

Dritter Abschnitt.

Aërostatik.

Einleitung.

§. 433. So wie in der Hydrostatik das Wasser, so wird in der Aërostatik, welche (§. 5) von den Gesetzen des Gleichgewichtes der Luft- und Gasarten handelt, am einfachsten die atmosphärische Luft zum Grunde gelegt, so, daß die von derselben abgeleiteten statischen Gesetze sofort auch für alle übrigen Luft- und Gasarten gelten. In so ferne nun die Luft (worunter wir ohne ausdrückliche Bemerkung immer die atmosphärische verstehen wollen) schwer und flüssig ist, gelten auch die für das Gleichgewicht tropfbar flüssiger Körper entwickelten Gesetze; in so ferne diese aber auch noch im hohen Grade ausdehnbar und zusammendrückbar ist, müssen diese Eigenschaften dabei noch insbesondere berücksichtigt werden.

Ein Hauptunterschied zwischen den Luft- oder Gasarten überhaupt und den tropfbaren Flüssigkeiten besteht in dem beständigen Bestreben der erstern sich immer mehr auszudehnen, wodurch diese also, wenn sie in einem Gefäße eingeschlossen sind, einen fortwährenden Druck gegen die Wände desselben ausüben; dabei ist, von der ohnehin sehr geringen Schwere abstrahirt, dieser Druck auf alle gleich großen Theile des Gefäßes, diese mögen Seiten-, Boden- oder obere Wände seyn, vollkommen gleich groß.

In Folge dieses Druckes wird die in einem Gefäße, sobald in dasselbe irgendwo eine Öffnung gemacht wird, eingeschlossene Luft augenblicklich ausfließen, wenn sich das Gefäß in einem absolut leeren Raume befindet, oder umgekehrt, wenn das Gefäß luft- oder eigentlich absolut leer ist, die äußere das Gefäß umgebende atmosphärische Luft durch diese Öffnung in dasselbe einströmen und es erfüllen.

§. 434. **Gleichgewicht der Luft.** Die einzige Bedingung, welche für das Gleichgewicht der Luft bestehen muß, ist die, daß die Expansivkraft irgend einer Niveauschichte nach der ganzen Ausdehnung dieser Schichte dieselbe seyn muß.

Denkt man sich in einer Höhe, z. B. von 1000 Fufs, über dem Niveau des Meeres mit diesem parallel, also concentrisch um die Erde eine sehr dünne sphärische Luftschichte, so fordert das Gleichgewicht, daß in allen Puncten dieser Schichte ein und derselbe Druck herrsche. In einer z. B. 100 Fufs tiefer liegenden, mit dieser concentrischen Luftschichte muß zwar wieder durchaus einerlei Druck Statt finden, allein er wird um das Gewicht der betreffenden 100 Fufs hohen Luftsäule stärker als der in der obern Schichte seyn. Hieraus folgt nun, daß in gleichen Höhen (von der Meeresfläche aus gezählt) auch der Luftdruck gleich seyn, dieser aber um so mehr abnehmen müsse, je höher man in der Atmosphäre aufwärts steigt.

§. 435. **Druck der Atmosphäre.** Füllt man eine an dem einen Ende zugeschmolzene Glasröhre von etwa 30 Zoll in der Länge voll mit Quecksilber, kehrt diese, indem man dabei das offene Ende zuhält, um und taucht dasselbe, während die Röhre in verticaler Stellung erhalten wird, in ein ebenfalls mit Quecksilber gefülltes Gefäß *A*, Fig. 269, so sinkt, sobald die nun eingetauchte Öffnung der Röhre aufgemacht wird, die Quecksilbersäule um einige Zolle, nämlich von *c* bis *d* dergestalt herab, daß der oberste Punct *d* dieser Säule um beiläufig 28 Zoll über dem Niveau *ab* des Quecksilbers im Gefäße *A* stehen bleibt oder die auf die Oberfläche *ab* drückende Luftsäule mit dieser nahe 28 Zoll hohen Quecksilbersäule im Gleichgewicht steht.

Dieser Apparat ist, sobald er noch mit einer Scale versehen wird, nichts anders als ein gewöhnliches Quecksilber-Barometer und die Quecksilbersäule *id* gleichsam eine Wage, welche den Druck unserer Atmosphäre mißt. Da dieser Versuch zuerst von dem italienischen Mathematiker *Torricelli* gemacht wurde, so wird auch das Barometer manchmal noch die *Torricelli'sche* Röhre und der leere Raum zwischen *cd* die *Torricelli'sche* Leere genannt.

§. 436. Da der Luftdruck nicht an allen Orten, und an demselben Orte nicht zu allen Zeiten gleich ist, dagegen im Niveau des Meeres bei einer Temperatur von 0 Graden (dem Frost- oder Thaupunct) sehr nahe 28·8 Wiener Zoll beträgt, so wollen wir diese Höhe für unsere Rechnungen als mittlern Werth beibehalten, wornach also irgend eine Fläche durch die uns umgebende Atmosphäre einen eben so starken Druck erleidet, als ob auf ihr eine 28·8 Zoll hohe Quecksilbersäule stünde. Eine

ebene Fläche von 1 Quadratzoll wird demnach einen Druck erleiden, welcher dem Gewichte von 28·8 Kubikzoll Quecksilber gleich kommt. Nimmt man nun das Gewicht von 1 Kubikzoll Quecksilber im Mittel mit 445 Pfund in Rechnung, so beträgt der mittlere Druck der Atmosphäre auf jeden Quadratzoll 12·8 oder auch nahe $12\frac{3}{4}$ Pfund, welche Zahl wir hier durchaus annehmen können.

Da das Quecksilber (§. 39) nahe 13·59 Mal schwerer als Wasser ist, so muß nach dem Satze der communicirenden Röhren, wenn man anstatt des vorhin angenommenen Quecksilber - ein Wasserbarometer zur Bestimmung des Luftdruckes anwenden wollte, die Wassersäule 13·59 Mal höher als die Quecksilbersäule, also $28\cdot8 \times 13\cdot59 = 390$ Zoll oder $32\frac{1}{2}$ Fufs hoch seyn, und dieses ist auch die größte Höhe, auf welche das Wasser durch das Ansaugen (§. 417) steigen kann.

Da ferner bei der Temperatur von Null und dem Barometerstande von 28·8 Zoll die atmosphärische Luft 10462 Mal leichter als Quecksilber (also $\frac{10462}{13\cdot59} = 770$ Mal leichter als Wasser) ist, so müßte die Höhe unserer Atmosphäre, wenn diese durchaus dieselbe Dichte hätte, $28\cdot8 \times 10462$ Zoll oder nahe eine deutsche Meile betragen; auch müßte, wenn man von der Meeresfläche aus um gleiche Höhen aufwärts steigt, die Quecksilbersäule im Barometer immer um gleich viel herabsinken. Allein dieses letztere kann schon aus dem Grunde nicht Statt finden, weil die untern Luftschichten von den obern zusammengedrückt werden, und daher dichter und schwerer als die obern Schichten seyn müssen. Der Erfahrung zu Folge muß man sich von der Meeresfläche an um nahe 75, 150·224, 225·673 . . . oder, die einzelnen Intervalle gemessen, um 75, 75·224, 75·449, 75·676 . . . Fufs erheben, wenn das Quecksilber nach und nach um 1, 2, 3, 4 . . . Linien fallen soll, so, daß man sich also in geometrischer Progression (es ist nämlich der Quotient der Reihe nahe 1·003) erheben muß, um einen in arithmetischer Progression abnehmenden Barometerstand zu erhalten. Da man übrigens nur die Luftschichten von unendlich kleiner Höhe oder Dicke, jede für sich als von gleicher Dichte und diese nach aufwärts in geometrischer Progression abnehmend annehmen kann, so erhält man genau gerechnet für die Höhe h , in welcher der Barometerstand = b ist, die Grundformel:

$$h = \frac{B}{D} (l \cdot B - l \cdot b) \dots (1,$$

wenn nämlich D die irgend einem Barometerstande B entsprechende Dichte der Atmosphäre und l den natürlichen Logarithmus bezeichnet.

Soll jedoch diese Formel zu wirklichen Höhenmessungen mit dem Barometer benützt werden, so müssen an ihr noch einige Correctionen vorgenommen werden, wovon jene wegen der Verschiedenheit der Temperatur an den beiden Beobachtungspunkten (deren Höhenunterschied gesucht wird) der bedeutendste ist. Ist nämlich b der Barometerstand, t die Temperatur der Luft, so wie T jene des Quecksilbers im Barometer nach *Réaumur* an der obern Station, und bezeichnen b' , t' und T' dasselbe an der untern Station, d. i. an der Meeresfläche, so kann man für die gewöhnlichsten und allermeisten Fälle genau genug:

$$h = 9697 \left[1 + \frac{1}{4000} (t + t') \right] \text{Log} \left[\frac{b'}{b \left[1 + \frac{1}{4400} (t' - T) \right]} \right] \dots (2)$$

setzen, wobei *Log* die gemeinen oder Tafellogarithmen bezeichnen und h in Wiener Klafter gefunden wird.

Deluc nimmt, wenn keine sehr große Genauigkeit gefordert wird, bei Voraussetzung einer mittlern Temperatur von nahe 17° R.:

$$h = 10000 \text{Log} \frac{b'}{b} \text{ Toisen.}$$

§. 437. **Mariotte'sches Gesetz.** Alle Luft- und Gasarten lassen sich genau im Verhältniß der drückenden Kräfte zusammenpressen, so, daß sich bei Voraussetzung von einerlei Temperatur die Dichten gerade, dagegen die Räume oder Volumina der Gasarten umgekehrt wie diese drückenden Kräfte verhalten. Sind nämlich p und p' die Kräfte, welche eine und dieselbe Luftmenge zusammendrücken, d und d' die dabei (und derselben Temperatur) Statt findenden Dichten und v , v' die Volumina, welche die Luft bei diesen Pressungen einnimmt; so besteht das zuerst von *Mariotte* bestimmt ausgesprochene (und gleichzeitig auch von dem englischen Physiker *Boyle* entdeckte) Gesetz darin, daß wenn sich die Temperatur nicht ändert, $d : d' = p : p'$ oder $v : v' = p' : p$ Statt findet, d. h. die Dichte, folglich auch die Expansivkraft der Luft- oder Gasarten ist der zusammendrückenden Kraft direct, das Volumen aber dieser Kraft verkehrt proportional.

Dieses schöne und höchst wichtige Gesetz wurde in der neuern Zeit durch directe Versuche bis zu einem Drucke von 27 Atmosphären (d. i. bis zu einem Drucke von $12\frac{3}{4} \times 27 = 344$ Pfund auf den Quadratzoll) durch *Arago* und *Dulong* bestätigt.

§. 438. **Ausdehnung der Luft durch Wärme.** Durch die Wärme werden nicht bloß die Luft- und Gasarten, sondern

bekanntlich auch die tropfbar flüssigen und festen Körper, wenn gleich in einem geringeren Grade als die erstern ausgedehnt. Die Luft so wie alle Gase dehnen sich, den hierüber angestellten Beobachtungen zufolge, bei jeder Zunahme um einen Grad der hunderttheiligen Thermometerscala, um den 267sten Theil oder um $\cdot 00375$ (nach Andern um $\cdot 00364$) jenes Volumens aus, welches sie bei 0 Grad besitzen, so, daß wenn man das Volumen irgend einer Luftmenge bei Null Grad gemessen = 1 setzt, sofort das Volumen derselben Luft bei t Grad = $1 + \cdot 00375 t$ ist. Bei der Frostkälte (oder bestimmter dem Aufthaupten des Eises) und der Siedhitze des Wassers (beim mittlern Barometerstande) verhalten sich demnach die Volumina ein und derselben Luft- oder Gasmenge wie 1:1.375 oder wie 8:11. Diese Eigenschaft pflegt man auch das *Gay-Lussac'sche Gesetz* zu nennen.

Unter den tropfbar flüssigen Körpern dehnt sich nur das Quecksilber ziemlich regelmäsig, und zwar von 0 bis 100° für jeden Thermometergrad (dieser 100theiligen Scala) um $\frac{1}{5550}$ des Volumens aus. Beim Wasser findet ausnahmsweise die Eigenthümlichkeit Statt, daß es sich durch die Wärme von 0 bis 4° nicht ausdehnt, sondern zusammenzieht und die Ausdehnung (dabei unregelmäsig) erst von diesem Punkte an, wo es also die größte Dichte hat, anfängt.

Die erwähnte gleichförmige Ausdehnung des Quecksilbers macht dasselbe zum Gebrauche für Thermometer vorzüglich geschickt. Da bei dem *Réaumur'schen*, *Celsius'schen* oder 100theiligen und dem *Fahrenheit'schen* Quecksilberthermometer der Thaupten (auch Gefrierpunct genannt) respective mit 0, 0 und 32, dagegen der Siedpunct des Wassers mit 80, 100 und 212 bezeichnet ist; so ergeben sich, wenn die Temperatur eines Körpers nach diesen 3 Thermometern oder Scalen angegeben werden soll, und diese beziehungsweise durch R , C und F ausgedrückt oder bezeichnet wird, zur Reduction von einer Scale auf die andere folgende Proportionen:

$$R : C = 4 : 5, \quad R : (F - 32) = 4 : 9 \quad \text{und} \quad C : (F - 32) = 5 : 9.$$

Was endlich die festen Körper betrifft, so kann man annehmen, daß zwischen 0 und 100° C. die Längenausdehnungen den Temperaturzunahmen genau proportional sind. Zufolge genauer Versuche dehnen sich, um nur einige Beispiele anzuführen, die nachbenannten Körper vom Frost- bis zum Siedpuncte des Wassers um die nebenstehenden Größen ihrer bei 0 Grad gemessenen Länge aus, und zwar Glas um $\cdot 000861$, Glasröhren um $\cdot 000776$ bis $\cdot 000913$, Platin um $\cdot 000857$, Gold um $\cdot 001552$, Silber um $\cdot 00191$, Schmiedeseisen um $\cdot 00122$, Stahl (ungehärtet) um $\cdot 001079$, Blei um $\cdot 002848$, Messing um $\cdot 001878$, Zink um $\cdot 002942$.

Um daher die 1° C. entsprechende Ausdehnung zu erhalten, darf man diese Zahlen nur durch 100 dividiren; auch darf man ohne einen Fehler zu befürchten, anstatt die der Temperatur Null entsprechende, jene Länge des betreffenden Körpers zum Grunde legen, die bei irgend einer andern Tem-

peratur gemessen wurde. Hat z. B. ein Maßstab bei t° Temperatur die richtige Länge, und wird damit bei einer Temperatur von T Graden eine Linie gemessen und dafür die Länge $= l$ gefunden, so ist, wenn a die jedem Grade Temperaturunterschiede entsprechende lineare Ausdehnung des Maßstabes bezeichnet, die wahre oder richtige Länge dieser Linie:

$$x = l + la(T-t);$$

denn ist die absolute Länge des Maßstabes bei $t^{\circ} = 1$, so ist sie bei T° offenbar $1 + a(T-t)$, folglich ist:

$$x : l = 1 + a(T-t) : 1,$$

woraus für x der vorige Werth folgt.

Auf der ungleichen Ausdehnung der Metalle, wie z. B. des Eisens und Zinkes, beruht die Compensation der Rostpendel, bei welchen solche in dieser Beziehung heterogene Metalle mit einander in Verbindung gebracht werden.

Ist die Längen- oder lineare Ausdehnung a eines festen Körpers bekannt, so erhält man, da a so klein ist, daß man die höheren Potenzen davon aus der Rechnung ohne Fehler weglassen kann, für einen Körper, dessen Länge bei 0 Grad $= l$, irgend eine Fläche davon $= f$ und dessen kubischer Inhalt $= k$ ist, bei der Temperatur von 100° sofort:

$$L = l(1 + a), \quad F = f(1 + a)^2 = f(1 + 2a) \quad (\text{wegen } F : f = L^2 : l^2) \\ \text{und:} \quad K = k(1 + a)^3 = k(1 + 3a).$$

§. 439. Dichte der Luft- und Gasarten.

Durch Anwendung der beiden obigen (§§. 437, 438) Gesetze läßt sich nun auch die Beziehung zwischen den Dichten ein und derselben Luftmasse bei verschiedenen Druckkräften und Temperaturen leicht bestimmen. Nimmt nämlich irgend eine Luftmenge bei der Temperatur Null unter den Druckkräften p und p' beziehungsweise die Volumina u und u' , dagegen bei der Temperatur t und dem Drucke p das Volumen v und die Dichte d , so wie bei der Temperatur t' und dem Drucke p' das Volumen v' und die Dichte d' an; so ist nach dem vorigen Paragraphen, wenn man Kürze halber die obige Ausdehnungszahl $\cdot 00375 = n$ setzt: $v = u(1 + nt)$

und $v' = u'(1 + nt')$ oder $\frac{v}{v'} = \frac{u}{u'} \left(\frac{1 + nt}{1 + nt'} \right)$, und da nach dem

Mariotte'schen Gesetze $\frac{u}{u'} = \frac{p'}{p}$ ist, auch:

$$\frac{v}{v'} = \frac{p'}{p} \left(\frac{1 + nt}{1 + nt'} \right) \dots (1)$$

oder, da nach demselben Gesetze auch $\frac{v}{v'} = \frac{d'}{d}$ ist, sofort:

$$\frac{d'}{d} = \frac{p'}{p} \left(\frac{1 + nt}{1 + nt'} \right) \dots (2)$$

Ändert sich bloß die Temperatur ohne die Dichte oder das Volumen, so ist: $\frac{p}{p'} = \frac{1 + nt}{1 + nt'}$.

Bleibt dagegen bei verschiedener Temperatur der Druck derselbe,

$$\text{so ist: } \frac{a'}{d} = \frac{v}{v'} = \frac{1 + n t}{1 + n t'}$$

Wiegt also 1 Kubikfuß trockener atmosphärischer Luft bei dem Normal-Barometerstande von 28·8 Zoll und der Temperatur Null ·073 Pfund, so wiegt 1 Kubikfuß solcher Luft bei b Zoll Barometerstand und der Temperatur von t Grad C. nach der vorigen Formel 2), weil bei gleichem Volumen das Gewicht der Dichte proportional, also $d = \cdot 073$, $v = 1$, $v = 28\cdot 8$, $t = 0$, $v' = 1$, $p' = b$ und $t' = t$ ist, sofort:

$$\cdot 073 \frac{b}{28\cdot 8} \cdot \frac{1}{1 + n t} = \cdot 00219 \frac{b}{1 + n t}$$

Setzt man, um den Antheil der Wasserdämpfe, welche sich immer mehr oder weniger in der Atmosphäre vorfinden und specifisch leichter als die Luft sind, in Rechnung zu bringen, anstatt der vorigen Zahl von ·00375 sofort $n = \cdot 004$ (im Falle jedoch die Luft erhitzt wird, behält man die obige von *Gay-Lussac* angegebene Zahl, welche nach den neuesten Versuchen nicht ·00375, sondern ·003646 seyn soll, bei); so ist das Gewicht von 1 Kubikfuß atmosphärischer Luft im gewöhnlichen Zustande bei dem Barometerstande b und der Temperatur t : $q = \cdot 002535 \frac{b}{1 + \cdot 004 t}$, oder wenn b anstatt in Zollen in W. Fuß ausgedrückt oder substituirt wird, auch:

$$a) \quad q = \cdot 03042 \frac{b}{1 + \cdot 004 t} \text{ W. Pfund.}$$

Für die mittlern Werthe von $t = 14$ und $b = 2\cdot 4$ wird $q = \cdot 069$.

Da das Gewicht von 1 Kubikfuß destillirten Wassers $Q = 56\cdot 4$ Pfund beträgt, so hat man:

$$m) \quad \frac{Q}{q} = 1854 \frac{1 + \cdot 004 t}{b},$$

wobei b in Fuß auszu drücken ist.

So wäre z. B. für $t = 10$ und $b = 28\cdot 8$ Zoll = $2\cdot 4$ Fuß sofort $\frac{Q}{q} = 803$, oder das Wasser ist unter diesen Bedingungen 800 Mal schwerer als die Luft.

Für gewöhnlich wird der mittlere Zustand der Atmosphäre bei 75 Meter Barometerhöhe und 18° C. Temperatur angenommen, wofür die mit Wasserdämpfen geschwängerte Luft nahe 850 Mal leichter als das Wasser ist.

Da ferner das Gewicht eines Kubikfuß Quecksilber $Q' = 56\cdot 4 \times 13\cdot 597 = 766\cdot 87$ Pfund wiegt, so ist das Verhältniß zwischen dem Gewichte eines gleichen Volumens Quecksilber und Luft:

$$\frac{Q'}{q} = 25209 \frac{1 + \cdot 004 t}{b} \dots (r,$$

wobei b wieder in Fuß auszu drücken ist.

Bezeichnet endlich u das Verhältniß der Dichte irgend einer andern Luft- oder Gasart zu der atmosphärischen Luft, so ist das Gewicht von 1 Kubikfuß dieses Gases:

$$q' = \cdot 002535 u \frac{b}{1 + \cdot 004 t},$$

wo b in Zollen, oder:

$$q' = \cdot 03042 u \frac{b}{1 + \cdot 004 t},$$

wo b in Fussen auszudrücken ist.

Ist q die Masse, also nach unserer Bezeichnungsart auch das Gewicht von 1 Kubikfuß Luft unter dem Drucke von 2·4 Fufs Quecksilbersäule und der Temperatur t , so wie p der Druck der Luft, welchen sie dabei auf eine Fläche von 1 Quadratfuß ausübt; so ist, wenn man den für einerlei

Temperatur constanten Quotienten $\frac{p}{q} = k$ setzt, sofort:

$$k = \frac{1840 \cdot 49}{\cdot 073008} (1 + \cdot 00375 t) = 25209 \cdot 4 (1 + \cdot 00375 t).$$

Für ein Gas hingegen, dessen specifisches Gewicht oder Dichte gegen jene der Luft = u ist, hat man eben so $k' = \frac{p}{q u}$, daher $k : k' = 1 : \frac{1}{u} = u : 1$, so, dafs also für einerlei Druck der Coefficient k mit den Dichten im umgekehrten Verhältnifs steht.

Diesen Coefficienten k , mit welchem man (wegen $p = k q$) die in 1 Kubikfuß enthaltene Gasmasse multipliciren mufs, um den Druck desselben auf eine Fläche von 1 Quadratfuß zu erhalten, pflegt man als Mafs der elastischen Kraft dieses Gases zu nehmen.

§. 440. **Manometer.** So wie das Barometer zur Bestimmung des atmosphärischen Druckes dient, so wendet man das Manometer zur Bestimmung des Druckes an, welchen irgend eine, in einem Behälter oder Gefäße eingeschlossene Luft- oder Gasart ausübt. Dieses Instrument besteht entweder, wie in Fig. 270, in einer oben offenen zweischenklichen Barometerröhre, wovon der kürzere Schenkel mit dem das Gas enthaltenden Recipienten A in Verbindung steht und zum Theil mit Wasser oder gewöhnlicher mit Quecksilber gefüllt ist; oder auch, wie in Fig. 271, in einer oben geschlossenen und nur trockene atmosphärische Luft enthaltende Röhre, welche mit ihrem untern offenen Ende in ein bis zu einer gewissen Höhe mit Quecksilber gefülltes und vollkommen dicht verschlossenes Gefäß B beinahe bis auf den Boden hinabreicht, während in dem obern Raume dieses Gefäßes eine zweite Röhre g einmündet, welche mit dem Recipienten communicirt, in welchem sich die in Beziehung auf ihren Druck oder ihre Spannkraft zu messende Luft- oder Gasart befindet.

§. 441. Ist nun bei dem erstern oder oben offenen Manometer (Fig. 270) $bc = h$ die Höhe der Flüssigkeitssäule, welche zugleich

mit dem Drucke der Atmosphäre p und dem zu messenden Drucke P der Gasart im Gleichgewichte steht; so ist, wenn h in Wiener Zollen, p und P als Druck auf 1 Quadratzoll in W. Pfunden ausgedrückt wird: wenn Wasser die Sperr- oder manometrische Flüssigkeit ist:

$$P - p = \frac{56.5}{1728} h = .0327 h \dots (1,$$

wenn Quecksilber die Sperrflüssigkeit ist:

$$P - p = 13.597 \times .0327 h = .445 h \dots (2.$$

Oder wenn man für gewöhnliche Fälle den Barometerstand nicht beobachten, sondern gleich mit 28.8 Zoll in Rechnung bringen will, wodurch $p = 12\frac{3}{4}$ Pfund gesetzt werden kann:

für ein Wasser-Manometer: $P = 12.75 + .0327 h$ Pfunde,

für ein Quecksilber- „ $P = 12.75 + .445 h$ Pfunde.

§. 442. Für das zweite oder oben geschlossene Manometer (Fig. 271), welches in der Regel für höhere Pressungen der Gasarten angewendet wird, sey h die Höhe der Quecksilbersäule (vom Quecksilberspiegel im Gefäße an gemessen), h' die Höhe der eingeschlossenen Luftsäule, p der Druck dieser Luftsäule auf 1 Quadratzoll im gewöhnlichen Zustande, nämlich bevor noch das Quecksilber in der Röhre aufgestiegen, d. i. so lange noch $h = 0$ (also für den mittlern Barometerstand $p = 12\frac{3}{4}$ Pfund) ist; so hat man für den Druck p' der in der Röhre von dem Raume $h + h'$ auf jenen h' zusammengedrückten Luft, nach dem *Mariotte'schen* Gesetze $p' = p \frac{h+h'}{h'}$, oder, wenn man auf den etwa vorhandenen Temperaturunterschied der Luft (beim Quecksilber kann man diesen der geringeren Ausdehnung wegen vernachlässigen) Rücksicht nehmen will, welcher zwischen der Temperatur t zur Zeit der Gradirung des Instrumentes und jener T zur Zeit der Beobachtung Statt findet, so darf man nur (wenn wieder die 100theilige Scala vorausgesetzt wird) in der obigen Gleichung 1), §. 439, $t' = T$ und $\frac{v}{v'} = \frac{h+h'}{h'}$ setzen, um für diesen Druck den Werth: $p' = p \frac{h+h'}{h'} \left(\frac{1+nT}{1+nt} \right)$ zu erhalten.

Da ferner auch noch die Quecksilbersäule von der Höhe h einen Druck $p'' = .445 h$ ausübt, so ist der gesammte Druck P , welcher mit jenem der Luft- oder Gasart, deren Expansivkraft zu messen ist, sofort $P = p' + p''$ oder:

$$P = .445 h + p \frac{h+h'}{h'} \left(\frac{1+.00375 T}{1+.00375 t} \right) \dots (3.$$

Ist bei der Gradirung des Instrumentes der Barometerstand nicht eigens beobachtet worden, so kann man wieder $p = 12\frac{3}{4}$ Pfund setzen.

Wendet man bei dem Manometer in Fig. 270 statt eines Glasrohres ein mit Quecksilber gesperrtes eisernes Rohr an, so läßt man ein leichtes Holzstäbchen, welches über die Röhre bd hinausragt, auf der Quecksilberfläche c schwimmen, so, daß dieses das Fallen und Steigen des Quecksilbers nunmehr außerhalb des Rohres, wozu eine eigene Scala (die auch auf dem Stäbchen selbst seyn kann) dient, angezeigt wird. Sind beide Schenkel der Röhre genau gleich weit, so wird das Steigen des Punctes b , also auch des Stäbchens um die Höhe h , einen Niveauunterschied $= 2h$ anzeigen, worauf man bei der Theilung der Scala gleich Rücksicht nehmen kann.

Für höhere Pressungen, für welche diese oben offene Manometerröhre schon eine bedeutende Länge erhalten muß, benützt man auch die in Fig. 272 angedeutete Einrichtung, bei welcher ein auf der Quecksilberfläche b aufliegender Schwimmer an einem Faden befestigt ist, welcher über eine Rolle c geht und am andern Ende einen Zeiger i trägt, der längs der gehörig getheilten Scala S auf und ab steigt, und so das Sinken und Steigen des Quecksilbers genau anzeigt.

Eine zweite Einrichtung eines solchen Manometers ist in Fig. 273 dargestellt, bei welcher A die Verbindung zwischen dem Manometer und dem Gasrecipienten herstellt, B, B' eine umgekehrte Heberöhre, C ein Sammelgefäß für das etwa ausgeworfene Quecksilber und a ein Röhrchen bezeichnet, durch welches die mit dem Schwimmer einer- und dem Zeiger andererseits verbundene Schnur geht.

§. 443. **Theilung der Scala.** Die Theilung der Scala betreffend, so bezeichnet in Fig. 272 jeder Zoll, um welchen die Oberfläche b der Quecksilbersäule über den Quecksilberspiegel im Gefäße B steigt, einen Druck von $\cdot 445$ Pfund auf den Quadratzoll oder $\frac{1}{28\cdot 8}$ Atmosphäre über den Luftdruck.

Bei dem Manometer in Fig. 273 mit der zweiseitenkelichen Röhre, bezeichnet (vorausgesetzt, daß die Röhre gut calibrirt, d. h. durchaus gleich weit sey) jeder Zoll, um welchen die Quecksilbersäule in dem Schenkel B steigt, den doppelten Druck, d. i. $2 \times \cdot 445 = \cdot 89$ Pfund per Quadratzoll über den Luftdruck oder $\frac{1}{14\cdot 4}$ Atmosphäre. Soll daher diese Scale gleich den Druck anzeigen, welchen das Gas ausübt, so wird man bei einer bestimmten Füllung der Röhre mit Quecksilber und entsprechender Adjustirung des Schwimmers jenen Theilstrich, auf welchen der Zeiger i steht, wenn man das Rohr A in die freie Luft ausmünden läßt, mit 1, jenen um 14·4 Zoll tiefer liegenden mit 2 Atmosphären

u. s. w. bezeichnen und dann auch leicht die 14·4 Zoll haltenden Intervalle für die Bruchtheile der Atmosphäre unterabtheilen können.

Bei dem oben geschlossenen Manometer (Fig. 271) endlich hat man aus der Gleichung 3), wenn man $T = t$ setzt, $P = \cdot 445 h + p \frac{h + h'}{h'}$ oder wenn man den gesuchten Druck P des Gases nicht in Pfunden auf den Quadratzoll, sondern durch die Höhe H der diesem Drucke entsprechenden Quecksilbersäule, folglich auch der Druck $p = 12\cdot 75$ Pfund durch die Höhe b der Barometersäule (im Mittel = 28·8 Zoll) ausdrückt, und daher auch h statt $\cdot 445 h$ nimmt, ferner die ursprüngliche Länge der Luftsäule $h + h'$ (bei dem mittlern Luftdruck) = t setzt, auch $H = h + \frac{t}{h'} b$, oder wegen $h = t - h'$ auch $H = t - h' + \frac{b t}{h'}$, und daraus folgt, wenn man die Theilung nach Atmosphären vornehmen will und sonach $H = n b$ setzt, d. i. den Druck oder die Spannkraft des Gases allgemein zu n Atmosphären annimmt:

$$h' = \frac{t - n b + \sqrt{[(t - n b)^2 + 4 b t]}}{2} \dots (4).$$

Setzt man in dieser Formel $n = 1, 2, 3 \dots$, so erhält man der Reihe nach jene von c aus herabzutragende Punkte m der Scala, bis zu welchen sich die Quecksilbersäule erheben wird, wenn das Gas eine absolute Spannung von 1, 2, 3 . . . Atmosphären besitzt. (Für $n = 1$ wird, wie es seyn soll, $h' = t$.) Vereinfacht wird diese Formel (4) noch dadurch, dafs man $t = b$ nimmt, wodurch:

$$h' = \left[\frac{1 - n + \sqrt{[(1 - n)^2 + 4]}}{2} \right] b,$$

also für $n = 1, 2, 3 \dots$ der Reihe nach $h' = b, \cdot 618 b, \cdot 414 b, \cdot 303 b$ u. s. w. wird.

Hat das Manometer die Heberform, wie in Fig. 270 (ist jedoch ebenfalls oben geschlossen), so erhält man, wenn bei dem Drucke von 1 Atmosphäre das Quecksilber in beiden Schenkeln gleich hoch, nämlich bis $a c$ steht, und die Länge der Luftsäule $c d$ dafür wieder = t ist, bei der nämlichen Bezeichnung:

$$h' = \frac{2t - n b + \sqrt{[(2t - n b)^2 + 8 b t]}}{4}$$

oder, wenn man $t = b$ macht:

$$h' = \left[\frac{2 - n + \sqrt{[(n - 2)^2 + 8]}}{4} \right] b.$$

So wird für $n = 1, 2, 3 \dots$ in diesem letztern Falle der Reihe nach $h' = b, \cdot 707 b, \cdot 500 b, \cdot 366 b$ u. s. w.; eben so kann man auch

für die Unterabtheilungen $n = \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4} \dots$ setzen, wofür man findet:
 $k' = 1.175 b, 1.237 b, 1.269 b \dots$

Soll die Theilung nach Pfunden per Quadratzoll geschehen, so darf man in diesen Formeln nur, wenn z. B. der q Pfunden entsprechende Theilstrich zu bestimmen ist, $n = \frac{q}{12.75}$ setzen.

Wie man den Druck einer Luft- oder Gasart mittelst eines sogenannten Sicherheitsventils bestimmen kann, wird weiter unten bei den Dampfkesseln gezeigt werden.

Erstes Kapitel.

Von den Aërostaten.

§. 444. Der bei den tropfbar flüssigen Körpern (§. 317) erwähnte Archimedische Satz, daß jeder in eine solche Flüssigkeit getauchte Körper einen Gewichtsverlust erleidet, welcher dem Gewichte der von ihm verdrängten Flüssigkeit gleich ist, behält auch bei der Luft und den Gasen seine volle Giltigkeit; ein Körper also, welcher gegen die atmosphärische Luft etwa dasselbe Gewicht wie Korkholz gegen Wasser hätte, müßte in dieser eben so von selbst in die Höhe steigen, wie Korkholz im Wasser, wenn dieses z. B. am Meeresgrund frei ausgelassen würde.

Man verfertigt solche Körper künstlich aus sehr leichten Stoffen, wie z. B. aus Goldschlägerhäutchen oder in Firniß getränkten Seidenzeugen oder Taffet (wovon 1 Quadratfuß nur ungefähr $1\frac{1}{4}$ Loth wiegt), gibt ihnen beinahe (um mit der kleinsten Oberfläche den größten Inhalt zu verbinden) die Kugelform und füllt sie mit einer Luft- oder Gasart, welche specifisch leichter als die atmosphärische Luft ist, in welcher diese Körper oder Ballone aufsteigen sollen. Zu dieser Füllung wählt man entweder, wie es zuerst die Gebrüder *Montgolfier* gethan, gewöhnliche Luft, welche erwärmt, dadurch also ausgedehnt und specifisch leichter wird (bei einer Temperaturerhöhung von $100^{\circ} C$ wird diese um $\cdot 375$ leichter) oder gewöhnlicher mit Wasserstoff- oder in der neuesten Zeit (nach dem berühmten englischen Luftschiffer *Green*), der größern Wohlfeilheit wegen, auch mit gereinigtem Steinkohlengas (welches beiläufig 4 Mal leichter als die atmosphärische Luft ist).

§. 445. Ist k der cubische Inhalt des Ballons, p das Gewicht von 1 Kubikfuß atmosphärischer Luft, also kp das Gewicht der durch den Ballon verdrängten Luft, ferner q das Gewicht eines Kubikfuß der im Ballon enthaltenen Luft, s das Gewicht der Hülle und aller