserkörpers und zugleich der Gewichtsverlust, den das Rohr im Wasser erfährt.

Hielte man den Körper nicht frei, sondern ließe ihn im Wasser los, so würde er das bereits vorhandene Gewicht des Gefäßes mit Wasser um sein ganzes absolutes Gewicht vermehren. Hätte man den Körper auf dem Boden des Gefäßes im Wasser liegend mit abgewogen und dann ihn darin schwebend gehalten, so würde die jetzt eintretende Gewichtserleichterung der Unterschied seines absoluten Gewichtes und des Gewichtes des ebenso großen Wasserkörpers sein.

Zu genauen Bestimmungen des absoluten Gewichtes und des Gewichtsverlustes eines Körpers im Wasser hat man die hydrostatische Wage, welche sich von der früheren Gleichwage dadurch unterscheidet, daß die eine Schale kurz angehängt ist und unten ein Häkchen hat, um mittelst eines Drahtes oder Haares die Körper anzuhängen.

Diese Betrachtungen dienen auch dazu, das absolute Gewicht von einem Kubikzoll (Kubikfuß u. s. w.) Wasser zu bestimmen. Man nimmt nämlich einen im Wasser untersinkenden Körper von genau einem Kubikfuß Rauminhalt, wägt ihn zuerst in der Luft ab und dann im Wasser; der Unterschied dieser Gewichte oder der Gewichtsverlust des Körpers im Wasser ist das absolute Gewicht des eben so großen Wasserkörpers. Ein rheinländischer Kubikfuß wiegt etwas über 66 Pfd. — Auf dieselbe Weise ließe sich auch das absolute Gewicht einer bestimmten Raumeinheit einer anderen Flüssigkeit finden.

Kennt man den Rauminhalt eines Gefäßes, so läßt sich das Gewicht des darin enthaltenen Wassers leicht bestimmen. In einer Tonne von 10 Kubikfuß befinden sich 10.66 Pfunde oder 660 Pfunde.

Weiß man umgekehrt das Gewicht des in einem Gefäße befindlichen Wassers, so kann man seinen Rauminhalt durch Division leicht angeben. Wiegt das Wasser z. B. 264 Pfunde, so beträgt sein Rauminhalt 4 Kubikfüße. — Dieses Verfahren dient namentlich zur Raumbestimmung unregelmäßiger Höhlräume.

Unter der Voraussetzung, daß ein Metallgemisch aus zwei Metallen ein Volumen hat, welches die Summe der Raumtheile beider dazu genommenen Metalle ist, sind die obigen Betrachtungen sogar geeignet, bei

einem vorhandenen Metallgemisch, ohne es chemisch zu zerlegen, die Mengen der einzelnen Antheile zu berechnen. Schon im Alterthume soll Archimedes auf die Aufforderung des Königs Hiero von Syrakus, ihm anzugeben, ob die angefertigte Krone aus reinem Golde bestehe, die Aufgabe gelöst und den Betrug entdeckt haben. — Auch in Rücksicht auf die Gesundheit ist es wichtig zu wissen, ob ein Gefäß aus reinem Zinn oder aus einer Bleilegierung besteht.

Um die Aufgabe zu lösen, muß man wissen, wie viel ein beliebiger Gewichtsantheil eines jeden der beiden Metalle in seinem reinen Zustande im Wasser an Gewicht verliert und welches der Gewichtsverlust eines beliebigen Gewichtes der Mischung ist.

Für diejenigen Leser, welche die Rechnung auszuführen vermögen, will ich noch wenigstens die nöthigen allgemeinen Angaben machen. Wenn a Pfund des ersten Metalles im Wasser m Pfunde, b Pfunde des zweiten Metalles n Pfunde und c Pfunde eines Gemisches aus beiden o Pfunde verlieren; so ist:

1) die Summe der Gewichte beider Antheile (x und y) in der Luft gleich c , oder $x + y = c$ und

2) die Summe der Gewichtsverluste beider Antheile gleich o , oder $\frac{m \cdot x}{a} + \frac{n \cdot y}{b} = o$, wobei $\frac{m \cdot x}{a}$ der Verlust der x Theile

des ersten und $\frac{n \cdot y}{b}$ der Verlust der y Theile des zweiten Metalles ist. Aus diesen beiden Ausdrücken lassen sich x und y berechnen.

Bei allen diesen Versuchen muß man dafür sorgen, daß an dem untergetauchten Körper Luftbläschen nicht hängen bleiben, weil sie dazu beitragen würden, das Gewicht der Körper im Wasser mehr zu vermindern, als es ohne sie geschehen würde. Ferner ist darauf zu sehen, daß der zum Anbinden der Körper verwendete Draht stets nur bis zu der Tiefe eintauche, bei welcher das Gleichgewicht der Wage vorhanden war. Deshalb legt man bei der hydrostatischen Wage nach dem Eintauchen des Körpers die Gewichte nach und nach auf die kürzer angehängte Wagschale.

Ist ein Körper leichter als das Wasser, so zwingt man ihn durch einen mit ihm verbundenen schwereren unterzutauchen. Man kann ihn zu diesem Zwecke zwischen einer Metallklemme, die allenfalls noch beschwert werden kann, befestigen. Es ist natürlich, daß man den Gewichtsverlust dieses letzteren Körpers besonders bestimmen und ihn von dem Gewichtsverluste der beiden verbundenen abziehen muß, um den des ersten allein zu bekommen.

Nimmt ein Körper Wasser in sein Inneres auf, so ist die Bestimmung des Gewichtsverlustes seiner undurchdringlichen Masse etwas

umständlicher. Man wägt nämlich zuerst den ganz trockenen Körper in der Luft ab, läßt ihn dann im Wasser sich voll saugen, nimmt ihn heraus und wägt ihn wieder ab, wodurch man als Gewichtsunterschied das Gewicht des angesaugten Wassers bekommt. Dann wird der Gewichtsverlust des angesaugten Körpers im Wasser bestimmt und von ihm das Gewicht des angesaugten Wassers abgezogen.

Pulverisirte Körper, welche sich im Wasser nicht auflösen, thut man in ein Schälchen, dessen Gewichtsverlust von dem des Ganzen abgezogen werden muß.

Wie das Verfahren ist, wenn ein Körper im Wasser sich auflöst, wird später bald angegeben werden.

Weil alle Körper im Wasser leichter sind, als in der Luft, lassen sie sich in jenem auch leichter fortschaffen, als in diesem. Man ist also z. B. noch recht gut im Stande einen Stein unter dem Wasser fortzuwälzen, aber sowie man mit ihm in die Luft kommt, ist er uns zu schwer. — Wenn Fischer die Neze, in denen Fische gefangen sind, im Wasser fortziehen, so fällt es ihnen wohl noch ziemlich leicht; kommen sie mit den Fischen im Neze über das Wasser, so können sie dieselben oft gar nicht erheben. — Ebenso ist es, wenn ein Mensch oder ein abgerichteter Hund einen Ertrunkenen retten will. Letzterem würde das Retten Erwachsener gar nicht möglich sein; wenn das Wasser nicht meist ihr ganzes Gewicht trüge. — Selbst ein sanfter Wind treibt schwere Schiffe mit Leichtigkeit fort und wenige Menschen sind schon im Stande, ein großes Schiff selbst stromaufwärts zu ziehen.

Das passive Schwimmen.

Wenn das absolute Gewicht eines Körpers kleiner ist, als das des Wassers von gleichem Volumen, so steigt er in ihm mit um so größerer Kraft, je größer dieser Unterschied ist und kommt endlich an seiner Oberfläche dann ins stabile Gleichgewicht, wenn

- 1) das von ihm noch verdrängte Wasser ebensoviel wiegt, als er selbst;
- 2) wenn sein Schwerpunkt lothrecht und unter dem Schwerpunkte des verdrängten Wasserkörpers liegt.

Wir pflegen dann zu sagen: der Körper schwimmt passiv. Er wird dabei um so weniger tief eintauchen, je leichter er bei einem bestimmten Volumen, je größer er bei einem bestimmten Gewichte und je dichter die Flüssigkeit für einen bestimmten Körper ist.

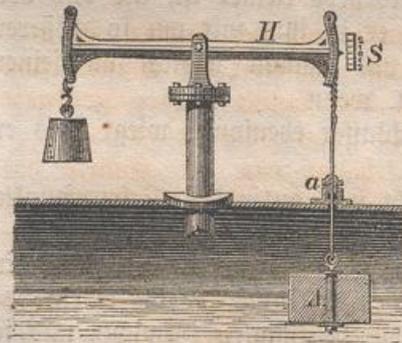
Denken wir uns eine leichte Holzugel von überall gleichmäßiger Dichte, so ist ihr Mittelpunkt ihr Schwerpunkt, und derselbe wird, wenn sie aufs Wasser gelegt wird, über dem Wasserschwerpunkte liegen; aber weil der Schwerpunkt der Ugel auch bei veränderter Lage derselben stets lothrecht über dem Schwerpunkte des Wassers bleibt, wird das

labile Gleichgewicht fortwährend erhalten. — Anders ist es, wenn der Schwerpunkt der Kugel außerhalb ihres Mittelpunktes liegt; sie ist nämlich nur dann in Ruhe, wenn der Schwerpunkt die tiefste Stelle unter ihm einnimmt. Da bei Geschossen die Sicherheit des Treffens von der Lage des Schwerpunktes abhängt, so sucht man ihn dadurch, daß man die Kugel auf Quecksilber legt. Vollkugeln sind nur brauchbar, wenn der Mittelpunkt auch Schwerpunkt ist; für Hohlkugeln ist eine seitliche Lage desselben nothwendig.

Ähnlich ist es, wenn ein Brett auf die hohe Kante frei ins Wasser gestellt wird. Die allergeringste Bewegung des Wassers oder des Brettes reicht hin, daß es auf die flache Seite umschlägt, wodurch sein Schwerpunkt tiefer zu liegen kommt.

Jeder Körper sucht wie in der Luft so auch in jeder tropfbaren Flüssigkeit in eine möglichst stabile Lage mit möglichst tief liegendem Schwerpunkte zu gelangen. Ein lothrecht ins Wasser gestellter, überall gleichmäßig dichter Stab fällt also bald um und legt sich mit seiner Axe horizontal. Wäre aber die eine Hälfte schwerer, als die andere, so würde er sich lothrecht stellen, wenn dabei sein Schwerpunkt unter dem Schwerpunkte des verdrängten Wassers läge. Die Fischer benutzen mit einer Fahne versehene Stäbe, von denen das eine Ende beschwert ist, um die Stellen, an welchen sie Netze oder Reize ausgelegt haben, zu bezeichnen.

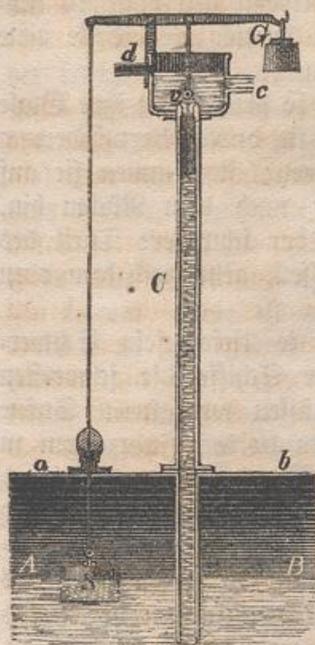
Man macht von dem passiven Schwimmen eines Körpers bei den Dampfmaschinen einen doppelten wichtigen Gebrauch; man bestimmt nämlich dadurch theils die Höhe des in einem Dampfkessel vorhandenen Wasserstandes, theils versorgt man den Kessel rechtzeitig ohne unser Zutun mit dem nöthigen Wasservorrathe.



(Fig. 118.)

Für den ersten Zweck dient die im Fig. 118 angegebene Einrichtung, der Schwimmer. Auf der Außenfläche des Kessels ist oben ein Ständer angebracht, welcher eine Gleichwage trägt, an deren Enden lothrechte Kreisbogen sich befinden, deren Mittelpunkt der Drehungspunkt ist. An dem einen Arme H, welcher in eine Spitze ausläuft, hängt an einem Kettchen ein Kupferdraht, welcher dampfdicht, doch leicht beweglich, durch eine Stopfbüchse a geht und einen auf dem Wasser schwimmenden Stein A trägt. Damit der Stein nur bis zu einer gewissen Tiefe unterfinke, wird er durch ein Gegengewicht am andern Arme im Gleichgewicht gehalten. Um die genau horizontale Lage von H zu beobachten, ist ihm gegenüber ein getheiltes Kreisbogen S mit einem Nullpunkte. Sinkt

das Wasser, so sinkt auch der Stein, und weil er an dem Kreisbogen hängt, so bleibt die wirkende Kraft doch in derselben Entfernung vom Drehungspunkte, und er wird in gleicher Tiefe schwimmend im Gleichgewichte erhalten. Aus dem Stande der Spitze gegen den Kreisbogen S beurtheilt man den Wasserstand im Kessel.



(Fig. 119.)

Hat der Dampf in Kesseln keine große Spannung, wie bei den Niederdruckmaschinen, so läßt sich mit dem Schwimmer eine Speisevöhre verbinden, wodurch der Wasserstand im Kessel ohne weiteres Zuthun stets in gleicher Höhe erhalten, also eine selbstthätige Speisevorrichtung erzielt wird (Fig. 119). Durch die obere Decke ab eines Dampfkessels geht bis in die Nähe des Bodens ein ziemlich weites (bis 1 Fuß) und 10 bis 12 Fuß langes Rohr C, welches durch ein nach oben sich öffnendes Ventil v mit einem etwas weiteren Wasserbehälter in Verbindung steht. Dieser Behälter wird durch ein Zuflußrohr c hinreichend mit Wasser gespeist und hat noch ein Abflußrohr d. Die Decke des Behälters trägt bei d einen Ständer mit einem ungleicharmigen Hebel; an dem kürzeren Arme befindet sich eine Metallstange, welche durch eine an der Decke des Kessels befindliche Stopfbüchse geht und den auf dem Niveau AB schwimmenden Stein

S trägt; an dem kürzern Arme ist außer dem Gegengewichte noch die Stange für das Ventil v angebracht.

Sinkt das Wasser im Kessel und somit auch der Stein, so geht das Ventil v in die Höhe und es erfolgt vonselbst der Wasserzufluß so lange, bis durch den gehobenen Stein das Ventil wieder herabgeht und den Zufluß bei der erlangten richtigen Wasserhöhe abschneidet.

Die Höhe der Wasserfäule in C hängt von der Stärke des Dampfdruckes auf das Niveau AB ab. Hat der Dampf die Spannung oder den Druck von 1 Atmosphäre, so steht das Wasser im Rohre und im Kessel in gleicher Höhe; hat er eine Spannung von $1\frac{1}{4}$ Atmosphäre, so steht es im Rohre 8 Fuß ($\frac{1}{4}$ von 32 Fuß, wenn dieses grade die von der Atmosphäre getragene Wasserfäule ist) höher.

Man kann auf dem Wasser der Röhre noch einen Schwimmer an einer Kette anbringen, welcher durch sein Steigen oder Sinken bei zu großem oder zu geringem Dampfdrucke den Luftzug in den Ofen beziehungsweise vermindert oder vermehrt.

Das schwimmende Licht ist eine Lampe, deren Schwerpunkt wie bei der Kolllampe des Kardanus, ungeachtet der durch das Wasser

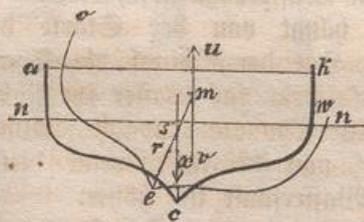
hervorgebrachten Schwankungen, stets unterhalb des Wasserschwerpunktes erhalten wird. Weil die Fische in der Nacht dem Lichte sehr nachgehen, könnten dergleichen Lampen beim Fischfange mehr, als es gewöhnlich geschieht, angewendet werden.

Daß die oft sehr schwerfälligen Wasservögel, wie z. B. die Schwäne, mit ihrem Körper ziemlich bedeutend über das Niveau des Wassers hervorrage, liegt darin, daß in ihrer selbst schon leichten Federdecke viele eingeschlossene und fest anhaftende Luft enthalten ist.

Wollen die Fische tiefer ins Wasser herab, so drücken sie ihre Blase zusammen; wollen sie höher hinauf, so lassen sie durch Verminderung des Druckes die Luft in der Blase sich ausdehnen; schwimmen sie auf dem Bauche, so befindet die Blase sich mehr nach dem Rücken hin, wenn sie aber schlafen, so ist der Rücken als der schwerere Theil des Körpers unten, und die Blase, sich selbst überlassen, geht nach dem oben befindlichen Bauche.

Da ein Körper um so stabiler schwimmt, je tiefer sein Schwerpunkt liegt, so bringt man beim Beladen der Schiffe die schwersten Gegenstände nach unten und leere Schiffe müssen wenigstens Steine oder besser Sand als Ballast einnehmen. — In kleinen Fahrzeugen zu nur einigen Personen, mit denen man auf das Meer fahren will, wendet man eiserne Schienen an, weil sie bei großem Gewichte nur wenig Raum einnehmen und in dem untersten Schiffsraume sich leicht anbringen lassen. — Bei drohenden Gefahren muß man sich selbst soviel als möglich nach unten begeben, um dadurch die Schwankungen des Fahrzeuges und die Möglichkeit Wasser zu schöpfen geringer zu machen. — Fischer, welche oft in so kleinen Fahrzeugen ihr Geschäft betreiben, daß sie für wenig mehr, als ihre Person Raum haben, legen sich meist fast ganz hin.

In Betreff der Stabilität eines schwimmenden Körpers oder des Widerstandes, welchen er einer Aenderung seiner Lage entgegensetzt, ist noch Einiges zu bemerken.



(Fig. 120.)

Es sei nn' (Fig. 120) das Niveau des Wassers, ack bedeute den auf ihm lothrecht stehenden und so gelegten Querschnitt eines darauf schwimmenden Körpers, daß die beider durch ihn entstandenen Theile gleiche Massen haben. Unter dieser Annahme wird sowohl der Schwerpunkt s dieses Körpers, als auch der Schwerpunkt x des verdrängten Wasserkörpers im Ruhezustande in dieser Ebene liegen und die Schwerpunktslinie xs steht auf dem Niveau nn' lothrecht; wird aber der Körper in eine andere Lage gebracht, so daß oew sein Querschnitt ist, der übrigens mit dem vorigen in derselben Ebene liegen soll, so behält

zwar der Schwerpunkt s des Körpers seine Lage, aber der Schwerpunkt des neuen Wasserkörpers verändert dieselbe. Ist er von x nach v gekommen, während der frühere in r wäre, so strebt der Wasserkörper den auf ihn schwimmenden in der Richtung der von v an Lothrechten vu zu heben, das Gewicht des letzteren aber treibt ihn von s aus in der Richtung des so abwärts.

Nun kann der Durchschnittspunkt m , oder das Metazentrum der früheren Schwerpunktslinie rs mit der Lothrechten vu durch den neuen Wasser-Schwerpunkt eine dreifache Lage haben: 1) oberhalb des Schwerpunktes s vom Körper, 2) unter ihm, 3) in ihm liegen.

Im ersten Falle bringen die beiden Kräfte eine Drehung des Körpers hervor, welche in Schwingungen übergeht, bis endlich s lothrecht unter m liegt und stabiles Gleichgewicht eingetreten ist; im zweiten Falle tritt zwar auch eine Drehung ein bis s lothrecht unter m zu liegen kommt, diese ist aber mit einem völligen Umschlagen des Körpers verbunden; im dritten Falle endlich ist indifferentes Gleichgewicht vorhanden. — Je weiter das Metazentrum von s entfernt ist, desto eher treten die angegebenen Zustände ein.

Befinde ich mich auf einem Schiffe oberhalb des Schwerpunktes desselben, so kann die eigene Schwerlinie mit der des Schiffes in eine grade Linie fallen oder mit ihr einen Winkel bilden. Im ersten Falle werde ich am stärksten nach dem Mittelpunkte der Erde angezogen, weil die beiden auf mich anziehend wirkenden Kräfte, von denen die eine ihren Sitz in dem Mittelpunkte der Erde, die andere im Schwerpunkte des Schiffes hat, in derselben graden Richtung mit einander wirken. Fällt aber beim Schwanken des Schiffes die Schwerlinie desselben außerhalb meiner eigenen, oder liegen die Schwerpunkte der drei Körper, nämlich der Erde, des Schiffes und der von mir nicht in einer graden Richtung; so tritt die ebenso überraschende als nothwendige Erscheinung ein, daß ich mich mit meinem Körper mehr an das Schiff gefesselt oder von ihm angezogen fühle, wenn sich der Schwerpunkt des Schiffes meiner Schwerlinie nähert, als wenn er sich von entfernt.

Ich habe diese physikalisch nothwendige Thatsache an meinem durch lange Seefrankheit geschwächten Körper sehr oft und unzweifelhaft empfunden und bin verwundert, daß man dieselbe, so viel ich weiß, bis jetzt noch nirgends erwähnt findet. Höchst auffallend war die Empfindung, wenn ich bei sehr starken Schwankungen des Schiffes auf einer ziemlich steilen Treppe aufs Verdeck stieg: es waren mir in solchen Momenten die Füße wie mit Blei beschwert und wurden auffallend nach unten förmlich gezogen, während bei der entgegengesetzten Schwankung, nämlich wenn sich der Schwerpunkt des Schiffes von meiner Schwerlinie entfernte, sofort eine Erleichterung eintrat, weil dann die beiden auf mich anziehend einwirkenden Kräfte unter einem Winkel auf mich wirkten, so daß die Resultirende kleiner werden mußte. Es versteht sich

von selbst, daß dieses Fühlen der veränderten Schwere nur auf sehr großen und stark belasteten Schiffen und auch nur während sehr bedeutender Schwankungen, namentlich nach der Längenausdehnung des Schiffes, eintritt und von sehr kräftigen Menschen weniger leicht wahrgenommen wird, als von schwachen und abgeschwächten.

Aus den obigen Betrachtungen ergeben sich manche Regeln für das Bauen der Schiffe. Die Kielschiffe haben Vorzüge gegen andere, weil ihr Gleichgewicht ein festeres ist.

Jeder passiv schwimmende Körper vermag bis zum Untersinken unter das Niveau grade nur die Last zu tragen, welche seiner Steigkraft gleich ist, und sein absolutes Tragvermögen heißt; soll er aber nur bis zu einer gewissen Tiefe einsinken, wie Schiffe, so heißt die dazu nöthige Belastung das relative Tragvermögen.

Das Verfahren, das relative Tragvermögen eines Schiffes zu bestimmen, nennt man das Nicken des Schiffes. Es kommt hier zunächst auf die Bestimmung der Größe des Schiffsraumes an, welcher sich zwischen den Ebenen des tiefsten und des höchsten Wasserstandes am Borde befindet. Zur Messung der Entfernung der verschiedenen Wasserstände ist äußerlich am Schiffe ein Maßstab angebracht. Da die innere Weite auch desselben Schiffes nicht durchweg dieselbe ist, so werden Raumtheile, welche auch gleich hoch sind, nicht gleich groß sein. Man hat verschiedene praktische Mittel, um schnell zum Ziele zu kommen und bei einem bestimmten Schiffe oder verschiedenen Schiffen derselben Bauart ganz einfache Tabellen.

Weiß man nun, um wie viel das Schiff bei Vermehrung der Belastung noch sinken darf, so kennt man die Menge der Kubikfüße des Schiffes mit seinem inneren dazu gehörigen Raume. Wie viel nun das Wasser von demselben Rauminhalte wiegt, soviel Last kann dem Gewichte nach noch in das Schiff kommen.

Betrüge der gealchte Schiffsraum 12000 Kubikfuß, und wäre 1 Kubikfuß Flußwasser 66 Pfunde schwer, so könnte die Belastung 12000 . 66 Pfunde oder 792000 Pfunde sein, und da 1 Schiffslast 2000 Pfunde beträgt, so wäre es ein Schiff von 396 Tonnen.

Da das Meerwasser wegen seines Salzgehaltes schwerer ist, als das Flußwasser, so sinkt ein Schiff bei bestimmter Belastung in jenem weniger tief ein, als in diesem.

Wenn die enormen und oft sehr tief in das Meer hinabreichenden und unregelmäßig gestalteten Eisblöcke des Polarmeeres südlicher treiben, so schmelzen sie an der Meeresoberfläche, oben auf aber lagern sich häufig auch Schneemassen. Dadurch kann es vorkommen, daß das Metazentrum unter ihren Schwerpunkt kommt, und dann schlagen sie nicht nur mit furchtbarer Gewalt um, sondern machen so bedeutend schwingende Bewegungen, daß sie benachbarten Schiffen gefährlich werden.

In der ganzen norddeutschen Niederung und noch tiefer ins flache

Land hinein liegen meist zerstreut kleinere oder größere Felsenblöcke, theils an der Oberfläche, theils unter aufgeschwemmten Erdschichten, deren genaue Untersuchung nachgewiesen hat, daß ihre eigentlichen Lagerstätten in Skandinavien gewesen sind. Diese Wanderblöcke oder erratischen Blöcke sind in früheren Bildungsepochen der Erde auf ungeheuren Eisschollen von Norden hergetrieben worden über die noch mit Wasser bedeckten Länder, bis sie durch das Schmelzen oder Stranden der Eisschollen herabfielen. Die Stelle, an welcher Gustav Adolf auf dem Schlachtfelde von Lützen fiel, ist durch einen solchen „Schwedenstein“ bezeichnet. — Auch unterhalb der Gletscher gibt es solche von diesen fortgetragene Steinmassen, die s. g. Moränenblöcke, welche auf die früher größere Ausdehnung der Gletscher schließen lassen.

Hat man einen Glaszylinder, welcher in Kubitzolle u. s. w. eingetheilt ist, so kann man durch ihn sehr leicht das Volumen des untertauchenden Theiles eines schwimmenden Körpers finden; denn die Flüssigkeit steigt um das betreffende Volumen. Kennt man das Gewicht der Raumeinheiten von der angewendeten Flüssigkeit, so hat man durch das Gewicht des beim Schwimmen des Körpers verdrängten, also gehobenen Theiles zugleich sein Gewicht. Der letztere Zweck wird auch erreicht, wenn man die verdrängte Flüssigkeit ablaufen läßt und abwägt.

Einen Körper, welcher für sich im Wasser untersänke, kann man auf doppelte Weise zu schwimmen zwingen: 1) daß man ihn mit leichteren Körpern verbindet, 2) daß man ihn aushöhlt und dabei das Eindringen des Wassers verhütet.

Rettingsboote versteht man ringsum an der Oberfläche mit einer starken Lage von Korkholz oder mit luftdichten Schläuchen, und größere Schiffe richtet man so ein, daß sie mehre einzeln abzusperrende luft- und wasserdichte Räume enthalten, so daß das Wasser, welches bei theilweiser Verletzung des Schiffes in den einen Raum dringt, von dem anderen abgehalten und das Schiff so vor dem Sinken bewahrt wird. — Will man versunkene Gegenstände, ja ganze Schiffe wieder heraufbringen, so befestigt man Tonnen oder Schläuche an sie und erfüllt diese mit Luft, die man entweder von oben durch Schläuche hineinpumpt oder auch auf chemische Weise in ihnen entwickelt.

Um große Schiffe einer Ausbesserung zu unterwerfen, oder sie über Untiefen zu schaffen, wendet man schon seit 1688 die Kameele an, d. h. man befestigt das Schiff zwischen zwei platten mit Wasser gefüllten Fahrzeugen und pumpt aus diesen das Wasser aus. — Außerdem geschieht die Ausbesserung der Schiffe in trockenen oder nassen Docks, von denen das Wasser durch Schleusen abgehalten, und zu denen es gelassen werden kann. Es versteht sich von selbst, daß man hierbei Ebbe und Fluth benützt und auch Dampfmaschinen anwendet, um störendes Wasser zu entfernen.

Ertrunkene kommen erst nach einigen Tagen an die Oberfläche und

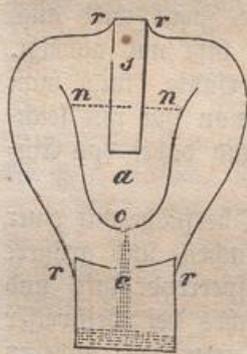
zwar je wärmer das Wasser ist, um so eher, weil erst bei der Zersetzung des Körpers sich in ihm Gasarten entwickeln.

Wenn man sich 6 bis 8 Pfunde Korkholz an der Brust anbringt, so erhält sich der ganze Oberkörper über dem Wasser. Auf den Schiffen hat man sehr verschiedenartige Vorrichtungen, um sich schwimmend zu erhalten: Schwimmgürtel, Harinsche oder Jacken, ja sogar die Sessel sah ich auf dem Erisee als Rettungsapparate eingerichtet.

Sollen Glas, Metalle u. a. schwere Körper schwimmen, so muß ihnen eine so große Aushöhlung gegeben werden, daß sie, auch mit der in ihnen etwa abgesperrten Luft leichter sind, als ein Wasserkörper von dem Volumen, welches durch die äußere Begrenzung der Körper bis zum Niveau angegeben wird.

Die Signaltonnen auf dem Meere und schiffbaren Flüssen, welche die Untiefen oder Klippen anzeigen, sind vollständig wasserdicht abgesperrt und werden durch Anker an den betreffenden Stellen festgehalten.

Der Wasserregulator.



(Fig. 121.)

Will man die Flüssigkeit in einem Gefäße a (Fig. 121), aus welchem ein Abfluß bei o stattfindet, in demselben Niveau nn erhalten, ohne daß ein Zufluß vorhanden ist, so kann man dies leicht auf folgende Weise erreichen. Man bringt auf der Flüssigkeit im Gefäße a ein Hohlgefäß s so zum schwimmen, daß es nur wenig eintaucht und hängt an dasselbe mittelst zweier Drähte rr unterhalb der Oeffnung o ein leeres Gefäß c, welches oben becken- oder trichterförmig gestaltet ist, um das abfließende Wasser aufzunehmen.

Die Tiefe, bis zu welcher das Gefäß s einsinkt, hängt von seinem absoluten Gewichte ab, wozu aber das der Drähte und des angehängten Gefäßes gehört. In demselben Maße, in welchem dieses zunimmt, sinkt s auch tiefer ein. Fließt Wasser nach c, so nimmt es allerdings wohl um das Gewicht desselben zu, und s sinkt um soviel dem Raume nach ein, daß das Gewicht des verdrängten Wassers gleich ist dem Gewichte des nach c gelangten. Da aber letzteres aus a gekommen ist, so kann s nur so tief sinken, daß dadurch das Niveau nn nicht geändert wird.

Diese Vorrichtung nennt man auch den Schwimmer von Prony.

Vom spezifischen Gewichte.

Das äußere Aussehen der Körper ist sehr oft durchaus nicht hinreichend, uns die Güte, also auch den Werth derselben erkennen zu

lassen. Man pflegt wohl zu sagen: es ist nicht Alles Gold, was glänzt, und in der That muß man nicht blos bei dem Golde, sondern auch bei sehr vielen anderen Gegenständen, z. B. Edelsteinen, tiefer gehende Kennzeichen für ihren wahren Werth aussuchen. Manche sind um so werthvoller und brauchbarer, je schwerer sie bei einem gewissen Rauminhalte sind (Salzfoolen, Säuren), andere, wie z. B. Alkohol, erlangen durch eine größere Leichtigkeit einen größeren Werth.

Es ist die Thatsache wichtig, daß die Elementarstoffe in ihrer absoluten Reinheit bei bestimmtem Volumen auch ein bestimmtes absolutes Gewicht haben; ebenso daß die Verbindung zweier oder mehrerer Stoffe, sie mögen nun chemisch oder äußerlich mit einander verbunden sein, bei bestimmtem Volumen auch ein bestimmtes Gewicht haben, wenn das Verhältniß der Antheile ein ganz bestimmtes ist.

Da das Gewicht eines Körpers die Menge seiner gleichen Massentheile in einem bestimmten Raume angibt und von ihr die Dichte des Körpers abhängt; so können wir auch sagen, daß die Güte und der Werth der Körper von ihrer Dichte abhängt.

In dieser Beziehung könnten wir zwar die Dichte irgend eines Körpers mit der irgend eines oder jedes beliebigen anderen vergleichen; man würde aber nicht zu so klarer Einsicht über das Verhältniß der Dichte aller Körper gelangen, als wenn man die Dichte eines bestimmten Körpers als Einheit für die Vergleichung zu Grunde legt.

Man hat das absolute Gewicht des reinen Wassers, als des gangbarsten Körpers, bei seiner größten Dichtigkeit, d. i. wenn es eine Temperatur von fast 4 Graden nach dem Thermometer von Celsius oder 3,2 Gr. nach Reaumur besitzt, als Einheit für die festen und tropfbaren Körper und das absolute Gewicht der trockenen atmosphärischen Luft bei 0 Gr. für alle luftigen Körper genommen. Die Zahlen, welche dann anzeigen wievielmals schwerer oder leichter irgend ein anderer Körper, als der Wasserkörper bei demselben Rauminhalte ist, heißt das spezifische Gewicht dieses Körpers. Manche legen das Gewicht des Wassers bei 9° C., wobei es fast genau die Dichte wie bei 0° hat, zum Grunde, weil diese Temperatur in den verschiedenen Jahreszeiten eher zu erlangen ist.

Das spezifische Gewicht ist also nicht allgemein das Verhältniß der absoluten Gewichte zweier ganz beliebigen Körper, sondern der eine ist ein für allemal das Wasser bei seiner größten Dichtigkeit. Wenn man unter 225 Gewichtstheile weißen Waxes 1 Gewichtstheil feinpulverisirten Zinnober gleichmäßig vertheilt, so hat die Masse das spezifische Gewicht des Wassers.

Um das spezifische Gewicht eines Körpers zu finden, muß man: 1) sein absolutes Gewicht, 2) das Gewicht eines ebenso großen Wasserkörpers aussuchen und dann berechnen, wie oft letzteres in ersterem enthalten ist.

Das Gewicht des ebenfogroßen Wasserkörpers ist gleich dem Gewichtsverluste, welchen der betreffende Körper im Wasser erleidet. Hätte eine Münze aus Platina in der Luft das Gewicht von 110 Gewichtseinheiten, im Wasser aber nur das von 105, so hätte sie im Wasser 5 verloren und dies würde auch das Gewicht des ebenfogroßen Wasserkörpers sein; also würde das spezifische Gewicht des Platinas $\frac{110}{5} = 22$ sein. — Oder wenn ein Stückchen Bernstein in der Luft das Gewicht 2,156, in Wasser nur 0,156, also 2 verloren hätte; so wäre sein spezifisches Gewicht $\frac{2,156}{2} = 1,078$.

Da das Wasser bei verschiedenen Temperaturen eine verschiedene Dichte oder ein verschiedenes spezifisches Gewicht besitzt, so ist es für sehr genaue Versuche nothwendig, diese Veränderungen zu kennen. Man nimmt einen sehr genau angefertigten Zylinder von Metall, dessen Rauminhalt sich leicht berechnen läßt, und untersucht seinen Gewichtsverlust im Wasser bei verschiedenen Temperaturen. Die folgende Tabelle gibt seine spezifischen Gewichte bei den daneben stehenden Temperaturen an, wenn das Gewicht bei 4 Grad nach dem Thermometer von Celsius gleich 1 gesetzt wird.

0	0,9998918	4	1,0000000	8	0,9999044	12	0,9996117
1	0,9999536	5	0,9999950	9	0,9998497	13	0,9995080
2	0,9999717	6	0,9999772	10	0,9997825	14	0,9993922
3	0,9999920	7	0,9999472	11	0,9997030	15	0,9992647

Hieraus ergibt sich, daß Wasser von 9 Grad fast das spezifische Gewicht mit dem von 0 Grad hat. Der Umstand, daß es nicht bei 0, sondern erst bei 4 Grad seine größte Dichtigkeit besitzt, ist, wie wir später genauer werden kennen lernen, für die Oekonomie der ganzen irdischen Natur von der allergrößten Wichtigkeit.

Hätte man das spezifische Gewicht s eines Körpers mit Benutzung von Wasser bei 12 Grad Wärme gefunden, so würde es zu groß sein im Vergleiche zu dem bei 4 Graden gefundenen, weil das Gewicht des Wasserkörpers zu klein wäre und man müßte, um letzteres zu bekommen, s mit 0,9996117 multiplizieren, wenn die veränderte Ausdehnung des Körpers in dem Wasser von diesen verschiedenen Temperaturen unberücksichtigt bleiben könnte, was bei einem schnell durchgeführten Verfahren wohl geschehen kann. Wäre aber das Volumen des Körpers bei 12° durch 15, bei 4° nur durch 14 ausgedrückt, so müßte man das für 12 Grad berechnete spezifische Gewicht des Körpers noch mit $\frac{15}{14}$ multiplizieren, um das bei 4 Graden zu erhalten, was natürlich eine größere Zahl gibt. Diese Verwandlung würde streng genommen für alle Körper nothwendig sein.

Daß man durch einen sehr genau angefertigten Metallzylinder auch das absolute Gewicht einer gewissen Raumeinheit Wasser von verschiedenen Temperaturen bestimmen kann, versteht sich wohl von selbst.

Ist das Gewicht eines Kubikcentimeters Wasser bei 4° C. ein Gramm, so zeigt folgende Tabelle das Gewicht bei den Temperaturen von 0° bis 15°.

0	0,9998918	5	0,9999950	10	0,9997825
1	0,9999536	6	0,9999772	11	0,9997030
2	0,9999717	7	0,9999472	12	0,9996117
3	0,9999920	8	0,9999044	13	0,9995080
4	1,0000000	9	0,9998497	14	0,9993922

Auch daraus ergibt sich, daß das Wasser bei 9° C. fast eben so dicht ist, wie bei 0°.

Wir wollen nun verschiedene Methoden zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes fester, tropfbarer und luftiger Körper angeben.

Für feste Körper.

Nachdem man mittelst einer genauen Gleichwage das absolute Gewicht des Körpers bestimmt hat, sucht man seinen Gewichtsverlust im Wasser von 4° C. und dividirt letzteren, welches bekanntlich das Gewicht des ebenso großen Wasserkörpers ist, in ersteres; der Quotient ist das gesuchte spezifische Gewicht. Es ist hierbei gleichgiltig, ob der Körper von selbst unter sinkt oder unterzutauchen gezwungen wird.

Wenn Körper vom Wasser nicht benetzt werden dürfen, so kann man aus ihnen Zylinder formen und sie in Hohlzylindern eines anderen Stoffes, in welche sie genau passen, abwägen. Von dem Gewichtsverluste beider Körper muß dann der des Hohlzylinders abgezogen werden, um das Gewicht des Wasserkörpers von derselben Größe zu bekommen.

Das spezifische Gewicht kleiner Körper kann man auch auf andere Weise bestimmen. Man nimmt ein Fläschchen, dessen Rand gut abgeschliffen ist, um es durch eine ebenso geschliffene Glasplatte zu bedecken, und so einen genau begränzten Rauminhalt zu erhalten. Diesen Raum erfüllt man mit Wasser und bringt so das Fläschchen auf einer Wage ins Gleichgewicht; dann legt man neben dasselbe den Körper und bekommt somit durch das Zulagegewicht sein absolutes Gewicht; dann thut man den Körper in das Fläschchen, wodurch Wasser verdrängt wird, welches man durch sorgfältiges Abtrocknen beseitigt, nachdem man durch die Glasplatte wieder denselben Raum gebildet hat; die nun zur Herstellung des Gleichgewichtes nothwendige Gewichtserleichterung ist das Gewicht des verdrängten Wasserkörpers von gleichem Volumen mit dem des gegebenen Körpers.

Das Fläschchen mit dem Wasser wiege 2000 Gran, mit einem dazu gelegten Diamanten 2300 Gran, also das absolute Gewicht des letzteren 300; nachdem dieser in das Fläschchen gelegt und alles über-

geflossene Wasser beseitigt worden, wiege Alles nur noch 2214,3 Gran, also ist das Gewicht des verdrängten Wassers 85,7 und das spezifische Gewicht des Diamanten $\frac{300}{85,7}$ oder 3,5.



Man kann sich zu diesem Zwecke auch der von Nicholson angegebenen Senkwaage bedienen. Sie besteht aus einem ziemlich zylinderförmigen hohlen Metall- oder Glaskörper c (Fig. 122), welcher oben mittelst eines feinen Drahtes, woran ein Merkzeichen r ist, einen kleinen Teller u und unten ein Eimerchen e etwa von Drahtgeflecht trägt. Damit das Ganze im Wasser leicht in das stabile Gleichgewicht komme, ist das Eimerchen unten hinreichend, aber nur so stark beschwert, daß von c noch etwas hervorragt.

Um zuerst das absolute Gewicht des Körpers k zu erhalten, legt man ihn auf die Schale u und soviel Zuzugewicht n, bis das Instrument bis zur Richte r einsinkt; dann nimmt man k weg und legt statt seiner so viel Gewicht a hinzu, bis das Instrument wieder ebenso tief einsinkt und dann ist a das absolute Gewicht des Körpers, weil in beiden Fällen das Gewicht des verdrängten Wasserkörpers dasselbe ist. Wenn nun der Körper in den Eimer gelegt und, falls er leichter als Wasser ist, darin festgemacht wird, so wird man oben nicht mehr a sondern weniger auflegen müssen, um das Instrument zum Einsinken bis wieder an die Richte zu bringen und, wenn man nun w weniger hineinlegt, so trägt dieses w das Wasser oder ist das Gewicht des Wasserkörpers von dem Volumen des k. So hat man wieder die beiden Zahlen, durch deren Division das spezifische Gewicht erhalten wird. — Daß man auch hier auf Beseitigung aller Luftblasen sehen muß, versteht sich wohl von selbst.

Für tropfbare Körper.

Man gelangt auf recht einfache Weise zum Ziele, wenn man ein Glasfläschchen anwendet, in welchem grade 1000 Gran reines, also von allen fremdartigen Stoffen befreites Wasser im Zustande seiner größten Dichtigkeit oder bei einer bestimmten, auf dem Fläschchen zu bemerkenden Temperatur Platz finden.

Füllt man dieses Tausendgranfläschchen mit der zu untersuchenden Flüssigkeit und wägt das Ganze ab, so darf man das in Granen ausgedrückte Gewicht derselben nur mit tausend dividiren, um das gewünschte spezifische Gewicht der neuen Flüssigkeit zu erhalten.

Wäre das Gewicht der das Fläschchen erfüllenden Salpetersäure mit dem Glase 1922 Gran, das des bloßen Glases 400 Gran, also das der Säure 1522 Gran; so wäre ihr spezifisches Gewicht

$\frac{1522}{1000} = 1,522$. Es darf also nicht befremden, daß man das spezifische Gewicht bis auf Tausentel der Einheit genau angegeben findet.

Hätte man Schwefeläther im Fläschchen gehabt und das Gewicht des Ganzen 1115 gefunden, so wäre das des Aethers 715 Gran und sein spezifisches Gewicht $\frac{715}{1000} = 0,715$, also derselbe leichter als Wasser.

Man kann aber das spezifische Gewicht tropfbarer Körper auch dadurch bestimmen, daß man einen und denselben Körper, von welchem man voraussetzt, daß er ein unabänderliches Volumen besitzt, in den verschiedenen Flüssigkeiten zum Untertauchen bringt und untersucht, welches seine Gewichtsverluste sind. Er wird in der schwereren Flüssigkeit mehr verlieren, als in der leichteren, wenn er im Wasser einen gewissen Verlust erlitt. Es gilt nun das Gesetz: die Gewichtsverluste verhalten sich grade wie die spezifischen Gewichte und die Zahl, welche sagt, wie oft der Gewichtsverlust des Körpers im Wasser in dem Gewichtsverluste, den der Körper in der anderen Flüssigkeit erleidet, enthalten ist, ist das spezifische Gewicht des Körpers.

Man kann als den einzutauchenden Körper einen Glastropfen an einem Platindrahte oder einem Rosshaare wählen, letzteres, wenn es durch die Flüssigkeit nicht verletzt würde. Wenn der Tropfen in Wasser 10, in der Milch 10,3 verlöre, so wäre das spezifische Gewicht der letzteren 1,03. — Es ist vortheilhaft es so einzurichten, daß der massive Glaskörper im Wasser grade 1000 Gran verliert.

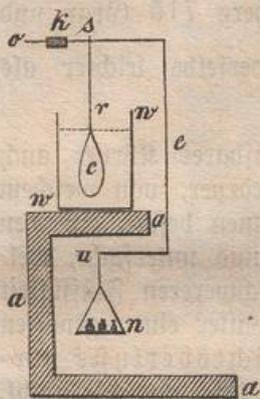
Es ließe sich aber auch mit der Nicholson'schen Wage das absolute Gewicht der verschiedenen Flüssigkeiten bei gleichem Rauminhalte angeben. Das Verhältniß dieser absoluten Gewichte ist ja, wenn die eine Flüssigkeit das Wasser ist, das spezifische Gewicht.

Bringt man durch verschiedene Auflagegewichte das Instrument stets so weit, daß es grade bis zur Nichte einsinkt, so verdrängt es in allen Fällen dasselbe Volumen von den Flüssigkeiten und bei jeder wird das Gewicht des verdrängten Theiles durch die Summe der Gewichte des bloßen Instrumentes in der Luft und der jedesmaligen Auflagegewichte angegeben.

Es ist auch hier zweckmäßig, das Instrument so einzurichten, daß es mit den Auflagegewichten, wenn es im Wasser bis zur Nichte einsinken soll, grade eine Gewichtseinheit, z. B. 1000 Gran, wiegt. Wiegt z. B. das Instrument in der Luft 700 Gran, muß man ihm für Wasser 300 und für Nordhäuser Schwefelsäure 1145 Gran auflegen, damit es in beiden Fällen bis zur Nichte einsinkt; so ist das spezifische

Gewicht dieser Säure $\frac{700 + 1145}{700 + 300} = \frac{1845}{1000} = 1,845$. — Brauchte

man im Alkohol nur 92 Gran zuzulegen, um denselben Zweck zu erreichen; so wäre sein spezifisches Gewicht $\frac{700 + 92}{700 + 300} = \frac{792}{1000} = 0,792$, so daß wir absoluten Alkohol hätten.



(Fig. 123.)

Eine der nicholson'schen Wage ähnliche und ganz praktische ist die Senkwage von Tralles (Fig. 123). Auf einem Gestelle von der Gestalt *aaa* befindet sich ein Glas *ww* mit Wasser; in dieses taucht ein hohler birnförmiger Glaskörper *c* mit einem dünnen Stiele, der bei *r* ein Merkzeichen hat und oben bei *s* einen an ihn befestigten und zweimal gebogenen Draht *oeu* trägt; an dem unteren Ende *u* desselben ist eine kleine Wagschale angehängt und gegen das obere ist ein verstellbares Gewichtchen *k* angebracht, um den Apparat so zum Schwimmen zu bringen, daß er lothrecht im Wasser steht.

Für den Gebrauch bestimmt man zuerst das absolute Gewicht des ganzen Apparates einschließlich derjenigen Gewichte, welche bei *n* nothwendig sind, um ihn in Wasser von der Normaltemperatur bis zur Richte *r* einsinken zu machen. Dieses als Gewichtseinheit anzusehende Gewicht wird in das Gewicht dividirt, welches der Apparat mit anderen Zulagegewichten in der anderen Flüssigkeit hat. Der Quotient gibt das spezifische Gewicht der anderen Flüssigkeiten, weil die spezifischen Gewichte zweier Flüssigkeiten sich wie die absoluten bei gleichen Rauminhalten verhalten.

Man kann auch das spezifische Gewicht der Flüssigkeiten mit diesem Apparate ohne alle Rechnung erhalten, wenn man Gewichtstheilen anfertigt, welche Tausentel des Gesamtgewichtes des Apparates sind. Wäre das Gewicht des Apparates z. B. 610, und so, daß für das Einsinken im destillirten Wasser bis zur Richte noch 390 Gewichtstheilen erforderlich sind und man müßte, um das Einsinken bis zur Richte in einer leichteren Flüssigkeit zu bewirken, 30 Gewichtstheile herabnehmen; so wäre ihr spezifisches Gewicht 0,970. Müßte man bei einer schwereren Flüssigkeit zu den 390 Gewichtstheilen 176 zulegen, so wäre das spezifische Gewicht 1,176.

Sollte das Instrument zur Bestimmung des Werthes einer Flüssigkeit in Beziehung auf einen in ihr enthaltenen Stoff angewendet werden, z. B. zur Angabe des Alkoholgehaltes im Branntweine; so müßte man die Zulagegewichte für den betreffenden Zweck einrichten und für jedes besondere Instrument Tabellen entwerfen, theils für das mit dem Gehalte von Alkohol abnehmende spezifische Gewicht, theils für die veränderlichen Temperaturen.

Die Bestimmung des spezifischen Gewichts mancher Körper mittelst ihrer Abwägung in Wasser ist dann unstatthaft, wenn der betreffende Körper in dem Wasser sich auflöst. Man ist also genöthigt, seinen Gewichtsverlust in einer anderen Flüssigkeit, in welcher er sich nicht auflöst, z. B. in Alkohol oder in Del, und deren spezifisches Gewicht bekannt ist, zu bestimmen. Dadurch hat man das Mittel gefunden, den Gewichtsverlust des Körpers in Wasser zu berechnen; denn die Gewichtsverluste eines bestimmten Körpers, die er in verschiedenen Flüssigkeit erleidet, verhalten sich wie die spezifischen Gewichte. Verlöre ein Stückchen Steinsalz, welches ein absolutes Gewicht von 1632 Gran besitzt, in Rüböl 700 Gran, und wäre das spezifische Gewicht des Rüböls 0,919; so würde es heißen:

Es verhält sich das spezifische Gewicht des Rüböls zu dem des Wassers wie der Gewichtsverlust des Körpers in jenem zu dem in diesem, oder $0,919 : 1 = 700 : x$, woraus $x = \frac{700}{0,919} = 761,7$ sich ergibt.

Nun weiß man den Gewichtsverlust des Steinsalzes im Wasser (761,7 Gran), das absolute Gewicht des ersteren (1632 Gran), folglich ist das spezifische Gewicht des Steinsalzes $\frac{1632}{761,7} = 2,142$.

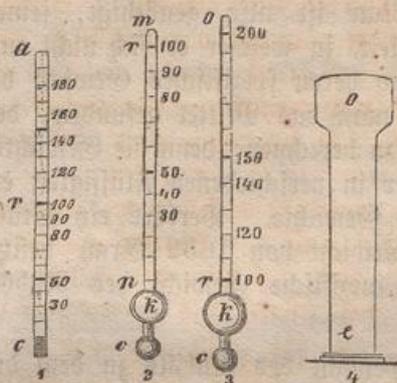
Statt dessen könnte man auch berechnen, wie vielmal dichter das Steinsalz als das Rüböl ist, was $\frac{1632}{700} = 2,331$ gibt und nun diese Zahl mit dem spezifischen Gewichte des Oeles (0,919) multiplizieren, woraus auch 2,142 sich ergibt.

Endlich hat man noch Instrumente zur Bestimmung der Dichtigkeit von Flüssigkeiten, welche sich auf das Gesetz gründen:

Die spezifischen Gewichte von Flüssigkeiten verhalten sich wie umgekehrt die Räume, um welche ein Körper von bestimmtem absoluten Gewichte in sie einsinkt.

Dieses Gesetz ist als richtig leicht zu erkennen, wenn man zunächst festhält, daß das absolute Gewicht von einem passiv auf einer Flüssigkeit schwimmenden Körper gleich ist dem absoluten Gewichte der von ihm aus dem Wege gedrängten Flüssigkeit, daß also, wenn derselbe Körper nach einander auf zwei verschiedenen Flüssigkeiten schwimmt, die Gewichte beider verdrängten Flüssigkeiten einander gleich sind. Wenn das Instrument in der einen Flüssigkeit um 6 Raumtheile einsinkt und das Gewicht jedes Raumtheiles der Flüssigkeit 2 ist; so wird, wenn das Instrument in der anderen Flüssigkeit nur um 3 Raumtheile einsinkt, das Gewicht jedes Raumtheiles dieser Flüssigkeit das Doppelte

oder 4 sein müssen. ($6:3 = 4:2$). Die darauf gegründeten Instrumente heißen *Skalen-Äräometer*.



(Fig. 124.)

Hat man eine überall gleich weite Glasröhre *ac* (Fig. 124), welche bei *c* mit soviel Quecksilber oder Schrotkörnern versehen ist, daß sie beim Eintauchen ins Wasser etwa bis *r* einsinkt; so bezeichnet man diesen Punkt mit 100, theilt die Röhre von da an herab bis ans Ende in 100 gleiche Theile und trägt dergleichen auch von *r* an aufwärts auf. In einer Flüssigkeit, die spezifisch schwerer ist als Wasser, wird das Instrument nicht bis *r* einsinken, in einer leichteren aber tiefer, und man kann durch eine einzige Beobachtung bestimmen, welches das Verhältniß des Rauminhaltes einer anderen Flüssigkeit zu dem des Wassers bei gleichem absoluten Gewichte ist, wodurch das spezifische Gewicht als bekannt angenommen werden kann.

Sänke z. B. das Instrument nur bis 74 ein, so wäre das spezifische Gewicht der Flüssigkeit $\frac{100}{74} = 1,351\dots$ Ginge es aber bis

140 hinab, so wäre es $\frac{100}{140} = 0,714285$. Im ersten Falle wiegen 74, im zweiten 140 Raumtheile der Flüssigkeit soviel als 100 Raumtheile Wasser und man muß jedesmal die Anzahl der beobachteten Skalentheile in 100 dividiren, um das spezifische Gewicht *s* zu finden. $\frac{100}{x} = s$. Der Gebrauch des Instruments ist vereinfacht, wenn man ein für allemal die Division für jede Theilungszahl ausführt. — Aus $\frac{100}{x} = s$ ergibt sich $\frac{100}{s} = x$, d. h. man findet die Menge der Skalentheile, wenn man das spezifische Gewicht in 100 dividirt.

Man nimmt statt der stabförmigen Röhren lieber solche, *mn* oder *or*, an denen unten eine etwas größere Kugel oder ein weiterer Zylinder *k* angeblasen ist, woran sich eine kleinere *c* mit Quecksilber befindet, damit das Rohr schneller und besser ins stabile Gleichgewicht komme und setzt den mit 100 bezeichneten Wasserpunkt zur Messung für leichtere Flüssigkeiten ganz unten hin (*or*), für schwere aber oben (*mn*), was durch weniger oder mehr Quecksilber in *c* leicht erreicht werden kann. Sollte ein Instrument beiden Zwecken dienen, so würde es wegen seiner größeren Länge unbequem und zerbrechlicher sein. Uebrigens läßt

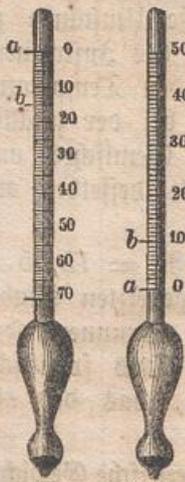
sich das Quecksilber durch das Zusammenschmelzen des Glases zwischen c und k in c leicht absperrern; es kann aber auch zu einem in dem Innern des Instrumentes enthaltenen Thermometer verwendet werden, um gleichzeitig die Temperatur der Flüssigkeit, welche das spezifische Gewicht abändert, zu wissen.

Weil mit Benutzung des von dem Instrumente verdrängten Volumens der Flüssigkeiten ihr spezifisches Gewicht bestimmt wird, so heißt es auch Volumeter.

Um für leichtere Flüssigkeiten als Wasser die Skale zu erhalten, taucht man (Gay-Lussac) es in eine Mischung aus Wasser und Alkohol, welche genau das spezifische Gewicht von 0,8 oder 80 Hunderteln hat, setzt an den Wasserpunkt 100; an den Punkt, bis zu welchem es in der Mischung einsinkt 125, weil $\frac{1}{10} = \frac{10}{100}$ ist, so daß man die Entfernung dieser beiden Punkte nur in 25 gleiche Theile zu theilen und dergleichen weiter aufwärts anzugeben braucht.

Für schwere Flüssigkeiten bereitet man sich ein Gemisch, z. B. aus Wasser und Schwefelsäure, welches genau das spezifische Gewicht 1,25 besitzt, taucht das Instrument in dasselbe und bezeichnet den Punkt mit 80, wenn der darüber liegende Wasserpunkt die Ziffer 100 trägt; denn $\frac{100}{80}$ ist gleich 1,25. Der Raum zwischen den beiden Punkten wird natürlich in 20 gleiche Theile getheilt und solche Theile werden weiter abwärts aufgetragen. Damit die Grade für schwere Flüssigkeiten nicht zu klein ausfallen, macht man die Röhren für sie dünner.

Wären die Röhren nicht überall gleich dick, so würde ihre Einteilung erschwert, weil man mehre Punkte durch ähnliche Versuche bestimmen müßte.



(Fig. 125.)

Beaumé bestimmte für sein Volumeter die Skale auf eine andere Weise. Er setzte für schwerere Flüssigkeiten oben an den Wasserpunkt a Null (Fig. 125), tauchte das Instrument in eine Lösung von 3 Theilen reinen Kochsalzes in 17 Theilen Wasser und setzte an den Punkt b, bis zu welchem es einsank, 15. Solche Fünfzehntel der Normalentfernung wurden weiter abwärts aufgetragen. — Für leichtere Flüssigkeiten setzte er den Nullpunkt unten dahin, bis wohin das Instrument in einer Lösung von 1 Theile Kochsalz in 9 Theilen Wasser einsank und an den Wasserpunkt darüber 10. Die Zehntel dieser Entfernung werden weiter aufwärts aufgetragen. Man nennt diese Theile in beiden Fällen Grade; ihr Werth aber wird erst durch Vergleichung mit dem spezifischen Gewichte der Flüssigkeiten gefunden, so daß der Gebrauch des Instrumentes

dadurch sehr beeinträchtigt wird, indem es unmittelbar weder das spezifische Gewicht, noch den Prozentgehalt einer Flüssigkeit angibt.

Ganz besonders wichtig fürs praktische Leben sind die Aräometer zur Bestimmung des Alkoholgehaltes in einer Mischung aus Wasser und Spiritus, oder die Alkoholometer. Die Mischung ist natürlich um so besser, je leichter sie ist. Das spezifische Gewicht des reinen (absoluten) Alkohol ist 0,7939. Die hierher gehörigen Untersuchungen werden dadurch erschwert, daß das spezifische Gewicht der Mischung nicht unmittelbar den Antheil des Alkohol in ihr angibt, weil bei der Verbindung beider eine Raumverminderung stattfindet, die nicht in gleichem Verhältnisse mit dem Antheile des Alkohol steht. Wenn man in einer überall gleichweiten Röhre 15 Zoll destillirtes Wasser hat und dazu 15 Zoll reinen Alkohol gießt, so hat man nach ihrer Vermischung die Röhre nicht bis auf 30 Zolle gefüllt, sondern nur etwa auf 29½.

Eine Mischung aus Wasser und Alkohol wird stets ein spezifisches Gewicht haben, welches zwischen 1 und 0,7939 liegt, aber größer ist als das arithmetische Mittel, welches man aus dem Mischungsverhältnisse berechnet; also z. B. ein Gemisch aus gleichen Raumtheilen von Wasser und absolutem Alkohol hat nicht das spezifische Gewicht 0,8969, sondern wegen seiner Raumverminderung ein größeres (0,9335). Wenn man nun, um die Skale zu erhalten, welche die Volumen-Prozente des Alkohol unmittelbar angibt, an den Wasserpunkt 0, an den Punkt des absoluten Alkohol 100 setzt; so darf man diese Entfernung nicht in gleiche Theile theilen, weil sie nach dem Nullpunkte abnehmen müssen, sondern müßte sie besonders ermitteln.

Da die Temperatur auf das spezifische Gewicht des Wassers, des Weingeistes und eines Gemisches aus ihnen von sehr wesentlichem Einflusse ist, so muß man entweder die zu untersuchenden Mischungen auf eine gewisse Temperatur bringen, die man ohne große Umstände zu allen Jahreszeiten erlangen kann und bei ihr die Skale des Instrumentes anfertigen, so daß sie auch nur bei der betreffenden Temperatur brauchbar ist, oder man muß Tabellen zuziehen, welche bei der zufällig während der Messung vorhandenen Temperatur des Gemisches und dem gefundenen spezifischen Gewichte den Alkoholgehalt desselben angeben. —

Als eine solche Temperatur ist von Tralles $12,44^{\circ}R. = 15,55..^{\circ}C.$ gewählt worden, weil man sie im Winter in einer geheizten Stube, im Sommer durch Hineinsetzen in frisches, aus tiefen Brunnen oder guten Kellern kommenden Wasser leicht erhalten kann. Das spezifische Gewicht des Wassers bei dieser Temperatur ist 0,9991, das des absoluten Alkohol 0,7939.

Die folgende Tabelle enthält dazwischen fallende spezifische Gewichte mit der Anzahl der Maße reinen Alkohols, welche in 100 Maßen Mischung enthalten sind, also die Prozente des Alkohol.

0,9991	0	0,9583	35	0,8892	70
0,9919	5	0,9510	40	0,8765	75
0,9857	10	0,9427	45	0,8631	80
0,9802	15	0,9335	50	0,8488	85
0,9751	20	0,9234	55	0,8332	90
0,9700	25	0,9126	60	0,8157	95
0,9646	30	0,9013	65	0,7939	100

Wenn das Instrument bei $12\frac{1}{2}^{\circ}$ R. eines Gemisches das spezifische Gewicht 0,8765 angibt, so sind in 100 Maß solchen Weingeistes 75 Maß absoluten Alkohols vom spezifischen Gewichte 0,7939 enthalten. Es ist das Instrument ein Umfangsprozenten-Aräometer.

Die Differenz der spezifischen Gewichte für 75 und 80 Prozent Alkohol ist $0,8765 - 0,8631 = 0,0134$; also kommt auf 1 Prozent davon der fünfte Theil, d. i. 0,0027. Wäre also das spezifische Gewicht 0,8792 gefunden worden, so wäre 1 Prozent Alkohol mehr oder 76 Prozent.

Zur Vermeidung von Rechnungen ist die folgende vollständige Tabelle entworfen.

1	0,9976	26	0,9689	51	0,9315	76	0,8739
2	0,9961	27	0,9679	52	0,9295	77	0,8712
3	0,9947	28	0,9668	53	0,9275	78	0,8685
4	0,9933	29	0,9657	54	0,9254	79	0,8658
5	0,9919	30	0,9646	55	0,9234	80	0,7631
6	0,9906	31	0,9634	56	0,9213	81	0,8603
7	0,9893	32	0,9622	57	0,9192	82	0,8575
8	0,9881	33	0,9609	58	0,9170	83	0,8547
9	0,9869	34	0,9596	59	0,9148	84	0,8518
10	0,9857	35	0,9583	60	0,9126	85	0,8488
11	0,9845	36	0,9570	61	0,9104	86	0,8458
12	0,9834	37	0,9556	62	0,9082	87	0,8428
13	0,9823	38	0,9541	63	0,9059	88	0,8397
14	0,9812	39	0,9526	64	0,9036	89	0,8365
15	0,9802	40	0,9510	65	0,9013	90	0,8332
16	0,9791	41	0,9494	66	0,8998	91	0,8299
17	0,9781	42	0,9478	67	0,8965	92	0,8265
18	0,9771	43	0,9461	68	0,8941	93	0,8230
19	0,9761	44	0,9444	69	0,8917	94	0,8194
20	0,9751	45	0,9427	70	0,8892	95	0,8157
21	0,9741	46	0,9409	71	0,8867	96	0,8118
22	0,9731	47	0,9391	72	0,8842	97	0,8077
23	0,9720	48	0,9373	73	0,8817	98	0,8034
24	0,9710	49	0,9354	74	0,8791	99	0,7988
25	0,9700	50	0,9335	75	0,8765	100	0,7939

Um Alkoholometer für den Gebrauch im Handel und auch für das Maß der Besteuerung anzufertigen, muß man die Skale so einrichten, daß sie unmittelbar durch die Punkte, bis zu welchen sie jedesmal einsinkt, die Prozente an reinem Alkohol angibt.

Die folgende Tabelle gibt in der ersten Reihe die Menge der Skalentheile an, bis zu welchen das Instrument einsinkt, die zweite die dazu gehörigen Prozente des Alkohols.

9	0	321	26	735	51	1443	76
24	1	332	27	758	52	1478	77
39	2	344	28	782	53	1514	78
54	3	355	29	806	54	1550	79
68	4	367	30	830	55	1587	80
82	5	380	31	854	56	1624	81
95	6	393	32	879	57	1662	82
108	7	407	33	905	58	1701	83
121	8	420	34	931	59	1740	84
133	9	434	35	957	60	1781	85
145	10	449	36	984	61	1823	86
157	11	465	37	1011	62	1866	87
169	12	481	38	1039	63	1910	88
180	13	498	39	1067	64	1955	89
191	14	515	40	1096	65	2002	90
202	15	533	41	1125	66	2050	91
213	16	551	42	1154	67	2099	92
224	17	569	43	1184	68	2150	93
235	18	588	44	1215	69	2203	94
245	19	608	45	1246	70	2259	95
256	20	628	46	1278	71	2318	96
266	21	648	47	1310	72	2380	97
277	22	669	48	1342	73	2447	98
288	23	690	49	1375	74	2519	99
299	24	712	50	1409	75	2597	100
310	25						

Um diese Eintheilung auf dem Aräometer zu erhalten, stellt man es zuerst in reines Wasser von $12\frac{1}{2}^{\circ}$ R. und bemerkt sich den Punkt, bis zu welchem es einsinkt, genau; dann stellt man es in eine Mischung aus Wasser und Alkohol von derselben Temperatur und einem genau ermittelten spezifischen Gewichte und bemerkt wieder den erhaltenen Punkt. Die vorletzte Tabelle gibt die Prozente des Alkohol bei dem betreffenden spezifischen Gewichte und die letzte Tabelle die Menge der Theile an, in welche man die Entfernung der beiden Normalpunkte eintheilen hat.

Wenn beispielsweise das spezifische Gewicht der Mischung bei $12\frac{1}{2}^{\circ}$ R. gleich 0,8817, das des Wassers bei derselben Temperatur 0,9991 ist; so gehören nach der vorletzten Tabelle zu jenem 73 Prozent Alkohol, denn zu 0,8892 gehören 70, zu 0,8765 gehören 75 Prozent, also kommt auf jedes Prozent der fünfte Theil des Unterschiedes $(0,8892 - 0,8765) = 0,0127$, d. i. 0,0025. Nun ist aber der hier zur Sprache kommende Unterschied $0,8892 - 0,8817 = 127$ das Dreifache des für ein Prozent geltenden, also ist der zum spezifischen Gew. 0,8817 gehörige wirklich 73. Bei 73 steht in der letzten Tabelle 1342, bei dem reinen Wasser 9; also muß die Entfernung unserer beiden Normalpunkte in $1342 - 9$, d. i. in 1333 Theile getheilt werden.

Um ein genaues Instrument für richtige Resultate zu erhalten, muß die Spindel genau zylindrisch und dünn sein, die Temperatur muß genau die oben angegebene sein, es dürfen Luftbläschen am Instrumente nicht hängen und dasselbe muß in der Flüssigkeit frei schweben, es darf dabei nicht tiefer hinein bewegt werden, als daß er nur grade eintaucht und die Flüssigkeit muß sich ringsum gleichmäßig herausziehen. Beim Ablesen hält man zuerst das Auge etwas unter den Spiegel der Flüssigkeit und erhebt es grade nur so weit, daß die untere Spiegelung verschwindet.

Außer den Alkoholometern hat man noch viele Spindeln zu ganz besonderen Zwecken, z. B. die Salzspindeln, um den Salzgehalt einer Salzsoole zu bestimmen. Ein Gewichtsprozenten-Äräometer für diesen Zweck erhält man, wenn man 1 Gewichtstheil Salz in 99 Theilen Wasser, 2 Theile Salz in 98 Theilen Wasser u. s. w. auflöst und an die Punkte, bis zu denen das Instrument einsinkt, nach der Reihe 1, 2, 3 u. s. w. setzt. Die Zwischenpunkte lassen sich leicht ergänzen. Der Nullpunkt ist natürlich als der Wasserpunkt der oberste.

Sollen eingefalzene Heringe nicht leicht verderben, so muß die dazu angewendete Salzlake eine bestimmte Konzentration haben. Für die praktischen Zwecke hat man kleine Glaskugeln angefertigt, welche darin zum Schwimmen gebracht sind und nur dienen sie zur Prüfung für alle Fälle dieser Art.

Ähnliche Spindeln hat man für Weine, für Säuren, wie z. B. für Schwefelsäure, Salpetersäure, für Zuckerlösungen (Sacherometer), wofür aber auch die Lichtbrechung Kennzeichen angibt, für den Most, um namentlich seinen Zuckergehalt zu bestimmen, selbst für Bier und Milch, wozu diese Instrumente aber nicht maßgebende Hilfsmittel sind; denn beim Biere hat sich aus dem Malze Malzzucker entwickelt, letzterer aber sich theils in Weingeist, theils in Kohlenensäure verwandelt, welche größtentheils entweicht; aber der Gummi- und Zuckergehalt vergrößert und der Weingeist verkleinert das spezifische Gewicht. Da letzterer das Vermögen, das Licht zu brechen, vergrößert, so kann die Bestimmung des spezifischen Gewichtes in Verbindung mit dem Licht-

brechungsvermögen zur Ermittlung der Güte des Bieres angewendet werden. — Bei der Milch lassen sich Verfälschung weniger durch ihr spezifisches Gewicht, als durch ihr Aussehen und den Geschmack beurtheilen.

Für luftige Körper.

Es gehören hierher nicht bloß die eigentlichen Luftarten, sie mögen einfache, wie Sauerstoff, oder zusammengesetzte, wie die atmosphärische Luft sein, sondern auch die Dämpfe aus tropfbaren und festen Körpern. In der Wirklichkeit müssen wir für jetzt allerdings noch den Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen festhalten.

Es gibt nämlich luftige Körper, welche, wie der Sauerstoff, der Wasserstoff, der Stickstoff, die atmosphärische Luft, unter allen bis jetzt bekannten Umständen den Zustand des Luftigen beibehalten; andere hat man dadurch, daß man sie abkühlte und einem bedeutenden Drucke aussetzte, nicht nur tropfbar, sondern zum Theil gar fest gemacht, wie das kohlenzure Gas (bei einem 36mal größeren Drucke, als ihn die Atmosphäre ausübt und 0° Temperatur), Stickstoffoxydulgas (welches 88° Kälte hat), ölbildendes Gas, Schwefelwasserstoffgas, Fluorkieselsgas (hat — 110° C. bei 9fachem Drucke). Die Dämpfe aber lassen sich durch Abkühlung und eine nicht so bedeutende Vermehrung des auf sie ausgeübten Druckes alle tropfbar und fest machen.

a) Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Gase nimmt man das absolute Gewicht der atmosphärischen Luft als Einheit an, so daß das spezifische Gewicht der anderen Gase die Zahl ist, welche anzeigt, wie vielmal schwerer oder leichter die betreffende Gasart ist.

Man verwendet zur Abwägung eine große Glasugel, welche durch einen Hahn gut abgesperrt werden kann. Zuerst wird durch eine Luftpumpe die atmosphärische Luft herausgeschafft und die leere Uugel abgewogen; dann läßt man Luft hinein, welche man dadurch ganz ausgetrocknet hat, daß sie mit Chlorkalk in Berührung war. Das beim jetzigen Abwägen nothwendige Mehrgewicht ist das absolute Gewicht der eingeschlossenen atmosphärischen Luft. Auf dieselbe Weise füllt man die Uugel nach und nach mit den anderen Luftarten und bekommt so ihre absoluten Gewichte bei gleichem Rauminhalte. Wenn man nun mit dem absoluten Gewichte der atmosphärischen Luft in das der anderen Luftarten, die auch trocken untersucht werden müssen, dividirt, so sind die Quotienten die spezifischen Gewichte. Wäre z. B. das Gewicht der atmosphärischen Luft 120, das der anderen Luftart 132,6 Gran; so wäre ihr spezifisches Gewicht $\frac{132,6}{120} = 1,105$, wie es beim Sauerstoffe ist. Wäre dagegen das Gewicht der anderen Luftart 8,3 Gran, so würde ihr spezifisches Gewicht $\frac{8,3}{120} = 0,069$ sein, wie es beim Wasserstoffe ist.

Um ganz genaue Resultate zu erhalten, müssen die verschiedenen Gase bei derselben Temperatur und einem bestimmten mittleren Luftdrucke abgewogen werden. Damit ferner beim Abwägen der großen Glasugel mit den Gasen der veränderte Zustand der dieselbe umgebenden Luft mit ihrer Feuchtigkeit keinen Einfluß üben könne, nimmt man zum Abwägen auf der anderen Seite nicht Gewichte, sondern auch eine Glasugel von derselben Größe und Glasorte, die man durch etwas Quecksilber gleichgewichtig macht.

Man könnte das spezifische Gewicht der Luftarten zwar auch auf das Gewicht des Wassers als Einheit beziehen, die Zahlen würden aber nicht so leicht übersichtlich sein, weil sie zu kleine Brüche wären.

Das Wasser bei seiner größten Dichtigkeit in dem angefüllten Glasballon wiege 1000 Gran, mit trockener Luft bei 0° und mittlerem Drucke gefüllt wiege er 1,293 Gran mehr, als wenn er luftleer wäre: dann ist das spezifische Gewicht der Luft $\frac{1,293187}{1000} = 0,001293187$.

Demnach ist die atmosphärische Luft $\frac{1}{0,001293} = 772,8$ mal leichter, als das Wasser. Da nun ein Kubikfuß atmosphärische Luft $2\frac{1}{4}$ Loth wiegt, so hat die ganze Atmosphäre ohne Dünste ein Gewicht von etwa 120 Billionen Zentnern.

Um zu untersuchen, ob es mit den vorhandenen Mitteln gelingt, den Glasball immer luftleer zu machen, muß man nach der vermeintlichen Entleerung ihn mit der Mündung unter Wasser öffnen und nachsehen, ob er durch das Wasser vollständig erfüllt wird, was dann geschieht, wenn er vollständig leer war. Wäre es nicht der Fall, so müßte der übrige Raum bei den obigen Betrachtungen in Abrechnung kommen.

Das spezifische Gewicht der atmosphärischen Luft läßt sich auch mit Benutzung des Barometers finden. Ist nämlich bei 15° R. Wärme der Barometerstand am Meerespiegel 28 Zoll oder 336 Linien und in einer Höhe von 73 Fuß darüber nur 335 Linien, so stehen nach dem Gesetze der kommunizirenden Gefäße die Höhestände der beiden Flüssigkeiten, nämlich des Quecksilbers und der Luft, die einander das Gleichgewicht halten, im umgekehrten Verhältnisse mit ihren spezifischen Gewichten; also $1'' : 73' = x : 13,597$ oder $1' : 10512 = x : 13,597$ und somit das spezifische Gewicht x von der Luft gleich 0,00129, wobei das Wasser die Einheit ist. Unter den obigen Annahmen ist die Dichtigkeit der Luft an der Erdoberfläche der 0,000095ste Theil von der des Quecksilbers und der 0,00029ste von der des Wassers, wobei die Dichtigkeit in der Schicht von 73 Fuß Höhe als eine sich gleichbleibende angesehen wird, was streng genommen zwar nicht der Fall ist, aber von der Wahrheit wenig abführt.

b) Obwohl die Betrachtungen von dem spezifischen Gewichte der

Dämpfe verschiedener Körper erst in der Wärmelehre ihre vollständige Erledigung finden können, mögen hier doch schon einige Bemerkungen angeschlossen werden. Der Dampf des Wassers, wie er sich aus dem kochenden Wasser bei einem mittleren Drucke (76 Zentimeter) der atmosphärischen Luft entwickelt, hat ein spezifisches Gewicht von 0,6225, wenn das Gewicht der atmosphärischen Luft von derselben Temperatur, als Einheit angenommen wird. Dies gilt für alle Temperaturen der Luft und des Dampfes, wenn er bei derselben Temperatur den betreffenden Raum erfüllt, so daß mehr darin nicht Platz findet und wenn beide dieselbe Druckkraft oder Expansivkraft haben.

Das spezifische Gewicht des Wasserstoffgases bei 0° Temperatur und dem obigen mittleren Luftdrucke ist 0,069, das des Sauerstoffgases 1,105. Obwohl 2 Maß Wasserstoff und 1 Maß Sauerstoff zur Bildung von Wasser gehören, so geben sie in ihrer Verbindung doch nur 2 Maß Wasserdampf von gleicher Temperatur und Spannkraft und man muß daraus schließen, daß das Wasserstoffgas im Wasserdampfe das doppelte spezifische Gewicht hat, also $2 \cdot 0,069 = 0,138$ und daß 1 Maß Wasserstoff von dem spezifischen Gewichte 0,138 und 1 Maß Sauerstoff von dem spezifischen Gewichte 0,105 zusammen Wasserdampf mit dem spezifischen Gewichte $\frac{0,138 + 1,105}{2} = \frac{1,243}{2} = 0,622$

geben, was mit der obigen Angabe stimmt.

Wir wollen nun das spezifische Gewicht von einer Reihe fester, tropfbarer und luftiger Körper im Zustande ihrer Reinheit und Güte angeben. Für die festen und tropfbaren Körper ist das Wasser die Einheit, für die luftigen Körper aber die atmosphärische Luft.

Feste Körper.

Platin, gereinigt	22,100	Zink, gehämmert	7,861
" gegossen	20,857	" gegossen	7,213
Gold, gehämmert	19,334	Zinn, gewalzt	7,475
" gegossen	19,258	" gegossen	7,291
Blei	11,445	Arsenik	5,628
Silber, gehämmert	10,566	Diamant	3,550
" gegossen	10,474	Glas, Frauenhofers Flint-	3,779
Kupfer, gehämmert	9,000	" englisches Flintglas	3,442
" gegossen	8,788	" Krystall	2,892
Messing, gegossen	8,440	Marmor	2,837
Argentän	8,553	Berlen	2,750
Gußstahl	7,919	Quarz	2,654
Stabeisen	7,844	Gyps, krystallfirt	2,311
Stahl	7,795	Schwefel	2,033
Eisen, geschmiedet	7,788	Elfenbein	1,917
" gegossen	7,207	Thon	1,900

Phosphor	1,770	Eichenholz, altes	1,170
Reide	1,797	Hainbuchen, trocken	0,769
Bernstein	1,078	Rothtannen, trocken	0,498
Wachs, weißes	0,969	Binden, trocken	0,439
Eis	0,885	Pappelholz	0,338
Ebenholz	1,226	Korkholz	0,240
Mahagoniholz	1,060		

Tropfbare Körper.

Quecksilber	13,597	Burgunderwein	0,992
Schwefelsäure, Nordhäuser	1,896	Thran	0,927
englische	1,845	Baumöl	0,919
Salpetersäure	1,522	Terpentinöl	0,872
Salzsäure	1,192	Zitronenöl	0,852
Madeirawein	1,038	Erdöl	0,840
Milch	1,030	Alkohol, absoluter	0,792
Meerwasser	1,027	Schwefeläther	0,715
Malaga	1,022	Blausäure	0,705

Luftige Körper.

Gase.

Jodwasserstoff	4,429	Stickstoffoxydgas	1,04
Ehlogas	2,422	Salpetergas	1,04
Flußsäure	2,370	Stickstoff	0,972
Schweflige Säure	2,247	Nelbildendes Gas	0,971
Stickstoffoxydulgas	1,53	Phosphorwasserstoff	0,92
Kohlensäure	1,529	Ammoniakgas	0,597
Salzsaures Gas	1,25	Kohlenwasserstoff	0,56
Schwefelwasserstoff	1,19	Wasserstoff	0,069
Sauerstoff	1,103		

Dämpfe.

Jod	8,718	Schwefelkohlenstoff	2,645
Quecksilber	6,976	Salpeteräther	2,586
Terpentinöl	5,013	Alkohol	1,614

Die Betrachtungen von dem spezifischen Gewichte der Körper können noch auf verschiedene Weise nutzbar gemacht werden. Man kann nämlich von den drei Stücken 1) dem Rauminhalt oder Volumen v , 2) dem spezifischen Gewichte s , 3) dem absoluten Gewichte a jedes finden, wenn die beiden anderen gegeben sind.

Weiß man das Gewicht einer Volumeneinheit von reinem Wasser, z. B. das Gewicht von einem Kubikfuß, welches nach preussischem

Gewichte 66 Pfunde, nach österreichischem 56 Pfunde 12 Loth, nach badenschem 54 Pfunde beträgt; so läßt sich daraus mittelst des spezifischen Gewichtes eines Körpers nun auch das absolute Gewicht derselben Raumeinheit als Produkt berechnen.

Ist das spezifische Gewicht des Granits 2,956, so wiegt ein Kubikfuß Granit 2,956 mal 66 Pfunde oder 195,096 Pfunde.

Ist das spezifische Gewicht des Quecksilbers 13,597, so wiegt ein Kubikfuß 13,597 . 66 Pfunde = 897,402 Pfunde.

Ist das spezifische Gewicht des Chlorgases 2,47 und wiegt ein Kubikfuß atmosphärische Luft $2\frac{1}{4}$ Loth, so wiegt ein Kubikfuß Chlorgas $2,47 \cdot 2\frac{1}{4}$ Loth oder 5,56 Loth.

Nun ist das absolute Gewicht irgend eines Körpers von bekanntem Volumen und spezifischem Gewichte ein Produkt aus letzteren, da $a = v \cdot s$, was man namentlich zur Bestimmung des Gewichtes großer Massen anwendet, die man unmittelbar nicht wägen kann.

Es fragt sich z. B., welche Transportmittel müßte man anwenden, um einen Granitblock (einen Würfel, eine Säule u. dergl.) fortzuschaffen, wenn sein Rauminhalt 100 Kubikfuß betrüge? Offenbar würde er $100 \cdot 195,096 = 19509,6$ Pfunde wiegen, wornach die Mittel zu bemessen wären.

Wäre das Volumen eines eisernen Balkens (aus Querschnitt und Länge bestimmbar) 20000 Kubikzentimeter, so wäre sein absolutes Gewicht $7,2 \times 20 = 144$ Kilogramm, indem eine Wassermasse von demselben Volumen 20 Kilogramme wiegt. (1000 Kubikmeter wiegen 1 Kilogramm.)

Auch ließe sich mit Benutzung des obigen Ausdrucks sehr leicht der Rauminhalt irgend eines Gefäßes finden, wenn die unregelmäßige Form eine geometrische Bestimmung nicht leicht gestattete. Man braucht bloß die Anzahl von Pfunden, um welche es beim Füllen mit Wasser schwerer wird, durch das Gewicht von 1 Kubikfuß Wasser zu dividiren; der Quotient gibt die Anzahl der Kubikfüße des Inhaltes an.

Ist der Rauminhalt irgend eines festen Körpers, dessen absolutes und spezifisches Gewicht man kennt, zu bestimmen, so würde man auf folgende Weise schließen:

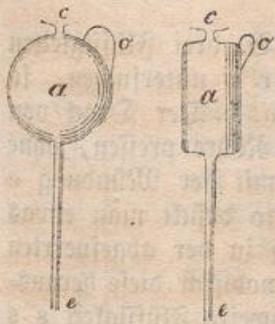
Wiegt ein Körper (z. B. aus Marmor) 112 Pfunde, ist das spezifische Gewicht desselben 2,8; so würde sein Volumen 2,8 mal größer sein, wenn er aus Wasser bestände. Es wiegt daher ein gleich großer Wasserkörper nur $\frac{112}{2,8} = 40$ Pfunde und das Volumen des Körpers beträgt so oft 1 Kubikfuß, wie oft das Gewicht von 1 Kubikfuß Wasser in 40 Pfunden enthalten ist; hier also ist das Volumen des Körpers $\frac{40}{60} = \frac{2}{3}$ Kubikfuß.

Fünfter Abschnitt.

Benutzung des Atmosphärendruckes.

Obwohl wir schon mehrfach Gelegenheit gehabt haben, den von der Atmosphäre ausgeübten Druck an Geräthschaften kennen zu lernen, so wird es doch nicht unangemessen sein, in einem besonderen Abschnitte alles das zusammen zu fassen, was noch hierher gehört, zumal wir neben Gegenständen, welche durch das Auffallende ihrer Leistungen angenehm unterhalten, auch noch Vorrichtungen anzuführen haben, welche für das praktische Leben von der größten Wichtigkeit sind.

Der Stechheber.



(Fig. 126.)

Ein Gefäß *a* (Fig. 126) von Glas oder Metallblech und beliebiger Form hat an der einen Seite eine etwa 2 Fuß oder längere dünne Röhre, an der entgegengesetzten verengt es sich so, daß man an die Oeffnung *c* den Mund bequem anlegen und sie mit dem Daumen schließen kann, wenn man das Gefäß am Henkel *o* hält.

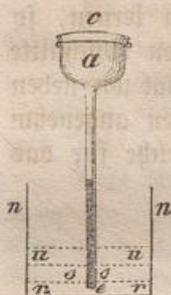
Diese Vorrichtung heißt Stechheber, weil man mit der Röhre durch die enge Oeffnung (Spundöffnung) eines Gefäßes in die darin befindliche Flüssigkeit sticht und einen Theil derselben heraus heben kann. Legt man nämlich, während

die Mündung *e* der Röhre von der Flüssigkeit bedeckt ist, den Mund auf *c*, und saugt man ferner Luft aus *a*; so steigt die Flüssigkeit von *e* aus nach *a*, und man kann es durch fortgesetztes Saugen dahin bringen, daß das ganze Gefäß mit Flüssigkeit erfüllt ist. Die Flüssigkeit dringt in das Gefäß, weil der Druck der durch das Saugen verdünnten Luft im Gefäße geringer ist, als der äußere von der Atmosphäre auf den Spiegel der Flüssigkeit im Gefäße ausgeübte, welcher sich ungeschwächt bis *e* fortpflanzt und von da an aufwärts wirkt.

Ist das Gefäß gefüllt und verschließt man *c* sofort mit dem Finger, so kann man die ganze Flüssigkeit aus dem Gefäße heben, weil, wenn *e* den inneren Spiegel verlassen hat, die Atmosphäre unmittelbar auf *e* drückt und das Herausfließen verhindert. Hat das ganze Gefäß mit dem Röhre einen bestimmten Rauminhalt, z. B. ein Quart, so weiß man gleichzeitig, wie viel man aus dem Fasse gehoben hat und kann auch gleich in entsprechende Gefäße überfüllen. Hält man nämlich *e* in die Mündung einer Flasche und nimmt dann den Finger von *c* fort, so folgt die Flüssigkeit ihrer Schwere und fließt ganz aus,

weil jetzt die Atmosphäre auf *e* und *c* fast gleich stark drückt, da *e* wenig unter *c* liegt und das Gewicht der Luftsäule von der Höhe *c e* nur ein sehr kleiner Theil von dem der Flüssigkeitssäule ist.

Die Pipette.



(Fig. 127.)

Die Pipette besteht aus einem oben mit einer dünnen Kautschukplatte *c* (Fig. 127) verbundenen Glasgefäße *a*, von etwa $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll Durchmesser und hat auf der entgegengesetzten Seite auch eine etwa 8 bis 10 Zoll lange dünne Röhre. Durch sie bezweckt man, Flüssigkeiten, welche von anderen überlagert werden, aus einem Gefäße zu heben, ohne daß man von den höher liegenden etwas herausbringt oder sie abgießt, was sich meistens nicht durchführen läßt, ohne sie alle unter einander zu bringen.

Wenn in dem Gefäße *n n* z. B. drei Flüssigkeiten sich abgesetzt haben und wir wollen die unterste *r r* untersuchen, so stecken wir die Pipette zunächst in die oberste *u u*. Der Druck von ihrem Niveau an wird etwas von ihr in die Röhre pressen, ohne daß die innere das Niveau erreicht. Ist man mit der Mündung *e* an die Gränze der nächsten Schicht gelangt, so drückt man etwas auf die Kautschukplatte, der Druck pflanzt sich in der abgesperrten Luft bis auf die Flüssigkeit im Röhrchen fort, wodurch diese herausgeht und man die jetzt leere Pipette in die zweite Flüssigkeit *s s* stecken kann. Auch von dieser dringt etwas ein und dies wird ebenso herausgebracht. Ist man in die dritte Flüssigkeit gelangt, so muß man mit dem bis jetzt auf *c* ausgeübten Drucke nachlassen und sofort steigt von dieser Flüssigkeit um so mehr ins Rohr, je größer der zuletzt ausgeübte Druck war; denn nach dem Aufhören des Druckes kann sich die innere Luft wieder ausdehnen, wodurch sie dünner wird und nicht mehr so sehr auf die Flüssigkeit im Rohre drückt, und der äußere Luftdruck, so wie der Druck der Flüssigkeiten bewirken das Steigen. Will man die herausgehobene Flüssigkeit untersuchen, so übt man auf die Kautschukplatte einen Druck aus und sie fließt heraus.



(Fig. 128.)

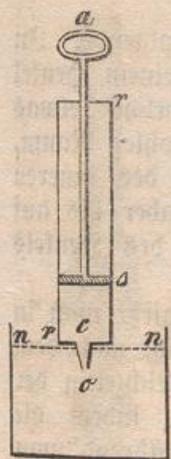
Wenn man behufs genauer chemischer Untersuchungen ganz bestimmte Mengen von Flüssigkeiten braucht, so hat man Pipetten mit bestimmter Maßeinheitlung. Sie sind entweder Vollpipetten oder Teilpipetten (Fig. 128). Bei jenen erweitert sich die unten spitz auslaufende Röhre zu einem birn- oder kugelförmigen Gefäße, an welches sich oben eine Saugröhre mit einer eingeschnittenen Marke be-

findet.

findet, bis zu welcher das Instrument gefüllt sein muß, um ein gewisses Maß von Flüssigkeit zu haben; diese sind nur zylindrische, überall gleich weite, und eingetheilte Röhren mit einer engeren Ausflußöffnung. Die Vollpipetten enthalten bis zur Marke einen Inhalt, welcher durch eine bequeme Zahl angegeben wird, z. B. 100, 50, 25, 10 Kubikzentimeter; die Theilpipette hat man von etwa 20 bis zu 1 Kubikzentimeter und hat für den letzten Inhalt bei $\frac{1}{10}$ Länge des Instrumentes die Theilung bis auf 0,01 Kubikzentimeter (= 1000 Milligramm) fortgesetzt, so daß man leicht nach 10 Milligramm abmessen kann.

Beim Gebrauche saugt man die Flüssigkeit bis etwas über den obersten Punkt, den Nullpunkt, verschließt die obere Oeffnung mit dem Zeigefinger und läßt dann vorsichtig bis zum Nullpunkte ablaufen. Bei den Theilpipetten kann man dann jede beliebige Menge Flüssigkeit erhalten.

Die Handspitze.



In eine zylindrische Röhre r r (Fig. 129), an welche sich eine engere Ausflußröhre c o schließt, paßt ein Stempel s oder Kolben, der sich mittelst einer Stange mit einem Handgriff a ohne Schwierigkeit, aber dicht anschließend, bewegen läßt.

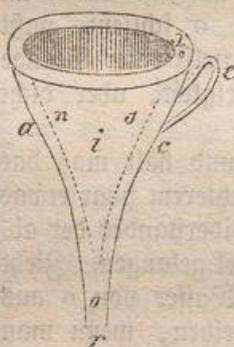
Ist der Stempel s am Boden c und hält man das Rohr o c ins Wasser, so wird von letzterem zwar etwas eindringen, aber es kann wegen des Widerstandes der abgESPERRTEN Luft nicht bis an den Stempel gelangen. Zieht man letzteren aufwärts, so folgt das Wasser von o aus in die Röhre und bleibt auch in derselben, wenn man sie aus dem Wasser zieht, was nach dem Obigen leicht erklärlich ist. Dreht man nun die Spritze um, so geht die wenige Luft nach oben an die Spritzröhre; stößt man dann den Stempel hinein, so entweicht zuerst die Luft und dann das Wasser in einem um so weiter gehenden Strahle, je stärker man bei derselben Ausflußröhre drückt oder je enger das Ausflußrohr bei derselben Gestalt und demselben Drucke ist; nur darf es nicht so enge sein, daß die Haarröhrchenanziehung (Kapillarattraktion) zur Wirkung gelangt.

In Beziehung auf die Entfernung, bis zu welcher der Strahl geht, welche von der Geschwindigkeit an der Mündung abhängt, gilt das Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft. Die eine Kraft ist die auf den Stempel ausgeübte Druckkraft, die andere wird durch die Menge des in einer Zeiteinheit ausfließenden Wassers angegeben. Diese Menge aber ist abhängig von der Größe des Querschnittes der Mündung und der Geschwindigkeit des durch sie strömenden Wassers; je weiter die

Mündung ist, desto langsamer strömt es aus, und wenn die Mündung die Weite des Zylinders hätte, so würde diese Geschwindigkeit gleich der des Kolbens sein. Immer ist für eine bestimmte Druckkraft das Produkt aus dem Querschnitte der Mündung (in welcher gleichzeitig eine bestimmte Menge von Wassertheilchen einer bestimmten Größe Platz findet) und der Geschwindigkeit des durch sie gelangenden Wassers eine bestimmte Größe. Ueber den Einfluß, welchen die Form der Ausflußröhre hat, werden wir noch bei einer anderen Gelegenheit im Zusammenhange mit ähnlichen Erscheinungen das Nöthige anführen.

Der Zaubertrichter.

Es mag für Denjenigen, welcher mit der Einrichtung des Apparates und der Natur der Sache nicht vertraut ist, allerdings etwas Ueber-
raschendes und allenfalls auch Zauberhaftes haben, wenn man sieht, wie es Jemand in seiner Gewalt hat, einen Trichter, aus welchem augenscheinlich alle Flüssigkeit herabgeflossen ist, noch wiederholt auf Befehl fließen zu machen.



(Fig. 130.)

Die Einrichtung ist höchst einfach folgende. In einem Trichter *a r c* (Fig. 130) mit einem Henkel *e* befindet sich ein zweiter *n o s*, welcher etwas kürzer ist. Zwischen beiden ist ein hohler Raum, der unten bei *o* mit dem Raume *i* des inneren Trichters in Verbindung steht, oben aber bis auf eine kleine Oeffnung *x* in der Nähe des Henfels abgefrert ist.

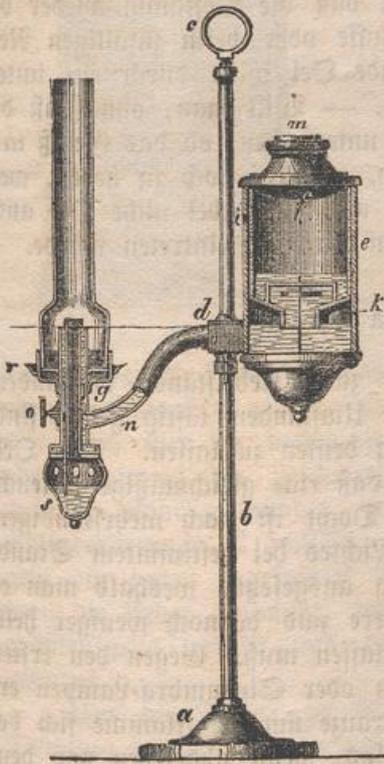
Hält man die Oeffnung *r* zu und gießt man in den inneren Trichter Wasser, so füllt sich, nach dem Gesetze der kommunizirenden Gefäße, gleichzeitig der Zwischenraum bis zu derselben Höhe, indem die Luft aus ihm durch *x* entweicht. Verschließt man nun, während man den Trichter am Henkel hält, die Oeffnung *x* unbemerkt mit dem Daumen und öffnet man bei *r*, so fließt alles Wasser aus dem inneren Trichter, aber das im Zwischenraume wird durch den von *o* aus wirkenden Atmosphärendruck zurückgehalten. Lüftet man *x*, was geschehen kann, ohne daß es von Andern wahrgenommen wird, so fließt wieder Wasser aus, schließt man *x*, so hört der Abfluß auf. Wenn man mit dem Abfließenlassen sparsam ist, so kann die Unterbrechung des Fließens öfters wiederholt werden.

Schiebelampen mit Niveaualter.

Soll ein Licht eine gleichmäßige Helligkeit zeigen, so müssen der Flamme die Brennstoffe, also die atmosphärische Luft und z. B. Del, rechtzeitig und gleichmäßig zugeführt werden. Ragt ein Docht über die

Delfläche in einem Gefäße hervor, so wird sich das Del zufolge der Haarröhrchenanziehung im Dochte emporziehen und man kann dasselbe anbrennen. Wird der Spiegel des Dels durch das Verbrennen tiefer und ragt das festgehaltene Docht dann weiter hervor, als daß das Del in so großer Menge emporsteigen könnte, als in einer gewissen Zeit früher verbrannte; so wird ein Theil des Dochtes verbrennen, d. h. das Docht wird sich verkohlen, wodurch es die Kapillarkraft verliert, indem die feinen inneren Kanäle verstopft werden. Die Flamme wird trübe und es entwickelt sich Rauch statt Licht. Man hat demnach das Docht in Schwimmern angebracht, wie bei den Nachtlampen, damit es gleichmäßig mit dem Verbrauche des Dels sinke.

Für größere Flammen wäre eine ähnliche Einrichtung unbequem und man könnte dabei nicht für hinreichenden Zufluß von Luft sorgen. Die Schiebelampen sorgen für die Erhaltung des Delniveaus im Brenner und für gute Luftströmung.



(Fig. 131.)

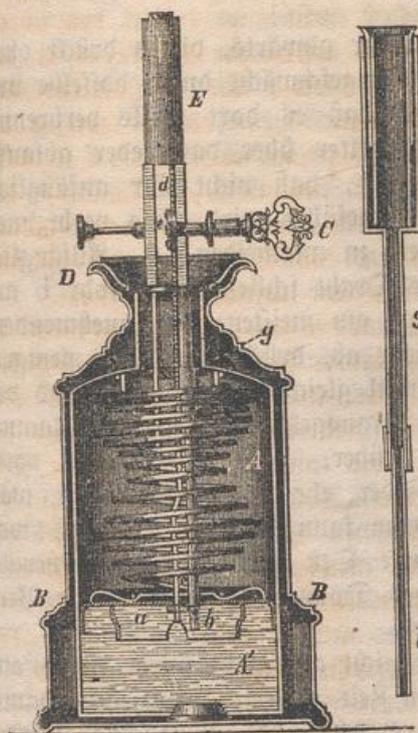
In Fig. 131 ist a ein mit Metall ausgegossener Fuß, in ihn ist ein massiver Metallstab b c geschraubt, welcher oben einen abzuschraubenden Ring c zum Tragen enthält; an dem Stabe ist mittelst einer verschiebbaren Hülse oder Nuß d die eigentliche Lampe angebracht, die sich mittelst einer durch die Hülse gehenden Schraube an den Ständer b c festschrauben läßt. Diese Hülse ist übrigens hohl und steht auf der einen Seite durch die Röhre n mit dem Brenner, auf der anderen mit dem Delkasten in Verbindung. Der ringförmige, durch zwei unten verbundene Zylinder gebildete Delraum des Brenners enthält das in ihm verschiebbare Docht; der Delkasten e hat oben an der Seite bei i eine kleine Oeffnung und in ihn paßt ziemlich lose das Delgefäß m t, dessen untere kleine Oeffnung durch ein nach innen sich öffnendes und loses Scheiben- oder Kugelventil geschlossen werden kann. An diesem Ventile, welches innen durch eine Querleiste in einem beschränkten Spielraume erhalten wird, ist ein bis nach außen gehender Metalldraht, durch welchen man es bis an die Oeffnung ziehen kann und welcher so lang ist, daß das Delgefäß unten geöffnet wird, wenn man es in den Kasten steckt, weil der Draht dann noch hervorragt, wenn auch das Ventil am tiefsten in ihm steckt.

Ist das herausgenommene Delgefäß gefüllt worden, so zieht man das Ventil mittelst des Drahtes an die Oeffnung und stürzt es umgekehrt in den Delfasten. Sofort wird das Ventil zurückgestoßen, indem der Draht auf den Boden trifft, das Del fließt aus, erfüllt den untersten Raum des Kastens, von wo aus es durch die Röhre *n* in den Brenner geht und steht dann nach dem Gesetze der kommunizirenden Röhren im Brenner und Kasten gleich hoch, wenn es im letzteren die Mündung bedeckt, denn das noch im Delgefäße befindliche Del wird durch den Druck der Atmosphäre gehindert auszufließen. Die Höhe des Brenners muß so bemessen werden, daß es, wenn die Lampe gerade steht, niemals über ihn weglauft, sondern etwas tiefer bleibt und nur durch die Haarröhrchenanziehung des Dochtes zur Flamme steigt. Ist durch das Brennen nach und nach Del im Kasten verzehrt worden, so wird die Oeffnung des Delgefäßes bloß gelegt und es dringt durch den bequemen Zugang von *i* aus etwas Luft ein, welche über das *De* steigt, so daß von ihm so viel ausfließt, daß die Oeffnung wieder bedeckt ist. — Das beim zu reichlichen Zustusse oder beim zufälligen Neigen der Lampe am Brenner überströmende Del wird durch ein unten angebrachtes Sammelgefäß *s* aufgefangen. — Will man, ohne daß die Flamme schon matt zu brennen anfängt, untersuchen, ob das Gefäß *m* noch Del enthält, so muß man sich hüten, es allzu hoch zu heben, weil das Ventil wohl selten so gut schließt, als daß dabei nicht Del ausfließen sollte, wodurch ein Ueberfließen am Brenner eintreten würde.

Moderateurlampen.

Bei den Schiebelampen sind noch zwei Uebelstände vorhanden, welche zwar nicht bedeutend, aber unter Umständen lästig genug sind, um nicht auf Mittel zu ihrer Beseitigung denken zu lassen. Der Delfasten wirft nämlich einen Schatten, so daß eine gleichmäßige Erleuchtung ringsum nicht stattfindet und das Docht ist nach mehrstündigem Gebrauche doch einer die Helligkeit des Lichtes bei bestimmtem Stande des Dochtes beeinträchtigenden Verkohlung ausgesetzt, weshalb man es mehr herausschrauben und sich eine größere und dennoch weniger helle Flamme mit mehr Delverbrauch gefallen lassen muß. Gegen den ersten Uebelstand hat man wohl die schattenlosen oder *Sineumbra*-Lampen erfunden, bei welchen das Del in einem Kranze um die Flamme sich befindet; aber sie sind auch nicht schattenlos, denn abgesehen von dem Schatten des Rohres, welches das Del in den Brenner führt und eines ihm gegenüberstehenden Halters, wirft der Kranz doch auch einen Schatten, wenn auch in größerer Entfernung; und der Uebelstand des Verkohlens des Dochtes ist geblieben, so daß man dasselbe, wie bei der Schiebelampe, nach jedem Gebrauche verkürzen und den Brenner reinigen muß.

Beides vermeidet die Moderaturlampe, welche also keinen Schatten wirft, das Docht nicht verkohlen läßt und daher auch reinlicher und sparsamer bei derselben und sich gleichbleibenden Lichtstärke brennt.



(Fig. 132)

bewegt werden kann, so daß dadurch die Feder zusammengedrückt wird oder auseinander geht. Durch die Lederscheibe und an sie befestigt, also auch mit ihr beweglich, geht ein hohles Rohr b, welches nach oben, wie es die Zeichnung seitwärts deutlich angibt, in ein etwas weiteres Rohr g mündet, um welches sich der gewöhnliche Argandsche Zylinderbrenner E schließt. Von der Dochthülse des Brenners aus geht ein unten zugespitzter Draht mitten durch g, so daß er, wenn man die Feder anspannt, wodurch sich b in das g schiebt, das Rohr b größtentheils erfüllt und dem Oele nur einen sehr mäßigen Zufluß gestattet.

Um die Lampe zu füllen, spannt man die Feder mittelst der Drehung des C ab, so daß die Lederscheibe unten ist, gießt Oel nach D ein, so daß es sich über der Scheibe ansammelt; dann schraubt man bei C so, daß die Lederscheibe aufwärts geht, wodurch sich unter ihr ein luftverdünnter Raum bildet. Von oben drückt die Atmosphäre also mehr, als die Luft von unten, dadurch wird der Rand der Lederscheibe herabgedrückt und das Oel läuft unter sie, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist und das Leder sich wieder an die Wand des Oelbehälters

Fig. 132 gibt den Durchschnitt einer solchen Lampe an. A A ist ein Oelbehälter, welcher nach oben sich verengt und am Ende bei D sich etwas trichterförmig erweitert, um dort das Oel bequem eingießen zu können. Die äußere Umgebung desselben bildet ein Mantel von beliebiger Gestalt und aus beliebigem Stoffe. In dem Oelbehälter befindet sich eine ziemlich starke Lederscheibe a von etwas größerem Durchmesser, so daß ihr Rand ringsum nach unten gebogen ist, wodurch sie die Gestalt einer Klappe bekommt, die sich an die Innenwand des Oelbehälters anpreßt. Zwischen ihr und der Decke des letzteren ist eine ziemlich starke Spiralfeder eingeklemmt. Von der oberen Fläche der Lederscheibe geht eine Metallstange c d aus, die oben gezahnt ist und durch ein kleines Getriebe bei e mittelst des Schraubenkopfes C auf- und abwärts

anschließt. Nun kann man aufsneue eingießen und das Verfahren wiederholen, bis der Behälter größtentheils erfüllt ist. Ist dies geschehen, so ist die Feder angespannt, b steckt ganz in g und der Draht ganz in b.

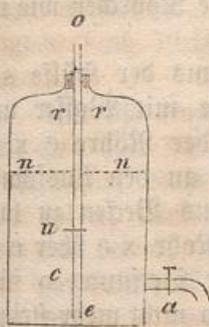
Der Druck der Feder preßt das Leder abwärts, dieses drückt oben auf das Del, dieser Druck pflanzt sich ungeschwächt durch dasselbe und das Rohr b bis zum Brenner fort, so daß es dort theils verbrennt, theils über und durch D in den Delbehälter über das Leder abläuft. Es muß die Einrichtung so getroffen sein, daß nicht nur anfänglich, sondern fortwährend etwas mehr Del zugeführt wird, als verbrennen kann, um das Verkohlen des Dochtes zu vermeiden. — Anfänglich drückt die Feder am stärksten, aber der Draht schließt das Rohr b am meisten und hemmt also auch den Zufluß am meisten; mit zunehmendem Delverbrauche spannt sich die Feder mehr ab, drückt also auch weniger, aber der Zufluß ist mehr erleichtert, weil gleichzeitig b herab und der Draht mehr und und mehr aus ihm herausgeht, so daß die Flamme immer noch so viel Del bekommt, als früher.

Es ist angemessen, daß man die Feder, ehe sie abgespannt ist, was man durch die Beobachtung leicht erkennen kann, wieder aufzieht, wodurch das über dem Leder angesammelte Del zum Gebrauche herabkommt und ein vorzeitiges Verkohlen des Dochtes, also auch eine Verminderung der Helligkeit vermieden wird.

Auch wenn die Lampe einige Zeit nicht gebraucht wird, ist es angemessen, ihr Del zu geben und sie von Zeit zu Zeit aufzuziehen, damit das Docht durch stehendes Del nicht verklebt und unbrauchbar werde, denn es verliert dadurch seine Kapillaranziehung und verkohlt sehr bald. — Daß man Unreinigkeiten, die sich übrigens bei guter Behandlung der Lampe selten finden, nicht darf ins Del kommen lassen, versteht sich wohl von selbst, weil durch sie das Röhrchen b verstopft werden würde, wenn sie nicht etwa sich ganz untenhin absetzen, wohin es mit seiner Mündung nicht kommt.

Mariottes Gefäß.

Da der Druck einer Flüssigkeit auf eine Stelle der Seitenwand von bestimmter Größe mit wachsender Tiefe unter dem Niveau zunimmt, so muß diese Flüssigkeit aus einer tiefer gelegenen Oeffnung schneller ausströmen, als aus einer höher liegenden und, wenn man sie nur aus einer strömen läßt, ohne eine Erneuerung der Flüssigkeit vorzunehmen, so muß die Ausflußgeschwindigkeit, also auch die Menge der ausfließenden Flüssigkeit abnehmen. Mariotte aber hat eine einfache Vorrichtung angegeben, durch welche man ohne neuen Zufluß einen Strahl von gleichbleibender Stärke während einiger Zeit erhält.

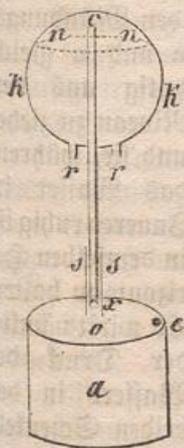


(Fig. 133.)

In einem Gefäß (Fig. 133), welches in der Nähe des Bodens eine abzusperrende Ausflusshöhre *a* hat, geht luftdicht durch den Hals eine verschiebbar und an beiden Enden offene Röhre *o e*. Ist das Gefäß etwa bis *n n* mit Wasser gefüllt, die Röhre mit ihrer unteren Oeffnung *e* noch unterhalb der geschlossenen Ausflußöffnung; so steht das Wasser in der Röhre so hoch, als im Gefäße. Oeffnet man *a*, so fällt das Wasser in der Röhre rasch bis *c*, welches mit der Ausflußöffnung in demselben Horizonte liegt und das Ausfließen hört bald auf, wenn durch *a* Luftblasen ins Gefäß nicht steigen, weil der freie Atmosphärendruck bei *a* und *e* dem Drucke der Wassersäule im Gefäße von *c* an und der darüber befindlichen durch den Abfluß des Wassers verdünnten Luft das Gleichgewicht hält.

Zieht man nun die Röhre aufwärts, so daß ihre untere Mündung etwa bei *u* ist, so beginnt der Ausfluß bei *a* wieder und zwar so stark, als ob im Gefäße das Wasser nur bis *u* reichte und es treten dabei fortwährend von *u* aus Luftblasen durch das Wasser nach *r*. Jetzt hält nämlich der von *o* aus durch die Röhre auf das Wasser bei *u* wirkende und von da fortgepflanzte Atmosphärendruck das Gleichgewicht dem Drucke der Wassersäule über *u* und der in *r r* befindlichen Luft, deren Spannkraft beim Sinken des Wasserspiegels durch das Hereindringen der Luftblasen stets um so viel vermehrt wird, als das Wasser an Druckkraft verliert, so daß stets nur die Wassersäule *u c* die Stärke des Ausflusses bestimmt.

Der sich unterbrechende Brunnen.



(Fig. 134.)

Es ist eine für den mit dem Gezenstaude nicht bekannten Beschauer allerdings überraschende Erscheinung, wenn aus den vom Boden eines Gefäßes ausgehenden Röhren die darin enthaltene Flüssigkeit mit wiederholten Unterbrechungen zeitweise ausfließt.

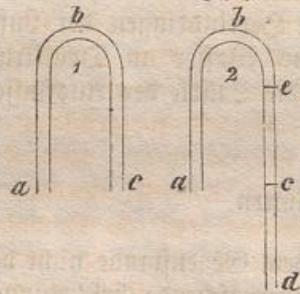
Fig. 134 stellt einen solchen intermittirenden Brunnen dar. *a* ist ein Gefäß, welches oben beckenförmig ausgetieft ist, am Rande eine kleine Oeffnung *e* und eine andere *o* in der Mitte hat. Ueber der letzteren ist ein kurzes Rohr *s s* aufgesetzt, welches unten an einer Stelle sich an das Becken nicht anschließt, sondern eine kleine Oeffnung läßt. Außerdem ist ein zweites Gefäß *k k* von beliebiger Form nothwendig, durch welches bis in die Nähe des Bodens ein offenes engeres Rohr *x c* geht, welches am Ende *x* einen

kleinen Ausschnitt hat und von dessen Decke einige enge Röhrchen wie r r ausgehen.

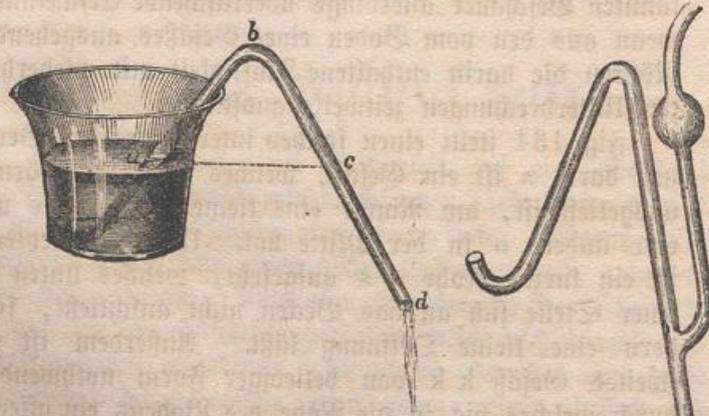
Man füllt das Gefäß k k, nachdem man es aus der Hülse s s gehoben, mittelst der Röhre x c zum größten Theile mit Wasser und steckt es umgekehrt, wie es die Zeichnung zeigt, mit der Röhre c x in die Hülse s s, wobei man den Ausschnitt der Röhre an den Ausschnitt der Hülse bringt. Sofort beginnt Wasser aus r r ins Becken zu laufen und von x aus steigt anfänglich Luft durch das Rohr x c über n n. Sowie aber durch das herabgefllossene Wasser die zur Oeffnung o führenden Röhrenausschnitte bedeckt sind und Luft über n n nicht mehr steigen kann, hört der Ausfluß auf. Nach und nach fließt aber durch die kleine Oeffnung o doch so viel in das Gefäß a, aus welchem die Luft durch e entweicht, daß wieder Luft durch x c steigen kann, und ist dies geschehen, so beginnt der Ausfluß wieder u. s. f., wie lange noch Wasser in k k ist.

Der Schenkelheber.

Es ist häufig erwünscht, Flüssigkeiten, welche sich in einem Gefäße mit enger Oeffnung (die Spundöffnung einer Tonne) befinden, ohne sie auszugießen, in ein anderes tiefer liegendes Gefäß von beliebiger Gestalt überzuführen, z. B. Spiritus, welcher auf dem Straßenpflaster lagert, in einen Keller abzulassen. Zu diesem und zu ähnlichen Zwecken dient der Württembergische oder Schenkelheber.



Wenn man eine gebogene Glasröhre a b c (Fig. 135) mit gleich langen Schenkeln dadurch mit Wasser füllt, daß man sie in einem Gefäße mit Wasser untertaucht, sie dann im Wasser in die Lage der Zeichnung bringt und nun langsam emporzieht; so bleibt das Wasser in beiden Schenkeln, selbst wenn man die Röhre über dem Wasser hält, wenn es nur gelingt, die beiden Mündungen a und c gleichzeitig aus dem Niveau zu ziehen und sie, während das Wasser im Inneren ruhig ist, in demselben Horizonte zu halten. Es wirkt nämlich der Druck des Wassers in den beiden Schenkeln abwärts und der Atmosphären-



(Fig. 135.)

druck aufwärts. Der letztere ist so lange größer, als jede der Wasserfäulen noch nicht die dem Drucke der Atmosphäre entsprechende Höhe erreicht.

Ist die eine der beiden Röhren länger, z. B. um das Stück cd (2) und sind sie beide gefüllt, so ist ein Gleichgewicht der Kräfte nicht vorhanden; denn bei d ist der nach unten gerichtete Wasserdruck größer als bei a ; aber auch der nach oben gerichtete Luftdruck bei d ist größer als der bei a , weil d in der Atmosphäre tiefer liegt, als a . Indes ist der Luftdruck bei d um weniger größer, als der Wasserdruck, weil die Luftsäule von der Höhe cd leichter ist, als die Wassersäule von derselben Höhe und mit derselben Grundfläche d .

Aus dem Angeführten folgt, daß das Wasser bei d ausfließen muß. Aber weder bei c , noch darüber bis zum höchsten Punkte der Krümmung entsteht ein leerer Raum, weil der bei a wirksame Atmosphärendruck das Wasser in diesem Schenkel hinauf bis zum höchsten Punkte der Krümmung drückt, worauf es dem Zuge des in bd herabfallenden folgt. —

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß im luftleeren Raume der Schenkelheber nicht fließt oder ein fließender bei der fortschreitenden Luftverdünnung um so eher aufhört, je höher b über a liegt.

Will man nun durch den Schenkelheber ein Gefäß theilweise oder ganz leeren, so steckt man, wie es Fig. 3 zeigt, den kürzeren Schenkel in die Flüssigkeit, die in ihm bis zum Niveau steigt, und saugt bei d Luft aus. Dadurch wird die abgesperrte Luft verdünnt, ihre Druckkraft auf die Flüssigkeit im Rohre vermindert und diese muß dem größeren auf das Niveau wirkenden und durch die Flüssigkeit fortgepflanzten Drucke folgen, steigt also im kürzeren Schenkel um so mehr, je mehr Luft ausgesaugt worden ist und ist sie im längeren Schenkel bis unter das Niveau der Flüssigkeit im Gefäße gelangt, welches jetzt als die Lage der Mündung des kürzeren Schenkels anzusehen ist; so fließt sie weiter von selbst und so lange aus, als der kürzere Schenkel noch in der Flüssigkeit steckt und die Mündung des äußeren noch unter deren Niveau sich befindet.

Hat man die Flüssigkeit auch nur bis c (Fig. 2) oder bis in dessen Nähe gesaugt, so kommt der Heber schon in den Gang, weil sie nach dem Beharrungsgesetze dort nicht stehen bleibt, sondern darüber hinausgeht. Hat man die Flüssigkeit aber weniger weit, z. B. nur bis e gesaugt und hört man zu saugen auf; so geht sie von e aus aufwärts über b ins Gefäß zurück, weil jetzt ba als der längere Schenkel anzusehen ist.

Die lothrechte Entfernung des höchsten Punktes des Hebers über dem Niveau der Flüssigkeit richtet sich nach ihrem spezifischen Gewichte: sie darf nicht die Höhe übersteigen, ja nicht einmal erreichen, welche von der betreffenden Flüssigkeit dem Drucke der Atmosphäre gleich ist, also

bei Wasser etwa 32 Fuß, bei Quecksilber 28 Zolle. Durch Heber kann man also Wasser nicht über bedeutende Anhöhen bringen. Da in den Flüssigkeiten stets etwas Luft enthalten ist, so wird sie die Höhe etwas vermindern und kann sich bei längerem Fließen des Hebers oben so ansammeln, daß er endlich zu fließen aufhört. Man muß ihn dann von neuem füllen.

Die Menge des durch einen bestimmten Heber ausfließenden Wassers wird um so größer sein, je tiefer die Mündung des langen Schenkels unter dem Niveau liegt. Hat der Heber eine feste Lage im Gefäße, so nimmt mit fallendem Niveau die Ausflugschwindigkeit, also auch die Ausflugsmenge ab. Will man, daß immerfort dieselbe Menge abfließt, so muß man den kürzeren Schenkel durch einen schwimmenden Körper stecken, welcher den ganzen Heber trägt, so daß mit sinkendem Niveau auch die Mündung des längeren Schenkels um gleich viel sinkt.

Da das Saugen an der Mündung des langen Rohres theils un bequem, theils nachtheilig werden kann, wie z. B. bei Schwefelsäure; so wendet man ein gegen das Ende des langen Schenkels angelegtes und nach oben gerichtetes Saugrohr an, welches zu noch besserer Sicherung eine kugelförmige Erweiterung hat, wie es Fig. 4 zeigt. Nachdem der kürzere Schenkel in die Flüssigkeit gesteckt worden, verschließt man die Mündung des längeren irgendwie und saugt am Ende des Seitenrohres, bis die Flüssigkeit, was man leicht hört, bei Glasröhren sieht und an dem Luftzuge des Saugrohres wahrnimmt, unten am langen Schenkel anschlägt; dann öffnet man den letzteren. Solche Heber nennt man auch Giftheber.

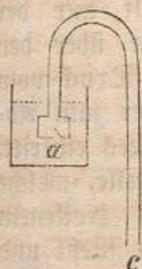
Das Füllen des Hebers kann noch auf verschiedene Weise geschehen. Will man z. B. heißes Wasser aus einem Kessel in eine benachbarte Badewanne bringen, ohne es auszuschöpfen, so steckt man in das lange Rohr an einem Stäbchen einen mit Berg umwundenen und mit etwas Del getränkten gut passenden Kork bis an die Biegung und zieht ihn heraus, während die Mündung des kurzen Rohrs im heißen Wasser steckt.

Man kann den Heber auch, ihn mit den Oeffnungen nach oben in einer horizontalen Ebene haltend, füllen, die beiden Mündungen abschließen und nicht eher öffnen, als bis die des kürzeren Schenkels in der Flüssigkeit steckt und die des längeren unterhalb ihres Niveaus liegt.

Sind beide nach unten gerichtete Oeffnungen geschlossen und hat man eine verschließbare Oeffnung oben an der Krümmung, so kann durch sie der Heber gefüllt werden. Ist dieses geschehen, so verschließt man diese Oeffnung und verfährt dann nach dem Obigen.

Eine sinnreiche Methode, den Heber in den Gang zu bringen, besteht darin, daß man den längeren Schenkel in der Nähe der Krümmung zu einer Kugel aufbläst oder eine Erweiterung anbringt, diesen Schenkel und die Kugel mit der betreffenden Flüssigkeit anfüllt und

dann den Heber umkehrt, indem man den kürzeren Schenkel in die abzulassende Flüssigkeit bringt.



(Fig. 136.)

Ist am kürzeren Schenkel *a* in einer Erweiterung desselben (Fig. 136) ein nach innen sich leicht öffnendes Klappenventil angebracht und bringt man diesen Schenkel in Flüssigkeit, so wird er schon dadurch etwas mit Flüssigkeit erfüllt. Wenn man nun den Heber in einzelnen Stößen abwärts bewegt, so gelangt bei jedem Stoße von der Flüssigkeit etwas durch das Ventil in den kürzeren Schenkel, weil das Zurückfließen verhindert ist. Dadurch kann man es auch so weit bringen, daß der Heber endlich fließt, wobei aber vorausgesetzt wird, daß die Strömung das Ventil stets offen erhält. Dieser Ventilheber hat den Vorzug, daß die Flüssigkeit, wenn sie einen trüben Bodensatz hat, beim Herausziehen desselben nicht umgerührt wird, weil ein Zurückfließen aus dem Heber wegen Schließung des Ventils nicht stattfindet.



(Fig. 137.)

Eine ganz bequeme Methode, den Heber *abc* (Fig. 137) zu füllen und in den Gang zu bringen, besteht darin, daß man vom Ende *c* des längeren Schenkels, wo man eine Oeffnung oder eine kleine Röhre anbringt, noch eine Röhre *cd* aufwärts und etwas über den höchsten Punkt *b* des Hebers gehen läßt. Hält man *c* zu und gießt man von *d* aus von der betreffenden Flüssigkeit so viel ein, daß sie bis *b* gelangt ist; so wird der Heber, nachdem man *a* unter das Niveau der abzulassenden Flüssigkeit gebracht hat, bald zu fließen anfangen, denn die aus *c* kommende Flüssigkeit bewirkt in *ba* eine Luftverdünnung und diese ein Steigen der Flüssigkeit im Gefäße. Man kann diese Vorrichtung einen Doppelheber nennen.

Anwendungen des Schenkelhebers.

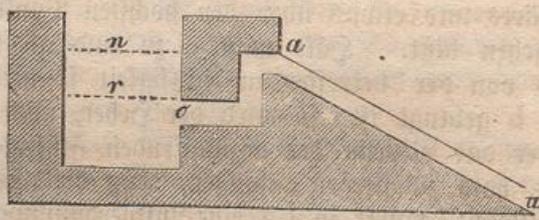
Es finden sich theils in der Natur Erscheinungen, welche sich nur aus der Theorie des Hebers erklären lassen, theils hat man Einrichtungen getroffen, um diese Theorie zum Nutzen oder zur Unterhaltung anzuwenden.

In der ersten Beziehung ist bemerkenswerth der Zirknitzer See, bei welchem es gestattet ist, in demselben Jahre Fischfang zu treiben und Mais anzubauen. Wenn er sich durch das Schmelzen des Schnees und den Zufluß der Gewässer bis zu einer gewissen Höhe erfüllt hat, läuft das sämmtliche Wasser ab, um in der trockneren Jahreszeit sich bebauen zu lassen. Dieses Abfließen ist nur dadurch möglich, daß von seinem Boden aus, wenn auch in einiger Tiefe unter der Sohle, durch

Felsen ein heberartiger Kanal zunächst etwas aufwärts und dann abwärts in tiefer liegende hohle Räume geht. Ist der See noch nicht bis zum höchsten Punkte dieses versteckten Kanals gefüllt, so enthält nur der kürzere Schenkel desselben Wasser; sowie aber das Niveau über den höchsten Punkt gekommen ist, läuft das Wasser durch den Druck vom Niveau aus in den anderen Schenkel, wodurch er bis zu der zum Abfließen nöthigen Tiefe gefüllt wird und das Entleeren des Sees eintritt.

Zu Green County in Virginien ist eine sehr starke Quelle, welche eine kleine Mühle treiben könnte, die in 24 Stunden bei trockenem Wetter 7 bis 8mal, bei nassem stündlich 20 bis 30 Minuten fließt und dann völlig verschwindet.

In Frankreich hat man Kanalheber angelegt. Nämlich der Kanal von Languedoc, welcher mittelst der Garonne zur Verbindung des Mittelländischen Meeres mit dem Atlantischen Oceane dient, würde durch die vielen kleinen von Gebirgshöhen kommenden Gewässer gegen das Frühjahr und bei heftigen Regengüssen der Gefahr der Ueberfluthung ausgesetzt sein, wenn man dagegen nicht Vorkehrungen getroffen hätte, welche es aber auch gleichzeitig verhindern, daß der Wasserstand unter das zur Schiffahrt nöthige Maß herabgesetzt werde. Die Vorrichtung muß also das Ueberschreiten eines höchsten und eines tiefsten Wasserstandes nicht gestatten und dazu dienen heberartige Kanäle.



(Fig. 138.)

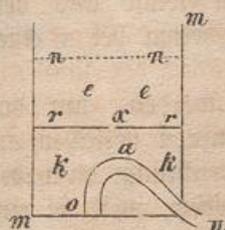
mit r in demselben Horizonte liegt.

Steigt das Wasser im Kanale von r an, so füllt sich der kürzere Schenkel bis zu derselben Höhe; wenn es den Stand n erreicht hat, so erfüllt es den obersten Theil des Hebers ganz und es muß dann in dem längeren Schenkel wegen des von n ausgehenden und durch den Heber fortgesetzten Druckes herab- und ausfließen, bis von o aus Luft in den Heber gelangen kann, was geschieht, wenn der tiefste Stand so eben erreicht worden ist. — Noch ehe der oberste Theil des Hebers gefüllt ist, wird bei u schon etwas Wasser ausfließen und das wird selbst längere Zeit geschehen, wenn nämlich der Zufluß in den Kanal nicht größer ist, als der Abfluß; wenn aber ein schneller und bedeutenderer Zufluß eintritt, so fließt dann der Heber voll aus.

Es gibt manche Quellen und Brunnen, welche die Eigenthümlichkeit besitzen, daß sie nur mit Unterbrechungen Wasser geben; man nennt sie deshalb intermittirende Quellen, auch wohl Hunger-

Fig. 138 stellt einen Querschnitt des Kanals mit dem Heber dar, n ist dabei der höchste, r der tiefste Wasserstand, o an der Heber, dessen höchster Theil a mit n und obere Oeffnung o

brunnen. Man kann sich leicht eine Vorrichtung herstellen, welche dieses im Kleinen leistet.

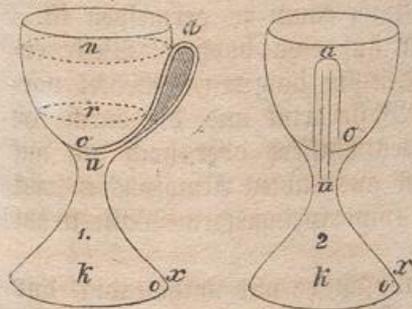


(Fig. 139.)

In Fig. 139 sei mm ein Gefäß mit zwei Abtheilungen ee und kk, in der Zwischenwand ist nur eine kleine Oeffnung x, in der unteren Abtheilung ist ein Schenkelheber oau, dessen kürzerer Schenkel in der Nähe ihres Bodens, dessen längerer aber außerhalb seine Oeffnung hat.

Hat nun die obere Abtheilung einen bedeutenden Wasserzufluß oder ist sie gefüllt, so kann es durch die kleine Oeffnung o nur allmählig in die untere gelangen und wird in derselben so lange bleiben, als der Wasserstand noch nicht den höchsten Punkt a des Schenkelhebers erreicht hat; ist letzteres aber geschehen und die Weite des Hebers größer, als die Weite der Oeffnung x, so wird das Wasser aus kk durch ihn bis zur Mündung von o abfließen, weil durch den geringeren Zufluß das Niveau von a nicht mehr erreicht wird. Nach dem Abflusse tritt eine Pause ein, bis letzteres wieder geschehen ist. Wie die Speisung des unteren Behälters mit Wasser geschieht, ist gleichgiltig, und es läßt sich leicht denken, wie unter besonderen Umständen, namentlich in Gebirgen, die Natur selbst durch das Zusammenstürzen von Felsen dieser Darstellung entsprechende Höhlen und Kanäle gebildet hat.

Hebervorrichtungen dienen auch zur Unterhaltung, wie der Bexirbecher. Man gießt Jemandem in einen Becher nur etwas Wein und, da er mit dem Wenigen nicht zufrieden ist, gießt man ihm demselben voll. Wenn man ihm dann nach einigem Zögern den Becher zum Trinken reicht, so findet er ihn leer. Eine solche Einrichtung läßt sich leicht herstellen.



(Fig. 140.)

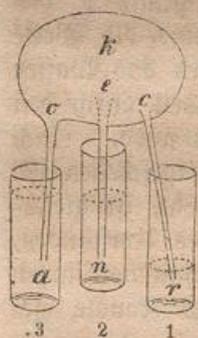
nicht bis zu dieser Höhe erfüllt ist, fließt auch der Heber noch nicht.

Es ist nicht nothwendig, daß der Heber aus zwei von einander getrennten Röhren besteht; es kann auch der längere Schenkel im kürzeren stecken, wie es Fig. 2 zeigt. Durch den Boden des oberen Becher- raumes geht ein offenes Rohr, dessen untere Mündung u in dem Fuße

Der in Fig. 140 dargestellte Becher aus Metall hat einen hohlen Fuß k; von dem Boden des oberen Theiles, des eigentlichen Bechers, geht durch den Henkel oder Griff ein Schenkelheber oau, dessen längerer Schenkel bei u in den Fuß mündet; der oberste Punkt a des Henkels muß tiefer liegen, als das Niveau des gefüllten Bechers. Wie lange der Becher noch

k ist; über dieses wird eine oben bei a geschlossene Röhre gesteckt, welche unten an einer Seite einen Ausschnitt o hat. Hierbei ist oa der kürzere und au der längere Schenkel. Der Ausfluß beginnt, wenn das Niveau den Punkt a übersteigt. Um die Flüssigkeit leicht aus dem Fuße des Bechers fortzuschaffen, hat derselbe unten etwa bei x einen zu öffnenden Verschuß.

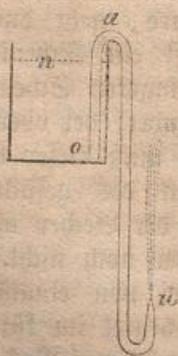
Der Schenkelheber kann ferner dazu verwendet werden, um das verschieden hohe Niveau in zwei oder mehren getrennten Gefäßen auf genau gleiche Höhe zu bringen. Man hat der Vorrichtung dazu den Namen *Fraterna caritas*, brüderliche Liebe, gegeben, weil sie eine gleiche Eintheilung einer Flüssigkeit unter mehren Personen bewirkt, ohne daß man die Theilung selbst vornimmt.



(Fig. 141.)

An einem kleinen Gefäße k (Fig. 141) von irgend einer Form befinden sich drei offene Röhren oa, en und er, außerdem sind noch auf einem Tische drei Gläser, mit Wasser bis zu verschiedenen Höhen erfüllt, so aufgestellt, daß die drei Röhren einzeln in sie gebracht werden können. Kehrt man das gefüllte Gefäß um, füllt man es und die Röhren mit Wasser, was leicht dadurch geschehen kann, daß man es in einen Behälter mit Wasser steckt und bringt man es schnell wieder in die gezeichnete Lage; so fließt das Wasser durch die Röhren und das Gefäß k so lange, bis das Niveau der Flüssigkeit in den drei Gläsern in demselben Horizonte liegt. Hier haben wir unstreitig Schenkelheber, deren Arme durch k verbunden sind. Für die Gläser 1 und 2 ist er der längere Schenkel, für 2 und 3 ist es en, für 1 und 3 wieder er. Es hindert die Verbindung der Schenkel nicht, wenn auch in dem oberen Theile von k etwas Luft sich befindet, was beim Umkehren der Vorrichtung nach ihrer Füllung kaum zu vermeiden ist.

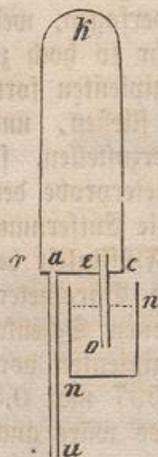
Heberspringbrunnen kann man auf eine doppelte Weise erhalten, man kann nämlich entweder nur den im längeren Schenkel vorhandenen größeren Wasserdruck und die durch ihn erzeugte Bewegung des Wassers oder noch den auf den kürzeren Schenkel ausgeübten Atmosphärendruck benutzen, um einen empor springenden Wasserstrahl zu erhalten.



(Fig. 142.)

1) Im ersten Falle ist es nur nothwendig, das Ende des längeren Schenkels, wie es Fig. 142 zeigt, etwas aufwärts zu krümmen und spitz zu laufen zu lassen. Ginge die Röhre von n an weiter aufwärts, so würde die Flüssigkeit in ihm bis zum Niveau n im Gefäße (nicht bis zu dem des a) steigen, weil die beiden Schenkel von

a abwärts bis zum Niveau im Gleichgewichte gehalten werden; aber die Flüssigkeit wird in dem freispringenden Strahle die Höhe n doch nicht erreichen, weil sie bei der Bewegung an den Röhrenwänden und dann an der Luft einen Widerstand erleidet und weil, wenn der Strahl lothrecht in die Höhe ginge, die herabfallenden Flüssigkeitstheilchen die aufwärtssteigenden in ihrer Bewegung hindern würden.



2) Für die zweite Erscheinung nimmt man eine lange Glasglocke rkc (Fig. 143), durch deren metallenen und luftdicht anschließenden Boden zwei Röhren oe und au gehen, von denen die erste zu beiden Seiten nur etwas hervorsteht, um unten in ein Gefäß nn mit Wasser getaucht zu werden und oben das einzugießende Wasser mit ihrer Springöffnung zu überragen, die zweite vom Boden ausgehende aber eine ziemliche und beliebige Strecke tiefer herabgeht.

Will man die Vorrichtung gebrauchen, so kehrt man die Glocke rkc um und gießt in sie etwas Wasser, was am leichtesten von a aus geschehen kann, wenn die Röhre au abzuschrauben geht; dann bringt man die Glocke wieder in die gezeichnete Lage, indem man gleichzeitig und sofort die Mündung o der kurzen Röhre unter

(Fig. 143.) das Niveau des Wassers im Gefäße bringt.

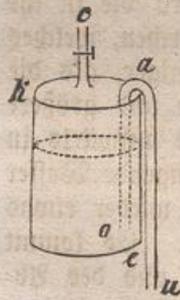
Die Erscheinungen sind nun leicht voranzusehen und zu erklären. Zuerst fließt das Wasser aus u , weil anfänglich die Luft in der Glocke die Dichtigkeit der äußeren hat, das Wasser also nur seiner Schwere folgt. Durch den Abgang von Wasser in der Glocke wird die in ihr abgesperrte Luft verdünnt und drückt auf das Wasser im Röhrrchen, welches anfangs nur bis an das Niveau im Gefäße nn reicht, weniger, als die freie Atmosphäre auf dieses Niveau wirkt. Dieser letztere und größere Druck preßt also das Wasser durch oe in einem Strahle aufwärts in den luftverdünnten Raum. Durch das in die Glocke springende Wasser wird der Raum für die Luft etwas kleiner, sie wird also wieder etwas dichter, und der Abfluß aus u kann wieder stattfinden. Es kommt natürlich auf das Verhältniß der Weite der Springröhre und des Abflußrohres an, ob der Strahl in einer sich gleich bleibenden Höhe springt oder nicht.

Man nennt die Vorrichtung den unterbrochenen Heber, weil zwischen dem kürzeren Schenkel oe und dem längeren au eine Unterbrechung durch abgesperrte Luft stattfindet oder zwischen e und a ist die obere Krümmung des Hebers mit abgesperrter Luft erfüllt.

Schließlich wollen wir noch die Hebererscheinungen im luftverdünnten Raume betrachten. Wenn die freie Atmosphäre oder auch abgesperrte Luft von derselben Spannkraft im Stande war, eine Wasserfäule von etwa 32 Fuß zu tragen, so wird verdünnte Luft eine

um so niedrigere zu tragen vermögen, je dünner sie ist. Hätte man in einer Glocke durch Auspumpen eine hundertfache Verdünnung erreicht, so würde diese Luft nur eine Wassersäule von $\frac{3}{100}$ Fuß oder 3,84 Zollen tragen können. Hätte man also unter dieser Glocke einen Heber, bei welchem der höchste Punkt der Krümmung nur 3 Zolle über dem Wasserspiegel oder noch tiefer läge, so würde er fließen; läge aber der höchste Punkt 4 Zolle darüber, so würde er den Dienst versagen, weil die so verdünnte Luft das Wasser im Gefäße nicht mehr so hoch zu drücken im Stande ist. Je weiter die Verdünnung im Rezipienten fortschreitet, desto kürzer müßte der Heber sein, um noch zu fließen, und wenn es gelänge, einen vollkommen luftleeren Raum herzustellen, so würde kein Heber mehr fließen. Da man aus der Barometerprobe den Grad der Verdünnung weiß, so kann man aus ihr auch die Entfernung des höchsten Punktes des Hebers von dem Spiegel der Flüssigkeit bestimmen, die durch den Heber abfließen soll. Zeigte die Barometerprobe 0,5 Zoll, d. h. stände das Quecksilber im geschlossenen Schenkel noch $\frac{1}{2}$ Zoll über dem des offenen, so würde die im Rezipienten vorhandene Luft im Stande sein, eine Wassersäule von 13,597 mal 0,5 Zoll oder 6,7985, d. i. fast 6,8 Zoll zu tragen, und dies wäre auch die größte Höhe der Heberschenkel über dem Niveau.

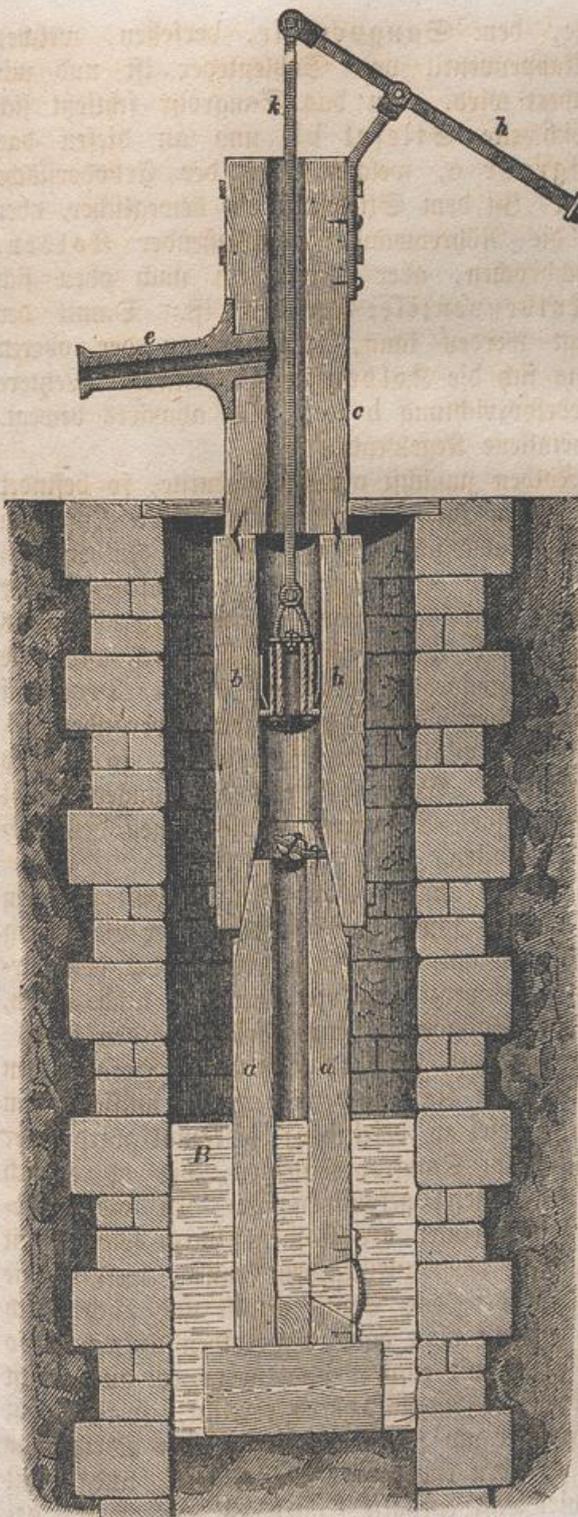
Der Einfluß der Dichtigkeit der Luft, welche auf das Niveau der Flüssigkeit und durch sie fort bis auf die Mündung des kürzeren Schenkels wirkt, läßt sich sehr leicht durch die in Fig. 144 dargestellte Vorrichtung zeigen. Der Heber *oau* geht luftdicht durch die Decke des Gefäßes *ke*, und durch dieselbe Decke geht noch eine verschließbare Oeffnung *c*. Ist letztere nicht geschlossen, so wird der Heber wie in einem ganz offenen Gefäße fließen; ist er im Fließen und verschließt man *c*, so hört er bald auf zu laufen, weil durch den Abgang der Flüssigkeit im Gefäße die Luft über ihr so verdünnt wird, daß sie die Wassersäule vom Niveau bis *a* nicht mehr zu tragen im Stande ist. Wenn aber auch der Ausfluß aufhört, so bleibt doch der ganze Heber gefüllt, weil der äußere freie Luftdruck die Flüssigkeit von der Mündung *u* des



(Fig. 144.) längeren Schenkels an bis *a* ebenso gut trägt, als der Druck der inneren Luft vom Niveau bis ebendahin sie emporhält. Oeffnet man *c*, so beginnt der Ausfluß; schließt man es wieder, so hört er in kurzer Zeit wieder auf und so kann man weiter fortfahren.

Die Saughebepumpe.

Eine der nächststen und daher auch gewöhnlichsten Anwendungen des Druckes der Atmosphäre findet bei den Saughebepumpen, welche man auch Straßenpumpen nennt, statt.



(Fig. 145.)

Man bohrt zu diesem Zwecke gewöhnlich recht grade und astfreie Baumstämme zu einer zylindrischen Röhre aus. Statt dessen könnte man aber auch aus Bohlen anders geformte wasserdichte Röhren zusammensetzen, was zur Förderung großer Wassermassen auf nicht bedeutende Höhen, z. B. aus Kellern auf die Straße, ganz geeignet ist. Uebrigens ist es nicht nothwendig, daß die Röhre überall gleiche Weite hat; es genügt, wenn dies nur in der Gegend, in welcher der Kolben bewegt wird, der Fall ist. Fig. 145 stellt einen Querschnitt dar.

In dem Wasser B des Brunnens steht ein engeres Rohr aa, das Saugrohr, welches unten eine mit einem Siebe versehene Seitenöffnung hat, um etwaige Unreinigkeiten nicht einzulassen. Oben ist das Saugrohr mit einem nach

oben sich öffnenden Ventile, dem Saugventile, versehen, welches bei Straßenpumpen ein Klappenventil von Sohlenleder ist und mit einem Stückchen Holz beschwert wird. An das Saugrohr schließt sich wasserdicht der überall gleichweite Stiefel *bb* und an diesen das wieder etwas engere Steigrohr *c*, welches über der Erdoberfläche das Ausflußrohr *e* trägt. In dem Stiefel ist ein beweglicher, aber sich hinreichend dicht an die Röhrenwände anschließender Kolben, welcher in der Mitte durchbrochen, aber mit einem nach oben sich öffnenden Ventile, dem Kolbenventile, versehen ist. Damit der Kolben auf und ab bewegt werden kann, trägt er an der oberen Fläche einen Bügel, an dem sich die Kolbenstange befindet. Letztere wird durch irgend eine Hebelvorrichtung *h* auf- und abwärts bewegt. Die Ventile können auch metallene Kegelventile sein.

Denken wir uns den Kolben zunächst am Saugventile, so befindet sich unter diesem bis zum Niveau im Saugrohre abgesperrte Luft von der Dichtigkeit der äußeren atmosphärischen. Zieht man den Kolben aufwärts, so entsteht zwischen ihm und dem Saugventile ein luftverdünnter Raum und ist die Verdünnung hinreichend vorgeschritten, so wird das Ventil durch die darunter befindliche Luft geöffnet. Dadurch wird die Luft in dem Raume unter dem Saugventile verdünnt, und der Druck auf das Wasser im Saugrohre vermindert, während der äußere unverändert geblieben, jetzt also größer ist und Wasser ins Rohr drückt, so daß es darin höher steht, als außerhalb. Während dieses Vorganges bleibt das Kolbenventil, theils wegen seines Gewichtes, theils wegen des größeren Luftdruckes von oben geschlossen.

Drückt man dann den Kolben abwärts, so wird die Luft zwischen ihm und dem Saugventile, welches schon beim Aufhören der Bewegung durch sein Gewicht sich geschlossen hat, zusammengedrückt, bei vermehrter Dichtigkeit stößt sie das Kolbenventil auf und entweicht nach außen, so daß der Kolben bis an das Saugventil herabgedrückt werden kann.

Enthält das Saugrohr viel Luft, so wird man dieses Heraufziehen und Hinabstoßen des Kolbens noch einigemal wiederholen müssen, um alle Luft aus ihm und dem Stiefel zu beseitigen; jedesmal wird aber beim Hinaufziehen das Wasser im Saugrohre steigen, bis es endlich durch das Saugventil in den Stiefel gekommen ist. Ist dieses geschehen, so wird es beim Hinabdrücken des Kolbens durch sein Ventil über ihn gelangen und nun nicht mehr zurückgehen können, weil, sowie die Bewegung des Kolbens aufhört, das Ventil zufällt und auch durch das Wasser zugeedrückt wird. Zieht man dann den Kolben aufwärts, so hebt man das Wasser über ihm mit empor und wenn es auch nicht gleich anfänglich die Mündung des Ausflußrohres erreicht, so geschieht dies bei wiederholten Bewegungen um so eher, je enger das Steigrohr ist und deshalb macht man es gern enger, als den Stiefel, und damit das Saugrohr auch nicht viel Luft enthalte, wird es auch enger ge-

macht. Nothwendig ist es nicht, ungleichweite Rohre zu nehmen; bei nicht zu tiefen Brunnen reicht meistens ein einzelnes überall gleich weites Rohr aus.

Weil das Brunnenwasser immer Luft enthält und weil die Ventile und der Kolben niemals luftdicht schließen, so muß das Bodenventil stets tiefer über dem Niveau des Wassers im Brunnen angebracht sein, als es der Atmosphärendruck gestatten würde, wenn diese Umstände nicht vorhanden wären. 20 bis höchstens 24 Fuß würde man bei tiefen Brunnen nehmen; bei flach liegenden ist es besser, das Ventil dem Wasserspiegel näher, ja sogar an oder unter ihn zu legen, weil man dann nur wenige oder gar keine Luft wegzuschaffen hat und bald Wasser bekommt.

Ueber dem Kolben kann das Wasser so weit gehoben werden, als die uns grade zu Gebote stehende Kraft ausreicht. Es ist also natürlich, daß dieselbe Kraft das Wasser in einem engen Steigrohre höher heben kann, als in einem weiten, weil das Gewicht des Wassers im letzteren bei derselben Höhe der Wassersäule größer ist, als das im ersteren.

Schließt sich der Kolben gut an und sind die Ventile dicht, so wird es, wenn die Pumpe einige Zeit vorher gebraucht worden ist, nicht nothwendig sein, die Arbeit lange fortzusetzen, ehe Wasser erscheint, weil sich dasselbe in allen drei Röhren erhält und nur wenig unter dem Ausgufrohre steht, wenn man sie nicht gebraucht.

Bei einer einfachen Pumpe kommt der Wasserstrahl aus dem Ausgufrohre stoßweise in der Zeit, in welcher der Kolben aufwärts bewegt wird, und die Zeit, in welcher der Kolben abwärts geht, ist für die Förderung des Wassers verloren. Man hat in neuester Zeit aber auch den zweiten Theil der Bewegung des Pumpenschwengels für das Heraus-schaffen des Wassers nutzbar zu machen gewußt. Man stellt nämlich, wie Fig. 146 andeutet, zwei solche Pumpen nebeneinander ins Wasser, verbindet die Enden der beiden Kolbenstangen beweglich mit den Enden einer horizontalen Querstange, läßt durch die Mitte derselben winkeltrecht und fest mit ihr verbunden eine kurze Stange gehen, die auf Lagern ruht, welche durch die Röhren getragen werden, und an dieser ist der nach unten gehende Schwengel, dessen Ende in vortheilhafter Weise mit einer Metallkugel versehen ist, um die pendelartige Schwingung durch diese Masse kräftiger zu machen. Die beiden Steigrohre sind gegenüber dem Ausgufrohre des einen durch ein Querrohr verbunden.



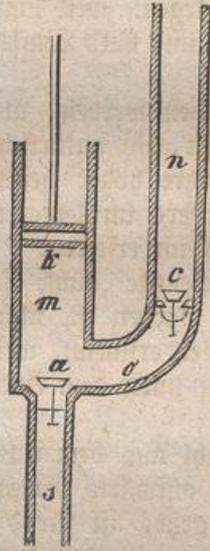
(Fig. 146.)

Es ist natürlich, daß, während in der einen Pumpe das Wasser gefaßt wird, es in der anderen gehoben wird; es wird also bei jeder Bewegung, sowohl hin als auch zurück, Wasser durch das Ausgufrohr gefördert. Diese Pumpen heißen kalifornische und wur-

den erst durch die letzte Weltausstellung zu London in Europa bekannt, obwohl sie in ihrer ganzen Einrichtung so höchst einfach sind, daß man schon längst auf sie hätte kommen können.

Saugdruckpumpen.

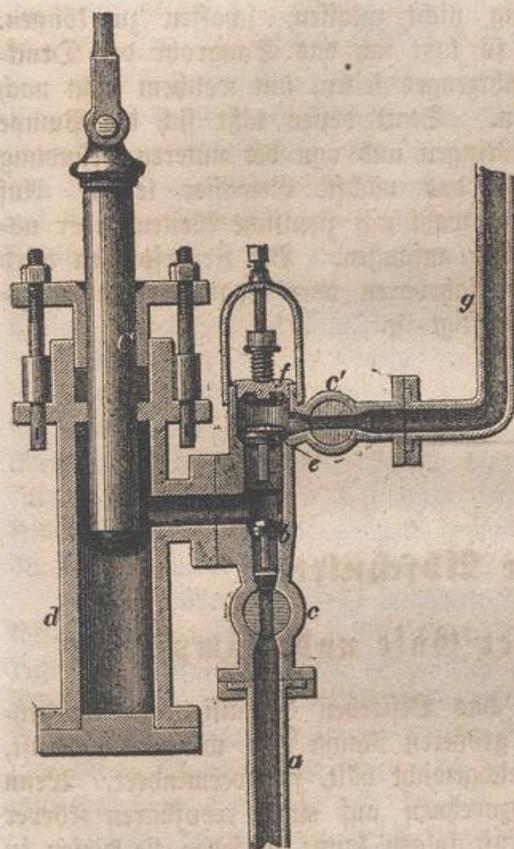
Bei den Saughebepumpen fließt das Wasser in einem nur ganz kurzen Bogen aus der Ausfluröhre zur Erde. Will man einen weit reichenden Strahl erhalten, um z. B. ein Feuer in der Höhe zu löschen oder entfernte Gegenstände zu bespritzen; muß man abgesperartes Wasser durch eine engere Röhre mittelst eines auf dieses Wasser ausgeübten Druckes pressen und dazu dienen die Saugdruckpumpen, deren Einrichtungen im Einzelnen sehr verschieden sein können.



(Fig. 147.)

Die Anwendung und Wirkungsfähigkeit dieser Vorrichtung ist leicht zu erkennen. Wird s nur mit seiner Mündung ins Wasser gestellt, so ist in ihm und dem Stiefel noch Luft. Denken wir uns den Kolben zunächst am Boden des Stiefels und die Ventile durch ihr eigenes Gewicht geschlossen und ziehen wir dann den Kolben aufwärts, so wird das Bodenventil geöffnet; es steigt durch dasselbe die darunter befindliche Luft und vielleicht auch schon Wasser, während das Steigeventil c durch den größeren Atmosphärendruck geschlossen bleibt. Drücken wir den Kolben abwärts, so schließt sich das Bodenventil theils wegen seines Gewichtes, theils wegen des von oben ausgeübten Druckes und das Seitenventil wird wegen eben desselben Druckes geöffnet, so daß die vorhin aufgesaugte Luft und das etwa im Stiefel schon vorhandene Wasser über dasselbe steigt. Hört die Bewegung des Kolbens auf, so schließen sich beide Ventile und das des Steigerohres kann schon auch durch Wasser zugedrückt werden.

Bei jedem neuen Zuge nach oben wird Wasser gesaugt, bei jedem neuen Drucke aber in das Steigerohr gepreßt und das, welches bereits über seinem Ventile ist, kann nicht mehr zurück, so daß es im Steige-



(Fig. 148.)

Kolben C, welcher wasserdicht durch eine an der Decke desselben befindliche Stopfbüchse geht und im Uebrigen sich an die Wände desselben nicht eng anschließt; Kolbenrohr und Saugrohr sind durch ein Querrohr miteinander verbunden; unterhalb desselben ist im Saugrohre ein nach oben sich öffnendes Ventil b und oberhalb desselben ein zweites e, welches sich auch nach oben öffnet; über letzterem schließt sich an das Saugrohr das Steigrohr g. Unterhalb des Saugventils b ist ein Hahn c und oberhalb des Druckventils ein anderer c', welche beide geöffnet sein müssen, wenn man die Pumpe gebrauchen will.

Auch hier wird gesaugt, wenn C aufwärts geht, und gedrückt, wenn es abwärts bewegt wird. Daß sich auch hier die Kolbenstangen zweier Pumpen zu einer gemeinsamen Bewegung und zur schnelleren Förderung des Wassers, was besonders bei Feuergefährten wichtig ist, verbinden lassen, versteht sich von selbst; aber dessen ungeachtet kommt der Wasserstrahl stoßweise aus der Springröhre.

An das Steigrohr lassen sich natürlich auch wasserdichte Schläuche anschrauben, um das Wasser nach verschiedenen Räumen, die eine un-

rohre mit jedem Drucke höher steigt und, wenn man ein sich verengendes Ausflusrohr ansetzt, in einem Strahle ausspritzt.

Die Höhe, bis zu welcher das Wasser gepreßt werden kann, hängt von der verfügbaren Kraft ab und wird für eine bestimmte Kraft um so größer sein, je enger das Rohr ist. Scharfe rechtwinklige Krümmungen dieses Rohres müssen vermieden werden, weil das Wasser durch den graden Stoß an eine Fläche seine Geschwindigkeit vermindern würde.

Weil der auf eine abgesperrte Flüssigkeit irgendwo ausgeübte Druck sich ungeschwächt durch die ganze Flüssigkeit fortpflanzt, kann man den Saugdruckverken sehr verschiedene Gestalten geben. Fig. 148 stellt eine sehr geeignete Einrichtung dar. Der Stiefel oder das Kolbenrohr d steht neben dem Saugrohre a; in dem Stiefel befindet sich ein

mittelbare und grade Verbindung nicht zulassen, schaffen zu können. Sind in Gartenanlagen Teiche, so läßt sich das Saugrohr der Druckpumpe durch den Boden eines Fahrzeuges leiten, mit welchem man nach verschiedenen Punkten fahren kann. Statt dessen läßt sich die Pumpe auf einem kleinen Handkarren anbringen und von der unteren Mündung des Saugrohres ein Schlauch in das nächste Gewässer leiten. Auf diese Weise kann man das Wasser wohl auf ziemliche Weiten, aber natürlich nicht auf bedeutende Höhen ansaugen. Bei Feuerspritzen wird das Wasser in der Regel in den fahrbaren oder tragbaren Kasten gegossen, in welchem die Spritze befestigt ist.

Sechster Abschnitt.

Druck abgesperrter Gase und Dämpfe.

Alle luftigen Körper haben das Bestreben der allseitigen Ausdehnung und nehmen somit einen größeren Raum ein, wenn die Kraft, welche ihrer Ausdehnung das Gleichgewicht hält, sich vermindert. Wenn sie bei diesem Bestreben sich auszudehnen auf einen tropfbareren Körper treffen, welcher der drückenden Kraft folgen kann; so setzen sie diesen in Bewegung und treiben ihn unter Umständen auch aufwärts, so daß man an der Höhe der Flüssigkeitssäule ein Maß für die drückende Kraft hat. Wenn nun die bewegte tropfbare Flüssigkeit, welche sich nur äußerst wenig zusammendrücken läßt, auf ein abgesperrtes Gas wirkt; so wird dieses durch den vermehrten Druck in gleichem Verhältnisse auf einen kleineren Raum beschränkt, und dadurch ein Anhaltspunkt für die Spannkraft des luftigen Körpers, mag es nun ein Gas oder Dampf sein, gewonnen.

Da durch alle Flüssigkeiten, vorzüglich aber durch Dämpfe ein sehr bedeutender Druck ausgeübt werden kann, welcher namentlich bei letzteren oft schon sehr gefährlich geworden ist; so ist es wichtig, Mittel anzugeben, diesen Druck zu messen, um auch, abgesehen von der auszunutzenden Druckkraft, beurtheilen zu können, ob in gewissen Fällen die Gefahr vorhanden ist, daß Gefäße zersprengt werden.

Wir werden demnächst einige Mittel zur Messung des Druckes angeben und dann Instrumente anführen, bei welchen der Druck abgesperrter Gase auf tropfbar flüssige Körper oder der Druck tropfbar flüssiger Körper auf abgesperrte Gase angewendet wird.

Manometer.

Wir achten bei der Angabe der Mittel, die Druckkraft der luftigen Körper zu bestimmen, zunächst nicht darauf, ob diese Kraft abhängig ist nur von der Dichtigkeit des Körpers bei bestimmter Temperatur, oder von der Temperatur bei bestimmter Dichtigkeit, oder von beiden zugleich und da die zu erwähnenden Instrumente diese Unterschiede nicht berücksichtigen, so sind auch die Benennungen: Manometer, Dashmeter, Elaterometer nicht bezeichnend; denn Manometer heißt eigentlich Dünneitsmesser, Dashmeter Dichtkeitsmesser, Elaterometer Elastizitätsmesser.

Wenn eine gewisse Menge eines luftigen Körpers abgeschlossen ist in einem bestimmten Raume, so besitzt er eine bestimmte Dichtigkeit und wird auch bei bestimmter Temperatur eine bestimmte Druckkraft ausüben; wenn nun dieser Körper in demselben Raume eine höhere Temperatur erlangt, so kann sich zwar seine Dichtigkeit nicht ändern, aber seine Druckkraft ist eine größere geworden, wie wir es in der Lehre von der Wärme in Betreff verschiedener Körper werden genauer kennen lernen.

Das früher (S. 254) erwähnte Wagemanometer ist auch ein Dichtkeitsmesser und dient somit, wenn auch nur mittelbar, den Druck der Luft zu bestimmen, indem bekanntlich die Dichtigkeit der Luft mit ihrer Druckkraft in gradem Verhältnisse steht und eine Vergleichung der Beobachtungen dieses Manometers mit denen des Barometers wohl auch zum Ziele führen würde; hier aber wollen wir nur die Mittel zur unmittelbaren Bestimmung des Druckes angeben.

Dieses kann nicht dadurch bewirkt werden, daß man den Druck der luftigen Körper blos auf die inneren Wände von Gefäßen, in denen sie eingeschlossen sind, wirken läßt und etwa untersucht, unter welchen Bedingungen sie Gefäße aus verschiedenen Stoffen und von verschiedener Wandstärke zu zersprengen im Stande sind, weil dies gefährlich und wegen der nicht zu überwindenden Schwierigkeit, Gefäße herzustellen, deren Widerstandsfähigkeit ihrem Grade nach vorher bestimmbar ist, unausführbar wäre; sondern nur dadurch, daß diese luftigen Körper entweder blos auf tropfbar flüssige, welche dem Drucke folgen, oder durch diese noch auf luftige, welche abgesperrt sind, wirken können.

Sicherheitsröhren.

Die Sicherheitsröhren sind doppelt gebogene, also aus drei Schenkeln bestehende Röhren, deren mittlster Theil in der Regel kugelförmig erweitert ist, wie es *aceo* in Fig. 149 zeigt. Das eine Ende *a* ist trichterförmig erweitert, um bequem so viel Wasser einzulefen zu können, daß es die Kugel und das eine kommunizirende Rohr theilweise erfüllt.

Hält man das Instrument mit dem Wasser in der freien Luft, so stehen die beiden Niveaus *n* und *r* in derselben Horizontalebene. In

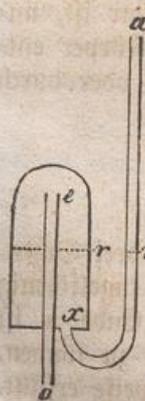


(Fig. 149.)

dieser Stellung würde nichts geändert, wenn in reo statt der atmosphärischen Luft Gase oder Dämpfe von derselben Spannkrast wären. Sowie aber die Spannkrast in oer kleiner ist, steigt die Flüssigkeit in r und fällt von n und zwar hier um so mehr, je weiter die Kugel bei einem bestimmten Steigen in ihr ist; wird aber die Spannkrast in oer größer, so steigt das Wasser in en . Befindet sich nun o in einem Behälter, in welchem eine Luftart entwickelt wird, so kann man aus dem Stande der Sperrflüssigkeit beurtheilen, ob das entwickelte Gas eine geringere oder größere Druckkrast besitzt, als die atmosphärische Luft und ob die Erzeugung dieser Luftart eine sehr träge oder sehr lebhaft ist. Bei einer sehr trägen Entwicklung und namentlich bei der Abkühlung des Entwicklungsapparates könnte es geschehen, daß die Sperrflüssigkeit nach o getrieben würde, was nachtheilig werden könnte, weshalb man durch Herausziehen der Röhre diesem vorbeugt; bei einer sehr lebhaften Entwicklung, daß die Sperrflüssigkeit aus a geschleudert würde, was unstreitig weniger unangenehm wäre, als ein Zersprengen des Entwicklungsgefäßes. Diese Röhren dienen also nur dazu, um gegen Letzteres zu sichern, nicht aber um einen genauen Maßstab für die Expansivkrast des betreffenden Gases zu haben.

Gefäßmanometer.

Zu einer genaueren Bestimmung der Größe des Druckes abgeperrter Gase sind schon die Gefäßmanometer oder auch Windmesser geeignet, welche deshalb so genannt werden, weil man sie anwendet, um den Druck der Luft in verschiedenen Theilen von Gebläseapparaten zu bestimmen.



(Fig. 150.)

Von der Decke eines beliebig geformten Gefäßes (Fig. 150) geht eine Röhre eo nach einem Luftbehälter, eine zweite Röhre xna geht von dem Boden dieses Behälters eine Strecke aufwärts; der Behälter und ein Theil der mit ihm kommunizirenden Röhre ist mit Wasser gefüllt.

Hat die Luft im Behälter die Dichtigkeit der äußeren, so stehen die Niveaus r und n in derselben Horizontalebene; je mehr sich die von o aus eintretende Luft verdichtet, desto höher steigt das Wasser über n , wo man den Nullpunkt eines Maßstabes anbringen kann. Da die Röhre na im Verhältnisse zu der Weite des Behälters eng ist, so kann n , ohne einen bedeutenden Fehler zu begehen, als Nullpunkt beibehalten werden und es läßt sich aus der Höhe

der Wasserfäule über n auf den Druck des abgesperrten Gases ein Schluß ziehen.

Um für bedeutendere Drucke nicht allzulange Röhren anwenden zu müssen, dient Quecksilber statt des Wassers. Da bei gleichem Stande desselben im Gefäße und in der Röhre das abgesperrte Gas schon die Spannkraft einer Atmosphäre besitzt, so würde bei einem Höhenstande in der Röhre, welcher dem grade stattfindenden Barometerstande gleich wäre, der Druck des abgesperrten Gases zwei Atmosphären betragen.

Röhrenmanometer.

Die Röhrenmanometer dienen zu genaueren Messungen und man wendet dabei entweder geschlossene oder offene Glasröhren mit Quecksilber an.

Bei geringeren Drucken, etwa bis zu fünf Atmosphären, hat man die geschlossenen Röhren und es kommt dabei das mariottesche Gesetz zur Anwendung.



(Fig. 151.)

Steht eine etwa 10 Zoll lange, oben geschlossene und überall gleichweite Glasröhre AB (Fig. 151) unten in Verbindung mit einer offenen, durch eine Metallfassung C geschützten, diese mit einem Raume, in welchem verdichtete Gase oder auch Dämpfe erzeugt werden, und ist in dem unteren Theile der Röhren Quecksilber; so steht dieses in beiden Röhren gleich hoch, wenn die abgesperrte atmosphärische Luft denselben Druck ausübt, als das Gas oder die Dämpfe auf den offenen Schenkel, so daß in diesem Falle letztere die Spannkraft einer Atmosphäre haben, wenn die abgesperrte Luft sie besaß. Man fest also an das Ende des Quecksilbers im langen Schenkel die Ziffer 1.

Wird der Druck auf das Quecksilber im offenen Schenkel vermehrt, so pflanzt sich dieser größere Druck durch das Quecksilber fort bis zur abgesperrten Luft und zwingt sie einen kleineren Raum einzunehmen, wodurch sie dichter wird und auch einen größeren Druck nicht nur aushält, sondern auch ausübt. Es hält jetzt dieser ihr vermehrter Druck mit dem der erhöhten Quecksilbersäule das Gleichgewicht dem Drucke, welcher auf den offenen Schenkel ausgeübt wird. Weil nun die Räume, welche die abgesperrte Luft einnimmt, in demselben Verhältnisse kleiner werden, in welchem der Druck auf sie sich vermehrt, so läßt sich leicht eine Eintheilung anbringen, welche den Druck nach Ganzen und Bruchtheilen des Atmosphärendruckes anzeigt.

Zur Messung eines bedeutenderen Druckes kann man eine offene

starke und hinreichend lange Glasröhre anwenden, welche man sehr sorgfältig in ein Gefäß von Schmiedeeisen einkittet, von wo aus noch eine dünne eiserne Röhre aufwärts geht. Kommt in erstere und die damit verbundene Metallröhre Quecksilber, so steht es im Freien in beiden gleich hoch und der Punkt, bei welchem es in der Glasröhre steht, wird auf einem daran befestigten Maßstabe mit Eins bezeichnet, weil ja auf das Quecksilber auch in der Metallröhre eine Atmosphäre drückt. Wenn nun auf das Metallrohr ein vermehrter Druck ausgeübt wird, so steigt das Quecksilber in Glasröhre. Ist seine Höhe grade gleich dem Barometerstande, so ist die drückende Kraft im anderen Rohre schon gleich dem Drucke zweier Atmosphären, und man setzt an die betreffende Stelle 2, weil ja auf das Quecksilber im offenen Schenkel die freie Atmosphäre herabdrückt. Auf diese Weise läßt sich die Eintheilung weiter fortführen.

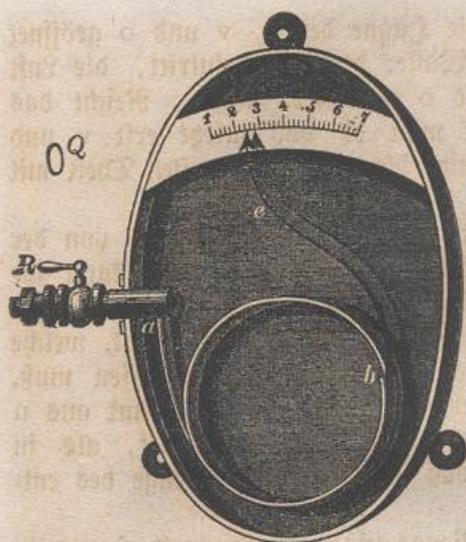
So kann durch genaue Messung des Höhenstandes des Quecksilbers im offenen Schenkel der Druck auf dasselbe im geschlossenen genau bestimmt werden. Daß das Glasrohr genau lothrecht stehen muß, ist eine wesentliche Bedingung, weil jede schiefe Lage desselben die Quecksilbersäule verlängert.

Metallmanometer.

Können gläserne Manometer nicht an sehr geschützten Orten angebracht werden, wie es bei stehenden Dampfmaschinen allerdings wohl zulässig ist; so wendet man Metallmanometer an, welche für Lokomotiven und Lokomobilen vortheilhaft sind, obwohl ihre Zuverlässigkeit mit der Zeit etwas abnimmt. Ihre Wirksamkeit gründet sich wesentlich auf dasselbe Prinzip, wie die der Aneroidbarometer: nämlich, daß die Verschiedenheit des Druckes, welchen zwei mit einander verbundene dünne Metallscheiben von ungleicher Flächenausdehnung erleiden, eine Bewegung an ihnen erzeugt, wenn sich der Druck auf beide ändert.

Wird in einem aus dünnen Metallbleche in der Gestalt von wenigstens $\frac{1}{4}$ eines Kreises gefertigten flachen Rohre Luft oder Dampf verdichtet oder auch verdünnt, wobei das eine Ende die Luft oder den Dampf aufnimmt, das andere aber geschlossen ist; so erweitert oder verengt sich der Zwischenraum der Röhrenenden, weil der auf die äußere, weniger gekrümmte und größere Platte ausgeübte Druck bei der Zunahme der drückenden Kraft mehr zunimmt, bei der Abnahme der drückenden Kraft mehr abnimmt, als der Druck auf die innere und kleinere Platte und deshalb muß die bogenförmige Röhre in jenem Falle sich mehr strecken, in diesem mehr krümmen, als es bei dem ursprünglichen Drucke der Fall war.

Wenn nun das eine Ende a (Fig. 152) dieser Röhre, durch welches das Gas oder der Dampf geleitet wird, befestigt und das andere b mit einem Zeiger e versehen oder mit dem kurzen Ende eines drehbaren Zeigers verbunden ist; so lassen sich an den Kreisbogen, welchen



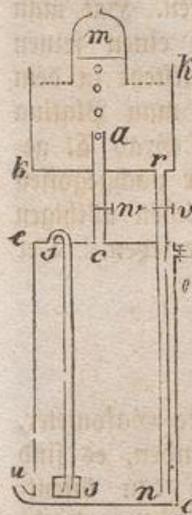
(Fig. 152.)

Das Ende des langen Zeigers beschreibt, die Zahlen setzen, welche anzeigen, wie viele Atmosphären-drucke das abgesperrte Gas ausübt. Es ist natürlich, daß man die Lage dieser Zahlen aus vergleichenden Beobachtungen mit einem anderen Manometer erhält.

Das Gasometer, Aspirator.

Wenn man verschiedene Gasarten entwickelt, so hat man die Absicht, sie entweder bald zu benutzen oder sie auch für spätere Zwecke aufzubewahren. Für den ersten Fall ist es meist ausreichend,

Ueber einem geschlossenen Metallzylinder ee (Fig. 153)



(Fig. 153.)

von etwa $1\frac{1}{2}$ oder 2 Fuß Höhe und 1 Fuß Durchmesser befindet sich ein oben offener kk von $\frac{1}{2}$ Fuß Höhe. Von dem Boden des oberen geht eine Röhre rn bis in die Nähe des Bodens des unteren und von der Decke des unteren eine kurze ca durch den Boden des oberen Gefäßes. Beide Röhren können durch die Hähne v und w , welche sich zwischen den Gefäßen befinden, abgesperrt werden. Außerdem ist am unteren Gefäße in der Nähe des Bodens eine etwas weitere, nach oben gekrümmte Röhre u , welche sich durch einen Kork verschließen läßt; in der Nähe der Decke eine engere Seitenröhre o , an welche sich verschieden enge Aufsatzröhren schrauben lassen und noch ein Glasrohr ss , welches außerhalb des Gefäßes von der Decke aus bis in die Nähe des Bodens geht und beiderseits mit dem inneren Raume in Verbindung steht.

Das untere Gefäß dient zur Aufnahme des Gases, das obere zur Erzeugung eines Druckes auf dasselbe, um es ausströmen zu machen.

Will man das irgendwie entwickelte Gas ansammeln, so füllt man zuerst das untere Gefäß durch die Röhre rn aus dem oberen mit

Wasser, wobei u geschlossen, aber die Hähne bei w, v und o geöffnet sein müssen, so daß, während das Wasser durch rn eintritt, die Luft aus dem unteren Gefäße durch a und o entweichen kann. Reicht das Wasser bereits bis o, so verschließt man es und zuletzt erst v und dann w. Auch die Röhre ss wird nun bis auf den obersten Theil mit Wasser erfüllt sein.

Wird jetzt u geöffnet, so fließt das Wasser wegen des von der Atmosphäre darauf ausgeübten Druckes nicht aus und man kann die Röhre, durch welche das entwickelte Gas kommen soll, hineinstecken, ohne daß mehr Wasser ausfließt, als der Raum der Röhre einnimmt, welche übrigens ringsum noch einen Spielraum für das Wasser lassen muß. Sowie aber durch u Luft in den Behälter geleitet wird, kommt aus u Wasser und es fällt auch in dem Standmesser ss ebenso tief, als in dem damit verbundenen Gefäße, so daß man stets die Menge des entwickelten Gases beurtheilen kann.

Hat man nun die gewünschte Menge Gas angesammelt, so unterwirft man dasselbe einem Drucke, indem man in dem oberen Gefäße für Wasservorrath sorgt und dann den Hahn v öffnet, so daß das abgesperrte Gas dem Drucke der Wasserfäule vom Niveau des oberen bis zum Niveau des unteren Gefäßes ausgesetzt ist.

Stürzt man über die Mündung a eine mit Wasser gefüllte Glocke m, so kann man nach dem Oeffnen des Hahnes w dieselbe mit Gas erfüllen und dasselbe dann zu Versuchen anwenden; statt dessen aber kann man es zu gewissen Zwecken auch durch o ausströmen lassen. Hat man z. B. Sauerstoff in dem Behälter und läßt man davon einen feinen Strahl durch die Flamme einer Weingeistlampe gehen, so entsteht in dem dadurch gebildeten Flammenkegel eine so große Hitze, daß man Platina schmelzen kann, was erst bei einer Temperatur von 1700 Grad C. geschieht. In beiden Fällen muß in das obere Gefäß Wasser nachgegossen werden, um das Gas im unteren unter dem zum Ausströmen nöthigen Drucke zu erhalten und den Abgang durch Wasser zu ersetzen. Der Standmesser gibt den Gasvorrath stets an.

Fruchtgas - Gasometer.

Man hat für den Privatgebrauch zwar auch tragbare Gasometer, um das gereinigte Leuchtgas an beliebigen Orten zu verwenden, es sind aber theils für solche Zwecke, theils und vorzüglich für den öffentlichen Bedarf große Behälter erforderlich, um das nothwendig werdende Gas rechtzeitig anzusammeln und es von da aus mittelst gußeiserner Röhren oft auf große Entfernungen und verschiedene Punkte zu leiten, was nur möglich ist, wenn es je nach den kleineren oder größeren Strecken einem geringeren oder bedeutenderen Drucke unterworfen wird, damit es aus den Brennern mit einer gewissen Geschwindigkeit aus-

ströme. Eine kleine Flamme kann man zwar erhalten, wenn entweder das Gas unter einem kleinen Drucke langsam ausströmt oder wenn man den Hahn zum Brenner nur wenig lüftet, so daß von schneller strömendem Gase nur wenig durchdringen kann; eine große Flamme aber nur, wenn das Gas einem größeren Drucke ausgesetzt ist.

Soll ein solcher Gasometer zweckentsprechend sein, so muß er außer den Zu- und Ableitungsröhren für das Gas bei möglich großem Inhalte einen kleinen Raum einnehmen und das darin befindliche Gas muß während der ganzen Verbrauchszeit einem gleichmäßigen Drucke ausgesetzt sein.

Da die Kugelform, welche allerdings bei dem größten Inhalte die kleinste Oberfläche hat, bei diesen Apparaten nicht in Anwendung kommen kann, so wählt man die dem Zwecke am nächsten entsprechende Zylinderform und macht die Höhe gleich dem Strahle oder Radius der Grundfläche. Es wird also eine zylindrische und wasserdichte Zisterne gebaut; in sie paßt mit einigem Spielraume an den Wänden ein luftdichter Metallzylinder, welcher oben abgerundet eingedeckt ist und dessen Seitenwände aus dünnem Bleche bestehen. Statt der zylindrischen Form könnte man auch die eines ihm nahe kommenden Vielseits anwenden, also die Metalltafeln nicht erst krümmen. Damit der Behälter für das aufzunehmende Gas mit seinem unteren Rande in allen Entfernungen vom Boden stets horizontal bleibe und auch an den Wänden der Zisterne sich nicht reibe, läßt man von der Decke des Behälters in der Richtung seiner Ase eine Röhre herabgehen, welche ohne Reibung auf eine von der Mitte des Bodens der Zisterne ausgehende lothrechte Stange paßt. Statt dessen kann man an der Außenfläche des Gasbehälters einander gegenüber Paare von Ringen anbringen, die sich längs Stangen an der Zisterne bewegen. Zur Herstellung des stabilen Gleichgewichtes ist der Gasbehälter über Rollen aufgehängt und durch geeignete Gegengewichte balancirt.

Ehe der Behälter mit Gas gefüllt werden kann, muß er herabgelassen und ganz mit Wasser erfüllt werden, weshalb eine Vorrichtung vorhanden sein muß, um die anfänglich darin befindliche atmosphärische Luft herauszulassen. Wird nun das Gas von unten hineingeleitet, so hebt es den Behälter mehr und mehr und es würde aus ihm, wenn er leicht genug und nicht blos durch Wasser abgesperrt wäre, einen Aero-
staten oder Luftballon machen, denn das Leuchtgas hat ein spezifisches Gewicht von nur 0,56, ist also etwas über die Hälfte leichter, als die atmosphärische Luft.

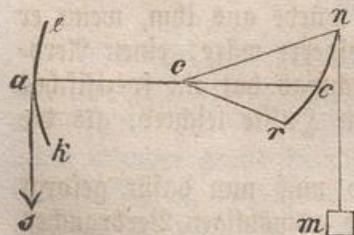
Ist das Füllen des Behälters erfolgt, so muß nun dafür gesorgt werden, daß das Gas in ihm ungeachtet seines allmählichen Verbrauches fortwährend einem bestimmten, durch die Umstände bedingten Drucke ausgesetzt werde, welcher größer sein muß, als der, welchen die freie Atmosphäre ausübt, damit es aus dem Behälter durch die Leitungsröhren

und Brenner ströme. Stände das Sperrwasser im Behälter so hoch, wie außerhalb um ihn, was sich mittelst eines Standmessers oder Index leicht beurtheilen läßt; so würden beide Gase gleich stark drücken; es muß also für den vorliegenden Zweck das äußere Wasser höher stehen, als das innere und je höher es steht, desto größer ist der Druck, welchen das Leuchtgas erleidet und ausübt. Ist der äußere Wasserstand für einen gewissen Zweck, z. B. um 1 Zoll höher, als der innere; so muß dieser Stand fortwährend erhalten werden. Dieses kann nur dadurch erreicht werden, daß der Behälter stets mit demselben Gewichte auf das abgesperrte Gas herabdrückt.

Während der Behälter nur mit seinem untersten Rande im Wasser ist, trägt dieses von seinem absoluten Gewichte nur wenig; je tiefer bei der Abnahme des Gases im Innern der Behälter einsinkt, desto mehr trägt das Wasser von seinem Gewichte, desto leichter wird er und desto mehr muß er belastet werden, um den früheren Druck auszuüben. Dieses Mehr seines Gewichtsverlustes und der dadurch nothwendigen größeren Belastung beträgt aber um so weniger, je dünner das Metallblech zu seinen Seitenwänden und je größer sein Rauminhalt ist, weshalb man auch möglichst dünnes Blech anwendet. Dagegen wird beim Sinken des Behälters des Gases in ihm weniger, so daß er auch weniger durch dasselbe gehoben wird.

Gleichen beim fortschreitenden Verbräuche des Gases die Abnahme des Druckes vom Gasbehälter nach unten und vom leichten Gase nach oben einander aus, so würde der Behälter stets einen gleichen Unterschied der Wasserstände verursachen und es wäre eine anderweitige Ausgleichung nicht nothwendig. Man müßte natürlich für größere Gasometer die Stärke des Metallbleches zu der Seitenwand in angemessener Weise vergrößern. Bei kleinen Gasometern wird der Druck nach unten, bei großen der nach oben leicht größer sein können und deshalb muß in dergleichen Fällen eine Kompensation oder Ausgleichung vorgenommen werden.

Wird der Gasometer beim Sinken schwerer (beim Steigen leichter), so muß man, um einen gleichmäßigen Druck zu erhalten, von seiner Belastung nach und nach abnehmen.



(Fig. 154.)

Entlastung vor sich, wenn

man an Schnuren von ungleicher Länge, welche über dem Gasometer angebunden sind, das ganze Belastungsgewicht vom höchsten bis zum tiefsten Stande vertheilt angebracht hätte, so daß beim höchsten Stande des Gasometers alle Gewichtstheile auf seiner Decke ruhten und dann bei seinem Herabsinken immer mehr und mehr an den Schnuren schweben blieben. — Gleichmäßiger geht die

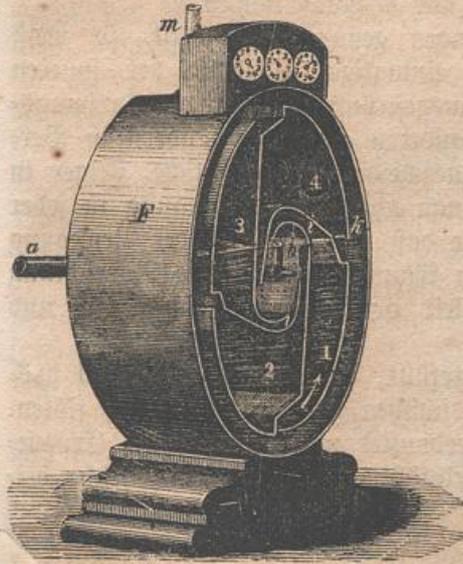
an das eine Ende e (Fig. 154) eines Kreisbogens eak hängt, zu welchem der Radius oa der eine Arm eines Hebels aoc ist, an dessen anderem Ende c ein Bogen ncr befestigt ist, dessen Punkte von n nach r hin dem Drehpunkte o immer näher und näher liegen und an welchem bei n eine andere Kette mit dem Gewichte m angehängt ist. Sinkt der Gasometer in der Richtung des Pfeiles bei s , so steigt das Gewicht und weil seine Kette sich dabei an den Bogen ncr anlegt, so kommt es dem Drehpunkte o immer näher, so daß es immer weniger auf seinen Hebelarm ziehend wirkt. Die Krümmung des Bogens muß natürlich nach dem jedesmaligen Gasometer eingerichtet werden, um ein angemessener Gasometerregulator zu sein.

Verlangte der Gasometer bei seinem Sinken eine zunehmende Belastung, wie es u. a. bei einem hölzernen der Fall sein würde, so müßte der Bogen eine Krümmung haben, welche das Gewicht von dem Drehpunkte entfernte.

Gasuhren.

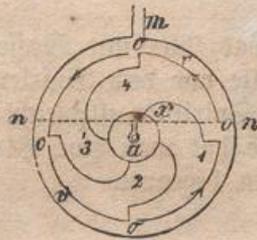
Von ganz besonderer Wichtigkeit sind die Gasuhren, Gaszähler, oder, wie man sie gewöhnlich auch wohl nennt, die Gasometer, weil sie die Menge des verbrannten Gases sehr genau bestimmen lassen. Wenn bei einem bestimmten Drucke im Gasometer die Flammen in einer unveränderten Größe erhalten würden, wie es wohl möglich wäre; so würde in bestimmter Zeit auch ein bestimmter Gasverbrauch stattfinden. Aber dessen ungeachtet wäre eine Kontrolle über die Gasflammen immerhin um so unausführbarer, je vielseitiger der Verbrauch ist. Die Er-

findung eines Instrumentes für die genaue Messung des verbrannten Gases war also sowohl für die Gasanstalten, als auch für die Gasverbraucher ein dringendes Bedürfnis, welches in einer sehr sinnreichen und für beide Theile absolut genügenden Weise entsprochen worden ist. Fig. 155 (1) zeigt links



(Fig. 155.)

Spiller, Physik.



das Innere des Gaszählers nach Wegnahme der vorderen Deckplatte von der Seite und rechts den Querschnitt. F ist eine

zylinderförmige völlig abgeschlossene Trommel von Eisenblech, um ihre röhrenförmige und horizontal liegende Ase ist eine aus Eisenblech bestehende Vorrichtung drehbar angebracht, welche aus 4 Abtheilungen besteht, die an ihrem äußeren Umfange durch die Oeffnungen o, o, o, o mit dem freien Spielraume rr , also auch untereinander und an ihrem inneren Umfange durch Oeffnungen wie bei x mit dem mittelsten Raume a in Verbindung stehen.

Das Gas gelangt von den Röhrenleitungen aus durch die Röhre a in den mittelsten Raum, würde ohne die Vorrichtungen, als die angeführten, durch die Oeffnungen x in die 4 Abtheilungen, aus ihnen durch die Oeffnungen o in den Zwischenraum r und endlich durch eine von hier ausgehende Röhre m zu den Brennern strömen, ohne daß man eine Messung vorgenommen hätte.

Gießt man aber in die Trommel soviel Wasser, daß es, wie nn es angibt, bis über die Ase steht, aber die Mündung des nach oben gebogenen Gasrohres a , sowie die Verbindung x nach dem Raume l noch freiläßt; so kann das zuströmende Gas nur in den obersten Theil dieses Raumes gelangen, und da es einen Druck sowohl auf das absperrende und abgesperrte Wasser, als auch auf einen Theil der Wand der ersten Abtheilung ausübt, so wird diese Abtheilung und natürlich auch die mit ihr fest verbundenen eine Drehung in der Richtung der Pfeile annehmen. Dadurch wird die erste Abtheilung nach und nach gefüllt, ihre Mündung bei o bis zum Niveau des Wassers gehoben, das Gas strömt aus ihr in den Raum r und von da nach m ; inzwischen ist aber an die Stelle der ersten Abtheilung die zweite getreten und dieselben Vorgänge wiederholen sich für alle 4 Abtheilungen.

Da der Raum aller 4 Abtheilungen genau bekannt ist, so weiß man auch genau, wieviel Gas nach einmaliger Drehung der inneren Trommel durch a ein- und durch m ausgeströmt ist. Hat die Drehungsaxe ein gezahntes Rad, welches mit anderen gezahnten Rädern in Verbindung ist, durch welche unter Glascheiben unzugängliche Zeiger in Bewegung gesetzt werden, so kann man aus deren Bewegung zu jeder Zeit den Gasverbrauch erkennen; ohne daß man selbst an der Bewegung irgendwie eine Störung hervorbringen könnte, so daß diese Vorrichtung gegen Unredlichkeit oder Unvorsichtigkeit vollkommen gesichert ist und sicher stellt.

Ist der Gaszähler mit Wasser gefüllt, so muß man ihn bei größerer Winterkälte vor dem Einfrieren schützen oder mit Spiritus füllen. Da aber der Spiritus allzuleicht verdunstet und öfterer einer Erneuerung bedarf, so hat man eine Glycerinlösung vorgeschlagen, welche beiden Uebelständen begegnet.

Heronball und Spritzflasche.

Wenn Luft, welche einseitig auf eine tropfbare Flüssigkeit wirken kann, eine größere Spannkraft besitzt, so wird sie dann diese Flüssigkeit in Bewegung setzen, wenn der Gegendruck geringer ist. Hat man ein Gefäß (Fig. 156) von beliebiger Gestalt zum Theil mit Wasser gefüllt und geht luftdicht durch seine obere Mündung ein Glasröhrchen bis in die Nähe des Bodens, welches oben etwas zugespitzt ist; so steht das Wasser in ihm ebenso hoch, als im Gefäße, weil die abgesperrte Luft über dem Wasser denselben Druck auf dasselbe ausübt, wie die freie atmosphärische auf das Wasser im Röhrchen.



(Fig. 156.) Bläst man nun aus den Lungen soviel als möglich Luft durch das Röhrchen ins Gefäß, so entsteht über dem Wasser verdichtete Luft, weil das Wasser durch die hinzugekommene Luft sich nur äußerst wenig zusammen- drücken läßt, die hineingebrachte Luft also mit der vor- handen gewesenen fast denselben Raum einnehmen muß.

Hört man zu blasen auf, so springt aus der Röhre sofort ein Wasserstrahl, weil die innere Luft auf das abgesperrte Wasser einen größeren Druck ausübt, als die äußere und dieser größere Druck durch das Wasser bis in die Röhre sich fortpflanzt. Daß der Strahl anfänglich um so höher sein wird, je mehr die Luft zusammengepreßt war und daß er nach und nach niedriger werden muß, ist klar, weil bei dem Abgange des Wassers die innere Luft einen größeren Raum einnehmen kann, wodurch ihre Dichtigkeit und Druckkraft vermindert wird. Schließlich bleibt wegen der größeren Verdichtung der inneren Luft nur noch die Röhre gefüllt.

Stellt man einen Heronsball mit nicht verdichteter Luft unter die Glocke einer Luftverdünnungspumpe, so fängt er bei der stattfindenden Verdünnung sofort zu springen an, weil auch jetzt die Luft auf das Wasser in der Röhre weniger drückt, als die abgesperrte.

Man kann auch durch Luftverdichtungspumpen in das Gefäß Luft pressen, wenn das Rohr mit einem Hahne versehen ist und sich auf eine solche Pumpe schrauben läßt. Dadurch kann man leicht einen Strahl bis zu 100 Fuß Höhe und darüber erhalten.

Eine kleine Abänderung des Heronsballes ist die in den Apotheken und chemischen Laboratorien so häufig gebrauchte Spritzflasche. Das Ausflußrohr geht, sowie es aus der Flasche tritt, in einer Biegung schräge abwärts und für das Einblasen der Luft ist oben auf der anderen Seite noch eine zweite, bequem eingerichtete Röhre angebracht. Somit man durch letztere bläst, kommt auch aus der ersten ein Wasserstrahl. Auf diese Weise kann man stoßweise nach Belieben Strahle be-

kommen, durch die man chemische Präparate mit destillirtem Wasser abspült.

Feuerspritze mit Windkessel.

Das Prinzip des Heronsballes wird außerordentlich wichtig, wenn man einen stärkeren und dauernden Wasserstrahl erhalten will, durch welchen einem Feuer viel eher und sicherer Einhalt gethan werden kann, als wenn man bloß mit Unterbrechungen Wasser ins Feuer schleudert, so daß es sich in den Zwischenzeiten immer wieder etwas erholen kann.

In einem Kasten befindet sich in der Mitte ein umgekehrter Kessel aus starkem Metalle; an seiner Bodenfläche münden die Röhren von zwei einander gegenüberstehenden Saugdruckpumpen, die ihr Wasser aus dem Kasten erhalten; von der Nähe des Bodens geht durch den Kessel ein Metallrohr, an welches sich außerhalb ein wasserdichter Schlauch mit einem Ausgußrohre an seinem Ende oder auch ein bloßes Ausgußrohr, welches dann drehbar sein muß, anschrauben läßt. Die beiden Pumpenstangen befinden sich an einer gemeinschaftlichen Querstange, die um ihren Mittelpunkt durch die an den beiden Enden angreifenden Menschen auf und ab bewegt werden kann.

Es ist klar, daß bei dieser Verbindung der beiden Pumpen während jeder Bewegung sowohl auf- als auch abwärts in den Windkessel Wasser gedrückt und dadurch die darin enthaltene Luft zusammengedrückt wird. Die verdichtete Luft drückt ihrerseits auch, fortwährend sich ausdehnend, auf das Wasser, welches keinen anderen Ausweg hat, als durch das Springrohr, und somit erzeugt sie einen ununterbrochenen Strahl, wenn nur die Druckpumpen den Kessel hinreichend mit Wasser versorgen.

Wendet man statt der Menschenhände die Dampfkraft an, so lassen sich solche Spritzen von bedeutenderer Ausdehnung und einer erstaunlichen Wirkungsfähigkeit bauen. In New-York z. B. kostet eine nach den besten Grundsätzen höchst elegant gebaute Dampfspritze 4000 Dollar. Man unterhält bei einzelnen fortwährend ein mäßiges Feuer, und die angeschirrten Pferde stehen dabei, um sie sofort benutzen zu können.

Springbrunnen mit Windkessel.

Es liegt außerordentlich nahe, daß man das Wasser, welches von der über ihm in einem starken Kessel befindlichen verdichteten Luft durch ein von der Nähe des Bodens ausgehendes Rohr getrieben wird, zu einem fortwährenden Springstrahle benutzen kann. Es ist hierbei nicht nothwendig, daß der Windkessel dicht unter dem Springrohre liegt, sondern dieses kann mehr oder minder weit fort und zuletzt aufwärts geleitet werden. Auf diese Weise hat man in vielen flachen Gegenden, wo es an einem höher gelegenen Wasserbehälter, von welchem aus der Druck ginge, fehlt, solche künstliche Springbrunnen mit seitwärts ge-

legenen Dampfmaschinen. Das dazu nöthige Wasser ließe sich durch die Maschinen auch auf Anhöhen in Behälter schaffen, von wo aus zu beliebigen Zeiten die Springbrunnen in Thätigkeit gesetzt werden könnten.

Es ist gleichgiltig, was für ein luftiger Körper den Druck auf das Wasser ausübt. Wären es Wasserdämpfe, so müßte das Wasser, auf welches sie unmittelbar drücken, dieselbe Temperatur haben wie sie selbst, weil, wenn die Temperatur eine niedrigere ist, ein Theil dieser Dämpfe zu Wasser wird, wodurch ihre Druckkraft geringer geworden ist.

In Zuckerfabriken wird der in den unteren Räumen des Gebäudes durch Pressung erhaltene zuckerhaltige Saft in gleicher Weise in obere, oft 40 Fuß höhere Behälter gebracht, um ihn von da durch Kohlenfilter abklären zu lassen.

Die Geiser.

Wenn nun in feuerspeienden Bergen innere Gewässer, welche einseitig abgesperrt sind, mit dem Feuer in Berührung kommen; so werden sie theilweise in Dämpfe verwandelt. Wiederholt sich dieser Vorgang unter sich gleichbleibenden Bedingungen, so können die entwickelten Dämpfe endlich eine solche Spannkraft erhalten, daß sie im Stande sind, zeitweise bedeutende Wassermassen emporzuschleudern.

Diese Erscheinung zeigen uns auf Island in großartigster Weise die Geiser, mit welchem Namen man alle dortigen heißen Quellen mit den verschiedenartigsten Merkmalen bezeichnet. Sehr merkwürdig ist zunächst der Aufschrollen oder der brüllende Berg. Aus einer Oeffnung in einer etwa 4 Fuß betragenden Erhöhung von erhärtetem Bolus strömt Dampf mit einem Getöse gleich dem eines Wasserfalles; wirft man Steine hinein, so wird das Toben gewaltiger und die Steine werden hoch emporgeschleudert. Kurze Zeit darauf brechen von verschiedenen Stellen dicke Dampfswolken und Springstrahlen von kochend heißem Wasser hervor. Nach etwa 5 Minuten tritt eine Pause von etwa 2 Minuten ein, um dieselben Erscheinungen zu wiederholen. — Im Thale Keikholt sind auf einem Hügel 16 heiße Quellen, von denen zwei alle $4\frac{1}{2}$ und 3 Minuten mit einander abwechseln, die eine einen Strahl von 12, die andere von 15 Fuß Höhe emportreibend. — Die bedeutendsten heißen Quellen sind zwei Tagereisen vom Hekla entfernt, bei Skalholt unweit Hautadal, wo die umgebenden Eisberge bis in die Wolken reichen und ein wunderbares Naturgemälde darstellen, wenn daneben die zum Himmel geschleuderten Wassermassen mit den umgebenden Dampfswolken den Anblick nicht trüben. Unter den etwa 50 Quellen ist der große Geiser besonders zu bemerken. Er springt aus einer gegen 70 Fuß tiefen Röhre, welche unten 16 bis 18, oben 10 bis 12 Fuß Durchmesser hat, in der Regel auf 80 bis 100, bisweilen aber bis zu 200 Fuß Höhe und noch darüber in einem 8 bis 10 Fuß dicken Strahle, welcher in ein flaches Bassin von etwa 50 Fuß Durchmesser fällt. Bei

ihm findet der periodische Wechsel nicht regelmäßig statt, indem das Wasser bisweilen mehre Tage ausbleibt, bisweilen aber auch in kurzen Unterbrechungen erscheint. Inzwischen hört man aber stets ein unterirdisches Getöse, dann kommt Dampf und Wasser in einzelnen Stößen und bisweilen wird dann pfeilschnell ein in Dampf gehüllter Wasserstrahl 80 bis 90 Fuß hoch geworfen, von welchem aber einzelne abgelöste Theile eine unglaubliche Höhe erreichen.

Der Heronsbrunnen.

Bewegung und Leben fesselt uns mehr, als Ruhe und Abgestorbenheit. Daher hat man schon im Alterthume selbst in den Wohnräumen springende Brunnen herzustellen gesucht und vermocht. Der Heronsball gibt einen nur kurze Zeit andauernden, nicht hoch gehenden und in seiner Höhe bald abnehmenden Strahl; die in höher gelegenen Räumen und auf den Dächern der Häuser angebrachten Wasserbehälter, von welchen aus Röhren mit Springöffnungen herabgehen, bieten manche Unbequemlichkeiten und selbst Nachtheiliges dar, so daß man sie nur selten anwendet; dagegen gewähren die tragbaren und wenig Raum einnehmenden Heronsbrunnen eine gewisse Annehmlichkeit. Ihre Form ist mehr oder weniger einfach oder elegant. Es ist wesentlich ein Heronsball, bei welchem aber die Verdichtung der das Springen des Wassers bedingenden Luft durch den Druck einer Wassersäule bewirkt und erhalten wird.



(Fig. 157.)

In Fig. 157 ist B ein geschlossenes Gefäß von Metall oder Glas, darüber befindet sich ein zweites Gefäß A, ebenfalls geschlossenes, mit einem offenen Becken C; durch die Mitte des letzteren geht bis in die Nähe des Bodens vom oberen Gefäße eine offene Röhre i, welche etwas über dem Becken in eine enge Springöffnung endet, so daß das obere Gefäß die Dienste eines Heronsballes thun kann; von dem Boden des Beckens aus geht durch die Decke des oberen Gefäßes eine offene Röhre cae bis in die Nähe des Bodens vom unteren Gefäße und eine andere auch offene Röhre ubo von der Decke des unteren bis in die Nähe der Decke des oberen Gefäßes, so daß die beiden Räume der Gefäße nur durch diese dritte Röhre mit einander verbunden sind.

Hat man nun das obere Gefäß zum größten Theile, also bis in die Nähe der Mündung o, mit bloßem oder auch mit wohlriechendem Wasser gefüllt und gießt man dann in das Becken Wasser, so fließt

dasselbe durch die Röhre *cae* in das untere Gefäß ab und die Mündung *e*, also auch die Luft in den Gefäßen, wird bald abgesperrt. Das von nun an herabfließende Wasser nöthigt die Luft in den Gefäßen einen kleineren Raum einzunehmen und dies wird nach und nach um so mehr geschehen, je länger die Röhre *cae* und je höher der Wasserstand im Becken ist. Wird inzwischen die Springöffnung zugehalten oder durch einen Hahn abgeschlossen, so tritt endlich ein Zeitpunkt ein, in welchem die Spannkraft der abgesperrten Luft und die Druckkraft des Wassers einander das Gleichgewicht halten, so daß vom Becken aus Wasser nicht mehr hinabfließt. Beim Oeffnen der Springröhre erscheint natürlich der Strahl und behält ziemlich eine gleiche Höhe, wenn die Flüssigkeit in das Becken herabfällt, nach dem unteren Gefäße gelangt und so die Spannung der Luft erhält.

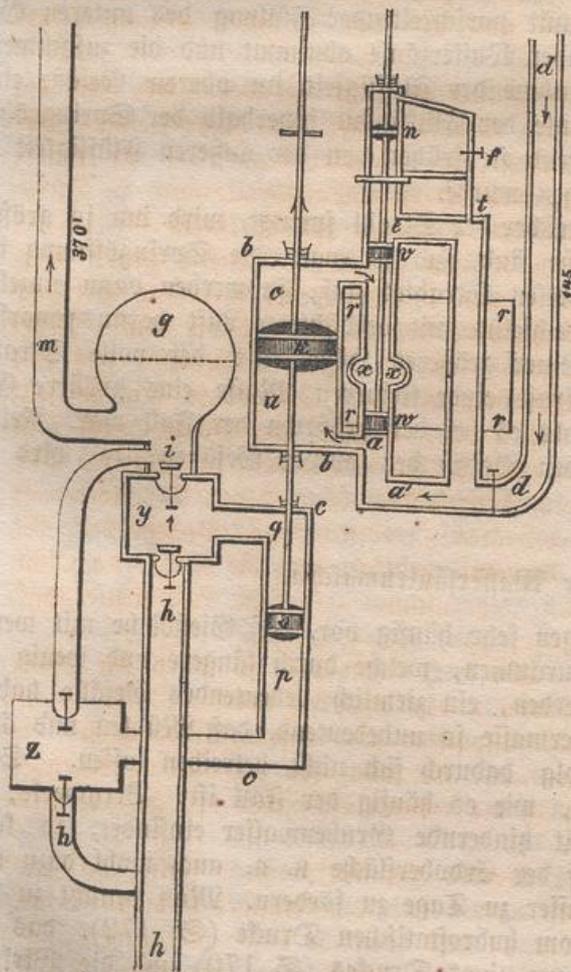
Etwas, wenn auch nicht viel, nimmt allerdings die Höhe des Springstrahles ab, weil mit vorschreitender Füllung des unteren Gefäßes die Höhe der drückenden Wassersäule abnimmt und die zusammengedrückte Luft mit der Abnahme der Flüssigkeit im oberen Gefäße eine immer höher werdende Säule der Flüssigkeit innerhalb der Springröhre selbst zu tragen hat, während sie früher von der äußeren Flüssigkeit in diesem Gefäße mehr getragen wurde.

Die Zeit, während welcher der Strahl springt, wird um so größer sein, je weiter die Gefäße sind und je enger die Springöffnung ist. Hört das Springen des vollen Strahles auf, so werden dann einzelne Theile von Flüssigkeit abwechselnd mit verdichteter Luft herausgeworfen und die ersteren dann zu einer größeren Höhe, als der volle Strahl, weil eine bestimmte Druckkraft einer kleineren Masse eine größere Geschwindigkeit geben muß, als es bei der größeren der Fall war. Reicht die Springröhre fast an den Boden des oberen Gefäßes, so wird es auch fast ganz geleert.

Die Wassersäulenmaschine.

Es kommt in Gebirgen sehr häufig vor, daß Gießbäche mit wenig Wasservorrath in Zwischenräumen, welche durch längere und wenig geneigte Flächen gebildet werden, ein ziemlich bedeutendes Gefälle haben. Nicht selten ist ihre Wassermasse so unbedeutend, daß Mühlen und ähnliche Maschinen mit Erfolg dadurch sich nicht betreiben lassen. Sind aber in solchen Gegenden, wie es häufig der Fall ist, Bergwerke, in denen sich das die Arbeit hindernde Grubenwasser einfindet, so kann man jene Wasserkraft auf der Erdoberfläche u. a. auch wohl dazu verwenden, dieses Grubenwasser zu Tage zu fördern. Man benutzt zu diesem Zwecke das Gesetz vom hydrostatischen Drucke (S. 172), das der ungeschwächten Fortpflanzung eines Druckes (S. 170) und die Wirkung der zusammengedrückten Luft in Windfesseln.

Leitet man Wasser von einer bedeutenden Höhe in verhältnißmäßig nicht weiten Röhren abwechselnd in die beiden Abtheilungen eines weiten Stiefels, in welchem ein Kolben oder Embolus wasserdicht beweglich ist; so wird es diesen Kolben hin und her bewegen, wenn nur dafür gesorgt ist, daß das Wasser aus dem Raume, nach welchem hin die Bewegung geschieht, rechtzeitig abfließen kann. Die Größe der Druckkraft des Wassers läßt sich aus der Größe der Kolbenfläche und Höhe der Wassersäule leicht berechnen. Statt bloß einen Stiefel zu gebrauchen, kann man zwei mit abwechselndem Kolbengange oder einen doppelt wirkenden anwenden, wodurch man den Vortheil erreicht, daß man ein Schwungrad anbringen kann, welches die gleichmäßige Bewegung der Maschine erhält, wobei auch das Druckwasser in Bewegung bleibt und somit kräftiger wirkt; denn bei den einfach wirkenden Maschinen kommt das



(Fig. 158.)

Druckwasser zum Stillstande, während der Kolben den Rückweg antritt, und es währet immer einige Zeit, bis sie wieder ganz in Bewegung gelangt. Daß man hierbei Krümmungen, und vorzüglich scharfe, möglichst vermeiden muß, ist wohl selbstverständlich. Man kann bei gutem Baue der Maschinen bis 0,8 der berechneten Kraft wirklich erreichen, wie es bei den von v. Reichenbach für das Heben von Salzfoole in Baiern mehrfach gebauten der Fall ist. Das Wesentlichste einer doppelt wirkenden Wassersäulenmaschine, welche mit einem Druckwasser von 145 Fuß Höhe die Salzfoole auf 370 Fuß hebt, wird durch folgende Darstellung sich ergeben. — In Fig. 158 kommt das Druckwasser

in der Röhre dd herab und kann abwechselnd unterhalb und oberhalb des Kolbens k in den Kraftzylinder bb geleitet werden. Nach dem unteren Raume geht die Zuleitung durch aa, nach dem oberen durch ee. Die Mündungen in diese Räume können durch ein Schieberventil in der nebenanstehenden Verbindungsrohre beider mit den an einer gemeinschaftlichen Stange befindlichen Schieberkolben v und w abwechselnd geschlossen und geöffnet werden. Dieses Verbindungsrohr mündet bei xx in einen Kasten rr, welcher das verbrauchte Druckwasser aufnimmt.

In dem durch die Zeichnung dargestellten Falle gelangt das Druckwasser von dd durch aa nach u und preßt den Kolben k aufwärts; dem über k etwa befindlichen Wasser ist von o aus der Weg nach x offen, indem die Schieberventile die ihnen gestattete höchste Stellung haben. In dem Augenblicke, in welchem der Kolben oben angelangt ist, müssen die Ventile v und w soweit herabgehen, daß das Wasser von dd durch ee nach o gelangen und das von u durch a nach x abfließen kann.

Die Kolbenstange des Kraftzylinders geht an der Decke und am Boden desselben wasserdicht durch Stopfbüchsen; ihre obere kleine Querstange hilft, wie wir sehen werden, die Maschine reguliren; der untere Theil setzt die Arbeitsmaschine, nämlich eine Saugdruckpumpe in Bewegung. Der daran befestigte Kolben s bewegt sich in einem Stiefel cc, dessen beide durch ihn gebildete Räume p und q mittelst zweier Verbindungsrohren zu zwei Kästen z und y führen, die ihrerseits mit dem in die Tiefe herabgehenden Saugrohre hh in Verbindung stehen. Jeder dieser beiden Kästen hat zwei nach oben sich öffnende Ventile, das eine am Boden, welches die Verbindung mit der Saugrohre hh herstellt und aufhebt, das andere an der Decke, welches die Soole durch i in einen Windkessel g und von da aus in das Steigerrohr m gelangen läßt.

Bei dem in der Zeichnung dargestellten Gange des Arbeitskolbens nach aufwärts geht auch s aufwärts, wodurch das Bodenventil des Kastens y geschlossen, das Deckenventil geöffnet und die Soole nach dem Windkessel und von hier durch die zusammengedrückte Luft weiter aufwärts gepreßt wird.

Ginge der Arbeitskolben, also auch s abwärts; so würde die Soole von y aus durch hh gesaugt, von z aus nach ig gedrückt; also ist bei dieser doppelt wirkenden Saugdruckpumpe mit einem Arbeitsstiefel ein Stillstand sowohl des Druckwassers, als auch der zu- und abfließenden Soole nicht vorhanden, wodurch die Leistungsfähigkeit der ganzen Maschine eine größere ist.

Soll aber der Gang des Werkes zweckentsprechend sein, so darf man den rechtzeitigen Zu- und Abfluß des Druckwassers nicht Menschenhänden überlassen, sondern übergibt das Geschäft einer viel zuverlässigeren Kraft, nämlich der Maschine selbst durch eine sogenannte Selbststeuerung.

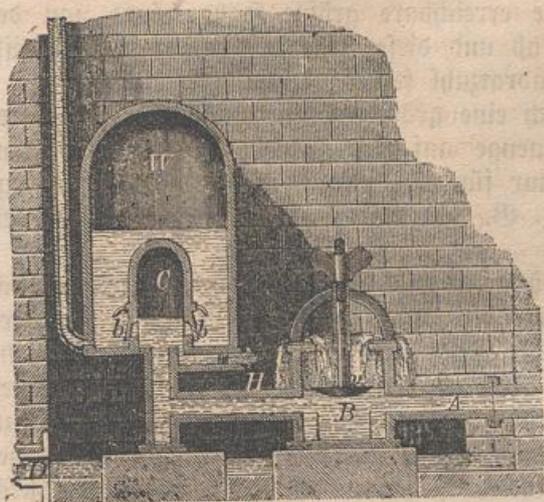
Die Stange, welche die beiden Schieberventile *v* und *w*, von deren rechtzeitiger Bewegung der Zu- und Abfluß des Druckwassers abhängt, trägt, hat oben eine Fortsetzung mit einem dritten Kolben *u*, welcher sich wasserdicht in einem kleinen Stiefel bewegt. Die beiden Räume dieses Stiefels bekommen von der Röhre *e* aus durch die Röhre *t*, welche sich nach unten und oben verzweigt, ihr Wasser, welches sich durch den bei *f* angebrachten Vierweghahn abwechselnd nach dem oberen und unteren Raume leiten läßt und zwar in den Augenblicken, in welchen der Arbeitskolben *k* beziehungsweise seine höchste und tiefste Stelle erreicht hat. Durch dieselben zwei Röhren und den Hahn wird das in dem kleinen Stiefel verbrauchte Wasser in den Kasten *rr* abgeleitet, was man sich leicht denken kann.

Alles kommt nun darauf an, daß der Hahn rechtzeitig gedreht wird. Dieses geschieht, indem derselbe mit einem hier nicht gezeichneten drehbaren Gestänge mit zwei Seitenarmen, an deren Enden sich kurze Bogen befinden, verbunden ist. Sowie der Kolben *k* sich den Enden seiner Bahn nähert, stößt das Querstück der Kolbenstange an den betreffenden Bogen und das Gestänge bewirkt die angemessene Drehung des Hahnes.

Die bemerkenswertheste Anwendung hat die Wassersäulenmaschine wohl in Baiern gefunden, wo eine Salzsoole aus einer holzarmen Gegend 370089 Fuß weit durch unebene Gegenden geführt worden ist und in verschiedenen Absätzen im Ganzen auf 3727 Fuß gehoben werden mußte, obwohl der Höhenunterschied des Ausgangs- und Endpunktes nur 282 Fuß beträgt. Von der Grube zu Illfang bei Berchtesgaden bis Reichenhall beträgt die Leitung 97281 baierische Fuß und die Soole wird in drei Absätzen 50, 311 und 1218 Fuß gehoben; von Reichenhall bis Hammer auf 72618 Fuß Entfernung sind sechs Hebungen von 44, 190, 220, 400, 125 und 370 Fuß; von Hammer bis Rosenhain 200190 Fuß weit, wird die Soole fünfmal gehoben auf 200, 175, 200, 180 und 44 Fuß. Unter den Maschinen sind nur drei bloße Pumpenwerke.

Der Stoßheber, hydraulische Stößer.

Hat man fließendes Wasser, gleichgiltig ob das Fließen durch das Gefälle eines Baches oder Flusses oder durch den Druck von Wasser in einem höher gelegenen Behälter hervorgebracht worden ist; so kann man die in dem Beharrungsvermögen des bewegten Wassers liegende Kraft benutzen, um einen Theil dieses Wassers zu einer oft namhaft größeren Höhe zu bringen, als woher das treibende Wasser kommt. Man könnte statt dessen auch bedeutendere Wassermengen auf verhältnißmäßig geringe Höhen bringen, was u. a. zur Bewässerung von Wiesen und anderen Zwecken nützlich sein würde, zumal die Anlage wenig kostspielig und ohne große Umstände auch verlegbar ist.



(Fig. 159)

Fig. 159 gibt eine Vorstellung davon. Auf der oberen Seite einer ziemlich weiten Röhre A, welche bei B eine Erweiterung hat, ist eine Oeffnung, welche von innen her durch das Ventil v geschlossen werden kann; das benachbarte Ende dieser Röhre geht aufwärts und hat zwei sich nach außen sehr leicht öffnende Ventile b, b, welche unmittelbar in einen Windkessel W führen, von dessen Boden eine offene Röhre aufwärts geht.

Will man die Maschine in Thätigkeit setzen, so zieht man das Ventil v an die Röhrenwand, so daß es die Röhre schließt. A ist mit W und dem Steigerohre unmittelbar verbunden, und daher wird letzteres nach dem Gesetze der kommunizirenden Gefäße ebenso hoch gefüllt, als das Druckwasser in A steht; ist aber der Windkessel vorhanden, so wird ein Theil dieses Kessels auch erfüllt, die Luft darüber in W zusammengedrückt, so daß sie ihrerseits den Druck auf das Niveau wiedergibt und weiter auf das Wasser an der Mündung der Steigröhre und in sie fortpflanzt, wodurch dieselbe Höhe erreicht wird.

Ist dieses geschehen, so wird das Ventil v, welches nicht sehr schwer sein darf, durch den Druck des stillstehenden Wassers festgehalten; drückt man es aber hinab, so beginnt bei ihm der Ausfluß des Wassers und die ganze Wassermasse des Druckrohres A geräth in Bewegung. Läßt man dann das Ventil los, so wird es durch den Druck des Wassers wieder gehoben und das bewegte Wasser hat bei ihm keinen Ausweg mehr; aber da es nach dem Beharrungsgesetze in Bewegung bleiben will, so stößt es das Ventil b auf und dringt theilweise in den Windkessel und das Steigerohr, wodurch es in letzterem zu einer etwas größeren Höhe gelangt. Da aber die Kraft des stoßenden Wassers durch den Widerstand des anderen in der Steigröhre und im Kessel bald aufgehoben wird, so fängt es an durch die Ventile bb theilweise wieder zurückzugehen, wodurch sie aber sofort geschlossen werden und das Ventil v, seinem Gewichte folgend, und bei der Verminderung des Druckes auf dasselbe, herabfällt.

Nun beginnt bei v wieder der Ausfluß des Wassers; die ganze Wassermasse in der Druck- oder Fallröhre kommt in Bewegung und hat diese eine gewisse Geschwindigkeit erlangt, so wird dadurch v wieder zu- und bb wieder aufgedrückt, so daß das Wasser in der Steigröhre

noch höher hinaufdringt. Die erreichbare größte Höhe hängt von der Kraft des stoßenden Wassers ab und diese steht in gradem Verhältnisse zu seiner Masse und der Quadratzahl seiner Geschwindigkeit.

Man wird demnach durch eine größere Wassermasse von geringerer Fallhöhe eine kleinere Wassermenge auf eine größere Höhe fördern können. Der Windkessel sorgt nur für eine ununterbrochene Ausströmung; er würde in vielen Fällen, z. B. für die Bewässerung von Ländereien unentbehrlich sein.

Höchst wichtig ist es, daß man das Gewicht des Ventiles v nach der Kraft des stoßenden Wassers einrichtet, wenn die Maschine ununterbrochen im Gange bleiben soll. Tritt auch bei sonst angemessener Einrichtung einmal nach längerer Zeit ein Stillstand ein, so ist ein kleiner Stoß auf das Ventil v hinreichend, um sie wieder in Thätigkeit zu setzen. Dieses Ventil kann auch am Ende der Zuleitungsröhre angebracht sein, und aus einer lothrecht stehenden Klappe bestehen, die durch ein äußerlich angebrachtes Gegengewicht geöffnet wird, wenn der Stoß des Wassers aufgehört hat.

Man hat dergleichen Maschinen je nach der zu Gebote stehenden Wasserkraft von sehr verschiedenen Dimensionen gebaut.

Um einen Begriff von ihrer Wirkungsfähigkeit zu geben, wollen wir einige Beispiele anführen.

Bei einer Zuleitungsröhre von 5 Zoll Durchmesser und 12 Fuß Länge wechselte das Spiel der Ventile in einer Minute 12 bis 15 mal und die Steigröhre hatte bei 1,5 Zoll Durchmesser gegen 30 Fuß Höhe.

In einem anderen Falle war die Leitrohre 4 Zoll 7 Linien weit, 25 Fuß lang und hatte 18 Zoll Gefälle; die Steigröhre hatte 9 Fuß 9 Zoll Höhe und das Ventil machte 30 Stöße in der Minute. Die Maschine hob die Hälfte des verbrauchten Wassers.

Zu Clermont-Dise wurde eine angewendet, deren Leitrohre 0,027 Meter Weite, 33 M. Länge, 7 M. Fallhöhe und deren Steigröhre 420 M. Länge, 60 M. Höhe hatte. Sie lieferte bei einem Wasseraufwande von 12,4 Liter in jeder Minute 0,972 Liter, was einen Nutzerfolg von etwa 62 Prozent gewährt.