

Ein neuer Apparat zur Untersuchung des respiratorischen Stoffwechsels des Menschen.

Von

Prof. **A. Jaquet.**

Mit einer Tafel.

Eine möglichst vielseitige und den normalen Verhältnissen entsprechende Untersuchung des respiratorischen Stoffwechsels erfordert von dem dazu verwendeten Apparate die Erfüllung folgender Bedingungen:

1. Der Apparat soll in einer Weise eingerichtet sein, dass damit Versuche von längerer Dauer, womöglich von 24 Stunden, gemacht werden können.
2. Die Versuchsperson muss im Apparate vollständig frei atmen können und darf sich überhaupt in keiner Weise durch den Versuch belästigt fühlen.
3. Sie muss im Apparate ihre Mahlzeiten nehmen, ihre Bedürfnisse verrichten und sich zum Schafe bequem hinlegen können.
4. Die Untersuchung des Gaswechsels muss sowohl die Kohlensäureproduktion als den Sauerstoffverbrauch berücksichtigen.
5. Die verschiedenen Phasen eines Versuchs müssen verfolgt werden können.

Diese verschiedenen Bedingungen werden von keinem der gegenwärtig im Gebrauche stehenden Respirations-Apparate in vollem Umfange erfüllt.

Der Apparat von *Pettenkofer* gestattet wohl Versuche von längerer Dauer und die Versuchsperson befindet sich darin unter Bedingungen, welche denjenigen des normalen Lebens nahe kommen. Er gestattet aber keine direkte Bestimmung des verbrauchten Sauerstoffs und eine Verfolgung der stündlichen Kohlensäureproduktion ist mit demselben nicht gut möglich.

Die nach dem gleichen Prinzip konstruierten Apparate von *Tigerstedt* und *Sondén* und von *Atwater* und *Rosa* zeichnen sich vom ursprünglichen *Pettenkofer*'schen Apparate dadurch aus, dass sie infolge einer besseren Vorrichtung zum Sammeln der zur Analyse bestimmten Luftprobe, sowie empfindlicherer gasanalytischer Methoden, die CO₂-Produktion in Zeiträumen von beliebiger Dauer zu bestimmen gestatten und somit die Verfolgung der verschiedenen Phasen eines Versuchs ermöglichen. Diese Apparate lassen aber eine direkte Bestimmung des verbrauchten Sauerstoffes nicht zu.

Der einzige Apparat, welcher eine direkte Bestimmung des Sauerstoffverbrauchs erlaubt, ist der nach *Regnault-Reiset*'schem Prinzip von *Hoppe-Seyler* konstruierte Respirations-Apparat. Mit demselben können wir aber nur den gesamten Gaswechsel einer ganzen Versuchsperiode bestimmen, während die Verfolgung der verschiedenen Phasen eines Versuchs damit unmöglich ist.

Diese Apparate haben ferner den gemeinschaftlichen Nachteil sehr voluminös zu sein und zu ihrer Aufstellung grosse Räume sowie einen starken Motor zu ihrem Betriebe zu erfordern. Sie sind dementsprechend auch sehr teuer, so dass die wenigsten Institute imstande sind, sich den Luxus eines solchen Apparates zu leisten. Die Unmöglichkeit, diese Apparate von einem Orte zum anderen zu transportieren, ist auch ein Nachteil, der

sich bei der Untersuchung des pathologischen Gaswechsels besonders fühlbar machte, indem die wenigsten Kranken sich dazu hergeben, zu blossen Versuchszwecken in ein fremdes Institut transportiert zu werden.

Diesen Umständen ist es zu verdanken, dass man mit einfacheren Vorrichtungen den respiratorischen Stoffwechsel zu bestimmen versucht hat. Hier wären die Methoden von *Speck*, von *Zuntz* und *Geppert* und von *Hanriot* und *Richet* hauptsächlich zu erwähnen. Es lässt sich nicht bestreiten, dass mit Hilfe dieser Methoden unsere Kenntnisse des menschlichen Gaswechsels in sehr wertvoller Weise bereichert worden sind; jedoch sind mit denselben manche Fragen in endgiltiger Weise und mit der genügenden Sicherheit nicht zu lösen, indem erstens diese Methoden nur Versuche von kurzer Dauer und keine kontinuierlichen Bestimmungen gestatten, so dass man auf diese Weise gewissermassen nur Stichproben des Gaswechsels untersucht. Ausserdem atmet die Versuchsperson nicht frei, sondern durch ein Mundstück. Durch grosse Übung bringen es allerdings viele Leute fertig, durch ein Mundstück zu atmen, ohne Beeinträchtigung der normalen Atmung. Bei weniger Geübten, namentlich bei Kranken, bei welchen gewöhnlich nur eine beschränkte Anzahl von Versuchen gemacht werden kann, beeinträchtigt das Mundstück die normale Atmung oft in empfindlicher Weise, und manche schwer erklärliche Resultate rühren augenscheinlich bloss von einer abnormen Atemmechanik her. Diese Störungen der Atemmechanik beeinflussen aber die Kohlensäureausscheidung viel mehr als die Sauerstoffaufnahme, so dass man Werte für den respiratorischen Quotienten erhält, welche mit dem *tatsächlichen* Verbrauch an Sauerstoff und mit der Kohlensäureproduktion während der Versuchszeit nicht übereinstimmen. Die Unzuläng-

lichkeit der Methoden mit kurzer Versuchszeit wird auch am meisten empfunden bei den Untersuchungen, welche auf den R. Q. ein besonderes Gewicht legen.

Aus diesen Gründen habe ich versucht, einen Respirationsapparat zu konstruieren, welcher sämtlichen oben aufgestellten Bedingungen genügt. Zu diesem Zweck wurde mir die tatkräftige Hilfe der akademischen Gesellschaft zu teil, welche durch einen namhaften Beitrag mir die Lösung meiner Aufgabe ermöglichte. Es sei mir gestattet, an dieser Stelle dem Vorstand der akademischen Gesellschaft meinen verbindlichen Dank dafür auszusprechen.

Der neue Apparat besteht aus einer luftdicht schliessenden Kammer (Fig. 1) von möglichst reduzierten Dimensionen. Der Kubikinhalt beträgt leer 1387 Liter. In dieser Kammer kann ein Erwachsener sowohl sitzend wie liegend verweilen, ohne sich beengt zu fühlen. Sie wurde so eingerichtet, dass für die sitzende Stellung möglichst viel Raum zur Verfügung stand, während der bei liegender Stellung für den Unterkörper reservierte Teil so knapp wie möglich gehalten wurde. Die Kammer erhält von drei Seiten Licht und ist so hell, dass man darin bequem lesen und schreiben kann. Ein zusammenklappbarer Tisch gestattet der Versuchsperson bei sitzender Stellung zu arbeiten und dient ferner auch als Esstisch, während ein Bett von genügender Breite eine bequeme liegende Stellung erlaubt.

Die Kammertüre *A* wird von oben nach unten geöffnet. Auf ihrer Innenfläche trägt sie zwei Schienen, über welche die Rollen des Bettes laufen. Dasselbe kann auf diese Weise aus der Kammer herausgezogen und bettlägerige Patienten können, bevor sie in die Kammer gebracht, bequem gelagert werden. Für Versuche in sitzender Stellung kann man die gepolsterten

Bettkissen zu Arm- und Rückenlehnen umstellen. Der Wechsel kann ohne Mühe von der Versuchsperson selbst in der verschlossenen Kammer vorgenommen werden. Nach innen zu ist der Rand der Türe mit einer tiefen Metallrinne versehen, in welcher ein Fahrradschlauch eingelegt ist. Dieser Schlauch wird aufgeblasen, nachdem man die Türe geschlossen hat, und somit ein luftdichter Verschluss der Kammer bewerkstelligt.

Der Verkehr der Versuchsperson nach aussen wird durch einen doppeltürigen, luftdicht schliessenden Kasten *B* ermöglicht. Die Speisen werden von aussen in den Kasten gelegt, worauf die Aussentüre geschlossen wird. Erst dann öffnet der Insasse des Apparates die Innentüre und nimmt die für ihn bestimmten Gegenstände hinein. In umgekehrter Weise werden die Dejektionen der Versuchsperson aus dem Apparate entfernt. Der sprachliche Verkehr wird mit Hilfe eines Telephons *C* bewerkstelligt.

Die Kammer ist ausserdem noch mit zwei durch Kautschukpfropfe verschliessbare (in der Abbildung nicht sichtbare) Öffnungen versehen. In der einen steckt ein Thermometer zur Bestimmung der Kammertemperatur, während die andere im Innern des Apparates einen Schlauch mit Mundstück trägt. Während der Versuchszeit ist diese Öffnung geschlossen. Nach Beendigung des Versuchs nimmt die Versuchsperson das Mundstück in den Mund und atmet durch den Schlauch direkt nach aussen, während man durch eine andere mit einem Hahn verschliessbare Öffnung eine Probe der Kammerluft zur Analyse entnimmt. Vor der Probeentnahme wird mit Hilfe eines durch ein Uhrwerk in Tätigkeit gesetzten Flügelrades für möglichst gleichmässige Mischung der Kammerluft gesorgt. Diese Vorsichtsmassregel ist bei Versuchen von längerer Dauer über-

flüssig; bei kurzdauernden Versuchen ist es hingegen notwendig, die Kammerluft mit in Rechnung zu ziehen.

Zur Ventilation des Apparates dient ein durch eine kleine Wasserturbine in Tätigkeit gesetzter, doppeltwirkender Blasebalg, der die Luft aus dem Apparate durch die Schlauchmündung *D* aspiriert. Die entweichende Luft wird durch reine Luft ersetzt, welche mit Hilfe einer besondern mit *E* verbundenen Leitung direkt aus dem Freien entnommen wird. Auf diese Weise können wir dem Apparate eine Luft von genügend konstanter Zusammensetzung zuführen, um uns eine Analyse der einströmenden Luft zu ersparen, was für langdauernde Versuche von grossem Wert ist.

Die aus dem Apparate aspirierte Luft streicht durch eine genau geaichete Gasuhr *G* (Fig. II), in welcher ihr Volum gemessen wird; gleichzeitig wird von derselben ein aliquoter Teil zur Analyse entnommen. Zu diesem Zweck wurde an der Hauptleitung *M* unmittelbar vor ihrem Eintritt in die Gasuhr eine capillare Zweigleitung *t* angebracht, welche mit einem Glascylinder *O* von 1 Liter Inhalt verbunden ist. Dieser Glascylinder dient zur Aufnahme der zu analysierenden Luftprobe, welche mit Hilfe einer besonderen Vorrichtung während der ganzen Versuchsdauer automatisch gesammelt wird, so dass die Zusammensetzung der Cylinderluft genau der durchschnittlichen Zusammensetzung der während der entsprechenden Versuchsperiode durch die Gasuhr geströmten Luft entspricht.

Dieses Resultat wurde auf folgende Art erhalten: Auf der Achse der Gasuhr ist das eine konische Zahnrad eines Winkeltriebes befestigt, welcher die Bewegungen der Gasuhr auf einen Zahntrieb überträgt. Die Übertragung findet statt mit Hilfe einer Treibstange *a*, welche an ihren beiden Enden mit einem sog. Universalgelenk

versehen ist, wodurch man in der Aufstellung des Apparates mehr Freiheit hat und nicht befürchten muss, durch unerwünschte Reibungen gestört zu werden. Der Zahntrieb greift in ein grösseres Zahnrad *b* ein, auf dessen Achse eine Spule *c* befestigt ist. Auf dieser Spule ist ein Faden aufgerollt, der über eine Leitrolle *d* läuft und an seinem äusseren Ende eine Abflusspipette *e* trägt, welche durch einen Kautschukschlauch *n* mit dem unteren Ansatz des Sammelcyinders verbunden ist. Die Bewegung der Gasuhr wird somit auf die Spule übertragen; der Faden wickelt sich ab und die Abflusspipette fällt durch ihr eigenes Gewicht um eine entsprechende Höhe. Infolge der dadurch zwischen der Pipettenmündung und der Oberfläche der Flüssigkeitssäule im Cylinder eintretenden Niveaudifferenz, fliesst ein entsprechendes Quantum Flüssigkeit aus dem Cylinder heraus und wird in demselben durch eine entsprechende Menge Kammerluft ersetzt. Die Pipette läuft zwischen zwei Führungsstangen *g*, welche eine Drehung derselben verhindern. Die Übertragung wurde so gewählt, dass der Cylinder geleert wird, wenn die Gasuhr 200 Umdrehungen gemacht hat; somit entspricht eine Luftprobe zur Analyse einem Luftquantum von ca. 2000 Litern.

Als Sperrflüssigkeit habe ich zunächst saures Wasser versucht; dasselbe absorbiert jedoch während der Dauer eines Versuchs merkliche Mengen von Kohlensäure. Die Absorption wird nicht verhindert, wenn man Gas und Wasser durch eine Schicht flüssigen Paraffins trennt. Am Geringsten ist die Gasabsorption mit einer konzentrierten Chlorcalciumlösung. Das Arbeiten mit einer solchen Lösung ist jedoch unsauber; jeder Tropfen, der aus dem Sammelgefäss spritzt, verursacht einen Flecken, und die Metallteile des Apparates werden durch das hygroskopische Salz angegriffen. Aus diesem Grunde sah

ich mich veranlasst, Quecksilber als Sperrflüssigkeit zu nehmen. Der Preis des Apparates wird dadurch nicht unerheblich erhöht; man hat aber mit Quecksilber einerseits den Vorteil einer grösseren Genauigkeit, andererseits die grosse Annehmlichkeit einer sauberen Arbeit.

Vor dem Versuch wird der Sammelcylinder bis zum oberen Hahn mit Quecksilber gefüllt. Zu diesem Zwecke öffnet man die Klemmschraube des den Trichter *A* mit dem Sammelcylinder verbindenden Schlauches *m*, während gleichzeitig der den Cylinder mit der Abflusspipette verbindende Schlauch *n* zugeklemmt wird. Die Abflusspipette wird in die richtige Lage gebracht, indem man die Mutter lockert, welche die Spule auf der Achse des Zahnrades befestigt, und den Faden aufwindet. Die Klemme *m* wird dann geschlossen, die Klemme *n* geöffnet; man notiert den Stand der Gasuhr, die Höhe des Thermobarographen und die Zeit, zu welcher das Sammeln beginnt. Während des Versuchs wiederholt man von Zeit zu Zeit die Ablesungen an der Gasuhr und am Thermobarographen *T*, um sich zu überzeugen, dass der Apparat gut funktioniert und dass die Ventilation genügend ist. Sobald das Quecksilber aus dem Cylinder beinahe vollständig abgeflossen ist, bestimmt man ein letztes Mal Zeit, Stand der Gasuhr und des Thermobarographen und schliesst den Hahn *p*, sowie die Klemme *n*.

Zur Analyse wird eine Luftprobe aus dem Sammelcylinder in einen Aufbewahrungscylinder *C* (Fig. III) übergefüllt. Diese Cylinder sind oben und unten mit Schwanzhähnen zur Spülung der schädlichen Räume versehen. Der mit Quecksilber gefüllte Aufbewahrungscylinder wird mit der Schwanzbohrung des Hahnes *p* des Sammelcylinders verbunden. Man öffnet die Klemme *m* und setzt die Luft in *O* unter positivem Druck.

Nach gehöriger Spülung des schädlichen Raumes werden die Hähne des Aufbewahrungscylinders geöffnet; Quecksilber fliesst ab und wird durch die zu analysierende Luftprobe ersetzt. Der Cylinder kann dann bis nach Beendigung des Versuchs zur Analyse bei Seite gestellt werden. Der Sammelcylinder wird wieder bis zum oberen Hahn gefüllt, die Abflusspipette in die richtige Lage gebracht und, nachdem der Stand der Gasuhr und des Thermobarographen *T* notiert worden ist, kann das Sammeln einer weiteren Gasprobe beginnen.

Diese verschiedenen Ablesungen geben uns an, in wie viel Minuten eine gegebene Anzahl Liter Luft durch den Apparat aspiriert wurde, so dass wir durch eine einfache Rechnung die Ventilation pro Stunde bestimmen können. Die Ablesungen am Thermobarographen ermöglichen die Reduktion des direkt gemessenen Luftvolums auf 0° und 760 mm. Hg. Da diese Vorrichtung mit derjenigen, welche *Zuntz* an seine Experimentiergasuhr angebracht hat, identisch ist, können wir eine Beschreibung derselben an dieser Stelle unterlassen.

Ich habe bereits erwähnt, dass eine Füllung des Sammelcylinders einer Ventilationsgrösse von etwa 2000 Liter entspricht. Daraus geht hervor, dass die gasanalytische Methode ausserordentlich genau sein muss, wenn sie brauchbare Resultate liefern soll, da jeder Fehler sofort mit 2000 multipliziert wird. Die *Bunsen'sche* Methode arbeitet zu langsam und ist überdies nicht empfindlich genug, so dass sie für unsere Zwecke ausser Betracht fiel. Zunächst hatte ich die Absicht, die Gasanalysen nach der einfachen und bequemen Methode von *Speck* vorzunehmen. Dieselbe erwies sich aber als zu wenig empfindlich, da man mit derselben CO₂ und O-Gehalt der Luft höchstens auf 0,05 bis 0,1% bestimmen kann. Dagegen eignete sich die Methode von *Pettersson*

und *Högland* für unseren Zweck vorzüglich, denn diese Methode erlaubt in kurzer Zeit Gasanalysen auszuführen, deren Genauigkeit von keiner anderen Methode übertroffen wird.

In seinem ursprünglichen Apparate bestimmte *Pettersson*¹⁾ nur die Kohlensäure, später wurde derselbe vervollständigt und für Sauerstoffbestimmungen eingerichtet. Darüber findet sich aber nur eine vorläufige Mitteilung ohne genauere Beschreibung des Apparates in den Berichten der deutschen chemischen Gesellschaft 1889. Der Güte der Herrn Prof. *Pettersson* in Stockholm und *Chr. Bohr* in Kopenhagen verdanke ich aber direkte Auskunft, welche mir erlaubte, mich über die Leistungen des Apparates genügend zu orientieren und einen solchen für meine Zwecke konstruieren zu lassen.²⁾

Das Prinzip der Methode beruht darauf, dass man keine absoluten Gasvolumina misst, sondern nur die relative Abnahme eines Gasvolums nach Absorption der darin enthaltenen Kohlensäure und des Sauerstoffs bestimmt. Man braucht sich weder um den Barometerdruck, noch um die Temperatur zu kümmern, indem die Messpipette durch einen Differentialmanometer mit einem Kompensationsgefäss von gleicher Grösse verbunden ist, welcher allen Temperaturschwankungen in gleichem Masse wie die Messpipette ausgesetzt ist. Man braucht nur dafür zu sorgen, dass bei jeder Ablesung der Druck in der Messpipette dem Drucke im Kompensationsgefäss genau gleich ist, um etwaige Variationen der Temperatur, welche im Verlaufe einer Analyse auftreten, vernachlässigen zu können.

1) *O. Petterson* und *A. Palmqvist*. Apparat zur Bestimmung des atmosph. CO₂-Gehalts. Forschungen aus dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XVI. Heft 1—2.

2) s. a. *Tobiesen*. Skand. Arch. für Physiolog. VI. p. 237. 1895.

Der Apparat (Fig. III) besteht aus einer Messpipette *A* von 60 cc. Inhalt. Diese Pipette trägt zwei Kalibrierungen: eine untere bis zur kleinen Kugel in $\frac{1}{100}^0\%$ für den Abschnitt von 0 bis 1%. Sie dient für die Kohlensäurebestimmungen. Eine zweite Kalibrierung ebenfalls in $\frac{1}{100}^0\%$ umfasst den Abschnitt zwischen 20 und 21,5⁰% und dient für die Sauerstoffbestimmungen. Die Kalibrierung ist also nicht nach absoluten Volum-Einheiten, sondern nach Prozenten des Pipetten-Inhaltes vorgenommen, und die oberhalb der grossen Kugel angebrachte Marke entspricht 60 ccm. = 100⁰% der Pipette. Auf diese Weise gibt die abgelesene Zahl die bei einer Analyse eingetretene Volumabnahme ohne weiteres in Prozenten an.

An ihrem unteren Ende ist die Messpipette mit einer Quecksilberfüllkugel *D* verbunden, während sie oben mit zwei Orsat'schen Absorptionsröhren *E* und *E*₁ kommuniziert, deren eine mit Kalilauge zur Absorption der Kohlensäure gefüllt ist, während die andere eine alkalische Lösung von Pyrogallussäure zur Absorption des Sauerstoffs enthält. Endlich steht die Messpipette durch den Differentialmanometer *F* mit dem bereits erwähnten Kompensationsgefäss *B* in Verbindung. Pipette und Kompensationsgefäss sind von einem mit Wasser gefüllten Glasmantel umgeben.

Der Gang einer Analyse gestaltet sich folgendermassen: Der Aufbewahrungscylinder *C* wird mit Hilfe eines möglichst kurzen Kautschukrohres mit dem Analysen-Apparat einerseits und anderseits mit einer Quecksilberfüllkugel *D*₁ verbunden. Der Hahn *m* ist ein Schwanzhahn, der die Spülung des schädlichen Raumes gestattet. Durch Öffnung des Hahnes *m* und Senkung der Füllkugel *D* bei gleichzeitiger Öffnung des Hahnes *s* wird die zu analysierende Luft in die Messpipette ge-

trieben und dieselbe bis zum Nullpunkt gefüllt, wobei stets auf Vorhandensein von positivem Druck zu achten ist. Zur Sättigung der zu analysierenden Luft mit Wasserdampf muss die Quecksilbersäule in der Messpipette stets von einer kleinen Wasserschicht bedeckt sein. Der Schwanzhahn *m* wird dann so gedreht, dass der in der Pipette herrschende Druck ausgeglichen wird, worauf man zunächst ohne Ablesung die Luft in die mit Kalilauge gefüllte Absorptionsröhre zur Absorption der Kohlensäure, dann in die andere Röhre zur Absorption des Sauerstoffs überführt um den Apparat mit Stickstoff zu füllen. Da bei der Sauerstoffabsorption mit Pyrogallussäure geringe Mengen von Kohlenoxyd entstehen, empfiehlt es sich, zum Schluss das Gas noch einmal in die Kali-Röhre überzuleiten. Die Absorption wird wesentlich beschleunigt, wenn man durch vorsichtiges Heben und Senken der Füllkugel Gas und Absorptionsflüssigkeit in stetiger Bewegung erhält. Nach beendigter Absorption wird das Gas genau bis zum Punkt 60 aus dem Apparate herausgetrieben, so dass der ganze Raum oberhalb der Kalibrierung mit Stickstoff gefüllt ist. Darauf wird der Apparat zum zweiten Male mit der zu analysierenden Luft gefüllt und zwar bis etwas unterhalb vom Nullpunkt, wobei zu achten ist, dass ein leichter Überdruck im Apparate herrscht. Der Überdruck wird ausgeglichen und die Flüssigkeitssäule auf den Nullpunkt eingestellt. Zu diesem Zwecke bedient man sich der Regulierschraube *r*, nachdem man den Hahn *s* geschlossen hat. Darauf öffnet man die Hähne *p* und *p*₁, des Differentialmanometers, sowie den Hahn *n*₁ (in der Figur nicht sichtbar) des Kompensationsgefässes, um den in demselben herrschenden Druck mit dem atmosphärischen Druck auszugleichen. Man schliesst sodann die Hähne *p* und *p*₁ und

öffnet vorsichtig den Hahn n , der die Verbindung zwischen Pipette und Differentialmanometer herstellt. Ist der Druck in der Pipette dem im Kompensationsgefäß herrschenden gleich, so bewegt sich der Index x im Differentialmanometer nicht. Dieser Index besteht aus einem Tropfen mit Alkanna gefärbten Petroleums. Man liest den Stand des Index auf der graduierten Skala ab, schliesst die Hähne, kontrolliert die Ablesung am 0-Punkt und treibt dann die Luft in die Kali-Pipette zur CO_2 Absorption über. Nach vollendeter Absorption wird das Gas in die Messpipette zurückgebracht und die Flüssigkeitssäule in derselben so eingestellt, dass der Druck wieder genau dem im Kompensationsgefäß herrschenden Drucke entspricht, was aus der Stellung des Index am Differentialmanometer sehr genau bestimmt werden kann. Diese Einstellung erfordert einige Sorgfalt, da sonst der Index leicht aus dem Manometer herausgeschleudert wird und die Analyse verloren ist. Man öffnet zunächst nur den Hahn n und beobachtet, nach welcher Richtung sich der Index bewegt. Man korrigiert dann sorgfältig den Druck in der Messpipette, bis der Index in seine ursprüngliche Stellung zurückgekehrt ist. Man schliesst dann den Hahn n und öffnet n_1 ; bewegt sich der Index nicht oder nur unbedeutend, so stellt man durch vorsichtiges Öffnen des Hahnes n die Kommunikation zwischen Pipette und Kompensationsgefäß her. Zur feinen Regulierung bedient man sich der Schraube r . Hat man den Druck ausgeglichen, so ergibt die Ablesung an der Skala ohne weiteres den CO_2 -Gehalt der Luft in % an. Darauf wird der Sauerstoff absorbiert und in der gleichen Weise der Druck ausgeglichen und abgelesen.

Diese Methode erfordert allerdings eine gewisse manuelle Geschicklichkeit und zu ihrer sicheren Hand-

habung ist eine ziemliche Übung notwendig.¹⁾ Dafür ist sie aber ausserordentlich genau. Wenn man mit allen Cautilen operiert, wie *Pettersson* in seinem bloss für CO₂ eingerichteten Apparate, so kann man CO₂-Analysen bis auf 0,001 % Genauigkeit ausführen. Diese Genauigkeit erreicht man zwar nur, wenn man sämtliche Temperaturschwankungen, sowie die Schwankungen in der physikalischen Absorption der Gase zu vermeiden imstande ist. Bei etwas vereinfachtem Verfahren, wie wir es angewendet haben, gelingt es aber ohne Mühe, eine Übereinstimmung sowohl der CO₂ wie der Sauerstoffanalysen bis auf 0,01 % zu erzielen. Dieser analytische Fehler ist so gering, dass er praktisch vernachlässigt werden kann.

Als Beispiel der Genauigkeit der Methode mag folgende fortlaufende Reihe von Analysen atmosphärischer Luft angeführt werden, welche 6 verschiedenen Luftproben entspricht.

CO ₂	O ₂
1. 0,02 %	20,93
2. 0,03	20,935
3. 0,032	20,928
4. 0,032	20,928
5. 0,038	20,94
6. <u>0,032</u>	<u>20,94</u>
0,031	20,934

Als Durchschnittszahl einer grösseren Reihe von Bestimmungen erhielt *Pettersson* für den Sauerstoff 20,94 %. Wenn man in der Handhabung des Apparates

¹⁾ Sollte durch eine unvorsichtige Manipulation Lauge aus einer Absorptionsröhre aspiriert worden sein, so ist der Apparat gründlich zu reinigen, zuerst mit verdünnter Salpetersäure, dann mit dest. Wasser.

die genügende Übung sich erworben hat, so ist diese Übereinstimmung eine konstante Erscheinung. In einer Reihe von 28 Doppelanalysen habe ich ein einziges Mal eine Abweichung von 0,02% zwischen zwei Bestimmungen ein und derselben Gasprobe konstatiert.

Was nun die Leistungen des Apparates selbst anbetrifft, so habe ich, um mich darüber zu orientieren, eine Reihe von Verbrennungen mit Spiritus in demselben ausgeführt. Folgende Zahlen enthalten die gefundenen Werte für die produzierte Kohlensäure und den verbrauchten Sauerstoff und daneben, die aus der Verbrennung des Alkohol theoretisch berechneten Werte für O und CO₂.

Alkohol 100 %	gefunden	berechnet
1. 22,73 gr.	CO ₂ 42,49 gr.	43,47 gr.
2. 25,98 "	CO ₂ 50,23 "	49,71 "
3. 23,3 "	{ CO ₂ 41,93 "	44,46 "
	{ O 50,18 "	48,62 "
4. 25,6 "	{ CO ₂ 47,89 "	48,98 "
	{ O 54,19 "	53,43 "
5. 20,87 "	{ CO ₂ 38,71 "	39,95 "
	{ O 44,04 "	44,28 "
6. 14,93 "	{ CO ₂ 27,14 "	28,55 "
	{ O 30,54 "	31,16 "

Ein einziges Mal erreicht die Abweichung zwischen den berechneten und wirklich gefundenen Zahlen 5%, in allen anderen Fällen ist der Fehler geringer als 5%. Dieses Resultat kann als sehr befriedigend betrachtet werden, besonders wenn man berücksichtigt, dass bei diesen Alkoholverbrennungen es sich um kurzdauernde Versuche handelt, bei welchen geringe Spiritusmengen verbrannt wurden, so dass die Versuchsfehler relativ gross aus-

fallen mussten. Diese kurzdauernden Versuche sind aber insofern von Wichtigkeit, als sie uns zeigen, bis auf welchen Grad von Genauigkeit wir rechnen können, wenn wir mit unserem Apparate Versuche von bloss einer Stunde anstellen. Es versteht sich von selbst, dass bei Versuchen von längerer Dauer der Fehler entsprechend geringer ausfallen muss.

Unser Apparat arbeitet somit ebenso genau als die genauesten der bisher verwendeten Respirationsapparate, denn selbst mit dem *Tigerstedt'schen* Apparat schwanken die Abweichungen zwischen $-1,57$ und $+2,37\%$, so dass wir einstweilen eine Genauigkeit von 5% als durchaus befriedigend acceptieren müssen. Für die Praxis haben überhaupt Abweichungen von 5% keine grosse Bedeutung.

Nachdem durch diese Versuche die Leistungsfähigkeit des neuen Apparates festgestellt worden war, haben wir eine Reihe von Versuchen an gesunden Menschen ausgeführt, darunter ein 12stündiger Versuch am Tage und ein 13stündiger Versuch während der Nacht. Sämtliche Versuchsindividuen erklärten übereinstimmend, durch den Aufenthalt im Apparate nicht im mindesten inkommodiert geworden zu sein. Beim Nachtversuch schlief die Versuchsperson während der ganzen Nacht. Am Tage verzehrte der im Apparat eingeschlossene Mann eine kopiöse Mahlzeit mit bestem Appetit. Am Ende des Versuchs war kein übler Geruch im Apparat wahrzunehmen. Die Temperatur war bis auf 16° C bei einer Zimmertemperatur von 13° gestiegen.

Nach allen diesen Kontrollversuchen ist man berechtigt zu behaupten, dass der Apparat allen an ihn gestellten Anforderungen genügt: er gestattet Versuche von längerer Dauer ohne Beeinträchtigung der Versuchsperson; die verschiedenen Phasen eines Versuchs können

einzelu verfolgt werden und wir sind imstande, sowohl die CO₂-Produktion als den Sauerstoffverbrauch zu bestimmen.

Zahlreiche Fragen, namentlich auf dem Gebiete des pathologischen Gaswechsels, welche bisher aus Mangel an einer geeigneten Methodik nicht untersucht werden konnten, sind jetzt mit Hilfe unseres neuen Apparates einer Bearbeitung zugänglich. — Ich muss aber, nachdem ich meine bisherige Stellung an der medizinischen Klinik aufgegeben, ihre Bearbeitung einem anderen überlassen.

ANHANG.

Respirationsversuche am Menschen.

Vers. I. J. J. 32 Jahre. 59.5 Ko. gesund.

Analytische Daten.

No.	Zeit	Stand der Gasuhr ¹⁾	Thermo- barograph. ¹⁾	Temp. d. Kammer	Luftanalyse		Bemerkungen
					CO ₂ %	O ₂ %	
	Vorm.						
I	{ 7.16	1141	108.7	14,0	0.61	20.35	sitzend, nüchtern
	{ 8.13	3240	108.5	15,0			
II	{ 8.18	3425	108.52	15,0	0.765	20.14	" "
	{ 9.12	5440	108.55	15,0			
III	{ 9.18	5560	108.65	15,0	0.72	20.17	" "
	{ 10.10	7670	108.67	15,3			
IV	{ 10.15	7890	108.8	15,5	0.86	20.0	10 Uhr 16. Fleischbrühe 5 Dl. 1 Beefsteak 250 gr. Brod 190 gr.
	{ 11.06	9990	108.9	15,0			
V	{ 11.12	10100	108.95	15,0	0.86	20.065	
	{ 12.02	12060	109.05	15,0			
	Nachm.						
VI	{ 12.08	12310	109.1	15,0	0.89	20.02	
	{ 12.57	14250	109.2	15,2			
VII	{ 1.02	14460	109.3	16,0	0.86	20.005	1 Glas Wasser
	{ 1.50	16410	109.4	16,0			
VIII	{ 1.56	16650	109.45	16,0	0.835	20.065	
	{ 2.44	18610	109.42	16,0			
IX	{ 2.50	18860	109.45	16,2	0.83	20.08	
	{ 3.43	20870	109.55				
X	{ 3.49	21100	109.55	16,0	0.82	20.075	
	{ 4.40	23050	109.6	16,0			
XI	{ 4.45	23300	109.6	16,2	0.76	20.11	
	{ 5.36	25215	109.6	17,0			
XII	{ 5.43	25465	109.6	16,5 ⁰	0.75	20.10	
	{ 6.36	27407	109.6	16,5			

¹⁾ Der Kürze halber geben wir für jede Periode nur Anfang und Endablesung wieder. Die CO₂ und O Werte sind Mittelwerte aus 2 Bestimmungen.

Ergebnis.

No.	Zeit	Ventilation pro Stunde	CO ₂ Produktion		O ₂ Verbrauch		R. Q.
			pro Stunde in Liter	pro Kilo u. Min. in cc.	pro Stunde in Liter	pro Kilo u. Min. in cc.	
I	wird nicht mitgerechnet.						
	Uhr	L.					
II	8—9	1955	14.35	4.02	16.21	4.54	0.885
III	9—10	2135	14.73	4.13	17.25	4.80	0.854
IV	10—11	2270	18.84	5.28	22.36	6.28	0.842
V	11—12	2137	17.71	4.96	19.32	5.43	0.916
VI	12—1	2227	18.72	5.24	20.82	5.80	0.899
VII	1—2	2229	18.50	5.18	21.87	6.14	0.845
VIII	2—3	2238	18.02	5.05	20.37	5.70	0.884
IX	3—4	2176	16.63	4.66	18.57	5.18	0.895
X	4—5	2094	16.92	4.74	19.06	5.34	0.888
XI	5—6	2056	15.01	4.20	18.06	5.06	0.831
XII	6—7	2006	14.45	4.05	17.77	4.98	0.812

Vers. II. C. D. 52 J. 55 Ko. Körpergewicht. Ist infolge einer alten Hirnlues mit Tremor der r. Hand und des r. Beines behaftet, sonst gesund. Blieb im Ganzen 13 Stunden im Apparat ohne die geringste Störung zu verspüren. Im Verlaufe der 9^{ten} Stunde brach ein Ventil des Blasebalges, dadurch wurde die Ventilation verlangsamt, so dass der CO₂ Gehalt der Gasproben mit unserem Apparate nicht mehr bestimmt werden konnte.

Analytische Daten.

No.	Zeit	Stand der Gasuhr	Thermo- barograph.	Temp. d. Kammer	Luftanalyse		Bemerkungen
					CO ₂	O ₂	
I	Abends 7.10	7407	108.85	15.0	0.985	19.825	Unmittelbar vor Beginn des Versuchs an C. D. einen Teller Reissuppe.
	8.6	9425	109.3	15.5			
II	8.13	9692	109.35	16.0	0.97	19.82	
	9.04	11630	109.5	16.0			
III	9.11	11925	109.6	16.0	0.72	20.075	Schlaf, etwas Bewegung
	9.56	13910	109.65	16.0			
IV	10.02	14210	109.7	16.0	0.59	20.22	tiefer Schlaf
	10.50	16190	109.85	16.0			
V	10.57	16480	109.9	16.0	0.62	20.16	leichte Bewegung
	11.46	18510	110.0				
VI	11.53	18800	110.05	16.0	0.645	20.135	
	12.41	20807	110.1	16.5			
VII	12.48	21125	110.15	16.0	0.59	20.18	tiefer Schlaf
	1.37	23150	110.1	16.0			
VIII	1.45	23500	110.05	16.0	0.54	20.28	" "
	2.32	25510	109.95	16.0			

Ergebnis.

No.	Zeit	Ventilation pro Stunde	CO ₂ Produktion		O ₂ Verbrauch		R. Q.
			pro Stunde in Liter	pro Kilo u. Min. in cc.	pro Stunde in Liter	pro Kilo u. Min. in cc.	
	Abds.						
I	7—8	2004.8	19.15	5.8	22.58	6.84	0.848
II	8—9	2083.5	19.58	5.93	24.60	7.45	0.796
III	9—10	2414.8	16.67	5.05	22.4	6.8	0.744
IV	10—11	2254	12.62	3.83	17.55	5.32	0.719
V	11—12	2260	13.34	4.04	19.4	5.9	0.687
	Mgs.						
VI	12—1	2279.6	14.02	4.25	19.9	6.0	0.705
VII	1—2	2223.6	12.75	3.86	18.89	5.72	0.675
VIII	2—3	2308.2	11.77	3.57	16.56	5.02	0.711

Die hohen Werte für CO₂-Abgabe und O-Verbrauch in den ersten Stunden rühren offenbar vom Tremor her.

Berechnung eines Versuchs.

Beispiel: Vers. II. No. 5.

Ventilation in 49 Min. = 2030 L. = 2485.7 L. pro Stunde.

2485.7 L. bei einem mittl. Stand des Thermobarographen von 109.95 =
2260.7 L. bei 0° und 760 mm Hg.

2260.7 L. enthalten bei einem CO₂-Gehalt von 0,62 %

14.017 L. CO₂ — CO₂ Gehalt der einströmenden Luft (0.03 %) =
0.678 L. = **13.339** L. CO₂.

100 — 20.78 (0.62 + 20.16) = 79.22 % N. in der Ventilationsluft.

2260.7 L. Luft enthalten demnach 1791 L. N.

Bei einem normalen Gehalt der Luft von 79.04 N und 20.96 O₂ entsprechen
1791 L. N 474.9 L. O₂.

Der Sauerstoffgehalt der Ventilationsluft beträgt 20.78 — 0.62 = 20.16 %;
2260 L. enthalten also 455.5 L. O₂. Der Sauerstoffdeficit beträgt somit
474.9 — 455.5 = **19.4** L.

Bei Versuchen von kurzer Dauer muss man selbstverständlich die erste Versuchsstunde, sowie die Zusammensetzung der Kammerluft am Ende des Versuchs berücksichtigen.

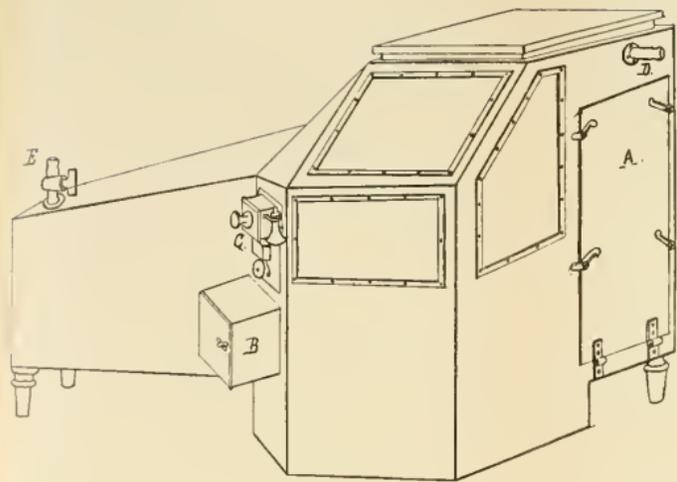


Fig. 1

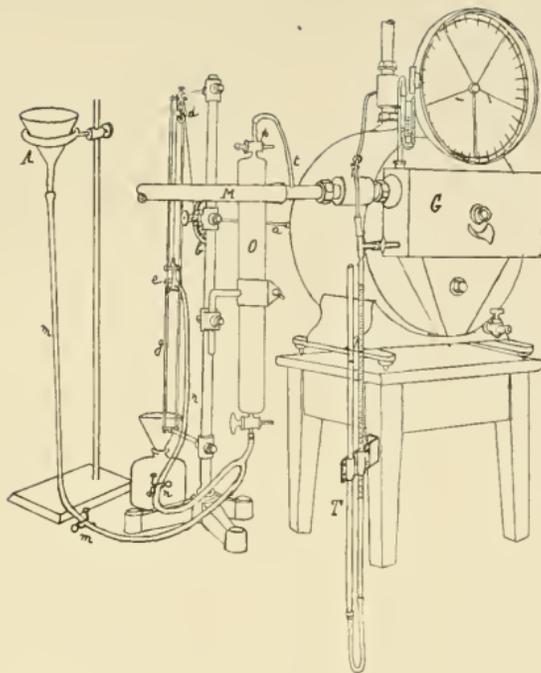


Fig. 2

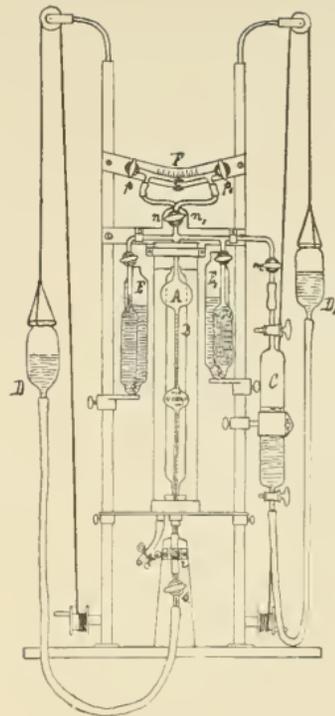


Fig. 3

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel](#)

Jahr/Year: 1904

Band/Volume: [15_1904](#)

Autor(en)/Author(s): Jaquet Alfred

Artikel/Article: [Ein neuer Apparat zur Untersuchung des respiratorischen Stoffwechsels des Menschen 252-271](#)