Das Wasser

in statischer Beziehung.

Von

Dr. ADAM FREIHERRN v. BURG.

Vortrag, gehalten am 22. Jänner 1879.

Es wurde kürzlich an dieser Stelle in einem vom Herrn Professor Dr. Oser gehaltenen sehr interessanten Vortrage das Wasser, welches, wie erwähnt worden, von den alten Philosophen als ein einfacher Stoff und als eines der damals geglaubten vier Elemente angesehen wurde, in chemischer Beziehung besprochen. Allein das Wasser als eines der wichtigsten Lebenselemente bildet für uns Erdenbewohner überhaupt einen Gegenstand der verschiedenartigsten Erscheinungen und Eindrücke, indem es uns bald als freundlicher und wohlthätiger Genius und bald wieder als feindliche, Alles zerstörende Macht entgegentritt, dass es sich wohl der Mühe lohnt, die Eigenschaften desselben auch noch in physikalischer und mechanischer Beziehung etwas näher zu betrachten.

Wenn ich es aber hier unternehme, Sie, hochverehrte Versammlung, auf ein so schwieriges Terrain wie es die Hydrostatik und Hydraulik ist, zu führen, so ermuthigt mich die in diesem Kreise gewonnene Erfahrung, dass Sie, hochverehrte Anwesende, auch den schwierigsten naturwissenschaftlichen Vorträgen mit Interesse zu folgen im Stande sind, wenn diese nur populär genug gehalten werden. Ob mir das letztere auch bei diesem Gegenstande gelingen wird, werden Sie, besonders aber die sehr geehrten Damen zu entscheiden haben.

1. Als Einleitung möchte ich mich zunächst auf einen Vortrag beziehen, den ich am 6. März 1872 über die Eigenschaften und Anwendungen des Wasserdampfes in diesem geehrten Kreise gehalten und dabei ausgeführt habe, dass die drei Aggregatszustände, unter denen uns die Körper entweder als fest oder tropfbar oder gasförmig in der Natur erscheinen, durch anziehende oder abstossende Kräfte, welche zwischen ihren kleinsten Theilchen oder Atomen wirksam auftreten und sich ihre Herrschaft gegenseitig streitig machen, bedingt werden, so zwar, dass bei den festen Körpern die Anziehungs- oder Cohäsionskräfte, bei gasförmigen die abstossenden oder Repulsionskräfte überwiegen, dagegen bei tropfbar-flüssigen Körpern sich diese beiden Kräfte geradezu das Gleichgewicht halten. Aus diesem letzteren Grunde besitzen die Flüssigkeitstheilchen, wie jene des Wassers, nur einen äusserst geringen Zusammenhang, der jedoch bis zu einem gewissen Grad gleichwohl stattfindet und sich uns am einfachsten in der Tropfenbildung zu erkennen gibt, [1]) so wie eine absolut leichte Verschieb-

---

[1]) Dabei werden nämlich die unteren, durch die Schwere herabgezogenen kleinsten Theilchen von den oberen durch die Cohäsionskraft gehalten. Ich möchte mir bei dieser Gelegenheit die folgende kleine Abschweifung erlauben. Newton war der Erste, welcher zeigte, dass die Tropfen aller Flüssigkeiten (deren Grösse übrigens bis ins Unbestimmte

barkeit, besonders wenn der sogenannte Flüssigkeitsgrad ein vollkommener ist; denn so wie überall in der

---

zunehmen kann), wenn sie sich selbst überlassen werden, stets die Kugelform annehmen müssen. Da nun angenommen wird, dass sich unsere Erde ursprünglich im flüssigen Zustande befunden habe, so musste diese, gleichsam als ein Tropfen von immenser Grösse, ebenfalls diese Form, jedoch mit der Modification annehmen, dass sich dieselbe wegen der Rotation um ihre Axe an den Polen etwas abplattete (M. s. meinen am 1. März 1871 in diesem Verein gehaltenen Vortrag.)

Wir finden von dieser auf der gegenseitigen Anziehung der Moleküle und den hydrostatischen Gesetzen beruhenden Eigenschaft der Tropfenbildung viele Beispiele und machen auch von derselben im gemeinen Leben den manigfaltigsten Gebrauch.

Ich will in letzterer Beziehung nur auf die Schrotgiesserei hinweisen, bei welcher das flüssige Blei durch Siebe in Tropfenform von einer beträchtlichen Höhe (dem Schrotthurm) in mit Wasser gefüllte Bottiche oder Behälter herabfällt, so dass diese Tropfen schon während ihres Falles in der Luft erstarren und sich abrunden können; unsere Schrotkörner sind daher nichts anderes als erstarrte Bleitropfen.

Liegen die flüssigen Tropfen auf verschiedenartigen Unterlagen, so bewirkt nicht bloss die Schwere sondern ganz besonders die zwischen Tropfen und Unterlage stattfindende Adhäsion eine grössere oder geringere Abplattung derselben. Dabei hängt die Adhäsions- gegen die Cohäsionskraft der flüssigen Tropfen von der Beschaffenheit der Berührungsfläche der Unterlage ab; so zerfliessen z. B. Wassertropfen auf einer reinen Glastafel vollständig, während sie wenn die Fläche mit Fett oder Staub, besonders mit Lyco-

Natur ein nur allmäliger Uebergang stattfindet, so kann auch die Fluidität von dem vollkommen flüssigen, bis zu dem starren Zustande alle möglichen Zwischengrade annehmen; so sind z. B. Honig, Terpentin u. s. w. zähflüssiger als Wasser, Weingeist, Säuren, Quecksilber u. s. w., welche man nahezu als vollkommen flüssig ansehen kann.

---

podium (Hexenmehl) bestrichen oder bestreut wird, die Kugelform annehmen, wie dies auch bei den Quecksilberkügelchen, welche auf einer hölzernen Platte liegen, der Fall ist. Es ist bekannt, dass die Thau- und Regentropfen, aus welchen uns so oft das Sonnenbild in diamantenen Strahlen entgegenblitzt, auf den mit einem wachsartigen Ueberzuge versehenen Pflanzen, wie z. B. Kohlblätter, eine mehr oder minder kugelförmige Form annehmen.

Was die Grösse der Tropfen betrifft, so hängt diese von der Fluidität der Flüssigkeit ab; für achtgradiges Wasser nimmt man den Tropfen für gewöhnlich zu Einem Gramm an; die Weingeist- und Aethertropfen sind kleiner als die des Wassers.

Hängt sich an ein vertical gehaltenes Glasstäbchen ein Wassertropfen an, so nimmt derselbe in Folge seines Gewichtes zuerst eine längliche, birnförmige Gestalt an, geht jedoch wie er abreisst sogleich in die Kugelform über.

Schliesslich will ich noch bemerken, dass die Grösse der Tropfen, was besonders in der Pharmacie beim Bereiten und Verordnen von Arzneien von Wichtigkeit ist, zunächst auch von dem Materiale (ob Glas oder Porcellan) und der Form des Gefässes abhängt, weshalb man sich zu diesem Zwecke bestimmter, eigensgeformter, in eine feine Spitze auslaufender Tropfengläser bedient.

2. Ausser der erwähnten absolut leichten Verschiebbarkeit der Flüssigkeits- oder, da wir es hier nur mit dem Wasser zu thun haben, der Wassertheilchen, ist das Wasser fast so gut wie unzusammendrückbar oder incompressibel, da sich den neuesten Versuchen zufolge dasselbe, wenn es luftfrei ist, unter einem darauf ausgeübten Drucke von Einer Atmosphäre (10,334 Kilogr. auf 1 Quadratmeter) nur um ungefähr den zwanzigtausendsten Theil seines ursprünglichen Volumens zusammendrücken lässt.

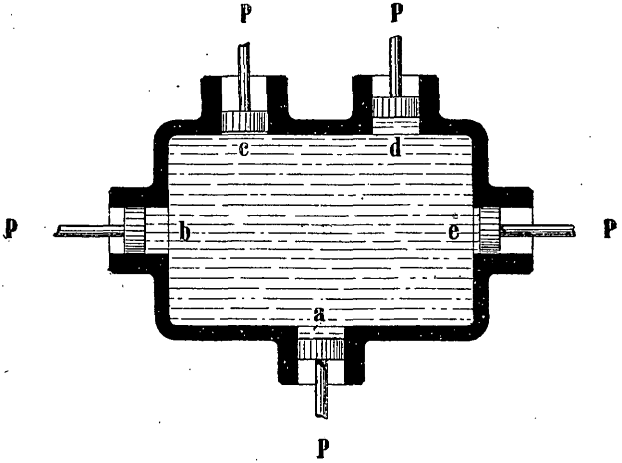
Princip des gleichen Druckes nach allen Richtungen.

3. Aus der eben erwähnten Eigenschaft, dass sich die Wassertheilchen absolut leicht verschieben lassen und jedem eindringenden Körper ohne Widerstand ausweichen, geht ein für alle folgenden Untersuchungen höchst wichtiges Gesetz oder Princip, nämlich jenes hervor, dass sich ein an irgend einer Stelle einer vollkommen eingeschlossenen Wassermasse ausgeübter Druck, nach allen Richtungen hin mit vollkommen gleicher Stärke oder Gewalt fortpflanzt.

Denkt man sich nämlich eine Quantität Wasser von einem beliebigen Gefäss, von welchem Fig. 1 irgend einen Querschnitt darstellen soll, vollständig, ohne Zwischenräume umschlossen, und bringt man an verschiedenen Punkten, a, b, c, d . . . desselben absolut leicht verschiebbare Stempel oder Kolben an, welche bis an die

Oberfläche des Wassers reichen, so wird, wenn man sich das Wasser als gewichtlos vorstellt, keiner derselben von Innen nach Aussen irgend einen Druck erfahren. Drückt man nun einen dieser Kolben, z. B. jenen b, mit irgend einer Kraft, z. B. mit 10 Kilogr. nach einwärts, so werden augenblicklich die übrigen Kolben

Fig. 1.



a, c, d . . . mit derselben Kraft oder Stärke, wenn sie nämlich mit jenem b die gleiche Grösse, d. i. Querschnittsfläche, haben, jeder mit 10 Kilogr. nach auswärts gedrückt, so, dass man, um das Gleichgewicht zu erhalten und das Zurückweichen zu verhindern, an jedem dieser letztgenannten Kolben eine nach einwärts drückende Kraft von 10 Kilogr. anbringen müsste.

Denkt man sich ferner zwei dieser Kolben, z. B. jene d und e, in Einen vereinigt, wodurch er die doppelte Querschnittsfläche erhält, so müsste dieser durch eine Kraft von $10 + 10 = 20$ Kilogr., also auch von der doppelten Kraft zurückgehalten werden. Wäre die Kolbenfläche überhaupt 2-, 3mal grösser, so wäre auch der Druck auf diesen Kolben 2-, 3mal so gross, als der auf den Kolben b ausgeübte Druck; also im angenommenen Falle 20, 30 Kilogr. Hieraus folgt nun, da die innere Kolbenfläche als ein Theil der inneren Gefässwand angesehen werden kann, sofort der allgemeine Satz, dass die Drücke oder Pressungen, welche durch den Kolben b auf die verschiedenen Theile der Gefässwand ausgeübt werden, der Grösse der gedrückten Flächen genau proportional sind.

Hätte also der Kolben eine Druckfläche von 1 Quadratmillimeter und würde dieser gegen die Oberfläche des von allen Seiten vollkommen eingeschlossenen Wassers mit einer Kraft von, sagen wir, 10 Kilogramm gedrückt, so würde eine Fläche der Gefässwand oder eines eingepassten Kolbens von

$$1 \text{ Quadratmeter} = 1000 \times 1000 = 1{,}000.000,$$

d. i. Einer Million Quadratmillimeter, einen Druck von nicht weniger als 10 Millionen Kilogramm zu erleiden haben oder der Kolben mit dieser Kraft zurückgeschoben werden, ein Resultat, welches wohl geeignet ist, uns in Erstaunen zu setzen. Ich werde später auf den grossen Nutzen aufmerksam machen, welchen die Industrie aus dieser überraschenden Eigenschaft zu ziehen gewusst hat.

4. Wir haben bisher das Gewicht des Wassers unberücksichtigt gelassen; nun wollen wir dasselbe seiner Natur gemäss als eine schwere Flüssigkeit betrachten und seinen statischen Zustand untersuchen, wenn sich dasselbe in einem beliebig geformten Gefäss, Fig. 2, im Gleichgewichte, d. i. in Ruhe, befindet.

Fig. 2.

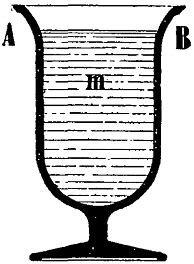
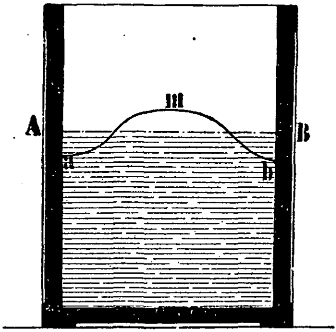


Fig. 3.



Vor Allem zeigt sich, dass in diesem Falle die Oberfläche AB des Wassers eine vollkommen e b e n e, h o r i z o n t a l e Fläche bildet, und zwar aus folgenden Gründen auch bilden muss. Denn wäre dies nicht der Fall und hätte die Wasserfläche in irgend einem Momente etwa die Gestalt amb, Fig. 3, so würde irgend ein höher über AB liegendes Wassertheilchen m, mag man sich dasselbe als ein Kügelchen oder in einer sonstigen Form vorstellen, wegen der erwähnten leichten Beweglichkeit, wie über eine schiefe Ebene oder einen

Wellenberg m a oder m b herabgleiten; dasselbe gilt für alle übrigen Theilchen und insolange, bis nicht alle ihre möglich tiefste Lage einnehmen, was nur dann der Fall ist, wenn sie sich sämmtlich in der horizontalen Ebene A B gelagert haben.

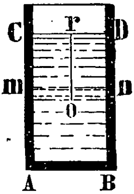
5. Eine weitere Folge von dieser absolut leichten Verschiebbarkeit der Wassertheilchen ist die, dass jedes solches Theilchen, welches man sich im Innern einer Wassermasse wo immer denken mag, so bald in dieser Masse Ruhe herrscht, von allen Seiten her gleich stark gedrückt werden muss, weil sonst dasselbe sogleich gegen jene Seite hin, von welcher der Druck geringer wäre, ausweichen und die Ruhe oder das Gleichgewicht gestört würde.

So wie durch die Einwirkung der Schwerkraft die freie Oberfläche des Wassers oder der sogenannte Wasserspiegel in einem Gefässe, oder selbst in einem nicht allzugrossen Teiche, eine horizontale Ebene bildet, so erscheint derselbe bei grossen Seen und besonders beim Weltmeer als eine Kugelfläche, deren Mittelpunkt mit jenem der Erde zusammenfällt, weil nur in diesem Falle sämmtliche Wassertheilchen der Oberfläche so tief als möglich gegen diesen Mittelpunkt, nämlich von diesem gleich weit entfernt liegen und daher auch gleich stark gedrückt werden.

Druck des Wassers auf den horizontalen Boden eines Gefässes.

6. Wird ein cylindrisches oder prismatisches Gefäss, Fig. 4 a, mit senkrechten Seitenwänden und einer horizontalen Bodenfläche AB bis zur Höhe AC mit Wasser gefüllt, so wird Niemand zweifeln, dass der Boden AB des Gefässes das Gewicht des Wasservolumens ABC zu tragen hat, also einen Druck erleidet, welcher diesem Gewichte gleichkommt. Gleichwohl pflegt man diesen Satz auch in folgender Weise noch näher zu beweisen. Denkt man sich die ganze Wassermasse in beliebig viele und beliebig gestaltete, sehr feine verticale Wasserfäden oder Prismen zertheilt, so drückt auf jeden Punkt der Bodenfläche AB ein solch kleines Wasserprisma mit seinem Gewicht; also, da diese Prismen oder Fäden (da die Wasseroberfläche [4] ebenfalls horizontal ist) die gleiche Länge oder Höhe haben, daher auch gleich schwer sind [1]) mit gleicher Stärke. Da nun die Summe aller

Fig. 4a.



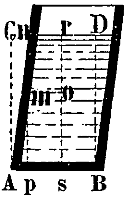
[1]) Ich habe schon bei einer anderen Gelegenheit darauf aufmerksam gemacht, dass man im gewöhnlichen Sprachgebrauch das Gewicht eines Körpers mit seiner Schwere verwechselt, obschon in wissenschaftlicher Beziehung genommen der Sinn ein ganz verschiedener ist.

So ist z. B. bei gleichem Volumen das Blei nicht schwerer als Holz, sondern nur gewichtiger. Alle unsere Körper werden von der Erde mit gleicher Kraft angezogen, sind daher gleich schwer, sie besitzen jedoch bei derselben Grösse ein sehr verschiedenes Gewicht.

Querschnitte dieser kleinen Prismen die Bodenfläche AB, und ihr Gewicht das Gesammtgewicht des im Gefäss enthaltenen Wassers ausmacht, so ist der genannte Satz bewiesen.

7. Für ein schiefes Prisma, wie jenes in Fig 4b. kann es im ersten Augenblicke scheinen, als ob nicht alle Punkte der Bodenfläche, wie z. B. jener p, über welchem der kürzere, also leichtere Wasserfaden mp steht, eben so stark, wie z. B. jener s, gedrückt werden. Allein da nach der in (3) ausgesprochenen Eigenschaft, der Punkt m, sowie alle in der durch diesen Punkt gehenden horizontalen Schichte liegenden Wassertheilchen einen nach allen Richtungen, also auch nach abwärts gehenden Druck erleiden, welcher dem Gewichte des darüber stehenden Wasserfadens or entspricht, so setzt sich der Bodendruck auf den Punkt p zusammen aus dem Gewichte des Fadens mp und dem Gewichte des darüber stehenden Fadens ro = mn, d. i. aus den Gewichten von pm + mn = np = rs, woraus sofort folgt, dass der Punkt p denselben Druck, wie jener s, erleidet, über welchen der ganze Wasserfaden rs, dessen Höhe jener des Wasserprisma gleich ist, steht. Da nun genau dasselbe von allen Punkten der horizontalen Bodenfläche gilt, so begreift man, dass diese Bodenfläche genau den Druck auszuhalten hat, als ob das senkrechte Wasserprisma ABCD von der Höhe rs darüber stünde.

Fig. 4b.



8. Betrachtet man ferner das Gefäss, Fig. 4c, welches sich nach oben verengt, so mag es allerdings

sonderbar scheinen, wenn man behauptet, dass die horizontale Bodenfläche AB gerade wie in den beiden vorigen Fällen so gedrückt werde, als ob das senkrechte Wasserprisma ABCD darüber stünde. Allein, wenn man erwägt, dass z. B. der Punkt p der Bodenfläche nicht blos das Gewicht des allerdings kürzeren Wasserfadens mp, sondern, wie schon vorhin bemerkt, auch jenes des darüber stehenden Fadens or = mn, also zusammen der beiden Fäden pm + or = pm + mn = An = sr zu tragen hat, so wird dieser Punkt genau wieder ebenso stark wie jener s, über welchem der ganze, der Höhe des Wasserprisma gleich kommende Faden rs steht, gedrückt und sohin auch die ausgesprochene Behauptung bestätigt. Dasselbe gilt auch von dem Gefässe in Fig. 4 e, in welchem nicht blos der Theil gh der Bodenfläche AB einen dem Gewichte des Prisma abgh entsprechenden, sondern auch die Theile Ag und Bh desselben, über welche nur die kurzen Prismen von der Höhe Af = Bd stehen, den nämlichen Druck, mithin der ganze Boden AB denselben Druck erleidet, als ob auf demselben das ganze Wasserprisma ABCD stünde.

Fig. 4 c.

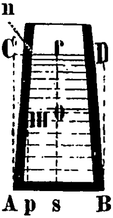


Fig. 4 d.

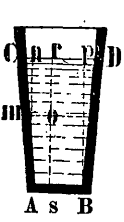
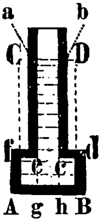


Fig. 4 e.

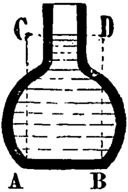


9. Geht man endlich zu dem nach oben sich erweiternden Gefäss, Fig. 4 d, über, so sieht man

sogleich, dass die Bodenfläche blos von dem Gewichte des darüber stehenden senkrechten Wasserprisma ABnp gedrückt werden kann, indem das Gewicht des durch die Gefässerweiterung entstehenden keilförmigen Wassers von den schiefen Wänden selbst aufgenommen wird und auf die Bodenfläche überhaupt kein stärkerer Druck entstehen kann, als er dem Gewichte der längsten Fäden sr entspricht.

10. Haben daher alle bisher betrachteten Gefässe, wozu wir noch jenes, Fig. 4f, von ganz beliebiger Form nehmen wollen, gleiche Bodenflächen, und werden diese sämmtlich bis auf eine gleiche Höhe AC mit Wasser gefüllt, so ist der Wasserdruck auf jede dieser horizontalen Bodenflächen gleich dem Gewichte eines Wasserprisma, welches die Bodenfläche AB zur Basis und den senkrechten Abstand AC des Wasserspiegels zur Höhe hat; es mag dabei der Inhalt dieser Gefässe oder das wirkliche Gewicht des Wassers noch so verschieden sein. [1])

Fig. 4f.



[1]) Bezeichnet man die Grösse der horizontalen Bodenfläche des Gefässes mit F, die Höhe des Wasserspiegels über der Bodenfläche mit H und das Gewicht der cubischen Einheit Wasser mit K, so lässt sich der Bodendruck D allgemein durch die Formel ausdrücken:

$$D = K F H.$$

Fürs Metermaass muss man H in Metern, F in Quadratmetern ausdrücken, und da 1 Cubikmeter Wasser 1000 Kilogr. wiegt, K = 1000 setzen.

Anmerkung. Es ist gewiss eine auffallende Erscheinung, dass der Druck auf den Boden eines bis auf eine gewisse Höhe mit Wasser gefüllten Gefässes, sehr vielmal grösser als das Gewicht des in demselben enthaltenen Wassers sein kann, und dass, wenn man das so gefüllte Gefäss auf eine Waage stellt, sich dabei wie natürlich nur das Gewicht des Wassers und keineswegs der etwa vorhandene grössere Bodendruck zu erkennen gibt. Aus diesem Grunde hat man diese Erscheinung das hydrostatische Paradoxon und zwar das Pascal'sche genannt, weil dieser berühmte französische Physiker und Mathematiker der erste war, welcher diesen hydrostatischen Satz auch in experimenteller Weise durch einen eigens hiezu construirten Apparat, nachgewiesen hat.

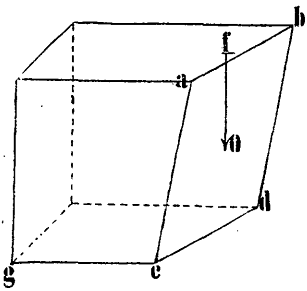
Seitendruck.

11. Zur Bestimmung des Druckes, welchen das Wasser auf die Seitenwände eines Gefässes ausübt, will ich hier nur den einfachsten Fall, nämlich jenen untersuchen, in welchem das Gefäss wie jenes in Fig. 4a mit senkrechten Seitenwänden versehen und wieder wie vorhin (6) bis zur Höhe CD mit Wasser gefüllt ist.

Denkt man sich die verticale Seitenwand BC in lauter sehr schmale horizontale Streifen, wie mn zerlegt, so drückt auf jeden Punkt dieses letzteren Streifens vermöge des in (5) angeführten hydrostatischen Satzes eine Kraft, welche dem Gewichte eines Wasserfadens gleich ist, welcher die Höhe oder Länge mC und die Fläche des gedrückten Punktes zur Basis oder zum Querschnitt hat; es wachsen daher die Pressungen auf diese

Streifenelemente genau so, wie sie tiefer unter der Wasserlinie CD liegen. Denkt man sich den Streifen mn, dessen Breite man sich noch viel schmäler als die Dicke einer sehr feinen Linie vorstellen muss, gerade in der halben Höhe von AC gezogen, so werden die unter mn liegenden Streifen genau um so viel stärker, als jene über mn liegenden Streifen weniger gedrückt, so, dass der Druck auf diesen mittleren Streifen, das sogenannte arithmetische Mittel aus allen auf diesen Parallelstreifen stattfindenden hydrostatischen Drucke bildet. Der gesammte auf die Seitenwand BC stattfindende Druck ist daher genau so, als ob diese Wand eine horizontale Bodenfläche eines Gefässes wäre, über welcher ein Wasserprisma von der halben Höhe AC stände. Da nun auch der Schwerpunkt der Rechteckfläche BC in dieser halben Höhe von AC liegt, so kann man auch sagen, dass der Druck des Wassers im Gefässe auf die verticale Seitenwand BC genau so gross, wie das Gewicht eines senkrechten Wasserprisma ist, welches die gedrückte Fläche BC zur Basis und den Abstand or des Schwerpunktes o dieser Fläche vom Wasserspiegel CD zur Höhe hat.

Fig. 5.

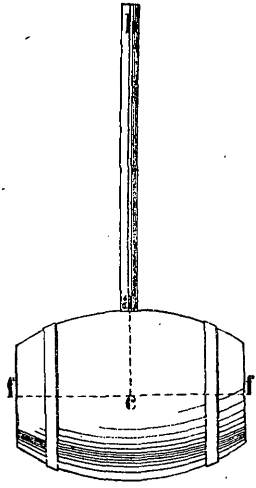


12. In gleicher Weise bestimmt sich auch der Druck auf eine schiefe Wand abcd (welche auch eine Boden-

wand sein könnte) eines bis ab mit Wasser gefüllten prismatischen Gefässes bg (Fig. 5). Der normal gegen die Wand gerichtete Druck ist nämlich auch hier dem Gewichte eines senkrechten Wasserprisma gleich, welches die gedrückte Fläche abcd zur Grundfläche und den senkrechten Abstand of des Schwerpunktes o dieser Fläche (die übrigens auch eine polygonale, eine Kreis- oder sonstige ebene Fläche sein kann) vom Wasserspiegel zur Höhe hat.

Anmerkung. Ebenso wie beim Bodendruck (10) kann auch nach Umständen durch eine verhältnissmässig geringe Wassermenge ein ausserordentlich grosser Seitendruck entstehen, wie dies z. B. bei dem bekannten Experimente, bei welchem man zuletzt mit einem Glas Wasser die Böden eines Fasses aussprengen kann, der Fall ist.

Fig. 6.



Wird nämlich in das Spundloch eines mit Wasser gefüllten Fasses (Fig. 6) eine enge, dafür aber lange oder hohe Röhre ab aufgesetzt und das Rohr selbst (von nur sehr geringem Inhalt) mit Wasser gefüllt, so kann es geschehen, dass dadurch der eine oder der andere Fassboden hinausgedrückt wird. Denn jeder dieser beiden Böden erleidet einen hydrostatischen Druck, welcher so gross ist, wie das Gewicht eines Wassercylinders, dessen Grundfläche die gedrückte kreisrunde Bodenfläche des Fasses und Höhe den Abstand b c des Wasserspiegels in der Röhre über der durch die Mittelpunkte der Böden gehenden horizontalen Axe ff bildet.

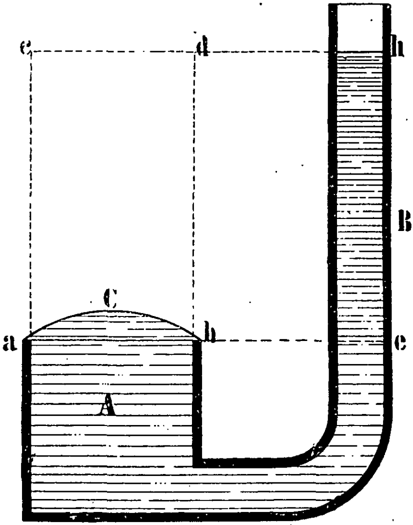
Da es sich auch hier beim Seitendruck keineswegs um die Wassermenge, sondern nur um den Abstand des Wasserspiegels über dem Schwerpunkt handelt, so kann der Druck eines ganz schmalen Wasserstreifens gegen einen Damm gerade eben so gross als jener des Weltmeeres sein, wenn dasselbe ruhig ist, d. h. der gegen eine verhältnissmässig geringe Wassermasse errichtete Damm, kann im angenommenen Falle eben so gut auch das Meer mit seiner immensen Wassermasse zurückhalten.

Auf dem hier entwickelten Principe des hydrostatischen Druckes, nach welchem derselbe keineswegs von dem Gewichte des Wassers, sondern lediglich von der Grösse der gedrückten Boden- oder Seitenfläche und der Höhe des Wasserspiegels über dem Boden, oder dem Schwerpunkt der Seitenfläche abhängt, beruhen unter Anderem auch sowohl die Wirksamkeit des von dem Mathematiker Wolf um die Mitte des achtzehnten Jahrhunderts angegebenen sogenannten anatomischen Hebers, als auch der vom Grafen Real erfundenen hydrostatischen Presse.

Der erstere Apparat (welcher eigentlich kein Heber ist) besteht, wie Fig. 7 zeigt, aus einem niederen, oben offenen grösseren Blechcylinder A, welcher mit einer engen, aber hohen Röhre B communicirt.

Wird der oben offene Theil des Cylinders mit einer thierischen Haut oder Membrane ab zugebunden, der

Fig. 7.



ganze Apparat bis zur Höhe h mit Wasser gefüllt, so wird diese Membrane oder Blase mit einer Gewalt oder Kraft, welche wie in (8) gezeigt, dem Gewichte des Wassercylinders a b c d gleich kommt, in die Höhe gepresst und dabei durch die zwischen dem Wasserspiegel ab und der Blase eingeschlossene comprimirte Luft derart ausgedehnt, dass ein Anatom (daher die Benennung) über das Geäder und die Structur der Haut seine bequemen Studien machen kann.

Was ferner die hydrostatische Presse betrifft welche Real zunächst zur Bereitung eines starken Kaffeextractes erfunden hat, späterhin jedoch überhaupt zum Extrahiren von Pflanzenstoffen verwendet wurde und noch benutzt wird, so besteht diese ebenfalls aus einem grösseren Metallcylinder mit einem siebförmigen Boden, auf welchen die zu extrahirenden Stoffe gelegt und dann mit einer ebenfalls siebartig durchlöcherten Platte bedeckt werden. Wird nun dieser Cylinder mit einem massiven, in der Mitte zur Aufnahme einer verticalen Röhre durchbohrten Deckel fest verschlossen und sowohl der Cylinder als auch das aufgesetzte Rohr mit Wasser gefüllt, so wird der eingelegte Pflanzenstoff durch den hydrostatischen Druck, der wieder um so grösser wird, je höher oder länger das aufgesetzte Rohr ist, vollständig extrahirt, und der so erhaltene Extract aus dem Cylinder mittelst eines Hahnes abgelassen. [1])

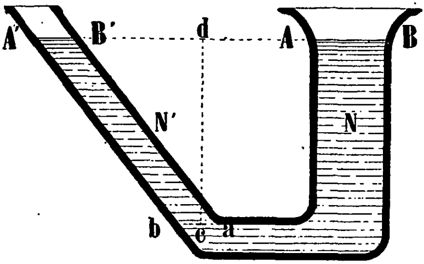
Communicirende Röhren oder Gefässe.

13. Die unmittelbar vorhergehenden Sätze führen zu einer sehr interessanten und wichtigen Eigenschaft der communicirenden Röhren oder Gefässe. Stehen

[1]) Eine noch bei weitem wirksamere und nützlichere Presse, nämlich die Bramah'sche, werde ich im zweiten Theil meines Vortrages besprechen.

nämlich zwei oder mehrere Gefässe, wie N N' in Fig. 8, derart mit einander in Verbindung, dass wenn in das

Fig. 8.

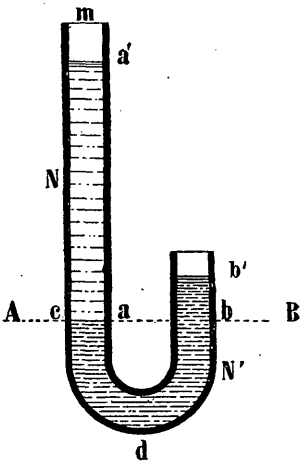


eine Gefäss N irgend eine Flüssigkeit, wie Wasser, Oel, Quecksilber u. dgl. gegossen wird, diese auch in das zweite Gefäss N' übertritt, so müssen, sobald dabei die Ruhe oder das Gleichgewicht eingetreten ist, beide Flüssigkeits-, also wenn die Flüssigkeit Wasser ist, beide Wasserspiegel AB und A'B' gleich hoch stehen und in ein und derselben horizontalen Ebene A'B oder, wie man sagt, im selben Niveau liegen.

Denn betrachtet man in diesem Gefässe irgend eine, z. B. die Wasserschichte ab, so muss dieselbe, da sie sich in Ruhe befindet, sowohl von oben nach unten, als auch von unten nach oben (5) den gleichen Druck erfahren. Nun ist aber, da man die Schichte ab als Bodenfläche des Gefässes oder Rohres N' ansehen kann, nach (7) der Druck auf dieselbe von oben nach unten so gross wie das Gewicht eines senkrechten Wasserprisma von der

Basis a b und Höhe c d, d. i. des Abstandes des Wasserspiegels A'B' über dieser Schichte; dagegen ist der Druck auf a b von Seite des Gefässes N, d. i. von unten nach oben, gleichsam als Seitenwand (12) gleich dem Gewichte eines Wasserprisma von der Grundfläche a b und den Abstand dieser Schichte a b vom Wasserspiegel A B als Höhe. Da nun beide Drücke auf a b gleich sein müssen, so müssen auch diese beiden senkrechten Wasserprismen gleiche Gewichte, und da beide dieselbe Grundfläche a b haben, so müssen sie endlich auch gleiche Höhen, nämlich dieselbe Höhe c d haben, wodurch der ausgesprochene Satz sofort erwiesen ist.

Fig. 9.



Man kann sich selbstverständlich zu dieser Beweisführung die Wasserschichte a b wo immer denken und sich diese, wie hier, als horizontal, oder auch als schiefe Ebene vorstellen.

14. Giesst man in die communicirenden Röhren N N', Fig. 9, zwei verschiedene sich nicht vermischende Flüssigkeiten von ungleichen specifischen Gewichten, z. B. in das eine Rohr N Wasser und in das andere N' Quecksilber, und steht, sobald sich das Gleichgewicht

hergestellt hat, das Wasser bis a' und das Quecksilber bis b', so muss, wenn AB eine durch die Berührungs- oder Separationsflächen beider Flüssigkeiten gelegte horizontale Ebene bezeichnet, die Wassersäule a a' gegen die Quecksilbersäule b b' genau um so viel höher stehen, um so viel das Wasser bei gleichem Volumen leichter als Quecksilber ist, weil nur dadurch der Druck auf die Flüssigkeitsschichte a c gleich gross sein kann.

Da sich nun das specifische Gewicht des Wassers zu jenem des Quecksilbers, wie 1 zu 13·6 verhält, das Quecksilber nämlich 13·6 Mal schwerer als das Wasser ist, so muss, wenn die Höhe b b' der Quecksilbersäule gleich 1 ist, jene a a' der Wassersäule gleich 13·6, also nahe 14 Mal grösser sein. Hieraus folgt allgemein, dass sich die Höhen der Flüssigkeitssäulen verkehrt wie ihre specifischen Gewichte verhalten.

Anmerkung. Wird der längere Schenkel N der Röhre oben bei m zugeschmolzen, das Rohr luftleer gemacht und dann mit Quecksilber gefüllt, so wird dasselbe, vorausgesetzt, dass es länger als 28 Pariser Zoll ist, beim Umkehren bis auf einen Punkt a' herabsinken, welcher, wenn das Quecksilber im zweiten, gegen die atmosphärische Luft oben offenen Schenkel N' bis b steht, im Mittel um 28 Pariser Zoll oder 76 Centimeter über dem Niveau c a b liegt; dabei bildet der obere luftleere Raum a'm in der Röhre N die sogenannte Toricelli'sche Leere.

Würde man die hinlänglich lange Röhre N statt mit Quecksilber, mit Wasser füllen, so würde dasselbe 13·6 mal 28 Pariser Zoll, d. i. nahe $32\frac{1}{2}$ Fuss oder, nach Metermaass, $10\frac{1}{3}$ Meter hoch steigen. In beiden Fällen stehen diese Flüssigkeitssäulen mit dem mittleren Luftdrucke im Gleichgewichte und geben diesen zu $12^3/_4$ Pfund auf den Wiener Quadratzoll oder zu 1·0334 Kilogr. auf Einen Quadratcentimeter an. (Für gewöhnlich nimmt man den atmosphärischen Druck *mit* 1 *Kilogr. auf* 1 *Quadratcentimeter in* Rechnung.)

Hydrostatische Springbrunnen.

15. Man legt solche bekanntlich in Ziergärten oder auf öffentlichen Plätzen an, und erhält sie dadurch, dass man das Wasser in höher gelegene Bassins sammelt, oder auch eigens in diese hinaufpumpt, dasselbe durch eine Rohrleitung herab bis zu dem Orte des Brunnens leitet und durch ein kurzes Ansatzrohr vertical in die Höhe springen lässt.

Wäre keine Reibung in der Zuleitung und kein Luftwiderstand vorhanden, so würde der springende Wasserstrahl nach dem Gesetze der communicirenden Röhren auf dieselbe Höhe steigen, auf welcher sich der Wasserspiegel oben im Reservoir befindet.

Obschon der Kaiserbrunnen, welcher uns das köstliche Hochquellenwasser zuführt und nach demselben Gesetze der communicirenden Röhren bis in die höchsten Stockwerke unserer Häuser liefert, nahezu um 900 Fuss über dem Niveau des Schwarzenbergplatzes, auf welchem sich einer der grössten und zierlichsten Springbrunnen befindet, liegt, so absorbirt die bei 13 Meilen oder 52.000 Klafter lange Leitung doch eine solche Kraft, dass der über 8 Zoll dicke Hauptstrahl nur eine Höhe von 100 Fuss erreicht, eine Höhe, welche übrigens jene des berühmten Versailler Springbrunnen noch um 15 Fuss übersteigt. [1])

Artesische Brunnen.

16. Auf demselben Principe der communicirenden Röhren oder Canäle beruhen auch die Springquellen, oder wie sie nach der französischen Provinz Artois, wo diese Brunnen häufiger und zuerst gebohrt wurden, auch benannt werden, die Artesischen Brunnen.

Diese bestehen aus einem gewöhnlich sehr tief in die Erde gebohrten Loche, welches bis zu einer oder auch mehreren unterirdischen Quellen reicht, woraus das Wasser durch eingesetzte Röhren aufsteigt und entweder nur bis (oder doch beinahe bis) zur Mündung des Bohrloches, manchmal auch noch viel höher aufsteigt oder emporspringt.

Gewöhnlich sind die Quellen, welche solche Brunnen speisen, in Lagern oder Schichten von grobem Kies

---

[1]) Ausser diesem 100 Fuss aufsteigenden Hauptstrahl, springen noch vier dünnere Seitenstrahlen von halbem Durchmesser, bei 50 bis 60 Fuss hoch aufwärts, während auch ausserdem in der Peripherie herum 300 nur zwei Linien dicke Wasserstrahlen im Bogen nach einwärts springen und dem Auge ein äusserst angenehmes, erquickendes Schauspiel gewähren.

Bei vollem Gange consumirt dieser denkwürdige Springbrunnen binnen acht Stunden nicht weniger als 76,752 Eimer Wasser, was aber auch den unterirdischen Canälen zu Gute kommt.

zwischen Thon oder Letten (Tegel) oder auch Felsen eingebettet. Bohrt man daher die obere Lehm- oder überhaupt jene Schichte, welche das Wasser hält oder nicht durchlässt, bis auf diese Schotterlage durch und setzt in das gewöhnlich von 10 Zoll bis 3 Fuss weite Bohrloch eine Röhre ein, so hat man einen solchen Artesischen Brunnen.

Während bei den gewöhnlichen Schöpfbrunnen das sogenannte Seihwasser aus einer nur geringen Tiefe geschöpft wird, dringen die Artesischen Brunnen oft bis in eine Tiefe von mehr als 1000 Fuss [1]) und diese werden von dem Wasser gespeist, welches durch lockere Gebirgsschichten aus entfernt und höher liegenden Gegenden zudringt. Je grösser und bewaldeter dies sogenannte Infiltrirungsgebiet ist, welches die atmosphärischen Niederschläge (Thau, Regen, Schnee) aufnimmt, desto reichhaltiger und beständiger sind auch die unterirdischen Quellen oder Wasserläufe in den lockeren (gewöhnlich aus Sand und Schotter bestehenden) Schichten; auch kann das Wasser unter gewissen geologischen Verhältnissen und je nach der Lagerung und Beschaffenheit der verschiedenen Bodenschichten, im Brunnen um so höher steigen, je höher die Infiltrirungsregion selbst liegt.

Um hievon eine bessere Uebersicht zu erlangen, so stelle die Skizze Fig. 10 einen senkrechten Durchschnitt

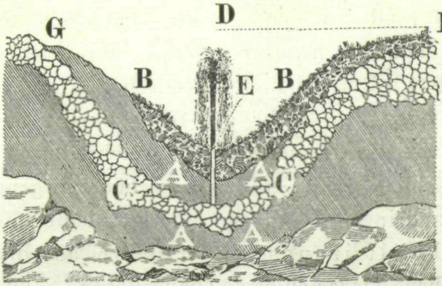
---

[1]) So soll der Bohrbrunnen bei Mandorf an der Mosel eine Tiefe von 2200 Fuss haben.

durch einen Theil der oberen Erdschichte vor, welche zu der sogenannten tertiären Gebirgsformation gehören mag.

Es bezeichne dabei unter den verschiedenen, mehr oder weniger geneigten oder gekrümmten Bodenschichten,

Fig. 10.



AA eine lockere Schichte von Sand oder zerklüftetem schieferigem Sandstein, mergeligem oder kreidigem Kalkstein u. dgl., in welcher sich das Wasser leicht bewegen kann und bei F zu Tage tritt, an welcher Stelle sich zugleich auch das Infiltrirungsgebiet bildet.

Wir wollen ferner annehmen, dass sich diese wasserhältige Schichte AA zwischen zwei, für das Wasser undurchlässige Schichten BB und CC von Thon oder Letten (Tegel), Kalkstein u. dgl. eingebettet befindet. Bohrt man nun bei E einen senkrechten Brunnen bis auf die Schichte AA, so muss das Wasser vermöge seines hydrostatischen Druckes bis auf einen Punkt D steigen, welcher in der durch F gehenden horizontalen Linie liegt; vorausgesetzt jedoch, dass das Wasser dieser genannten Schichte nicht über ein, über G hinausliegendes Terrain leicht abfliessen kann, sondern durch Verengung der Canäle oder durch sonstige Hindernisse, der Abfluss erschwert oder ganz gehemmt ist. Denn könnte z. B. das Wasser dieser Schichte über die Anhöhe bei G in ein sich niedersenkendes Thal eben so schnell abfliessen, als es von F aus zufliesst, so könnte das Wasser im Brunnen nur bis zu jener Höhe steigen, welche im Niveau des Punktes G liegt. In der Regel steigt das Wasser im Brunnen bis zu einer Höhe, welche höher als G und tiefer als F liegt. [1])

---

[1]) Das aus solchen Brunnen gewonnene Wasser wird je nach seiner Güte und Beschaffenheit theils als Trink-, theils als Nutzwasser zur Bewässerung, zum Bleichen, zum Färben u. s. w., ja selbst zum Betriebe von Wasserrädern benützt. Ich fand unter Anderem in England eine renommirte Papierfabrik, deren Existenz allein von dem fast chemisch reinen Wasser abhing, welches der zu diesem Behufe dort gebohrte Brunnen lieferte.

Der bekannte, in der Gegend der Schlachthäuser zu Grenelle bei Paris im Jahre 1833 begonnene und im Jahre 1840 vollendete Artesische Brunnen, hat eine Tiefe von 546 Meter und das Wasser steigt in einem Rohre noch bis auf eine Höhe von 37 Meter über den Boden. Dieser Brunnen liefert im Durchschnitt binnen 24 Stunden nahezu 1 Million Liter (circa 17.000 Eimer) Wasser von 24^0 C. Wärme.

Der in der Vorstadt Passy auf Kosten der Commune von Paris (die über eine Million Francs betrugen) im Jahre 1854 (bis 1861) nach der neuen Methode des sächsischen

Eintauchen fester Körper in das Wasser.

17. Zu den vielen Entdeckungen des berühmten, um das Jahr 287 vor Christi Geburt zu Syrakus geborenen Mathematikers Archimedes gehört auch die wichtige Entdeckung, dass, wenn ein Körper in eine

---

Obersteigers Kind gebohrte oder vielmehr geschlagene Brunnen hat eine Tiefe von 1870 Fuss, liefert in 24 Stunden über 300.000 Eimer, fast chemisch reines Wasser von derselben Temperatur, wie jenes zu Grenelle.

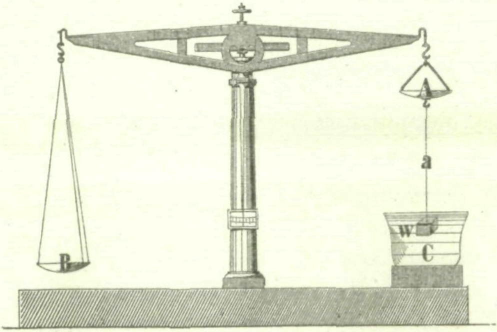
Von den 48 Artesischen Brunnen, welche in den Dreissiger Jahren in und bei Wien bestanden und eine Tiefe von 60 bis 240 Fuss erreichten, war jener zu Salmannsdorf, welcher bei einer Tiefe von 108 Fuss, in 24 Stunden 1728 Eimer Wasser lieferte, wohl der reichhaltigste. Die Temperatur dieser Wässer, variirte von 9 bis 11⁰ R.

Schliesslich will ich noch als Curiosum des Artesischen Brunnens zu St. Denis bei Paris erwähnen, welcher in drei ineinander geschobenen Röhren besteht, wovon die engste am tiefsten und zwar bis zu jener Schichte hinabreicht, welche das beste Trinkwasser enthält. Die zweite weitere, welche die erstere concentrisch und dabei einen gewissen Zwischenraum lassend, umgibt, reicht nur bis zu einer etwas höher liegenden Schichte, deren minder gutes Wasser bloss als Nutzwasser verwendet wird. Das dritte weiteste und nur ganz kurze Rohr endlich, welches mit den vorigen wieder einen ringförmigen Zwischenraum lässt und nur bis zu einer das Wasser absorbirenden Bodenschichte führt, dient dazu, um das aus den beiden untern Schichten aufsteigende Wasser, welches nicht consumirt wird, abzuleiten. (Man bedient sich überhaupt der sogenannten absorbirenden Brunnen zur Ableitung der Feuchtigkeit oder Austrocknung des Bodens.)

Flüssigkeit, wie z. B. Waser, eingetaucht wird, derselbe für das Gefühl von seinem Gewichte gerade so viel verliert, als das Volumen der betreffenden Flüssigkeit wiegt, welches durch das Eintauchen verdrängt wird, d. h. mit anderen Worten, es wird ein Theil seines Gewichtes von der Flüssigkeit getragen, und zwar genau so viel, als das Gewicht der aus der Stelle getriebenen Flüssigkeit beträgt.

Um diesen Satz zu erläutern, will ich annehmen, dass man einen Würfel w aus Blei von der Grösse eines Cubikzoll und dem Gewichte von 11 Loth mittelst eines sehr dünnen Fadens, dessen Gewicht man vernachlässigen

Fig. 11.



kann, an die kürzere Schale A einer sogenannten **hydrostatischen Wage**, Fig. 11, befestige und denselben in ein darunter stehendes, mit Wasser gefülltes Gefäss C vollständig eintauche.

Da nun der Würfel dadurch 1 Cubikzoll Wasser aus seiner Stelle verdrängt, so muss das den Bleiwürfel umgebende Wasser genau wieder so einwirken, wie es früher bei dem Wasserwürfel, an dessen Stelle der Bleiwürfel jetzt getreten ist, der Fall war. Wiegt der Wasserwürfel von 1 Cubikzoll z. B. 1 Loth, so wurde derselbe durch den sogenannten Auftrieb des diesen Wasserwürfel (den man sich auch als plötzlich erstarrt denken könnte) umgebende Wasser getragen; dieser Auftrieb muss also genau 1 Loth (als Gewicht des verdrängten Wassers) und zwar auch jetzt noch gerade so wie früher betragen; dadurch wirkt aber das Gewicht des Bleiwürfels (auf die Wage) nicht mehr mit 11, sondern nur noch mit 10 Loth, welches Gewicht man auch in der That durch das Abwiegen des Bleiwürfels im Wasser erhält. [1])

Es versteht sich von selbst, dass der eingetauchte feste Körper keineswegs eine regelmässige Gestalt, oder wie es hier nur zur leichteren Erklärung angenommen wurde, ein bekanntes Volumen zu haben braucht. Würde z. B. ein ganz irreguläres Stück Eisen, im Wasser gewogen, 10 Loth von seinem Gewichte verlieren, so wäre dies ein Beweis, dass dasselbe ein Volumen von 10 Cubikzoll besitzt (weil 10 Cubikzoll Wasser 10 Loth wiegen). [2])

---

[1]) Genauer genommen, wiegt ein Cubikzoll Wasser bei der mittleren Temperatur nicht 1, sondern 1·04 Loth, worauf es jedoch hier bei dem gewählten Beispiele nicht ankommt.

[2]) Dies gibt zugleich ein einfaches Mittel an die Hand, das Volumen eines ganz unregelmässigen Körpers, dessen

Wäre das Quecksilber gerade 14mal schwerer als Wasser, so würde z. B. ein Platinakörper im Quecksilber gewogen, 14mal mehr von seinem Gewichte als im Wasser verlieren. Auch muss das Gewicht eines Körpers im luftleeren Raume immer um etwas grösser als in der Luft gewogen sein, wenn auch die Luft nahezu 800mal leichter als Wasser ist.

18. Aus diesem Archimedischen Satze folgt nun auch, dass alle Körper, welche leichter als Wasser sind, wie z. B. Korkholz, auf demselben schwimmen und nur so weit einsinken, bis das Gewicht des verdrängten Wassers dem Gewichte des eingetauchten Körpers selbst gleich ist.

So könnte z. B. ein Stück Holz von 100 Cubikzoll, welches 50 Loth wiegt, nur bis zur Hälfte im Wasser einsinken, weil das Gewicht des dadurch verdrängten Wassers, d. i. von 50 Cubikzoll, gerade so viel wie das schwimmende Holz, nämlich 50 Loth wiegt, der Auftrieb des Wassers also mit dem Gewichte des Körpers im Gleichgewichte steht.

Ein Körper, welcher bei gleichem Volumen dasselbe Gewicht wie das Wasser besitzt, wird zwar im Wasser vollständig einsinken, jedoch an jeder Stelle desselben schwebend in Ruhe bleiben. [1])

Berechnung nach geometrischen Regeln sehr schwierig oder ganz unmöglich wäre, zu bestimmen.

[1]) Wird ein leichterer Körper als Wasser, z. B. ein Stück Pantoffel- oder Korkholz, am Boden eines mit Wasser gefüllten Gefässes losgelassen, so wird dasselbe nach auf-

Specifisches Gewicht der festen und flüssigen Körper.

19. Durch die Vergleichung der Gewichte verschiedener Körper, alle bei gleichem, sonst aber beliebigem Volumen gewogen, erhält man ihre sogenannten specifischen Gewichte. Da man irgend einen davon, der Vergleichung wegen, zu Grunde legen und dessen Gewicht zur Einheit nehmen muss, so wird hiezu das Wasser, welches chemisch rein überall dasselbe Gewicht (mit einer nicht zu berücksichtigenden Abweichung) besitzt, gewählt. Die Zahl, welche angibt, um wie vielmal irgend ein Körper schwerer oder leichter als das Wasser von demselben Volumen des Wassers ist, gibt das specifische Gewicht desselben. Wären die in dem in Nr. 17 angeführten Beispiel gewählten Zahlen,

---

wärts bis an die Oberfläche, mit einer Kraft getrieben, welche dem Unterschiede zwischen dem Gewichte des betreffenden eingetauchten Körpers und jenem des Wassers von gleichem Volumen gleich kommt.

Wiegt z. B. ein mit Wasser gefüllter Schöpfeimer 10 Pfund, dagegen das verdrängte Wasser, in welches derselbe in einen Brunnen ganz eingetaucht ist 8 Pfund, wodurch er also eben so viel an seinem Gewichte im Wasser verliert, so wird man den gefüllten Eimer, so lange er sich noch vollständig unter Wasser befindet, mit der geringen Kraft von 2 Pfund heben können; diese Kraft muss jedoch in dem Maasse grösser werden, in welchem der Eimer allmälig aus dem Wasser emporsteigt, bis diese zuletzt, um den gefüllten Eimer weiter durch die Luft zu heben, die Grösse von 10 Pfund erreichen muss.

nach welchen der Würfel aus Blei 11 und ein gleich grosser Würfel aus Wasser 1 Loth wiegt, also das Blei 11mal schwerer als Wasser ist, genau, so würde die Zahl 11 das specifische Gewicht des Bleies bezeichnen. Nach den neuesten Bestimmungen ist das specifische Gewicht des Bleies = 11·35.

Zugleich gibt das in 17 angegebene Verfahren einen Begriff, wie man mit Hilfe der hydrostatischen Wage die specifischen Gewichte fester Körper finden oder bestimmen kann.

Hat ein Körper von irgend einer regel- oder unregelmässigen Form und einer beliebigen Grösse, wie gewöhnlich in der Luft gewogen, das Gewicht G, und im Wasser gewogen jenes g, hat derselbe daher im Wasser das Gewicht G—g verloren, so ist diese Differenz G—g zugleich das Gewicht des Wassers, welches mit dem abgewogenen Körper das gleiche Volumen hat; bezeichnet man dieses Wassergewicht G—g mit W, so ist das specifische Gewicht s des genannten Körpers sofort $s = \frac{G}{W}$

So wiegt z. B. ein Cubikzoll Eisen 210·6, ein gleich grosses Stück Gold 520, und ein gleiches Volumen, d. i. ein Cubikzoll Wasser 27 Gramm, folglich ist das specifische Gewicht des Eisens nach dieser Formel $s = \frac{210 \cdot 6}{27} = 7 \cdot 8$, und jenes des Goldes $s = \frac{520}{27} = 19 \cdot 26$.

In gleicher Weise fand man das specifische Gewicht des Platina = 20·86, Silber = 10·47, Kupfer = 7·79 (alle diese Metalle im geschmolzenen Zustande verstanden), dagegen Kupfer gehämmert = 8·88, Eisen gegossen = 7·21, geschmiedet = 7·79, Zinn = 7·29, Bouteillenglas = 2·60, Marmor = 2·84, weisser Zucker = 1·606, Eichenholz = 1·17, Buchenholz frisch = 0·98, trocken = 0·59, Lindenholz von 0·82 bis 0·44, Korkholz = 0·24, oder nahe = $^1/_4$ u. s. w.

20. Auch zur Bestimmung der specifischen Gewichte der Flüssigkeiten wird der Archimedische Satz benützt, indem ein Körper, wie z. B. ein Glasrohr, von bestimmtem Gewichte, wenn es in verticaler Richtung in die zu untersuchende Flüssigkeit eingetaucht wird, in derselben um so tiefer einsinkt, je specifisch leichter die Flüssigkeit selbst ist. Sinkt z. B. ein solches, gewöhnlich gradirtes Glasrohr von vollkommen gleichem Durchmesser oder Dicke in einer Flüssigkeit genau noch Einmal so tief als im Wasser ein, so ist das specifische Gewicht dieser Flüssigkeit nur halb so gross, als jenes des Wassers, oder, da dieses = 1 ist, sofort = $^1/_2$ = 0·5.[1]) Um von den gefundenen Zahlen nur einige anzugeben, so ist das specifische Gewicht des Quecksilbers = 13·598 (oder 13·6), des Meerwassers = 1·026, der Kuhmilch = 1·03, des reinen Wassers von mittlerer Temperatur = 1, des Rheinweines = 0·999, des absoluten Alkohols

---

[1]) Auf diesem Principe beruht überhaupt die Einrichtung der sogenannten Aräometer oder Senkwagen.

= 0·793, des Olivenöls = 0·915, der atmosphärischen Luft = 0·001293 oder nahe = $^1/_{800}$ u. s. f.

Anmerkung. Ich habe bereits in einem meiner hier gehaltenen früheren Vorträge bemerkt, dass man die Dichte eines Körpers nach der Summe der materiellen Theilchen beurtheilt, welche in einem bestimmten Volumen desselben enthalten sind, diese aber nur, da jedes solches Theilchen, in was immer für einer Substanz (Holz, Metall u. s. w.) gleich schwer ist, aus dem Gewichte des Körpers selbst ermessen kann. Ist also z. B. ein Würfel aus Blei 11mal so schwer als ein gleich grosser Würfel aus Wasser, so ist dies ein Beweis, dass ersterer auch 11mal so viele gleich schwere materielle Theilchen als letzterer enthält; das Blei ist also 11mal dichter als das Wasser. Nimmt man daher die Dichte des Wassers zur Einheit, so wird jene des Bleies durch 11, d. h. durch dieselbe Zahl wie dessen specifisches Gewicht ausgedrückt. Hieraus folgt, dass die vorhin für die specifischen Gewichte der Körper angegebenen Zahlen zugleich auch die Dichtigkeiten dieser Körper bezeichnen, wenn man dabei die Dichte des Wassers gleich 1 setzt. Es ist also z. B. nach den obigen Zahlen gehämmertes Kupfer im Verhältniss von 7·79 : 8·88 dichter als geschmolzenes.

Es ist ferner zu bemerken, dass ein specifisch schwererer Körper als das Wasser ist, gleichwohl zum Schwimmen auf demselben gebracht werden kann, wenn man entweder, wie es bei unseren eisernen Schiffen der Fall ist, demselben eine solche hohle Form gibt, dass er bis zu einer gewissen Tiefe (bei einem Schiffe bis zur Wasserlinie) eingetaucht, schon so viel Wasser verdrängt, dass das Gewicht desselben dem Gewichte des beladenen Schiffes gleichkommt; oder dass man denselben mit einem specifisch leichteren Körper als das Wasser ist verbindet, wie dies z. B. der Fall ist, wenn sich des Schwimmens unkundige Personen mit aufgeblasenen

Schweinsblasen, oder Schiffbrüchige mit Schwimmgürteln versehen, welche ebenfalls mit Luft gefüllt sind.

Es ist bekannt, dass Zucker, dessen specifisches Gewicht mit 1·6 angenommen wird, also schwerer als das Wasser ist, in ein Glas Wasser geworfen, in demselben zu Boden sinkt, öfters aber, wenn sich Luftbläschen, die sich entweder aus dem Zucker selbst, in dessen Zwischenräumen oder Poren diese enthalten waren, oder auch aus dem Wasser entwickeln und an die kleinen Zuckerstückchen anhängen, mit diesen wieder in die Höhe steigen.[1])

21. Die bisher besprochenen Archimedischen Gesetze gelten übrigens nicht nur für Flüssigkeiten, sondern auch für Gase; es verliert nämlich jeder in eine Gas- oder Luftart eingetauchte Körper ebenfalls von seinem wahren, durch das Abwägen im leeren Raume

---

[1]) Es ist eine ebenso bekannte Thatsache, dass Menschen, deren specifisches Gewicht nahezu gleich jenem des Wassers ist (je nach der Constitution, bald um eine Kleinigkeit grösser, bald um eben so viel kleiner) beim Ertrinken in der Regel im Wasser untersinken, nach einiger Zeit jedoch, sobald sich durch den eintretenden Zerstörungsprocess Gase entwickeln, wieder an die Oberfläche kommen.

In die eigenthümlichen Erscheinungen, dass man z. B. feine Nähnadeln, deren specifisches Gewicht doch so bedeutend (7·8) ist, unter gewissen Vorsichten gleichwohl zum Schwimmen auf dem Wasser bringen kann, dass gewisse Insecten über das Wasser laufen, Wasservögel, ohne nass zu werden, momentan untertauchen können u. s. w., kann ich hier nicht näher eingehen; nur so viel will ich in letzterer Beziehung noch bemerken, dass weder das etwas fettige Gefieder dieser Vögel, noch die Füsse der erwähnten Insecten vom Wasser benetzt werden.

gefundenen Gewichte, so viel als das betreffende Gas unter dem gleichen Volumen des Körpers wiegt.

Hängt man an das eine Ende des Wagbalkens statt der Schale eine grössere hohle Glas- und an das andere Ende des Balkens eben so eine kleinere massive Metallkugel, welche in der Luft gewogen gleiches Gewicht haben, mithin an dem Wagbalken im Gleichgewichte stehen, bringt dann das Ganze unter eine Glasglocke und pumpt aus derselben die Luft aus, so wird sogleich das Gleichgewicht zwischen beiden Kugeln gestört, und zwar sinkt die grössere Kugel, weil ihr wahres Gewicht im leeren Raum grösser als das wahre Gewicht der kleineren Kugel sein muss, indem ja auch ihr Gewichtsverlust in der Luft ein grösserer und doch das Gleichgewicht vorhanden war.

Hat z. B. die grosse Kugel das zehnfache Volumen der kleineren und verliert diese letztere beim Abwägen oder Eintauchen in der Luft 1 Gramm, also die grössere (da sie 10mal mehr Luft verdrängt) 10 Gramm, so muss, wenn z. B. die kleinere Kugel im leeren Raume 101 Gramm wiegt, die grössere 110 Gramm wiegen, weil dann in der Luft gewogen, jede der beiden Kugeln das gleiche Gewicht von 100 Gramm besitzt, also auf der in der Luft befindlichen Wage im Gleichgewichte stehen.

Hieraus folgt nun auch, dass wir es im gewöhnlichen Leben niemals mit den wahren Gewichten der Körper, die wir nur durch das Abwägen im leeren Raume erhalten könnten, zu thun haben. Der dadurch entstehende Fehler ist jedoch nur bei wissenschaftlichen Untersuchungen, keineswegs im gemeinen Leben, zu berücksichtigen, weil der Gewichtsverlust in der Luft ein äusserst geringer ist, indem 1 Cubikmeter atmosphärische Luft im normalen Zustande (bei 0 Grad Temperatur und 760 Millimeter Barometerstand) nicht mehr als $1\frac{1}{3}$ Kilogr. (genau 1299 Gramm oder 1 Cubikfuss nahe $1\frac{1}{3}$ Loth) wiegt.

22. Auf diesem Gewichtsverluste aller in der Luft befindlichen Körper beruht auch das Aufsteigen unserer Luftballons oder Aërostaten, welche gewöhnlich mehr oder weniger in Kugelform aus Taffet oder gefirnisstem Papier angefertigt und mit einem Gas oder einer Luft gefüllt werden, welche leichter als die atmosphärische Luft ist, in welcher der Ballon aufsteigen soll.

Die Gebrüder Montgolfier waren die ersten, welche einen solchen grossen Ballon herstellten; dieser hatte unten eine grosse Oeffnung, unter welcher sich ein mit leichtem Brennstoff, wie Stroh, Wolle u. dgl. versehener Drahtkorb befand. Wurden nun diese letzteren Stoffe angezündet, so füllte sich der Ballon mit warmer oder heisser Luft, welche bekanntlich leichter als die äussere kalte Luft ist. Sobald aber dadurch das Gesammtgewicht des Ballons, d. i. die warme Luft, Hülle, sammt Allem, was er zu tragen hat, leichter als das Gewicht der verdrängten äusseren Luft wird, muss der Ballon in derselben mit einer Kraft aufsteigen, welche der Differenz zwischen diesen beiden Gewichten gleichkommt. Da die Luft in den höheren Schichten immer dünner und leichter wird, so wird auch beim Aufsteigen des Ballons diese Differenz immer kleiner und verschwindet zuletzt gänzlich. Der Ballon kann daher nur so lange steigen, bis er in eine Luftschichte gekommen ist, in welcher das Gewicht der verdrängtern leichtern Luft nur mehr eben so schwer als das des Ballons ist.

23. Der erste Ballon dieser Art, ein sogenannter Montgolfier stieg am 5. Juni 1783 zu Annonay in Frankreich bis auf die Höhe von 1000 Fuss auf.

Am 19. September desselben Jahres liess Montgolfier zu Versailles, in Gegenwart des Königs einen solchen Ballon, an welchem ein Käfig mit einem Schaf, einem Hahn und einer Ente angehängt war, abermals aufsteigen.

Dadurch kühn gemacht, unternahm einige Monate später, nämlich am 21. November desselben Jahres der Vorsteher des Museums, Pilatre de Rozier in Begleitung des Marquis von Arlandes die erste Luftfahrt in einem solchen Montgolfier von 6000 Cubikfuss Inhalt, bei einem Gesammtgewichte von 16 bis 17 Centner.

Der Physiker Charles zu Paris hatte zuerst die glückliche Idee, zur Füllung des Ballons statt der warmen Luft das Wasserstoffgas, dessen grosse Leichtigkeit schon von dem Chemiker Cavendish im Jahre 1776 entdeckt worden, zu benützen. Da dieses Gas nahezu 14mal leichter als die atmosphärische Luft ist (das specifische Gewicht desselben ist auf die Luft bezogen 0·0688), so wiegt ein Cubikmeter dieses Gases nicht mehr als 0·09 Kilogr. (weniger als $^1/_{10}$ Kilogr.), während das Gewicht von 1 Cubikmeter atmosphärischer Luft im Normalzustande nahezu 1·3 Kilogr. wiegt. Es repräsentirt daher in einem solchen Ballon 1 Cubikmeter Wasserstoffgas eine Steigkraft von 1·3 — 0·09 = 1·21 Kilogr.

Da der Ballon, welchen Charles bei den Mechanikern, Gebrüder Robert, nach diesem Principe anfertigen liess, einen Rauminhalt von 500 Cubikmeter hatte, so betrug die Steigkraft dieses Ballons 500 mal 1·21 oder 605 Kilogr.

In neuerer Zeit benützt man statt des reinen Wasserstoffgases, welches gewöhnlich durch Uebergiessen von Eisenfeilspänen mit verdünnter Vitriolsäure erzeugt wurde, sehr häufig das billigere Leuchtgas, ungeachtet dasselbe nahe 9mal schwerer, als Wasserstoffgas ist, und daher auch der Ballon grössere Dimensionen erhalten muss.

Da nämlich 1 Cubikmeter Leuchtgas ungefähr 0·82 Kilogr. wiegt, so bleibt bei dem vorhin angegebenen Gewichte der atmosphärischen Luft von 1·3 Kilogr. für 1 Cubikmeter Leuchtgas nur ein Ueberschuss an Steigkraft von 1·3 — 0·83 = 0·48, also von weniger als $^1/_2$ Kilogr. Würde daher der letztgenannte Ballon statt mit Wasserstoffgas mit Leuchtgas gefüllt, so wäre dessen Steigkraft statt 605 nur 500 × 0·48 = 240 Kilogr., also nahe $2\,^1/_2$mal kleiner.

Noch geringer ist die Steigkraft bei den Montgolfieren, bei welchen die Temperatur der heissen Luft doch kaum über 60 oder höchstens 70 Grad C. steigt und daher die Dichtigkeit der Luft im Ballon kaum 0·8 der Dichte der äusseren Luft bei 0 Grad herabsinkt, mithin die Steigkraft von 1 Cubikmeter derart erhitzte Luft nicht mehr als 0·26 Kilogr. beträgt.

Charles stieg mit seinem vorhin erwähnten, mit Wasserstoffgas gefüllten Ballon in Robert's Begleitung zum ersten Male am 1. December 1783 unter allgemeiner Bewegung und Bewunderung der Bevölkerung von Paris in den Tuilerien auf und erreichte in wenigen Minuten eine Höhe von 3000 Fuss; dabei legte der Ballon in horizontaler Richtung binnen zwei Stunden einen Weg von 5 Meilen zurück.

In der Schlacht bei Fleurus, am 26. Juni 1794, bedienten sich die Franzosen eines solchen Luftballons, um die Bewegungen der Oesterreicher zu beobachten. Welch gute Dienste der Luftballon den Franzosen auch in dem letzten deutsch-französischen Kriege während der Belagerung von Paris, trotzdem, dass seine Lenkbarkeit immer noch zu den frommen Wünschen gehört, leistete, ist uns Allen noch im frischen Andenken. [1])

---

[1]) Was die schon so lange vergeblich gesuchte Lenkbarkeit des Luftballons betrifft, so bin ich noch immer des festen Glaubens, dass auch dieses Problem seiner endlichen Lösung entgegen geht, und der Aërostat, wenn auch in anderer Form, mit Anwendung aller Mittel, welche Wissenschaft und Industrie bieten und bei ihren Fortschritten noch ferner bieten werden, in seinem Fluge, wenigstens in ruhiger Luft, dem Willen des Menschen in Zukunft ebenso gehorchen werde, wie dies bei unseren Schiffen der Fall ist.

Aber auch zu meteorologischen Beobachtungen und wissenschaftlichen Zwecken wurden und werden solche Luftfahrten benutzt und unternommen.

So unternahmen die Naturforscher Gay-Lussac und Biot im Jahre 1804 zu diesem Zwecke eine Luftfahrt, bei welcher sie bis 4000 Meter hoch aufstiegen.

Bei einer zweiten Fahrt, welche Gay-Lussac allein unternahm, stieg er sogar bis auf die Höhe von 7000 Meter oder 22.144 Wiener Fuss, die grösste Höhe, auf welche je ein Mensch gelangte. (Humboldt und Bonpland erreichten bei ihrem Aufstieg auf den Chimborasso im Jahre 1802, als höchsten je vorher von Menschen erstiegenen Punkt der Erde nur die Höhe von 6100 Meter oder 19.297 Fuss.)

In dieser enormen Höhe herrschte, obschon der Ballon bei einer Hitze von 30 Grad aufstieg, bereits eine empfindliche Kälte, indem das mitgenommene Thermometer —10 Grad C. zeigte. Die Luft war so trocken, dass die hygroskopischen Gegenstände rasch ihre Feuchtigkeit verloren, dabei erschien der Himmel ganz dunkelblau. Nach einer sechsstündigen Fahrt, nach welcher der Ballon bei Rouen langsam niederging, hatte Gay-Lussac einen Weg von 15 Meilen zurückgelegt.

Lassen Sie mich, sehr verehrte Anwesende, meinen heutigen Vortrag mit einer bekannten Erzählung über eine sehr interessante, hierher gehörige Begebenheit des oftgenannten Archimedes schliessen.

Der antike Schriftsteller über Mechanik und Baukunst Vitruvius berichtet nämlich, dass sich der König Hiero von Syrakus, mit welchem Archimed sogar verwandt gewesen sein soll, eine goldene Krone von 20 Pfund im Gewichte habe anfertigen lassen, wozu der König selbst das Gold geliefert habe. Nach ihrer Vollendung kam dem König der Verdacht, ob der Goldarbeiter nicht etwa einen Theil Gold zurückbehalten und dafür Silber beigemischt habe. Er verlangte daher von dem berühmten Gelehrten Archimedes, dass man ihm darüber, ohne dabei die zierlich gearbeitete Krone im Geringsten zu verletzen, Gewissheit verschaffen solle.

Nach vielem vergeblichen Nachdenken sei dem Archimedes, als er sich eben im Bade befand und wieder über dieses schwierige Problem nachdachte, die Lösung desselben plötzlich gelungen und wäre darüber so erfreut gewesen, dass er sofort das Bad verliess und ohne sich erst anzukleiden zum Könige mit dem Ausrufe durch die Gassen lief: Gefunden, gefunden! [1])

---

[1]) Archimedes soll nun aus dem Gewichtsverluste. welchen die Krone selbst, dann reines Gold, und endlich pures Silber, jedes vom gleichen Gewichte der Krone erlitten, in der That auch gefunden haben, dass die Krone aus einer Legirung von 18 Pfund Gold und 2 Pfund Silber bestand; ein Beweis, dass die Ehrlichkeit auch schon vor Christi Geburt, zu den seltenen Tugenden gehörte.

In meinem nächsten Vortrage werde ich auch, wenn Sie mir, hochverehrte Versammlung, dieselbe Geduld, wie beim heutigen, vielleicht, ungeachtet er vom Wasser handelt, etwas trockenen, ernsten Vortrag schenken, das Wasser noch in dynamischer Beziehung besprechen.