

II.

Respirationsapparate

von

Robert Tigerstedt in Helsingfors.

(Mit 52 Textfiguren.)

Einleitung.

Bei seinen teilweise im Verein mit Laplace und Seguin ausgeführten Versuchen über die Respiration benutzte Lavoisier folgende Methoden.

1. Er schloß einen Sperling in eine durch Quecksilber abgeschlossene und mit gewöhnlicher Luft gefüllte Glasglocke von 31 Kub.-Zoll Inhalt ein und ließ das Tier dort bis zum Tode bleiben. Danach wurde einer Probe der rückständigen Luft kaustisches Alkali hinzugetan und dadurch die gebildete Kohlensäure resorbiert; der Gehalt der Luft an diesem Gas betrug fast $\frac{1}{6}$ des ursprünglichen Luftvolumens.

Im Verein mit Laplace wendete er die gleiche Methode auch am Meerschweinchen an, nur war die Glocke mit reinem Sauerstoff gefüllt und hatte einen Inhalt von etwa 250 Kub.-Zoll. Auch blieb das Tier nicht bis zum Tode in der Glocke, sondern wurde nach einiger Zeit lebend herausgenommen. Das Hineinbringen wie die Herausnahme des Tieres fand durch das Quecksilber hindurch statt. Nach beendetem Versuch wurde die in der Glocke vorhandene Kohlensäure durch kaustisches Alkali resorbiert und die dadurch bewirkte Volumenabnahme notiert.

2. Ebenfalls im Verein mit Laplace schloß Lavoisier ein Meerschweinchen in einen Behälter ein, durch welchen während des Versuches Luft ununterbrochen geleitet wurde. In einem „zu diesem Zwecke sehr bequemen Apparate“ wurde die Luft komprimiert und durch eine gläserne Röhre in das Gefäß getrieben. Durch eine andere U-förmig gebogene Röhre trat die Luft aus dem Gefäß heraus und mußte dann zwei nacheinander geschaltete Flaschen mit kaustischem Alkali passieren, worin die Kohlensäure absorbiert und durch Wägen der Flaschen bestimmt wurde. Der vom Tier abgegebene Wasserdampf wurde in der U-förmigen Röhre kondensiert, was nach dem Dafürhalten der Autoren so vollständig stattfand, daß die Gewichtszunahme der Absorptionsflaschen ausschließlich auf Rechnung der Kohlensäure gebracht werden konnte.

3. Im Verein mit Seguin schloß Lavoisier ein Meerschweinchen in ein Gefäß mit reinem Sauerstoff ein; der Verschuß wurde hier durch Wasser

hergestellt. Das Tier ruhte auf einem Boden 6 bis 8 Zoll oberhalb der Wasseroberfläche. Durch kaustisches Alkali wurde die Kohlensäure absorbiert, je nach dem sie vom Tiere abgegeben wurde, und von Zeit zu Zeit wurde der verbrauchte Sauerstoff durch Zufuhr von bekannten Mengen reinen Sauerstoffs ersetzt.

4. Bei seinen im Verein mit Seguin am Menschen ausgeführten Versuchen benutzte Lavoisier eine Art von Gesichtsmaske, in welcher der Kopf der Versuchsperson vollständig eingeschlossen war. Selber beschrieb Lavoisier diese Methode nicht näher; Seguin hat aber darüber folgende Beschreibung mitgeteilt.

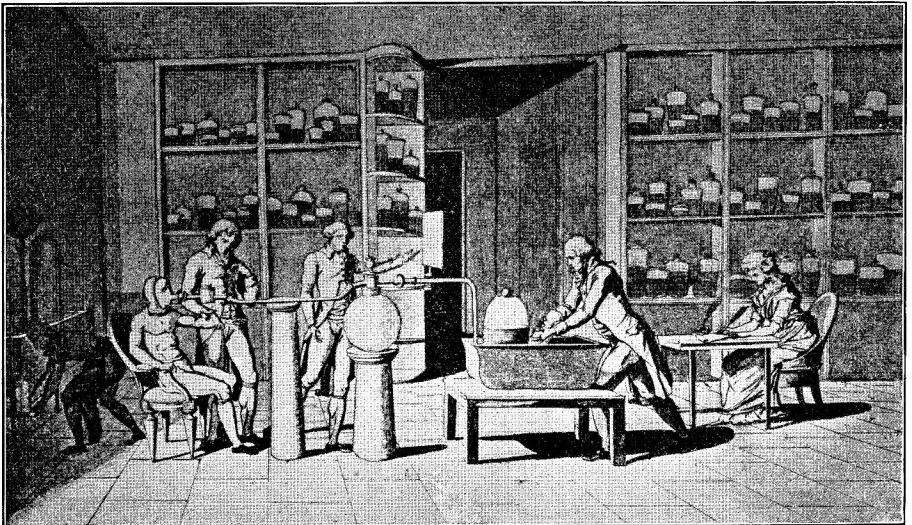


Fig. 1.
Lavoisiers Versuchsanordnung.

Ich füllte eine große Glocke mit atmosphärischer Luft. Die aus Kupfer hergestellte Maske wurde angelegt und um den Hals herum luftdicht gekittet. Die vordere Hälfte der Maske stand durch eine Röhre mit der Glocke in Verbindung. Je nachdem das Luftvolumen in der Glocke abnahm, wurden neue Luftmengen der gleichen Zusammensetzung hinzugelassen, so daß die Sperrflüssigkeit der Glocke immer auf demselben Niveau stand. Die expirierete Luft wurde durch Flaschen mit kaustischem Alkali geleitet.

In seinem Buch über Lavoisier hat Grimaux Faksimiles nach zwei Lavierungen mitgeteilt, wo die Gattin Lavoisiers die Versuchsanordnung bei den betreffenden Versuchen abgebildet hat. Diese Zeichnungen, von welchen die eine in Fig. 1 wiedergegeben ist, stimmen mit der Beschreibung Seguins vollständig überein, geben uns indessen keine nähere Kenntnisse der Einzelheiten, z. B. wie die inspirierte Luft von der expirierten getrennt wurde, ob dies mittels Hähne oder durch selbsttätige Ventile stattfand.

Die vier Methoden, die Lavoisier benutzt hatte, blieben für die gesamte künftige Methodik maßgebend. Seine zweite Methode ist vor allem von

Pettenkofer zu großer Vollendung gebracht worden; seine dritte Methode ist das Vorbild der von Regnault ausgearbeiteten und von vielen späteren Autoren weiter ausgebildeten Methode gewesen; und die vierte Methode ist gleichfalls in vielen Modifikationen bis zu der letzten Zeit in großem Umfange angewendet worden.

Bei allen Untersuchungen über den respiratorischen Gaswechsel, einschließlich des Gaswechsels durch die Haut, kommen vor allem die Sauerstoffaufnahme, die Kohlensäureabgabe und die Abgabe von Wasserdampf in Betracht, und ein vollständiger Versuch muß daher alle diese drei Quantitäten berücksichtigen. Es bietet indessen bei den meisten Methoden mehr oder minder große Schwierigkeiten, die Sauerstoffaufnahme und die Abgabe von Wasserdampf zu bestimmen, und man hat sich daher, sowohl in älterer als in neuerer und neuester Zeit, vielfach mit der alleinigen Bestimmung der Kohlensäureabgabe begnügen lassen. Daß hierdurch eine Unvollständigkeit in den tatsächlichen Aufschlüssen entsteht, ist ohne weiteres ersichtlich.

Welche Bedeutung hat dann die alleinige Bestimmung der Kohlensäureabgabe?

Die vom Körper abgegebene Kohlensäure stammt zum Teil aus dem zersetzten Eiweiß, zum Teil aus zersetzten Fetten und Kohlehydraten. Bei länger dauernden Versuchen, wo die N-abgabe im Harn unschwer bestimmt werden kann (der Einfachheit wegen wird der Kot als reiner Verlust der aufgenommenen Nahrung aufgefaßt), läßt sich die dem zersetzten Eiweiß entsprechende Kohlensäuremenge leicht berechnen, da wir wissen, daß im Eiweiß N:C gleich 1:3,28 ist, sowie daß im Harn auf 1g N rund etwa 0,61 g C kommt: also wird die aus Eiweiß stammende Kohlenstoffmenge in der expirierten Luft pro 1g N im Harn 2,67 g betragen, und die gesamte abgegebene Kohlensäure minus $2,67 \times N \times \frac{11}{3}$ stellt also die durch Zersetzung von Fetten und Kohlenhydraten entstandene Kohlensäure dar; dieser Rest ist auf diese beiden Gruppen von Nahrungsstoffen zu verteilen.

Wo die Stickstoffabgabe im Harn nicht bestimmt wird, sollte dennoch die abgegebene Kohlensäure auf alle drei Gruppen von Nahrungsstoffen verteilt werden. Es handelt sich aber in der Regel um einen verhältnismäßig geringen Fehler, wenn in diesen Fällen aller Kohlenstoff als aus N-freien Nahrungsstoffen stammend aufgefaßt wird, denn z. B. bei der gewöhnlichen Kost des Menschen beträgt die Energieentwicklung aus Eiweiß nur etwa $\frac{1}{5}$ der gesamten Energieentwicklung (vgl. auch unten S. 74 über den Brennwert der abgegebenen Kohlensäure). Wenn aber das Eiweiß in großer Menge aufgenommen wird, wie z. B. bei reiner Fleischdiät beim Hunde, ist es bei der Durchführung der hierhergehörigen Versuche notwendig, den Einfluß des zersetzten Eiweißes auf die Kohlensäureabgabe genau zu berücksichtigen, was sich mit genügender Exaktheit nur bei gleichzeitiger Bestimmung der N-abgabe im Harn durchführen läßt.

Die Verteilung des ausgeschiedenen Kohlenstoffes auf Fett und Kohlehydraten, d. h. $C_{\text{tot}} = C_{\text{Fett}} + C_{\text{Kh}}$, ist an und für sich nicht ausführbar, da wir ja hier eine Gleichung mit zwei unbekanntem haben. Darum kann man indessen nicht sagen, daß die alleinige Bestimmung der Kohlenstoffabgabe völlig wertlos sei, denn jedenfalls müssen doch Veränderungen ihrer Größe,

besonders wenn sie nicht zu klein sind, in vielen Fällen als Ausdruck von Veränderungen der im Körper stattfindenden Verbrennung dienen können.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß die Kohlensäureabgabe, pro Stunde und kg Körpergewicht berechnet, beim erwachsenen Menschen nur innerhalb ziemlich enger Grenzen variiert, wenn sich das Individuum möglichst ruhig verhält und seit etwa 12 Stunden nichts genossen hat. Die Zahl der einschlägigen Beobachtungen ist so groß, daß wir ohne Bedenken den Einfluß der Zufälligkeiten gänzlich ausschließen können. Da wir andererseits uns nicht gut vorstellen können, daß die gesamte Wärmebildung im Körper unter möglichst gleichen Umständen und vor allem bei dem hier berücksichtigten Zustand bei verschiedenen Individuen größere Variationen darbieten würde — was auch durch direkte kalorimetrische Bestimmungen bestätigt wird —, folgt, daß die vom Körper abgegebene Kohlensäure in diesen Fällen den gleichen Nahrungstoffen in etwa gleicher gegenseitiger Menge entstammen muß.

Wenn nun infolge eines Eingriffes, welcher die Zusammensetzung des Körpers und der zu seiner Verfügung stehenden Nahrungsstoffe nicht verändert, eine Veränderung der Kohlensäureabgabe erscheint, so stellt diese Veränderung unbedingt den Beweis dafür dar, daß sich die Verbrennung im Körper in entsprechender Richtung verändert — ab- oder zugenommen — hat. Nur betreffend die absolute Größe dieser Veränderung kann man im Zweifel sein, da es ja nicht ausgeschlossen ist, daß der gegenseitige Anteil des Fettes und der Kohlehydrate an der Verbrennung jetzt eine andere als im Beginn des Versuches geworden sein kann. Es bleibt also auch in diesem verhältnismäßig einfachen Falle bei der alleinigen Bestimmung der Kohlensäure eine Unsicherheit bestehen, die sich nicht vermeiden läßt.

Bei Aufnahme von Nahrung stellen sich die Verhältnisse in vielen Fällen noch komplizierter. Eine reiche Erfahrung hat ergeben, daß bei Zufuhr von Kohlehydraten diese vor dem Fette angegriffen werden, und daß, bei längeren Perioden (24 Stunden) wenigstens, die gesamten vom Darne aufgesaugten Kohlehydrate vor dem Nahrungsfett und dem Körperfett verbrannt werden.

Nun ist der Verbrennungswert für 1 g Kohlensäure wesentlich verschieden je nachdem sie aus Eiweiß, Fett oder Kohlehydraten stammt, nämlich bezw. 2,84, 3,37, 2,57 Kal. Im nüchternen Zustande lebt der Körper zum großen Teil auf Kosten seines Fettes. Bei Aufnahme von Kohlehydraten verdrängen diese zum großen Teil das Fett. Selbst wenn keine Zunahme der absoluten Wärmebildung hierbei stattfinden würde, muß daher jedenfalls die Kohlensäureabgabe ansteigen, und zwar in einem extremen Falle, wenn vor der Nahrungsaufnahme nur Fett und nach der Nahrungsaufnahme nur Kohlehydrate verbrannt werden, um nicht weniger als etwa 24 Proz. Unter diesen Umständen begegnet es daher großen Schwierigkeiten, aus der alleinigen Bestimmung der Kohlensäure zu entscheiden, ob, in welchem Umfange und in welcher Richtung die Verbrennung im Körper sich verändert hat.

Sicherere Resultate lassen sich bei Versuchen von etwa 24 Stunden Dauer erzielen, wenn dabei nicht allein die Kohlensäureabgabe, sondern auch die Menge und Zusammensetzung der Kost und des Kotes sowie die N- (und C-) Abgabe im Harn bestimmt werden. Aus dem Vergleich der Einnahmen mit

den Ausgaben im Kot findet man dann die Größe der im Darne stattgefundenen Aufsaugung von Eiweiß, Fett und Kohlehydraten.

Die N-Menge im Harn ergibt die Menge von zersetztem Eiweiß und läßt uns den aus diesem stammenden Kohlenstoff in der expirierten Luft berechnen. Der übrige Kohlenstoff, der aus Fetten und Kohlehydraten stammt, läßt sich dann auf diese beide verteilen, wenn man annimmt, daß in erster Linie die aufgesaugten Kohlehydrate und dann erst die Fette zugrunde gegangen sind.

Daß diese Berechnungsart berechtigt ist und daß man also unter den hier berücksichtigten Umständen dadurch zu ganz befriedigenden Resultaten kommen kann, geht direkt aus den zahlreichen Versuchen hervor, bei welchen Atwater und Benedict (5) den Stoffwechsel wie hier angegeben wurde und gleichzeitig die dabei stattfindende Wärmeabgabe kalorimetrisch bestimmten: die Übereinstimmung zwischen der aus dem Stoffwechsel berechneten Wärmebildung und der direkt bestimmten Wärmeabgabe war so genau, wie man es sich nur wünschen konnte.

Ein Stoffwechselversuch, bei welchem alle Einnahmen und Ausgaben mit Ausnahme des Sauerstoffverbrauches und der Abgabe von Wasserdampf bestimmt wurden, kann also im großen und ganzen sehr befriedigende Resultate geben.

Bei Versuchen von kurzer Dauer, wo weder die Kost noch der Kot oder Harn in Betracht gezogen werden können und wo also nur die Kohlensäureabgabe bestimmt wird, dürfte in vielen Fällen vorteilhaft sein, die von Benedict und Milner (6, S. 209) auf Grund ihrer respirations-kalorimetrischen Untersuchungen gefundenen kalorischen Werte der Kohlensäure unter verschiedenen Bedingungen zu benutzen, weshalb ich sie hier zusammenstelle.

Charakteristik	Für 1g CO ₂ ; Kal.			Für 1g C Kal. Mittel	Zahl der Versuche
	Mittel	Maximum	Minimum		
1. Ruheversuche bei kohlehydratreicher Diät; für 24 Stunden .	2.89	2.99	2.83	10.60	5
2. Arbeitsversuche bei kohlehydratreicher Diät; für 24 Stunden	2.76	2.82	2.70	10.12	2
3. Arbeitsversuche bei fettreicher Diät; für 24 Stunden	3.04	3.09	2.99	11.15	3
4. Arbeitsversuche bei gew. Diät; für 24 Stunden	2.85	—	—	10.45	1
5. Ruheversuche bei knapper Diät; für 24 Stunden	3.12	3.24	2.88	11.44	10
1a Ruheversuche bei kohlehydratreicher Diät; 1—7 Uhr morgens.	3.02	3.24	2.86	11.07	5
2a Arbeitsversuche bei kohlehydratreicher Diät; 1—7 Uhr morgens	2.87	2.98	2.78	10.52	2
3a Arbeitsversuche bei fettreicher Diät; 1—7 Uhr morgens . . .	3.26	3.39	3.16	11.95	3
4a Arbeitsversuche bei gew. Diät; 1—7 Uhr morgens	3.27	—	—	11.98	1

Im Durchschnitt für 24 Stunden (Nr. 1—4) beträgt der kalorische Wert der Kohlensäure also 2.89 und der des Kohlenstoffes 10.58 Kal. Für die Zeit 1 bis 7 Uhr morgens ist der kalorische Wert für 1g Kohlensäure im Mittel 3.11 und für 1g Kohlenstoff 11.38 Kal. Vgl. auch die Angaben Benedicts über den kalorischen Wert der Kohlensäure bei hungernden Menschen (7, S. 506).

Wenn die Sauerstoffaufnahme gleichzeitig bestimmt werden kann, lassen sich, besonders wenn auch die N-Abgabe im Harn bestimmt wurde, viel richtigere Resultate erhalten. In diesem Falle kann, nach Abzug des dem zersetzten Eiweiß entsprechenden Sauerstoffs und Kohlenstoffes, vor allem der Anteil des Fettes und der Kohlehydrate an der Verbrennung genau berechnet werden.

Angenommen die Fette haben einen mittleren C-Gehalt von 76Proz. und die Kohlehydrate (Glukose) einen von 40%. Zur vollständigen Oxydation haben die Fette pro 1g Substanz 2.887g und die Glukose 1.067g Sauerstoff nötig. Wir können also folgende Gleichungen aufstellen, wo C_{tot} und O_{tot} die direkt gefundenen Gesamtmengen des in der Atmung abgegebenen Kohlenstoffes, bezw. aufgenommenen Sauerstoffes, x die zugrunde gegangene Fettmenge und y die verbrannte Menge von Glukose (in g) bezeichnen.

$$\begin{cases} 0.76 x + 0.40 y = C_{\text{tot}} \\ 2.887 x + 1.067 y = O_{\text{tot}} \end{cases}$$

Aus diesen Gleichungen erhalten wir

$$\begin{aligned} x \text{ (die verbrannte Fettmenge)} &= 1.163 O_{\text{tot}} - 3.102 C_{\text{tot}} \\ y \text{ (die verbrannte Glukosemenge)} &= -2.210 O_{\text{tot}} + 8.394 C_{\text{tot}}. \end{aligned}$$

Wenn also die CO_2 Abgabe $4001 = 786.7\text{g}$ mit 214.5g C und die O_2 Aufnahme $5001 = 715.5\text{g}$ ist, so beträgt die Menge des zersetzten Fettes, bezw. der zersetzten Glukose:

$$\begin{aligned} x \text{ (Fett)} &= 1.163 \times 715.5 - 3.102 \times 214.5 \\ y \text{ (Glukose)} &= -2.210 \times 715.5 + 8.394 \times 214.5, \\ &\text{d. h. } 166.7\text{g Fett mit } 126.7\text{g C,} \\ &\text{und } 219.1\text{g Glukose mit } 87.7\text{g C.} \end{aligned}$$

Die Bestimmung der Sauerstoffaufnahme hat auch in der Beziehung eine große Bedeutung, daß der kalorische Wert des Sauerstoffes verhältnismäßig wenig wechselt, wenn er zur Oxydation von Eiweiß, Fett oder Kohlehydraten benutzt wird (8, S. 29):

Pro 1g O Kal; nach

	Loewy	Magnus-Levy	Pflüger	E. Voit
Eiweiß	3.14	3.00	3.32	3.28
Fett	3.28	3.27	3.29	3.27
Stücke oder Rohrzucker }	3.53	3.56	3.53	3.53

Nach Pflüger und E. Voit ist der kalorische Wert des verbrauchten Sauerstoffes bei Eiweiß und Fett fast identisch, bei Kohlehydraten nur etwa 7% größer. In Benedicts Versuchen (7, S. 506) betrug im Durchschnitt von 10 Versuchen bei gemischter Kost der kalorische Wert für 1g aufgenommenen Sauerstoff 3.33 Kal, mit den Grenzwerten 3.46 und 3.24 Kal.

Endlich läßt sich auch aus dem respiratorischen Quotienten CO_2/O_2 die Wärmebildung unschwer berechnen. Wenn wir, wie bisher, fortfahrend annehmen, daß die N-Abgabe im Harn direkt bestimmt wurde und die dem zersetzten Eiweiß entsprechenden C- und O-Mengen in Abzug

gebracht worden sind, so wird der betreffende Quotient einzig und allein von Fett und Kohlehydraten beeinflusst. Beim Fett ist er 0.707, bei den Kohlehydraten 1.000. Da 1 l Sauerstoff 1.431 g wiegt, entsprechen 1 l verbrauchtem Sauerstoff bei Fett etwa 4.693 Kal. und bei Kohlehydraten 5.051 Kal. Solange es sich also nur um die genannten Stoffe handelt, ist der Brennwert pro 1 l Sauerstoff bei einem RQ von 0.707 gleich 4.693 und bei einem von 1.000 5.051 Kal. Das Anwachsen des respiratorischen Quotienten von 0.707 auf 1.000, d. h. um 0.293, erhöht also den Wärmewert pro 1 l. verbrauchten Sauerstoffes um 0.358 Kal. Auf einen Zuwachs des Quotienten um 0.01 entfällt eine Erhöhung des Wärmewertes pro l Sauerstoff um $0.358/29.3 = 0.0122$ Kal. (Zuntz 9, S. 96).

In Versuchen, wo außerdem noch die Abgabe von Wasser sowohl in den festen und flüssigen als in den gasförmigen Exkreten bestimmt wurde, berechnen Benedict und Milner (6, S. 71) die Versuchsergebnisse folgendermaßen.

Die elementare Zusammensetzung der Körpersubstanzen ist in % durchschnittlich

	N	C	H	O	Asche
Eiweiß	16.67	52.80	7.00	22.00	1.53
Fett	—	76.10	11.80	12.10	—
Kohlehydrate (Stärke)	—	44.40	6.20	49.40	—
Wasser	—	—	11.19	88.81	—

Mit Vernachlässigung der Asche lassen sich aus diesen Daten folgende Gleichungen aufstellen, in denen **E**, **F**, **K** und **W** die vorhandenen Mengen von bzw. Eiweiß, Fett, Kohlehydraten und Wasser — alles in g — bezeichnen:

$$0.1667 E = N$$

$$0.4440 K + 0.7610 F + 0.5280 E = C$$

$$0.1119 W + 0.0620 K + 0.1180 F + 0.0700 E = H$$

$$0.8881 W + 0.4940 K + 0.1210 F + 0.2200 E = O$$

Aus diesen Gleichungen erhält man folgende Gleichungen für die einzelnen Nahrungsstoffe:

$$\text{Eiweiß} = 6.0 N$$

$$\text{Fett} = 0.005 C + 9.693 H - 1.221 O - 2.476 N$$

$$\text{Kohlehydrate} = 2.243 C - 16.613 H + 2.093 O - 2.892 N$$

$$\text{Wasser} = -1.248 C + 7.920 H + 0.128 O + 0.460 N$$

In einem Hungerversuche (7 S. 38) wurden am ersten Tage vom Körper abgegeben 11.84 g N, 191.57 g C, 279.75 g H und 2703.57 g O; aufgenommen wurden 629.42 g O und der Verlust des Körpers an O betrug also 2074.15 g.

Wenn diese Zahlen in den obigen Formeln eingesetzt werden, finden wir, daß an diesem Tage 71.04 g Eiweiß, 150.72 g Fett, 89.16 g Kohlehydrate (Glykogen) im Körper umgesetzt worden sind und außerdem noch 2247.48 g Wasser von den Körperflüssigkeiten (kein Oxydationsprodukt) abgegeben worden sind.

Es kommen aber, wie selbstverständlich, Fälle vor, wo ein Ansatz von Eiweiß, Fett oder Kohlehydraten im Körper erfolgt ist. Ein Eiweißansatz geht aus der N-Bilanz hervor und es beignet also keinen Schwierigkeiten, den entsprechenden C und O im Gaswechsel zu berechnen. Wenn das Nahrungsfett als solches oder Kohlehydrate als Glykogen angesetzt werden,

geht dies direkt daraus hervor, daß aus der zugeführten Nahrung C, H und O in entsprechenden Mengen im Körper zurückbehalten sind.

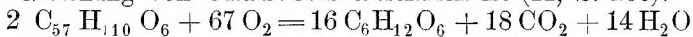
Findet aber eine Neubildung von Fett auf Kosten der Kohlehydrate statt, so steigt der respiratorische Quotient weit über 1.000.

In 191.35g Dextrose finden sich 76.54g C, 12.76g H und 102.05g O; in 100g Fett, nach Bleibtreu (10, S. 356), 76.54g C, 11.94g H und 115.2g O. Wenn die Dextrose in der Weise in Fett verwandelt wird, daß der gesamte Kohlenstoff ins neugebildete Fett übergeht, so bleiben von der Dextrose noch zurück 0.82g H und 90.53g O. Vom letzteren verbinden sich 6.56g mit dem Wasserstoff zum Wasser; der rückständige Sauerstoff, 83.97g, kann noch 78.71g weiteres Kohlehydrat vollständig verbrennen und liefert dabei 47.23g Wasser und 115.45g CO₂. Der ganze Vorgang verläuft also folgendermaßen:

270.06g Traubenzucker = 100g Fett + 54.61g Wasser + 115.45g Kohlensäure.

Ohne Sauerstoff aufzunehmen kann der Körper also bei der Bildung von 100g Fett aus Kohlehydraten 115.45g = etwa 59l Kohlesäure ausscheiden. Diese Kohlensäure, zu der sonst gebildeten addiert, muß natürlich den respiratorischen Quotienten wesentlich erhöhen, wie Bleibtreu durch Beobachtungen an gemästeten Gänsen direkt bestätigt hat.

Andererseits ist es möglich, daß bei einer eventuellen Kohlehydratbildung aus Fett sehr niedrige respiratorische Quotienten erscheinen, wie z. B. nach folgender Gleichung von Chauveau ersichtlich ist (11, S. 200):



Hier wäre der respiratorische Quotient $18/67 = 0.268$.

Damit habe ich indessen gar keine Stellung zu der Frage nehmen wollen, ob Fett als Glykogenbildner angesehen werden darf.

Erstes Kapitel.

Allgemeines über Respirationsapparate. — Ventile.

Bei allen Versuchen über den respiratorischen Gaswechsel, gleichgültig welche spezielle Methoden dabei in Anwendung kommen, müssen gewisse allgemeine Prinzipien beobachtet werden, deren Vernachlässigung die Genauigkeit der erzielten Resultate in hohem Grade vereiteln kann.

Es ist von vornherein klar, daß jede Undichtigkeit im Apparate sorgfältig vermieden werden muß. Zu diesem Zwecke müssen die Hähne gut geschliffen und gut gefettet sein; wo man darüber ganz sicher sein will, daß sie wirklich dicht schließen, benutzt man Hähne mit Quecksilberschluß. Bei allen Verbindungen zwischen starren Röhren und Kautschukschläuchen müssen die letzteren mittels weichen Kupferdrahtes auf die Röhren fest zugebunden werden, denn sonst kann man nie sicher sein, daß die Schläuche wirklich schließen und daß sie nicht ventilartig die Luftbewegung in der einen Richtung verhindern, in der anderen aber gestatten.

An und für sich sind die Kautschukschläuche immer zu vermeiden, wo dies nur möglich ist. In sehr vielen Fällen ist man indessen gezwungen,

solche zu benutzen; dann muß man sich durch genaue Untersuchung von ihrer Güte vergewissern und nur Schläuche mit genügender Wandstärke wählen, sowie die Leitungen, wenn nur irgend möglich, unter Wasser bringen. Die austretenden Luftperlen zeigen dann augenblicklich an, ob irgendwo eine Undichtigkeit stattfindet.

Bei vielen Apparaten läßt es sich indessen nicht durchführen, zum größeren oder kleineren Teil die Vorrichtungen unter Wasser zu halten. Dann kann man ihre Dichtigkeit dadurch prüfen, daß man die ganze Luftmasse im Apparate durch Leuchtgas verdrängt und dann längs allen Teilen des Apparates eine brennende Kerze führt. (Vorsicht wegen Explosion!) Bei größeren Respirationsapparaten ist diese Probe nur in beschränktem Umfange möglich. Hier, wie übrigens auch bei den kleineren Apparaten, kann man zur Prüfung der Dichtigkeit, nach Verschluß aller Öffnungen, den Druck im Apparate etwas über den atmosphärischen Druck steigern, bezw. unter den atmosphärischen Druck senken, und an einem mit dem jetzt geschlossenen Systeme verbundenen Manometer beobachten, ob der hergestellte Druckunterschied bestehen bleibt oder nicht.

Durch Bestreichen mit Kopalfirmis werden die Schlauchverbindungen in der Luft viel dauerhafter als sonst.

Bei allen Versuchen über den respiratorischen Gaswechsel muß die Temperatur an genügend zahlreichen Orten innerhalb des Apparates gemessen werden. Auch kann man den ganzen Apparat in einer Wasserwanne mit konstanter Temperatur halten, bezw. durch besondere Vorrichtungen die Temperatur im Respirationsapparate selber auf einer bestimmten Gradzahl regulieren. Bei etwas größeren Apparaten ist es immer vorteilhaft und bei einigen ganz notwendig, durch einen elektrisch getriebenen Ventilator die Luft im Apparate zu bewegen und mischen, wodurch die Temperaturdifferenzen in verschiedenen Teilen des Apparates wesentlich ausgeglichen werden.

Ferner muß dafür gesorgt werden, daß die Luftproben wirklich die durchschnittliche Zusammensetzung der zu analysierenden Luft haben, denn sonst könnten die bedenklichsten Fehler entstehen. Auch hier leistet der Ventilator ausgezeichnete Dienste.

Über die Art und Weise, wie die Analysen ausgeführt werden, verweise ich auf die diesem Gegenstand speziell gewidmeten Arbeiten, z. B. F. Müllers Darstellung im Handbuch der biochemischen Arbeitsmethoden von Abderhalden.

Zum Schluß sei noch darauf aufmerksam gemacht worden, daß es vorteilhaft ist, wenn man in der Regel den eigentlichen Versuch, d. h. Ablesungen und Entnahmen von Luftproben erst dann beginnen läßt, wenn das Versuchsindividuum schon eine Zeitlang im Apparate eingeschlossen und der Apparat im Gange gewesen ist. Hierdurch schließt man die störenden Einwirkungen aus, welche durch das Hineinbringen des Versuchsindividuum in den Apparat notwendig auftreten müssen. Bei mehreren Apparaten kleineren Umfanges erreicht man noch den wichtigen Vorteil, daß die Luft dann ein gewisses Kohlensäureprozent erhalten hat, das sich später nicht besonders verändert; daß sie mit Wasserdampf gesättigt worden ist, soweit sie dies überhaupt wird; daß die Wirkung des Versuchsindi-

viduums auf die Temperatur des Apparates zur Entwicklung gelangt ist und sich darauf nur in geringem Grade verändert (vgl. Krogh, 92).

Betreffend die Berechnung der Versuchsergebnisse müssen alle Gasvolumina auf Trockenheit wie auf 0° C. und 760 mm Barometerdruck reduziert werden. Da die Arbeit von Landolt und Börnstein in jedem physiologischen Institut vorhanden sein muß, brauche ich nicht die entsprechenden Tabellen hier aufzunehmen.

Bei 0° und 760 mm Hg wiegt 1 l Kohlensäure 1.9667 g und 1 l Sauerstoff 1.431 g; 1 g Kohlensäure entspricht also 0.5085 l und 1 g Sauerstoff 0.699 l.

1 g Kohlensäure enthält 0.2727 g Kohlenstoff.

1 g Kohlenstoff bildet 3.667 g Kohlensäure.

Wenn die Kohlensäureabgabe pro 1 Minute x ccm beträgt, ist sie pro 1 Stunde in g 0.1180 x .

Wenn der Sauerstoffverbrauch pro 1 Minute x ccm beträgt, ist sie pro 1 Stunde in g 0.08586 x .

Bei vielen unter den im folgenden zu beschreibenden Apparaten kommen Ventile verschiedener Konstruktion vor. Um Wiederholungen zu vermeiden, stelle ich hier zunächst die wichtigsten Typen übersichtlich zusammen.

A. Ventile mit Flüssigkeitsverschluß.

Diese Ventile dienen nicht allein zur Regulation der normalen Luftströmung im Apparate, sondern können auch, wenn sie mit Lauge beschickt werden, zur Absorption der Kohlensäure dienen.

1. Das Ventil von Müller (89) besteht aus einem Glasgefäße, das mit einem gut schließenden, doppelt durchbohrten Pfropfen verschlossen ist (Fig 2). In den Durchbohrungen befinden sich zwei rechtwinklig gebogene Glasröhren, von denen die eine B fast bis an den Boden des Gefäßes A reicht, die andere C aber sofort unterhalb des Pfropfens endet. In dem Gefäße A befindet sich Quecksilber oder Wasser. Wie ohne weiteres ersichtlich, gestattet das Ventil die Luftströmung von B nach C, nicht aber von C nach B; je nach der Richtung, in welcher es eingeschaltet wird, dient es also als Inspirations- oder Expirationsventil.

2. Voits Ventil (53, S. 554) besteht aus einem in der Mitte bauchig ausgetriebenen Glasgefäß und zwei nach aufwärts gerichteten Schenkeln, dessen Form und Stellung aus der Fig. 3 ersichtlich ist. Die beiden Ventile enthalten Quecksilber und sind in entgegengesetzter Richtung geneigt, so daß das Quecksilber den tieferen Teil absperrt, in dem einen den linken Schenkel, in dem anderen aber den rechten. Die Einstellung der Ventile kann so fein gemacht werden, daß ein sehr schwacher Druck genügt, die kurze Quecksilbersäule in dem tieferen Schenkel etwas herabzudrücken und den Weg frei zu machen.

3. Kühns (40, S. 273) Ventile (Fig. 4) bestehen aus einem 5 cm hohen und 2 cm weiten zylindrischen Gläschen (a), welches nach oben in zwei 3 cm lange und 0.5 cm weite Glasröhren b und c endet. An die eine dieser Röhren (b) ist im Innern des Zylinders ein etwas dünneres bis fast auf den

Boden reichendes und unten schräg abgeschnittenes Röhrcben (d) angeschmolzen. Das Gläschen a, welches mit soviel Quecksilber gefüllt wird, daß die untere schräge Öffnung des Röhrcbens d durch dasselbe geschlossen

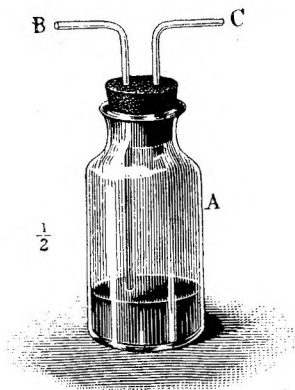


Fig. 2.
Müllers Ventil.

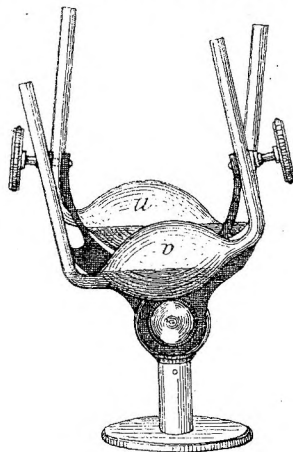


Fig. 3.
Voits Ventil.

wird, ist in einem Messingfuß eingesetzt und kann mehr oder weniger geneigt werden, was den Verschluss der schrägen Öffnung des Röhrcbens d verstärkt oder schwächer macht.

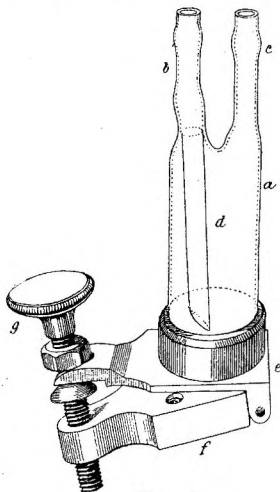


Fig. 4.
Kühns Ventil.

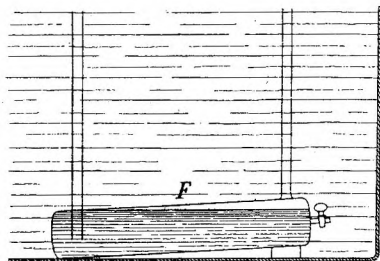


Fig. 5.
Pflügers Ventil.

4. Das von Pflüger empfohlene und von Leo (70, S. 223) beschriebene Ventil (Fig. 5) hat einen Rauminhalt von etwa 350 ccm. Wie aus der Figur ersichtlich, hat es eine langgestreckte Form und ist nur wenig geneigt aufgestellt. Infolgedessen muß die kohlenensäurehaltige Luft beim Hindurchstreichen längere Zeit mit der Lauge in Berührung bleiben. Es wird mit

konzentrierter Kalilauge (1:1) in der Weise gefüllt, daß in jedem Ventil noch ein Raum von 25 bis 40 ccm übrig bleibt.

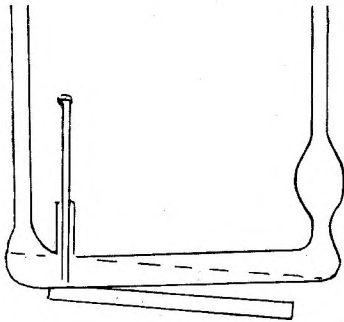


Fig. 6.
Zuntz' Ventil.

5. Die von Zuntz und Oppenheimer (76, S. 423) benutzten Ventile (Fig. 6) erinnern wesentlich an diese, nur mit dem Unterschied, daß sie am Ende, wo die Luft aus ihnen austritt, eine kugelige Erweiterung tragen, sowie daß sie noch mit einem Stutzen versehen sind, in welchem mit einem Kautschukstopfen ein bis auf den Boden des Ventils reichendes Glasrohr befestigt ist. Dieses Rohr dient zum Einfüllen der Lauge und zum Entfernen derselben am Schlusse des Versuches.

B. Ventile mit dehnbarem Verschuß.

6. Geppert (19, S. 369) benutzt im Anschluß an Speck (12, S. 9) Ventile, die aus etwa $1\frac{1}{2}$ l großen gläsernen Pulverflaschen bestehen, in welche breite, starke Gummistopfen eingefügt sind. Jeder Stopfen trägt zwei 2 cm breite Durchbohrungen, durch welche passende Glasröhren hindurchgehen. An je einer dieser Röhren ist ein Stück Rinderdarm, das in Glyzerin gelegen hatte, befestigt. Diese Ventile spielen außerordentlich leicht und bewirken bei der Atmung kein bemerkbares Hindernis (vgl. Fig. 48).

7. Zuntz (20, S. 28) beschreibt folgende Konstruktion der Darmventile. Die das Ventil tragende Röhre ragt bis etwa 5 cm vom gegenüberliegenden Kork in den Glaszylinder hinein; ihr unteres Ende ist rundlich zugeschmolzen, dafür hat sie höher oben seitlich eine weite vor der Lampe

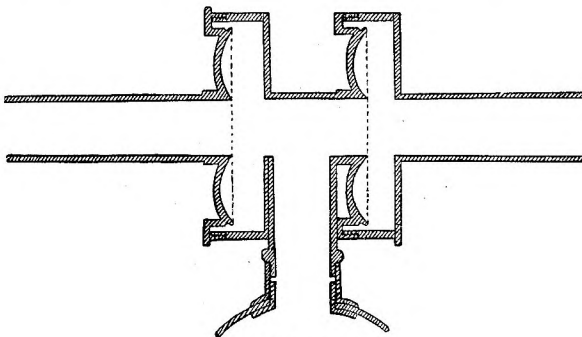


Fig. 7a.
Lovéns Ventil.

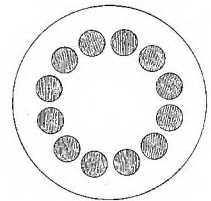


Fig. 7b.

geblasene Öffnung, mit sorgfältig geglätteten Rändern. Der Darm ist mit der glatten Peritonealfäche nach innen der Röhre oben aufgebunden und überragt ihr unteres zugeschmolzenes Ende noch ein wenig. Hier wird er wie ein Sack zugebunden. An der der Öffnung der Glasröhre diametral gegenüberliegenden Seite ist in den Darm ein Schnitt gemacht, weit genug,

daß aus ihm Luft bequem ausweichen kann, welche durch die Öffnung der Glasröhre in den Darmsack eintritt. Sobald oben in der Röhre der Druck niedriger wird als im äußeren Zylinder, legt sich der Darm hermetisch schließend vor die Öffnung der Röhre. Zwischen Darmsack und Glasröhre müssen einige Millimeter Spielraum sein. Zur Befeuchtung der Darmstücke dient eine Mischung von 1 Vol. Glycerin und 2 Vol. Sublimatwasser von 1 pro Mille. Nach dem Gebrauche füllt man die Ventile mit dieser Mischung.

8. Lovén hat folgendes Ventil angegeben (88, S. 194). Es besteht (Fig. 7a) aus zwei runden Dosen aus Messing, welche je eine Membran (in der Figur gestrichelt) einschließen und miteinander fest vereinigt sind durch ein T-Rohr, an dessen längerem Schenkel das Mundstück angebracht ist. Die Membran besteht aus Goldschlägerhäutchen, das zur Entfernung des Leimstoffes zuerst in reines, einige Male gewechseltes Wasser und dann in Glycerin bis zur vollkommenen Durchtränkung gelegt wird. Darauf nimmt man das Häutchen wieder heraus, befreit es durch Pressen zwischen Filtrierpapier vom überschüssigen Glycerin, hängt es zum Trocknen an einem warmen Orte auf und dann ist es zum Gebrauch fertig und behält Jahre lang seine Geschmeidigkeit. An den Membranen werden kreisförmig stehende Löcher zum Durchtritt der Luft geschnitten (Fig. 7b).

C. Ventile mit starrem Verschuß.

9. Das in Fig. 8 abgebildete Ventil von Thiry-Chauveau besteht aus einer metallenen Röhre, an welcher zwei Glasröhren festgesetzt sind. Die

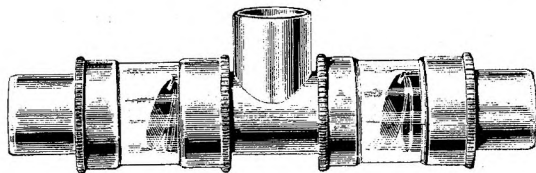


Fig. 8.
Thiry-Chauveaus Ventil.

Regelung der Luftströmung geschieht durch die sehr leichten Metalldeckel, deren Spiel ohne weiteres aus der Figur ersichtlich ist (90).

10. Das Ventil von v. Recklinghausen (91, S. 455, 459) besteht aus einem an zwei Fäden, welche aus je drei einzelnen Kokonfäden zusammengedreht sind, aufgehängten Deckgläschen, das wie ein Vorhang über eine fast vertikal stehende Messingplatte herabhängt. Diese Platte ist plan geschliffen und hat in der Mitte für den Durchtritt der Luft eine weite Öffnung. Der geringste Überdruck hebt das Deckgläschen von der Messingplatte ab.

11. Regnards Ventil ist in der Fig. 34 (S. 120) abgebildet; es besteht aus einer etwa sanduhrförmigen Glasröhre mit zwei Kugeln, welche, wie aus der Figur ersichtlich, die Luft nur in einer bestimmten Richtung strömen lassen.

Zweites Kapitel.

Respirationskammer mit ununterbrochenem Luftwechsel.

Die Apparate, bei welchen die Versuchsindividuen frei, ohne jede Maske oder dgl. atmen und sich auch, wenn der Versuchszweck dies gestattet, bewegen können, sind vor allem bei Versuchen, wo der Gaswechsel während einer längeren Zeit ununterbrochen bestimmt werden soll, notwendig, denn in der Regel kann nur kurze Zeit durch eine Maske oder ein Mundstück geatmet werden.

Die betreffenden Apparate sind von zwei prinzipiell verschiedenen Arten: entweder wird die Kammer durch einen stetigen Luftstrom ununterbrochen ventiliert und steht also durch Öffnungen für die eintretende und die austretende Luft mit der Außenluft in Verbindung, oder auch bildet die Kammer ein vollständig abgeschlossenes System, in welchem die Kohlensäure, je nachdem sie gebildet wird, absorbiert wird und statt dessen Sauerstoff aus einem Behälter der Respirationskammer zugeführt wird.

Alle beiden Versuchsweisen waren schon von Lavoisier benutzt worden. Nach denjenigen Autoren, welche später zur Ausbildung derselben am meisten beigetragen haben, werden die Apparate mit stetigem Luftwechsel nach Pettenkofer und die mit geschlossenem Systeme nach Regnault und Reiset bezeichnet.

In diesem Kapitel werde ich die Respirationsapparate nach Pettenkofer und im folgenden die nach Regnault und Reiset besprechen. Aus praktischen Gründen werde ich die für den Menschen und größere Tiere überhaupt beabsichtigten Apparate und die für kleinere Tiere gebauten besonders beschreiben.

A. Die bei Versuchen am Menschen und größeren Tieren benutzten Apparate.

1. Der Apparat von Scharling (1843). Die Versuchsperson wird in einen sorgfältig abgeschlossenen Kasten von etwa 1 cbm Inhalt eingeschlossen (35). Der Kasten wurde mittels einer Luftpumpe oder eines Aspirators ventiliert und die Kohlensäure dadurch bestimmt, daß die gesamte Luftmenge durch Kalilauge geleitet wurde. Die in den Kasten einströmende Luft wurde durch Kalilauge von ihrer Kohlensäure befreit. Die vor dem Beginn des Versuches und nach dem Schluß desselben im Kasten befindliche Kohlensäure wurde besonders bestimmt.

Wegen der geringen Größe des Kastens konnte ein Versuch nur etwa 1 Stunde dauern.

2. Der Apparat von Pettenkofer (1863). Durch diesen (36) wurde ein für den Menschen geeigneter Respirationsapparat erhalten, in welchem die während 24 Stunden abgegebene Kohlensäuremenge direkt und ohne Störung der normalen Atmung bestimmt werden konnte.

Dieser Apparat besteht aus einer Respirationskammer von 12,7 cbm Inhalt, in welcher durch Luftpumpen ein ununterbrochener Luftwechsel unterhalten wird. Sowohl von der einströmenden als von der ausströmenden Luft wird eine Generalprobe zur Analyse genommen, indem vom Beginn bis zum Schluß des Versuches ein immer gleich großer Bruchteil der gesamten ein- bzw. ausströmenden Luft durch Apparate zur Absorption der Kohlensäure und des Wassers geleitet wird.

Die nähere Anordnung dieses Apparates ist folgende (vgl. Fig. 9).

Die Kammer, in welcher sich die Versuchsperson befindet, ist ein Kubus von 2,335 m Seite mit Wänden aus Eisenblech. Die Luft wird aus derselben durch zwei von einer Dampfmaschine getriebene Zylinder ausgesaugt, die in der Figur nicht dargestellt sind und mit der Röhre D verbunden sind. Statt der aus der Kammer ausgesaugten Luft tritt neue Luft durch die Spalten und Öffnungen der Türe in die Kammer hinein. Die ausventilierte Luft tritt unten und oben durch die Röhren a und b, welche sich bei c in das Rohr g vereinigen, heraus. Von da geht die Luft in den mit großen, durchfeuchteten Bimssteinstückchen gefüllten Befechtungsapparat F, welcher bezweckt, die Luft vor ihrem Eintritt in die

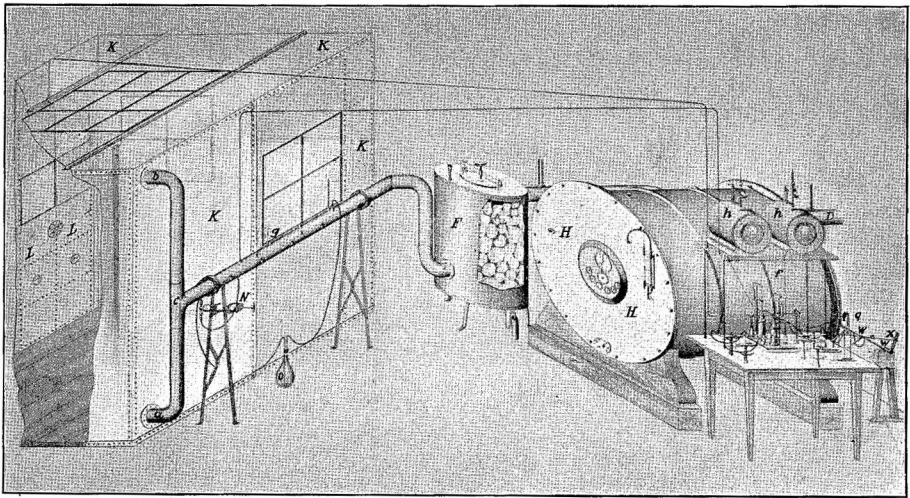


Fig. 9.

Pettenkofer's Respirationsapparat.

Gasuhr H mit Feuchtigkeit zu sättigen. Mit Ausnahme der zur Analyse abgezweigten Luftmenge (vgl. unten) muß alle Luft, die von der Kammer herausströmt, die Gasuhr passieren und wird hier gemessen.

Durch ein auf der Röhre g befestigtes Wassermanometer werden die im Apparat stattfindenden Druckvariationen angezeigt; diese sind indessen sehr klein und bestehen nur in einem beständigen Zittern der Wassersäule.

Um die Stärke des Luftwechsels in der Kammer zu variieren, kann teils die Hubhöhe der Saugzylinder, teils auch die Hubzahl in der Zeiteinheit durch zweckmäßiges Verstellen der Bewegungsmaschinen verändert werden. (Darüber s. die Originalabhandlung.)

In dem Maße, als die Luft in der Respirationskammer ein- und austritt, muß sie auch fortlaufend untersucht werden. Vom Anfang bis zum Ende wird daher ein stets gleicher Bruchteil des ganzen zur Untersuchung genommen, um also ein verkleinertes Bild von der Beschaffenheit der Luft zu allen Zeiten des Versuches zu haben.

Zu diesem Zwecke benutzt Pettenkofer zwei kleine Saug- und Druckpumpen, welche sich durch eine besondere Übertragung in genau demselben

Rhythmus wie die großen Saugzylinder bewegen und also immer einen gleichen Bruchteil der ausgesaugten Luft abzweigen. Diese Pumpen nebst den dazu gehörigen Meß- und Absorptionsapparaten sind neben der großen Gasuhr placiert. Fig. 10 gibt diese Anordnung wieder.

Wie aus der Fig. 9 ersichtlich ist, saugt die eine Pumpe einen Bruchteil der Luft, wie sie in die Respirationskammer einströmt, aus einer möglichst engen Glasröhrenleitung, welche über die Respirationskammer weg nach der Türe geht, wo sie sich nach zwei Seiten derselben abzweigt. In gleicher Weise saugt die andere Pumpe aus der Röhre g einen Bruchteil der Luft, wie sie aus der Respirationskammer fortgeht. Beide Pumpen gehen in jeder Minute 10mal und man stellt die Hubhöhen so, daß jeder Hub 8 bis 9 cm Luft fördert.

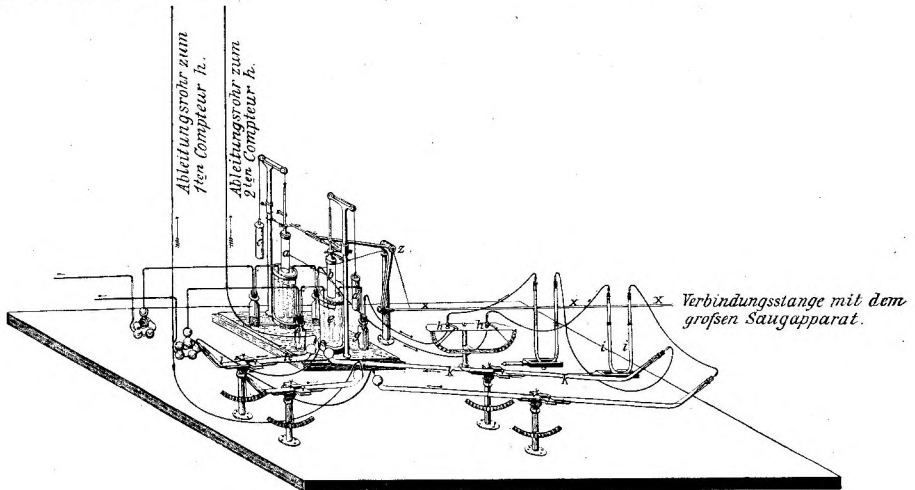


Fig. 10.

Pettenkofer's Respirationsapparat.

Ehe die Luft in die Pumpe tritt, wird ihr alles Wasser durch die Kugelapparate (Fig. 10), welche mit Schwefelsäure gefüllt sind, entzogen. Zur Sicherheit folgt nach jedem Kugelapparat noch ein U-förmiges Rohr mit Bimsstein und Schwefelsäure.

Von den Pumpen aus wird die Luft durch ein System von Röhren gedrückt. Von dem Fläschchen g (Fig. 10) aus geht die Luft durch den Hahn h, die Röhre i, in welcher sich mit Wasser befeuchteter Bimsstein befindet, zu der 1 Meter langen, etwas schiefstehenden mit Barytwasser gefüllten Röhre k, wo die Kohlensäure absorbiert wird. Etwa noch vorhandene Reste von Kohlensäure werden durch ein mit Barytwasser gefülltes kürzeres Rohr l absorbiert. Von hier strömt die Luft nach den beiden kleinen Gasuhren h (Fig. 9), wo sie gemessen wird.

Die Kohlensäure wird durch Titrieren des Barytwassers bestimmt. Da man nun kennt, wie viel Luft durch die große und wie viel durch die kleine Gasuhr passiert hat, läßt sich die während der Versuchszeit gebildete Kohlensäure leicht berechnen, wobei natürlich die in der einströmenden Luft befindliche Kohlensäure abgezogen werden muß.

Über die Berechnung der Kohlensäure in der Respirationskammer vgl. 36, S. 39.

Die Kontrollversuche mit brennenden Kerzen ergaben bei den ersten Versuchen von Pettenkofer (36, S. 42, 51, 52) für die Kohlensäurebestimmung einen mittleren Fehler von 0.6%. Spätere Prüfungen von C. und E. Voit und J. Forster (37) mit insgesamt 41 Versuchen zeigten einen mittleren Fehler von 0.79 bis 3.45%. Als Mittel aller 48 Bestimmungen beträgt der Fehler 1.96%.

In bezug auf die Wasserbestimmung — Absorption durch Schwefelsäure — erhielt Pettenkofer (36) anfangs ziemlich gute Resultate; indem bei 5 Versuchen der mittlere Fehler nur 4.4% betrug. Zwei folgende Reihen ergaben indessen ungünstigere Resultate; die folgende Prüfung von Voit und seinen Mitarbeitern (37) zeigte indessen in drei Versuchen einen Fehler von nur — 2.5. bis — 3.5%.

Pettenkofer versuchte auch aus seinen Versuchen den Sauerstoffverbrauch zu berechnen. Unter der Voraussetzung, daß die Ausgabe durch Haut und Lungen als wesentlich nur aus Wasser und Kohlensäure bestehend anzunehmen sei, findet er und Voit (vgl. 38, S. 59) den Sauerstoffverbrauch durch folgende Rechnung. Zum Anfangsgewicht des Versuchsindividuums (A) wird die verzehrte Nahrung (B) und das aufgenommene Wasser (C) addiert. Ebenso wird dem Endgewicht des Versuchsindividuums (A¹) das Gewicht des abgegebenen Harns und Kots (D) sowie der abgegebenen Kohlensäure (E) und des Wassers in Dampfform (F) addiert. Die Summe A + B + C ist kleiner als die Summe A¹ + D + E + F. Wie ersichtlich, kann der Unterschied nur durch das Gewicht des aufgenommenen Sauerstoffs bedingt sein.

Alles ist aber von der Genauigkeit abhängig, mit welcher insbesondere der Wasserdampf bestimmt werden kann, denn bei einer Berechnung aus Differenz häufen sich alle Fehler auf die in dieser Weise bestimmte Substanz. Auch ergaben die folgenden Anwendungen des Respirationsapparates von Pettenkofer, daß sich die Sauerstoffberechnung nicht mit genügender Exaktheit durchführen läßt, weshalb man schon seit lange auf eine solche verzichtet hat.

2b. Der Apparat von Stohmann (1870) ist für die landwirtschaftlichen Nutztiere gebaut (39) und die Respirationskammer hat einen Inhalt von 15 Kubikmeter (Länge 3.15, Breite 2.20, Höhe 2.17 m³). Von dem ursprünglichen Modell Pettenkofers unterscheidet er sich wesentlich dadurch, daß die Pumpen durch ein Gebläse („Roots silent blower“) ersetzt wurden. Zur Regulierung des Luftstromes ist zwischen dem Ventilator und der großen Gasuhr ein dreischenkliges Rohr eingeschaltet, von dem ein Schenkel mit dem Ventilator, der zweite mit der Gasuhr verbunden ist, während der dritte, mit einem Kegelventil verschließbare, frei in die äußere Luft mündet. Je nachdem dieses Kegelventil mehr oder weniger geöffnet wird, wird bei unveränderter Umdrehungsgeschwindigkeit des Ventilators, neben dem durch den Apparat gesogenen Luftstrom, mehr oder weniger Luft unmittelbar durch die seitliche Öffnung dieses dreischenkliges Rohres vom Ventilator aufgenommen. Beim völligen Verschluss des Ventils bewirkt der Apparat eine Ventilation von 150 cbm pro Stunde; durch teilweises Öffnen

1) Der Apparat von Henneberg in Weede ist 3.21 m lang, 2.34 m breit und 2.34 m hoch — der Inhalt also 17.4 cbm.

des Ventils ist der Luftstrom durch die Respirationskammer auf jeder gewünschten Größe bis zu 10 cbm pro Stunde zu erhalten.

Betreffend die Anordnungen für die proportionale Probeentnahme vgl. 39, S. 85.

Durch Versuche mit Stearinkerzen fand Stohmann als Mittel von 13 Kohlensäurebestimmungen einen Fehler von 1,45%.

Die Wasserdampfbestimmungen waren auch hier nicht befriedigend. Die Fehler in zwei Reihen mit insgesamt 48 Versuchen (39, S. 104) wechseln in der einen Reihe zwischen -27.4 und $+11.3\%$, in der anderen zwischen -17.7 und $+21.6\%$. Als wesentlichen Grund der Fehler betrachtet Stohmann die Kondensation des Wassers an der Wand der Respirationskammer. Nähere Versuche (39, S. 159) ergaben, daß das Kondensationsvermögen für Feuchtigkeit ganz wesentlich von der Beschaffenheit der Oberfläche abhängig ist. Das Kondensationsvermögen einer polierten Messingplatte verhält sich zu dem einer mit Ölfarbe bedeckten Eisenplatte wie 1:30. Der Ölfarbenastrich wirkt daher in bezug auf die Kondensation ähnlich wie ein poröser Körper.

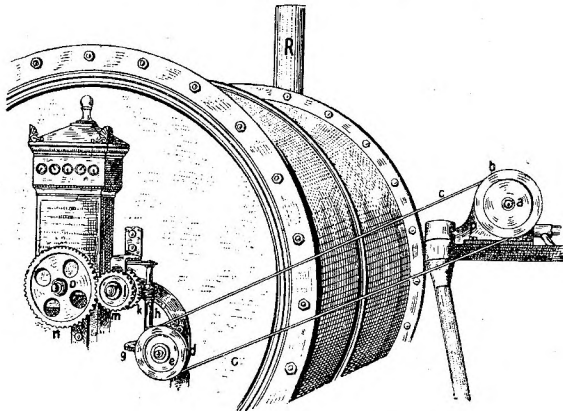


Fig. 11.

Detail aus Rubners Respirationsapparat.

2c. Der Apparat von Kühn (1880). Auch hier (40) wird das Gebläse von Root (vgl. oben) zur Ventilation benutzt. Der Inhalt der Respirationskammer beträgt 18,21 cbm. Da der Apparat für landwirtschaftliche Nutztiere beabsichtigt ist und daher die Bestimmung der Abgabe von gasförmigem Kohlenwasserstoff von Bedeutung ist, ist die Anordnung getroffen, diese durch Glühen völlig zu oxydieren. Der Versuch mit dem Apparat zerfällt also in zwei Abteilungen: Bestimmung der Kohlensäure in der Außenluft und in der Luft aus der Respirationskammer vor und nach dem Glühen. Aus der Differenz berechnet sich die Menge des in den Kohlenwasserstoffen enthaltenen Kohlenstoffes.

Der Apparat ist nur für Kohlensäurebestimmungen gebaut. Nach vier Reihen von insgesamt 24 Kontrollversuchen mit brennenden Kerzen beträgt die prozentige Abweichung durchschnittlich nur etwa 0,3 bis 0,4% und die maximalen Schwankungen belaufen sich auf $+0.9$ und -1.0% .

2d. Der Apparat von Rubner (1896) hat eine etwas kleinere Respirationskammer (41, S. 36) als der Respirationsapparat von Pettenkofer (1,5m breit, $2\frac{1}{2}$ m lang, 2m hoch, also 7,5 cbm). Die Luft tritt in den Kasten unten seitlich an einer Längswand durch einen etwa 12 cm weiten Röhrenansatz ein und wird oben in der Mitte an der entfernteren Querwand durch ein zur Gasuhr führendes Rohr R (Fig. 11) aspiriert. Die Bewegung der Gasuhr wird durch einen Wassermotor besorgt. Auf der Achse a des Motors sitzt die metallene Riemscheibe b von etwa 14 cm Durchmesser, deren Umdrehungen mittels des Riemens c auf eine nur sehr wenig kleinere zweite Riemscheibe d (Durchmesser etwa 13 cm) übertragen werden. Die Achse e dieser zweiten Riemscheibe greift als Wellenschnecke mit ihren Zähnen in ein horizontal gelagertes Zahnrad g, auf

dessen Welle *h* wiederum eine Schnecke *i* sitzt, deren Zähne in ein vertikal gelagertes Zahnrad *k* fassen. Durch weitere Transmissionen wird endlich die Bewegung auf das auswechselbare Zahnrad *n* übertragen, das auf der Achse der inneren Gasuhrtrommel sitzt. Durch deren Bewegung wird der Luftwechsel in der Respirationskammer hergestellt. Durch Verstellen der Wechselläder kann die Größe desselben innerhalb weiter Grenzen variiert werden.

Die Gasuhr ist, um das sonst durch Verdunstung bewirkte Sinken des Wasserspiegels zu kompensieren, für beständigen Zulauf und Ablauf eingerichtet.

Die Probenentnahme usw. geschieht hier wesentlich wie bei dem Pettenkoferschen Apparate; die hierbei tätigen Pumpen werden unter Vermittlung geeigneter Vorrichtungen durch eine zweite auf die Motorwelle angebrachte kleine Riemscheibe bewegt.

Wie Rubner (42) ausdrücklich hervorhebt, läßt sich mit diesem Apparat die Abgabe von Wasserdampf mit genügender Exaktheit bestimmen.

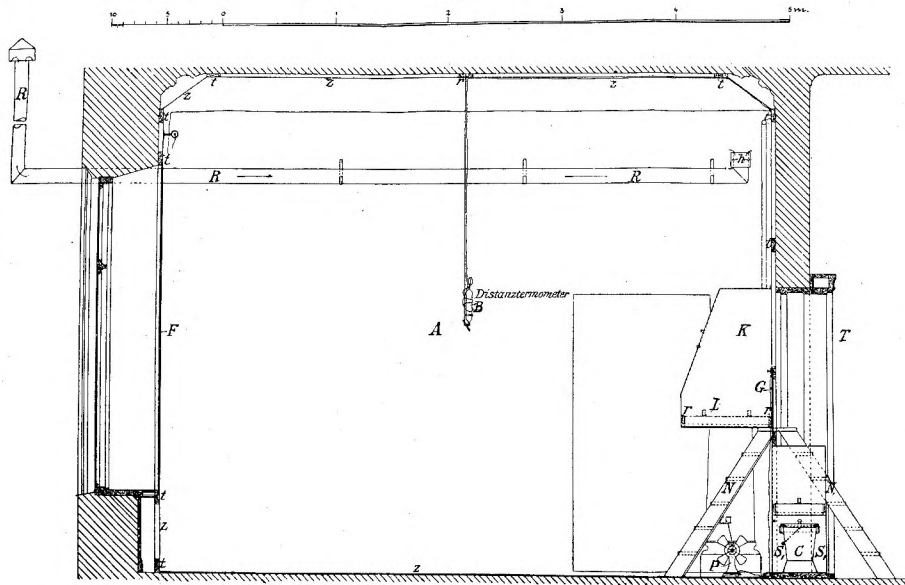


Fig. 12.

Sondén-Tigerstedts Respirationsapparat.

3. Der Apparat von Sondén und Tigerstedt (1895). Bei diesem wurde vor allem Rücksicht darauf genommen, daß die Versuchsperson während ihres Aufenthaltes in der Respirationskammer gar kein Gefühl von Unannehmlichkeit haben sollte, sowie daß, wenn der Versuchszweck es erforderte, gleichzeitig mehrere Individuen in der Kammer sich aufhalten konnten.

Die Respirationskammer (43) bestand¹⁾ aus einem 100,65 cbm großen Zimmer. Die Decke und die Wände waren mit Holzlatten beschlagen, an welche, ebenso wie an den hölzernen Fußboden, Zinkblech von etwa $\frac{1}{2}$ mm Stärke angenagelt wurde. Um die Fugen luftdicht zu machen, wurden sie mit Zinn gelötet. Der Sicherheit wegen wurde noch die ganze Zinkbekleidung mit Ölfarbe gestrichen und der ganze Fußboden mit einem

1) Bei dem im vorigen Jahre stattgefundenen Umbau des physiologischen Instituts in Stockholm wurde die Respirationskammer niedrigergerissen.

Linoleumteppich bedeckt. Diese Anordnung muß als fehlerhaft bezeichnet werden, denn dadurch wurde die bezweckte Bestimmung des Wasserdampfes wesentlich vereitelt (vgl. oben S. 88). Um Tageslicht einzulassen, wurde in einem mit Zink beschlagenen Holzrahmen ein großes Glas von etwa 4.5 qm eingekittet.

Zum Ein- und Austreten wurde in der aus Fig. 12 ersichtlichen Weise eine horizontale Öffnung benutzt. Die nach der Vorhalle T offene Glocke K trug an ihrem unteren Rande die mit Öl gefüllte Rinne r, welche die Eintrittsöffnung umgab. Der Deckel L sperrte dann, wenn er aufgesetzt war, die Verbindung zwischen der Vorhalle und der Respirationskammer vollständig ab.

Um Speisen und dgl. hineinzubringen, war eine Art von Schleuse angeordnet. Ein parallelepipedischer Kasten aus Zinkblech war in der Weise in eine Öffnung der Blechbekleidung der Kammer festgelötet, daß die eine Hälfte des Kastens innerhalb, die andere außerhalb der Kammer blieb. Jede Hälfte hatte ihren Deckel, der in seine mit Öl beschickte Rinne paßte. Kleine Pfropfen aus Kautschuk dienten dazu, um beim Abheben des Deckels Luft herein- und herauszulassen. Der äußere Deckel wurde gehoben, der einzubringende Gegenstand in den Kasten gebracht und dann der Deckel wieder aufgelegt. Keine fremde Luft hat dabei in die Kammer kommen können. Jetzt wird der innere Deckel gehoben, der Gegenstand herausgenommen usw. Hierbei kann ein geringer Teil der in dem Kasten enthaltenen Luft in die Kammer hindringen. Da indessen die Kammer 100 cbm, der Kasten aber nur 0.25 cbm faßt, kann hierdurch kein in Betracht kommender Fehler entstehen.

In derselben Weise wurden durch einen zweiten Kasten die festen und flüssigen Ausscheidungen herausbefördert.

Die Heizung fand durch einen Kamin mit Dampfheizung statt.

Um die Luft in möglichst homogener Mischung in der Kammer zu erhalten, wurde ein kleiner elektrisch getriebener Flügelradventilator benutzt. Dieser vermochte, wenn er frei im Raume stand, etwa 800 cbm Luft pro Stunde in gewisser Richtung fortzubewegen.

Zu der Respirationskammer wurde die Luft durch ein Zinkrohr von 0.14 m Durchmesser (R) geleitet. Außerhalb des Hauses ging es senkrecht bis über das Dach des Hauses, wo es mit einem Ventil versehen war, welches eine eventuelle Aussaugung von Luft aus der Respirationskammer verhindern sollte.¹⁾ Innerhalb der Kammer lief das Rohr nahe an der Decke längs der einen Wand, wodurch die einströmende Luft vor dem Eintritt angewärmt wurde.

Von der diagonal entgegengesetzten Ecke der Kammer ging das für die Fortleitung der Luft abgesehene Rohr aus und lief in dem angrenzenden Apparatzimmer am Fußboden entlang bis zu einem von einem elektrischen Motor getriebenen Pumpwerk, welches die Luft aus der Respirationskammer saugte und sie weiter durch die Gasuhr preßte.

1) Dieses Ventil ist von E. A. Wiman konstruiert. Im Inneren der Kappe sind Streifen von einem leichten, aber dichten Tuch aufgehängt. Durch den Wind werden diese gegen die entgegengesetzte Oberfläche der Kappe gepreßt. Infolgedessen wird die darin gelangte Luft gezwungen, nach unten in die Röhre zu strömen, und die Aussaugung der Luft von der Respirationskammer ist ausgeschlossen.

Das Pumpwerk bestand aus drei sukzessiv nacheinander wirkenden Glocken, welche in entsprechenden Wasserbehältern bewegt wurden. Von den Glocken wurden drei verschiedene Größen benutzt: 1. für einen Ventilationsbedarf über 12 cbm pro Stunde; 2. für 12—3 cbm; 3. unter 3 cbm. Der richtige Gang der Luftströmung wurde durch Wasserventile sichergestellt. Zur Durchfeuchtung der Luft waren in den Glocken noch Zylinder von Leinwand eingehängt, welche beim Heruntergehen der Glocken immer wieder durchnäßt wurden. Durch diese Anordnung wurde auch die nach der Gasuhr getriebene Luft tatsächlich mit Feuchtigkeit gesättigt, so daß der Wasserstand in der Gasuhr selbst nach sehr langen Versuchsreihen konstant blieb.

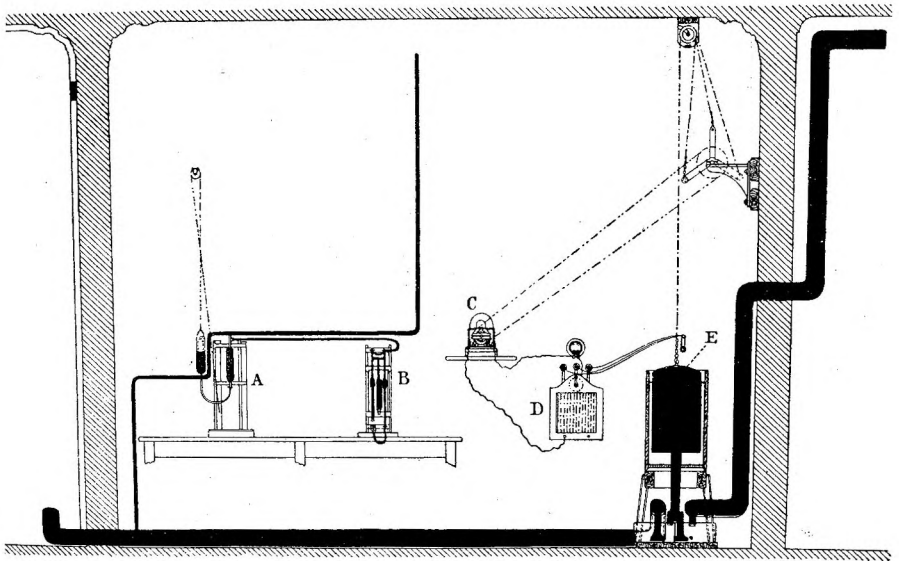


Fig. 13.

Sondén-Tigerstedts Respirationsapparat.

Die Temperatur in der Respirationskammer wurde teils durch Quecksilberthermometer, teils durch Bonnesens sogen. Distanzthermometer (Fig. 12) bestimmt. Die letzteren waren in der Mitte der Kammer, in der oberen Ecke über dem großen Fenster, in der Ausströmungsöffnung der Luft aus der Kammer, sowie in der inneren Ecke der Kammer angebracht.

Die Distanzthermometer bestehen aus einem Behälter von 300 ccm Inhalt mit trockener Luft, welcher durch ein kapillares Bleirohr mit dem sonst offenen Schenkel eines Barometers in Verbindung steht. Das System ist also von der atmosphärischen Luft abgesperrt, weshalb die Variationen des Quecksilberniveaus in der Barometerröhre nur von der Temperatur des Behälters abhängen. Die Ablesung geschah im Apparatenzimmer, wo die Barometerröhren nebeneinander aufgesetzt waren. Die Distanzthermometer verändern sich allmählich, weshalb sie von Zeit zu Zeit zu kontrollieren sind.

Zur Analyse der Luft wurde aus dem großen Rohr (Fig. 13), durch welches die ausventilierte Luft strömte, möglichst nahe an seinem Austritt

aus der Respirationkammer, eine Zweigleitung angebracht, in welcher durch eine Wasserluftpumpe eine schwache kontinuierliche Luftströmung unterhalten wurde; die Menge der hierdurch entweichenden Luft wurde mittels einer kleinen Gasuhr gemessen. Aus dieser Zweigleitung, in welcher die

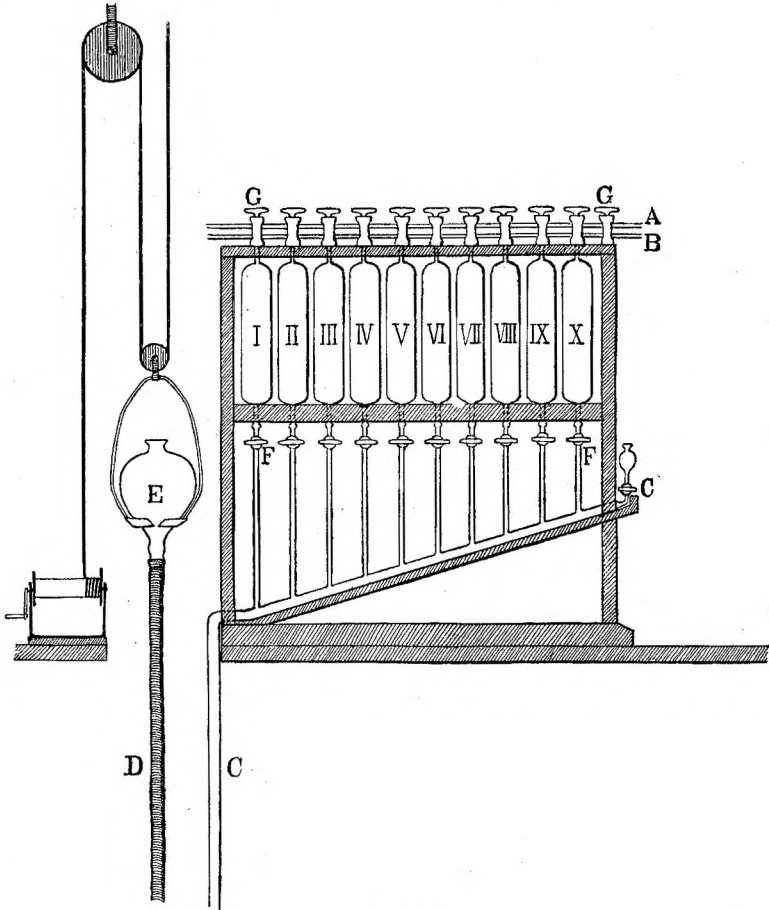


Fig. 14.

Apparat von Johansson.

Luft also immer die gleiche Beschaffenheit wie die gleichzeitig aus der Respirationkammer ausströmende Luft hatte, wurden nun Proben zur Analyse genommen, und zwar wurde hierbei folgender von Johansson (44) konstruierter Apparat benutzt. Zehn Glaspipetten I, II ... (Fig. 14), jede von 500 ccm, können durch die Hähne FF mit dem Rohrsystem C in Verbindung gesetzt und mit Quecksilber gefüllt werden. An ihrem oberen Ende kann jede Pipette durch die Miescherschen Hähne GG entweder mit der Röhre A oder mit der Röhre B in Verbindung gesetzt werden. Durch A — Durchmesser 5 mm — wird ein Zweig des aus der Respirationkammer

gesaugten Luftstromes geleitet. Das Rohr B — Durchmesser 0.5 mm — führt nach dem Analysenapparat.

Vor dem Versuche wird in den Pipetten Vakuum hergestellt. Als der Hahn G dann auf das Rohr A eingestellt wird, füllt sich die zugehörige Pipette fast augenblicklich mit der aus der Respirationskammer durch die Röhre A strömenden Luft. Diese Luft kann nach Schluß des Hahnes beliebig lange in den Pipetten aufbewahrt werden.

In derselben Weise werden die übrigen neun Pipetten gefüllt. Das in ihnen enthaltene Luftquantum genügt zu vier und sogar mehr Analysen.

Bei Versuchen mit dieser Respirationskammer werden Luftproben in bestimmten Intervallen nach 1 Stunde, 2 Stunden usw. bzw. auch nach $\frac{1}{2}$ Stunde mit dem soeben beschriebenen Apparate genommen und also der Gehalt der Kammerluft an Kohlensäure in genau bestimmten Momenten bestimmt. Da die in die Kammer hineinströmende Luft direkt aus dem Freien hineintritt, kann sie in bezug auf ihren Kohlensäuregehalt als konstant erachtet werden und braucht daher nicht direkt analysiert zu werden.

Wenn die Ventilation nicht sehr stark ist, läßt sich die in dem Intervall zwischen zwei Proben entwickelte Kohlensäure auf folgende Weise berechnen.

Die Analysen ergeben direkt den Zuwachs an Kohlensäure pro Mille. Wenn A das Volumen der Respirationskammer, V das Volumen der ausströmenden, durch die Gasuhren gemessenen Luft, die gleich dem Volumen der einströmenden Luft ist, β_1 bzw. β_2 den Kohlensäuregehalt der Luft zu Anfang und zu Ende des Intervalls bezeichnen, so erhält man die abgegebene Kohlensäure (in Kubikmetern), wie leicht ersichtlich, durch folgende Formel:

$$\text{CO}_2\text{l} = A(\beta_2 - \beta_1) + V \cdot \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} - 0.3 V,$$

wo 0.3 den Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft darstellt.

Hierbei wird vorausgesetzt, daß die nötigen Korrekturen für Barometerdruck, Feuchtigkeit und Temperatur angebracht werden.

Bei starker Ventilation genügt diese Formel nicht, sondern ist die allgemeine von Lenz (45) aufgestellte Ventilationsformel dann anzuwenden (x = Kohlensäure in Kubikmetern).

$$\frac{1000 x + V_0 \alpha - V_1 \beta_2}{1000 x + V_0 \alpha - V_1 \beta_1} = e^{-V_1/A},$$

wo V_0 das korrigierte Volumen der einströmenden und V_1 das der ausströmenden Luft, α den Kohlensäuregehalt der einströmenden Luft (0.3 pro Mille) und e die Basis der natürlichen Logarithmen bezeichnen.

Die Kohlensäureanalysen wurden mittels des Analysenapparates von Petterson und Sondén ausgeführt.

Betreffend die Genauigkeit bei den Kohlensäurebestimmungen ergaben die Versuche mit brennenden Kerzen oder Petroleum von Sondén und Tigerstedt (43), daß die Abweichung des gefundenen Wertes von dem berechneten durchschnittlich 1.16 % betrug. Bei späteren Kontrollversuchen von Rosenberg (46) war der Fehler ± 1.00 (Mittel von 7 Versuchen), ± 0.92 (Mittel von 21 Versuchen von je $\frac{1}{2}$ Stunde), ± 1.31 (Mittel von 19

Versuchen von je $\frac{1}{4}$ Stunde), ± 1.29 (Mittel von 8 Versuchen von je $\frac{1}{4}$ Stunde), ± 0.97 (Mittel von 6 Versuchen von je 2 Stunden).

3b. Der Respirationsapparat im physiologischen Institut zu Helsingfors (1906) stimmt in allem Wesentlichen mit dem in 3 beschriebenen überein (47). Nur ist die Respirationskammer etwas kleiner, 76,2cbm; zur Ventilation dient eine große Gasuhr, die von einem elektrischen Motor getrieben wird.

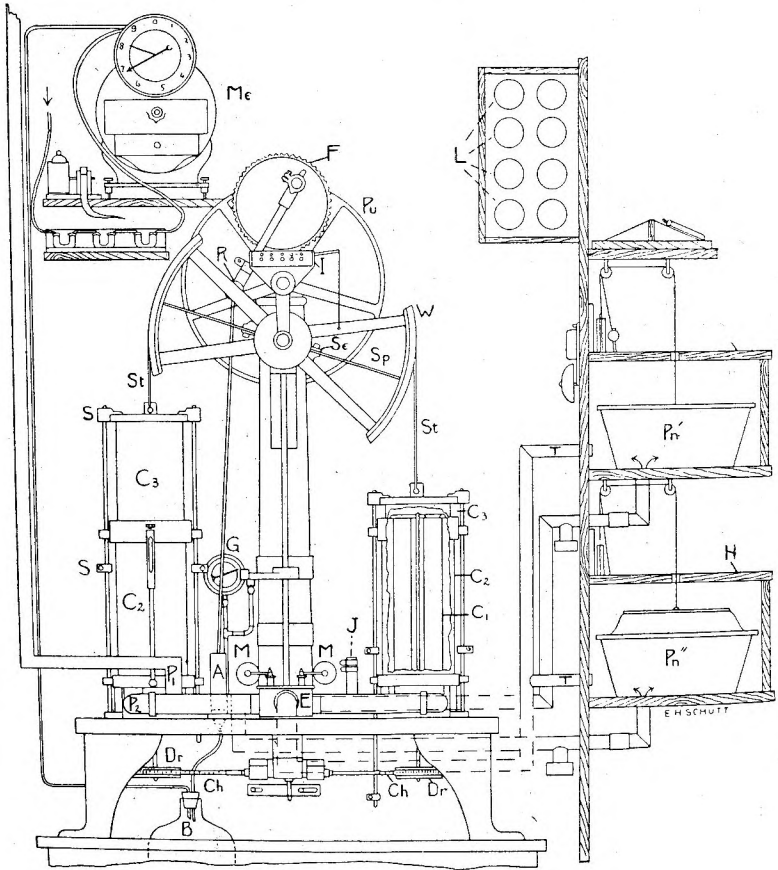


Fig. 15.

Meterpumpe von Blakeslee.

4. Der Apparat von Atwater, Rosa und Benedict (1897). Da die Methode dieser Autoren vor allem bezweckte, die Wärmeabgabe des Körpers kalorimetrisch zu bestimmen, gehört eine nähere Besprechung derselben in eine andere Abteilung dieses Handbuches. Da aber mit diesem Apparat auch der respiratorische Gasaustausch bestimmt wurde, ist es angezeigt, die hierbei vorgenommenen Anordnungen in diesem Abschnitt kurz zu besprechen (48).

Die Respirationskammer ist 2.15m lang, 1.22m breit und 1.92m hoch; sein Inhalt beträgt also 5.03cbm.

Durch starke Abkühlung wird die in die Kammer eintretende Luft von ihrer Feuchtigkeit befreit und dann auf die Temperatur der Kammer erwärmt.

Die austretende Luft passiert erst einen Kühlapparat, wo der größte Teil ihres Wasserdampfes kondensiert wird, und gelangt dann zu der Pumpe, welche die ganze Luftströmung unterhält.

Diese Pumpe (Fig. 15) besteht aus zwei Spirometerglocken C_2 , C_3 , welche in der mit Quecksilber gefüllten Rinne zwischen je einem äußeren und einem inneren Zylinder gehen. In den inneren Zylinder strecken sich bis an dessen obere Fläche die Röhren P_1 und P_2 ; durch P_1 wird Luft aus der Respirationskammer gesaugt, durch P_2 herausgetrieben. Die Verbindung der betreffenden Röhren mit der Spirometerglocke wird abwechselnd geöffnet und geschlossen durch eine am oberen Ende des inneren Zylinders befindliche horizontal gestellte Klappe, deren Bewegungen durch eine von der gemeinsamen Achse des ganzen Apparates getriebene Druckpumpe unter Vermittlung der Kette Ch und des Zahnrades Dr ihrer Aufgabe gemäß reguliert werden.

Die Luft, die aus der Respirationskammer strömt, wird gerade durch den Hub der Pumpe gemessen, und zwar entspricht jedem doppelten Schlag unter Korrektur für die Niveauveränderungen des Quecksilbers 7.77361.

Zur Probenahme dient folgende Vorrichtung. Oben trägt das Stativ ein Zahnrad mit 100 Zähnen. Bei jedem Pumpschlag wird dieses Rad um einen Zahn gedreht. Der 50. und 100. Zahn sind länger als die übrigen und schließen bei ihrer Passage den Strom zu einem Elektromagneten M . Dieser beeinflusst seinerseits einen Ventilapparat, der an E angebracht ist, in solcher Weise, daß die ausgepumpte Luft, die während der 49 Pumpschläge nach außen getrieben wird, nun in das Gefäß Pn' bzw. Pn'' zur Analyse gesammelt wird.

Wie aus der Fig. 15, Pn'' ersichtlich, sind diese Gefäße mit einer Kautschukdecke versehen, die an ihrer inneren Wand sehr genau paßt und beim Hineintreiben der Luft allmählich gehoben wird. Etwa jede 10 Minuten empfangen sie 7.77361 Luft und sie müssen daher innerhalb 10 Minuten wieder entleert werden, um die neue Luftprobe empfangen zu können. Zu diesem Zwecke wird die Luft durch eine kleine Saugpumpe aus ihnen gesaugt und zwar passiert sie dabei 1. ein U-Rohr mit Bimsstein und Schwefelsäure zur Absorption des Wassers, 2. zwei U-Röhren mit Natronkalk zur Absorption der Kohlensäure und 3. ein U-Rohr mit Bimsstein und Schwefelsäure zur Absorption der von (2) kommenden Feuchtigkeit. Wenn der Luftstrom nicht stärker ist als 750 ccm pro Minute, wird sie in diesen Röhren von Kohlensäure vollständig befreit. Über weitere Einzelheiten bei dem Analyseapparat vgl. die originale Mitteilung.

Zur Analyse der in die Respirationskammer eintretenden Luft wird ein Teil derselben gerade vor ihrem Eintritt abgezweigt, durch U-Röhren mit den nötigen absorbierenden Substanzen geleitet und mittels einer Gasuhr gemessen. Die Strömung dieser abgezweigten Luftmenge wird durch eine kleine Pumpe unterhalten, die von der Achse der Meterpumpe getrieben wird und in Fig. 15 bei A abgebildet ist.

Zum Beginn und nach Ende des Versuches wird auch die Luft in der Respirationskammer analysiert.

Außer diesen Respirationsapparaten, in welchen die Respirationskammer jedenfalls ziemlich groß gewesen ist, sind im Laufe der Zeit mehrere andere, für den Menschen berechnete Apparate, wo aber die Kammer verhältnismäßig klein gewesen ist, nach dem Prinzip von Pettenkofer konstruiert worden. Ich stelle diese, soweit sie mir bekannt sind, hier zusammen.

5. Der Apparat von Liebermeister (1870). Dieser (49) besteht aus einem Kasten von Zinklech von 1188l. Inhalt. Der Kasten ist nach unten offen und wird

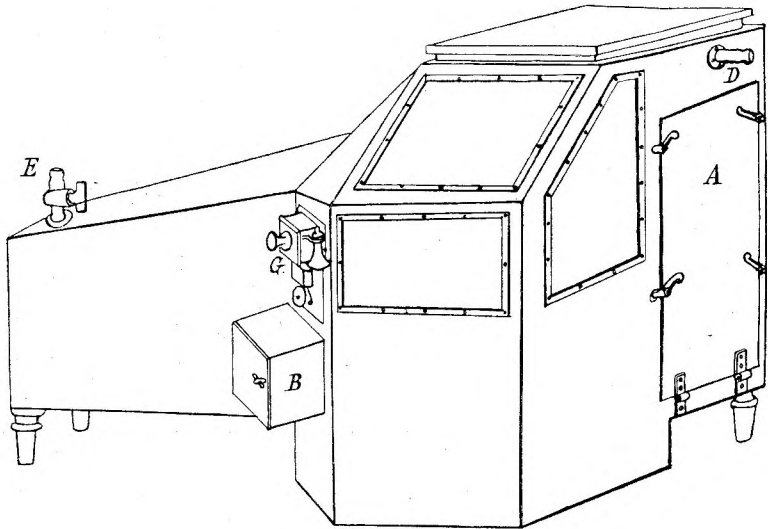


Fig. 16.
Apparat von Jaquet.

in eine mit Kochsalzlösung gefüllte Rinne gestellt, wodurch die im Kasten befindliche Luft von der umgebenden Luft abgeschlossen wird. Die Versuchsperson kann in der Kammer liegen oder sitzen.

Der Luftwechsel wird durch ein Wassertrammelgebläse besorgt. Die ausströmende Luft wird durch Schwefelsäure vom Wasserdampf befreit, geht durch große leere Flaschen, wo die Kohlensäure nach Pettenkofer analysiert wird, und wird endlich durch eine Gasuhr gemessen.

In bestimmten Zeitintervallen wird der Kohlensäuregehalt der in diesen Flaschen befindlichen Luft bestimmt. Aus den so gewonnenen Zahlen läßt sich in der oben (S. 93) dargestellten Weise die Größe der Kohlensäureabgabe der im Kasten eingeschlossenen Versuchsperson berechnen.

Wegen der geringen Dimensionen des Kastens konnte jeder einzelne Versuch nicht länger als höchstens drei Stunden lang dauern.

6. Der Apparat von Jaquet (1903). Der Kubikinhalt der Respirationskammer (50) beträgt hier nur 1393l. Dank der Form der Kammer (vgl. Fig. 16) kann ein Erwachsener hier sowohl liegend wie sitzend verweilen, ohne sich beengt zu fühlen; sie ist so eingerichtet, daß für die sitzende Stellung möglichst viel Raum zur Verfügung steht, während der bei liegender

Stellung für den Unterkörper reservierte Teil so knapp wie möglich gehalten ist.

Die Kammertüre A wird von oben nach unten geöffnet, und trägt auf ihrer Innenfläche zwei Schienen, über welche die Rollen des Bettes laufen, wenn bettlägerige Patienten in die Kammer gebracht werden sollen.

Zur Ventilation der Kammer dient ein durch eine Wasserturbine bewegter Blasebalg, der die Luft aus dem Apparate durch D aspiriert. Die entweichende Luft wird durch reine Luft ersetzt, welche direkt aus dem Freien entnommen wird.

Die ausströmende Luft wird durch eine Gasuhr gemessen; gleichzeitig wird von derselben ein aliquoter Teil zur Analyse genommen. Dies geschieht dadurch, daß eine durch zweckmäßige Übersetzung von der Achse der Gasuhr getriebene Pipette allmählich herabsinkt und dabei Luft in ein mit dem Ausströmungsröhre verbundenes Sammelgefäß ansaugt — also im Grunde eine Einrichtung, die mit den von Zuntz angewandten wesentlich übereinstimmt, wie auch das Thermobarometer von Zuntz bei diesem Apparat aufgenommen ist (vgl. unten S. 121).

Die Luftproben, und außerdem noch nach Ende des Versuches die Kammerluft, werden mittels des Apparates von Petterson an Kohlensäure und Sauerstoff analysiert. Das geringe Volumen der Respirationskammer gestattet nämlich den Sauerstoffverbrauch mit genügender Exaktheit zu bestimmen, wie aus den vier Kontrollversuchen mit Verbrennung von Alkohol hervorgeht, wo der Fehler nur 0.5 bis 3.2, im Mittel etwa 1.8% betrug.

Mit diesem Apparate wurden Versuche von 12 bis zu 13 Stunden Dauer ausgeführt.

7. Der Apparat von Grafe (1910). Der Inhalt der Respirationskammer beträgt 2635l. Die Grundfläche ist ein Rechteck, Kopf- und Fußseiten sind 0.9m lang, die Längsseiten 2m. Der Kopfteil des Kastens ist 1.7m hoch. Diese Höhe behält der Kasten aber nur auf eine Strecke von 1m bei, von da ist er nach dem Fußende abgeschrägt, so daß dieses nur 0.75m hoch ist. Das Gerüst des Kastens besteht aus Holzbrettern; innen ist er mit Blech ausgeschlagen und mit Ölfarbe angestrichen (51).

Der Kasten steht mit der Unterfläche seiner Seitenwände in einer mit Paraffinöl gefüllten Blechrinne. Das Öffnen des Kastens geschieht durch Heben des Fußendes usw. Durch ein Gegengewicht ist der Kasten in jeder Lage ungefähr ausbalanciert, so daß es nur eines geringen Überdruckes zum Heben und Senken bedarf.

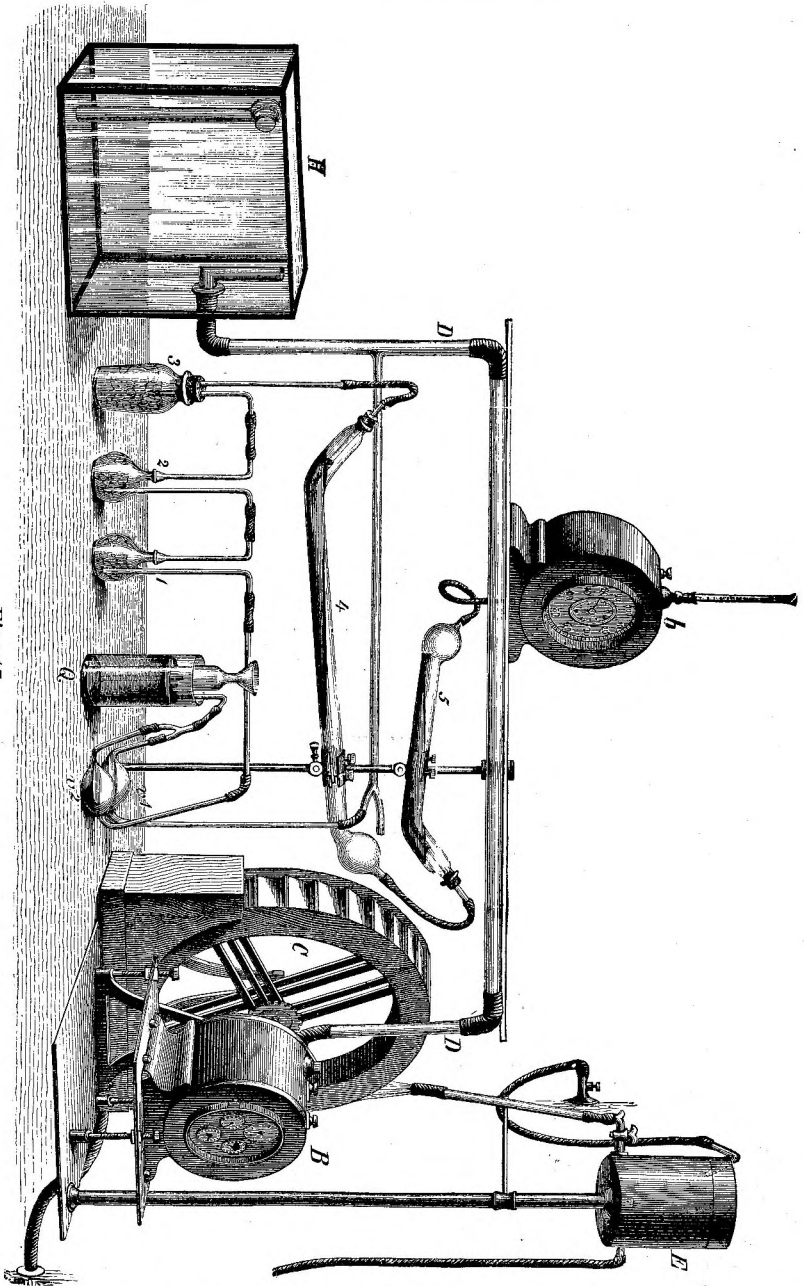
Zur Ventilation des Kastens wird die Luft des gut ventilierten Zimmers benutzt, welche im Sommer, um Sättigung mit Wasserdampf zu verhindern, durch ein U-förmiges Rohr mit Chlorkalzium oder Schwefelsäure passieren muß.

Die Ventilation geschieht mittels einer Gasuhr und die Probeentnahme erfolgt in der von Jaquet benutzten Weise.

Die Gasanalyse findet mittels des Apparates von Petterson statt.

Zur Wasserbestimmung werden durch vier kleine Gasuhren, die mit der Achse der großen Gasuhr verbunden sind, von dem Einstrom und dem Ausstrom je 2 Teilströme abgesaugt, durch Bimsstein und Schwefelsäure geleitet und das darin absorbierte Wasser durch Wägen bestimmt.

Fig. 17.
Apparat von Voit.



Kontrollversuche mit Alkohol in einer Spiritusglühlichtlampe ergaben für die Bestimmung des Wasserdampfes einen Fehler von $\pm 3.76\%$, für die der Kohlensäure einen von $- 0.93\%$ und für die Sauerstoffbestimmung einen Fehler von $+ 0.93\%$.

B. Die bei Versuchen an kleineren Tieren benutzten Apparate.

8. Der kleine Respirationsapparat von Voit (1875). Das Tier befindet sich in einer kubischen Kammer von 0,4m Seite, also mit einem Inhalt von 64l. Sie besteht aus einem Zinkrahmen, in welchen Glasscheiben eingesetzt sind (53).

Bei der Ventilation tritt die Luft unten in den Kasten ein, streicht über das Tier weg und tritt oben aus.

Die Ventilation der Respirationskammer geschieht durch die Bewegung der messenden Gasuhr, deren Achse mit dem Motor (einem überschlächtigen

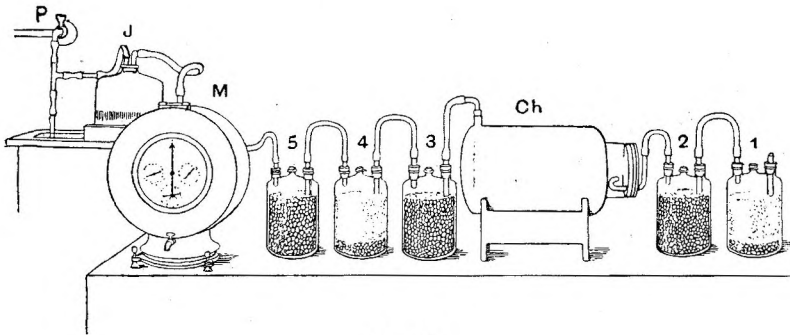


Fig. 18.

Apparat von Haldane.

Wasserrad) in Verbindung steht. Die Größe der Ventilation kann durch Variieren der Menge des auf das Rad auffallenden Wassers zwischen 450 und 3400l Luft in der Stunde variiert werden.

Zur Analyse wird sowohl von der eintretenden als von der austretenden Luft ein aliquoter Teil durch kleine Pumpen Q, die von der Achse des Wasserrades getrieben werden, abgezweigt und dann durch die Absorptionsapparate für Wasser (1.2) und Kohlensäure (4.5) getrieben; zuletzt passiert diese Luft Gasuhren, woselbst sie gemessen wird. Vgl. die Abbildung in Fig. 17, welche diese Anordnungen schematisch darstellt und wohl keine weitere Erklärung nötig hat. Fünf Kontrollversuche mit reinem Olein ergaben für die Kohlensäurebestimmung einen durchschnittlichen Fehler von 1,75% (— 0,4 bis + 2,5). Bei Verdunsten von Wasser betrug der Fehler in drei Versuchen + 1,4 bis + 5,5 Proz.

8b. Der Respirationsapparat von Leyden und Fränkel (1879) ist dem Apparate von Voit nachgebildet. Die Respirationskammer ist 90cm lang, 60cm breit und 70cm hoch; Inhalt 375l. Auf die Bestimmung des Wasserdampfes wurde verzichtet (55).

9. Der Respirationsapparat von Pott (1875) besteht aus einem fast kubischen Kasten von 27,5cm Höhe und 23,5cm Breite und Länge = etwa 17l. Inhalt; die Luftbewegung wird durch einen Aspirator unterhalten. Die eintretende Luft wird durch Ätzkali und Barytwasser von ihrer Kohlensäure befreit; die austretende Luft passiert drei Glaskölbchen mit Barytwasser, wo die gebildete Kohlensäure absorbiert und gewogen wird (54).

9b. Der Apparat von Haldane (1892) stimmt mit dem von Pott wesentlich überein (56). Die Respirationskammer — eine Flasche mit weitem Hals oder ein Kasten aus Blech — hat einen Inhalt von etwa 16l. Die eintretende Luft passiert zwei Woulffsche Flaschen von etwa 3l Inhalt, woselbst ihre Feuchtigkeit durch Bims-

stein und Schwefelsäure und ihre Kohlensäure durch Natronkalk absorbiert werden. Die Feuchtigkeit und die Kohlensäure in der austretenden Luft stammen also nur vom Tiere selber. Diese passiert zuerst eine Flasche zur Absorption der Feuchtigkeit, dann zwei, wo die Kohlensäure absorbiert wird.

Die Ventilation wird durch eine Wasserstrahlpumpe unterhalten, gerade vor dieser ist eine Glasglocke J, um schnelle Druckschwankungen im Apparate aufzuheben. In der Leitung ist noch eine Gasuhr zur Messung der Menge der ausventilierten Luft eingeschaltet (vgl. Fig. 18).

Der Sauerstoffverbrauch wird in folgender Weise bestimmt. Vor und nach dem Versuch wird die Respirationskammer samt dem darin eingeschlossenen Tier gewogen. Die hierbei stattfindende Differenz wird von der gesamten Abgabe von Feuchtigkeit und Kohlensäure abgezogen und stellt den Sauerstoffverbrauch dar. (Vgl. auch Pembre y (87) und Vernon (86)).

9e. Der Apparat von Weinland (1906) ist vom Autor bei seinen Untersuchungen über den Stoffwechsel der Fleischfliege benutzt worden. Die Tiere befinden sich in einem kleinen Rezipienten; die eintretende Luft ist durch Barytwasser bzw. Schwefelsäure von Kohlensäure und Wasserdampf befreit worden. Die austretende Luft wird in zwei Schwefelsäurekölbchen ihrer Feuchtigkeit beraubt, sodann mit Wasser befeuchtet und alsdann durch 2 Röhren mit Barytlauge geleitet. Die Ventilation findet durch eine Wasserstrahlpumpe statt (94).

Andere Versuchsordnungen nach dem Pettenkoferschen Prinzip [sind von Rosenthal (57) und Laulanié (58, 59) angegeben worden.

Drittes Kapitel.

Respirationsapparate ohne Ventilation mit stetiger Erneuerung des verbrauchten Sauerstoffes.

Die schon von Lavoisier praktisch verwertete Idee, das Tier in einem geschlossenen Raum zu halten, die gebildete Kohlensäure durch Lauge zu entfernen und statt dessen Sauerstoff in entsprechender Menge zuzuführen, wurde von Regnault und Reiset bei der Konstruktion ihres Respirationsapparates zugrunde gelegt, und derartige Apparate sind dann immer wieder gebaut worden. Auf dem gegenwärtigen Stand der Sauerstoffanalyse läßt sich tatsächlich nur mittels solcher Apparate der Sauerstoffverbrauch bei länger dauernden Versuchen direkt und mit genügender Exaktheit bestimmen.

Ich werde hier zuerst die Versuchsanordnung der französischen Autoren beschreiben und dann die später veröffentlichten Apparate, je nachdem sie für größere oder kleinere Tiere beabsichtigt sind, besprechen.

1. Der Apparat von Regnault und Reiset (1849) besteht aus einer Kammer, wo das Tier eingeschlossen ist, und aus Vorrichtungen zur Absorption der Kohlensäure und zum Ersatz des verbrauchten Sauerstoffes (60).

Die Respirationskammer (Fig. 19) besteht aus einer Glasglocke von 45 l Inhalt, deren untere Öffnung auf einer gußeisernen Scheibe (DD') festgehalten ist. Diese Scheibe trägt zwei konzentrische Rinnen für die Glocke A und das sie umgebende Glasgefäß BB' und hat in ihrer Mitte eine Öffnung, durch welche das Tier hineingeführt wird und welche

dann luftdicht geschlossen wird. Das Tier ruht auf einer mehrfach durchlöchernten Blechscheibe, die mit Holz bedeckt ist, damit das Tier nicht mit dem Metall in Berührung komme.

Das Glasgefäß ist mit Wasser gefüllt.

Die obere Öffnung der Glocke ist von mehreren Röhren durchbohrt. Eine Röhre steht mit dem Quecksilbermanometer *abc*, welches den im Systeme herrschenden Druck angibt, in Verbindung. Durch zwei andere Röhren kommuniziert die Glocke mit dem Apparat zur Absorption der Kohlensäure rechts in der Figur. Der Sauerstoff tritt durch die Röhre *r* in die Glocke hinein.

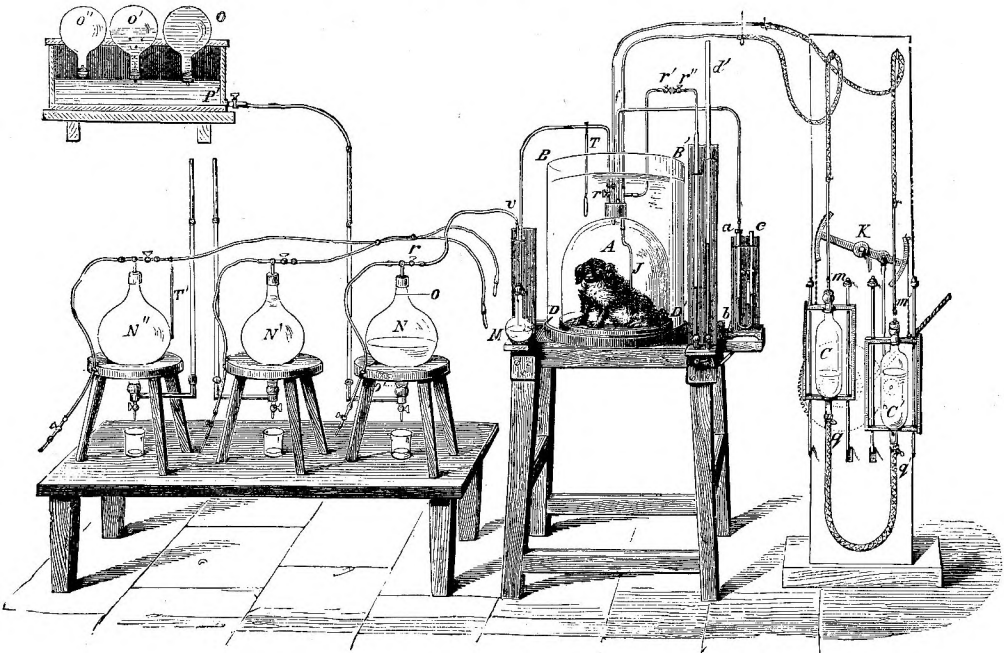


Fig. 19.

Apparat von Regnault-Reiset.

Der Apparat für die Absorption der Kohlensäure besteht aus zwei zylinderförmigen Pipetten, *C*, *C'*, von je 3 l Inhalt, welche unten durch den Schlauch *q* miteinander verbunden sind und oben durch die Röhren und Schläuche *m*, *m'* mit der Glocke *A* in Verbindung stehen. Diese Gefäße enthalten zusammen etwa 3 l einer genau gewogenen Kalilauge von bekannter Zusammensetzung. Sie sind in eisernen Stützen aufgehängt und können durch einen Motor wechselweise gehoben und gesenkt werden.

Wenn in einem gegebenen Augenblick die Pipette *C* ihren höchsten und die Pipette *C'* ihren tiefsten Stand hat und nun die entgegengesetzte Bewegung erfolgt, so steigt die Lauge in *C'* und sinkt in *C* herab. Infolgedessen wird Luft aus der Glocke *A* in *C* aspiriert und gleichzeitig aus *C'* Luft in *A* hineingetrieben. Durch die Bewegungen dieser Gefäße wird also die Luft von der Glocke *A* wechselweise nach der einen Pipette aus *A*

aspiriert und gleichzeitig von der anderen Pipette nach A getrieben. Dabei wird die Luft von der Kohlensäure befreit und die nach A wiederströmende Luft hat also ein kleineres Volumen als die daraus aspirierte.

Das Gesamtvolumen der im Systeme enthaltenen Luft würde also abnehmen, wenn nicht eine entsprechende Menge reinen Sauerstoffes zugeführt werden würde. Dies findet durch den links in der Fig. 19 abgebildeten Apparat statt.

Drei große ballonförmige Gefäße N, N', N'' tragen oben je ein durch Hähne geschlossenes T-förmiges Rohr; das eine Ende desselben steht unter Vermittlung der Flasche M mit der Glocke A in Verbindung; das andere Ende dient zum Hineinbringen von reinem Sauerstoff. Unten ist mit jedem Ballon ein zweigeteiltes Rohr vereinigt. Der eine Ast ist durch einen Hahn geschlossen und dient zum Austritt des Wassers, wenn der Ballon mit Sauerstoff gefüllt werden soll. Der andere Ast mit einer Röhre verbunden, welche ihrerseits mit dem Wasserbehälter P kommuniziert. Durch die umgestürzten Flaschen O, O', O'' wird ein konstanter Druck hier erzeugt.

Die Gefäße N, N' und N'' werden das eine nach dem anderen mit der Glocke A in Verbindung gesetzt. Da der Druck in ihnen, dank dem Druckgefäß P, konstant erhalten wird, muß Sauerstoff aus ihnen in die Glocke A hineinströmen, sobald wegen der Absorption der Kohlensäure in den Pipetten CC' der Druck innerhalb des Systems etwas herabgesunken ist.

Das Manometer d' , welches unter Vermittlung der Röhre r', r'' mit der Glocke kommuniziert, dient, um Proben aus der Glockenluft nach Belieben zu entnehmen.

Als Sperrflüssigkeit in den Sauerstoffgefäßen dient eine konzentrierte Lösung von Chlorkalzium.

Jeder Versuch dauert, bis alle drei Sauerstoffgefäße bis zu einer bestimmten Marke entleert worden sind; die letzten 300 bis 400 ccm werden unter einem erhöhten Druck in die Glocke A getrieben und der Versuch so lange fortgesetzt, bis der Druck innerhalb der Glocke dem atmosphärischen Druck genau gleich geworden ist. Im selben Augenblick wird mittels des Manometers d' eine Luftprobe aus der Glocke entnommen und die Bewegung des Apparates zur Absorption der Kohlensäure sistiert.

Die in diesen aufgenommene Kohlensäure wird durch Schwefelsäure herausgetrieben, durch Kalilauge wieder absorbiert und dann gewogen. Direkt können die Gefäße CC' nicht gewogen werden, da hier außerdem noch der von dem Tier abgegebene Wasserdampf aufgenommen worden ist.

Zu dieser Kohlensäure wird die Kohlensäure, die sich am Ende des Versuches in der Glocke A befindet, addiert.

Die Menge des verbrauchten Sauerstoffes ergibt sich aus dem Volumen der Sauerstoffgefäße und der Analyse der Luft in der Glocke A.

A. Die bei Versuchen am Menschen und größeren Tieren benutzten Apparate.

2. Der Apparat von Reiset (1863) hat eine Respirationskammer von elliptischem Querschnitt und einem Inhalt von 550,1 (61). Seinem Bau nach stimmt dieser Apparat in allem wesentlichen mit dem von Regnault und Reiset überein, nur sind die Dimensionen aller Apparatenteile hier entsprechend größer. Die Sauerstoffzufuhr findet aus

zwei Gasometern von je 220 l Inhalt statt. Der Apparat ist für Schafe, Kälber, Schweine usw. bestimmt.

3. Der Apparat von Hoppe-Seyler (1894). Die Respirationskammer (62), ein liegender Zylinder von 2 m Länge und einem Durchmesser von 1.66 m und 4.840 cbm Inhalt (Fig. 20), befindet sich im Parterre, das Triebwerkzeug usw. im Keller. In die Kammer münden mehrere Röhren, eine ist mit dem Manometer M verbunden; die andere läßt Sauerstoff von

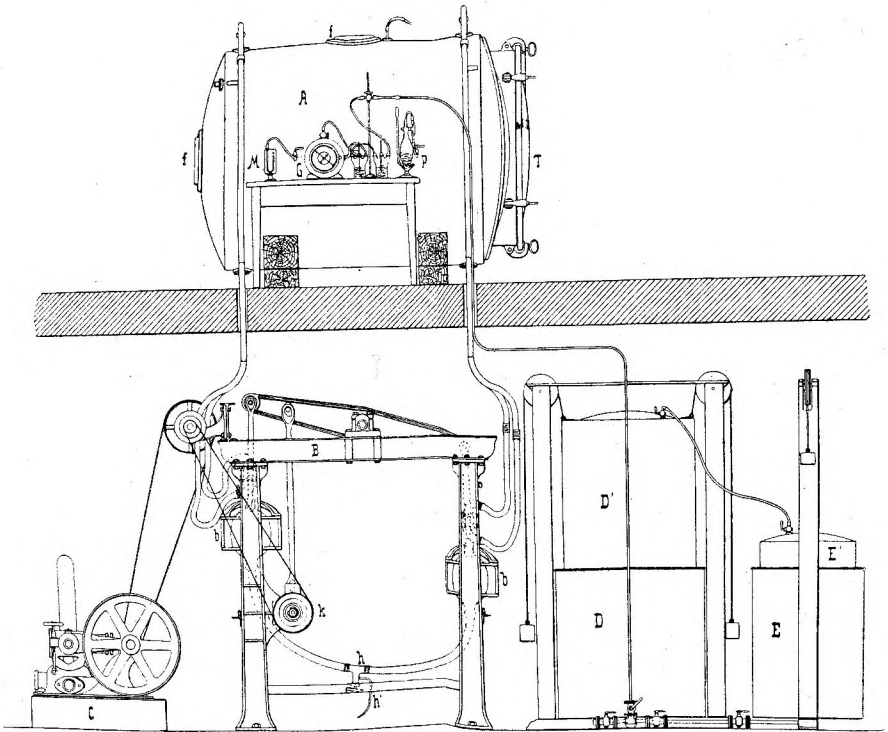


Fig. 20.

Apparat von Hoppe-Seyler.

der Gasuhr G eintreten, durch die dritte können in das mit Quecksilber gefüllte Gasometer p Luftproben von der Luft in der Kammer entnommen werden; durch weitere Röhren steht das Innere der Kammer mit den vier Kalilauge enthaltenden Flaschen bb in Verbindung; diese Flaschen bewirken in ganz derselben Weise wie im ursprünglichen Apparat von Regnault und Reiset die Absorption der gebildeten Kohlensäure. Der Inhalt jeder Flasche beträgt 15 l.

Die Sauerstoffzufuhr findet aus dem kupfernen Gasometer D von etwa $\frac{1}{2}$ cbm Gasraum statt (betreffend die zur Verhinderung des Übertrittes von Stickstoff in das Gasometer benutzten Vorrichtungen vgl. 62, S. 584). Von diesem geht die Leitung durch die Wasserflaschen und die Gasuhr G zur Respirationskammer.

Um eine allzu große Zunahme der Temperatur in der Respirationskammer zu verhindern, läuft am Dache derselben ein Wasserleitungsrohr in zehnfacher Hin- und Herbiegung an der ganzen Länge des Zylinders hin. Durch schwächeren oder stärkeren Wasserstrom kann der durch die Versuchsperson erwärmte Innenraum auf passender Temperatur erhalten werden.

Die gebildete Kohlensäure wird durch Wägung der mittels Schwefelsäure aus der Kalilauge ausgetriebenen und im Kaliapparate aufgefangenen Kohlensäure bestimmt; hierzu kommt noch die am Ende des Versuches in der Respirationskammer vorhandene Kohlensäure, die nach Pettenkofer

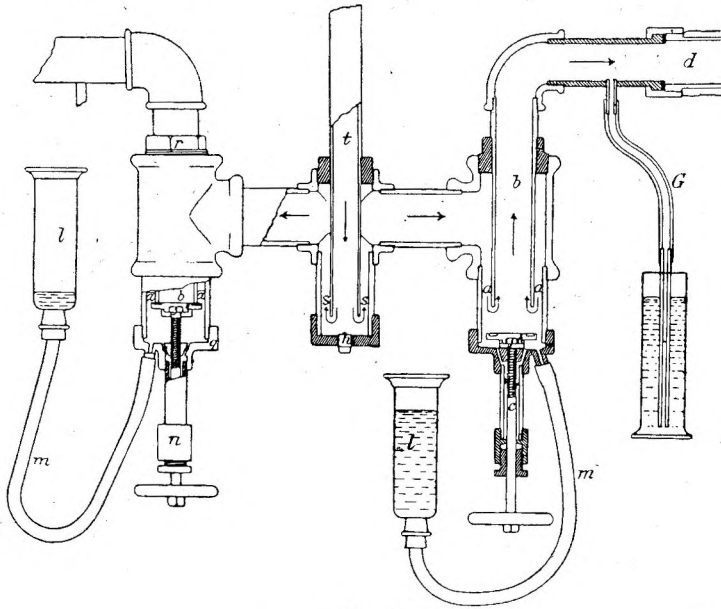


Fig. 21.

Ventil von Atwater-Benedict.

bestimmt wird. Die Menge des verbrauchten Sauerstoffes erhält man durch Ablesen der Gasuhr G und Analyse der Luft in der Respirationskammer. Es versteht sich von selber, daß die Gasmischung in dem Gasometer D auch analysiert werden muß, da der Sauerstoff hier nie ganz rein ist.

4. Der Apparat von Atwater und Benedict (1905). Die Anordnungen für die Bestimmung des respiratorischen Gaswechsels im neuen Kalorimeter der amerikanischen Autoren sind folgende (63).

Die Respirationskammer hat eine Länge von 2.15 m, eine Breite von 1.22 m und eine Höhe von 1.92 m; der Inhalt beträgt also 5 cbm. Die Wände bestehen innen aus Kupferblech.

Die Bewegung der Luft wird hier durch ein Gebläse unterhalten. Vor diesem findet sich eine, von einem Quecksilberventil geschlossene Röhre zur Probeentnahme der aus der Kammer strömenden Luft.

Nach dem Gebläse teilt sich die Röhrenleitung in zwei Zweige, welche jeder für sich zur Absorption und Analyse benutzt wird, wodurch der Ver-

such ohne Unterbrechung in einzelne Abschnitte geteilt werden kann. Die Trennung der beiden Systeme wird mittels der in Fig. 21 abgebildeten Ventile zuwegegebracht.

Die Luft strömt in der Röhre *t* vom Gebläse her und geht dann um den Raum *s* herum; ihr stehen jetzt zwei Wege nach rechts und links offen. Links ist indessen die Passage dadurch geschlossen, daß gegen *a* eine Platte *b* gepreßt ist und Quecksilber aus dem Gefäß *l* außerdem den darunter liegenden Raum gefüllt hat. Rechts ist die Bahn offen und die Luft strömt in der Richtung der Pfeile weiter.

Sie passiert jetzt zur Absorption von Wasserdampf durch ein Gefäß mit Schwefelsäure, wo sie dreimal durch die Säure gehen muß. Die Menge Schwefelsäure in jedem Gefäß beträgt etwa $5\frac{1}{2}$ kg und genügt zur Absorption von etwa 500 g Wasserdampf (vgl. Fig. 22).

Nun folgt ein Gefäß mit Natronkalk zur Absorption der Kohlensäure und ein zur Absorption von Wasserdampf, wonach die Luft nach der Respirationskammer wieder gelangt.

Auf diesem Abschnitt der Röhrenleitung findet sich der Ort, wo Sauerstoff in die Leitung einströmt. Der Sauerstoff findet sich in stark komprimierter Form in Stahlzylindern. Von diesem wird das Gas in einen Kautschuksack gelassen und strömt dann in ein U-förmiges Rohr mit Natronkalk zur Absorption etwa vorhandener Kohlensäure und durch ein Gefäß mit Bimsstein und Schwefelsäure, wo die Feuchtigkeit zurückgehalten wird. Das so gereinigte Gas wird endlich von Zeit zu Zeit in das System hineingelassen. Später (64, S. 69) haben Benedict und Carpenter Vorrichtungen konstruiert, welche die Zufuhr von Sauerstoff automatisch besorgen.

Um Druckschwankungen im Systeme zu vermeiden, ist mit dem Apparat noch eine Dose mit Kautschuküberzug wie in einem anderen unten zu beschreibenden Apparat (vgl. S. 134) verbunden.

Die Bestimmung des abgegebenen Wasserdampfes geschieht durch Wägung des entsprechenden Gefäßes. Hierzu kommt indessen noch die Wassermenge, welche in der Kammer selbst kondensiert worden ist und in besonderen Gefäßen gesammelt wird (vgl. 63, S. 23).

Auch die Kohlensäureabgabe wird durch Wägung der Absorptionsgefäße bestimmt. Hierzu wird die in der Luft im Apparate vorhandene Kohlensäure addiert.

Der Sauerstoffverbrauch läßt sich bestimmen durch Wägung der Sauerstoffzylinder und Analyse der Luft im Systeme.

Einige Kontrollversuche ergaben für die Bestimmung der Kohlensäure eine Abweichung von -0.5 bis $+0.3$ ‰, für die des Wassers eine Abweichung von -0.7 bis $+1.8$ ‰ und für die des Sauerstoffes eine Abweichung von $+0.3$ bis $+1.2$ ‰.

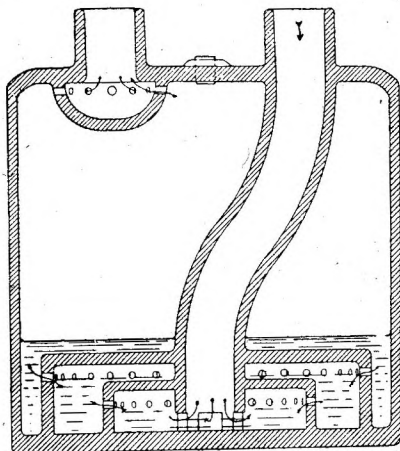


Fig. 22.
Absorptionsgefäß für Wasserdampf nach
Atwater-Benedict.

Über den Bau anderer Formen von Respirationskammern vgl. Benedict und Carpenter (64).

Der große Respirationsapparat, den Zuntz in seinem neuen Institut errichtet hat, ist meines Wissens noch nicht beschrieben worden.

B. Die bei Versuchen an kleineren Tieren benutzten Apparate.

5. Der Apparat von Hoppe-Seyler (1876). Die Luftbewegung wird durch zwei in Quecksilber gehende Spirometriglocken unterhalten.

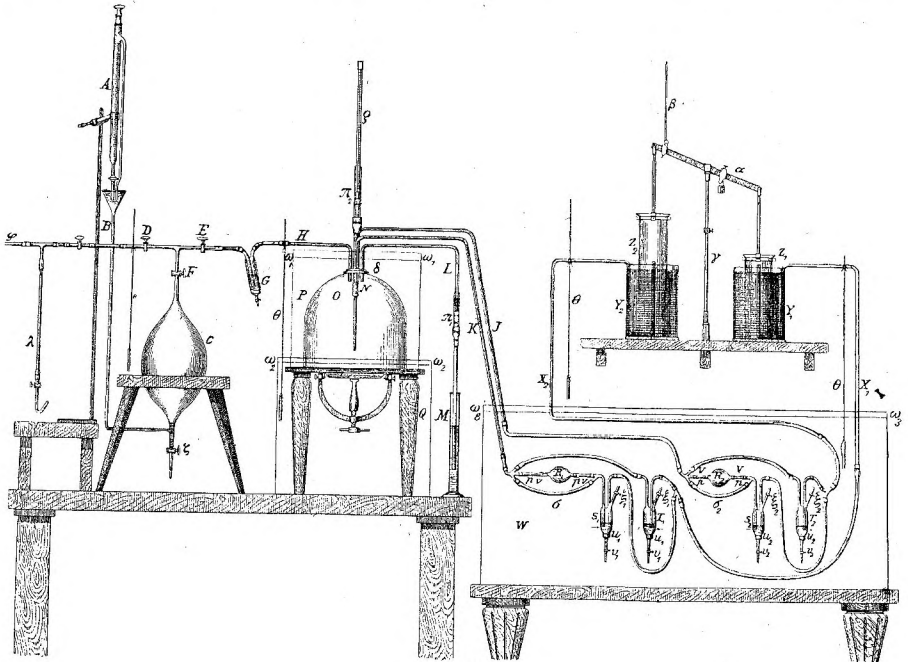


Fig. 23.

Apparat von Pflüger.

Auf ihrem Wege zu und von den Glocken muß die Luft je zwei zweihal-sige Flaschen mit Kalilauge passieren, die zu gleicher Zeit als Ventile und zur Absorption der Kohlensäure dienen. Aus einer Mariotteschen Flasche wird der verbrauchte Sauerstoff durch frische Luft ersetzt (65).

6. Die Methode von Pflüger (1877). Die Respirationskammer O (vgl. Fig. 23) hat einen Inhalt von 3.4 l und ist in ein Gefäß mit Wasser eingeschlossen (66). Die Luftbewegung findet durch zwei in Quecksilber gehende Spirometriglocken (Y_1 , Y_2) statt. Auf dem Wege zu und von diesen geht die Luft durch eine Anzahl mit Kalilauge beschickter Ventile (S_1 , S_2 , T_1 , T_2), in welchen die Kohlensäure absorbiert wird. Vor den Ventilen passiert die Luft die Kugel R_1 bzw. R_2 ; die in dieser befindliche Luft hat natürlich die gleiche Zusammensetzung wie die Luft in der Kammer; wenn die Verbindungsschläuche bei μ_1 V zugeklemmt werden, kann sie entfernt werden, und in diesem Falle geht die Luftströmung durch σ_1 bzw. σ_2 . Der ganze Ventilapparat wird im Wasser gehalten.

Die Zufuhr von Sauerstoff findet aus dem Ballon C statt. Dieser ist durch die Röhre φ mit einem Gasometer verbunden; die Röhre λ dient zur Probeentnahme des Gases. Durch die Röhre E und die Waschflasche G tritt der Sauerstoff in die Respirationskammer hinein, und zwar unter dem Druck der in der Röhre B befindlichen konzentrierten Chlorkalziumlösung. Die Zufuhr geschieht von Zeit zu Zeit, indem durch Öffnen des Hahnes von A die Lösung tropfenweise in das Druckrohr ausfließt. Hierdurch kann eine genaue Messung der aus dem Gefäß C herausgetriebenen Gasmenge erzielt werden.

Später (68) wurde der Apparat so verändert, daß der Druck im Ballon C automatisch geregelt wurde, indem, wie im Apparate von Regnault und Reiset, mittels einer umgestürzten Flasche das Niveau der Flüssigkeit im Rohre B immer konstant erhalten wurde.

Übrigens wurden die Kautschukverbindungen in großem Umfange durch Schliffe ersetzt und einige andere Abänderungen beim Apparate vorgenommen. Vgl. auch Bleibtreu (10, S. 366).

5. Der Apparat von Zuntz und Oppenheimer (1905). Die Bestimmung der Temperatur in der 1 m langen, 0,4 m breiten und 0,4 m hohen Respirationskammer von insgesamt 160 l Inhalt geschah in folgender Weise (75). Ein 2,25 m langes, den Kasten in mehreren Windungen durchziehendes, kupfernes, innen verzinktes Rohr ist mit einem Manometer verbunden, welches die Druckschwankungen der in dem Rohr eingeschlossenen Luft mißt. Da diese von den Druck- und Temperaturschwankungen in der Kammer abhängig sind, stellen seine Angaben diejenigen Spannungsänderungen dar, die die Luft der Kammer erfahren hätte, wenn ihre Masse keiner faktischen Änderung unterworfen gewesen wäre. Wenn man aber diese Änderungen in Abrechnung bringt, d. h. um die am Instrumente (Thermobarometer) abgelesene Größe in Millimeter Hg den Anfangsbarometerstand in positivem oder negativem Sinne korrigiert, so kann man das Endvolumen des Gases in der Kammer auf Grund der anfänglichen Werte für Druck und Temperatur berechnen. Ein zweites Manometer mißt den Luftdruck in der Kammer.

Die Manometer, welche durch Niveaueugeln auf den Nullpunkt eingestellt werden, sind mit 72 % iger Chlorkalziumlösung, deren spezifisches Gewicht genau $\frac{1}{10}$ von dem des Quecksilbers ist, gefüllt.

Durch einen elektrisch getriebenen Ventilator wird die Luft des Atemraumes in einem Kreise herumbewegt. Dabei wird sie mittels einer besonderen Pumpe durch Kaliventile aus der Respirationskammer ausgesaugt und wieder in sie zurückgetrieben.

Alle Kautschukverbindungen sind unter Wasser versenkt. Die Verbindung der Respirationskammer mit den in der zweiten Wasserwanne befindlichen Ventilen vermitteln passend gebogene Bleiröhren.

Aus dem Sauerstoffreservoir A wird das Gas durch die Leitung V, W_1 , W_2 (Fig. 25) dem zur unteren Hälfte der Pumpe führenden Ventilationsstrome beigemischt.

In bezug auf diesen Apparat sind nach Oppenheimer (76) noch folgende Einzelheiten zu erwähnen.

Zum Ausgleich der Temperatur in der Wanne, wo die Respirationsskammer eingeschlossen ist, wird während des ganzen Versuches mit Hilfe

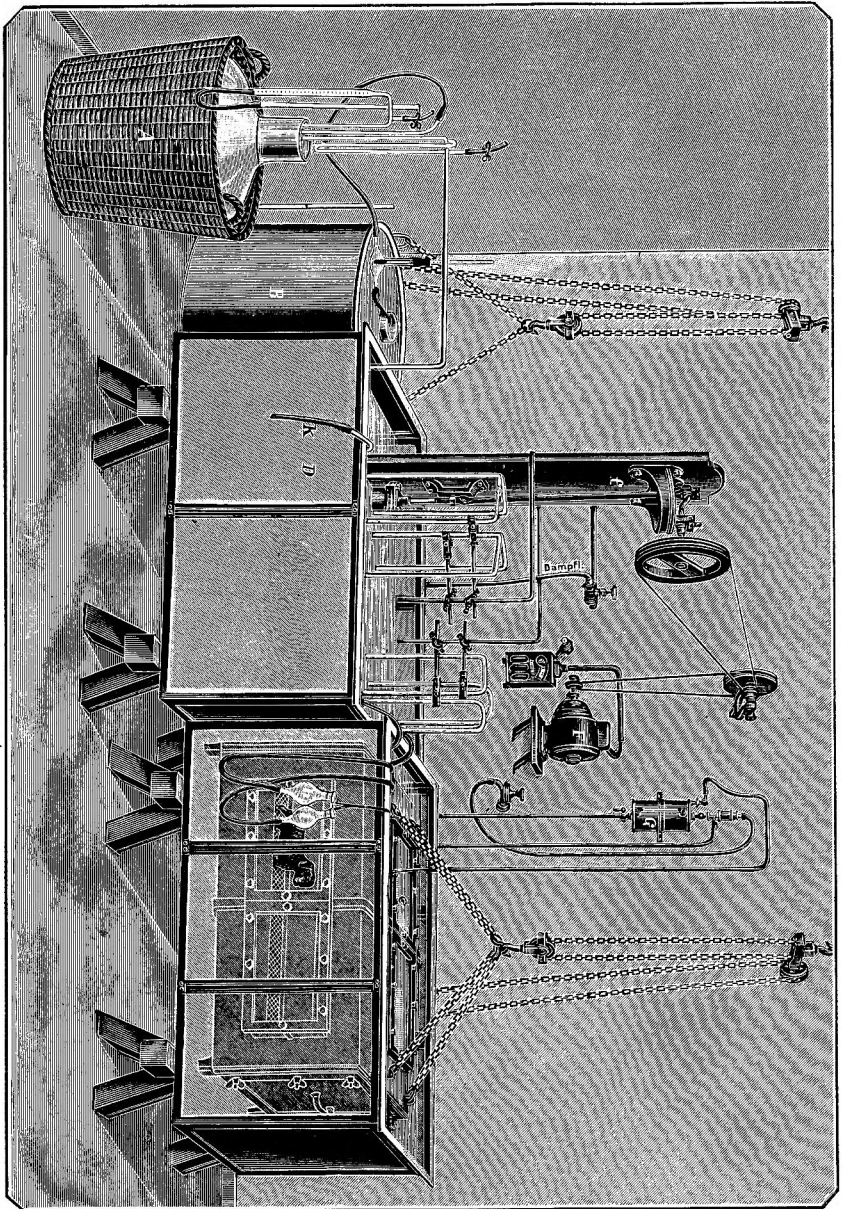


Fig. 24.
Apparat von Zuntz.

einer Wasserstrahlpumpe ein kräftiger Luftstrom getrieben. Wenn die Wassertemperatur zu sehr von der Lufttemperatur abweicht, wird das Wasser durch den Dampf von der Zentralheizung erwärmt.

Das Prinzip der Sauerstoffzufuhr ist, das Gas nicht zu messen, sondern die seinem Volumen entsprechende Wassermenge zu wägen. Dazu dient ein Ballon von etwa 70 l Inhalt, der mit einem dreifach durchbohrten Gummistopfen verschlossen ist (Fig. 24). Durch diesen geht erstens ein bis auf den Boden reichendes Glasrohr, das mit dem mittels Flaschenzugs in beliebiger Höhe einstellbaren Wassergefäß B in Verbindung steht und den Zu- und

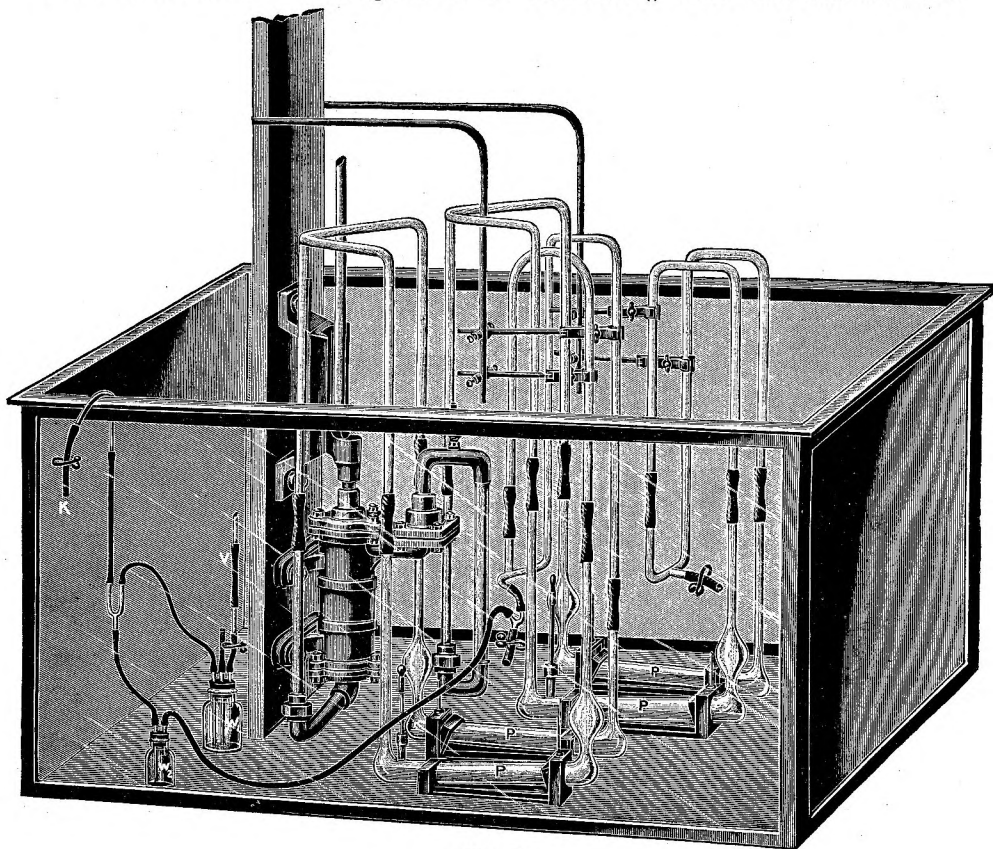


Fig. 25.
Apparat von Zuntz.

Abfluß des Wassers vermittelt. Das zweite Rohr geht nur bis dicht unter den Stopfen und dient als Zu- und Ableitungsrohr für den Sauerstoff. Es geht als einheitliches Glasrohr über den Rand der Ventilwanne, so daß die dort befindliche Schlauchverbindung unter Wasser ist. Der Sauerstoff geht dann durch zwei Waschflaschen mit sehr verdünnter Kalilauge zur Respirationskammer. An dem langen horizontalen Schenkel dieses Rohres ist ein Wassermanometer zur Einstellung des in der Flasche befindlichen Sauerstoffes auf Atmosphärendruck angebracht. Das dritte Rohr dient als Thermo- barometer (vgl. oben S. 107).

Die Messung des Sauerstoffes gestaltet sich nun folgendermaßen. Die Flasche A wird mit sauerstoffgesättigtem Wasser vollkommen gefüllt. Dann

wird sie auf einer auf 10 g genauen Dezimalwage gewogen und nun aus einer Sauerstoffbombe Sauerstoff eingeleitet. Das verdrängte Wasser wird in das etwa 150 l fassende Blechgefäß B gedrückt. Wenn die Flasche ziemlich mit Sauerstoff gefüllt ist, wird die Verbindung zur Bombe geschlossen und durch passende Einstellung des Gefäßes B der Druck in der Flasche annähernd auf den atmosphärischen ausgeglichen. Der genaue Ausgleich wird dann unter Kontrolle des Manometers bewirkt, das man aber erst dann öffnen darf, wenn der Druck fast ausgeglichen ist. Ist der Druck in der Flasche dem atmosphärischen genau gleich, so sperrt man auch die Verbindung zum Wassergefäß ab und liest das Thermobarometer ab. Dann wägt man die Flasche wieder und berechnet aus diesen Daten unter Berücksichtigung notwendiger Thermometerkorrekturen die Menge des in die Flasche hineingebrachten Sauerstoffes. Das Gefäß B wird dann in die Höhe gezogen, die Ableitung der Flasche A mit der Waschflasche in der Wanne verbunden und so der Sauerstoff unter leicht regulierbarem Druck in den Apparat hineingeleitet. Am Schluß des Versuches wird die Verbindung zur Waschflasche abgeklemmt, durch Herablassen des Gefäßes B der Druck mit dem atmosphärischen ausgeglichen usw. So erhält man den Wert für den noch in der Flasche gebliebenen Sauerstoff und daraus ohne weiteres den verbrauchten.

Die Absorption der Kohlensäure geschieht bei dem neuesten Modell des Apparates in einem Topf aus laugefestem Gußeisen, in den der Luftstrom von unten eintritt, um ihn oben wieder zu verlassen. In diesem Gefäße wird durch eine kleine von demselben Motor wie der Ventilator betriebene Reinnickelpumpe ein Springbrunnen von starker Kalilauge erzeugt, der dann über Reinnickelsiebe herabtropft, so daß die Luft an diesem feinen Regen von Lauge vorbeistreichen muß. Durch einen Hahn am Boden dieses Topfes kann die Lauge zu jeder Zeit während des Versuches ganz oder teilweise abgelassen und analysiert werden, was also ermöglicht, den Versuch in mehrere Teile zu zerlegen.

8. Der Apparat von Krogh (1906). Bei diesem Apparat (77) sind alle Dimensionen möglichst klein, und zwar beträgt das Volumen der Respirationskammer nur etwa 159 ccm und das der übrigen Teile des Apparates, etwa 195 ccm.

Fig. 26 gibt diesen Apparat schematisch wieder. Es wird hier nur elektrolytisch dargestellter reiner Sauerstoff an Stelle des verbrauchten benutzt, und zwar wird die Elektrolyse ununterbrochen fortgesetzt, man möge nun experimentieren oder nicht; nie wurde der Sauerstoff zu Versuchen gebraucht, bevor wenigstens 36 Stunden nach dem Wiederfüllen mit Wasser verflossen waren. Die Sauerstoffzufuhr zu dem Respirationsapparate findet durch die Röhre O_2 statt, und zwar ist der Druck derart reguliert, daß er konstant 15 bis 20 cm Wasser höher ist als der Druck der Atmosphäre.

Die Bewegung der Luft im Systeme wird durch eine Pumpe eigenartiger Konstruktion¹⁾ unterhalten; die Luft wird nach dem Vorgang von

1) Der Pumpenkolben besteht aus einer Röhre aus vernickeltem Eisen, die an richtiger Stelle durch vier permanente Magnete gehalten wird. Die Magnete werden mittels eines Exzentrers nach oben und unten bewegt und dabei muß der Kolben folgen. Eine Klappe aus Aluminiumblech zwingt die Luft in der richtigen Richtung zu strömen.

Seegen und Nowak (69) zunächst durch eine Verbrennungsröhre getrieben, wo etwa vorhandene brennbare Gase durch einen glühenden Draht oxydiert werden. Dann kommt sie zu einem Gefäß mit Lauge, wo die Kohlensäureabsorption stattfindet; wie aus der Figur ersichtlich, dient dieses Gefäß auch als Ventil. Des weiteren passiert die Luft durch eine Wasserflasche und dann zurück zur Tierkammer. An verschiedenen Stellen der Leitung sind Rezipienten (a, b und c) angebracht, um nach Schluß des Versuches die

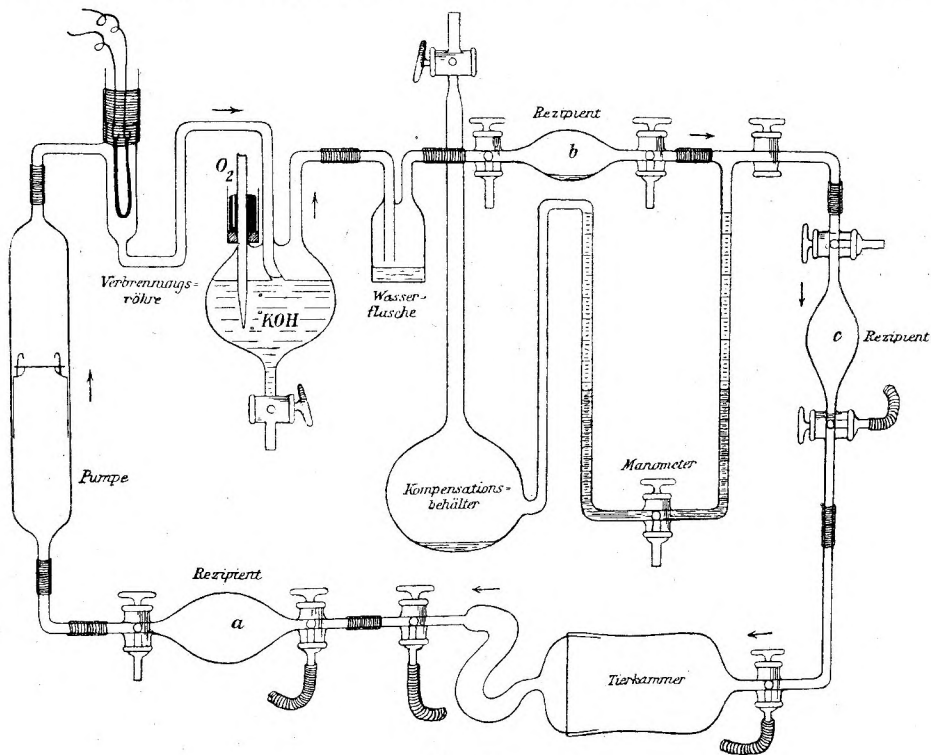


Fig. 26.
Apparat von Krogh.

Entnahme von Proben zur Analyse der Luft in verschiedenen Abschnitten des Systems zu gestatten.

Der Druck im Systeme wird durch das mit Paraffinöl beschickte Manometer angegeben und hierbei die Kompensationsmethode benutzt. Die Kompensationskugel wird sowohl als der Respirationsapparat unmittelbar vor jedem Versuch einen Augenblick geöffnet und das Gleichgewicht hergestellt. Dann wird der Hahn der Kugel geschlossen. Bei allen Ablesungen während jedes Versuches und nach dessen Beendigung wird das Gleichgewicht mit der bekannten in der Kompensationskugel eingeschlossenen Luftmenge hergestellt, und Schwankungen des Barometerdruckes oder der Temperatur des Wasserbades üben daher gar keinen Einfluß aus.

Andere Apparate nach dem Prinzip von Regnault und Reiset, welche im großen und ganzen mit den hier beschriebenen übereinstimmen, auch wenn sie einige

beachtenswerte Einzelheiten bringen, sind von Schulz (67), Seegen und Nowak (69), Nemser (71), Rosenthal (57), S. 253; (72, 74), Pflüger (73), S. 443, Nagai (78) u. a. beschrieben worden.

9. Für Wassertiere benutzen Jolyet und Regnard (1877) folgende Versuchsanordnung (83). Das Tier (Fig. 27) wird im Behälter C mit etwa 7 l Wasser eingeschlossen. Mittels des Kautschukballons A, der durch den Motor M in bestimmtem Rhythmus komprimiert wird, wird Luft durch t in das Wasser in C getrieben und strömt bei der Wiedererweiterung des Ballons von dort durch t' und das mit Kalilauge beschickte Ventil D zum Ballon zurück. Der bei der Atmung stattfindende Verbrauch an Sauerstoff wird von dem Gefäß O, in welchem Sauerstoff unter einem konstanten Druck steht, ersetzt.

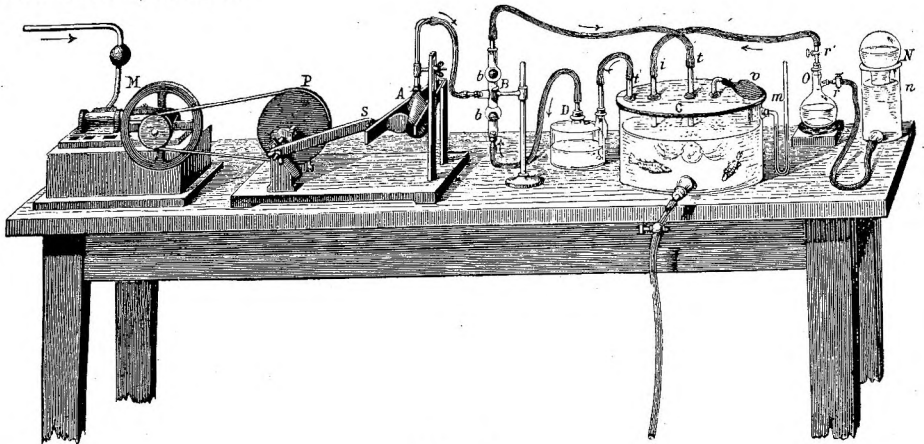


Fig. 27.

Apparat von Jolyet-Regnard.

Der Kautschuksack v regelt den Druck im Systeme, so daß dieser beim Zusammenpressen des Ballons A nicht ansteigt.

Die Kohlensäureabgabe wird durch Analyse des Wassers im Gefäß C und der Lauge in D sowie der Luft im Systeme bestimmt. Desgleichen wird die Größe des Sauerstoffverbrauches aus der Verminderung des Sauerstoffes in O sowie durch Analyse des Wassers und der Luft in C festgestellt.

10. Im Apparat von Zuntz (1901) ist der Kautschuksack von Jolyet und Regnard vermieden und Einrichtungen getroffen, um die Temperatur im Apparate konstant zu erhalten (84). Der Glasballon faßt 52 l und wird beim Versuch zu etwa 47 l mit Wasser gefüllt. Durch eine doppelt wirkende Luftpumpe wird bei jeder Bewegung des Kolbens auf der einen Seite desselben ebenso viel Luft im Ballon eingepreßt, wie auf der anderen Seite aus ihm ausgesaugt. Die ausgesaugte sowohl wie die zurückgepreßte Luft passiert Ventile mit Kalilauge zur Absorption der Kohlensäure. Die Spannung der im Ballon befindlichen Luft wird durch ein Manometer gemessen; mittels eines Thermobarometers (vgl. oben S. 109) wird ein Korrektionsfaktor zur Reduktion der Ablesungen auf Druck und Temperatur zu Beginn des Versuches erhalten.

Diese Einrichtungen befinden sich in einem großen, mit Wasser gefüllten Aquarium, in welches der Inhalt mittels einer Wasserstrahlpumpe

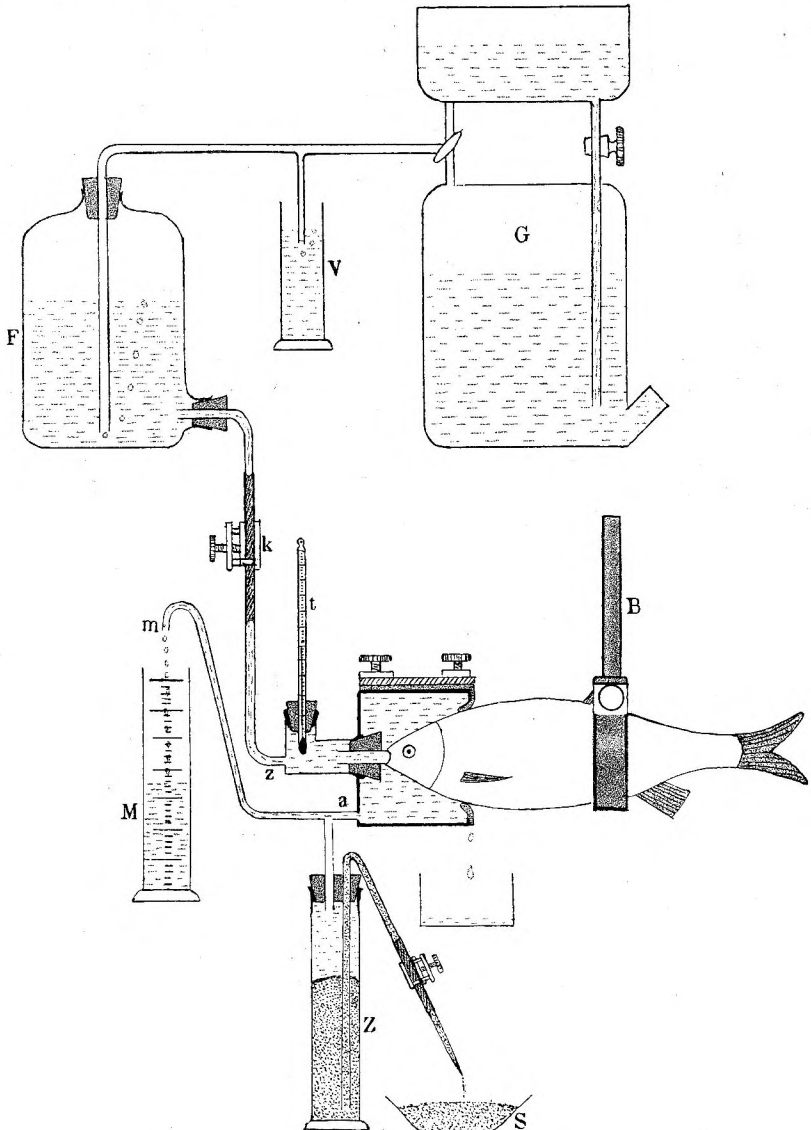


Fig. 28.
Apparat von Winterstein.

stetig durchmischt und dessen Temperatur mittels eines Thermoregulators auf einer konstanten Höhe erhalten wird.

Zum Ersatz des verbrauchten Sauerstoffes strömt aus einem graduierten, in jeder Stellung äquilibrirten Gasometer Sauerstoff nach, sobald der
Tigerstedt, Handb. d. phys. Methodik I, 3.

Druck der Luft im Ballon unter eine beliebig einzustellende Grenze gesunken ist.

11. Bei seinem Respirationsapparat bindet Winterstein (1908) ins Maul des Fisches eine Glaskanüle ein, durch welche der Zufluß von Wasser erfolgt (85, S. 90). Diese Methode gehört also eigentlich zu den in Kap. IV zu besprechenden. Die Kanüle (Fig. 28) steckt wasserdicht in einem Gummistopfen und ist außerhalb desselben mit einer Flasche mit Wasser verbunden, von welcher unter konstantem Druck Wasser in die Kanüle fließt. Kopf und Brust des Fisches sind wie aus der Figur ersichtlich in einer Kammer eingeschlossen; die Abdichtung findet durch eine Gummiplatte statt und der Hinterteil des Fischkörpers wird von der Klemme B getragen. Das bei der Atmung durch die Kiemenspalten austretende Wasser strömt weiter durch die Röhre a aus der Kammer und wird im Meßgefäß M gemessen. Mit dem genannten Rohr kommuniziert noch das vertikal davon nach unten gehende Rohr, welches in das mit Quecksilber gefüllte Gefäß Z führt. Wenn die Klemme an dem daselbst noch angebrachten Heberrohr geöffnet wird, so wird allmählich Wasser zur Analyse in Z hineingesaugt. Wenn die Gummiplatte nicht den Abfluß vollständig verhindern würde, wird das hier austretende Wasser in ein besonderes Gefäß gesammelt.

Der Sauerstoffverbrauch findet sich dann, unter Berücksichtigung der in M gesammelten Wassermenge, aus der Differenz des Sauerstoffgehaltes in F und Z.

Das Gasometer G mit der Waschflasche V kommt nur dann in Betracht, wenn man Wasser durchströmen lassen will, welches einen von der Sättigung mit Luft abweichenden Gasgehalt besitzt.

Viertes Kapitel.

Atmung durch eine Respirationsmaske, ein Mundstück oder eine Trachealkanüle.

Unter allen Methoden, den respiratorischen Gaswechsel quantitativ zu verfolgen, ist die Methode, bei welcher das Versuchsindividuum durch eine Respirationsmaske oder eine Trachealkanüle atmet, die am wenigsten kostspielige. Da hier nur sehr kleine Luftmengen in Betracht kommen, läßt sich mit dieser Methode nicht allein die auch sonst leichte Bestimmung der Kohlensäure ausführen, sondern auch der Sauerstoffverbrauch kann gleichzeitig mit großer Genauigkeit bestimmt werden, was als ein sehr bedeutender Vorteil zu erachten ist.

Ein Übelstand bei dieser Methode liegt aber in der Atmung durch die Maske, bzw. das Mundstück, denn sie erfordert von seiten der Versuchsperson jedenfalls eine gewisse Übung und diese Atmungsweise wird selbst von geübten Versuchspersonen als doch zu einem gewissen Grade lästig bezeichnet.

So sagt Speck (12 S. 215): Meinen Bestrebungen, Normalzahlen für den Atemprozeß anderer Personen festzustellen, bereitete die Ungeschicklichkeit, mit der die meisten Menschen sich bei allen Dingen, die das Atmen betreffen, benehmen, nicht geringe Schwierigkeit. Schon die Aufmerksamkeit, die auf die Atemtätigkeit gelenkt wird, und mehr noch der bloße Gedanke an die Möglichkeit einer Störung oder Beschränkung des Atmens rufen eine Hast und Übereilung hervor, die unnatürlich ist, sobald die Versuchspersonen in den Apparat atmen, selbst dann, wenn sie vorher belehrt und aufmerksam gemacht wurden.

Und Katzenstein (13, S. 380) bemerkt, daß trotz aller Sorgfalt die Applikation des Mundstücks und die Atmung durch die Gasuhr in etwas eine Belästigung und damit ein kleines Plus an Arbeit hervorrufen.

Wenn es daher unbedingt zugegeben werden muß, daß das Atmen mit den hierhergehörigen Apparaten kein freies Atmen ist, bereitet es dennoch dem wirklich Geübten nur ganz geringfügige Schwierigkeiten, wie am besten aus folgenden Bestimmungen an Zuntz hervorgeht. Am 21. Sept. 1897 betrug seine CO_2 Abgabe pro Stunde und Kg Körpergewicht 0.304 g; der Versuch fand im großen Respirationsapparat zu Stockholm, ohne jedes Mundstück usw., statt. Am 1. Oktober war die CO_2 Abgabe pro Kgr. und Stunde 0.285 g; hier wurde die Bestimmung unter Anwendung eines Mundstückes ausgeführt (14, S. 111).

Ein weiterer Übelstand dieser Methode ist der, daß ein Versuch im allgemeinen nur eine kurze Zeit — meistens etwa $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Stunde oder etwas mehr — fortgesetzt werden kann, was natürlich nicht verhindert, daß er nach einer längeren oder kürzeren Ruhepause wiederholt wird. Eine über mehrere Stunden oder einen ganzen Tag stattfindende ununterbrochene Bestimmung des Gaswechsels läßt sich daher kaum durchführen. Meines Wissens hat nur Smith (15, S. 690) den heroischen Versuch gemacht, 18 Stunden lang mit alleiniger Unterbrechung für die Mahlzeiten durch die Maske zu atmen.

Bei der gewöhnlichen Lebensweise zeigen sich indessen, auch wenn keine eigentliche körperliche Arbeit geleistet wird, ja selbst bei Bettlage, im Laufe von 24 Stunden nicht unerhebliche Variationen in der Größe der Verbrennung, und es ist daher völlig unberechtigt, aus kurzdauernden Beobachtungen den Tagesumsatz zu berechnen.

Die vorliegende Methode eignet sich daher nicht zu solchen Untersuchungen, wo man den Tagesumsatz feststellen will, und bei solchen sind die schon beschriebenen Methoden, wo die Versuchsperson in eine besondere Respirationskammer eingeschlossen wird, unbedingt notwendig.

Andererseits ist sie, wie keine andere, zur Feststellung schnell verlaufender Variationen im Stoffwechsel geeignet, und die meisten bis jetzt vorliegenden Untersuchungen über die quantitativen Beziehungen zwischen der körperlichen Arbeit und dem Stoffwechsel sind gerade mittels dieser Methode ausgeführt worden.

Sowohl beim Menschen wie bei den Tieren kann diese Methode durchgeführt werden. Es ist, wie die Erfahrung vielfach gezeigt hat, mit vielerlei Schwierigkeit verbunden, an ein Tier eine Gesichtsmaske oder eine ähnliche Vorrichtung luftdicht anzubringen, und die unter Anwendung von solchen gewonnenen Resultate scheinen immer nur mit großer Vorsicht zu verwerten zu sein. Indessen bietet es keine Schwierigkeiten, dem Tiere eine

Lufttröhrenfistel anzulegen und dann in gewöhnlicher Weise die Untersuchung der Respirationsgase durchzuführen.

Eine Gesichtsmaske, wie sie früher angewendet wurde, kommt nunmehr nur ausnahmsweise in Betracht, da sie durch ein Mundstück oder durch eine in die Nasenöffnung eingeführte Röhre mit großem Vorteil ersetzt werden kann. Bei Versuchen an kleinen Kindern dürfte sie indessen kaum zu vermeiden sein, und v. Recklinghausen (91, S. 455) hat sie dabei in folgender Weise benutzt. Aus einer außerordentlich feinen und anschmiegungsfähigen, beim Benetzen transparenten Gummiplatte wird um die möglichst flach geschnittene eigentliche Maske ein halbfingerbreiter freier Saum hergestellt. Dieser wird vor dem Aufsetzen der Maske mit Glycerin bestrichen und dadurch auf der Haut angeklebt, alle Vertiefungen derselben ausfüllend. — Die Maske bedeckt Mund, Nase, Augen und einen Teil der Backen.

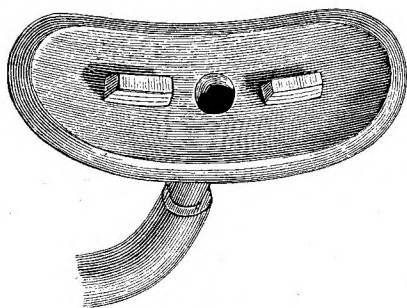


Fig. 29.
Mundstück von Denayrouse.

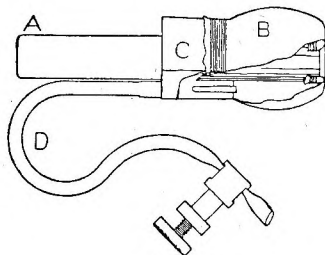


Fig. 30.
Apparat von Benedict.

Das bei diesen Versuchen in der Regel benutzte Mundstück ist ursprünglich von Denayrouse (vgl. 18, S. 286) für Taucher konstruiert. Es besteht (Fig. 29) aus einer ovalen Kautschukplatte mit einem Loch in der Mitte. In diesem Loch ist eine metallene Röhre festgesetzt. Die Kautschukplatte wird zwischen den Zahnreihen und den Wangen (Lippen) placiert, und die Nase durch eine kleine Pinzette geschlossen.

Geppert (19, S. 369) benutzt eine Hartgummiplatte, welche der Krümmung des Oberkiefers konform gebildet ist; in diese ist eine runde, 2 cm breite Öffnung geschnitten, in welche ein T-Stück mit 2 cm breiten Hartgummiröhren paßt. Die beiden freien Enden des T-Stückes sind durch Gummischläuche mit den Ventilen verbunden. Wird nun die Hartgummiplatte zwischen Lippen bzw. Backen und die Kiefer geschoben, so bilden die anliegenden Weichteile einen luftdichten Abschluß und In- und Expiration gehen nach Verschuß der Nase durch die Ventile. Der Verschuß der Nase findet durch Baumwollbäusche statt, die in Vaseline getränkt sind und mit der Pinzette in die Nase fest eingeführt werden.

Zuntz (20, S. 27) hat später statt des Hartgummis weichen vulkanisierten Kautschuk, welcher im Munde angenehmer ist, benutzt.

Einige Autoren ziehen es vor, das Versuchsindividuum durch die Nase, bei geschlossenem Munde, atmen zu lassen.

Hierher gehört die Vorrichtung von Benedict (27, S. 364), die von dem Autor sehr warm empfohlen wird (Fig. 30).

Eine Glasröhre A von 7 mm lichtigem Durchmesser dient zur Strömung der Luft von und zu der Nase. Auf diese Röhre einerseits und auf einen Kautschukstopfen andererseits ist in der aus der Figur ersichtlichen Weise ein dünner Fingerhut aus Gummi gebunden. Nach der Einführung der Röhre in die Nasenöffnung wird der Fingerhut durch die Röhre D aufgeblasen, schmiegt sich dicht an alle Anfraktuositäten der Nasenhöhle und gewährt einen vollständigen Abschluß. Eine gleiche Röhre wird auch in die andere Nasenöffnung festgesetzt und beide dann mit einer gemeinsamen Röhre verbunden.

Vgl. auch die Versuchsanordnung von Tissot (S. 131).

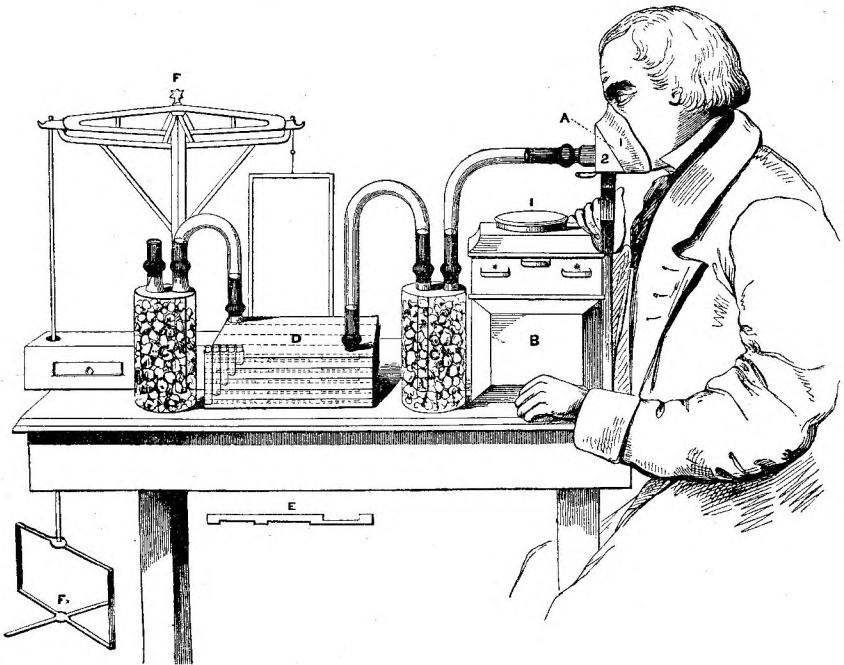


Fig. 31.
Apparat von Smith.

A. Die bei Versuchen am Menschen benutzten Apparate.

1. 2. Die Versuchsanordnungen von Allen und Pepys (1808; 16) sowie von Andral und Gavarret (1843; 17) bieten nunmehr nur ein geschichtliches Interesse dar, weshalb sie nicht hier besprochen werden können.

3. Der Apparat von Smith (1859). Die inspirierte Luft wird durch eine trockene Gasuhr gemessen (15). Die expirierte Luft passiert 1. ein Gefäß mit Bimsstein und Schwefelsäure zur Absorption des Wasserdampfes; 2. einen Kasten aus Guttapercha, in welchem die Kohlensäure absorbiert wird; 3. ein zweites Gefäß mit Bimsstein und Schwefelsäure zur Absorption des von (2) abgegebenen Wasserdampfes; 4. ein Gefäß mit Barytwasser zur Kontrolle der vollständigen Absorption der Kohlensäure. Durch leicht spielende Klappen werden In- und Expirationsluft voneinander getrennt.

Die Bestimmung der abgegebenen Kohlensäure fand durch Wägung der Gefäße (2) und (3) statt; zu diesem Zwecke diente eine Örtlingsche Wage, die bei einer Belastung von 7 Pfund noch für $\frac{1}{100}$ Grain empfindlich war. Indessen wurden die Wägungen nur mit einer Genauigkeit von $\frac{1}{10}$ Grain ausgeführt (Fig. 31).

Das Charakteristische bei dieser Methode besteht darin, daß weder die inspirierte noch die expirierte Luft durch irgend eine Flüssigkeitsschicht zu passieren hatten, denn erstere wurde durch eine trockene Gasuhr gemessen, und die expirierte Luft hatte nicht durch eine Flüssigkeit, sondern über eine Flüssigkeit zu passieren.

Das Gefäß für die Kohlensäureabsorption besteht aus Guttapercha von $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{10}$ Zoll Dicke; die Bodenfläche ist 12×12 Zoll und die Höhe 5 Zoll.

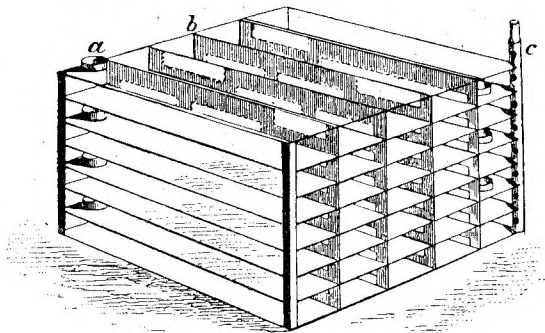


Fig. 32.

Apparat zur Absorption von Kohlensäure von Smith.

Es ist in mehrere Etagen geteilt, jede von $\frac{5}{8}$ Zoll Höhe, und zwar stehen diese durch je ein Loch a von etwas größerem Querschnitt als dem der Trachea untereinander in Verbindung. Um diese Löcher herum findet sich auf der oberen Fläche jeder Zwischenwand ein $\frac{1}{4}$ Zoll hoher Guttapercharing, um das Hinunterfließen der Flüssigkeit in die untere Etage zu verhindern. Durch Guttaperchastreifen b ist jede Etage in fünf Kammern geteilt; diese Streifen sind am Boden und Dach jeder Etage befestigt, haben aber an ihrem unteren Rande Ausschnitte, durch welche sich die Flüssigkeit auf dem ganzen Boden der Etage verbreiten kann. Auch der obere Rand dieser Streifen hat, alternierend, entsprechende Ausschnitte so angeordnet, daß die expirierte Luft von der einen Kammer zur anderen strömen kann und dabei gezwungen ist, diese in ihrer ganzen Länge zu durchlaufen. Infolgedessen muß die expirierte Luft über eine Oberfläche von insgesamt etwa 700 Qu.-Zoll streichen (vgl. Fig. 32).

Der Widerstand in diesem Apparate war so gering, daß ein Druck von $\frac{2}{10}$ Zoll Wasser genügte, um die Gasuhr zu bewegen; der Widerstand gegen die Expiration betrug nur etwa $\frac{1}{10}$ Zoll Wasser.

4. Der Apparat von C. Speck (1871; 12, S. 9). Bei diesem (Fig. 33) wurde nicht allein die Kohlensäureabgabe, sondern auch der Sauerstoffverbrauch bestimmt. Die Atmung geschah bei zugeklemmter Nase durch ein

in den Mund genommenes Rohr B, nachdem die Lungen vorher durch tiefstes Ausatmen möglichst entleert worden waren. Aus dem gefüllten Spirometer E wurde Luft eingeatmet und in das leere Spirometer A ausgeatmet. Die Inspirationsluft wurde durch sehr leicht spielende Darmventile (C, D) von der Expirationsluft getrennt.

Die Spirometerglocken waren, wie selbstverständlich, äquilibrirt. Wenn die Glocke E allmählich ins Wasser herabsank und also immer leichter wurde, wurde das Gegengewicht dadurch vermindert, daß die in den

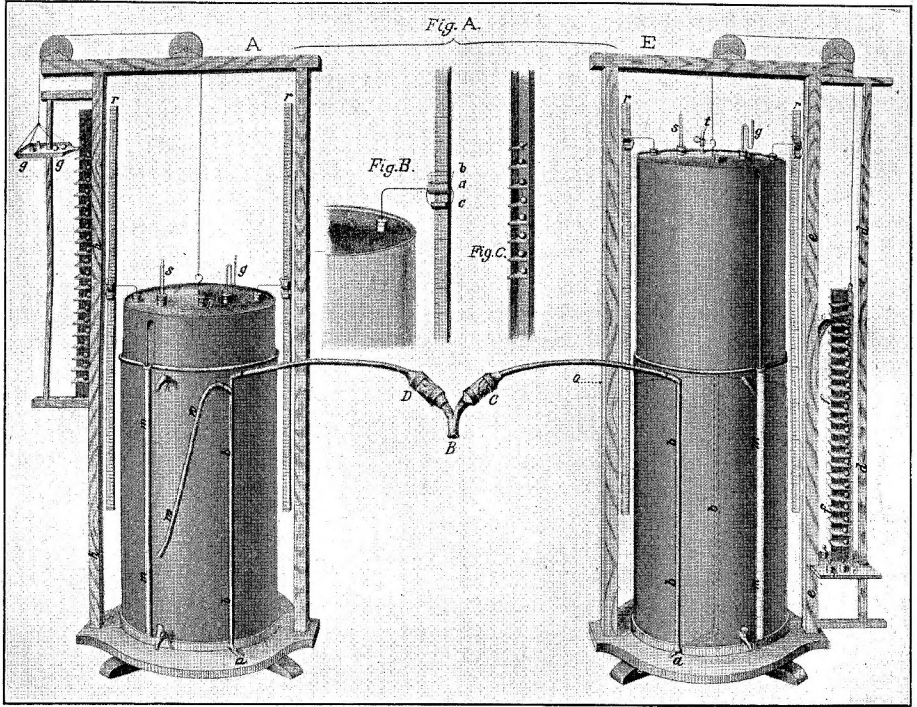


Fig. 33.
Apparat von Speck.

Fächern f enthaltenen Bleikugeln, wie aus der Fig. 33 bei x ersichtlich, die eine nach der anderen automatisch fortgenommen wurden. In ganz entsprechender Weise wurde das Gegengewicht bei der allmählich aus dem Wasser sich erhebenden Glocke A, die dabei immer schwerer wurde, durch Hinzufügen von Bleikugeln vergrößert. Vgl. Fig. 33 Fig. C.

Der Stand der Spirometerglocken wurde an je 4 im Quadrat gegenüberstehenden Stellen, von welchen in der Figur nur zwei gezeichnet sind, mittels der in Fig. 33 Fig. B abgebildeten Vorrichtung abgelesen. Diese komplizierte Art von Ablesung war notwendig, um die kleinen Neigungen, die die Glocken immer nach der einen oder anderen Seite machen, zu korrigieren. Bei jeder Ablesung muß das Wassermanometer g auf dem Dache der Glocke genau ins Gleichgewicht gestellt werden.

Zur Analyse der ausgeatmeten Luft wurde mittels eines von dem Ausatemungsrohr abgezweigten Gummischlauches (W, W) aus der Spirometerglocke A eine größere Luftprobe genommen, und zwar in ein großes mit Wasser gefülltes Rohr, das durch allmähliches Abfließen des Wassers mit der zu analysierenden Luft gefüllt wurde. Die Kohlensäure wurde mit Barytlösung, der Sauerstoff mit Pyrogallussäurelösung absorbiert.

Wegen der verhältnismäßig geringen Größe der Spirometerglocken konnten die Versuche nur kurze Zeit, höchstens etwa 16 Minuten lang dauern.

Eine Fehlerquelle, die bei dieser Methode besonders zu berücksichtigen ist, liegt in der Residualluft. Es kam bei den Versuchen Specks ab und zu vor, daß die Menge des ausgeatmeten Stickstoffes in einem Versuch mit

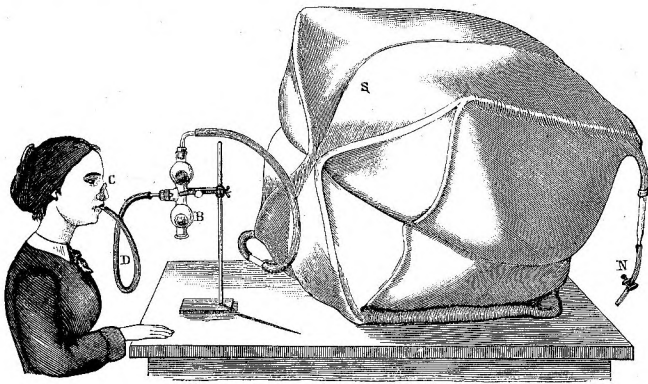


Fig. 34.
Apparat von Regnard.

300 ccm von der des eingeatmeten differierte, und doch erleidet ja der Stickstoffgehalt der inspirierten Luft, wie vor kurzem Krogh (77) und Oppenheimer (76) wieder nachgewiesen haben, bei der Atmung keinerlei Veränderung. Die Ursache dieser Erscheinung muß daher in der variierenden Größe der Residualluft gesucht werden. Tatsächlich war die in den Lungen zurückbleibende Luftmenge keine konstante, obgleich der Thorax sowohl vor als nach dem Versuche möglichst stark ausgepreßt wurde.

Der betreffende Fehler ist indessen nur ziemlich gering. Wenn der eingeatmete Stickstoff 300 ccm mehr beträgt als der ausgeatmete, so bedeutet dies, daß bei der letzten Ausatmung 300 ccm in der Residualluft geblieben sind, die eigentlich noch hätten ausgeatmet werden müssen. Damit werden gleichzeitig höchstens 80 ccm Sauerstoff zurückgehalten: der Sauerstoffverbrauch ist daher um 80 ccm zu groß ausgefallen. Bei Versuchen von 10 Minuten Dauer, und wo 60 bis 80 l Luft die Lungen passieren, bedeuten aber, wie Speck bemerkt, 80 ccm Sauerstoff, als extremen Fehler betrachtet, nicht viel, denn hierdurch würde die minutliche Menge verbrauchten Sauerstoffes ja nur um 8 ccm erhöht werden, was höchstens etwa 4 Proz. des gesamten Sauerstoffverbrauches beträgt. Übrigens hat Speck bei denjenigen Versuchen, wo einigermaßen hohe Differenzen des Stickstoffes auftraten, eine Korrektur angebracht, entsprechend 25 ccm Sauerstoff auf 100 ccm Stickstoff.

5. Der Apparat von Regnard (1879). Die Versuchsperson (18, S. 286) atmet durch das Mundstück von Denayrouse (vgl. oben S. 116); die In-

spirationsluft wird mittels Ventile eigenartiger Konstruktion (s. Fig. 34, B) von der Expirationsluft getrennt. Letztere wird in einem Kautschuksack von etwa 200 l Inhalt gesammelt. Bis dieser gefüllt ist, kann der Versuch etwa 30 Minuten lang fortgesetzt werden. Nach Ende des Versuches wird aus dem Sack eine Luftprobe von etwa 150 ccm genommen und darin nach Bindung der Kohlensäure durch Alkali der Sauerstoff und Stickstoff eudiometrisch bestimmt. Dann wird der Sack unter Vermittlung einer Reihe von Kaliröhren mit einer Gasuhr verbunden und die Luft daraus mittels einer kleinen Saugpumpe sehr langsam — im Laufe von 15 bis 18 Stunden — entleert. Die gesamte Kohlensäure wird in den Kaliröhren absorbiert, dann mit Salzsäure herausgetrieben und volumetrisch bestimmt. Die durch die Gasuhr strömende Luft ist also kohlensäurefrei. Ihr Gehalt an Sauerstoff und Stickstoff wurde schon früher (vgl. oben) bestimmt. Nun ist die Stickstoffmenge in der Expirationsluft die gleiche wie in der eingeatmeten Luft; daraus läßt sich die Menge des in der letzteren enthaltenen Sauerstoffes berechnen und der Sauerstoffverbrauch ist also gleich der Differenz zwischen dieser Menge und der durch direkte Analyse bestimmten Sauerstoffmenge in der expirierten Luft.

Wie ersichtlich, ist hier alles von der Dichtigkeit des Kautschuksackes abhängig. Die von Regnard mitgeteilten Versuche zeigen in der Regel sehr niedrige Zahlen für den respiratorischen Quotienten, was möglicherweise gerade auf eine Gasdiffusion durch die Wand des Sackes zurückzuführen ist.

6. Der Apparat von Zuntz und Geppert (1887). Bei den in diesem Kapitel bisher erwähnten Methoden wurde die gesamte expirierte Kohlensäure durch Lauge absorbiert bzw. die gesamte Menge der expirierten Luft gesammelt. Bei der Methode von Zuntz wird von der genau gemessenen Expirationsluft ein aliquoter Teil gesammelt und zur Analyse benutzt, was in vielen Beziehungen die hierhergehörigen Bestimmungen erleichtert und verschärft.

Die Atmung findet mittels eines Mundstückes statt und die Nase wird mittels einer Klemme geschlossen. Die inspirierte und die expirierte Luft werden durch Ventile voneinander getrennt. Nur die expirierte Luft wird gemessen und analysiert; die inspirierte Luft braucht nicht analysiert zu werden, wenn sie direkt vom Freien geholt wird, da sie dann eine konstante Zusammensetzung hat.

Vom Expirationsventil leitet ein Schlauch zur Gasuhr und vor dieser findet sich die Vorrichtung zur proportionalen Probenahme.

Bei den Versuchen von Geppert (19, S. 369) war letztere Vorrichtung folgendermaßen konstruiert.

Das freie hintere Ende der Gasuhr ist vierkantig ausgezogen und trägt ein leichtes Rad mit breitem Rande. Um das Rad ist eine Schnur gelegt, so daß bei jeder Drehung sich ein bestimmter Teil derselben abwickelt. Hinter der Gasuhr und unterhalb des Niveaus ihrer Achse ist senkrecht eine Glasröhre eingespannt. Diese läuft oben und unten in je zwei andere Röhren aus. Die oberen sind 2 mm licht, die unteren etwas weiter. An beide untere Fortsätze werden lange Schläuche befestigt, der eine trägt am freien Ende eine Füllkugel, der andere eine dünne kleine Glasröhre mit Hahn. An diese Glasröhre wird der freie Teil der vom Rade kommenden Schnur befestigt.

Durch die Füllkugel wird zunächst der ganze Apparat mit Quecksilber gefüllt und dann der zur Füllkugel gehende Schlauch durch eine Klemme abgesperrt. Ist der zur

kleinen Glasröhre gehörige Hahn offen, so stellt sich jetzt das Quecksilber in der großen Glasröhre auf gleiches Niveau ein mit der oberen Öffnung der kleinen Glasröhre; sinkt bei Drehung des Rades mit der Abwicklung der Schnur die kleine Glasröhre, so fließt das Quecksilber aus der großen Glasröhre durch den Schlauch und die kleine Glasröhre und tropft aus ihrer oberen freien Öffnung heraus. Da die Abwicklung der Schnur proportional der Raddrehung erfolgt und diese wieder gleich der Achsendrehung der Gasuhr und also proportional der durchgehenden Luftmenge ist, so fließt demnach das Quecksilber aus der großen Glasröhre in einer der Bewegung der Gasuhr proportionalen Menge aus.

Die kapillaren Fortsätze am oberen Ende der großen Glasröhre dienen zu folgendem Zweck. Der eine führt vermittels eines passenden kapillaren Verbindungsstückes in das Expirationsventil, der andere in eine Quecksilberwanne. Beide sind mit Hähnen versehen. Ist nun der zum Expirationsventil gehende Hahn geöffnet, der andere geschlossen, so wird, wenn das Quecksilber bei der Raddrehung aus der großen Glasröhre ausfließt, aus dem Expirationsventil Luft angesaugt.

Der vom Rad niederhängende, mit Quecksilber gefüllte Schlauch würde einen Zug an der Achse der Gasuhr ausüben; um aber die Hauptlast des Schlauches zu übernehmen, ist in gleicher Höhe mit der Mitte der großen Glasröhre eine Klammer angebracht, die den Schlauch fest umspannt. Der jetzt noch übrig bleibende, überhaupt nicht mehr sehr schwerwiegende Teil des Schlauches wird durch ein leichtes Bleigewicht, welches an einem Faden vom Rade niederhängt, kontrebalañciert.

Je nach der Größe des Rades an der Gasuhr bezw. dem Durchmesser der großen Glasröhre kann die Größe der Luftprobe in der Zeiteinheit beliebig groß oder klein gemacht werden. Für den Menschen benutzte Geppert ein Rad von 5 cm Durchmesser und eine Glasröhre von 1 cm Durchmesser und 40 cm Länge. Diese füllte sich in etwa 15 bis 20 Minuten.

Zu gleichem Zwecke benutzten Zuntz und C. Lehmann später folgende von letzterem angegebene Anordnung (20, S. 27).

Auf der Achse der Gasuhr, welche sonst den Zeiger trägt und welche in den betreffenden Versuchen nach Durchtritt von 101 Gas sich einmal umdreht, wurde ein leichter durch fünf Felgen gestützter Ring von Messing, an dessen Peripherie 10 Platinstifte hervorragten, angebracht. An der tiefsten Stelle der Kreisbahn befand sich ein Quecksilbernäpfchen. Durch jedes Eintauchen eines der Platinstifte in das Quecksilber wurde auf kurze Zeit ein elektrischer Strom geschlossen, in dessen Kreis außerdem ein starker Elektromagnet eingeschaltet war. Dieser Elektromagnet regelte die Probenahme in der Weise, daß jedesmal wenn er aktiv wurde, die gleiche Menge Quecksilber aus der Röhre, welche zum Aufsammeln der Gasprobe diente, ausfloß, wofür eine entsprechende Menge Expirationsluft angesaugt wurde.

Die Einrichtung, welche dies ermöglichte, war folgende. Zum Aufsammeln der Gasprobe diente eine etwa 70 cm lange, 15 mm weite Glasröhre, welche oben einen Dreiweghahn trug, der sie einerseits mit der Leitung zu Entnahme der Luftprobe, andererseits mit einem Kapillarrohr kommunizieren ließ, durch welches das Gas in ein Endiometer übergetrieben werden konnte. Das untere Ende der Sammelröhre setzte sich in einem langen Gummischlauch fort, dessen anderes Ende eine geräumige Füllkugel zur Aufnahme des Quecksilbers trug. Diese Füllkugel hing an einer Schnur, welche auf eine Rolle aufgewickelt worden war. In dem Maße, wie sich die Schnur abwickelte und damit die Füllkugel sank, mußte das Quecksilber aus der Sammelröhre in die Füllkugel überfließen.

Die Rolle war nun auf die horizontal stehende Achse eines kräftigen Rades so aufgesteckt, daß sie sich nur mit dieser drehen konnte.

Die Peripherie des Rades war in zwei einige mm voneinander entfernten Kreislinien mit je einer Reihe von Stiften besetzt: die Stifte der einen Reihe standen in der Mitte des von je 2 Stiften der anderen Reihe begrenzten Kreissektors. Von oben griff in die Stiftrreihe, die Bewegung des Rades hemmend, ein Anker ein, welcher am Ende eines um eine horizontale Achse beweglichen zweiarmligen Hebels angebracht war. Das andere Ende des Hebels trug den Anker des oben erwähnten Elektromagneten. War letzterer untätig, so befand sich der Anker, durch eine schwache Feder in dieser Stellung fest-

gehalten, im Kreis der innern Zähne des Rades. Wurde der Elektromagnet aktiv, so wurde der Anker bis in den Kreis der äußeren Zähne emporgehoben, das Rad drehte sich, von dem an der Schnur hängenden schweren Quecksilbergefäß gezogen, so weit, bis der nächste Zahn der äußeren Reihe gegen den Anker schlug. Beim Nachlaß des Magnetismus sank der Anker wieder in den inneren Zahnkreis und fixierte, nachdem das Rad die entsprechende Drehung ausgeführt, den nächsten Zahn der Reihe.

So bewirkte jede Magnetisierung des Elektromagneten, welche jedesmal erfolgte, wenn ein Liter Expirationsluft die Gasuhr passiert hatte, daß eine gleiche Menge Luft

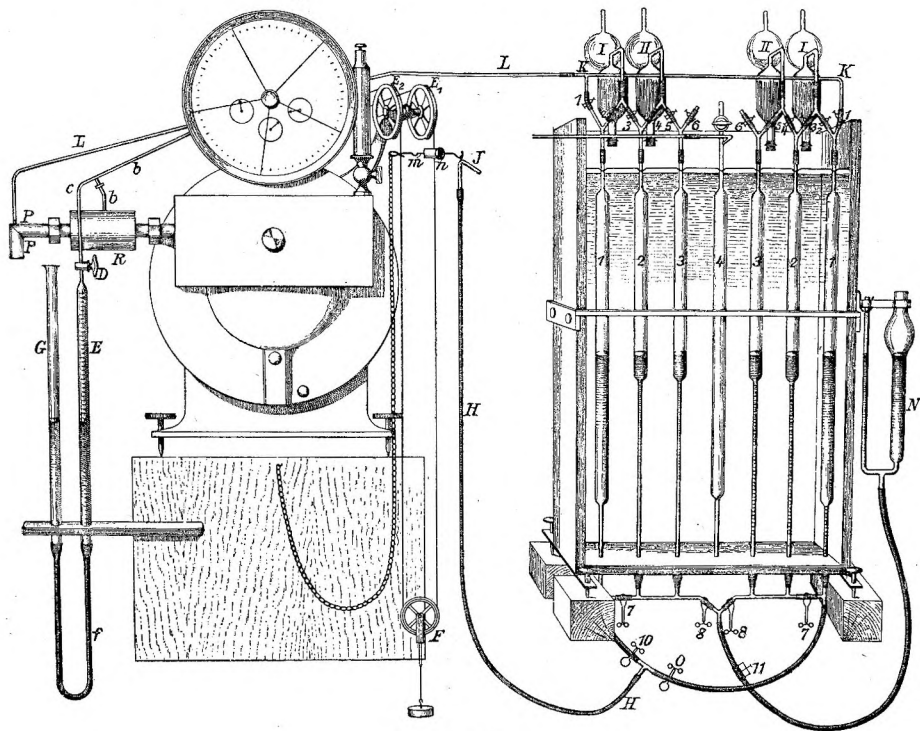


Fig. 35.
Apparat von Zuntz.

in das Sammelrohr eintrat. Um das Abfließen des Quecksilbers aus dem Sammelrohre gleichmäßig und von der bauchigen Form der Füllkugel unabhängig zu gestalten, mündete die Ausflußröhre nicht am Boden der letzteren, sondern durchsetzte denselben und endete erst über dem höchsten Stande, welchen das Quecksilber einnehmen konnte.

Die Dauer einer Probenahme konnte durch Anwendung von Rollen von verschiedenem Durchmesser sowie durch Ausschaltung einiger Platinstifte am messingenen Ringe variiert werden.

In ihrer definitiven Form sind die Zuntzschen Anordnungen zur Probenahme usw. von Magnus-Levy (21) beschrieben worden.

Die drehbare Achse der Gasuhr (Fig. 35) ist nach hinten über die Gasuhrwand heraus verlängert und trägt 4 bis 5 konzentrische Scheiben (B, B) von verschiedenem Durchmesser (Fig. 37). In dem gekehlten und gerieften Umfang von einer derselben läuft eine Schnur ohne Ende über die an der Gasuhr befestigten Rollen D, E₁, F, E₂ und D₁ nach vorne. Durch Reibung

an dem Umfange der Scheibe B wird die Schnur bei Umdrehung der Gasuhrachse in eine Bewegung gesetzt, deren Größe nur von der Schnelligkeit der Achsendrehung der Gasuhr abhängt, d. h. mit der jeweiligen Größe des durch letztere passierenden Luftquantums in konstantem Verhältnis variiert. Der vordere Teil dieser Schnur zwischen den Rollen E_1 , F und E_2 (siehe Fig. 35) befindet sich vor der Gasuhr und dicht neben der die Analysenbüretten enthaltenden Wasserwanne; und zwar befinden sich die oberen Rollen E_1 , E_2 höher, die untere F tiefer als das obere bzw. untere Ende der Büretten 1, 1. Der zwischen den Rollen E_1 und F befindliche Teil der Schnur sinkt bei der Drehung und an ihm ist durch den metallenen Träger m und eine Klemmvorrichtung n die Auslaufspitze J angebracht.

Die Büretten 1, 1 sind vollständig mit Wasser gefüllt, desgleichen der Schlauch H einschließlich der Auslaufspitze. Da der Querschnitt der Büretten, mit Ausnahme eines ganz kurzen Stückes am oberen und unteren Ende, überall gleichmäßig ist, so erfolgt beim Absinken der Auslaufspitze der Abfluß des Wassers aus den Büretten und deren Füllung mit der Atemluft aus der Röhre LLKK genau proportional der Menge des durch die Gasuhr streichenden Luftstromes, denn von jedem einzelnen Atemzug wird ein stets gleicher Bruchteil abgesaugt und so eine genaue Durchschnittsprobe gewonnen.

Sobald die Büretten bis zu ihrem unteren Ende mit dem Gas gefüllt sind, werden die entsprechenden Klemmen 1, 1, 10, 10 angelegt, die abgesaugte Luft abgesperrt, die nötigen Ablesungen gemacht; der Versuch ist beendet. Je nachdem dieser eine kürzere oder längere Zeit dauern soll, läßt man die Schnur ohne Ende über eine größere oder kleinere der an der Gasuhrachse angebrachten Scheiben gehen, wodurch die Schnelligkeit ihres Niedersinkens variiert wird. Man hat es so in der Hand, eine Probenahme über 6 bis 35 Minuten auszudehnen; natürlich muß während eines Versuches das Übersetzungsverhältnis konstant bleiben.

Auf den Träger n, welcher die Ausflußspitze J trägt, können zylindrische, mit einem Ausschnitt für die Schnur versehene Gewichte aufgelegt werden. Indem diese Gewichte die Bewegung des zwischen den Rollen E_1 und F niedersinkenden Schnurteiles fördern, erleichtern sie die Umdrehung der Gasuhr und vermindern somit den Widerstand, welchen der Apparat der Expiration entgegensetzt, und man kann die Belastung so abstufen, daß die ruhende Uhr durch Zulegen eines geringen Gewichtes in Drehung versetzt wird; dann ist der Widerstand für die Expiration fast gleich Null.

Betreffend die Analysen usw. sei hier nur noch folgendes erwähnt. Der Analysenapparat besteht aus den Büretten, in denen die Messung der Gasvolumina, und den Pipetten, in denen die Absorption der Kohlensäure und des Sauerstoffes stattfindet. Die ersteren, 7 an der Zahl, stehen in einer mit Wasser gefüllten Wanne. In 1, 1 findet die Aufsammlung und Messung des zu untersuchenden Gases statt; ist dieses in der Pipette I durch Kalilauge von Kohlensäure befreit, so wird das Volumen des restierenden Gasgemenges in den Büretten 2, 2 gemessen; von dort aus wird das Gas in die Pipetten II, II getrieben, woselbst es durch Phosphor vom Sauerstoff befreit wird und dann in den Büretten 3, 3 wieder gemessen.

Die Büretten sind an ihrem unteren verschmälerten Ende in $\frac{1}{20}$ ccm geteilt. Nr. 1, 1 tragen eine Teilung von 99.6 bis 101.0 ccm; Nr. 2, 2 eine von 90.0 bis 100.0 ccm; Nr. 3, 3 eine von 75.0 bis 85.0 ccm, entsprechend dem Umstand, daß für gewöhnlich von 100 ccm Exspirationsluft nach Entfernung der Kohlensäure etwa 93 bis 98 ccm und nach der Absorption von Sauerstoff etwa 78 bis 81 ccm Gas zurückbleiben.

Nachdem das Gasgemenge in der oben geschilderten Weise in der Bürette 1 aufgefangen und zwischen den Klemmen 1, 2, 7 und 10 abgespermt ist, wird die Klemme 7 geöffnet und das Volumen des Gases unter Atmosphärendruck vermittels des Niveaurohres N gemessen; dasselbe ist zweischenklig, der engere Schenkel hat genau das Kaliber der unteren geteilten Bürettenenden; das Wasserniveau in ihm wird durch Heben oder Senken des Niveaurohres auf gleiche Höhe mit dem in der Bürette gebracht; der weitere Schenkel dient zur Aufnahme von etwa 200 ccm Wasser, welches zum Herübertreiben des Gases aus den Büretten in die Pipetten gebraucht wird; umgekehrt fließt beim Zurücksaugen des Gases aus den Pipetten in die nächste Bürette das in letzterem enthaltene Wasser in das Niveaurohr ab.

Aus der Fig. 35 ist ohne weiteres zu ersehen, wie die Büretten durch je zwei Y-förmige kapillare Glasröhren und kapillare Gummistücke mit den Pipetten verbunden sind. Auch die Bedeutung der dort wie anderwärts angebrachten Klemmen ergibt sich leicht von selbst. An dem zum Niveaurohr führenden Schlauch ist eine stellbare Schraubenklemme 11 angebracht; durch richtiges Anziehen derselben wird, wenn das Gas aus einer Pipette in die entsprechende Bürette angesaugt wird, der Abfluß des Wassers aus letzterer verlangsamt und so reguliert, daß er 3 bis 4 Minuten dauert. Es findet dann kein nachträgliches Zusammenlaufen von den Wänden der Bürette statt und die Ablesung des Gasvolumens kann sofort vorgenommen werden.

Die absorbierenden Reagentien, 30prozentige Kalilauge, bzw. dünne, sehr zahlreiche Phosphorstangen bieten dem Gasgemenge eine sehr große Oberfläche, so daß die Absorption in weniger als 2 bzw. 8 Minuten bei mittlerer Zimmertemperatur vollendet ist.

Die ganze Analyse erfordert etwa 30 bis 40 Minuten. Während dieser Zeit kann sich aber die Temperatur des Wassers in der Wanne und also auch die des Gases nicht unerheblich ändern. Die dadurch wie auch durch etwaige Barometerschwankungen bedingten Volumenveränderungen der Gase werden durch die entsprechenden Änderungen eines in Bürette 4 abgespermt Gasquantums gemessen. Diese Bürette, von ähnlichen Dimensionen wie 1, endet unten blind, ist nach oben verschmälert und mit einem Glashahn abgeschlossen; unterhalb dieses Hahnes trägt sie einen seitlichen Ansatz, der durch ein kapillares Gummistück mit einem horizontal befestigten engen Glasrohr in Verbindung steht. Der Inhalt der Bürette beträgt bis zu der an dem Seitenrohr angebrachten Nullmarke genau 100 ccm, das Rohr ist in $\frac{1}{50}$ ccm geteilt. Ein in diesem befindlichen Petroleumtropfen geht bei Volumenveränderungen der in der Bürette befindlichen, durch einen Wassertropfen feucht gehaltenen Luft vor- oder rückwärts; ein Vor- oder Zurückweichen um einen halben Teilstrich bedeutet eine Volumenänderung von $\frac{1}{100}$ ccm auf 100 ccm, d. h. um 0.01 %.

Um das Volumen der durch die Gasuhr gemessenen Luft auf 0° , 760mm und Trockenheit zu reduzieren, benutzt Zuntz folgendes Verfahren.

Die metallenen, die Luft zu- bzw. abführenden Ansatzstücke der Gasuhr P, P, Fig. 36) sind unmittelbar an letzterer zylindrisch erweitert RR; diese Erweiterungen umschließen in mäßigem Abstände je eine ähnlich geformte dünnwandige Metallkapsel AA so, daß keine Kommunikation zwischen der Luft in A und R stattfindet. Durch je ein 2mm weites, luftdicht in die Kapseln eingelötetes, nach außen geführtes Metallrohr bb stehen die Kapselräume untereinander und durch c mit dem kalibrierten Rohr E in Verbindung; letzteres wiederum durch den weiten Gummischlauch f mit dem Niveaurohr G; als Sperrflüssigkeit dient in beiden Rohren Wasser. Der Glashahn D stellt eine dauernde Kommunikation zwischen E und c her und wird nur gelüftet und wiederum eingesetzt, wenn es sich darum handelt, ein bestimmtes Luftquantum in den Raum AAbbcDE abzuschließen. Diese abgeschlossene Luftmenge unterliegt genau den gleichen physikalischen Bedingungen und Veränderungen wie die die Gasuhr durchströmende Expirationsluft; letztere teilt ihr ja bei der großen Dünnwandigkeit der Kapseln sofort die eigne Temperatur mit; da ferner die Luft in der Gasuhr stets unter dem jeweiligen atmosphärischen Druck steht, so wird auch das Volumen des abgesperrten Gases vermittels des Niveaurohres G unter derselben Pression abgelesen; da dasselbe zudem über Wasser abgesperrt ist und in jeder Kapsel sich ursprünglich ein kleiner Wassertropfen befindet, so ist es genau wie die Expirationsluft mit Wasser für die gleiche Temperatur gesättigt.

Wenn a das Volumen der eingesperrten Luft trocken bei 0° und 760mm Hg ist, b das Volumen, das sie während eines Versuches wirklich einnimmt, ist, so ist das gesuchte Volumen x, das die von der Gasuhr angezeigte Luftmenge c unter Normalbedingungen einnehmen würde, aus der Gleichung $a/b = x/c$ leicht zu finden. a wird genau gleich 100.00 ccm gemacht; b in ccm am Rohr E bis auf die zweite Dezimale genau direkt abgelesen. Dann wird $x = 100c/b$.

Die beiden Metallkapseln AA und die sehr engen Röhren bbc enthalten bis zur 0-Marke des kalibrierten Rohres genau 100.00ccm, das Rohr ist in $\frac{1}{20}$ ccm geteilt. Man hat nur nötig, über dem Wasserspiegel in E einmal genau 100.00 ccm trockene Luft von 0° und 760mm Hg abzusperrn, um den Apparat gebrauchsfertig zu erhalten. Dies geschieht folgendermaßen. Nachdem der Apparat im abgeschlossenen Zimmer konstante Temperatur angenommen hat, bestimmt man das Mittel der Angaben von zwei außen an den Luftkapseln angebrachten Quecksilberthermometern und berechnet nun, welches Volumen 100 ccm trockenes Gas von 0° und 760mm Hg bei dem beobachteten Druck, der gegebenen Temperatur, mit Wasserdampf gesättigt, einnehmen würden. Das berechnete Volumen sei $100 + x$, x z. B. 8.47. Hat man sich bei erneutem Betreten des Zimmers von der Konstanz der Temperatur überzeugt, so sperrt man durch Lüften des Hahnes D und Einstellen des Wasserspiegels im Rohr E (vermittels des Niveaurohres) auf die Marke $x = 8.47$ und sofortiges Wiedereinsetzen des Hahnes D das oben bezeichnete Luftvolumen $100 + x = 108.47$ ccm ab. Das Volumen, das die hier abgesperrten 100.00 ccm Normalluft zu irgend einer Zeit einnehmen unter den jeweiligen im einzelnen zwar unbekanntem Druck-, Temperatur-

und Wassergehaltsbedingungen, bildet den Reduktionsfaktor, durch dessen Division in die von der Gasuhr angezeigte Luftmenge man die letztere auf Normalbedingungen reduziert erhält.

Haben z. B. in einem Versuch von 25 Minuten Dauer 174.41 Luft die Gasuhr passiert und war das Mittel aus 4 Ableesungen an jenem Thermobarometer in diesem Falle gleich 109.64, so entsprechen jene 174.41 demnach $174.4 \times 100.00/109.64 = 159.061$ trockener Luft von 0° und 760mm Hg.

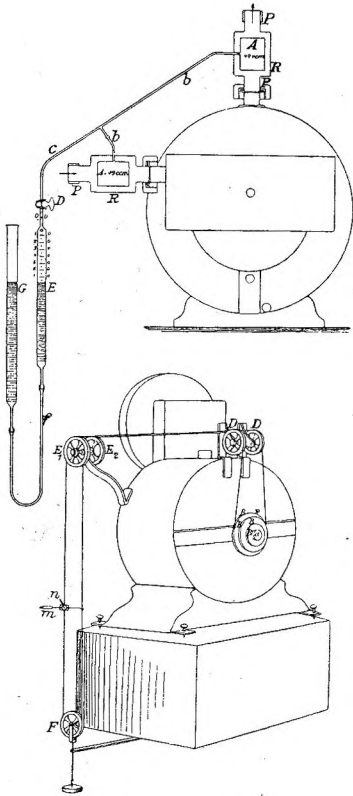


Fig. 36, 37.
Apparat von Zuntz.

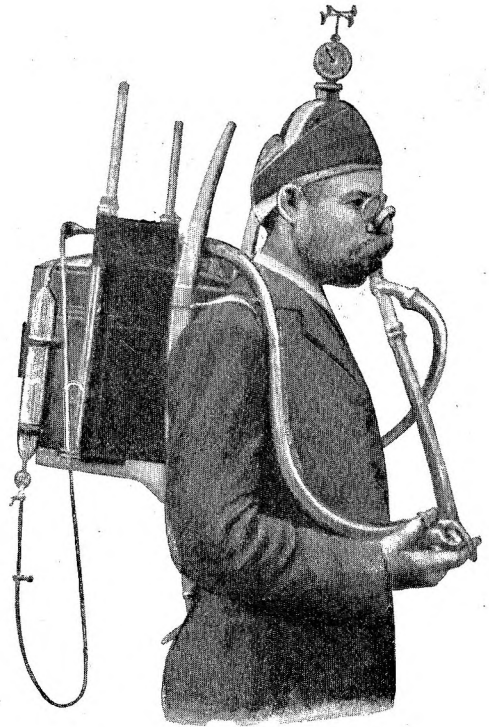


Fig. 38.
Apparat von Zuntz.

Nach einigen Wochen wurden die Angaben des Thermobarometers ungenau, indem sie um 0.15—0.25 % zu klein ausfielen; was wahrscheinlich dadurch bedingt war, daß etwas vom eingeschlossenen Sauerstoff bei der Oxydation der feuchten metallenen Wandungen verbraucht wurde. Der Fehler war indessen nach 14 Tagen noch sehr klein, und man hat daher nur nötig, den Apparat alle 2 Wochen einmal zu kontrollieren und eventuell neu einzustellen.

Betreffend die sonstige Berechnung der Versuche ist folgendes zu bemerken. Bei dem Verfahren von Zuntz wird nur die Expirationsluft gemessen und ihr Sauerstoffgehalt bestimmt. Da aber die Expirationsluft

(wasserfrei), wenn der respiratorische Quotient kleiner als 1 ist, immer ein geringeres Volumen als die ebenfalls wasserfreie Inspirationsluft hat, läßt sich aus der Analyse der Expirationsluft nicht ohne weiteres der Verbrauch an Sauerstoff herleiten. Unverändert bleibt aber die Menge des Stickstoffes.

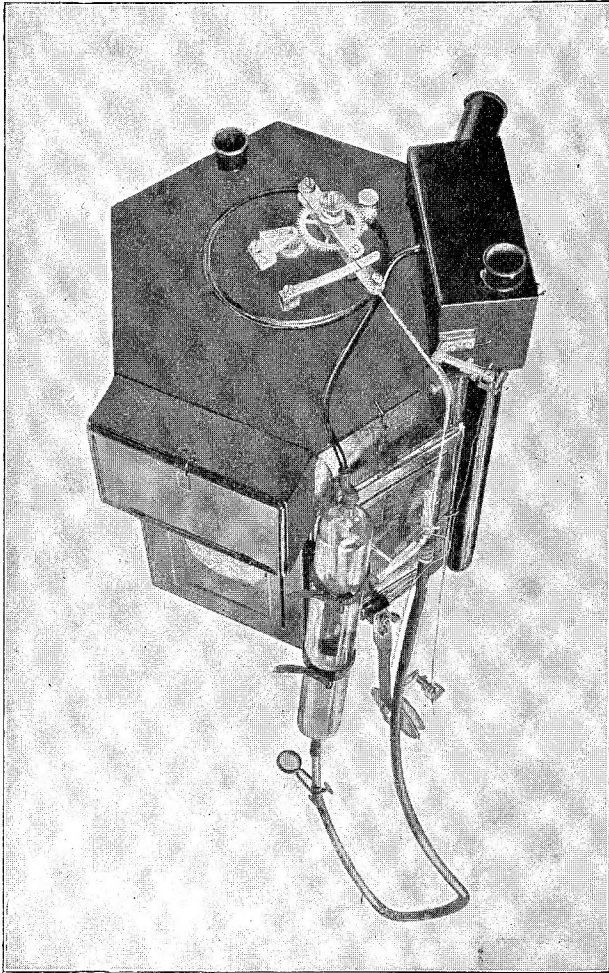


Fig. 39.
Apparat von Zuntz.

säure um wenige (0 bis 6) hundertstel Volumprozent zu klein gefunden wurde; ebenso blieb der Gehalt des untersuchten Gases an Sauerstoff meistens um 5 bis 10 hundertstel Prozent hinter dem wahren Wert zurück. Unter Berücksichtigung des absoluten Gehalts der expirierten Luft an Kohlensäure und Sauerstoff wird also die absolute Menge der abgegebenen Kohlensäure um etwa 1 bis 2% zu klein und die des aufgenommenen Sauerstoffes um ebenso viel Prozent zu groß, was seinerseits eine Verkleinerung

Wir können demnach unter Zugrundelegung der konstanten Relation von Stickstoff zu Sauerstoff in der atmosphärischen Luft die Menge des eingeatmeten Sauerstoffes aus dem Stickstoff der Expirationsluft berechnen, indem wir die Zahl für letzteren mit $20.93/79.07$ multiplizieren. Die Differenz zwischen der so berechneten und der in der Expirationsluft gefundenen Sauerstoffzahl ergibt nach Multiplikation durch die Atemgröße den Sauerstoffverbrauch.

Über die Genauigkeit der nach dieser Methode ausgeführten Bestimmungen gibt Geppert an, daß die Fehler bei der Bestimmung der Kohlensäureabgabe und des Sauerstoffverbrauches, einschließlich des Fehlers der Gasuhr, etwa $2\frac{1}{2}$ bis $3\frac{1}{2}$ % betragen. Magnus-Levy bemerkt, daß bei fast allen Kontrollbestimmungen — Analyse der atmosphärischen Luft bzw. der nach Bunsen-Geppert analysierten Atemgase vom Pferde — die Kohlen-

des respiratorischen Quotienten um 1 bis 2 Einheiten in zweiter Dezimale bedingt. Eine noch größere Annäherung an die richtigen Werte wurde indessen in einigen Kontrollversuchen von Zuntz erzielt.

Eine weitere Prüfung des Zuntzschen Apparates wurde von Loewy (22) angeführt. Der Atmungsrhythmus und die Atemfrequenz waren während des Versuches die gleichen wie vor demselben, auch erfuhr die Atmungstiefe keine merkbare Veränderung. Indessen lag die Möglichkeit vor, daß eine gewisse Behinderung für die Atmung da eintreten mochte, wo dieser wie in Arbeitsversuchen in mehr oder weniger verstärktem Maße abließ. Um die Bedeutung dieses Umstandes aufzuklären, untersuchte Loewy die Nachwirkung, welche eine Arbeit von bestimmter Größe hinterließ, einmal wenn die Arbeit in gewöhnlicher Weise unter Atmung am Apparat stattgefunden, ein anderes mal wenn sie vollkommen frei geschehen war, denn im ersten Falle mußte es sich in der Nachperiode geltend machen, wenn das Arbeiten unter Verbindung mit dem Atmungsapparate einen besonderen Einfluß auf die Größe des Gaswechsels oder auf den Atmungsmodus ausübte. Es ergab sich, daß der pro Kgr.-m der geleisteten Arbeit berechnete Überschuß des Sauerstoffverbrauches während der Nachperiode keine Verschiedenheit bei den beiden Arbeitsarten zeigte.

Über diese Methode vgl. noch Durig (23, S. 119).

Die Zuntz-Geppertsche Methode ist von Zuntz und Schumburg für Respirationsversuche beim Gehen sowie auf hohen Bergen in folgender Weise verändert worden (9, S. 163).

Die expirierete Luft wird durch eine trockene Gasuhr gemessen, an welcher durch zwei Thermometer die Temperatur der eintretenden Luft gemessen wird. Da die Gasuhr nur wenige (11) kg wiegt, kann sie bequem auf dem Rücken getragen werden und wird durch Riemen, die über die Schultern gelegt werden, oder auch auf einem Holzgestell (sog. Kraxe), das dann mit Riemen auf den Rücken geschnallt wird, befestigt (vgl. Fig. 38).

Auf der rechten Seite der Gasuhr ist die Glasröhre befestigt, welche die zur Analyse bestimmte Probe der Expirationsluft aufnehmen soll. Sie steht oben durch einen Schlauch mit einem Röhren in Verbindung, das die Atemluft aus dem Innern der Uhr in sie übertreten läßt; unten trägt sie einen längeren Schlauch, dessen anderes Ende zu einem gekrümmten Auslaufrohr führt.

Um eine genaue Durchschnittsprobe des während des Versuches expirierten Gases zu erhalten ist folgende Anordnung getroffen. Die senkrecht stehende Achse der Gasuhr (Fig. 39) ragt mit ihrem oberen Ende an dem oberen Ende der Gasuhr heraus und trägt hier ein Zahnradchen. Ihrerseits ist das Auslaufrohr mittels einer Schnur an einem Röllchen befestigt, das oben auf der Gasuhr auf einem beweglichen Hebel sitzt. Auch dieser Hebel trägt ein kleines Zahnrad. Wenn dieses Zahnrad durch Drehung des Hebels so gestellt wird, daß die beiden Zahnräder ineinander greifen, wickelt sich die Schnur ab, das Auslaufrohr sinkt, das Wasser fließt aus ihm ab und das Sammelrohr füllt sich allmählich mit der Probe der ausgeatmeten Luft.

Nach Ende des Versuches wird das gefüllte Sammelrohr geschlossen, von der Gasuhr entfernt und an einen Analysenapparat, z. B. die oben beschriebene Wanne gebracht, gemessen und analysiert.

Da es nicht möglich ist, die Gasuhr während des Marschierens genau abzulesen, muß dies vor Beginn sowie sogleich nach Beendigung desselben ausgeführt werden. Nun darf aber die Entnahme der Gasprobe erst erfolgen, nachdem bereits einige Minuten marschiert ist und die Atmung eine gleichmäßige Größe erreicht hat. Auch muß die Atmung in die Gasuhr mit dem Moment der Beendigung des Marsches aufhören. Dies ist dadurch ermöglicht, daß in dem Schlauch, der die Expirationsluft vom Munde zur Gasuhr führt, ein Hahn eingeschaltet ist, der eine Öffnung besitzt, durch die die Atemluft zunächst ins Freie entweicht; erst in dem Moment, in dem die Probenahme beginnen

soll, schließt ihn der Marschierende, so daß nun die Atemluft durch die Gasuhr gehen muß. Da die Zahnräder schon vorher gegeneinander gestellt sind, beginnt die Probenahme im selben Augenblick. In dem Augenblick, in dem der Marsch beendet wird, wird der Hahn wieder geöffnet.

7. Der Apparat von Hanriot und Richet (1891). Das Prinzip dieser Methode (24), besteht darin, daß das Volumen 1. der inspirierten Luft (V) 2. der expirierten Luft (V_1) und 3. der letzteren, nachdem sie durch Kalilauge von ihrer Kohlensäure befreit worden ist (V_2) bestimmt wird. Dann ist $V_1 - V_2$ gleich der abgegebenen Kohlensäure und $V - V_2$ gleich dem verbrauchten Sauerstoff.

Diese Messungen finden durch drei Gasuhren statt. Um den Einfluß eines verschiedenen Feuchtigkeitsgehaltes in der Luft zu vermeiden, lassen die Autoren die einzuatmende Luft durch ein Gefäß streichen, woselbst sie sich mit Wasserdampf sättigt. Während ihres Ganges durch die Lauge gibt die Luft nicht allein Kohlensäure, sondern auch Wasser ab; sie wird aber, bevor sie in die dritte Gasuhr eintritt, in einem eingeschalteten Gefäß wiederum mit Wasserdampf gesättigt.

Zur Kohlensäureabsorption lassen Hanriot und Richet einen Regen von Kalilauge in ein mit 300 Glaskugeln gefülltes Rohr fallen; die Lauge breitet sich auf die Oberfläche der Kugeln aus und bietet also der Kohlensäure eine sehr große Oberfläche dar. Dabei wird die Menge der ins Gefäß hineinströmenden Lauge in folgender Weise reguliert. Das zuführende Rohr taucht in Quecksilber, dessen Höhe durch Verschiebung des Quecksilberreservoirs verändert werden kann. Wenn der Stand des Quecksilbers nicht mehr den Druck der Lauge kontrabalanciert, fließt letztere in das Gefäß hinein; durch Heben des Quecksilberreservoirs kann der Strom unterbrochen werden. Vom Gefäß wird die Lauge mittels eines Hebers kontinuierlich entfernt.

Da die Luft, nachdem sie dies Gefäß passiert hat, noch Spuren von Kohlensäure enthält und sie außerdem mit Wasser gesättigt werden muß, bevor sie in den dritten Gasmesser hineintritt, geht sie von dem jetzt erwähnten Gefäß zu einem anderen, von ganz gleichem Bau, nur mit dem Unterschied, daß dieses von Kalkwasser durchspült wird.

Die beiden Gefäße für Lauge und Kalkwasser fassen je 25 l. In bezug auf weitere Einzelheiten wird auf die Originalabhandlung der Autoren verwiesen.

Wegen der Größe dieser Gefäße und der Weite der Schläuche dauert es eine Zeitlang, bis die expirierte Luft zum dritten Gasmesser gelangt; daher können die Messungen erst nach einer gewissen Zeit beginnen, die um so größer ist, je kleiner die Atmungsgröße.

Ein Übelstand bei dieser Versuchsanordnung, der auch von den Autoren hervorgehoben wird, liegt darin, daß die Versuchsperson sowohl bei der Inspiration als bei der Expiration einen Widerstand von 1 bis 4 cm Wasserdruck zu überwinden hat. Sie bemerken indessen, daß ein Druck von 2 cm Wasser nicht lästig ist, und daß man drei, ja bis sechs Stunden durch den Apparat atmen kann.

8. Der Apparat von Tissot (1896; 25). Hier wird ein Teil der expirierten Luft sowohl zur Analyse als zur Messung der expirierten Luftmenge abgezweigt.

In den beiden Nasenöffnungen wird bei geschlossenem Munde je eine oben ampullenförmig erweiterte Röhre hineingeführt; diese stehen ihrerseits mit einem kleinen Behälter in Verbindung, an welchem der in Fig. 40 abgebildete Apparat befestigt ist. Dieser besteht aus einer Röhre A, mit zwei Seitenröhren B und C und in der Mitte eine Röhre E von viel kleinerem Durchmesser. Durch B-A wird ein- und ausgeatmet; bei der Ausatmung geht ein Teil der expirierten Luft auch durch E, und zwar kann durch richtige Länge von E und eine zweckmäßig gewählte Öffnung des Diaphragmas M ein konstantes Verhältnis zwischen der Menge der durch E und B ausweichenden Luft erreicht werden. Der also abgezweigte Teil der expirierten Luft strömt durch D und L in eine leere, mit Öl durchtränkte Rinderblase, von woher sie am Ende des Versuches gemessen und analysiert wird.

Damit nur die expirierte Luft in D eintrete und davon keine Inspiration stattfinden möge, ist die distale Öffnung der Röhre E mit einem Ventil K versehen. Dieses wird durch einen Elektromagneten bewegt und letzterer durch den in der Seitenröhre C eingeschlossenen Unterbrecher g geregelt. Bei der Inspiration wird g aus dem Quecksilber im untenstehenden Gefäßchen herausgezogen, der Elektromagnet läßt daher den Anker K_1 frei und durch die Kraft der Feder J wird K gegen das untere Ende von E gedrückt und diese Röhre also geschlossen. Sobald die Inspiration aufhört, wird der Kontakt bei g wiederhergestellt, die Röhre E also in Verbindung mit D gebracht und der aliquote Teil der expirierten Luft nach D getrieben.

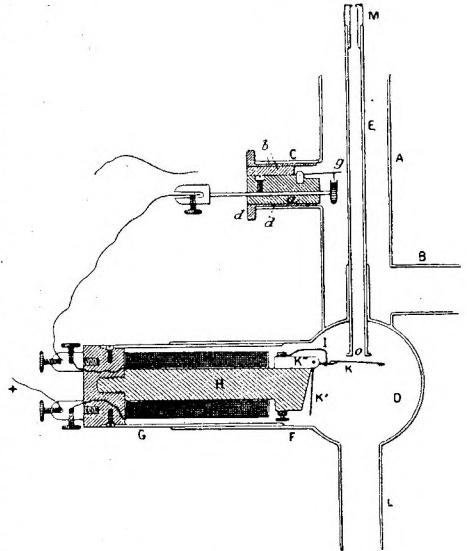


Fig. 40.
Apparat von Tissot.

9. Der Apparat von v. Wendt (1906; 26). In Fig. 41 stellt A einen Tisch dar, dessen Beine durch Scharniere so an die Platte befestigt sind, daß die Höhe der Platte über der Diele reguliert werden kann. In der Tischplatte befindet sich ein Loch von 40cm Durchmesser. Das Loch wird von einer dünnen elastischen Gummimembran mit einer einige Quadratcentimeter großen Öffnung in der Mitte gedeckt. Auf der Tischplatte ist um die äußere Peripherie des Loches herum ein Metallfalz angebracht, in welche der untere Rand einer etwa 55l fassenden Glasglocke G hineinpaßt. Diese Glocke hat noch 2 Öffnungen, eine oben (O), die andere unten (N). Das Loch O wird mit einem Gummipfropfen verschlossen; im Pfropfen finden sich zwei Löcher; durch das eine steht das Innere der Glocke unter Vermittlung der Röhre R_1 mit der Außenluft in Verbindung; durch das kleine Loch kann der Versuchsperson Flüssigkeit zugeführt werden (der Apparat war zur Untersuchung des Einflusses von Alkohol auf den Gaswechsel konstruiert). Das Loch N

steht durch die Röhrenleitung R_2 in Verbindung mit einer Gasuhr, und zwar muß die herausventilierte Luft zuerst eine Glasglocke passieren, wo der Feuchtigkeitsgehalt mittels eines Haarhygrometers bestimmt wird; dann folgt die Verbindung zum Apparat für die Kohlensäureanalyse nach Petterson und Sondén.

Die Ventilation der großen Glocke G wird durch die Gasuhr besorgt. Es streicht also vor der Nase und dem Munde der Versuchsperson ein ununterbrochener Strom von frischer Luft — höchstens etwa 30 l in der Minute —; der Kohlensäuregehalt der in der Leitung $R_1 R_2$ strömenden Luft wird in kurzen Intervallen bestimmt und daraus die Menge der abgegebenen Kohlensäure berechnet (vgl. in dieser Hinsicht S. 93).

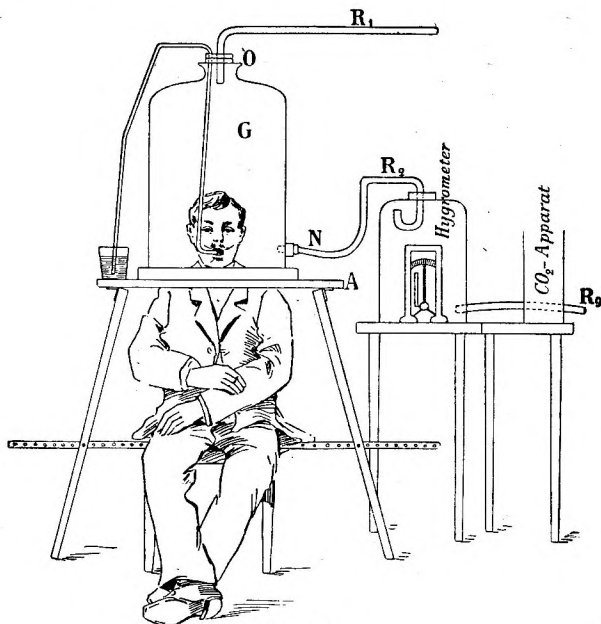


Fig. 41.

Apparat von v. Wendt.

11b. Der Apparat von Grafe (1909). Der Kopf des Versuchsindividuum wird in einen Blechkasten mit großen Fensterscheiben eingeschoben; die Abdichtung des Innenraumes geschieht mittels eines Halskragens aus Gummi (52). Den Luftwechsel besorgt eine Gasuhr; die Luftproben werden wie beim Apparat von Jaquet (vgl. S. 97) entnommen und an Sauerstoff und Kohlensäure analysiert. Beim Versuch kann die Versuchsperson liegen oder sitzen.

12. Der Apparat von Benedict (1909; 27). Die Versuchsperson atmet durch ein Mundstück oder durch Röhren, die in die Nasenöffnungen eingeführt sind (vgl. oben S. 116); die Verbindung der Respirationswege mit dem Respirationsapparat geschieht durch einen weiten Schlauch; in dieser Leitung findet sich ein Dreiwegehahn, welcher der Versuchsperson gestattet entweder im Apparate oder frei zu atmen. Die Verbindung mit dem Apparate wird hergestellt, sobald die Atmung normal erfolgt; nach beendeter Versuche

wird der Hahn wieder umgedreht und der Respirationsapparat also ausgeschaltet.

Wie aus Fig. 42 ersichtlich, stellt der ganze Apparat ein geschlossenes System dar, in welchem sich mit Ausnahme des soeben erwähnten Hahnes keine Ventile vorfinden. Durch ein elektrisch getriebenes Gebläse wird im ganzen System eine in bestimmter Richtung stattfindende Luftströmung unterhalten und zwar werden in dieser Weise etwa 35 Liter pro Minute fortbewegt. Die bei a eintretende expirierete Luft muß daher in der Richtung

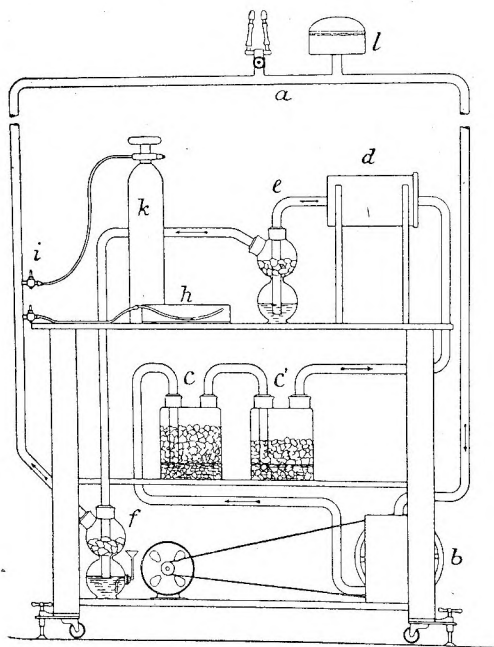


Fig. 42.
Apparat von Benedict.

der Pfeile zuerst nach dem Gebläse b strömen. Dann passiert sie zwei Woulffsche Flaschen, c, c' mit Bimsstein und Schwefelsäure. Die hierdurch vollständig getrocknete Luft kommt nun zu einem Gefäß mit Natronkalk (d), wo die Kohlensäure absorbiert wird; jenseit dieses Gefäßes findet sich wieder eine Flasche (e) zur Absorption von dem Wasser, das möglicherweise vom Gefäß d abgegeben worden ist. Endlich passiert die Luft durch ein Gefäß f, wo sie wieder befeuchtet wird, denn eine ganz trockene Luft würde bald Unannehmlichkeiten bei der Atmung verursachen. Mittels eines kleinen Trichters wird beim Bedarf Wasser in f hineingegossen. Diese Luft wird von der Versuchsperson eingeatmet.

Um den Druck im Systeme zu bestimmen, ist bei h ein Petroleummanometer mit der Röhrenleitung verbunden.

Bei i mündet wieder ein Verbindungsschlauch mit einem Sauerstoffbehälter

(k) ins System hinein. Aus diesem Behälter wird von Zeit zu Zeit Sauerstoff nach Bedarf zugeführt.

Endlich trägt das System noch eine Vorrichtung, um den Druck im Systeme konstant zu erhalten. Diese Vorrichtung (l) besteht aus einem kupfernen Ring, der mit einer schlaffen Kautschukmembran überzogen ist; der Durchmesser des Ringes ist 16 cm und die Höhe 9 cm — der Inhalt des betreffenden Raumes also 1809 ccm.

Die Volumenveränderungen des Systems bei der Inspiration und der Expiration erfolgen, dank dieser Vorrichtung, ohne irgend welche größere Druckschwankungen, und dieselbe gibt in der Tat die Möglichkeit ab, ohne Schwierigkeit 10 bis 20 Minuten lang bei diesem geschlossenen System, wo die Röhren einen Durchmesser von etwa 15 mm haben, zu atmen.

Die Versorgung mit Sauerstoff findet entweder aus einer kleinen Bombe mit komprimiertem Sauerstoff (3 kg) oder auch durch direkte Darstellung von Sauerstoff aus Natriumperoxyd statt. In ersterem Falle muß das Gas analysiert werden, da die Bombe nie reinen Sauerstoff enthält.

Zur Darstellung von Sauerstoff aus Natriumperoxyd benutzt Benedict folgenden Generator (Fig. 43). Eine Metallglocke (A) taucht in Wasser. Am Boden der Glocke ist eine dünne Dose mit Natriumperoxyd mittels zwei Federn festgehalten (B); die Dose hat oben und unten Löcher durch welche Wasser darin eintreten kann. Wenn das Ventil C geöffnet wird, strömt Wasser in die Glocke hinein, kommt in Berührung mit dem Peroxyd und bildet Sauerstoff. Dieser strömt zum Trocknen durch Bimsstein und Schwefelsäure (D, E) und dann durch das T-Rohr in das Röhrensystem. Wenn die Gasentwicklung sehr schnell stattfindet, kann es geschehen, daß Gas unter den Rand der

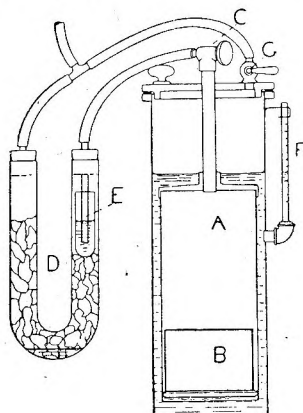


Fig. 43.
Apparat von Benedict.

Glocke entweicht; dieses Gas kann durch Öffnen des Hahnes bei G in das T-Rohr strömen. F zeigt den Wasserstand im Generator an.

Bei dieser Methode kommen keine Gasanalysen vor: die Kohlensäure wird durch Wägen der Gefäße d und e direkt bestimmt; der Sauerstoffverbrauch geht aus der Gewichtsveränderung der Sauerstoffbombe bzw. des Generators hervor, wobei natürlich die etwaige Verunreinigung des Sauerstoffes mit Stickstoff zu berücksichtigen ist.

Kontrollversuche mit Verbrennung von Äther ergaben:

Kohlensäure	ber.	11.71 g,	gef.	11.62 g
Sauerstoff	„	12.78 g,	„	12.78 g
RQ	„	0.666,	„	0.662

In anderen Versuchen wurde die Kohlensäureabgabe und der Sauerstoffverbrauch mit diesem Apparat und sogleich nachher in der Respirationskammer von Benedict (vgl. oben) bestimmt. Der respiratorische Quotient betrug im ersten Falle 0.87, im zweiten 0.89.

Über einige andere Versuchsweisen vgl. Schnyder (28), Bürgi (29).

B. Die bei Versuchen an Tieren benutzten Methoden.

Es ist selbstverständlich, daß die sub A erwähnten Methoden auch an Tieren nach Tracheotomie oder unter Anwendung einer Respirationsmaske

benutzt werden können. Es empfiehlt sich indessen, die hierbei vorgenommenen Modifikationen sowie andere Methoden kurz darzustellen, um solcherart eine vollständigere Übersicht über die vorhandenen Versuchsweisen zu ermöglichen.

13. Der Apparat von Ludwig (1867; 30). Am Kopf des Tieres (Fig. 44) wird eine Schnauzenkappe (1) aus Kautschuk angelegt, die an die Messingscheibe (2) angepaßt ist. Durch den Hahn 3 kann der Hohlraum der Kappe bald mit dem Atmungsraume, bald mit der atmosphärischen Luft in Verbindung gesetzt werden. Von der Messingscheibe entspringen vier Röhre; die Luft von der Kappe strömt durch 4 zu der Flasche d, welche

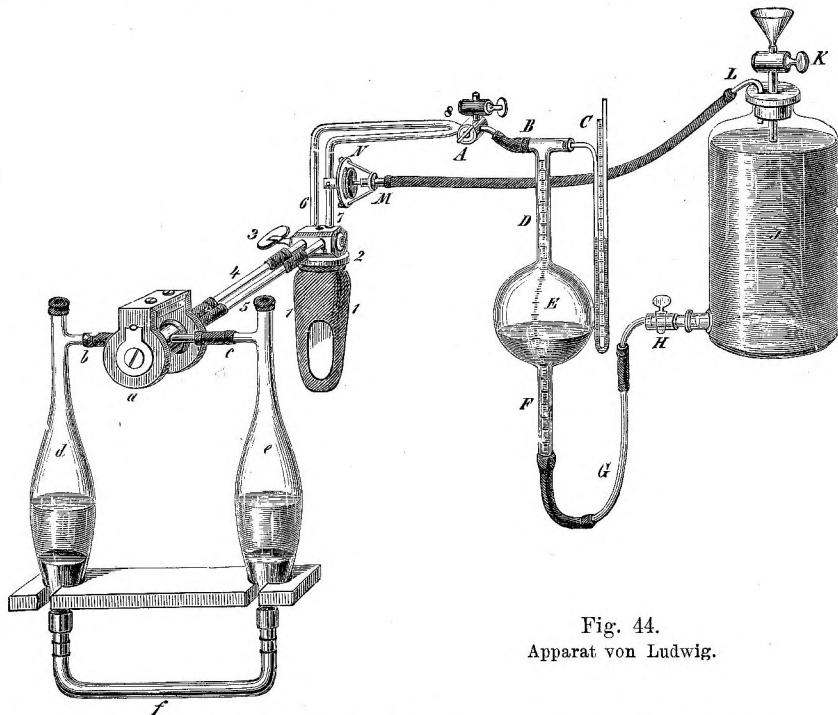


Fig. 44.
Apparat von Ludwig.

wie auch die Flasche e teilweise mit Quecksilber und Barytlösung gefüllt ist. Beide Flaschen, welche unten durch die Röhre F miteinander kommunizieren, können um die Achse a herumdreht werden und durch ihre regelmäßig unterhaltene Bewegung wird ganz wie im Apparat von Regnault und Reiset eine regelmäßige Hin- und Zurückströmung der Luft im ganzen Systeme bewirkt. Die bei der Atmung gebildete Kohlensäure wird durch die Barytlösung absorbiert; gleichzeitig strömt aus dem Behälter E Sauerstoff hinein. Die Einströmung von Sauerstoff findet unter dem Wasserdruck in der Druckflasche J statt; hierbei wird die Zuströmung durch den kleinen Apparat N reguliert. Dieser besteht aus einer Kautschukmembran, die über den Rand eines sehr niedrigen, mit der Röhre 7 in Verbindung stehenden Hohlgefäßes aus Messing gespannt ist. Diese Membran verschließt die Öffnung des Schlauches ML; wenn nun wegen der Kohlensäureabsorption, der Druck im

System herabsinkt, wird die Kautschukmembran nach innen gezogen, die Öffnung bei M wird frei und Luft strömt in die Flasche J hinein. Dadurch wird Sauerstoff aus E in das Röhrensystem hineingetrieben, bis der dort herrschende Druck die Membran N wieder gegen die Öffnung M drückt und also das weitere Übertreten von Sauerstoff verhindert.

Der Sauerstoffverbrauch (V) wird nach folgender Formel berechnet:

$$V = I\alpha - I(\alpha \pm \beta) + O\gamma,$$

wo I das Luftvolumen des Röhrensystems, O das aus dem Sauerstoffbehälter in den Apparat übergetretene Luftvolumen, α den prozentigen O-Gehalt der atmosphärischen Luft, $(\alpha \pm \beta)$ den prozentigen O-Gehalt der Luft im Systeme nach beendigtem Versuche und γ den Sauerstoffgehalt im Behälter bezeichnen.

Die in der Barytlösung absorbierte Kohlensäure wird nach Pettenkofer titriert.

14. Der Apparat von Zuntz und Röhrig (1871) mit dessen späteren Modifikationen. Nach Tracheotomie wird die Luftröhre (31) mit einem Schlauch verbunden, der seinerseits mit einem Exspirations- und einem Inspirationsventil versehen ist. Von diesen gehen Schläuche zu den paarigen Schenkeln einer T-Röhre, deren unpaariger Schenkel zu einem mit Sauerstoff gefüllten, in Quecksilber gehenden, äquilibrirten Glaszylinder von 5 cm Weite und 55 cm Länge führt. Als Sperrflüssigkeit in den Ventilen wird Kalilauge benutzt. Das Tier atmet also reinen Sauerstoff aus dem Zylinder und expiriert wieder in ihn, wobei die Kohlensäure der expirierten Luft von der Länge im entsprechenden Ventil absorbiert wird. Diese Absorption ist indessen nicht vollständig, weshalb die Luft im Zylinder allmählich mit Kohlensäure beladen wird, die nur zum Teil durch die im Inspirationsventil befindliche Lauge absorbiert wird.

Nach Schluß des Versuches wird an die Stelle der Trachea eine große Spritze gebracht, und mittels dieser Gas aus dem Zylinder aspiriert und in ihn getrieben, bis alle Kohlensäure absorbiert worden ist, was sich durch Konstantbleiben des Quecksilberniveaus zu erkennen gibt.

Durch Ablesung des Glaszylinders erhält man dann den Sauerstoffverbrauch. Die in den Schläuchen und Ventilen enthaltene Sauerstoffmenge (etwa 80 cm) konnte bei der Berechnung vernachlässigt werden, wenn nur dafür gesorgt wurde, daß sie vor und nach der Atmung unter gleichem Druck stand.

Nach Beendigung des Versuches findet sich sämtliche Kohlensäure in der Kalilauge der Ventile und kann darin in zweckmäßiger Weise bestimmt werden (bei Zuntz und Röhrig durch den Gewichtsverlust der Lauge beim Ansäuern mit Schwefelsäure).

Durch eine besondere Vorrichtung ist dafür gesorgt, daß das Tier nicht früher aus dem Glaszylinder zu atmen beginnt, als seine Lungen zum größten Teil wenigstens vom Stickstoff befreit sind. Zu diesem Zwecke ist mit dem Inspirationsventil eine besondere Leitung zu einer Flasche mit reinem Sauerstoff verbunden. Wenn der Versuch beginnen soll, wird diese abgeschlossen und die Trachea des Tieres mit dem Glaszylinder verbunden.

Diese Methode wurde in der folgenden Zeit weiter entwickelt. Insbesondere wurden sämtliche Teile des Apparates nebst Röhrenleitungen, so weit wie tunlich aus Glas hergestellt, und nur zu den notwendigen Ver-

bindungen der einzelnen Teile des Apparates wurden längere Abschnitte von Kautschukröhren benutzt (Wolfers, 32).

Fig. 45 stellt den Apparat dar. Die Trachea wird mit der Röhre a verbunden, die in die Dreizackrohre O übergeht. Wie aus der Figur ohne weiteres ersichtlich ist, kann je nach der Stellung der Quetschhähne q^1 und q^2 das eine oder das andere Spirometer (BB) zur Atmung benutzt werden, und der Versuch kann also ohne Unterbrechung eine längere Zeit fortgesetzt werden. Eine Beimengung von Expirationsluft zur Inspirationsluft kann

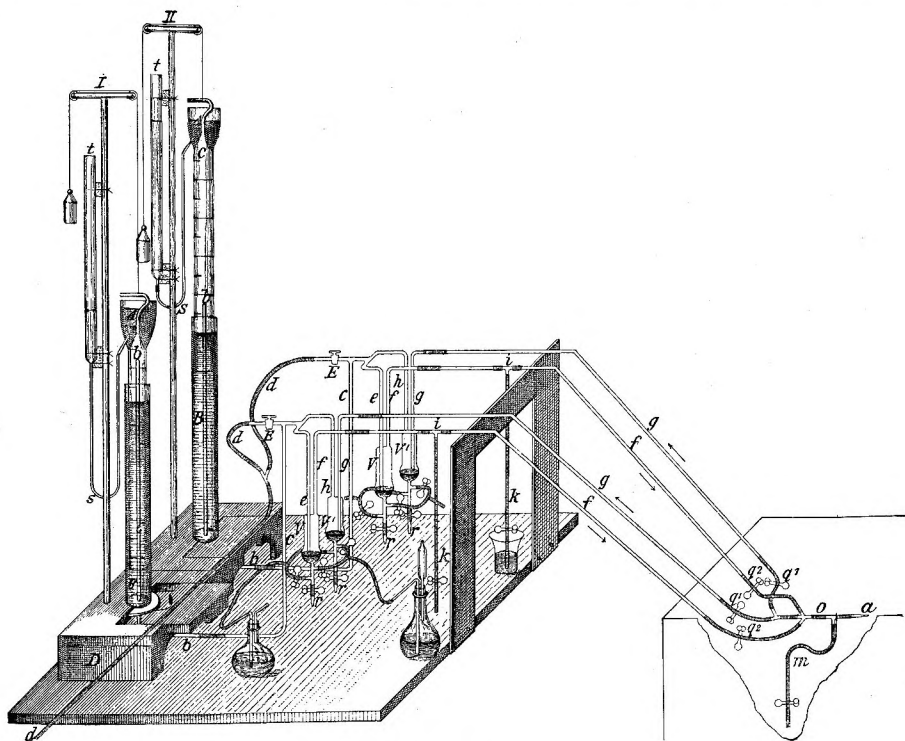


Fig. 45.

Apparat von Zuntz-Wolfers.

nur in minimaler Menge stattfinden, da das für in- und expirierte Luft gemeinschaftliche Endstück o der Leitung kaum einen Kubikzentimeter Kapazität hat.

Die Höhe des äußeren Zylinders beträgt 58 cm, seine Weite 6.5 cm; Höhe und Weite des inneren 60 bzw. 5.5 cm. An ihrem oberen Ende laufen die inneren Zylinder in ein gebogenes Rohr aus, welches während der Dauer der Versuche luftdicht geschlossen ist, bei Installation des Apparates, behufs genauer Kalibrierung der Zylinder, aber offen ist.

Die Füllung der Zylinder mit Sauerstoff erfolgt durch die Zuleitungsröhren d, welche danach durch den Hahn E abgesperrt wird.

Zur Selbstäquilibration der Zylinder dient folgende von Pflüger angegebene Vorrichtung. Über den Zylinder ist ein mit Quecksilber gefüllter Ansatz A angebracht. Das Quecksilber kommuniziert durch ein Glasrohr und den Gummischlauch s mit der vertikalen Röhre t, welche gleichfalls mit Quecksilber angefüllt ist, und zwar so, daß wenn sich der Zylinder infolge des Sauerstoffverbrauches tiefer senkt, gerade so viel Quecksilber aus dem Äquilibrationsrohr nach dem Aufsatze des Zylinders abfließt, daß dieser durch den Fuß des Quecksilbers so viel an Gewicht gewinnt, als der Auftrieb durch das tiefere Einsenken in Quecksilber vermehrt worden ist. Ebenso fließt beim Wiederauffüllen der Zylinder mit Sauerstoff so viel Quecksilber durch die heberartige Wirkung des Äquilibrationsrohrs ab, als notwendig, damit das Gewicht des Zylinders unverändert bleibe, also die Luft in ihm immer unter Atmosphärendruck sei.

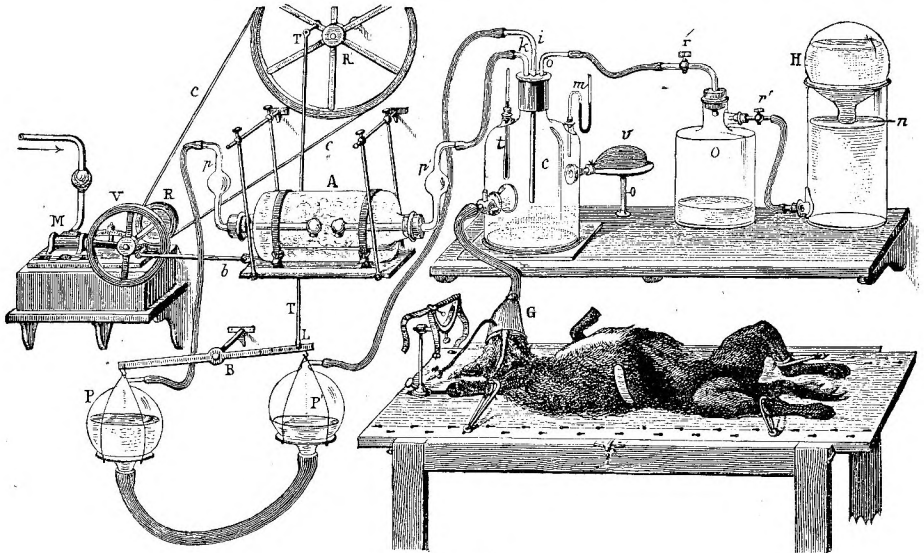


Fig. 46.

Apparat von Regnard.

Nach Ende des Versuches werden die Ventile durch die Röhren rr in eine untergestellte Flasche entleert, je zweimal mit destilliertem Wasser nachgespült und das Waschwasser mit der Lauge vereinigt. Die Alkalität der Lauge wurde dann vor und nach Fällung der Kohlensäure mittels Chlorbaryum-Lösung durch eine Normalsäure bestimmt.

15. Der Apparat von Regnard (1879). Eine Gesichtsmaske (18) wird unter Vermittlung eines Dreiweghahns mit der Flasche C von 10 l Inhalt verbunden (Fig. 46). Durch Drehung des Hahnes können die Atmungswege des Tieres augenblicklich mit der Luft in der Flasche in Verbindung gesetzt werden.

Damit die Atembewegungen des Tieres keine Druckveränderungen im System bewirken mögen, ist ganz wie beim Apparat von Benedict (s. oben S. 134) an einer zweiten Öffnung der Flasche ein kleiner Kautschuksack mit sehr dünner Wand v befestigt. Dieser kompensiert die durch die Atemphasen bewirkten Druckveränderungen in der Flasche und der Druck daselbst bleibt daher ziemlich unverändert.

Mit der Flasche C kommunizieren ferner drei Röhren i, k, o. Erstere i und k sind in der aus der Abbildung sichtbaren Weise mit den Pipetten P und P¹ verbunden, die ihrerseits durch einen dicken Schlauch zusammenhängen. Diese Pipetten, die zum Teil mit Kalilauge gefüllt sind, sind an dem Balken B aufgehängt, welcher durch das von dem Motor V getriebene Rad in eine schaukelnde Bewegung versetzt wird. Infolgedessen wird die Lauge ihr Niveau in den Pipetten immer verändern müssen, und also einerseits eine Ansaugung auf die in C enthaltene Luft ausüben, die dann der Lauge ihre Kohlensäure abgibt, andererseits Luft wieder in C hineintreiben.

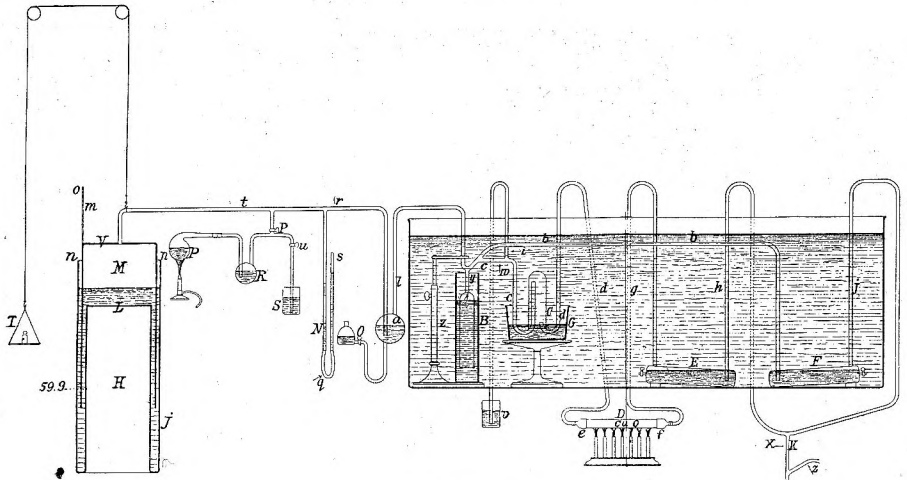


Fig. 47.
Apparat von Pflüger.

In der Leitung der Röhre k ist das Gefäß A eingeschaltet. Dieses ist zur Hälfte mit Kalilauge gefüllt und wird durch den Motor in einer stetigen Bewegung gehalten. Infolgedessen wird die darin enthaltene Lauge heftig geschüttelt, die ins Gefäß eintretende Luft von einem wahren Kaliregen empfangen und die passierende Kohlensäure dadurch sogleich absorbiert.

Durch die Absorption der Kohlensäure vermindert sich der Druck im System; dem wird dadurch entgegengewirkt, daß von der Flasche O durch die Röhre o reiner Sauerstoff in entsprechender Menge hineinströmt. Der Sauerstoff steht in der Flasche O unter konstantem Druck durch das mit einer konzentrierten Lösung von Chlorkalzium gefüllte Gefäß H.

Die Luft in der Flasche wird analysiert, die Kohlensäure in den Pipetten usw. bestimmt und die verbrauchte Sauerstoffmenge direkt abgelesen.

Bei kleinen Tieren findet die Atmung nicht durch eine Maske statt, sondern das Tier wird in eine kleine Kammer eingeschlossen.

16. Der Apparat von Pflüger (1881). Mit der Röhre K (Fig. 47) wird die Trachea verbunden (70). Wenn jene bei x geschlossen wird und z offen steht, atmet das Tier direkt aus der umgebenden Luft. Umgekehrt, wenn z geschlossen und x offen ist, findet die Atmung aus dem

Apparate statt. Die expirirte Luft geht durch h nach dem mit Kalilauge gefüllten Ventil E, davon durch die Röhre g zu D, wo nach dem Vorgange von Seegen und Nowak etwa ausgeatmete brennbare Gase durch erhitztes Kupferoxyd in Kohlensäure und Wasser oxydiert werden; dann weiter durch d zu der Eudiometerglocke C und von dort durch c zu der Glocke B, welche das System mit Luft versieht, und zu der Röhre b. Diese mündet ihrerseits in das Inspirationsventil F ein, von welcher die Luft durch j wieder zur Trachea gelangt.

Zum Ersatz des verbrauchten Sauerstoffes strömt von dem Gasometer M reiner Sauerstoff durch die Leitung t r nach a und davon durch

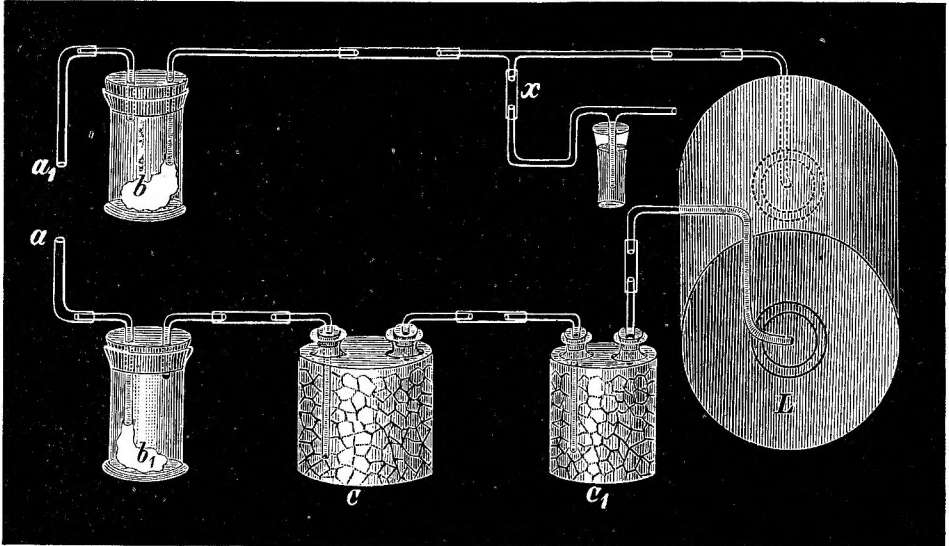


Fig. 48.
Apparat von Geppert.

l in den Atmungsapparat. Der Sauerstoff wird aus Kaliumchlorat in P dargestellt.

Der Apparat war besonders zu dem Zwecke konstruiert, um die Frage zu entscheiden, ob gasförmiger Stickstoff von den Lungen abgegeben wird. Deswegen kann der Apparat teils durch die Röhre i bei geschlossenem x von Zeit zu Zeit mit Sauerstoff durchgespült werden, teils so benutzt werden, daß das Tier aus der Röhrenleitung inspiriert, während, bei offenem i, die Expirationsluft bei v das System verläßt. Nachdem in dieser Weise einigemal so geatmet worden ist, wird die Klemme bei i geschlossen und das Tier atmet nun in und aus dem Apparat. Die in der Eudiometerglocke C gesammelte Luft dient zur Analyse der Luft.

17. Der Apparat von Geppert (1889). Das Tier (33) atmet durch eine Trachealkanüle (Fig. 48), die mit den Röhren a und a¹ verbunden ist; b ist das Inspirationsventil, b₁ das Expirationsventil. Die ausgeatmete Luft geht von b₁ zu den Woulffschen Flaschen c und c₁, welche mit Bimssteinstückchen gefüllt sind, die mit starker Kalilauge durchtränkt sind. Hier

wird also die ausgeatmete Kohlensäure absorbiert. Die Inspiration erfolgt durch die Röhre a_1 aus dem großen, 17 l fassenden Luftbehälter L, in welchen die aus C_1 strömende kohlensäurefreie Luft hineintritt. Der verbrauchte Sauerstoff wird automatisch ersetzt und zwar ist der dafür beabsichtigte Apparat bei x angefügt.

Der Bau dieses Apparates ist aus Fig. 48 B ersichtlich. G ist das Gasometer, in welches Sauerstoff durch r eingeleitet wird. Durch S strömt der Sauerstoff zum Atemapparat; den dabei nötigen Druck besorgt die

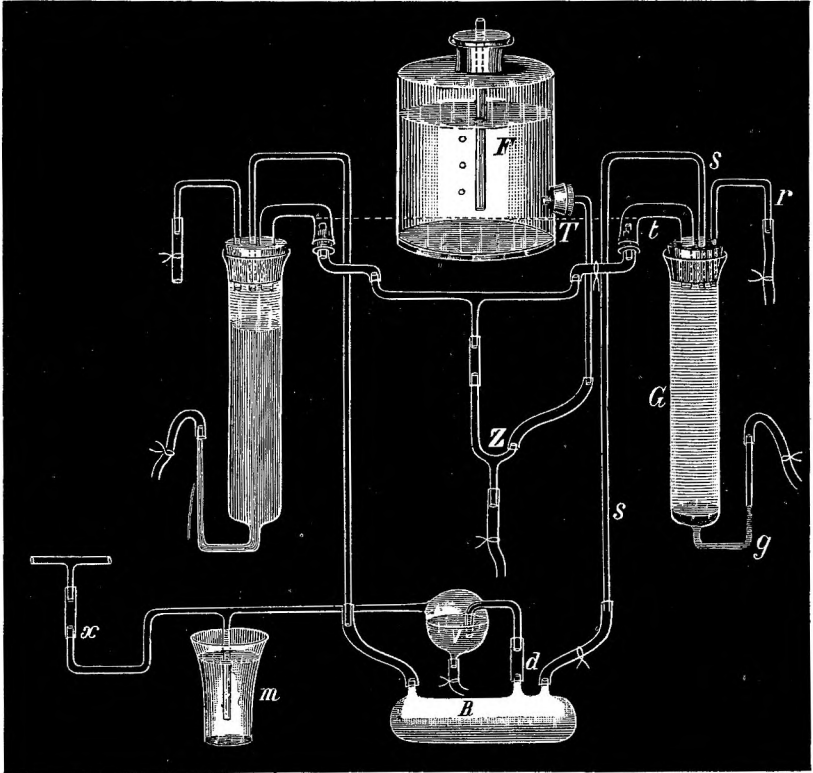


Fig. 48b.
Apparat von Geppert.

Mariottesche Flasche F durch das Röhrensystem T-z-t; die Röhre z dient zur Einstellung des Druckes in der Mariotteschen Flasche. Der ausgetriebene Sauerstoff tritt dann in die Röhre R und von dort durch das Wasserventil v zum Atemapparat.

Ein zweiter Gasometer von genau gleicher Größe ist (links in der Fig.) an das System angeschlossen, um zu gestatten, den Versuch fortzusetzen, nachdem der Sauerstoff im ersten Gasometer verbraucht ist.

Der Sauerstoffverbrauch wird durch Ablesung des Standes in den Gasometern bestimmt.

18. Der Apparat von Zuntz und Hagemann (1897). Dieser stimmt in allen wesentlichen Teilen mit den oben S. 121 folg. beschriebenen überein (34).

Nur sind die Dimensionen des Apparates entsprechend der Größe des Versuchstieres (Pferd) größer und die Vorrichtung zur Probenahme ist auch etwas anders gebaut.

Die Achse der Gasuhr verlängert sich nach hinten (Fig. 49) und diese Verlängerung trägt zwei, etwa 10 cm voneinander entfernt aufgekeilte, halbkreisförmige Scheiben, welche einander zu einer vollen Kreisperipherie ergänzen. In einer eisernen, mit Quecksilber gefüllten Wanne befinden sich zwei unten offene Glaszylinder, welche nach oben in je eine lange eiserne Führungsstange auslaufen. Jede Führungsstange befindet sich an der linken Seite der Gasuhrachse zwischen der Peripherie eines der obengenannten Halbkreise und einer Friktionsrolle, welche durch eine Stahlfeder gegen

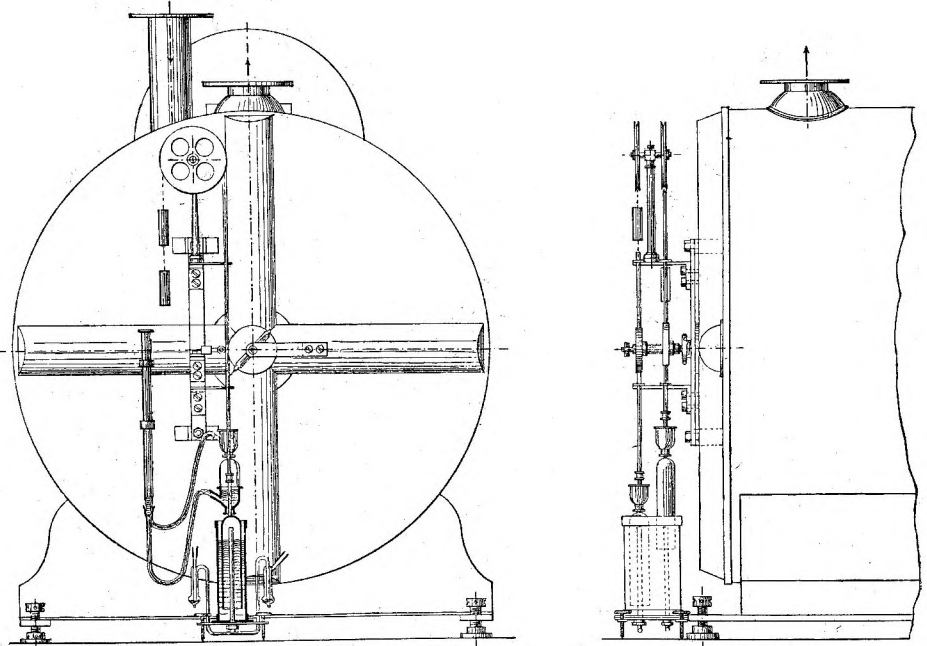


Fig. 49.

Apparat von Zuntz-Hagemann.

die Rückseite der Führungsstange gedrückt wird. Diese ist daher, solange sich der zu ihr gehörende Halbkreis auf der linken Seite der Gasuhrachse befindet, zwischen diesem Halbkreis und der Friktionsrolle angepreßt und wird bei der Drehung der Achse durch den Halbkreis emporgehoben. In dem Moment, wo der letztere die linke Hälfte seiner Bahn zurückgelegt hat und daher die Führungsstange frei läßt, kommt der andere Halbkreis mit seiner Führungsstange in Kontakt und beginnt diese mit der zugehörigen Glocke zu heben. Damit diese Hebung genau im richtigen Moment abreche und auch im Falle einer geringen Rückpendelung der Gasuhrachse die Stange nicht nochmals gefaßt werde, befindet sich an jeder Scheibe ein nasenartiger Vorsprung, welcher eine kleine Schiene zurückdrängt und dadurch die Friktionsrolle, welche die Führungsstange bisher gegen den Halbkreis andrängte, außer Wirksamkeit setzt. Jeder Glocke ist oben ein Glastrichter aufgekittet, welcher derart mit Quecksilber belastet ist, daß die sich selbst überlassene Glocke langsam vollständig in das Quecksilber einsinkt. Da während des Einsinkens der Auftrieb der Glocke zunimmt, muß derselbe durch Nachfließen von Quecksilber ausgeglichen werden. Dies geschieht durch ein neben der Glocke angebrachtes, mit dem Quecksilberaufsatz mittels eines Kautschuk-

schlauches kommunizierendes zylindrisches Glasrohr von passender Weite (Pflüger; (vgl. oben S. 138).

Dicht unter der Kuppe jedes Zylinders mündet ein von unten aufsteigendes, den Boden der Wanne durchbohrendes Glasrohr von etwa 2 mm Weite. Dieses Glasrohr gabelt sich unter dem Boden der Wanne in je einen nach rechts und links verlaufenden Schenkel, deren jeder in einem nach dem Prinzip der Spritzflasche konstruierten kleinen Quecksilberventil endet. Das eine Paar der Ventile gestattet eine Bewegung der Luft zu den Zylindern und steht in Verbindung mit der Leitung, welche die Expirationsluft zum Gasmesser führt. Das andere Paar führt zu dem Quecksilbergasometer, in welchem die Durchschnittsprobe der Atemluft gewonnen wird.

Die oben beschriebene Vorrichtung zur Hebung der Zylinder ist, wie eben erwähnt, so konstruiert, daß genau in dem Moment, in welchem der eine Zylinder von seiner Friktionsscheibe losgelassen wird, die Hebung des anderen beginnt. Die Probenahme ist also ganz kontinuierlich und auch, da die Hebung entsprechend der Bewegung der Gasuhrachse erfolgt, genau proportional der Menge der expirierten Luft.

Nach den an diesem Apparat mit brennenden Kerzen gemachten Kontrollversuchen betrug der Fehler der Sauerstoffbestimmung bei Analysen über Quecksilber im Mittel aus drei Versuchen — 1,0, der der Kohlensäurebestimmung — 2,15 %. Bei Analysen über Wasser waren die Fehler bzw. + 1,49 und — 1,61 %. Die Grenzwerte betragen für Sauerstoff über Quecksilber + 0,16 bis — 1,10, über Wasser + 3,52 bis — 0,63; für Kohlensäure über Quecksilber — 0,22 bis — 4,43, über Wasser — 1,15 bis — 2,42 %.

19. Bei Respirationsversuchen an kurarisierten Tieren, wo die künstliche Atmung unterhalten werden muß, benutzt Zuntz (79) zwei dickwandige Gummiballons, wie sie zu Spritzen gebräuchlich sind, und bringt sie nebeneinander derart an, daß sie durch ein in passendem Scharnier bewegliches Brett gleichzeitig stark zusammengedrückt werden. Die Ballons stehen mit einer Röhrenleitung zur Trachea in Verbindung und zwar enthält diese Röhrenleitung 1. ein Spirometer mit Sauerstoff und 2. vier Ventile mit Kalilauge. Bei der Kompression des einen Ballons (A) strömt die Luft in die Trachea, bei der Kompression des anderen (B) in das Spirometer. Bei seiner Wiederausdehnung füllt sich A mit Sauerstoff aus dem Spirometer, während B Luft aus den Lungen saugt. (Vgl. auch Döhmen (80) sowie Finkler und Oertmann (81)). Später (82) benutzt Zuntz zur Unterhaltung der künstlichen Atmung zwei von einem Motor getriebene Quecksilberpumpen und hat den Apparat in mehreren Beziehungen noch verbessert, worüber Näheres in der Originalabhandlung.

20. O. Frank und F. Voit (93) benutzten zur künstlichen Atmung einen Blasebalg, an welchem sich zunächst ein größeres Wasserventil anschließt, das ein Zurücktreten der Luft in den Blasebalg und ins Freie verhindern soll. Nach diesem folgt eine Glaskugel, die das aus dem Ventil verdunstende Wasser und den aus der Trachealkanüle abfließenden Schleim aufnehmen soll. Diese ist mit dem einen paarigen Schenkel der T-förmigen Trachealkanüle verbunden; der unpaarige Schenkel ist in die Trachea eingebunden; der andere paarige Schenkel setzt die Leitung zu den Absorptions- und Analyseapparaten fort und trägt einen Hahn zur Regulierung des Widerstandes in dieser Leitung. Die Leitung wird endlich mit dem großen Rohr des Pettenkoferschen Respirationsapparates (s. oben S. 84) verbunden und die Bestimmung der Kohlensäureabgabe findet in der bei diesem Apparat beschriebenen Weise statt.

Unter den zur künstlichen Atmung der kurarisierten Tiere angegebenen Apparaten finden sich übrigens mehrere, die sich mit großem Vorteil zur Bestimmung des respiratorischen Gaswechsels verwenden lassen (vgl. Pawlows Darstellung in diesem Handbuch I, 1, S. 49 ff.).

Anhang.

Die Konstruktion der Gasuhren.

Die Konstruktion der Gasuhren ergibt sich aus Fig. 50—52. Die Luft tritt durch den Einlaß E ein und geht durch die Ventilkammer

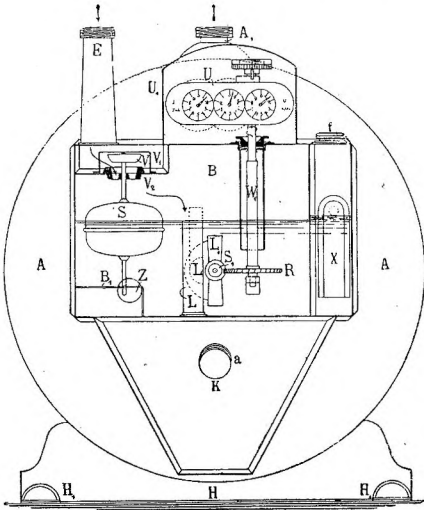


Fig. 50.

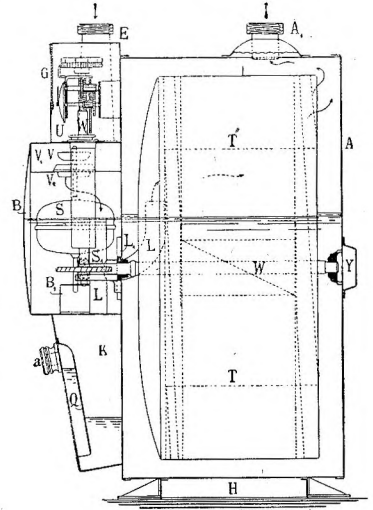


Fig. 51.

V_1 , zwischen Ventil V und Ventilsitz V_2 in den Brustkasten B. Das Knierohr L, das, gerade abgeschnitten, eine wichtige Rolle in bezug auf den Trommelinhalt spielt, indem durch Verkleinern oder Verlängern von L letzterer ebenfalls verändert wird, nimmt die Luft aus dem Brustkasten auf und leitet sie in die Trommel T, die mit ihren eigens konstruierten Kammern sich im Gehäuse A dreht.

Die Trommel enthält vier Kammern, von denen 3 Stück zum Teil mit Luft gefüllt sind.

Die erste Kammer in der Trommel nimmt Luft auf, die zweite ist völlig gefüllt und die dritte gibt die gemessene Luft an den Zwischenraum zwischen Trommeloberfläche und Gehäuse A ab. Die so gemessene Luft entweicht durch den Auslaß A_1 . Man hat somit bei einer Umdrehung der Trommel T bzw. der damit verbundenen Welle W ein bestimmtes Maß für die entwichene Luft.

Die Welle W tritt nun ihrerseits in den Brustkasten, wird getragen durch das Lager L_1 und hat am Ende eine einfache, oder, wenn erforderlich,

eine doppelgängige Schnecke, S_1 , welche in ein Schneckenrad R, gewöhnlich mit 28 Zähnen, eingreift.

Das Schneckenrad sitzt an einer senkrechten Welle W_1 , die durch den Brustkasten B in den Uhrkasten U mittels Stopfbüchse eintritt. Zwecks Abdichtung wird die Welle noch mit einem Rohr umgeben, welches einen Wasserabschluß bildet.

Die Umdrehungen der Welle W übertragen sich auf das Uhrwerk U_1 . Dasselbe hat eine Literscheibe, die bei 2 Liter kleinster Einteilung 50, 100 usw. Liter per Tour je nach Vorschrift angibt; dann drei Scheiben, welche Kubikmeter, 10 Kubikmeter und 100 Kubikmeter anzeigen.

Soll der Gasmesser in Betrieb gesetzt werden, so muß er mit Wasser aufgefüllt werden. Zu dem Zwecke schraubt man die Füllschraube f und Ablassschraube a am Wasserkasten K ab, gießt Wasser in den Auslaß, bis vorne an die Ablassschraube Wasser abzulaufen beginnt. Alsdann wird Einlaß und Auslaß an die Rohrleitung angeschraubt und durch den Gasmesser Luft hindurchgelassen. Wenn sich nun der Druck im Gasmesser allseitig mitgeteilt hat, füllt man durch die Füllschraubenöffnung bei f noch etwas Wasser nach, damit der Wasserstand in der Trommel die Höhe erreicht, welche ihm das Knierohr gestattet. Zuletzt werden Füllschraube und Ablassschraube wieder angeschraubt.

Das Gehäuse ruht auf dem Fußgestell H, das gegen Kippen durch 4 Fußnägel H_1 gesichert wird, und ist für horizontale Aufstellung desselben Sorge zu tragen. (Nach einer Beschreibung von S. Elster in Berlin.)

Das Schwimmerventil S mit dem Ventilteller fehlt bei Experimentiergasmessern. Diese Anordnung trifft nur für Konsumgasmesser zu, die in den Städten zur Ausführung gelangen, bei welchen von der Eichungs-Inspektion ein Schwimmerventil vorgeschrieben ist.

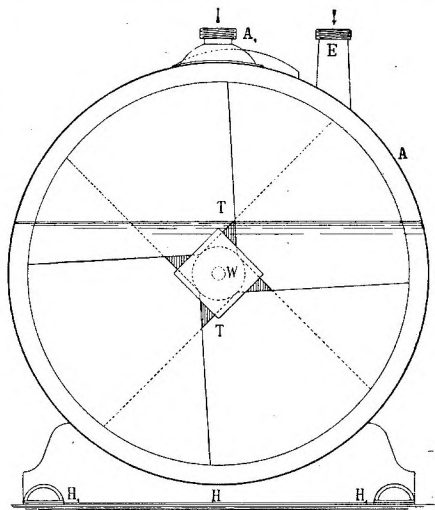


Fig. 52.

Literatur.

1) Lavoisier, Expériences sur la respiration des animaux et sur les changements qui arrivent à l'air en passant par leur poumons. Mém. de l'Académie des sciences 1777, S. 185. Oeuvres, 2, S. 174.

2) — — et de Laplace, Mémoire sur la chaleur. Ebenda 1780, S. 355. Oeuvres, 2, S. 283.

3) — — et Seguin, Premier mémoire sur la respiration des animaux. Ebenda 1789, S. 566. Oeuvres, 2, S. 688.

4) — — et Seguin, Second mémoire sur la respiration. Ann. de chimie 91, S. 318; 1814.

- 5) Atwater, W. O., and F. G. Benedict, Experiments on the metabolism of matter and energy in the human body. U.S. Department of agriculture. Office of experiment Stations. Bul. No. 69, 109, 136; Washington 1899—1903.
- 6) Benedict, F. G., and R. D. Milner, Experiments on the metabolism of matter and energy in the human body 1903—1904. Ebenda, Washington 1907.
- 7) Benedict, F. G., The influence of inanition on metabolism. Carnegie Institution of Washington. Publication No. 77. 1907.
- 8) Tigerstedt, R., Der Energiewechsel. In Oppenheimers Handbuch d. Biochemie 4:2, S. 1, 1909.
- 9) Zuntz, N., A. Loewy, F. Müller und W. Caspari, Höhenklima und Bergwanderungen in ihrer Wirkung auf den Menschen. Berlin 1906.
- 10) Bleibtreu, Max, Fettmast und respiratorischer Quotient. Arch. f. d. ges. Physiol. 85, S. 344—400; 1901.
- 11) Pembrey, M. S., Further observations upon the respiratory exchange and temperature of hibernating animals. Journ. of physiol. 29, S. 195—212; 1903.
- 12) Speck, C., Physiologie des menschlichen Atmens nach eigenen Untersuchungen. Leipzig 1892.
- 13) Katzenstein, G., Über die Einwirkung der Muskelarbeit auf den Stoffverbrauch des Menschen. Arch. f. d. ges. Physiol. 49, S. 330—404; 1891.
- 14) Johansson, J. E., Über die Tagesschwankungen des Stoffwechsels und der Körpertemperatur in nüchternem Zustande und vollständiger Muskelruhe. Skand. Arch. f. Physiol. 8, S. 85—142; 1898.
- 15) Smith, E., Experimental inquiries into the chemical and other phenomena of respiration. Philosoph. transactions of the Royal Society. 1859, S. 681—714.
- 16) Allen, W., and W. H. Pepys, On the changes produced in atmospherical air and oxygen gas by respiration. Philosophical transactions, 1808; 2, S. 249—281.
- 17) Andral et Gavarret, Recherches sur la quantité d'acide carbonique exhalé par le poumon dans l'espèce humaine. Ann. de chimie et de physique. 3^e série, 8; 1843.
- 18) Regnard, P., Recherches expérimentales sur les variations pathologiques des combustions respiratoires. Paris 1879.
- 19) Geppert, J., Die Einwirkung des Alkohols auf den Gaswechsel des Menschen. Arch. f. exp. Pathol. 22, S. 367—384; 1887.
- 20) Zuntz, N., C. Lehmann und andere, Untersuchungen an zwei hungernden Menschen. Arch. f. path. Anat. 131, Suppl. 1893.
- 21) Magnus-Levy, A., Über die Größe des respiratorischen Gaswechsels unter dem Einfluß der Nahrungsaufnahme. Arch. f. d. ges. Physiol. 55, S. 1—126; 1893.
- 22) Loewy, A., Die Wirkung ermüdender Muskelarbeit auf den respiratorischen Stoffwechsel. Ebenda, 49, S. 405—422; 1891.
- 23) Durig, A., Über den Erhaltungsumsatz. Denkschriften d. Wiener Akad., math.-naturw. Klasse, 86, S. 116—231; 1909.
- 24) Hanriot, M., et Ch. Richet, Des échanges respiratoires chez l'homme. Travaux de laboratoire de Richet, 1, S. 470—531; 1893.
- 25) Tissot, J., Appareil pour mesurer le débit et les échanges respiratoires. Archives de physiol., 1896, S. 562—571.
- 26) v. Wendt, G., Über die Einwirkung des Alkohols auf die Körpertemperatur des Menschen. Skand. Arch. f. Physiol., 19, S. 171—181; 1907.
- 27) Benedict, F. G., An apparatus for studying the respiratory exchange. Amer. Journ. of Physiol., 24, S. 345—374; 1909.
- 28) Schnyder, L., Muskelkraft und Gaswechsel. Zeitschr. f. Biol., 33, S. 289—319; 1896.
- 29) Bürgi, E., Der respiratorische Gaswechsel bei Ruhe und Arbeit auf Bergen. Arch. f. (Anat. u.) Physiol., 1900, S. 509—543.
- 30) Sanders-Ezn, Der respiratorische Gasaustausch bei großen Temperaturänderungen. Ber. d. Sächs. Gesellsch. d. Wiss., math.-phys. Klasse, 1867, S. 58—98.
- 31) Zuntz, N., und A. Röhrig, Zur Theorie der Wärmeregulation und der Balneotherapie. Arch. f. d. ges. Physiol. 4, S. 57—90; 1871.

- 32) Wolfers, J., Untersuchungen über den Einfluß einiger stickstofffreier Substanzen auf den tierischen Stoffwechsel. Ebenda, 32, S. 222—279; 1883.
- 33) Heerlen, W., Das Koffein und das Kaffeedestillat in ihrer Beziehung zum Stoffwechsel. Ebenda, 52, S. 165—185; 1892.
- 34) Zuntz, N., und O. Hagemann, Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und Arbeit. Neue Folge. Berlin 1898.
- 35) Scharling, E., Förelöbige Forsög over den Quantitet Kulsyre, et Menneske udaanderi 24 timer. Skandinaviska Naturforskaremötet 1842, S. 269—282.
- 36) Pettenkofer, M., Über die Respiration. Ann. d. Chemie und Pharmazie. II. Suppl.-Bd., S. 1—52; 1862.
- 37) Voit, Carl, E. Voit und J. Forster, Über die Bestimmung des Wassers mittels des Pettenkoferschen Respirationsapparates. Zeitschr. f. Biol. 11, S. 126—186; 1875.
- 38) Pettenkofer, M., und C. Voit, Untersuchungen über die Respiration. Ann. d. Chemie und Pharmazie. II. Suppl.-Bd. S. 52—70; 1882.
- 39) Stohmann, F., Über Wasserbestimmungen mittels des Respirationsapparates. Landwirtschaftl. Versuchsstat. 19, S. 81—117, 159; 1876.
- 40) Kühn, G., und A., Fütterungs- und Respirationsversuche mit volljährigen Ochsen über die Fettbildung aus Kohlehydraten. Ebenda, 44, S. 264—317; 1894.
- 41) Wolpert, H., Über den Einfluß der Lufttemperatur auf die im Zustand anstrengender körperlicher Arbeit ausgeschiedenen Mengen Kohlensäure und Wasserdampf beim Menschen. Arch. f. Hygiene, 26, S. 32—67; 1896.
- 42) Rubner, M., Die Gesetze des Energieverbrauches bei der Ernährung. Leipzig und Wien 1903 (S. 17).
- 43) Sondén, K., und R. Tigerstedt, Untersuchungen über die Respiration und den Gesamtstoffwechsel des Menschen. Skand. Arch. f. Physiol., 6, S. 1—225; 1895.
- 44) Johansson, J. E., Über den Einfluß der Temperatur in der Umgebung auf die Kohlensäureabgabe des menschlichen Körpers. Ebenda, 7, S. 122—177; 1896.
- 45) Jacoby, Über Ventilationsformeln. Zeitschr. f. Biol. 14, S. 1; 1878.
- 46) Rosenberg, Tora, Prüfung des Sondén-Tigerstedtschen Respirationsapparates. Skand. Arch. f. Physiol. 16, S. 79—87; 1904.
- 47) Tigerstedt, R., Der Respirationsapparat im neuen physiologischen Institut zu Helsingfors. Ebenda, 18, S. 298—305; 1906.
- 48) Atwater, W. O., and E. B. Rosa, Description of a new respiration calorimeter. U.S. Departement of agricult. Off. of exp. Stations. Bul. No. 63. Washington 1899.
- 49) Liebermeister, Deutsch. Arch. f. klin. Med. 7, S. 75—117; 1870.
- 50) Jaquet, A., Ein neuer Apparat zur Untersuchung des respiratorischen Stoffwechsels des Menschen. Verhandl. d. Naturf.-Gesellsch. in Basel 15, S. 252—271; 1903.
- 51) Grafe, E., Ein Respirationsapparat. Zeitschr. f. physiol. Chemie, 65, S. 1—20; 1910.
- 52) — — Ein Kopfrespirationsapparat. Deutsch. Arch. f. klin. Med. 95, S. 529—542; 1909.
- 53) Voit, C., Beschreibung eines Apparates zur Untersuchung der gasförmigen Ausscheidungen des Tierkörpers. Zeitschr. f. Biol. 11, S. 532—586; 1875.
- 54) Pott, R., Vergleichende Untersuchungen über die Mengenverhältnisse der durch Respiration und Perspiration ausgeschiedenen Kohlensäure bei verschiedenen Tierspezies. Landwirtschaftl. Versuchs-Stat., 18, S. 81—166; 1875.
- 55) Leyden, E., und A. Fränkel, Über den respiratorischen Gasaustausch im Fieber. Arch. f. path. Anat. 76, S. 136—211; 1879.
- 56) Haldane, J., A new form of apparatus for measuring the respiratory exchange of animals. Journ. of physiol., 13, S. 419—430; 1892.
- 57) Rosenthal, J., Kalorimetrische Untersuchungen. Arch. f. (Anat. u.) Physiol., 1894, S. 246—256.
- 58) Laulanié, F., Sur un appareil pour la mesure des échanges respiratoires. Arch. de physiol., 1895, S. 619—628.
- 59) — —, De l'exploration du chimisme respiratoire. Ebenda, 1895, S. 636—640.

- 60) Regnault, V., et J. Reiset, Recherches chimiques sur la respiration des animaux des diverses classes. Ann. de chimie et de physique, 3e série, 26, S. 299—519; 1849.
- 61) Reiset, J., Recherches chimiques sur la respiration des animaux d'une ferme. Ebenda, 3e Série, 63, S. 129—169; 1863.
- 62) Hoppe-Seyler, F., Apparat zur Messung der respiratorischen Aufnahme und Abgabe von Gasen am Menschen nach dem Prinzip von Regnault. Zeitschr. f. physiol. Chem. 19, S. 574—589; 1894.
- 63) Atwater, W. O., and F. G. Benedict, A respiration calorimeter with appliance for the direct determination of oxygen. Carnegie Institution of Washington. Publ. No. 42. Washington 1905.
- 64) Benedict, F. G., and Th. M. Carpenter, Respiration calorimeters for studying the respiratory exchange and energy transformations of man. Ebenda, No. 123. Washington 1910.
- 65) Stroganow, N., Beiträge zur Kenntnis des Oxydationsprozesses im normalen und Erstickungsblute. Arch. f. d. ges. Physiol. 12, S. 18—50; 1876.
- 66) Colasanti, G., Über den Einfluß der umgebenden Temperatur auf den Stoffwechsel der Warmblüter. Ebenda, 14, S. 92—124; 1877.
- 67) Schulz, H., Über das Abhängigkeitsverhältnis zwischen Stoffwechsel und Körpertemperatur bei den Amphibien. Ebenda, 12, S. 78—91; 1877.
- 68) Finkler, D., Beiträge zur Lehre von der Anpassung der Wärmeproduktion an den Wärmeverlust bei Warmblütern. Ebenda, 15, S. 603—633; 1877.
- 69) Seegen, J., und J. Nowak, Versuche über die Ausscheidung von gasförmigem Stickstoff aus den im Körper umgesetzten Eiweißstoffen. Ebenda, 19, S. 347—415; 1879.
- 70) Leo, H., Untersuchungen zur Frage der Bildung von freiem Stickstoff im tierischen Organismus. Ebenda, 26, S. 218—236; 1881.
- 71) Nemser, M., Ein Respirationsapparat mit einer neuen Einrichtung für die Ventilation der Kammer. Ebenda, 45, S. 284—292; 1889.
- 72) Rosenthal, J., Über die Sauerstoffaufnahme und den Sauerstoffverbrauch der Säugetiere. Arch. f. (Anat. u.) Physiol., 1898, S. 271—281.
- 73) Pflüger, E., Über den Einfluß, welchen Menge und Art der Nahrung auf die Größe des Stoffwechsels und der Leistungsfähigkeit ausüben. Arch. f. d. ges. Physiol. 77, S. 425—482; 1899.
- 74) Rosenthal, J., Untersuchungen über den respiratorischen Stoffwechsel. Arch. f. (Anat. u.) Physiol., 1902, S. 167—199.
- 75) Zuntz, N., Ein nach dem Prinzip von Regnault und Reiset gebauter Respirationsapparat. Ebenda, 1905, Suppl., S. 431—435.
- 76) Oppenheimer, C., Über die Frage der Anteilnahme elementaren Sauerstoffs am Stoffwechsel der Tiere. Biochem. Zeitschr. 4, S. 328—470; 1907.
- 77) Krogh, A., Experimentelle Untersuchungen über die Ausscheidung freien Stickstoffes aus dem Körper. Wiener Sitz.-Ber., math.-naturw. Klasse, 115, Abt. 3, S. 571—654; 1906.
- 78) Nagai, H., Der Stoffwechsel des Winterschläfers. Zeitschr. f. allg. Physiol. 9, S. 243—367; 1909.
- 79) Zuntz, N., Über den Einfluß der Kurarevergiftung auf den tierischen Stoffwechsel. Arch. f. d. ges. Physiol. 12, S. 522—526; 1876.
- 80) Dohmen, W., Untersuchungen über den Einfluß, den die Blutgase auf die Atembewegungen ausüben. Unters. aus d. physiol. Laborat. zu Bonn. S. 82—143; 1865.
- 81) Finkler, D., und E. Oertmann, Über den Einfluß der Atemmechanik auf den Stoffwechsel. Arch. f. d. ges. Physiol. 14, S. 38—72; 1877.
- 82) Zuntz, N., Über die Benutzung kurarierter Tiere zu Stoffwechseluntersuchungen. Arch. f. (Anat. u.) Physiol., 1884, S. 380—396.
- 83) Jolyet, F., et P. Regnard, Recherches sur la respiration des animaux aquatiques. Arch. de physiol., 1877, S. 44—62.
- 84) Zuntz, N., Ein Respirationsapparat für Wassertiere. Arch. f. (Anat. u.) Physiol., 1901.

- 85) Winterstein, H., Beiträge zur Kenntnis der Fischatmung. Arch. f. d. ges. Physiol., 125, S. 73—98; 1908.
- 86) Vernon, H. M., The relation of the respiratory exchange of cold-blooded animals to temperature. Journ. of. physiol., 17, S. 277—292. 1894.
- 87) Pembrey, M. S., On the reaction-time of mammals to changes in the temperature of their surroundings. Ebenda, 15, S. 401—420; 1894.
- 88) Lovén, Chr., Einige Untersuchungen über die vitale Mittellage der Lungen. Nordiskt medicinskt arkiv IV, Nr. 2, S. 1—22; 1872. — Anat. und physiol. Arbeiten. Leipzig 1906.
- 89) Müller, Beiträge zur Theorie der Respiration. Sitz.-Ber. d. Wiener Akad. der Wiss., math.-naturw. Klasse, 33, S. 101; 1859.
- 90) Thiry, zit. nach Gscheidlen, Physiol. Methodik, S. 532.
- 91) v. Recklinghausen, H., Über die Atmungsgröße der Neugeborenen. Arch. f. d. ges. Physiol., 62, S. 451—493; 1896.
- 92) Krogh, A., Über die Prinzipien der exakten Respirationsversuche. Biochem. Zeitschr. 7, S. 24—37; 1908.
- 93) Frank, O. und F. Voit, Der Ablauf der Zersetzungen im tierischen Organismus bei der Ausschaltung der Muskeln durch Curare. Zeitschr. f. Biol., 42, S. 309 bis 362; 1901.
- 94) Weinland, Über die Stoffumsetzungen während der Metamorphose der Fleischfliege. Ebenda, 47, 186—231; 1906.
-