



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

## **Technik der Experimentalchemie**

**Arendt, Rudolf**

**Hamburg [u.a.], 1900**

Siebentes Kapitel. Stöchiometrie.

---

[urn:nbn:de:hbz:466:1-84031](#)

Man legt eine zum Einfüllen bestimmte Blechrinne auf einen Bogen Glanzpapier, schüttelt in dieselbe die Oxyde so ein, dass keins das andere unmittelbar berührt, und jedes etwa 4—5 cm Raum einnimmt; dann schiebt man die Blechrinne in die Glasröhre, kehrt sie darin um, so dass die Oxyde unten auf der Glasröhre zu liegen kommen, und zieht die Blechrinne wieder heraus. Letztere muss lang genug sein, um weit genug in das Glasrohr hineingeschoben werden zu können. Der Verlauf des Versuchs ist dem des vorigen ganz analog. Stromaufwärts an der Seite, wo der Schwefelwasserstoff eintritt, bleibt die Röhre trocken, stromabwärts bedeckt sie sich mit einem wässerigen Beschlage, die Einwirkung aber ist eine viel raschere und lässt sich wegen des auffälligen Farbenwechsels der drei letzten Oxyde mit viel größerer Deutlichkeit wahrnehmen. Zinkoxyd bleibt weiß; Quecksilberoxyd und Bleioxyd werden schwarz, arsenige Säure wird gelb (Fig. 657).

## SIEBENTES KAPITEL.

### Stöchiometrie.

Bestimmung des absoluten und spezifischen Gewichts der Gase. Verhalten derselben bei Veränderung von Druck und Temperatur.

Bei den stöchiometrischen Rechnungen, die meinem Lehrgange entsprechend nach Feststellung der Begriffe Atom und Molekül, Atomgewicht und Molekulargewicht, Atomvolum und Molekularvolum beginnen und von da ab den Unterricht in steter Folge begleiten, ist ein genaues Verständnis der Lehre von den Gewichts- und Volumverhältnissen der Gase und deren Beziehung zu den Molekularformeln von Wichtigkeit. In meinem *Grundriss* habe ich deshalb dieser Lehre einen besonderen Abschnitt gewidmet, welcher daselbst den dritten Paragraphen des dritten Kapitels im zweiten Abschnitt bildet und in einem kurzen Abriss der Stöchiometrie seine Ergänzung findet. Zum vollen Verständnis dieser Lehre ist es sehr erwünscht, die wichtigsten Konstanten, auf welche sie sich stützt, nämlich das absolute Gewicht von einem Liter Wasserstoff, auf experimentellem Wege zu bestimmen und hierzu zugleich noch einige weitere Experimente über das absolute und spezifische Gewicht anderer Gase anzuschliessen.

Nach einem Vorschlage von F. C. G. MÜLLER\* lässt sich das absolute Gewicht der Luft ohne Anwendung einer Luftpumpe dadurch finden, dass man den Hals eines Kolbens von bekanntem Inhalte zu einer Spitze auszieht, den Kolben teilweise mit Wasser füllt, das Wasser darin zum Sieden bringt und nach völliger Austreibung der Luft die Spitze zu-

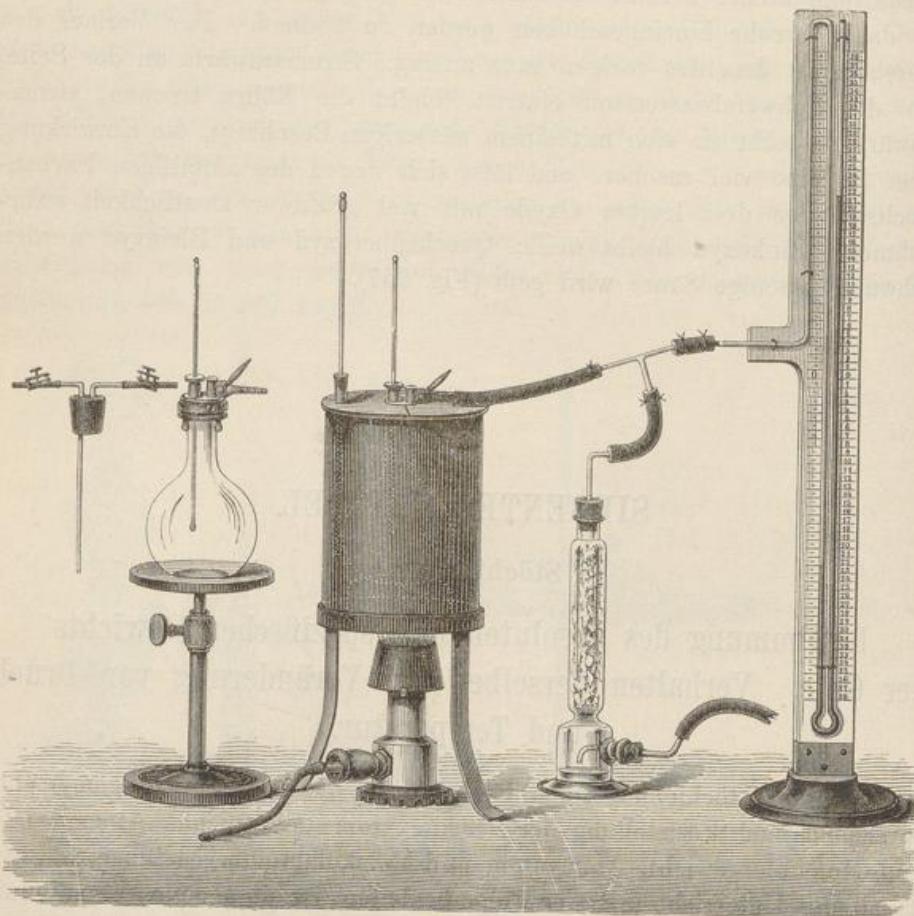


Fig. 658. Verhalten der Gase bei Veränderung von Druck und Temperatur.

schmilzt. Eine erste Wägung ergiebt nun das Gewicht des luftfreien und eine zweite Wägung nach Abbrechen der Spitze das des lufterfüllten Kolbens, woraus man dann durch Rechnung mit Berücksichtigung der Tension des Wasserdampfs das Gewicht der Luft findet. Will man sich von der Tension des Wasserdampfs unabhängig machen, so soll man in

\* Berichte der Deutschen chem. Gesellschaft, Bd. 9, S. 1626. — Chem. Centr.-Blatt 1877, S. 1.

dem Kolben anstatt Wasser verdünnte Schwefelsäure so lange kochen, bis die Säure konzentriert ist und reichliche Mengen Schwefelsäuredämpfe aus der Spitze entweichen. Man erhält auf diese Weise nach dem Abkühlen ein vollständiges Vakuum. Auch die nach dem Abbrechen der Spitze eintretende Luft wird alsbald ihres Wasserdampfs beraubt, so daß man unmittelbar das Gewicht der trockenen Luft erhält.

Da aber das Zuschmelzen große Ruhe, Sicherheit und Übung verlangt und namentlich bei der Anwendung von Schwefelsäure mit mancherlei Unbequemlichkeiten verknüpft ist, da ferner der Kolben zu jedem Versuch neu hergestellt werden muß, benutze ich zu dieser Bestimmung einen starkwandigen Kolben von etwa 1 Liter Inhalt, dessen Hals mit einer Messingfassung versehen ist, auf die mittels Gummiring eine eben geschliffene Messingplatte dicht aufgeschraubt werden kann (Fig. 658). Durch diese Platte geht luftdicht (in kleiner Stoffbüchse) ein Thermometer (mindestens bis  $200^{\circ}$  geteilt) und ein außen rechtwinklig umgebogenes\* Messingrohr mit sorgfältig gearbeitetem und dicht schließendem Hahn, dessen Rücken genau mit der unteren Fläche der Messingplatte abschneidet, so daß kein schädlicher Raum bleibt. Um den Kolben zu den unten zu beschreibenden Versuchen zu benutzen, muß sein Rauminhalt ( $K$ ) und sein Gewicht im leeren Zustande ( $G$ ) ein für allemal bestimmt und vermerkt werden, wobei ich folgendermaßen verfahre:

Die Schraubzwinge wird gelöst, der Deckel abgenommen und das Thermometer nach Losschrauben des Stopfbüchsdeckels herausgezogen. Dann füllt man den Kolben bis zum Rande mit destilliertem Wasser, setzt den Deckel ohne Thermometer auf, schraubt ihn fest und stellt den Kolben mit geöffnetem Hahn in Wasser, so daß letzteres bis fast zur Messingfassung reicht. Hierauf kühlte man das Wasser durch Einwerfen von Eisstücken auf  $4^{\circ}$  ab und erhält diese Temperatur längere Zeit, damit das Wasser im Kolben die gleiche Temperatur annehme. Währenddessen spritzt man mittels der Spritzflasche, deren Rohr man in die Öffnung der Stopfbüchse steckt, destilliertes Wasser nach, um alle Luft zu vertreiben, schiebt das Thermometer so tief ein, bis das Quecksilbergefäß desselben in den Bauch des Körbens hineinreicht, schraubt die Stopfbüchse zu, verschließt den Hahn, nimmt mittels mehrerer zusammen gedrehter Stücke Filterpapier alles Wasser aus dem Hahnrohr, trocknet dasselbe äußerlich sorgfältig ab, nimmt den Kolben aus dem Wasser, entfernt alle anhaftende Feuchtigkeit und bestimmt sein Gewicht auf der Wage ( $K_2$ ). Nachdem dies geschehen ist, schraubt man den Deckel auf,

\* Das Rohr ist umgebogen, damit man den Apparat auch zu den weiter unten beschriebenen Versuchen bequem mit einem Manometer verbinden kann.

trocknet das Metall und das Thermometer gut ab, entfernt mittels Fließpapier auch das Wasser, welches in dem inneren Teile der Durchbohrung des Hahnrohrs noch enthalten ist, entleert den Kolben, spült ihn zuerst mit Alkohol und dann mit Äther aus, leitet längere Zeit einen Strom trockener Luft hindurch, setzt den Deckel mit Kautschukring wieder auf und wägt abermals unter gleichzeitiger Beobachtung des Barometerstandes und der Temperatur der eingeschlossenen Luft ( $K_1$ ). Die Differenz  $K_2 - K$  würde gleich dem Gewichte des Wassers in Grammen und somit auch gleich dem Inhalt des Kolbens in Kubikcentimetern sein, wenn man das Gewicht der in  $K_1$  mitgewogenen Luft vernachlässigt, was man ganz gut thun kann, da die Differenz bei der angenommenen Grösse des Kolbens (mehr als 1 l) nur etwa 1 p. m. beträgt. Will man aber den Inhalt  $K$ , da man ihn allen folgenden Rechnungen zu Grunde legt, mit grösserer Genauigkeit bestimmen, so muss man das Gewicht der Luft in Rechnung bringen, indem man dasselbe nach dem ungefährnen Inhalte  $K_2 - K_1$  berechnet und zu dieser Differenz addiert. Denn

$$\begin{array}{rcl} \text{Gewicht des Kolbens + Wasser} & = & K_2 \\ " " " + \text{Luft} & = & K_1 \\ \hline \text{Gewicht des Wassers - Luft} & = & K_2 - K_1 \end{array}$$

also Gewicht des Wassers =  $K_2 - K_1 + \text{Luft}$ . Das Gewicht der Luft erhält man mit hinreichender Genauigkeit, wenn man den (annähernd richtigen) Kolbeninhalt in Litern  $\frac{K_2 - K_1}{1000}$  mit 1,2932 (dem Gewicht von 1 l Luft bei  $0^\circ$  und 760 mm) multipliziert und auf Beobachtungsdruck  $p$  und Beobachtungstemperatur  $t$  nach der Formel:

$$\frac{(K_2 - K_1) \cdot 1,2932 \cdot p}{1000 \cdot (1 + \alpha t) 760}$$

reduziert. Dieser Wert, zu  $K_2 - K_1$  addiert, giebt dann das wahre Gewicht des Wassers in Grammen, also auch den wahren Inhalt des Kolbens  $K$  in Kubikcentimetern. Also ist

$$K = K_2 - K_1 + \frac{(K_2 - K_1 + h) \cdot 1,2932}{1000 \cdot (1 + \alpha t) 760}.$$

Das Gewicht des leeren Kolbens ( $G$ ) erhält man mit hinreichender Genauigkeit aus der Formel:

$$G + K - \frac{(K_2 - K_1) \cdot 1,2932 \cdot p}{1000 \cdot (1 + \alpha t) 760}.$$

### § 125. Bestimmung des absoluten Gewichts der Luft.

*Ein Kolben mit Luftbad, wie oben beschrieben, eine Vorlesungswage.*

Man füllt den trockenen Kolben mit durch Wasserdampf bei der Versuchstemperatur gesättigter Luft, indem man einige Zeitlang einen Luftstrom hindurch leitet, der zuvor eine Waschflasche mit Wasser passiert hat; dann schraubt man den Deckel auf und bestimmt das Gewicht des Körpers plus feuchter Luft durch eine erste Wägung (*A*). Hierauf gießt man etwa 200 ccm destilliertes Wasser in den Kolben, schraubt den Deckel auf und erhitzt bei geöffnetem Hahne das Wasser im Luftbade zum Sieden, was man etwa 5 Minuten lang fortsetzt. Dann verlöscht man die Lampe, verschließt in demselben Augenblicke den Hahn und läßt, anfangs im Luftbade, später außerhalb desselben, erkalten, bis das Gefäß die Temperatur der umgebenden Luft angenommen hat. Durch eine zweite Wägung (*B*) findet man das Gewicht des Körpers plus dem des noch darin vorhandenen Wassers und des Wasserdampfs. Endlich öffnet man den Hahn, läßt Luft einströmen und wägt zum dritten Male (*C*), während man gleichzeitig den Barometerstand abliest. Mit Hilfe dieser drei Daten läßt sich nun das Gewicht von einem Liter trockener Luft wie folgt berechnen.

Die Differenz der dritten und zweiten Wägung (*C—B*) ergibt das Gewicht der eingedrungenen Luft. Das Volum derselben in Kubikcentimetern (*V*) wird gefunden, indem man das Volum des Wassers (*W*) in Kubikcentimetern von dem ein für allemal bestimmten Kubinhalt (*K*) subtrahiert, also:

$$V = K - W.$$

*W* aber ergibt sich (in Kubikcentimetern) aus der Differenz der dritten und ersten Wägung, also  $W = C - A$ , demnach ist:

$$V = K - (C - A) = K + A - C.$$

Dieses Volum *V* ist nun auf Normaldruck und Normaltemperatur ( $V_0$ ) zu reduzieren, wobei man von dem um die Tension des Wasserdampfs (*w*) bei der Versuchstemperatur (*t*) vermindernden Barometerstand (*p*) ausgeht.

Die Reduktionsformel:

$$V_0 = \frac{V(p-w)}{(1+\alpha t) 760} \text{ wird demnach } \frac{(K+A-C)(p-w)}{(1+\alpha t) 760},$$

und dies Normalvolum (in Kubikcentimetern) wiegt, wie der Versuch ergeben hat, *C—B* g. Demnach wiegt 1 l trockener Luft bei 0° und 760 mm

$$\frac{1000(C-B)(1+\alpha t) 760}{(K+A-C)(p-w)} \text{ g.}$$

Der Versuch läßt sich sehr bequem in einer Stunde ausführen, da das Sieden kaum länger als 5 Minuten fortgesetzt zu werden braucht, und

eine Abkühlungszeit von 30 Minuten vollkommen ausreichend ist; während dieser Zeit lässt sich nebenbei das für den physikalischen Unterricht interessante Phänomen des Siedens bei verminderterem Druck innerhalb  $100^{\circ}$  sehr gut beobachten, da, wenn der Stöpsel- und Hahnverschluss des Kolbens sicher ist, das Wasser in demselben länger als  $\frac{1}{4}$  Stunde nachsiedet.

### § 126. Bestimmung des absoluten und spezifischen Gewichts des Wasserstoffs und anderer Gase.

*Derselbe Kolben wie zum vorigen Versuche, statt des Hahnverschlusses mit einer Gaseinleitungsvorrichtung versehen. Trockenapparate, eine Vorlesungswage.*

Für diese Versuche hat der Kolben statt des Hahnverschlusses einen doppelt durchbohrten Kautschukstöpsel, durch dessen eine Bohrung eine bis zum Boden reichende Gaszuleitungsröhre geführt ist, während in der anderen ein kurzes Gasableitungsrohr, welches dicht unter dem Kork endigt, steckt; beide sind oben rechtwinklig umgebogen und mit kurzen Kautschukschlüuchen und Schraubenquetschhähnen versehen (Fig. 658). Auf dem Halse des Kolbens ist eine Marke eingeritzt, bis zu welcher der Kautschukstöpsel einzusetzen ist. Der Inhalt des Kolbens in Kubikcentimetern ( $K_1$ ) muss ein für allemal durch Auswägen mit Wasser bestimmt werden.

Da die Kautschukschlüuche mit den Quetschhähnen stets mitgewogen werden, so verfährt man beim Auswägen folgendermassen. Zuerst bestimmt man das Gewicht des Kolbens nebst Zubehör ( $A_1$ ) mit trockener Luft von  $t^{\circ}$  gefüllt, gießt dann Wasser bis fast zur Marke ein, senkt die Zuleitungsröhren bei geöffneten Quetschhähnen ein und beobachtet, wie weit dadurch das Wasser im Halse steigt. Geht es erheblich über die Marke, so ist mit einer Pipette etwas herauszuheben. Man muss das Wasserquantum so bemessen, dass, nachdem der Stöpsel bis zur Marke eingesetzt ist, die äusseren umgebogenen Enden der Glasmäntel sich bis zu den Quetschhähnen noch mit Wasser füllen. Dann verschließt man die Hähne, nimmt etwa ausgetretenes Wasser mit Fließpapier sorgfältig weg und wählt zum zweiten Male ( $A_2$ ). Die Gewichtsdifferenz  $A_2 - A_1 = V$  in Grammen ergibt den Inhalt des Kolbens in Kubikcentimetern.\*

Es muss nun das absolute Gewicht des leeren Kolbens  $A$  nebst Zubehör ein für allemal berechnet werden, was dadurch geschieht, dass man das Gewicht von  $V$  ccm Luft bei  $t^{\circ}$  und  $p$  mm (Beobachtungstemperatur

\* Genauer, wenn man das Gewicht der in  $A_1$  mitgewogenen Luft in Anrechnung bringt (s. oben S. 507).

und -druck) von  $A_1$  abzieht. Das Gewicht  $L$  dieses Luftvolumen berechnet sich aus dem Gewicht von 1 l trockener Luft bei  $0^\circ$  und 760 mm (1,2932 g) nach der Gleichung:

$$L = \frac{V \cdot 1,2932 \cdot p}{1000(1 + \alpha t)760} \text{ g};$$

folglich ist:

$$A = A_1 - L = A_1 - \frac{V \cdot 1,2932 \cdot p}{1000(1 + \alpha t)760}.$$

Nachdem in solcher Weise die beiden Werte von  $L$  und  $A$  ein für allemal bestimmt sind, schreitet man zur Ausführung der Versuche.

a) Bestimmung des absoluten Gewichts von 1 l Wasserstoff. Der völlig trockene Kolben (mit Kautschukschläuchen und Quetschhähnen) wird mit dem Gummistöpsel bis zur Marke verschlossen, das Gaseinleitungsrohr unter Einschaltung eines Chlorcalciumturmes und einer Schwefelsäurewaschflasche mit einem Wasserstoffentwickelungsapparate verbunden und bei geöffneten Quetschhähnen so lange reiner und trockener Wasserstoff hindurchgeleitet, bis man annehmen zu können meint, daß alle Luft verdrängt ist; dann schließt man sogleich die Quetschhähne und wägt den Kolben. Von dem hierdurch erhaltenen Gewichte  $A_h$  zieht man  $A$  ab und erhält hierdurch

$$H = A_h - A$$

als das Gewicht von  $V$  ccm Wasserstoff bei der Beobachtungstemperatur  $t$  und dem Beobachtungsdruck  $p$ . Hieraus berechnet sich nach der Formel:

$$\frac{1000 H(1 + \alpha t)760}{Vp}$$

das Gewicht von  $H_1$  von 1 l trockenem Wasserstoff bei  $0^\circ$  und 760 mm.

Hierdurch ist auch ohne weiteres das spezifische Gewicht  $s_h$  des Wasserstoffs gefunden,

$$s_h = \frac{H_1}{1,2932}.$$

Weichen Beobachtungsdruck und -temperatur  $p_1$  und  $t_1$  nicht sehr von  $p$  und  $t$ , bei denen die Werte  $A$  und  $L$  bestimmt wurden, ab, so kann man sich die Reduktion auf  $0^\circ$  und 760 mm ersparen, um so mehr, da die Zahlen wegen der mangelhaftem Genauigkeit beim Wägen doch nur annähernd richtige Resultate geben können; man erhält dann das spezifische Gewicht des Wasserstoffs durch Division von  $H$  durch  $L$ :

$$s_h = \frac{H}{L}$$

und das absolute Gewicht von 1 l Wasserstoff =  $1,2932 \cdot s_h$ .

b) Bestimmung des absoluten und spezifischen Gewichts anderer Gase. Die Ausführung der Versuche und Berechnung der Resultate ist ganz dieselbe, nur hat man für geeignete Trockenvorrichtungen zu sorgen und darauf zu sehen, daß Gase, welche durch Erwärmen entwickelt werden, gehörig abgekühlt in den Ballon eintreten.

Es kann sehr gut eine Reihe von Versuchen hintereinander ausgeführt werden, wenn die Gasentwickelungsapparate im Gange sind. Den

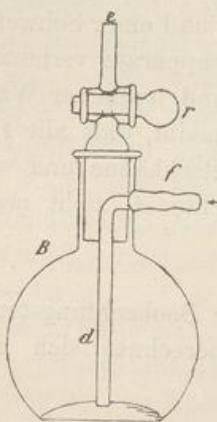


Fig. 659.

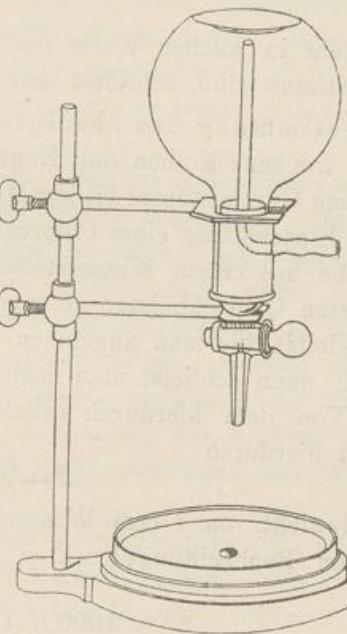


Fig. 660.

Kolben zur Bestimmung des spezifischen Gewichts der Gase.

Wasserstoff verdrängt man durch Stickstoff, welcher vorher durch Überleiten getrockneter, von der Kohlensäure befreiter Luft über glühende Kupferspäne (Fig. 473, S. 330) dargestellt und in dem Gasometer aufgefangen war, den Stickstoff durch Kohlenoxyd (Darstellung nach S. 490), das Kohlenoxyd durch Sauerstoff, den Sauerstoff durch Kohlensäure, die Kohlensäure durch Chlor etc.

Zu diesen Versuchen kann man sich statt des oben beschriebenen Kolbens mit Vorteil eines solchen mit eingeschliffenem Glasstöpsel (Fig. 659 u. 660) bedienen, wie ihn CHANCEL empfiehlt.

Der Glasstöpsel ist hohl und endigt in eine mit dem Hahne *r* zu verschließende Röhre *e*; an den Hals des Kolbens ist seitlich die Röhre *f* angeschmolzen, welche bei richtiger Stellung des Stöpsels mit der gebogenen Glasröhre *d* kommuniziert. Der Inhalt des Kolbens wird ein

für allemal bestimmt, indem man denselben mit destilliertem Wasser von bestimmter Temperatur füllt und wägt. Nach dem Ausgießen des Wassers und Austrocknen des Kolbens wird dieser mit trockener Luft gefüllt, deren Druck und Temperatur man bestimmt, wobei man sich der oben gegebenen Formeln bedient. In dieser Weise lässt sich leicht der Inhalt, sowie auch das Gewicht des leeren Kolbens berechnen. Soll nun das spezifische Gewicht irgend eines Gases bestimmt werden, so leitet man dasselbe nach

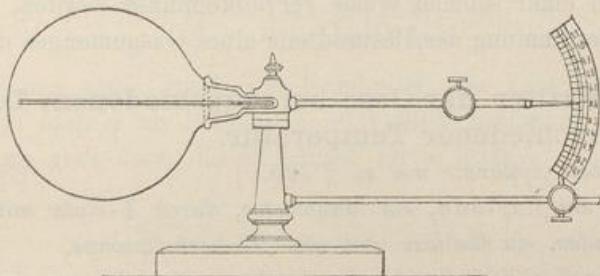


Fig. 661. Gaswage nach Lux.

dem Trocknen durch  $f$  ein, bis alle Luft vertrieben ist etc. Für Gase, die schwerer als Luft sind, steht der Kolben aufrecht (Fig. 659); für die leichteren Gase wird er verkehrt gestellt (Fig. 660).

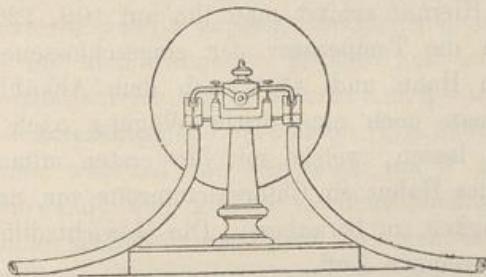


Fig. 662. Gaswage nach Lux.

c) Bestimmung des spezifischen Gewichts von Gasen mittels der Gaswage von FRIEDRICH LUX\* (Fig. 661 u. 662).

Ein auf einem Hebelarm sitzendes kugelförmiges Gasaufnahmegeräts von Glas dient als Wagschale und wird durch ein Gegengewicht im Gleichgewicht erhalten. Das zu wägende Gas kann mittels eines Kautschuk-schlauchs durch die Drehungsachse des Hebels eingeleitet und durch einen

\* Zeitschrift für analytische Chemie, Bd. 26, S. 38. — Chem. Centr.-Blatt 1887, S. 134.

zweiten Kanal wieder abgeleitet werden, so daß sich ein kontinuierlicher Gasstrom innerhalb der Kugel befindet. Der andere Hebelarm endigt in einem Zeiger, der auf einer Skala spielt. Diese wird mittels zweier Fixpunkte hergestellt, von denen der eine, der sich ergiebt, wenn das Gefäß mit Luft gefüllt ist, mit 1, der andere bei Wasserstofffüllung des Gefäßes mit 0,07 bezeichnet wird. Der Zeiger gibt dann sogleich das spezifische Gewicht an.

Dieses Instrument (Deutsches Reichspatent) ist von dem Erfinder in neuerer Zeit in einer solchen Weise vervollkommen worden, daß es auch zur direkten Bestimmung der Bestandteile eines Gasgemenges dienen kann.\*

### § 127. Verhalten der Gase bei verschiedenem Drucke und verschiedener Temperatur.

- a) Dieselben Apparate wie zu § 125.
- b) Dazu ein Luftbad, ein Manometer, durch T-Rohr mit dem Kolben verbunden, ein Gebläse und eine Wasserluftpumpe.

Mit den auf S. 506 beschriebenen Apparaten lassen sich auch sehr gut die Veränderungen verfolgen, welche die Gase erleiden, wenn sie verschiedenen Temperatur- und Druckverhältnissen ausgesetzt werden.

a) Bestimmung der Ausdehnung der Gase durch die Wärme. Man benutzt hierzu den Kolben mit Hahnverschluß und Thermometer, dessen absolutes Gewicht  $A$  und Rauminhalt  $K$  ein für allemal bestimmt worden ist. Man füllt ihn mit trockener Luft und wägt unter Beobachtung der Temperatur. Hierauf erhitzt man ihn auf 100, 120, 150° etc., verschließt, nachdem die Temperatur der eingeschlossenen Luft stationär geworden ist, den Hahn und wägt nach dem Abkühlen wieder. Zur Kontrolle kann man noch eine dritte Wägung nach Wiedereröffnung des Hahns folgen lassen, welche mit der ersten stimmen muß. (Man lege vor Öffnung des Hahns ein Chlorcalciumrohr vor, um die eintretende Luft ihrer Feuchtigkeit zu berauben.) Die Gewichtsdifferenz ergibt das Gewicht der ausgetretenen Luft.

Sei  $A_1$  das Gewicht des Kolbens mit Luft bei  $t_1^{\circ}$ ,  $A_2$  das Gewicht des Kolbens mit Luft bei  $t_2^{\circ}$ , so ist:

$$L_1 = A_1 - A \text{ das Gewicht der Luft bei } t_1^{\circ},$$

$$L_2 = A_2 - A \text{ das Gewicht des bei } t_2^{\circ} \text{ noch verbliebenen Restes.}$$

Beide Zahlen müssen sich nun aber offenbar umgekehrt verhalten, wie die Volume, die die Luftmenge  $L_1$  bei  $t_1$  und  $t_2$  einnimmt. Nennen wir diese Volume entsprechend  $V_1$  (= dem Kolbeninhalt  $V = 1296,83$  ccm) und  $V_2$ , so haben wir:

$$L_1 : L_2 = V_2 : V_1,$$

\* Deutsches Reichspatent. — Chem. Centr.-Blatt 1888, S. 392.

also:

$$V_2 = \frac{L_1 V_1}{L_2} = \frac{(A_1 - A) V_1}{A_2 - A}.$$

Nach der GAY-LUSSAC'schen Formel ist:

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1},$$

folglich ist:

$$\frac{A_1 - A}{A_2 - A} = \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1}.$$

Dieser Gleichung muß durch die Ergebnisse des Versuchs Genüge geschehen, wenn man  $\alpha$  als bekannt ( $= 0,003665$ ) annimmt.

Man kann aber auch die Gleichung für  $\alpha$  lösen:

$$\alpha = \frac{A_1 - A_2}{t_2 (A_2 - A) - t_1 (A_1 - A)},$$

welche Gleichung nach Substitution der beobachteten Werte für  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $t_1$  und  $t_2$  den Ausdehnungskoeffizienten  $\alpha = 0,003665$  ergeben muß.

Füllt man den Apparat nacheinander mit verschiedenen Gasen, so muß man für  $\alpha$  denselben Wert erhalten.

b) Bestimmung der Volumveränderung der Gase bei verschiedenem Drucke. Hierzu gehört außer dem Kolben mit Hahn und Thermometer noch ein Quecksilbermanometer, welches wie das zur BUNSEN'schen Wasserluftpumpe gehörige eingerichtet ist. Dasselbe wird durch ein T-Rohr mit dem Hahne des Kolbens und sein dritter Schenkel mit einer Kompressionsvorrichtung (Wassertrommelgebläse oder Glasblasetisch) oder einer Wasserluftpumpe verbunden (Fig. 658). Man beobachtet den Barometerstand, während das Manometer auf  $0^\circ$  steht, komprimiert oder evakuiert die Luft und notiert in dem Momente, wo man den zweiten Quetschhahn schließt, den Stand des Manometers. Dieser zum Barometerstand addiert, bzw. von demselben subtrahiert, ergibt den neuen Druck. Durch Wägung erfährt man die Gewichtszunahme oder -abnahme und daraus das Volum, welches die Luft im nicht-komprimierten (nicht-expandierten) Zustande einnehmen würde, woraus sich das MARIOTTE'sche Gesetz ableiten läßt.

Sei  $A_1$  das Gewicht des Kolbens mit Luft bei  $p_1$ ,  $A_2$  das Gewicht des Kolbens mit Luft bei  $p_2$ ,  $A$  das Gewicht des leeren Kolbens, so müssen die Gewichtsmengen  $G_1$  (der gewöhnlichen) und  $G_2$  (der komprimierten, bzw. expandierten Luft) offenbar proportional dem Drucke  $p_1$  und  $p_2$  sein:

$$G_1 : G_2 = p_1 : p_2.$$

Da nun  $G_1 = A_1 - A$  und  $G_2 = A_2 - A$ , so hat man:

$$\frac{A_1 - A}{A_2 - A} = \frac{p_1}{p_2},$$

und dieser Gleichung muß durch Substitution der beobachteten Werte Genüge geschehen.

c) Bestimmung der Volumänderung bei Veränderung von Druck und Temperatur. Diese Versuche sind eine Kombination der unter a) und b) beschriebenen. Nachdem der Kolben bei gewöhnlichem Druck und bei gewöhnlicher Temperatur gewogen wurde, setzt man ihn in das Luftbad, verbindet ihn mit dem Manometer und der Wasserluftpumpe oder einem Gebläse, komprimiert (oder expandiert) die Luft, schließt die Verbindung des T-Rohrs mit der Luftpumpe durch einen Quetschhahn ab, erhitzt auf einen beliebigen Grad und beobachtet, sobald die Temperatur stationär geworden ist, während man den zweiten Quetschhahn schließt, den Manometerdruck und die Temperatur am Thermometer. Mit Hilfe dieser Daten läßt sich die allgemeine Reduktionsgleichung nach dem vereinigten GAY-LUSSAC-MARIOTTE'schen Gesetze verifizieren, wenn man für das Volum ( $V$ ) das Gewicht der eingeschlossenen Luft in die Gleichung einführt. Dies geschieht auf Grund folgender Erwägungen.

Man ändere zuerst den Druck der eingeschlossenen Luft  $p_1$  in  $p'$ . Dadurch wird  $G_1$  auf  $G_2$  erhöht (bezw. erniedrigt). Da die Gewichtsmengen im geraden Verhältnis zu den Drucken stehen, so hat man:

$G_1 : G_2 = p_1 : p'$ , also

$$p' = p_1 \cdot \frac{G_2}{G_1} \dots \dots \dots \dots \quad (1)$$

Wird nun bei geschlossenem Apparat die Temperatur  $t_1$  auf  $t_2$  erhöht (erniedrigt), so wird dadurch, da sich das Gas nicht ausdehnen, also sein Volum nicht ändern kann, der Druck  $p'$  auf  $p_2$  steigen (sinken), und zwar in dem Verhältnis, in welchem die Volume des Gases  $V_1$  und  $V_2$  stehen würden, wenn es sich frei ausdehnen könnte, also:

$$p':p_2 = V_1 : V_{2*}$$

Nach dem GAY-LUSSAC'schen Gesetze ist:

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1},$$

also wird sich verhalten:

$$p':p_2 = V_1 : V_2 \cdot \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1},$$

und hieraus ergiebt sich:

Aus (1) und (2) wird durch Kombination:

$$\frac{G_2}{G_1} = \frac{p_2(1 + \alpha t_1)}{p_1(1 + \alpha t_2)}.$$

$G_1$  ist das Gewicht der Luft bei  $t_1^0$  und  $p_1$  mm,

$G_2$  " " " " "  $t_2^0$  "  $p_2$  "

$G_1$  ergiebt sich demnach durch die Wägung am Anfange,  $G_2$  durch die am Ende des Versuchs. Sei jene  $A_1$  und diese  $A_2$ , das Gewicht des leeren Kolbens aber  $A$ , so ist  $G_1 = A_1 - A$  und  $G_2 = A_2 - A_1$ , also wird schliesslich:

$$\frac{A_2 - A}{A_1 - A} = \frac{p_2(1 + \alpha t_1)}{p_1(1 + \alpha t_2)}.$$

Dieser Gleichung muss durch Substitution der Werte für  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $t_1$  und  $t_2$  Genüge geschehen.