

Ein neues Verfahren die vom Menschen ausgeathmete Luftmenge und deren CO_2 -Gehalt zu messen.

Von Dr. med. M. Schaternikow,

Assistenten am physiologischen Institut der Kaiserlichen Universität zu Moskau.

Wird das vom Menschen ausgeathmete Luftvolumen durch ein System von Röhren so geleitet, dass es auf diesem Wege eine dünne Schicht Alkalilauge passirt und hierbei nur einen beliebigen, jedoch genau bestimmbareren Theil der in ihm enthaltenen CO_2 verliert, so unterscheiden sich die durch das System durchgegangenen Luftvolumina diesseits und jenseits der Lauge nur durch das Volumen der von der letzteren absorbirten CO_2 voneinander. Bezeichnet man demnach mit x das Luftvolumen vor der Lauge und mit A das von der Lauge absorbirte, so passirt das System jenseits der Lauge das Volumen $x - A$. Ordnet man ferner den Versuch so an, dass es möglich wird den mittleren CO_2 -Gehalt der Luft (in %) zu beiden Seiten der Lauge genau zu bestimmen, so lässt sich folgende einfache Gleichung $\frac{x \cdot p}{100} = A + \frac{(x - A)q^1}{100}$ aufstellen, worin p und q die Procentzahlen von CO_2 zu beiden Seiten der Lauge, das erste Glied der Gleichung die ganze ausgeathmete CO_2 -Menge und $\frac{x - A}{100} q$ den von der Lauge nicht absorbirten Theil der CO_2 bedeuten. Zugleich erhält man aus dieser Gleichung

$$x = A \frac{100 - q}{p - q},$$

d. h. das ganze ausgeathmete Luftvolumen.

Das zu beschreibende Verfahren ist auf diesem mir von Herrn Professor Setchenow angegebenen Princip gegründet.

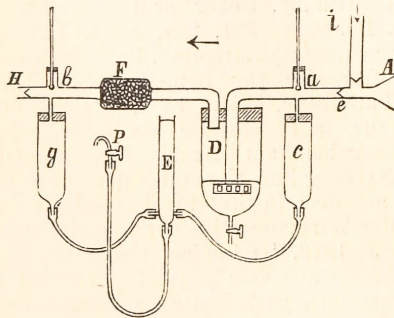
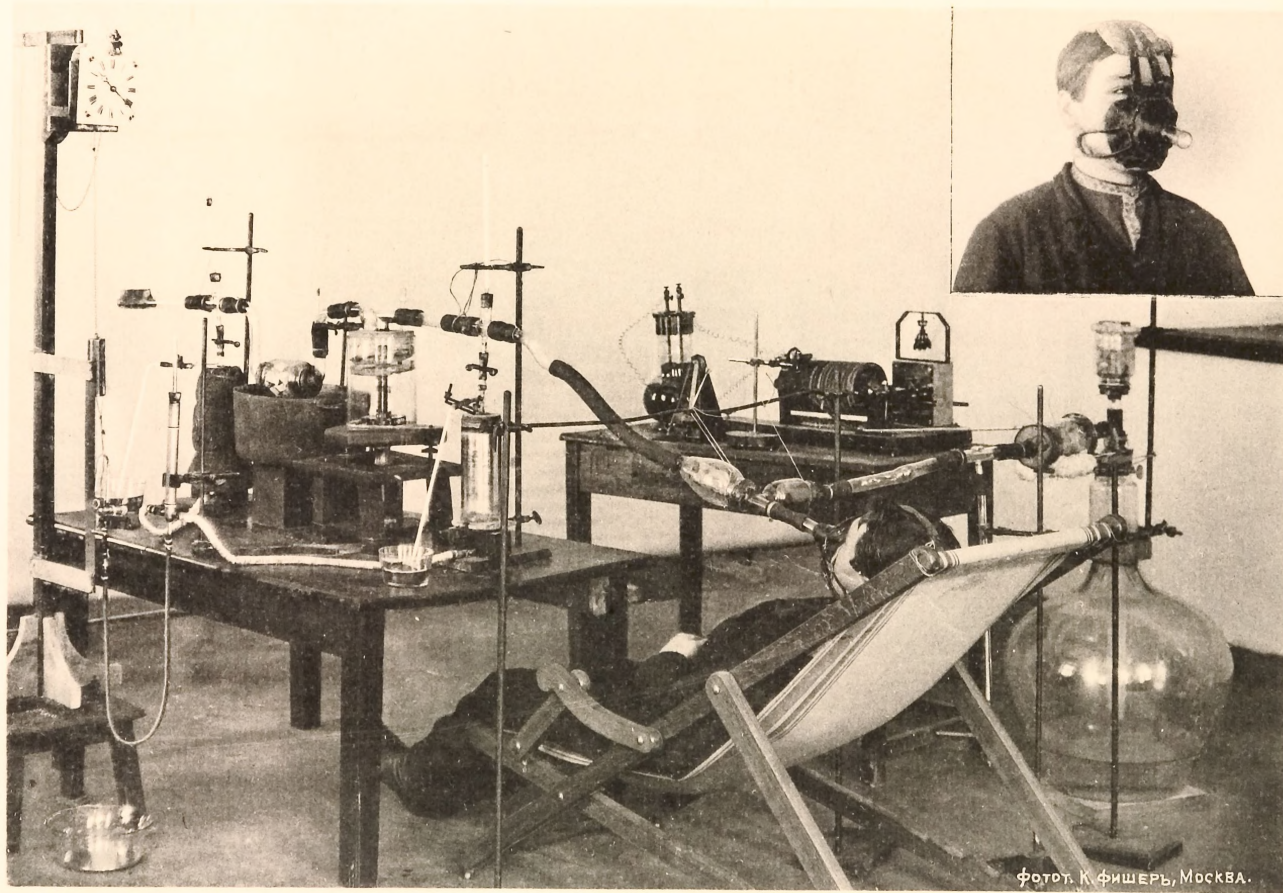


Fig. 1 (1/2).

Die mir gestellte Aufgabe liefs sich am einfachsten auf die in der beistehenden schematischen Fig. 1. angedeutete Weise lösen. Die Ausathmungsluft geht, nachdem sie in der Respirationsmaske (A) mittelst einer Klappen Vorrichtung (B) von der eingeathmeten abgetrennt ist, durch eine niedrige Säule von Natrolauge in einer Art Wulff'schen Flasche (D), verliert darin nebst einem Theile CO_2 auch einen Theil ihres Wassers, wird jedoch auf dem weiteren Wege in dem Behälter F wiederum feucht

¹⁾ Natürlich sind die Volumena x , A und $x - A$ als trocken und auf 0° und gleichen Druckwerth reducirt zu verstehen.

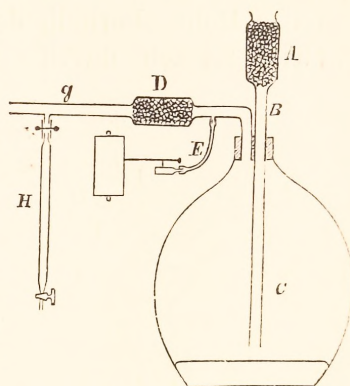


VERSUCHSANORDNUNG MIT DEM ATHMUNGSAPPARAT (S. 194).

gemacht und tritt durch das Austrittsventil H frei heraus. Auf diesem Wege, etwa in den Punkten a und b , diesseits der Natronflasche²⁾ und jenseits des Befeuchters F , wird ferner ein Theil der Ausathmungsluft (behufs ihrer späteren Analyse auf CO_2) in die Cylinder c und g gleichmässig und unaufhörlich während der ganzen Dauer des Versuches abgeleitet. Sorgt man endlich dafür, dass die Temperatur der Luft in dem Ausathmungsrohre an den Ableitungsstellen a und b constant und die gleiche bleibe, so werden offenbar alle Erfordernisse des Principis erfüllt. Der einzige schwache Punkt des Verfahrens ist der fühlbare Athmungswiderstand seitens der Lauge in der Natronflasche. Uebrigens kann derselbe so gering gemacht werden, dass das Athmen, obgleich nicht ganz frei, doch unbeschwerlich wird.

Jetzt will ich die Eigenthümlichkeiten der einzelnen Theile des Apparates beschreiben, mit dem Einathmungszweige desselben beginnend. Soweit die Versuche in geschlossenen Räumen stattfinden, ist es geboten die einzuathmende Zimmerluft von CO_2 frei zumachen. Zu dem Ende hat die Luft erst die cylindrische Erweiterung (Fig. 2, A) des Rohres B zu passiren, welche mit in Natronlauge getränkten Bimssteinstücken gefüllt ist, und hierauf durch das Rohr B , dessen Wände ebenfalls von Lauge benetzt sind, in den geräumigen Ballon C (von 60—70 Lit. Inhalt), welcher eine Schicht Lauge am Boden hat, einzutreten. Es dient somit zur Athmung nicht unmittelbar die äussere Luft, sondern diejenige des Ballons, und zwar nachdem dieselbe den Befeuchter D passirt hat. Jenseits des letzteren werden im Laufe des Versuches Proben der einzuathmenden Luft in das mit 2 Hähnen versehene und mit Hg gefüllte Rohr H , behufs der Analyse auf O_2 , abgeleitet. Diese Proben enthielten nie CO_2 . Nebst diesen wesentlichen Theilen des Einathmungszweiges gehört zu demselben noch der Ansatz E zur Registrirung der Anzahl und der relativen Tiefe der Athembewegungen. Wir bedienen uns zu dem Ende einfach einer mit dem Gange in Verbindung stehenden Marey'schen Kapsel. Die Zeit wird dabei ebenfalls durch einen elektro-magnetischen Markirer registriert.

Die Respirationsmaske. Anstatt des bekannten Mundstückes mit zugeklemmter Nase bediene ich mich einer den Mund und die Nase umgebenden Maske, welche dem Menschen gestattet durch beide Oeffnungen zu athmen. Dieselbe hat die Gestalt eines an das Gesicht dicht anliegenden hohlen Kegels (siehe die Phototypie), dessen Wände aus in heissem Wasser erweichtem Hartgummi geknetet sind. Die teigartige Consistenz des letzteren gestattet nämlich leicht der Maske eine der Configuration des gegebenen Gesichtes vollkommen anpassenden Form zu geben. Man verfertigt dieselbe erst annähernd richtig; und später, wenn sie hart geworden ist, erweicht man nur deren frei-

Fig. 2 ($\frac{1}{20}$).

²⁾ In der weiteren Beschreibung werde ich stets den Ausdruck „Natronflasche“ für die Bezeichnung des Laugenbehälters in dem Expirationstractus gebrauchen.

en Rand und diesen an das Gesicht leise andrückend, knetet man ihm mit den Fingern an. Es versteht sich von selbst, dass eine und dieselbe Maske für beliebig viele Gesichter sehr leicht umgeformt werden kann; die Operation bleibt die soeben beschriebene und dauert nicht einmal $\frac{1}{2}$ Stunde. Uebrigens muss bei den Versuchen der freie Rand der Maske jedesmal mit einer dicken Schicht Wachsommade bestrichen werden und die Maske fest an den Kopf (siehe die Phototypie) mittelst Riemen angebunden werden. Das Tragen derselben, wenn sie an das Gesicht gut anpasst, ist nicht lästig, wie ich es an mir selbst erprobt habe. Auch bietet eine solche Maske den Vortheil, dass das undichte Schliessen derselben sowohl von den Beobachter als von dem Maskenträger selbst sofort in Form eines leisen Ziehens bemerkt werden kann.

Die Klappenvorrichtung (Fig. 3) unterscheidet sich von der Zuntz'schen nur durch die Form der Ventile. Diese bestehen bei mir aus zwei viereckigen, an das Rohr oberhalb der Oeffnungen angeklebten dünnen Kautschukplatten, welche seitlich durch einen steif erstarrenden Kitt ¹⁾ so zusammengeklebt sind,

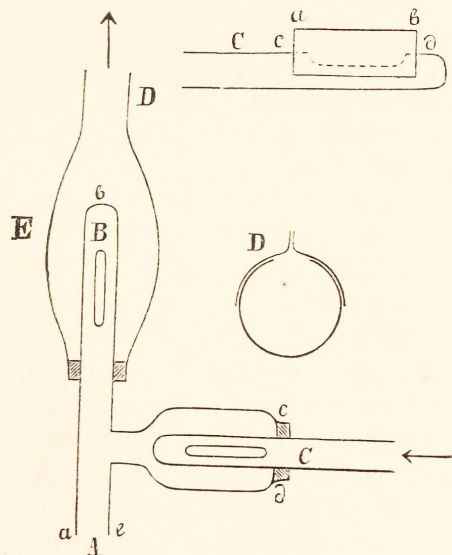
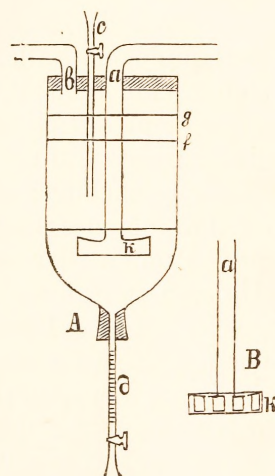


Fig. 3.

Fig. 4 (¹/₈).

dass sie auf dem Rohre aufrechtstehend einen zwischen ihren oberen Rändern länglichen, zusammenklappenden Schlitz behalten. Die Klappen schliessen ganz vorzüglich, wie es mir Proben mittelst zweier mit dem Klappenapparat verbundener, gewöhnlicher Wasserspritzen gezeigt haben. Auch im Laufe des Versuches können die Leistungen derselben aus dem Stande der Lauge in der Natronflasche und aus den Schwankungen des Hebels der Marey'schen Kapsel beurteilt werden.

Der Laugenbehälter hat die Form einer Wulff'schen Flasche (Fig. 4.), deren zuführender (aus Hartgummi gefertigter) Tubus an seinem unteren Ende

¹⁾ Gelbes Wachs mit Colophonium.

in eine Erweiterung in Form eines flachen, hohlen, seitlich gefensterten Cylinders, mit Oeffnungen auch im Boden übergeht. Der Sinn dieser Erweiterung ist klar: dieselbe vergrössert die Berührungsoberfläche zwischen der Lauge und der Luft, indem sie die grossen Luftblasen in kleinere spaltet und ihren Weg durch die Lauge bedeutend verlängert, ohne dadurch den Widerstand merklich zu vergrössern. Das gleichmässige Austreten der Luftblasen aus allen Fenstern des Cylinders besorgt das die Flasche tragende Stativ mit 3 Stellschrauben. Die horizontalen Linien f und g in der Fig. 4. bedeuten ferner die Lage zweier versilberter Kupfernetze, welche das Ueberspritzen der Lauge in das Rohr b verhindern. Das Eingiessen der Lauge in die (natürlich erst mit CO_2 -freier Luft gefüllte) Flasche geschieht durch das mit einem Hahn versehene, oben konisch erweiterte Glasrohr c , und ein eben solches Rohr d dient zum Herauslassen der Lauge aus der Flasche. Die Dimensionen der letzteren müssen endlich folgenden Bedingungen genügen: 1) sind 500 cm. einer 20%-gen Natronlauge für einen 2-stündigen Versuch mehr als genügend; 2) muss das Niveau der Lauge nicht mehr als um 1 cm. oberhalb des flachen Cylinders stehen, damit der Widerstand in der Luftleitung für den athmenden Menschen unempfindlich sei. Der auf die Natronflasche folgende Befeuchter ist deshalb nöthig, weil die Ausathmungsluft diesseits der Lauge feucht ist und nach den Erfordernissen des Principis der Methode auch jenseits der Lauge feucht sein muss:—es müssen ja die Luftvolumina zu beiden Seiten der letzteren sich nur durch das Volumen der absorbirten CO_2 voneinander unterscheiden. Aus demselben Grunde ist es rathsam auch die Temperaturen der Luft an beiden Ableitungsstellen des Expirationstractus einander gleich zu halten, weil das soeben erwähnte Princip dann am vollständigsten erfüllt wird ¹⁾. Auch sind in den Gang (Fig. 1, a, b) an beiden Ableitungsstellen Thermometer eingesetzt und ist der Befeuchter in eine geräumige Wanne mit Wasser gehöriger Temperatur eingetaucht, um die Luft an der 2-ten Ableitungsstelle ebenso warm wie an der 1-en zu halten. Gleichzeitig hiermit entsteht die Nothwendigkeit die in den Ableitungscylindern gesammelte Luft vor Abkühlung zu schützen, weshalb dieselben in einen dicken wollenen Ueberzug gewickelt sind. Auch der Weg von dem Befeuchter bis zu der 2-ten Ableitungsstelle hat einen solchen. Die bequemste Form des Befeuchters ist die eines V -förmigen Rohres mit in Wasser getränkten Bimsteinstücken.

Die Vorrichtung zur gleichmässigen Ableitung der Ausathmungsluft zu beiden Seiten der Lauge. Man denke sich die Cylinder M, N, Q (Fig. 5), sowie den Schlauch C_p voll Quecksilber und das hakenförmige, durch den Hahn verschliessbare Ende des letzteren mit einem Punkt verbunden, welcher fähig ist mit verschiedenen Geschwindigkeiten, jedoch immer gleichmässig herabzusinken. Steht nun die Ausflussöffnung p niedriger als der obere Stand des Quecksilbers in den Cylindern und ist der bewegliche Punkt in Bewegung gesetzt, so erfolgt nach dem Oeffnen des Hahnes am Haken ein gleichzeitiges Herabsinken sowohl der Ausflussöffnung als der Quecksilbersniveaus in den

¹⁾ Im Grunde genommen können die Temperaturen an den Ableitungsstellen sich voneinander unterscheiden, und müssen dieselben nur in jedem einzelnen Punkte constant bleiben.

Cylindern. Sinkt etwa die erstere geschwinder als die letzteren, so kann man den Ausfluss des Quecksilbers entweder durch ein weiteres Oeffnen des Hahnes oder durch eine niedrigere Stellung des Hakens geschwinder machen. Will man, umgekehrt, das Herabsinken der Ausflussöffnung verlangsamen, so kann auch dieses leicht geschehen, da dem beweglichen Punkte, wie wir es oben

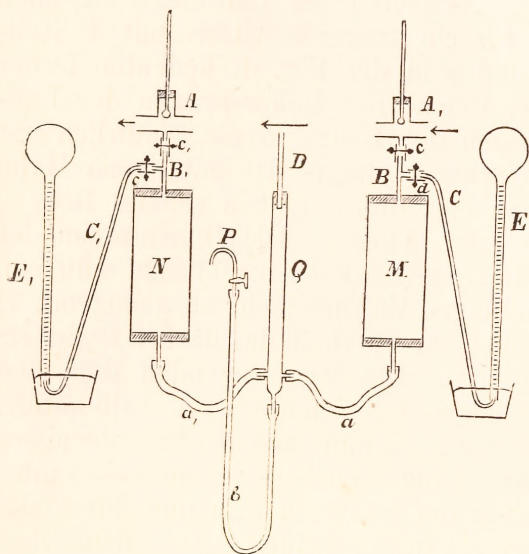


Fig. 5 (1, u).

schwerer das Uhrgewicht ist ²⁾. Der Schlauch C_p ist mit dem Uhrgewichte durch den Haken p verbunden und daneben steht ein verticales Lineal mit Theilungen für die aus den Vorproben bekannte Einstellung der Ausflussöffnung.

Die Gründe, warum man die Cylinder M und N mit einem dritten (Q) verbunden findet, sind folgende: 1) wirkt die in dem letzteren enthaltene Quecksilbersäule auf den Luftdruck in M und N während der Athmungspausen einigermaßen ausgleichend, wodurch die Ausflussmengen aus beiden Cylindern so gut wie gleich werden; 2) dient der Cylinder Q zur Füllung von M und N mit Quecksilber sowohl im Beginne des Versuches als nach Beendigung desselben, namentlich bei Ueberführung der gesammelten Luft aus M und N durch die Röhren c und c_1 in die Absorptionssäulen E und E_1 .

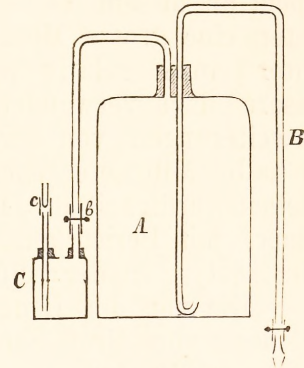
Nachdem alle Theile des Athmungsapparates beschrieben sind, habe ich jetzt noch den Gang des Versuches zu besprechen. Zuallererst werden von Q aus (Fig. 5) die Cylinder M und N sammt ihren Röhren c und c_1 mit auf die erwartete Temperatur der Ausathmungsluft (an der 1-en Ableitungsstelle) erwärmtem Quecksilber gefüllt. In unseren Versuchen, bei der Zimmertemperatur $16,5^{\circ}$ — 17° C., hatten wir das Quecksilber auf 20° — 21° C. zu erwärmen gehabt. Gleichzeitig hiermit ist die Wanne, worin der Befeuchter

²⁾ Der mit dem Uhrgewicht verbundene Ausflussschlauch bildet eine U-förmige Schleife, deren aufsteigender Schenkel C_p mit dem Herabsteigen des Uhrgewichtes allmähig kürzer wird. Zufolge dessen wird das letztere weniger und weniger von den Schlauche belastet und sein Gang nach unten muss allmähig langsamer werden. Es liesse sich dieses leicht beseitigen, die Verlangsamung ist jedoch so unbedeutend, dass ich die Correctur für unnöthig hielt.

gesagt haben, die Fähigkeit zukommt mit verschiedenen Geschwindigkeiten herabzusinken. Kurz, es ist unter den angegebenen Bedingungen leicht möglich die Bewegungen an beiden Orten so auszugleichen, dass das Quecksilber in den Cylindern und die Ausflussöffnung desselben mit gewünschter gleicher und gleichmässiger Geschwindigkeit herabsinken, wodurch zu gleichen Zeitperioden gleichgrosse Luftvolumina abgeleitet werden.

Der oben angedeutete bewegliche Punkt ist das Uhrgewicht einer in Gang gesetzten Wanduhr der einfachsten Art. Dasselbe sinkt bekanntlich stets gleichmässig und zwar desto geschwinder, je kürzer das Pendel oder je

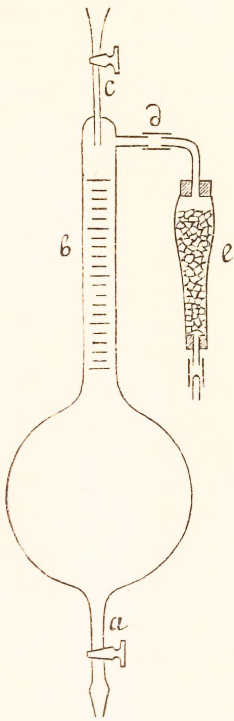
des Expirationstractus taucht, mit warmem (um ein Paar Grad höher als das Quecksilber) Wasser zu füllen. Hierauf folgt die etwas umständlichere Operation des Füllens der Natronflasche mit der Lauge; diese Operation besteht aus dem Ueberführen dieser Flüssigkeit aus dem Vorrathsbehälter (Fig. 6. II) in den für das Abmessen der Lauge dienenden Kugelrohrapparat (Fig. 7. III) und erst von diesen in den Laugenrecipienten des Expirationstractus. Ein grosser Vorrath an Natronlauge ist bei unserem Versuche unbedingt nothwendig, weil man hunderte von Ccm davon für einen einzigen Versuch braucht und weil letzterer gestattet den Gehalt der für viele Versuche dienenden Flüssigkeit an gebundener CO_2 aus einer einzigen experimentellen Bestimmung zu erkennen. Ebenso unentbehrlich ist der Apparat zum Abmessen der Lauge, weil dieses weder an dem Vorrathsbehälter noch an der Natronflasche, wegen ihrer Figur und Dimensionen, möglich ist. Es ist kaum nöthig hinzuzufügen, dass sowohl der ganze Expirationstractus als der Messapparat erst nachdem sie von der CO_2 -haltigen Zimmerluft befreit sind mit NaHO gefüllt werden;

Fig. 6 ($\frac{1}{12}$).

und ferner, dass auch während des Füllens die äussere Luft nirgendwo eindringen kann, weil der Messapparat sowohl mit dem Vorrathsbehälter als mit der Natronflasche mittelst aneinander angeschliffener Röhren verbunden wird.

Nach dem Anlegen der Maske beginnt nun die Respiration und die Registrirung der Athembewegungen, während die Ableitung der Luft in die Cylinder *M* und *N* um einige Minuten (etwa 5–6) später geschieht, damit der Expirationstractus sich mit der ausgeathmeten Luft fülle, ehe das Sammeln derselben beginnt; so lange die Respiration dauert, hat man nichts weiter zu thun als die Temperatur der Ausathmungsluft an der 2-ten Ableitungsstelle von Zeit zu Zeit zu corrigiren, da dieselbe an der 1-en Ableitungsstelle so gut wie constant bleibt. Bis jetzt haben unsere Versuche höchstens 2 Stunden gedauert.

Nach Beendigung des Athmungsversuches bleiben nur noch zwei Operationen übrig¹⁾: 1) die Analyse der an beiden Ableitungsorten gesammelten Luft auf CO_2 ; und 2) die Bestimmung der von der Lauge absorbirten CO_2 -Menge, d. h. die Ermittlung der Zahlenwerthe *p*, *q* und *A* in der Formel $X = A \frac{100 - q}{p - q}$. Diese Formel zeigt unmittelbar, in welchem hohem Grade die Richtig-

Fig. 7 ($\frac{1}{5}$).

¹⁾ Ich übergehe hierbei die von selbst verständlichen, auf den Schluss des Versuches unmittelbar folgenden Manipulationen, wie das Unterbrechen des Quecksilberausflusses, das Absperren der Luftsammler von dem Expirationstractus, das Ueberführen des Gases aus *M* und *N* in die Absorptionsröhren u. s. w.

keit der Resultate von der Genauigkeit aller drei Bestimmungen abhängig ist. Auch haben wir die äusserste Sorgfalt auf die Ausführung derselben verwendet, wie man sogleich sehen wird.

Da es bei der Analyse der abgeleiteten Luft auf die Procente von CO_2 in einem an diesem Gase relativ armen Luftgemische ankommt, so war es geboten eine grosse Menge Luft für die Analyse zu nehmen und diese letztere unter einem relativ niedrigen Drucke auszuführen. Dementsprechend tragen unsere dazu verwendeten Absorptionsröhren an ihren oberen Enden kugelige Erweiterungen von circa 250 ccm. Gehalt, sind über 50 cm. lang, sehr fein in halbe Millimeter eingetheilt und mit Hg nach Gewicht calibriert. Dank der Liebenswürdigkeit des Herrn Prof. Louguine sind wir zudem im Besitze sehr feiner, mit Berichtigungstabellen versehener Thermometer. Endlich geschieht die Analyse in der Luft nach Bunsen, 2 Tage in Anspruch nehmend.

Die von der Lauge absorbirte CO_2 wird volumetrisch bestimmt und zwar in dem vom Prof. Setschenow speciell zu diesem Zwecke construirten Apparate. Ehe ich jedoch zu dessen Beschreibung übergehe, muss ich zuvörderst der Operationen erwähnen, wie man der Lauge in der Natronflasche eine zur Analyse nöthigen Theil entnimmt und diesen in den Kohlensäureaustreiber überträgt. Nachdem die Natronflasche aus ihrer Verbindung mit dem Ausathmungsrohr gebracht und vorsichtig durchgeschüttelt worden ist, wird deren unteres Ende luftdicht (mitteltst Schlicke) mit dem oberen Ende des in der nebenstehenden Figur gezeichneten Hilfsapparates H (Fig. 8) verbunden, und dieser letztere bei geöffnetem Hahne l zuerst mittelst einer Pumpe mit CO_2 — freier Luft, und dann bei geschlossenem Hahne s mit Lauge gefüllt. Man muss von dieser etwas mehr nehmen, als es für die Analyse nöthig ist; und da die Lauge während der Athmung in Folge der Wasserabsorption an Volumen zunimmt und diese Zunahme bekannt sein muss, so ist es nöthig den Rest der Lauge aus der Natronflasche in einen Messcylinder ablaufen zu lassen und ebenso den Laugenüberschuss aus dem Hilfsapparate H über die von dort in den CO_2 — Austreiber übergeführte (und hier zu messende) Laugenmenge.

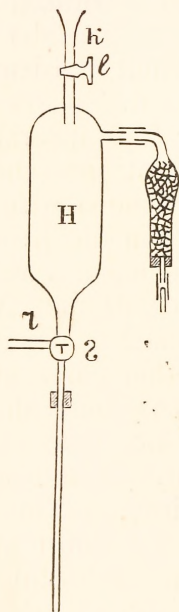
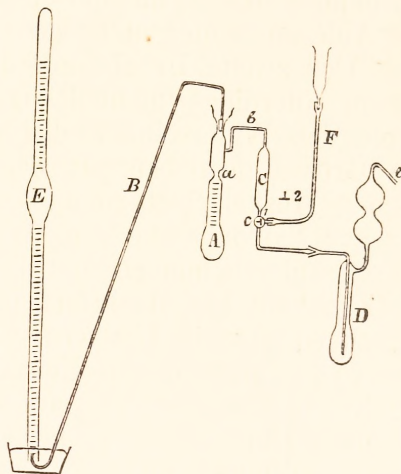


Fig. 8 ($\frac{1}{2}$).

Der Kohlensäureaustreiber (Fig. 9) besteht aus dem mit Theilungen versehenen und auf seinen Inhalt genau calibrierten Recipienten A , wohinein zuerst die Lauge allein, und zwar aus dem oben beschriebenen Hilfsapparate, und später auch die die CO_2 austreibende Säure kommt — letztere auf dem Wege von D aus über C und b nach A hin. Das sich in A entwickelnde Gas entweicht durch das 82 Cm lange dickwandige Capillarrohr B , dessen oberes Ende in die trichterförmige Erweiterung des Recipienten A eingeschliften ist, und sammelt sich in einem geräumigen Absorptionsrohr von 650—700 Ccm. Inhalt und 900 Mm. Länge.

Nachdem alle Theile dieses Apparates richtig eingestellt sind und das Rohr B aus dem Trichter weggenommen ist, wird das untere röhrenförmige

Ende e des mit Lauge gefüllten Hilfapparates H durch den Trichter des CO_2 -Austreibers so weit in A eingeführt, bis der an dem Rohre t befindliche Kautschukpfropfen den Hals der Trichters verschliesst. Nun wird es möglich in dem Raume ABC des CO_2 -Austreibers (bei geschlossenem Dreiweghahne c des letzteren!) die Zimmerluft durch eine CO_2 -freie zu ersetzen; worauf man nur dem Hahne s des Hilfapparates die Stellung n zu geben hat, um den Kohlensäureaustreiber mit Lauge zu füllen. In diesem Momente hält der Gehülfe das Rohr B schon bereit um es in den Trichter, anstatt des daraus zu entfernenden Hilfapparates, einzusetzen. Das Gefäß D war schon vorher mit CO_2 -austreibender Säure (diluirte Schwefelsäure) gefüllt, und nun wird dasselbe in e mit der Luftpumpe verbunden und bei der in der Fig. 8. gezeichneten Stellung des Dreiweghahnes c ausgepumpt. Hiedurch wird einerseits die Säure entgast, andererseits werden die Räume A und C evacuirt und ebenso das Rohr B , in welchem das Quecksilber hierbei barometrisch aufsteigt. Es ist vortheilhaft die Luft in A für die spätere Entwicklung des Gases stark zu verdünnen; eine vollständige Evacuation ist jedoch nicht nöthig—ein Rest an Luft in diesem Raume ist für die spätere Analyse des gesammelten Gases sogar vortheilhaft. Nach Beendigung der Evacuation wird der Hahn c geschlossen und in D Luft eingelassen, worauf man nur dem Hahne c (vorsichtig) die frühere Stellung zu geben hat, um den Raum Cb mit Säure zu füllen. Sind einige Tropfen davon in A übergegangen, so wird dem Dreiweghahne c die Stellung 2 gegeben, wobei die Säure von C in A durch das Quecksilber aus dem Nebenschlauche F mit seinem Trichter verdrängt wird. Die Flüssigkeit in A wird zuerst durch kochendes Wasser, zuletzt am freien Feuer und zwar bis zu starkem Kochen erwärmt. Durch weiteres Einlassen des Quecksilbers in C wird das Gas bis auf Spuren in E übergeführt.

Fig. 9 ($\frac{1}{16}$).

Zu den Hauptmängeln der Methode gehören folgende Umstände.

Erstens kann von der zum Versuche genommenen Laugenmenge nur ein relativ kleiner Theil auf die gebundene CO_2 untersucht werden. Wir konnten nämlich gewöhnlich nur den zwanzigsten Theil davon für die Analyse gebrauchen, weshalb die durch Versuch gefundene Zahl, der Formel $X = A \frac{100 - q}{p - q}$ gemäss, beinahe mit 2000 multiplicirt werden musste. Uebrigens kann der daraus entstehende Fehler bei unserem Verfahren die entbundene CO_2 zu sammeln und zu messen, nicht einmal 1% betragen. Gesetzt, wir hätten bei allen Operationen der Gewinnung des Gases das Volumen desselben um 1 Ccm. fehlerhaft bestimmt, was eher zu viel als zu wenig genommen ist, so würde der totale Fehler 2 Liter auf etwa 350–400 Liter ausgeathmete Luft (siehe weiter unten die Tabellen) betragen. Viel gefährlicher sind hingegen die Fehler

in den Bestimmungen von p und q , und zwar wenn sie ausnahmsweise so zusammentreffen, das sowohl der Zähler als der Nenner des Bruches $A. \frac{100 - q}{p - q}$ dadurch fehlerhaft vergrössert oder vermindert wird. Aber auch in solchen Ausnahmefällen kann der totale Fehler kaum mehr als 2–3% betragen, da die Ablesungsfehler in unseren Analysen meist auf die dritte Decimale fallen.

Der zweite Uebelstand der Methode besteht in dem für die Versuchsperson allerdings nicht lästigen, jedoch nicht ganz freien Athmen, bedingt durch den Widerstand in der Natronflasche. Ich habe natürlich nicht unterlassen, die Grösse desselben mit der daraus entspringenden Zunahme der respiratorischen Muskelarbeit zu messen. Zu dem Ende wurde in das Ausathmungsrohr vor der Natronflasche ein Wassermanometer eingesetzt und die Maxima der Wassersäuleerhebungen notirt. Dieselben betragen höchstens 13 Mm., woraus die Zunahme der Muskelarbeit für 1 Stunde Respiration gleich 5,85 Mk. sich berechnen liess ¹⁾. Um ferner zu erfahren, in welchem Grade die Production von CO_2 durch diesen Umstand beeinflusst war, ersetzte ich in 2 Versuchen die Natronflasche durch ein vertical aufgestelltes Rohr von 1 M. Länge und 25 Mm. Durchmesser, längs dessen innerer Wand eine continuirliche Schicht Lauge herabfloss und sich in einen vor dem Eindringen der äusseren Luft geschützten Behälter sammelte. Die Ausathmungsluft stieg in dem Rohre von unten nach oben dessen ganzer Länge nach, und die Ausathmung war allerdings vollkommen frei; jedoch brauchten die Versuche so viel Lauge, dass die Beobachtung zu kurz war um sichere Ergebnisse zu geben. Die Frage ist also einstweilen als offen zu betrachten.

Im Ganzen habe ich bis jetzt nur 6 Versuche an drei verschiedenen Individuen angestellt, und da sie mir alle sehr befriedigende Resultate ergaben, entschloss ich mich die ganze Arbeit zu veröffentlichen, um so mehr als es mir dabei eigentlich nur um die Beweisführung galt, dass das Verfahren gute Resultate liefern kann. Alle Versuche wurden an Individuen in halb liegender Stellung, bei vollständiger Ruhe und, mit einer eingigen Ausnahme (Versuch № 5), zur Periode der Verdauung, 3–4 Stunden nach einem leichtem Morgenfrühstück angestellt. Zu den 3 ersten Versuchen diente ein schwächerer junger Mann (Laboratoriumsdiener, 19 Jahre alt, von 45 Kilo Körpergewicht), welcher in allen 3 Versuchen eine Zeitlang schlief, besonders tief in dem Versuche 2). Die nächsten wurden, umgekehrt, an einem gesunden, starkgebauten jungen Manne (Ofenheizer des Laboratoriums, von 64 Kilo Körpergewicht) angestellt. Bei diesem waren, von allen 3, die Athembewegungen am regelmässigsten, auch dauerte jeder Versuch an ihm 2 Stunden. Der erste davon, № 4, entspricht der Verdauungsperiode, № 5 dem nüchternen Zustande. Endlich athmete in dem Versuche 6 ein höchst starkgebauter junger Mann, von hohem Wuchs, 75 Kilo wiegend—ein directer Gegensatz des Indi-

¹⁾ Dieser Plus an Arbeit entspricht der Hebung des Gewichtes der im Laufe einer Stunde ausgeathmeten Luft auf die Höhe der als Luftsäule berechneten Wassersäule, oder was dasselbe ist, der Hebung auf die beobachtete Höhe der Wassersäule des Gewichtes des dem Luftvolumen gleichen Volumens Wasser. Setzt man die im Laufe 1 Stunde ausgeathmete Luftmenge gleich 450 Lit., so ist die gesuchte Grösse gleich $\times 450 \text{ Kgr.} \times 0,013 \text{ M.} = 5,85 \text{ Mk.}$

viduums der ersten 3 Versuche. Zugleich zeichnete er sich durch einen un-
gemein langsamen und unregelmässigen Athmungsrythmus aus.

In der Tabelle I entsprechen die Bezeichnungen *A*, *p* und *q* den gleich-
namigen Grössen der Formel, wie sie die Versuche ergeben haben. In den
zwei letzten Spalten hingegen sind die Gasvolumina auf 1 Stunde Respira-
tionszeit berechnet. Ueberall sind die Gasvolumina auf 0° und 760 mm. be-
rechnet.

TABELLE I.

N ^o Vers.	Dauer d. Vers.	<i>A</i> .	<i>p</i> .	<i>q</i> .	<i>x</i> .	CO ₂
1.	1 St.	5298,2	2.46	1.21	418,73	10,3005
2.	50 Min.	3489,3	2.89	1.72	351,72	10,165
3.	1 St.	4218,0	2.62	1.59	403,38	10,582
4.	2 St.	12403,0	3.63	2.16	412,76	14,987
5.	2 St.	10116,1	3.23	1.96	389,25	12,573
6.	53 Min.	6270,0	3.63	2.25	501,98	18,238

In der Tabelle II sind weitere aus denselben Versuchen sich ergebende
Data angeführt. Die Zahlen der zwei ersten Spalten in der Tabelle II spre-
chen sehr überzeugend zu Gunsten des Verfahrens.

TABELLE II.

N ^o Vers.	Vol. CO ₂ in 1 St. auf 1 Kil.	Vol. CO ₂ in 1 Min. auf 1 Kilo.	Mittl. Athmungs- frequenz in 1'.	grösse in Cc.
1.	228,29	3.805	20	345,6
2.	228,11	3.802	19	311,3
3.	235,15	3.919	20	337,4
4.	234,19	3.903	12	573,3
5.	196,45	3.274	12	540,6
6.	243,17	4.053	11	762,8

Nebst der ausgeathmeten Luft habe ich auch die Menge der eingeathme-
ten zu bestimmen gesucht:

Es lag anfänglich im Plane des Herrn Prof. Setschenow letzteres durch
Vereinigung des nach seinem Principe construirten Exspirationszweiges mit
einer Gasuhr im Inspirationszweige zu erreichen. Die Gasuhr sollte nament-
lich nicht bloss zur Abmessung der eingeathmeten Luftmenge, sondern auch
zur Prüfung der Angaben der Expiration dienen. Leider sind wir nicht im
Stande gewesen der Leistungen dieses Instruments Herr zu werden, obgleich
die Gasuhr des hiesigen Laboratoriums von Elster in Berlin stammt. Bei ste-
tigem Luftzuge arbeitet die Gasuhr ganz gut; bei intermittirenden Zügen hinge-
gen, wie es die Athemzüge sind, bekamen wir, bei gleicher Tiefe derselben,
sehr ungleiche Ausschläge, je nach der Raschheit der Stösse aber auch je
nach der Lage des Zeigers in diesem oder jenem Quadranten des Zifferblat-
tes. Schliesslich mussten wir doch von deren Anwendung abstehen und uns
der Berechnung der eingeathmeten Luft nach der Menge und der Zusam-

mensetzung der ausgeathmeten bedienen. Die Mengen der ausgeathmeten Luft gaben uns unsere Versuche, folglich hatten wir nur noch den Procentgehalt derselben an O₂ und die entsprechende Grösse in der Zimmerluft während des Versuches zu bestimmen, um nämlich nebst der eingeathmeten Luftmenge auch den O₂—Verbrauch zu berechnen. Aus diesem Grunde wurde die Luft in dem 1-en Ableitungscylinder in zwei Portionen getheilt; die grössere diente zur Analyse auf CO₂ und die kleinere, nach vorheriger Befreiung derselben von CO₂, auf O₂. Endlich diente zum Sammeln der inspirirten Luft, behufs ihrer späteren Analyse auf O₂, das während des Versuches ununterbrochen dauernde Ausfliessen des Quecksilbers aus einem mit dem Inspirationszweige (siehe oben Fig. 2) verbundenen Rohre (*H*). Die entsprechenden Versuch- und Berechnungsdata sind in der nächstfolgenden Tabelle III zusammengestellt. Die Numeration der Versuche ist die frühere. Alle Gasvolumina sind auf 0° und 760 mm. reducirt.

T A B E L L E III.

N ^o . d. Vers.	% O ₂ in d. exp. Luft.	% O ₂ in d. insp. Luft.	Vol. d. insp. Luft in Lit.	O ₂ Verbrauch in 1 St. auf 1 Kilo.	O ₂ Verbrauch in 1' auf 1 Kilo.	$\frac{CO_2}{O_2}$
1.	18,16	20,78	419,40	244,80	4,080	0,935
2.	17,38	20,46	352,46	243,78	4,063	0,927
3.	18,11	20,92	404,15	255,30	4,255	0,921
4.	17,00	20,86	413,71	252,23	4,204	0,928
5.	17,17	20,97	391,47	237,35	3,956	0,827
6.	16,66	20,58	503,44	280,00	4,667	0,868

Endlich möge zu dem bis jetzt Gesagten noch Folgendes hinzugefügt werden.

Soweit die kurzdauernden Respirationsversuche nur dann von Bedeutung sind, wenn man zwei verschiedene und rasch aufeinander folgende Zustände des Organismus in Bezug auf den Gasaustausch vergleichend untersucht, so muss auch unserem Apparate die diesem Zwecke entsprechende Form gegeben werden. Dieses erreicht man am zweckmässigsten durch das Anbringen eines zweiten Ausathmungsrohres mit allen seinen Theilen gleich jenseits der Klappenverrichtung. Die Einrichtungskosten des Apparates sind überhaupt so gering, dass eine Verdoppelung derselben von keinem Belange sein kann.

Nebst diesem hat Herr Prof. Setschenow dem Apparate noch eine portative Form gegeben, welche dem Versuchsmanne bei verhältnissmässig geringer Belastung, sich vollkommen frei zu bewegen, erlaubt. Versuche mit dieser Form sind schon im Gange.

Zum Schlusse erfülle ich die angenehme Pflicht, meinen hochverehrten Lehrern, Herrn Prof. Setschenow und Herrn Director des physiologischen Instituts Prof. L. Morochowetz, für ihre thätige Unterstützung bei dieser Arbeit meinen tiefsten Dank auszusprechen.