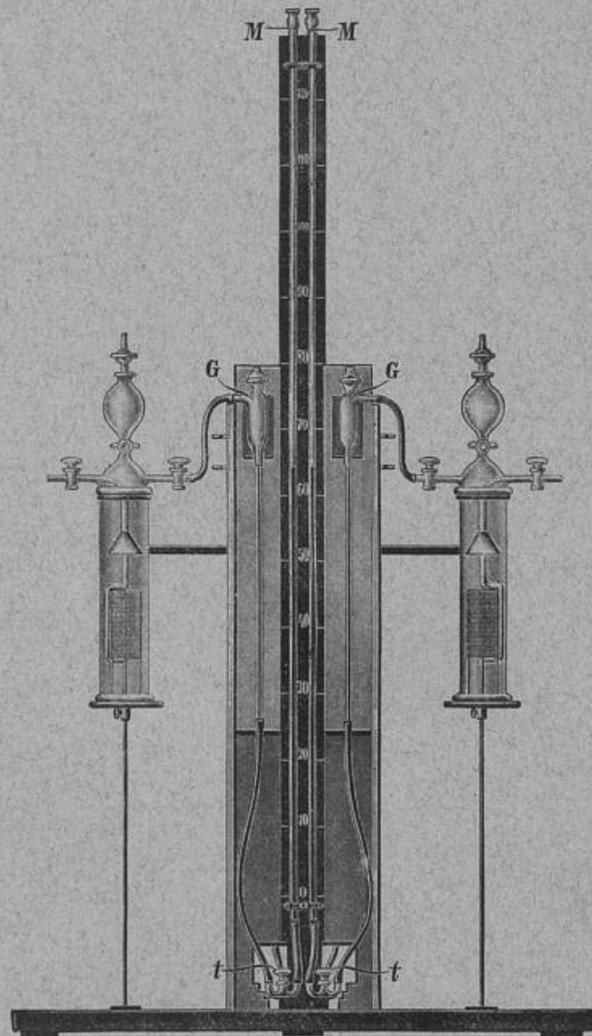


Ein neuer Apparat
 zur
Demonstration der Pflanzenatmung
 von
 Ernst Loewe.



Beilage zum Jahresbericht
 des Königl. Friedrich-Wilhelms-Gymnasiums
 zu Köln a. Rh.

1903.

Nr. 516.

Gebrüder Procter, Köln.



940
 7 (1903)

516.0

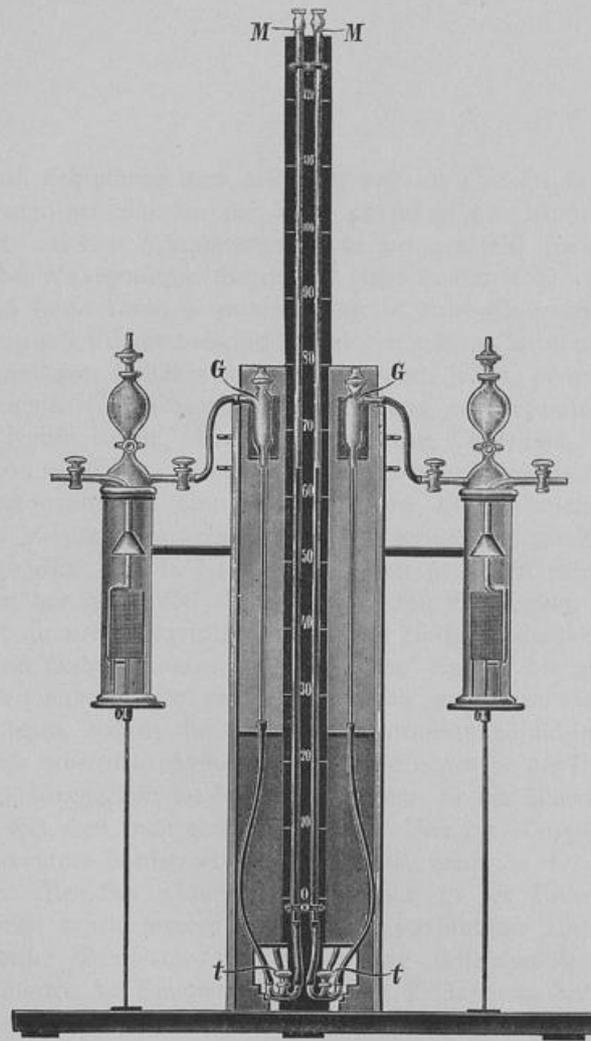


Ein neuer Apparat

zur

Demonstration der Pflanzenatmung

von
Ernst Loewe.



Beilage zum Jahresbericht
des Königlichen Friedrich-Wilhelms-Gymnasiums
zu Köln a. Rh.

1903.

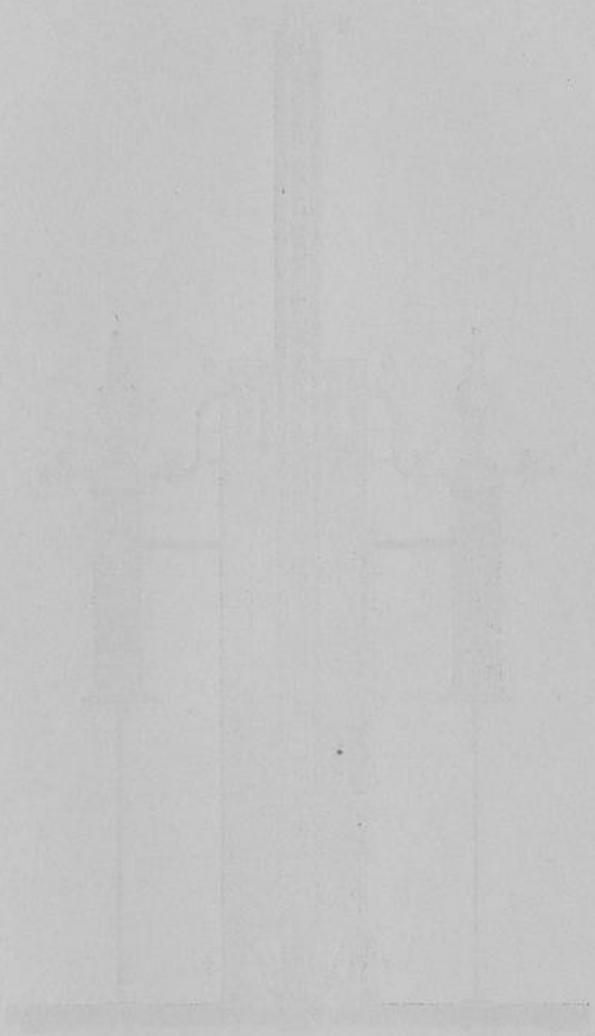
Nr. 516.

Gebrüder Brodter, Köln.



Einigkeit ist die Grundlage

des Zusammenhalts der Bevölkerung



Die Einheit ist die Grundlage
des Zusammenhalts der Bevölkerung



In den neuen Lehrplänen wird gefordert, daß ein Teil der dem Physik-Unterricht der Oberklassen zugewiesenen Stunden für einen physiologischen Kursus verwendet werden soll. Wenn nun auch aus dem Zusammenhange, in welchem diese Forderung erhoben wird, deutlich hervorgeht, daß als eigentlicher Gegenstand dieses Kursus die Physiologie des Menschen gedacht ist, so ist doch kaum daran zu zweifeln, daß bei dieser Gelegenheit besonders wichtige Kapitel aus der Pflanzenphysiologie berücksichtigt werden müssen. Denn wenn die Schüler einen Einblick in den animalischen Ernährungsprozeß gewinnen sollen, so müssen sie zunächst die notwendige Voraussetzung dieses Vorganges, die Bildung der organischen Substanz in den Blattgrünkörperchen kennen lernen. Auch müssen sie eine Vorstellung von dem Kreislaufe der Kohlensäure gewonnen haben, was wiederum nicht ohne Kenntnis der Assimilation und Atmung der Pflanzen möglich ist. Nun liegt freilich der Einwand nahe, daß bei der Fülle des zu bewältigenden physikalischen Lehrstoffes viel zu wenig Zeit zur Verfügung stehe, um auf solche Dinge einzugehen; und in der That, wenn uns zugemutet würde, in einem Kursus von wenigen Stunden das ganze Gebiet der animalischen Ernährung, die Lehre von den Sinnesorganen und dazu noch die erwähnten Themata der Pflanzenphysiologie zu behandeln, so würde nicht nur ein solcher Einwand stichhaltig sein, sondern der physiologische Kursus überhaupt keinen Wert haben. Ich vermag daher die angeführte Bestimmung der Lehrpläne nur so zu verstehen, daß die im Laufe des naturwissenschaftlichen und physikalischen Unterrichts gelegentlich gebotenen physiologischen Mitteilungen in der Prima in einem repetitorischen Kursus zusammengefaßt werden sollen. Wenn in der Untertertia die Lehre von den Zellen und den Geweben, von dem anatomischen Bau der Wurzel, des Stengels und insbesondere des Laubblattes durchgearbeitet worden ist, wenn in der Obertertia der Bau der Sinnesorgane des Menschen erläutert, wenn endlich in der Untersekunda die nötigen chemischen Vorkenntnisse erzielt wurden, so kann der physikalische Unterricht bei passenden Gelegenheiten auf dieser Grundlage weiterbauen und beispielsweise bei Erklärung der Diosmose auf die Tätigkeit der Saugwurzeln, bei der Erläuterung der Diffusion der Gase auf die Transpiration der Blätter und im Anschluß an die Behandlung der Kohlensäure auf die Atmung und die Assimilation der Pflanzen eingehen. In der Optik kommt naturgemäß die Physiologie des Auges, in der Akustik diejenige des Ohres zur Besprechung.

Nach dieser Vorarbeit bleibt es dann die Aufgabe des physiologischen Kursus, die allmählich erarbeiteten Kenntnisse übersichtlich zusammenzufassen und zu vertiefen.

Daß diese Art, die Physiologie in der Schule zu behandeln ein Nothbehelf ist, bedarf kaum der Erwähnung. Solange aber die Forderung, welche z. J. immer lauter geltend gemacht wird, daß sogar im Gymnasium die Biologie einen Unterrichtszweig der Oberklassen bilden solle, nicht erfüllt werden kann, und das scheint mir mindestens solange der Fall zu sein, als wir uns in der Tertia noch mit drei mathematischen Stunden behelfen müssen, — ist an eine intensivere Behandlung physiologischer Fragen nicht zu denken.*) Anstatt Utopien nachzujagen, suche ein jeder an seinem Teil nach Kräften die innerhalb der gegebenen Grenzen gebotenen Gelegenheiten auszunutzen. Es wird sich auch auf diesem beschränkten Ackerfelde manches Samenkorn streuen lassen, das auf guten Boden fallend Wurzeln treiben und sich in späterer Zeit zu einem kräftigen Baum entwickeln wird.

Von solchem Grundsatz geleitet, innerhalb der gebotenen Zeit der Physiologie möglichst zu ihrem Rechte zu verhelfen, bin ich während meiner früheren Tätigkeit an der hiesigen Realschule, an welcher mir die Mittel hierzu zur Verfügung gestellt wurden, bestrebt gewesen, den botanischen Unterricht durch physiologische Experimente zu beleben, von welchen ich annehmen konnte, daß sie vermöge ihrer Einfachheit und Anschaulichkeit dem Verständnisse der Schüler angemessen wären. Es ist nun eine Nachlese dieser Bestrebungen, wenn ich heute meinen Fachgenossen einen neuen Apparat vorlege, welcher sich zur Demonstration der Pflanzenatmung besonders eignen dürfte und wenn nicht schon in der Untertertia im botanischen Unterricht, so doch in dem physiologischen Kursus der Prima vorgeführt werden kann. Als Schulmann lege ich auf die Verwendung des Apparates im Unterrichte höherer Lehranstalten das größere Gewicht, da ich aber zu den Sonderlingen gehöre, welche trotz der anstrengenden pädagogischen Tätigkeit noch Wert darauf legen, in einiger, wenn auch noch so lockeren Fühlung mit der Wissenschaft zu bleiben, so würde es mich freuen, wenn der Apparat sich auch, wie es die Theorie wahrscheinlich macht, zu wissenschaftlichen Untersuchungen eignen sollte. Ich glaube ihm folgende Vorzüge zuerkennen zu dürfen: Er ist einfach in der Handhabung und erfordert wenig Zeit der Vorbereitung für den Versuch. Hierdurch zeichnet er sich vor dem im Detmer'schen Practicum (Verlag von G. Fischer, Jena, 2. Aufl. pag. 218, Fig. 93) abgebildeten Apparate aus, mit welchem er im übrigen die Methode, die Bildung der Kohlensäure an der Trübung von Barytwasser zu erkennen, gemeinsam hat. Wie der in Fig. 94 a. a. O. dargestellte Apparat bringt er ferner den Verbrauch des Sauerstoffes an einem Manometer zur Anschauung, doch wird das Sinken der Manometersäule erst vor den Augen der Zuschauer durch Öffnung eines Hahnes eingeleitet. Das rasche und beträchtliche Sinken der Manometer-Flüssigkeit macht die Intensität des vorangegangenen Atnungsprozesses sichtbar. Drittens gestattet der Apparat bei Anwendung eines einfachen Manometers eine ungefähre Schätzung des Verhältnisses der erzeugten Kohlensäure zu dem verbrauchten Sauerstoff. Mit aller wissenschaftlichen Schärfe läßt sich dieses Verhältnis ohne Anwendung der Wage aus bloßen Manometer-Ablesungen berechnen, wenn man den Apparat mit einem hierzu besonders konstruierten Manometer verbindet, vorausgesetzt, daß die Praxis die Theorie bestätigen sollte, worüber ich mir abschließende Versuche vorbehalte.

*) Wir haben außerdem allen Grund, uns im Hinblick auf die jetzt schon vorhandene Zerspaltung der geistigen Kräfte unsrer Jugend durch eine fast unerträgliche Übersülle von Unterrichtsgegenständen, gegen Einführung neuer Disziplinen zu wehren, wenn nicht die Möglichkeit besteht, andere dafür abzuschaffen oder doch fakultativ zu machen. Sammlung, Konzentrierung auf einzelne Hauptfächer tut vor allen Dingen not.

Ich wende mich nunmehr zur Beschreibung des Apparates*).

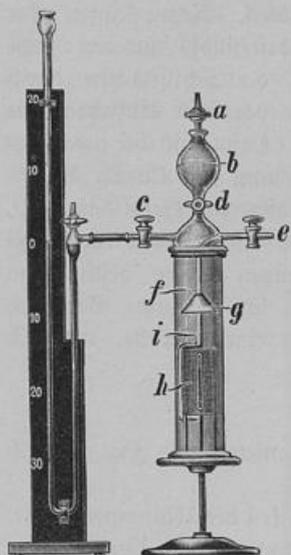


Fig. 1.

Seine Hauptteile sind:

- 1) ein Fußzylinder f aus Glas;
- 2) ein Blumenkörbchen h aus verzinktem Draht mit Thermometer;
- 3) ein Glasaufsatz mit Flüssigkeitsballon b und umgekehrten Trichter g;
- 4) ein Manometer.

Der Fußzylinder hat am oberen Rande eine innere Schlifffläche für den Glasaufsatz, der entsprechend auf der Außenseite geschliffen ist und luftdicht in den Zylinder eingesetzt werden kann. Das Blumenkörbchen steht auf Drahtfüßen auf dem Boden des Zylinders. An seiner Außenseite befinden sich diametral gegenüber zwei Rinnen, von welchen die eine für das Thermometer bestimmt ist, während durch die andere ein hakenförmig gebogenes Glasrohr i in den untern Teil des Zylinders führt. Dieses Rohr steht mittelst eines Stückchen Kautschukschlauches mit dem Zuleitungsrohr e in Verbindung, das durch einen Glashahn verschlossen werden kann.

Der Hauptteil des Glasaufsatzes ist der Flüssigkeitsballon b, der durch den Hahn d mit dem Innenraume des Fußzylinders und durch das eingeschliffene Röhrenstück a, welches ebenfalls mit einem Glashahn versehen ist, mit dem Außenraum in Verbindung gesetzt werden kann. Durch den Hahn c kann der Apparat mit einem Manometer verbunden werden, dessen abgewendeter Schenkel in Millimeter geteilt ist. Das bereits erwähnte Zuleitungsrohr e kommt für Schulversuche nicht in Betracht. Der Hahn e bleibt daher geschlossen. Es soll bei wissenschaftlichen Versuchen gebraucht werden, wenn die Atmung in anderen Gasen, als in der atmosphärischen Luft stattfinden soll.**). Über dem Blumenkörbchen schwebt der umgekehrte Trichter g, der zwischen seinem Rande und der Innenwand des Fußzylinders einen schmalen Spalt frei läßt.

*) Ein hiesiges glastechnisches Institut, welchem die Ausführung des Fig. 1 abgebildeten Apparates übertragen ist, hat den Patentschutz angemeldet.

**). Obwohl die Bohrung des Hahnes d sehr weit ist, kann es vorkommen, daß das Bariumwasser nicht leicht genug hindurchfließt. Dann ist es zweckmäßig, das Zuleitungsrohr e mit dem Röhrenstück a durch einen Kautschukschlauch zu verbinden und die Hähne e und a zu öffnen, nachdem der Hahn d geöffnet wurde.

Vorbereitung des Versuches.

Das Körbchen wird am Tage vor dem Unterricht mit Blüten, Keimpflanzen oder Hutpilzen gefüllt, [wobei grüne Pflanzenteile möglichst zu vermeiden sind], in den Fußzylinder eingesetzt, und nun der Apparat nach gehöriger Einfettung der Schliffflächen durch den Glasaufsatz geschlossen. Es ist zu beachten, daß der Hahn c vor dem Aufsetzen des Glasaufsatzes geöffnet werden muß, damit keine Kompression der Luft entstehe; nachher wird er ebenso wie der Hahn d geschlossen. Der Glasballon wird nun mit klarem Barytwasser bis an den Rand gefüllt, hierauf das Röhrenstück a bei geöffnetem Hahn eingesetzt, dann auch dieser geschlossen. Das Barytwasser stellt man sich in einem wohl verschließbaren Glase her, indem man eine Quantität Barythydrat mit einigen Litern destilliertem Wassers übergießt und nach starkem Umschütteln ruhig stehen läßt. Zum Gebrauch entnimmt man die entsprechende Menge des Barytwassers mittelst einer Pipette, wodurch das Filtrieren erspart wird.

Ausführung des Versuches.

Nachdem am Versuchstage die Verbindung mit dem Manometer, wie fig. 1 zeigt, hergestellt ist, wird der Hahn c geöffnet.

Man beobachtet hierbei im Allgemeinen ein Steigen oder Sinken der Manometersäule, welches einerseits von der Ausdehnung oder Zusammenziehung der Luft, infolge Veränderung der Temperatur und des Barometerstandes, andererseits von einer Vermehrung oder Verminderung der Gasmenge herrührt. Die erste Veränderung läßt sich durch einen Kontrollversuch mit einem gleichen und zur selben Zeit geschlossenen Apparat ohne Blumen forrigieren. Wir wollen einstweilen davon absehen und zunächst nur die Veränderung des Gasvolumens durch die Atmung beachten, also annehmen, der Hahn c sei bei derselben Temperatur und demselben Barometerstand geöffnet, bei welchem er am vorhergehenden Tage geschlossen wurde. Dann zeigt das Steigen oder Sinken der Manometersäule eine Druckveränderung an, welche mit der Veränderung der Gasmenge zusammenhängt. War der Sauerstoff-Verbrauch bei der Atmung größer als die Produktion der Kohlensäure, so zeigt das Fallen des Manometers eine Verminderung der Quantität des Gases an, das umgekehrte, eine Gasvermehrung und ein entsprechendes Steigen der Manometersäule tritt ein, wenn die Produktion der Kohlensäure den Verbrauch an Sauerstoff übertrifft.

Nachdem man den Stand des Manometers abgelesen hat, wird der Hahn d geöffnet. Nun fließt das Barytwasser langsam in den Atemraum des Apparates hinunter, während eine entsprechende Menge des Gasgemisches verdrängt wird und sich im Glasballon b ansammelt. Hierbei nimmt die Flüssigkeit ihren Weg über den Rand des Trichters und breitet sich dann über der Innenwand des Zylinders aus, um sich zuletzt unter dem Körbchen anzusammeln. Dadurch wird erreicht, daß die Kohlensäure mit einer großen Fläche des Barytwassers in Berührung kommt und eine schnelle und doch vollständige Bindung derselben stattfindet. Die milchige Trübung des Barytwassers zeigt die Bildung des kohlen-sauren Barytes und somit das Vorhandensein von Kohlensäure*) deutlich an. Gleichzeitig fällt die Manometersäule beträchtlich (30 bis 50 cm und darüber) und veranschaulicht dadurch das Volumen der gebundenen Kohlensäure, insofern die Abnahme des Druckes der Verminderung des Gasvolumens entspricht. Kommt es allein auf diese Messung an, so kann statt des Barytwassers zweckmäßig Kalilauge verwendet werden.

*) Kohlendioxyd.

Einrichtung des Manometers*) für wissenschaftliche Untersuchungen.

Für exakte Berechnung der Gasvolumina eignet sich das in Fig. 1 abgebildete Manometer nicht. Für diesen Zweck habe ich, ausgehend vom Looser'schen Thermoskop, eine Form gefunden, welche gestattet, die Gasmenge des Atemapparates vor jeder Ableseung auf konstantes Volumen zu reduzieren oder auch, wie später gezeigt werden soll, die Veränderung des Volumens bei konstantem Druck zu beobachten, wodurch die Bedingungen für korrekte Messungen geschaffen werden.

Die Fig. 2 zeigt ein Doppel-Manometer, das in der Vorderansicht dem Looser'schen Doppelthermoskop ähnlich ist. Ebenso wie bei diesem Apparate sind nämlich zwei Weingeist-

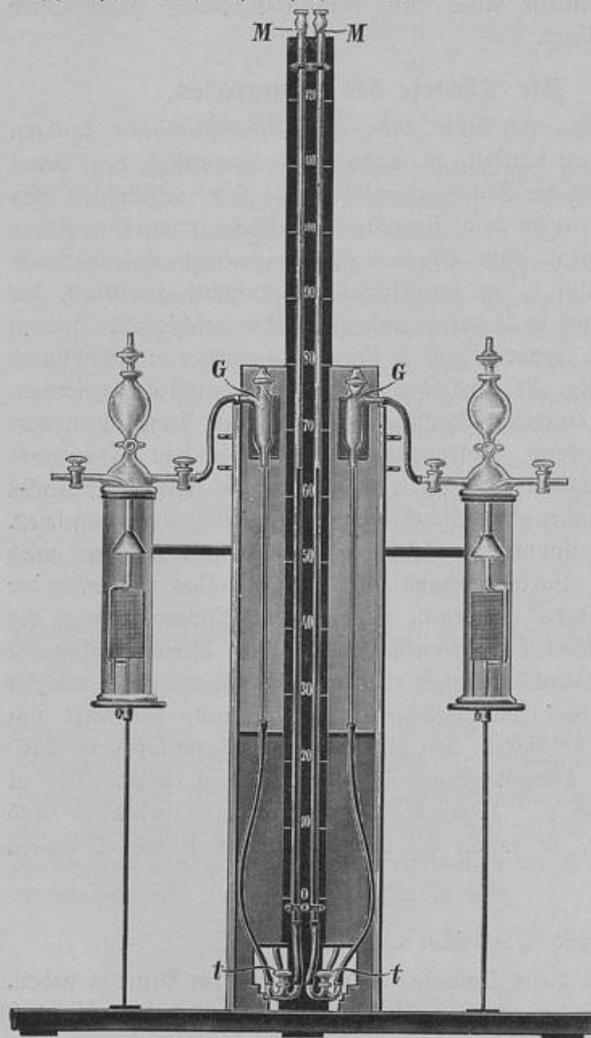


Fig. 2.

Manometer verwendet. Doch ist dem besonderen Zwecke entsprechend das Format des Apparates ein größeres, ferner ist der G-Schenkel in cem geteilt (was in der Figur nicht hervortritt), auch läßt sich dieser Schenkel durch eine Stellschraube etwas in der Vertikalrichtung verschieben. Schließt man die Hähne t, so läßt sich der Apparat zu den Looser'schen Versuchen benutzen, wie jedes Weingeistmanometer.*) Doch ist das nicht der Zweck des Instrumentes. Dasselbe ist vielmehr für wissenschaftlich-exakte quantitative Messungen bestimmt. Werden nämlich die t-Hähne geöffnet, dann wird, wie die Darstellung der Rückseite des Instrumentes Fig. 3 zeigt, mit den G- und M-Schenkeln der Manometer je ein dritter Schenkel L in Verbindung gesetzt, aus welchem mittelst einer kleinen Quecksilber-Luftpumpe (e f g) die Flüssigkeit und damit der Druck in M vermehrt oder vermindert werden kann. Hierdurch ist die Möglichkeit gegeben, das Volumen der abgesperrten Gasmenge jederzeit konstant zu erhalten, d. h. das Niveau der Manometerflüssigkeit im Schenkel G auf denselben Nullpunkt zu bringen. Oder es kann das Niveau in den Schenkeln G und M gleichgestellt werden, wodurch die Gasmenge unter konstantem Druck erhalten wird.

*) Der Apparat dürfte sich für manche andere Versuche eignen, z. B. für Bestätigung des Boyle'schen Gesetzes, besonders wenn der M-Schenkel recht lang gemacht wird, ferner als Luftthermometer, vielleicht auch für Bestimmung der spezif. Wärme und des Verhältnisses $\frac{C_V}{C_P}$. Hierüber behalte ich mir Untersuchungen vor. Der Verfasser hat den gesetzlichen Schutz für den L-Schenkel und das Pumpwerk beantragt.

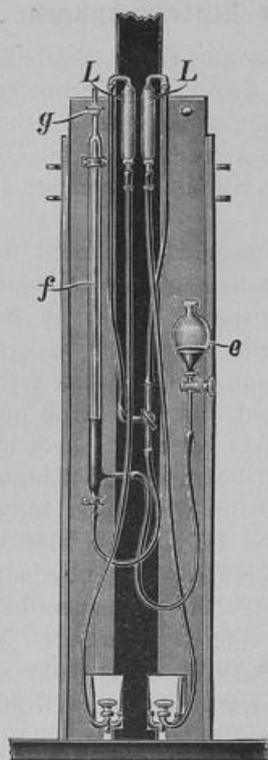


Fig. 3.

In der Mitte der Fig. (3) befindet sich ein Dreiweghahn, welcher gestattet, die Quecksilber-Luftpumpe nach Bedarf mit dem einen oder anderen Manometer in Verbindung zu setzen. Da die Flüssigkeitsmenge des Manometers allmählich durch Verdunstung sich ändert, ist das geteilte G-Rohr verschiebbar eingerichtet, wodurch die Einstellung des Niveau's in diesem Rohr auf einen bestimmten Teilstrich vor Beginn der Messungen ermöglicht wird. Schließlich sei bemerkt, daß die Füllung des Manometers am besten durch das seitliche Ansatzstück des G-Schenkels mittelst eines mit Kautschukschlauch angebrachten Trichters gelingt.

Die Theorie des Apparates.

Wenn es sich nicht blos um Demonstrationen, sondern um Messungen handelt, ist es durchaus notwendig, den Barometerstand und die Temperaturverhältnisse zu berücksichtigen. Es wird daher neben dem eigentlichen Versuchsapparat noch ein zweiter Apparat ohne Blumen zusammengesetzt und nachdem die Temperatur t_1 in den Apparaten konstant geworden, der Barometerstand h_1 abgelesen und alle Hähne geschlossen. Hierauf werden beide Apparate mit je einem Manometer in Verbindung gebracht (Fig. 2) und der (in Fig. 1 mit c bezeichnete) Hahn jedes Apparates geöffnet, wodurch der Innenraum desselben mit dem Innenraum der G-Röhre in Kommunikation gebracht wird. Es wird nun im G- und M-Schenkel des Manometers der Stand der Flüssigkeitssäulen abgelesen.

Die entsprechenden Teilstriche sind als Nullpunkte anzusehen. Nach ca. 12 Stunden wird abermals die Temperatur t_2 und der Barometerstand h_2 abgelesen. Das Volumen der abgeschlossenen Gasmenge ist nun ein anderes geworden, im Kontroll-Apparat in Folge der geänderten Temperatur und des geänderten Barometerstandes, im Versuchs-Apparat außerdem noch durch die Atmung der Versuchspflanzen. Wir beschäftigen uns zunächst mit dem Kontroll-Apparat. Es sei V das Volumen in diesem Apparat, vermehrt um dasjenige in der G-Röhre, oberhalb der Flüssigkeit, das also von der abgeschlossenen Luftmenge bei der Temperatur t_1 und dem Barometerstand h_1 eingenommen wird. Der zu dem Barometerstand h_1 gehörige Druck sei p_1 . Wäre dieser Druck konstant geblieben und hätte sich nur die Temperatur geändert, so würde die abgeschlossene Luft das Volumen $V \cdot \frac{\tau_2}{\tau_1}$ erlangt haben, wenn

$$\tau_1 = 273 + t_1 \text{ und } \tau_2 = 273 + t_2 \dots (1)$$

die absoluten Temperaturen bedeuten, und dieses Volumen würde unter dem Druck p_1 stehen. Tatsächlich ist aber das Volumen bei der zweiten Ableseung (h_2, t_2) weder V noch $V \cdot \frac{\tau_2}{\tau_1}$ sondern irgend ein anderes, durch den dem Barometerstande h_2 entsprechenden Druck p_2 mitbestimmtes. Durch eine Bewegung der Quecksilberluftpumpe läßt sich aber die Luft auf das Volumen V reduzieren. Der hierzu nötige Druck setzt sich zusammen aus dem

Atmosphärendruck p_2 und dem Druck der Flüssigkeitssäule im M-Schenkel des Manometers. Es sei l die Höhe derselben, welche nach der Reduktion des Volumens der Luft auf V abgelesen wird; es sei s das spezifische Gewicht der Flüssigkeit, so ist der Druck pro Flächeneinheit

$$\pi = b_2 q + l s \dots (2)$$

wenn q noch das spezifische Gewicht des Quecksilbers bedeutet. Nach dem Gesetze von Mariotte ist dann

$$V \pi = V \cdot \frac{\tau_2}{\tau_1} \cdot p_1$$

und hieraus ergibt sich

$$\frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{\pi}{p_1} = \frac{b_2 q + l s}{p_1} \dots (3)$$

Der Wert des factors $\frac{\tau_2}{\tau_1}$ läßt sich daher mittelst des Kontroll-Apparates durch eine Bewegung der Quecksilberluftpumpe und eine Manometerablesung l bestimmen und da er vom Volumen V unabhängig ist, unter der Annahme, daß die Temperaturverhältnisse im Versuchsapparat die gleichen sind (was sich unter Anwendung besonderer Vorsichtsmaßregeln erreichen läßt) auf die folgende Rechnung übertragen. Es ist einleuchtend daß als Kontroll-Apparat ein irgendwie geformtes geschlossenes Gefäß benutzt werden kann.

Wir wenden uns nunmehr zu dem Versuchs-Apparat. Es sei v_1 das Volumen, welches bei dem Barometerstand b_1 und der Temperatur t_1 , also bei der ersten Ableseung von der abgeschlossenen Luft eingenommen wird, während das Niveau im G-Schenkel auf Null steht. Zu dieser Luft kommt dann eine Quantität Kohlensäure durch die Atmung hinzu, deren auf den Barometerstand b_1 und die Temperatur t_1 reduziertes Volumen x_1 sein möge. Andererseits wird eine Quantität Sauerstoff verbraucht, deren entsprechendes Volumen y_1 sei. Bei gleichbleibendem Druck p_1 und gleichbleibender Temperatur t_1 würde dann das Gasgemenge während der Atmung des Volumen

$$V_1 = v_1 + x_1 - y_1 \dots (4)$$

erlangen und dieses Volumen würde unter dem Drucke p_1 stehen. Bei der Temperatur t_2 aber gleichbleibendem Druck ergäbe sich des Volumen $V_1 \cdot \frac{\tau_2}{\tau_1}$ unter dem Druck p_1 . Tatsächlich erhalten wir aber bei der 2. Ableseung nicht dieses Volumen, sondern ein anderes durch den Barometerstand b_2 mitbestimmtes. Dieses reduzieren wir durch eine Bewegung der Quecksilberpumpe auf das Volumen v_1 . Der hierzu erforderliche Druck ρ setzt sich zusammen aus dem Atmosphärendruck p_2 und dem Druck der nach dieser Reduktion des Volumens abgelesenen Flüssigkeitssäule k im M-Schenkel des Manometers (vom Nullpunkt des G-Schenkels an gerechnet). Es ist also

$$\rho = b_2 q + k s \dots (5)$$

Da nun

$$v_1 \rho = V_1 \cdot \frac{\tau_2}{\tau_1} \cdot p_1, \text{ ferner}$$

$$\text{nach (3)} \quad \frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{\pi}{p_1} \text{ ist,}$$

$$\text{so ergibt sich:} \quad \frac{V_1}{v_1} = \frac{\rho}{\pi} \dots (6)$$

Hieraus folgt weiter:

$$\frac{V_1 - v_1}{v_1} = \frac{\rho - \pi}{\pi}$$

od. da $V_1 = v_1 + x_1 - y_1$ ist:

$$x_1 - y_1 = v_1 \cdot \frac{\rho - \pi}{\pi} \dots (7) \text{ und mit Rücksicht}$$

$$\text{auf (2) und (5) } x_1 - y_1 = v_1 \frac{(k-1) \cdot s}{b_2 q + 1 s} \dots (7a)$$

Um y_1 zu bestimmen wird der Hahn d geöffnet. Die Kalilauge fließt durch die weite Bohrung des Hahnes langsam herunter. Die Kohlensäure wird absorbiert. Eine vollständige Absorption ist aber nur dann anzunehmen, wenn während des Herabfließens der Kalilauge das Sinken der Flüssigkeit im M-Schenkel des Manometers aufhört, ehe der Glasballon b entleert ist. Ist das nicht der Fall, so war die Menge der Kohlensäure im Verhältnis zu der Quantität der Kalilauge zu groß. Nach einigen Vorversuchen gelingt es aber, die Menge der Versuchspflanzen so zu bestimmen, daß die in der gegebenen Zeit ausgeatmete Kohlensäure vollständig absorbiert wird.

Wir gehen noch einmal zurück auf das Volumen $V_1 = v_1 + x_1 - y_1$, welches das Gasgemenge Atmosphärenluft + Kohlensäure — Sauerstoff unter dem Druck p_1 und bei der Temperatur t_1 einnehmen würde. Bei der Temperatur t_2 würde dann das Volumen derselben Gasmenge $V_1 \cdot \frac{\tau_2}{\tau_1}$ betragen, wenn der Druck p_1 derselbe blieb. Brächten wir das Gas unter den Druck p_2 , so berechnete sich das Volumen V_2 aus der Gleichung

$$V_2 \cdot p_2 = V_1 \cdot \frac{\tau_2}{\tau_1} \cdot p_1 \text{ oder da}$$

$$V_1 = v_1 + x_1 - y_1$$

$$V_2 = v_1 \cdot \frac{\tau_2}{\tau_1} \cdot \frac{p_1}{p_2} + x_1 \cdot \frac{\tau_2}{\tau_1} \cdot \frac{p_1}{p_2} - y_2 \cdot \frac{\tau_2}{\tau_1} \cdot \frac{p_1}{p_2}$$

Hierin ist $x_1 \cdot \frac{\tau_2}{\tau_1} \cdot \frac{p_1}{p_2}$ das Volumen der Kohlensäure unter dem Druck p_2 bei der Temperatur t_2 . Wird dieses absorbiert, so bleibt ein Gasgemenge übrig, das unter dem Druck p_2 und bei der Temperatur t_2 das Volumen

$$v_1 \cdot \frac{\tau_2}{\tau_1} \cdot \frac{p_1}{p_2} - y_1 \cdot \frac{p_1}{p_2}$$

oder:

$$(v_1 - y_1) \cdot \frac{\tau_2}{\tau_1} \cdot \frac{p_1}{p_2}$$

oder endlich mit Rücksicht auf Gl. (3):

$$(v_1 - y_1) \frac{\pi}{p_2} \text{ haben würde.}$$

Anstatt dieses Volumens wird aber mittelst der Quecksilberpumpe das Volumen v_1 wieder hergestellt. Der dazu erforderliche Druck setzt sich zusammen aus dem Atmosphärendruck p_2 und dem Druck der Flüssigkeitssäule f im M-Schenkel des Manometers und beträgt pro flächeneinheit:

$$\zeta = b_2 q + f \cdot s \dots (8).$$

Es ist nun

$$v_1 \cdot \zeta = (v_1 - y_1) \cdot \frac{\pi}{p_2} \cdot p_2$$

mithin

$$y_1 = \frac{v_1 (\pi - \zeta)}{\pi} \dots \dots (9)$$

oder nach (2) und (8)

$$y_1 = v_1 \frac{(1-f) \cdot s}{b_2 q + 1 s} \dots \dots (9a)$$

Aus Gl. (7) und (9) ergibt sich durch Addition

$$x_1 = v_1 \frac{\rho - \zeta}{\pi} \dots \dots (10)$$

und mit Rücksicht auf Gl. (5), (8) und (2)

$$x_1 = v \frac{(k-f) s}{b_2 q + 1 s} \dots \dots (10a)$$

für das Verhältnis des bei der Atmung verbrauchten Sauerstoffes zur Kohlensäure ergibt sich

$$\frac{y_1}{x_1} = \frac{1-f}{k-f} \dots \dots (11)$$

Man pflegt die Gasvolumina auf 0° zu reduzieren. Die entsprechenden Volumina sind dann:

$$12. \left\{ \begin{array}{l} x_0 = \frac{x_1}{1 + \alpha t_1} \\ y_0 = \frac{y_1}{1 + \alpha t_1} \\ \frac{y_0}{x_0} = \frac{y_1}{x_1} = \frac{1-f}{k-f} \end{array} \right.$$

Da in der Regel nicht die Volumina der Kohlensäure und des Säurestoffes, sondern nur ihr Verhältnis in Betracht kommt, so gestalten sich die darauf bezüglichen Messungen außerordentlich einfach. Es sind hierzu, wie die Gl. (11) zeigt, weder eine Temperaturablesung, noch die des Barometerstandes, auch keine Volumennmessung erforderlich, sondern nur einige Bewegungen der Quecksilberpumpe und einige Manometerablesungen. Hauptbedingung ist die Gleichheit der Temperaturverhältnisse in dem Kontrollapparat und dem Versuchapparat, sowie dem G-Schenkel des Manometers. Die Schwierigkeit, welche in der Erfüllung dieser Bedingung liegt, läßt sich aber überwinden. Indem ich nun in Aussicht stelle, sobald es mir die Zeit erlaubt, eine Reihe exakter Versuche auszuführen, beschließe ich diese Abhandlung mit einigen Beispielen, welche die Methode erläutern sollen, aber auf wissenschaftliche Genauigkeit keinen Anspruch machen. Die Versuche wurden in den Ferien in der Sommerfrische ausgeführt. Der Apparat stand in einer Veranda, da ich andern Raum nicht zur Verfügung hatte. Die Bestrahlungsverhältnisse waren ungünstig. Namentlich dürfte die Bestimmung des Faktors $\frac{\tau_2}{\tau_1}$ nicht ganz korrekt ausgeführt sein.

Als Versuchsobjekt benutzte ich zunächst Blüten von *Digitalis purpurea*.

Am 16/8. Mittags 1 Uhr wurde der Kontrollapparat sowie der Versuchsapparat zusammengesetzt, abends um 8 Uhr die Messungen ausgeführt.

Nachdem im G-Schenkel das Niveau auf den Nullpunkt eingestellt war, las ich um 1 Uhr als Nullpunkt im M-Schenkel 67,7 cm ab.

Abends um 8 Uhr wurde wieder auf Null eingestellt und der Stand der Flüssigkeitssäule im M-Schenkel auf 63,5 cm notiert.

$$\text{Mithin war } l = 63,5 - 67,7 = -4,2 \text{ cm.}$$

Am andern Manometer, das mit dem Versuchsapparat in Verbindung stand, wurde um 1 Uhr als Nullpunkt des M-Schenkels 67,8 cm. notiert, um 8 Uhr, nach Wiedereinstellung auf den Nullpunkt, war der Manometerstand 70,4, woraus sich

$$k = 70,4 - 67,8 = 2,6 \text{ cm.}$$

ergab. Nun wurde der d-Hahn geöffnet und das Manometer wieder auf Null eingestellt. So ergab sich

$$f = 46,4 - 67,8 = -21,4$$

Hieraus folgt

$$\frac{y}{x} = \frac{l - f}{k - f} = \frac{-4,2 + 21,4}{2,6 + 21,4} = 0,91$$

Am 19. 8. machte ich Versuche mit Fichtenspargel. Es ergab sich

$$l = -2,8$$

$$k = -3,3$$

$$f = -10,8$$

$$\frac{y}{x} = 1,06$$

Einige Versuche mit Hutpilzen ergaben auf dieselbe Art für $\frac{y}{x}$ die Werte 1,51, 1,26, 1,45.

Da es sich hier nur um eine Erläuterung der Methode handelt, hielt ich es nicht für nötig, eine Korrektur betreffend die Kohlensäure, welche in der Luft beständig enthalten ist, anzubringen, obwohl die quantitative Bestimmung derselben und die Einführung der entsprechenden Ableesungen in die obigen Formeln keine Schwierigkeit hat. Ich beschließe die Theorie des größeren Manometers mit der Bemerkung, daß eine andere Handhabung desselben eine direkte Ableesung der Gasvolumen bei der Temperatur t_2 und b_2 gestattet. Es sind dann nur durch Bewegung der Quecksilberpumpe die Niveaus im M- und G-Schenkel gleichzustellen. Doch ist die erste Methode der Messung ebenso einfach.

Zum Schlusse kehre ich zu dem Demonstrationsapparate (Fig. 1) zurück. Bei demselben kann das Volumen nicht konstant gehalten werden, daher kommt den Ableesungen auch kein wissenschaftlicher Wert zu; immerhin gestatten sie eine ungefähre Schätzung der Verhältnisse. Nimmt man an, daß $t_2 = t_1$ und $b_2 = b_1$ ist, so ist $\frac{\tau_2}{\tau_1} = 1$, $l = 0$ und

die Formel zur angenäherten Bestimmung des Verhältnisses $\frac{y}{x}$ lautet dann

$$\frac{y}{x} = \frac{f}{f - k} \dots \dots (13)$$

Es genügen somit 2 Manometer-Ableesungen, um eine für Unterrichtszwecke ausreichend richtige Vorstellung von dem Verhältnisse der bei der Atmung gewonnenen und verbrauchten Gase zu gewinnen.



Am 16/8. Mittag
zusammengesetzt, abends
Nachdem im G-S
1 Uhr als Nullpunkt im
Abends um 8 U
säule im M-Schenkel auf

Am andern Ma
um 1 Uhr als Nullpunkt
stellung auf den Nullpunkt

ergab. Nun wurde der
So ergab sich

Hieraus folgt

Am 19. 8. m

Einige Versuch

Da es sich hi
für nötig, eine Korrek
ist, anzubringen, obwo
entsprechenden Ablesu
Theorie des größeren
deselben eine direkte
Es sind dann nur dr
gleichzustellen. Doch

Zum Schluss
demselben kann das
auch kein wissenschaft
Verhältnisse. Nimm

die Formel zur ange

Es genügen somit 2 Eransome
reichend richtige Vorstellung von dem Verhältnisse der bei der Atmung gewonnenen und
verbrauchten Gase zu gewinnen.

sowie der Versuchsapparat

eingestellt war, las ich um

der Stand der Flüssigkeits-

n.

in Verbindung stand, wurde

in 8 Uhr, nach Wiederein-
aus sich

wieder auf Null eingestellt.

01

Es ergab sich

für $\frac{y}{x}$ die Werte 1,51, 1,26, 1,45.

ode handelt, hielt ich es nicht
in der Luft beständig enthalten
ben und die Einführung der
rigkeit hat. Ich beschließe die
aß eine andere Handhabung
Temperatur t_2 und h_2 gestattet.
Niveaus im M- und G-Schenkel
so einfach.

pparate (fig. 1) zurück. Bei
t, daher kommt den Ablefungen
eine ungefähre Schätzung der
 τ_1 ist, so ist $\frac{\tau_2}{\tau_1} = 1$, $l = 0$ und

$\frac{y}{x}$ lautet dann

(13)

eine für Unterrichtszwecke aus-

