

Beschreibung

eines

Apparates zur Untersuchung der
gasförmigen Ausscheidungen des
Thierkörpers.

Von

Carl Voit.

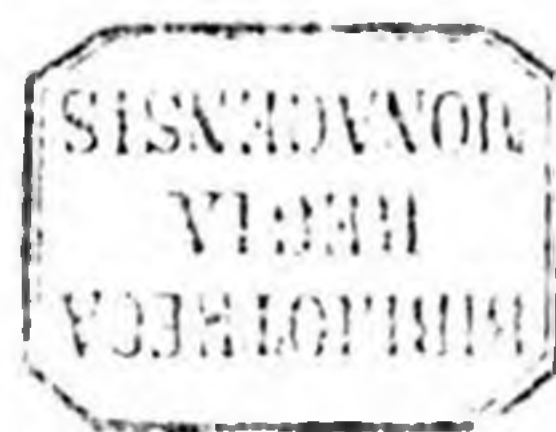
Aus den Abhandlungen der k. bayer. Akademie der W. II. Cl. XII. Bd. I. Abth.

München 1875.

Verlag der k. Akademie,

in Commission bei G. Franz,

Akademische Buchdruckerei von F. Straub.



Beschreibung
eines
Apparates zur Untersuchung der gasförmigen Aus-
scheidungen des Thierkörpers

von
C a r l V o i t.

(Mit Tafel I. II. III.)

Vor nunmehr 15 Jahren hatten die von Bischoff und mir gewonnenen Resultate über den Eiweissverbrauch des fleischfressenden Thieres zu dem Baue des grossen Respirationsapparates im physiologischen Institute durch Pettenkofer geführt.

Es hatte sich bekanntlich durch mühsame Untersuchungen ergeben, dass man im Stande ist, die Grösse des Umsatzes der stickstoffhaltigen Stoffe, vor Allem des Eiweisses im Thierkörper aus dem im Harn und Koth ausgeschiedenen Stickstoff, so weit genau als es für Fragen der Art zu wissen nöthig ist, zu entnehmen¹⁾. Aber über den Verbrauch der stickstofffreien Stoffe wie der Fette oder Kohlehydrate konnte nichts aus diesen Untersuchungen des Harns und Koths entnommen werden, es mussten zu dem Zwecke alle Ausscheidungsprodukte des Körpers, also auch die gasförmigen, in den Kreis der Untersuchung gezogen werden.

Jedoch war aus den annähernden Berechnungen von Bischoff und mir schon so viel zu ersehen, dass in der Zersetzung der stickstofffreien

1) Voit, physiologisch-chemische Untersuchungen 1857 S. 1. — Annalen der Chem. u. Pharm. 1862. Suppl. Bd. 2. S. 238. — Zeitschrift f. Biologie 1866. Bd. 2. S. 6 u. 189.

Stoffe und in der Aufnahme des Sauerstoffs dieselben mächtigen Verschiedenheiten vorkommen, wie in der Zersetzung der stickstoffhaltigen Stoffe, und dass die Erkenntniss des gesammten Stoffzerfalles im Thierkörper für die Entwicklung der Lehre von der Ernährung von wesentlicher Bedeutung sei.

Es gelang nun Pettenkofer einen Apparat zur Untersuchung des Gaswechsels auszudenken und herzustellen¹⁾, der wie die damit angestellten Controlversuche beweisen, genaue Resultate gibt und der ferner, wie die vielen mit ihm gemeinschaftlich von Pettenkofer und mir²⁾ an Hunden und Menschen ausgeführten Versuche darthun, allen Anforderungen entspricht. Man sollte wenigstens denken, der Apparat habe nach der Bereicherung unserer Kenntnisse über die Vorgänge im Thierkörper durch die Respirationsversuche am Hunde bei Hunger, bei ausschliesslicher Zufuhr von Fett und Kohlehydraten, bei Fütterung mit Fleisch, dann mit Fleisch und Fett, Fleisch und Kohlehydraten, ferner durch die Untersuchungen über den Stoffverbrauch des normalen, des diabetischen und des leukämischen Menschen sich bewährt und seinen Zweck erfüllt.

Ueberblicken wir sämmtliche Arbeiten, zu welchen der Apparat vorwaltend oder nebenbei gedient hat, so gewahren wir darunter theils Thatsachen, welche gegenwärtig bereits schon als selbstverständlich angesehen und ohne Nennung der Autoren weiter verwendet werden, theils solche, welche zwar feststehen, aber vorläufig noch ignorirt werden.

Es gelang uns zu zeigen, dass bei dem hungernden Hunde wirklich nur Eiweiss und Fett zerstört wird, da der in 24 Stunden ausgeschiedene und bestimmte Stickstoff und Kohlenstoff, auf Eiweiss und Fett berechnet, genau so viel Sauerstoff zur Verwandlung in die Endprodukte, welche durch Nieren, Darm, Haut und Lungen ausgeschieden werden, braucht, als in der gleichen Zeit durch die Respiration aus der Luft in den Kreislauf eintritt. Die Zwischenglieder werden also in dieser Zeit völlig in die Ausscheidungsprodukte umgewandelt. — Das Gleiche

1) Pettenkofer, Annalen der Chem. u. Pharm. 1862. Suppl. Bd. 2. S. 1,

2) Pettenkofer u. Voit, Zeitschrift f. Biologie 1866. Bd. 2. S. 459. — 1867. Bd. 3. S. 380. — 1869. Bd. 5. S. 319 u. 369. — 1871. Bd. 7. S. 433. — 1873. Bd. 9. S. 1 u. 435. —

stellte sich bei Zufuhr von reinem Fleisch heraus; es war bei mittleren Mengen von reinem Fleisch möglich die Elemente der Einnahmen genau in den Ausgaben wieder zu finden d. h. den Körper damit auf seiner Zusammensetzung zu erhalten, und den Verlust von Eiweiss und Fett zu verhüten. Bei geringeren Mengen von Fleisch wurde noch Eiweiss und Fett vom Körper abgegeben, bei grösseren gelangte sowohl Eiweiss als auch Fett zum Ansatz. Von ganz besonderer Bedeutung für die Auslegung der unter dem Einflusse der Fette und Kohlehydrate erhaltenen Versuchsergebnisse und für die Entwicklung der Lehre von der Fettbildung im Thierkörper wurde der letztere von uns zum ersten Male sicher geführte Nachweis, dass bei der normalen Zersetzung des Eiweisses Fett sich abspaltet. — Durch Zusatz von Fett oder Kohlehydraten zu einer kleinen Menge von Fleisch erhält sich der Körper auf seiner Zusammensetzung, während man ohne die stickstofffreien Substanzen zum gleichen Zwecke bedeutende Fleischmengen braucht. — Es gelingt leicht schon durch geringe Gaben von Fett eine gewisse Menge von Fett am Körper zum Ansatz zu bringen; das Fett wird im Körper ungleich schwerer zerstört als das Eiweiss, denn während letzteres unter Umständen ganz zerfällt, kann ersteres abgelagert werden. Es lassen sich die hier stattfindenden Verhältnisse ganz einfach ableiten, wenn man bedenkt, dass bei dem Zerfalle des Eiweisses stets eine gewisse Menge von Fett als Produkt auftritt und dass dieses leichter weiter angegriffen wird als das aus dem Darne aufgenommene Fett. — Die Bedeutung der Kohlehydrate stellte sich nach unseren Untersuchungen als eine ganz andere dar, als bis dahin angenommen worden war. Während der Nachweis einer Ablagerung von Fett im Organismus bei Fütterung mit Fett sehr leicht gelingt, ist ein solcher für die Kohlehydrate, selbst bei den grössten Quantitäten derselben, nicht möglich; stets erschien, auch in den äussersten Fällen, der Kohlenstoff der Kohlehydrate in den Ausscheidungen wieder und es blieb nur so viel Kohlenstoff zurück als dem aus dem Eiweiss möglicherweise entstandenen Fett entspricht. Im Thierkörper werden, wie aus unseren Versuchen unwiderleglich hervorgeht, ganz bedeutende Mengen von Zucker bis zu Kohlensäure und Wasser zerlegt und oxydirt, während die meisten Physiologen auf nicht

beweisende Versuche gestützt¹⁾ annehmen, dass der Zucker im Thier nicht verbrenne, und Viele darauf eine Erklärung der Zuckerharnruhr aufbauen. Die Kohlehydrate unterscheiden sich demnach in ihrer Wirkung auf die stofflichen Vorgänge im Thierkörper in ganz bestimmter Weise von den Fetten; sie schützen nur das aus dem gleichzeitig zersetzten Eiweiss hervorgegangene Fett vor dem weiteren Zerfalle. In Verhütung der Fettabgabe vom Körper thun 175 gr. Kohlehydrate die gleichen Dienste wie 100 gr. Fett; man wird sich in dem Getriebe der Zersetzungen im Thierkörper nur dann zurecht finden, wenn man die von uns gefundenen Thatsachen festhält, dass am leichtesten das Eiweiss und die Kohlehydrate zerlegt werden, jedoch ungleich schwieriger die Fette, mögen sie aus dem Darm eingetreten sein oder im Körper aus dem Eiweiss sich abgetrennt haben. — Es konnten nach allen diesen Erfahrungen über die Gesamtzersetzung im Körper unter dem Einflusse der verschiedensten Nahrungsstoffe angegeben werden, welche Stoffe und wieviel davon man darreichen müsse, um einen Körper auf seiner Zusammensetzung zu erhalten oder auf eine gewünschte Zusammensetzung zu bringen, wodurch in das eigentliche Gebiet der Ernährung eingedrungen wurde.

Vor Allem wichtig für die Vorstellungen über die Zersetzungen im thierischen Organismus wurde die Verfolgung der Sauerstoffaufnahme. Früher hatte man die Idee, der Sauerstoff wäre die nächste Ursache für die Zersetzung; man meinte, es werde in einen Thierkörper eine bestimmte Menge von Sauerstoff aufgenommen, der dann die Stoffe oxydire. Aus unseren Versuchen ging dagegen hervor, dass die Sauerstoffaufnahme unter sonst gleichen äusseren Verhältnissen äusserst verschieden ist, und dass die Stoffe im Thierkörper nicht nach ihrer Verwandtschaft zum Sauerstoff zerstört werden und dabei eine gewisse Menge von Sauerstoff in Beschlag nehmen müssen. Ich habe an vielen Stellen²⁾ ausgesprochen, dass der Sauerstoff nicht die nächste Ursache des Zerfalles der Stoffe ist; die Bedingungen des Zerfalles

1) Scheremetjewski, Ber. d. k. sächs. Ges. d. Wiss., 1868 S. 154; siehe dagegen Voit, Zeitschr. f. Biologie 1873. Bd. 9. S. 508.

2) Zeitschr. f. Biologie 1869. Bd. 5. S. 169; 1870. Bd. 6. S. 383; 1871. Bd. 7. S. 197, 455, 465, 493; 1872. Bd. 8. S. 383; 1873. Bd. 9. S. 32, 436, 526.

finden sich in den Zellen des Organismus, die Sauerstoffaufnahme richtet sich umgekehrt nach der Menge der Zerfallprodukte und ist eine secundäre. Obwohl ich den fundamentalen, früher von allen Physiologen getheilten Irrthum, dass der Sauerstoff der Zerstörer im Thierkörper sei, aufgedeckt und namentlich Liebig gegenüber meine auf die ausgedehntesten Versuche gegründeten Vorstellungen vertheidiget habe, so nehmen die einen doch keine Notiz davon und behalten wohlgemuth die falsche Meinung bei, Andere, welche auf anderem Wege zu der gleichen Vorstellung wie ich gekommen sind, verschweigen beharrlich, dass längst vor ihnen aus zahlreichen Bestimmungen der Gesamtaufnahme von Sauerstoff in den Körper während 24 Stunden das Gleiche erschlossen worden ist.

Nachdem wir von der früheren allgemein gehegten Vorstellung einer direkten Verbindung des Sauerstoffs mit dem Kohlenstoff und Wasserstoff der Stoffe im Thierkörper uns losgelöst hatten, konnte ich ¹⁾ es aussprechen, dass es sich im Körper um allmähliche Spaltungen handle, bei denen der vorhandene Sauerstoff nach und nach eintritt; ich hob zugleich hervor, dass bei den meisten sogenannten Verbrennungen z. B. des Holzes, des Fettes etc. es ebenso ist, da auch dabei durch die Anzündungstemperatur erzeugte Spaltungsprodukte sich allmählich mit dem Sauerstoff verbinden. Ich kam so durch unsere Versuche für den Gesamtkörper zu der gleichen Ansicht, welche früher schon Hermann ²⁾ gestützt auf seine Beobachtungen für die thätigen Muskeln, welche trotz Abwesenheit von freiem Sauerstoff fortfahren Kohlensäure zu bilden, ausgesprochen hat, dass nämlich bei der Muskelarbeit nicht eine Oxydation, sondern eine Spaltung einer complicirten Substanz stattfindet. Pflüger ³⁾ schliesst aus seiner Beobachtung, nach welcher Frösche ohne eine Spur von Sauerstoff noch lange fortfahren Kohlensäure zu bilden, ebenfalls, dass bei dem Lebensprocesse nicht eine direkte Oxydation, sondern eine Dissociation sauerstoffreicher Verbindungen gegeben sei und findet den Keim dieser Ansicht in der vorzüglich gegen mich gerichteten Abhandlung von Liebig ⁴⁾ über die Quelle der Muskelkraft, ohne von den

1) Voit, Zeitschr. f. Biologie 1869. Bd. 5. S. 169; 1870. Bd. 6. S. 321.

2) Hermann, Gas- und Stoffwechsel der Muskeln 1867.

3) Pflüger, Arch. f. d. ges. Physiologie 1872. Bd. 6. S. 52.

4) Liebig, Sitz.-Ber. d. k. Akad. d. Wiss. 1869. II. S. 432.

früheren ganz bestimmten Angaben von Hermann und denen von mir nur das Geringste zu erwähnen.

Wir haben mit dem grossen Respirationsapparate nicht nur Untersuchungen an Hunden, sondern auch an Menschen angestellt, und zwar an gesunden und kranken. An normalen Menschen wurden dabei zum ersten Male alle Ausscheidungsproducte controlirt und die Grösse der Umsetzungen festgestellt und zwar bei Hunger und verschiedenster Kost bei einem kräftigen Arbeiter und einem schlecht genährten Individuum. Es wurde beim Menschen die wichtige Thatsache gefunden, dass die Sauerstoffaufnahme und die Kohlensäureabgabe bis zu einer gewissen Grenze zeitlich von einander unabhängig sind. Ferner wurde dargethan, dass bei der Arbeitsleistung unter gesteigerter Sauerstoffaufnahme viel mehr Fett, aber nicht mehr Eiweiss verbraucht wird. Man schreibt die Auffindung dieser Thatsache gewöhnlich Anderen zu, welche eine Vermehrung der Kohlensäureausscheidung bei der Arbeit nachwiesen; daraus vermag man aber selbstverständlich nicht den Schluss zu ziehen, dass dabei mehr Fett zerstört worden ist, da der gleiche Effect ebenso von einer gesteigerten Eiweisszersetzung herrühren könnte. — Die Versuche an einem an hochgradigem Diabetes leidenden Menschen ergaben, dass derselbe bei gleicher Kost mehr Eiweiss und Fett zersetzt als ein gesunder kräftiger Arbeiter und dabei weniger Sauerstoff aufnimmt als letzterer. Da bei Gesunden bei reichlicher Nahrungszufuhr eine ebenso grosse Zersetzung stattfinden kann wie bei dem Diabetiker, oder bei schwächlichen Menschen bei gleicher Kost eine ähnlich geringe Sauerstoffaufnahme, ohne dass Zucker im Harn bei ihnen auftritt, so mussten wir schliessen, dass nicht die reichliche Zersetzung für sich allein oder die geringe Sauerstoffaufnahme für sich allein zur Zuckerausscheidung führt, sondern das Missverhältniss im Gang der Zersetzung und der Sauerstoffaufnahme. Wir haben damit keine Theorie des Diabetes aufstellen wollen, wie Manche meinen, ja wir haben es in unserer Hauptarbeit¹⁾ wohlweislich vermieden das Wort „Wesen des Diabetes“ zu gebrauchen; wir studirten einfach die Zersetzungen im Leibe eines Diabetikers und sagten ausdrücklich, es werde die Kenntniss der Abweichung

1) Pettenkofer und Voit, Zeitschr. f. Biologie 1867. Bd. 3. S. 380.

der Zersetzungen von den normalen zum Verständniss des abnormen Processes beitragen, mag eine solche Störung die Ursache der Krankheit oder nur ein Symptom derselben sein. Wir zogen aus den von uns gefundenen Thatsachen die nächsten Schlussfolgerungen, und man wird immer mit diesen Thatsachen rechnen müssen, wenn man die Vorgänge bei der Zuckerharnruhr verstehen will. —

Es geht aus unseren Versuchen mit dem Respirationsapparate klar hervor, welches Ziel wir dabei im Auge hatten; wir wollten die Grösse der Stoffzersetzungen im Körper unter verschiedenen Umständen kennen lernen, indem wir alle Ausscheidungsprodukte bestimmten. Nach einem anderen Principe gebaute Apparate für die Bestimmung der abgegebenen Kohlensäure und des Wassers und des aufgenommenen Sauerstoffs hätten wohl ebenfalls zu diesem Zwecke dienen können, denn das Wesentliche an der Sache ist nicht der Apparat, sondern der Rückschluss aus den Zersetzungsprodukten auf das im Körper zersetzte Material.

Darum sind auch die Resultate der bekannten Respirationsuntersuchungen von Regnault und Reiset¹⁾ mit den unsrigen gar nicht zu vergleichen, denn die beiden haben nicht den mindesten Zusammenhang mit einander. Die französischen Forscher wollten nur über die Grösse der Kohlensäureausscheidung und der Sauerstoffaufnahme bei verschiedenen Thieren und über einige andere Fragen des Gasaustausches Untersuchungen anstellen; wir dagegen machten unsere Versuche, um über die im Körper zersetzten Stoffe weitere Aufschlüsse zu erhalten, die wir durch Bestimmung der Eiweisszersetzung allein nicht erreichten. Deshalb nahmen auch Regnault und Reiset auf die Zusammensetzung der eingenommenen Nahrung und die übrigen Ausscheidungen gar keine Rücksicht, während dies für unsere Versuche ein unumgängliches Erforderniss ist.

Den bis dahin gebrauchten Respirationsapparaten klebten vorzüglich zwei Mängel an; sie nöthigten erstens unter Umständen zu athmen, unter denen Menschen und Thiere nicht zu athmen gewöhnt sind, und vor Allem vermisst man zweckmässige Controlversuche über den Grad der Genauigkeit der Angaben derselben.

1) Regnault und Reiset, *Annal. d. Chem. u. Pharm.* 1850. Bd. 73. S. 269.
Aus d. Abh. d. II. Cl. d. k. Ak. d. Wiss. XII. Bd. I. Abth.

Der von Regnault und Reiset ursprünglich erdachte Apparat war nur für kleinere Thiere gebaut und liess eine Bestimmung des abgegebenen Wassers nicht zu. An kleinen Thieren hätten wir aber unsere Ernährungsversuche nicht anstellen können, da wir neben den gasförmigen Ausscheidungsprodukten mit Einschluss des Wassers auch die durch Harn und Koth entleerten genau kennen mussten, und die völlige Aufsammlung des auf die Versuchszeit treffenden Harns nur bei grösseren Thieren gelingt.

Der später von Reiset nach dem nämlichen Principe hergestellte, für die Untersuchung der Kohlensäureabgabe und der Sauerstoffaufnahme bei Schafen eingerichtete Apparat ermunterte nicht sehr zur Adoptirung des Prinzips für ein in grösserem Maassstabe herzustellendes Instrument, denn Reiset gelangte damit zu unglaublichen und unmöglichen Resultaten, abgesehen davon, dass er nicht weiter vorging als früher mit Regnault, und die Fragen, welche sich jetzt an Untersuchungen der Art knüpfen, gar nicht kannte.

Apparate, bei welchen die Thiere gebunden und in eine ungewohnte Lage gebracht, oder durch Ventile irgend welcher Art zu athmen genöthiget werden, sind für unsere Zwecke nicht brauchbar, da wir zur Genüge erfahren haben, welch' grossen Einfluss auf die Zersetzung des Fettes oder der Kohlehydrate im Thierkörper solche Veranstaltungen durch Herbeiführung von allerlei Körperbewegungen ausüben.

Das Princip des Pettenkofer'schen Respirationsapparates, das Versuchsthier unverletzt und ungebunden nicht in eine stagnirende Luft oder unter sonst ungewohnte Verhältnisse zu bringen, sondern in einen beständig und beliebig mit gewöhnlicher atmosphärischer Luft zu ventilirenden Raum zu setzen, die wechselnde Luft genau zu messen, kleine Bruchtheile der ein- und austretenden Luft fortlaufend auf gewisse Bestandtheile zu untersuchen und die Differenz dann auf den ganzen Luftstrom zu rechnen, endlich die Fehlergränzen des Apparates und der Methoden durch Controlversuche zu ermitteln, hat sich so bewährt, dass wir es nicht verlassen werden und den Widerstand dagegen nicht begreifen.

Ich weiss recht wohl, dass von Manchen, die sich als exakte Naturforscher rühmen, gewisse Einwendungen dagegen gemacht werden, wie

z. B. ein so grosser und complicirter Apparat könne unmöglich genaue Resultate geben, oder es müsse durch Diffusion ein Verlust eintreten, da der Versuchsraum nicht luftdicht geschlossen sei, und was derlei Redensarten noch mehr sind, welche dann bei Leuten, die sonst weiter nichts von dem Apparate wissen und denen die Zwecke, die dadurch verfolgt werden sollen, gleichgültig sind, keine Theilnahme für denselben erwecken. Man sollte bei solchen Einwendungen bedenken, dass wir doch auch einige Kritik besitzen, welche wir thatsächlich wohl mehr angewandt haben als jene mit ihren unbewiesenen Behauptungen. Denn es wird stets in jenen Kreisen stillschweigend darüber hinweggegangen, dass wir unseren Apparat auf die Genauigkeit seiner Angaben durch viele Controlversuche¹⁾ geprüft haben; aber so voreingenommen scheint man in der Wissenschaft heut' zu Tage noch sein zu können, dass man den Angaben eines Apparates, der wie kein anderer untersucht worden ist, Misstrauen entgegenbringt, während man ohne Weiteres denen anderer Apparate Glauben schenkt, an denen nie Controlbestimmungen gemacht worden sind.

Solche Controlversuche geben allein die Gewissheit der Zuverlässigkeit der Resultate und es ist die Pflicht eines Jeden, der sich über den Gaswechsel eines Thierkörpers unterrichten will, seinen Apparat durch Entwicklung einer bekannten Menge von Kohlensäure und Wasser auf den Grad der Genauigkeit der Angaben zu prüfen und zugleich die eigene Geschicklichkeit zu controliren. Es könnten sich nämlich auch Leute finden, welche, die vielen von uns gemachten Erfahrungen unbeachtet lassend, nicht zum Ziele kommen, und dann die Schuld dem Apparate und nicht sich selbst zumessen. —

Der Pettenkofer'sche Apparat war für Menschen und grössere Thiere eingerichtet worden; gewisse Fragen konnten aber nur an kleineren Thieren oder an einzelnen Theilen des Körpers erlediget werden, so z. B. die nach der Aenderung des Gaswechsels bei Blutentziehungen, bei der Einwirkung gewisser Arzneimittel, bei verschiedenen Temperaturen der umgebenden Luft, bei winterschlafenden Thieren, an dem Arm eines Menschen. Der grosse Apparat wäre zur Untersuchung an

1) Siehe hierüber: Zeitschrift f. Biologie 1875. Bd. 11. S. 126--186.

Kaninchen, Katzen, Murmelthieren etc. viel zu massig und die Resultate wegen der geringen absoluten Mengen von Kohlensäure, Wasser und Sauerstoff nicht genau genug gewesen. Es stellte sich daher das Bedürfniss heraus für die kleinen bei solchen Thieren vorkommenden Werthe ebenfalls eine Genauigkeit von 1—3% zu erhalten.

Ich habe schon seit mehreren Jahren einen solchen kleineren Apparat im physiologischen Institute aufgestellt und mit der Zeit alle möglichen Verbesserungen an ihm angebracht, bis er endlich diejenige Form angenommen hat, welche er jetzt definitiv besitzt. Es sind auch, um alle seine Eigenschaften kennen zu lernen, schon zahlreiche Versuche mit ihm ausgeführt und zum Theil auch veröffentlicht worden¹⁾. Aengstliche Gemüther haben, weil der Apparat nicht schon längst beschrieben worden ist, allerlei Befürchtungen gehegt. Es vermögen sich eben Manche bei der fieberhaften Hast unserer Zeit, das was man den Tag über Alles angestellt hat und gefunden zu haben glaubt, am nämlichen Abende der erstaunten Mitwelt vorzuführen, nicht vorzustellen, dass Jemand eine fertige Sache einige Jahre sich selbst überlässt; sie würden es viel leichter begriffen haben, wenn der Apparat mit allem Pomp beschrieben worden wäre, und dann, nachdem er zu einigen dürftigen Versuchen gedient, vom Schauplatz wieder verschwunden wäre, wie es so häufig geschieht.

Dieser kleine Respirationsapparat ist nach dem von Pettenkofer bei seinem grossen Apparate angewendeten Principe gebaut. Das Thier befindet sich dabei, wie vorher schon angegeben worden ist, in einem genügend ventilirten, hinreichend grossen Raume; das Volum der gewechselten Luft wird genau gemessen, ein bekannter Bruchtheil derselben, einmal ehe sie in den Raum eintritt und dann nachdem sie die gasförmigen Ausscheidungen der Haut und Lunge des Thieres aufgenommen hat, auf den Gehalt an Kohlensäure, Wasser etc. untersucht, und die Differenz auf die ganze Luftmenge berechnet.

1) J. Bauer, über die Zersetzungs Vorgänge im Thierkörper unter dem Einflusse von Blutentziehungen, Zeitschrift f. Biologie 1872 Bd. 8. S. 567. — H. v. Böck u. J. Bauer, über den Einfluss einiger Arzneimitteln auf den Gasaustausch bei Thieren, a. a. O. 1874 Bd. 10. S. 336. — Fr. Erismann, zur Physiologie der Wasserverdunstung durch die Haut, a. a. O. 1875 Bd. 11. S. 1. —

Schon Pettenkofer hat hervorgehoben, wie solche Differenzbestimmungen den grossen, gewöhnlich unterschätzten Vorthail haben, dass dabei die constanten Fehler der Untersuchung eliminirt werden, weil alle Operationen gleichheitlich sowohl bei der einströmenden als auch bei der abströmenden Luft ausgeführt werden, und nur die Differenz der beiden Bestimmungen zu ermitteln ist, welche noch richtig gefunden werden kann, wo eine absolute Bestimmung an ganz unvermeidlichen Fehlern leiden würde.

Es war unthunlich, den Pettenkofer'schen Apparat in seiner Form einfach zu copiren und entsprechend zu verkleinern; es musste eine ganze Reihe von wesentlichen Aenderungen daran vorgenommen werden, sowie auch an dem grossen Apparate seit seiner Beschreibung durch Pettenkofer mancherlei Verbesserungen angebracht worden sind, welche hier ebenfalls theilweise Erwähnung finden werden.

Der kleine Apparat ist auf den dieser Abhandlung beigegebenen drei Tafeln abgebildet. Die erste Tafel enthält eine Ansicht derjenigen Vorrichtungen, welche auf der einen Seite einer durch die Röhre D gezogen gedachten senkrechten Ebene aufgestellt sind, die zweite Tafel eine Ansicht der auf der andern Seite dieser Ebene befindlichen Vorrichtungen; auf der dritten Tafel sind einige Details aufgenommen. Die Herstellung der beiden ersten Tafeln geschah in der Art, dass zunächst von jeder Seite des Apparates ein photographisches Bild hergestellt wurde, und zwar bei Tafel I von links her, bei Tafel II von rechts her gesehen; dadurch gelang es, ein ganz naturgetreues Bild des immerhin complicirten Apparates mit den richtigen Dimensionen und Verhältnissen zu gewinnen, wie es dem Zeichner sonst wohl kaum zu geben möglich gewesen wäre. Die Photographien dienten nun dem Zeichner als Grundlage für die weitere Ausführung.

Das Thier befindet sich in dem Raume H (Tafel I u. II). Derselbe stellt einen auf einer Tischplatte stehenden Würfel mit einer Seitenlänge von 40 cm., also einem Kubikinhalte von 64 Liter dar. Er besteht aus einem soliden Rahmen von Zink, in welchen Scheiben von dickem Glase eingesetzt sind; die an der vorderen Seite befindliche in Metall gefasste Glastafel lässt sich in einem Falz auf- und abbewegen und dient als Thür zum Einbringen des Thieres. Um diesen Kasten gehörig

zu ventiliren, ist eine Oeffnung für das Wegsaugen der Luft und eine zweite Oeffnung für das Eintreten frischer Luft angebracht. Die Letztere findet sich in der auf Tafel I dem Beschauer zugekehrten Glasfläche; es ist zu dem Zwecke ein rundes Loch von 2,7 cm. Durchmesser an der oberen linken Ecke eingebohrt und in dieses ein unter rechtem Winkel abgebogenes, wohl lakirtes Rohr a von Eisenblech mit Kautschukdichtung und Ueberwurfschraube, welche in ein am Rohr befindliches Gewinde eingreift und eine Metallplatte jederseits an das Glas andrückt, befestiget. Der eine kürzere Schenkel des Rohres sieht nach Aussen, der längere Schenkel befindet sich im Kasten und geht bis auf den Boden desselben herab. Die Oeffnung für das Wegsaugen der Luft aus dem Kasten ist an der der Eingangsthüre gegenüber liegenden Seite; sie ist in der Mitte der betreffenden Glastafel angebracht und auf die gleiche Weise mit einem Blechrohre b versehen, dessen kurzer Schenkel nach Aussen mündet, und dessen längerer Schenkel nach aufwärts bis nahe an die Decke des Kastens reicht. Die Luft tritt demnach bei der Ventilation unten in den Kasten ein, streicht über das Thier weg und tritt oben aus.

Bis auf die Ein- und Austrittsöffnung und die Lücken zwischen dem Rahmen und dem Falze der Thüre ist der Kasten völlig luftdicht geschlossen. Es ist dem Pettenkofer'schen Apparate von gedankenlosen Leuten öfters der Vorwurf gemacht worden, dass er nicht luftdicht schliesse und dass desshalb durch Diffusion ein Austausch der im Kasten befindlichen Luft gegen die äussere Zimmerluft stattfinden müsse, wodurch natürlich die Resultate ganz unzuverlässig würden. Dem gegenüber hat schon Pettenkofer dargethan, dass Undichtigkeiten an der Kammer keinen nachtheiligen Einfluss auf die Genauigkeit des Versuches ausüben; denn es tritt durch jede Oeffnung Luft von der gleichen bekannten Zusammensetzung hinein, und es ist ferner die Geschwindigkeit dieser einströmenden Luft unter allen Umständen grösser als die Geschwindigkeit der Diffusion, so dass von Innen nach Aussen nie ein Austausch stattfindet, so wenig als bei einem gut ziehenden Ofen Rauch oder ein Verbrennungsprodukt aus den tausend Ritzen entweicht. Pettenkofer hat dies für seinen grossen Apparat dadurch bewiesen, dass er im Innern der Kammer penetrant riechende Dämpfe entwickelte und

an den Spalten und Oeffnungen der Thüre beobachtete; so lange die Ventilation der Kammer durch die Saugcylinder im Gange ist, lässt sich ausserhalb von dem Geruche nicht das Mindeste wahrnehmen. Für diejenigen, welche sich von vorgefassten Schulmeinungen nicht frei machen können, dienen jedoch am besten die Controlbestimmungen zur Widerlegung ihrer Vorstellungen, nach denen die in der Kammer entwickelte Kohlensäure und das Wasser völlig in dem aus ihr gesogenen Luftstromen enthalten sind.

Es ist jedoch auch möglich die kleine Kammer bis auf die Eintrittsöffnung vollkommen zu verschliessen. Man kann nämlich leicht und rasch durch einige wurstförmige Streifen von Klebwachs die Spalten an der Thüre verkleben. Man ist dann im Stande, die Dichtigkeit der Kammer zu prüfen, indem man Leuchtgas durch das Eintrittsrohr einleitet und dann wenn man sicher ist dadurch alle atmosphärische Luft aus dem Kasten verdrängt zu haben, nach dem Absperren des Austrittsrohres durch einen Kautschukstopfen die undichten Stellen mit einem Lichte aufsucht. Wo eine solche sich vorfindet, tritt bei dem starken Drucke entzündbares Gas aus, wornach man leicht jede Undichtigkeit beseitigen kann. Auf eine andere einfache Art der Prüfung der Dichtigkeit der Kammer werde ich noch bei der Prüfung der Dichtigkeit der Leitung bis zu den kleinen Saugcylindern zurückkommen. Der angegebene Verschluss an der Thüre wird dann angebracht, wenn man ausschliesslich durch die Eintrittsöffnung Luft zuleiten will, wenn z. B. das Thier in wasserfreier oder mit Wasser gesättigter Luft oder in kohlensäurefreier Luft athmen soll.

Der Raum H, in welchem das Thier sich befindet, muss nun ausgiebig ventilirt werden, so dass keine grössere Menge von Wasser, Kohlensäure und anderen Zersetzungsprodukten sich darin anhäuft als in einer normalen Luft, in der wir zu athmen gewohnt sind.

Nach den Angaben von Pettenkofer fängt die Luft eines Raumes, in welchem Thiere geathmet haben, bei 1 ‰ Kohlensäure zu riechen an, bei 10 ‰ ist sie für uns auf die Dauer unerträglich geworden; eine gute Luft soll nicht mehr als 2 ‰ Kohlensäure enthalten.

Die Ventilation geschieht bei dem Pettenkofer'schen Apparate bekanntlich durch zwei grosse alternirend auf- und abgehende Saugcylinder,

welche die Luft aus der Kammer durch eine grosse Gasuhr saugen und durch ein fallendes Gewicht getrieben werden, das seinerseits durch eine mittelst eines sehr sinnreichen Regulators entsprechend wirkende Dampfmaschine aufgezogen wird. In der Aufhängung der Saugcylinder und in der Einrichtung der Ventile derselben sind seit der Beschreibung durch Pettenkofer einige zweckmässige Aenderungen vorgenommen worden.

Die Ventilation am kleinen Apparate wird nicht durch Saugcylinder und eine Dampfmaschine besorgt, sondern durch die Bewegung der Trommel der messenden Gasuhr B, deren Axe mit der Axe eines überschlächtigen Wasserrades C in Verbindung steht. Die an der hinteren Wand angebrachte Eintrittsöffnung der Gasuhr steht durch das 172 cm. lange und 3 cm. im Durchmesser haltende Blechrohr D in luftdichter Verbindung mit dem Athemraum, so dass die Gasuhr bei der Drehung ihrer Trommel Luft aus der Kammer ansaugt und zugleich die Messung des Luftstromes besorgt. An Stelle der durch die Gasuhrtrommel aus der Kammer genommenen Luft tritt alsbald frische Luft von Aussen in die Kammer ein, ohne dass eine irgend erhebliche Druckdifferenz dabei entsteht.

Bei dem grossen Pettenkofer'schen Apparate ist zwischen dem Kasten und der grossen Gasuhr eine Befeuchtungsvorrichtung angebracht, damit nicht die die Gasuhr passirende Luft Wasser entführt, wodurch die Messung ungenau wird. Da die in die grössere Gasuhr eintretende Luft von dem Versuchsraume kommt und stets nahezu mit Wasserdampf gesättigt ist, so ist am kleinen Apparate die Befeuchtungsvorrichtung vorläufig weggelassen worden, um grössere Widerstände in der Hauptleitung zu vermeiden; anfangs wurde die Gasuhr häufig aufgefüllt und geaicht, später stellte es sich heraus, dass wenn man vor jedem Versuche die Gasuhr auffüllt und dabei gewisse noch zu erwähnende Vorichtsmaassregeln gebraucht, dann die Angaben der Gasuhr so übereinstimmende sind, dass sowohl die Befeuchtungsvorrichtung als auch die wiederholte Aichung unnöthig ist.

Die grössere Gasuhr meines Apparates ist eine solche für 5 Flammen und zeigt bei einer Umdrehung 6,7 Liter an. Sie ist anders construirt als die früher an dem Versuchstisch des grossen Apparates verwendeten Uhren. Wenn nämlich beim Umdrehen der Trommelaxe wegen der an den Leitungen vorhandenen Widerstände nicht entsprechend Luft ein-

treten kann z. B. bei stärkerer Ventilation, so reicht die gewöhnliche Konstruktion nicht aus, da bei derselben in dem angegebenen Falle wegen des ungenügenden Uebereinandergreifens der Schaufeln der Trommel die niedrige Wasserschicht durchbrochen und die Luft ohne die Trommel bewegt zu haben von der Austrittsöffnung her eingesaugt wird. Dies ist jetzt durch Verlängerung der Scheidewände für den Eintritt und Austritt der Luft in die einzelnen Kammern der Messtrommel vermieden, wodurch die Wasserschicht auf einer Seite höher gehoben und auf der anderen Seite tiefer gesenkt werden kann, ohne dass Luft von dem empfangenden in den abgebenden Theil der Messtrommel übertritt. An der Uhr sind vier Zifferblätter, jedes in 10 Grade getheilt, angebracht; ein Grad des oberen Zifferblattes entspricht 1 Liter, von dem der zehnte Theil noch abgeschätzt werden kann; ein Grad des nächsten Zifferblattes zeigt 10, einer des folgenden 100 und einer des letzten Blattes 1000 Liter an, so dass also eine ganze Umdrehung des letzteren 10000 Liter entspricht.

An der aus der hinteren Wand des Gehäuses der Gasuhr hervorstehenden und in einer Stopfbüchse laufenden Axe der Trommel ist ein 8 cm. im Durchmesser haltendes Kammrad (Taf. II. c.) angesteckt, in welches ein zweites gleich grosses, an der Axe des Wasserrades befindliches Kammrad d eingreift. Die Gasuhr steht auf einer gusseisernen Platte, welche durch drei Stellschrauben so gestellt wird, dass die Kämme der beiden Räder genau in einander passen.

Das überschlächtige aus wohl lakirtem Eisenblech verfertigte Wasserrad C hat einen Durchmesser von 60 cm. und besitzt 24 Kammern, von denen jede 330 cub. cm. Wasser fasst. Das Rad ist durch ein Doppelkreuz von soliden Eisenstäben getragen; die Axe desselben läuft in zwei Lagern, welche in zwei starken eisernen Trägern angebracht sind. Die Träger des Rades und der eiserne Tisch der Gasuhr sind auf einer grossen Eisenplatte befestiget.

Die Kammern des Rades werden von Wasser beschlagen, welches aus einem Reservoir (Taf. I. E) abfliesst. Das etwa 9 Liter Wasser fassende Reservoir aus Eisenblech steht auf einem 1,17 Meter hohen Träger, der auf der Eisenplatte fest eingelassen ist; der Boden des Reservoirs ist 67 cm. über der nächsten Kammer des Wasserrades.

In e befindet sich das Abflussrohr für das das Rad treibende Wasser; das Kautschukrohr f führt das Wasser aus der Wasserleitung zu; durch das Kautschukrohr g, welches an ein in dem Reservoir befindliches Ueberlaufrohr angesteckt ist, fliesst das überschüssig zuströmende Wasser ab. Durch diese Vorrichtung wird das Wasser im Reservoir stets auf gleichem Stand erhalten und fällt mit gleicher Kraft auf das Rad.

Die zur Bewegung des Rades und des ganzen Apparates nöthige Wassermenge ist eine sehr geringe. Bei mittlerer Geschwindigkeit braucht man dazu in einer Stunde 177 Liter Wasser, aber schon mit 61 Liter in der Stunde lässt sich eben der Apparat treiben, für die grösste Geschwindigkeit bei völlig geöffnetem Hahn fliessen 360 Liter Wasser in der Stunde ab.

Das auf das Rad gefallene und von den Schaufeln wieder entleerte Wasser sammelt sich in einem zwischen den Trägern unterhalb des Rades liegenden Troge i von Eisenblech, von welchem es durch das Kautschukrohr h abläuft. Damit kein Wasser beim Entleeren der Kammern umherspritzt, ruhen in dem Troge die die untere Hälfte des Rades umgebenden Backen k von Eisenblech.

Die Bewegung des Rades und der Gasuhrtrommel ist bei gleich vertheilten Widerständen eine ganz gleichmässige und continuirliche, während bei der Ventilation durch Saugcylinder am todten Punkt die Bewegung des Luftstroms auf einen Moment unterbrochen wird.

Die Grösse der Ventilation kann variirt werden je nach der Menge des auf das Rad auffallenden Wassers, welche durch die Stellung des Abflusshahnes am Reservoir regulirt wird. Man ist dadurch im Stand, zwischen 450 und 3400 Liter Luft in der Stunde durch den Versuchskasten gehen zu lassen. Der letztere Luftwechsel ist so bedeutend, dass man leicht den Raum für die Thiere noch grösser machen und für Hunde von einem Gewichte von 10—12 Kilo die genügende Ventilation geben könnte. Da bei einer Umdrehung des Wasserrades auch die Trommel der Gasuhr sich 1 Mal dreht, so werden also bei jeder Umdrehung 6,7 Liter Luft aus dem Versuchsraume weggenommen; in 1 Stunde macht demnach das Rad 67 bis 507 Umdrehungen.

Bei einer mittleren Ventilation von 1500 Liter in der Stunde bei Versuchen mit einer grossen Katze befanden sich in der aus dem

Apparate kommenden Luft zwischen 1,8 und 3,0 ‰ Kohlensäure, während die eintretende Luft 0,55 bis 1,20 ‰ enthielt.

Da der Versuchsraum einen Cubus von 40 cm. Seitenlänge darstellt, so fasst er 64 Liter und hat einen Querschnitt von 1600 □ cm. Bei einer Ventilation von 450 Liter in der Stunde treffen auf 1 Sekunde 125 cc. Luft und also für 1 Sekunde $\frac{125}{1600} = 0,08$ Meter Geschwindigkeit; bei einer Ventilation von 3400 Liter in der Stunde treffen auf 1 Sekunde 944 cc. Luft und daher für 1 Sekunde $\frac{944}{1600} = 0,60$ Meter Geschwindigkeit. Weil nun erst bei einer Geschwindigkeit der Luft von 1 Meter in der Sekunde das Gefühl des Zuges entsteht, so befindet sich das Thier auch in dieser Beziehung unter normalen Verhältnissen.

Wir haben schon mehrmals, auf den erfahrenen Rath des Herrn Prof. Linde hin, ernstlich daran gedacht, auch an dem grossen Respirationsapparate das gleiche Princip der Bewegung anzuwenden. Es würden dann die beiden Saugcylinder, der Regulator und die Dampfmaschine wegfallen, und man hätte nur einen durch Wasser getriebenen Motor, z. B. ein von den Gebrüdern Hax in Frankfurt gebautes Tangentialrad mit der Axe der grossen Gasuhr in Verbindung zu setzen. Die Widerstände, welche dabei überwunden werden müssen, sind nur geringe. Bei dem kleinen Apparate ist, wie schon angegeben, auch die Befeuchtungsvorrichtung weggelassen worden, da von der aus dem Kasten tretenden wasserreichen Luft nur wenig Wasser aus der grösseren Gasuhr entführt wird, welches man nach jedem Versuche wieder ergänzt. Der Vorthail der neuen Einrichtung für den grossen Apparat bestände zunächst in der wesentlichen Ersparniss bei der ersten Anlage, vor Allem aber in der Bequemlichkeit bei der Benützung desselben. Bei einem Versuche mit dem grossen Apparate muss man jetzt mehrere Stunden vorher die Dampfmaschine anheizen, und man hat dabei beständig, Tag und Nacht, einen geübten Heizer nöthig; man entschliesst sich daher der Kosten und der Unbequemlichkeit halber nur schwer zu ausgedehnten Versuchsreihen mit demselben. Dies ist bei dem kleinen Apparate ganz anders; man braucht nur den Wasserhahn zu drehen und kann somit jeden Augenblick den Apparat in Gang setzen, ohne einer Bedienung und Aufsicht zu bedürfen. Es würde bei dem Betriebe durch Wasser ein Versuch mit dem grossen Apparate keine grössere

Mühe machen als mit dem kleinen; wenn die Nebenvorrichtungen stets bereit gehalten werden, so ist in Zeit von 1 $\frac{1}{2}$ Stunden Alles für einen 24 stündigen Versuch fertig.

Durch die ventilirende Gasuhr wird das Volumen der aus dem Versuchsraum gezogenen Luft auch zugleich gemessen. Pettenkofer hat das Verdienst, zuerst auf die Brauchbarkeit dieses Instrumentes für wissenschaftliche Zwecke aufmerksam gemacht zu haben. Er hat gezeigt, dass man durch Aichung mit bekannten Luftmengen die Gasuhr zu einem der genauesten Messinstrumente machen kann; es lässt sich dann mit ihr das Volumen eines Luftstroms so genau messen, als man irgend einen kubischen Raum durch sein Volumen oder sein Gewicht Wasser zu ermitteln vermag. Die bei dem Athmen eines Thieres eintretende Aenderung des Volumens der Luft, dadurch, dass der aufgenommene Sauerstoff nicht nur zur Bildung von Kohlensäure, sondern auch von Wasser und anderen sauerstoffhaltigen Zersetzungsprodukten, welche zum Theil nicht gleich aus dem Körper austreten, verwendet wird, hat nach den Auseinandersetzungen von Pettenkofer¹⁾ bei der starken Verdünnung mit Luft keinen Einfluss und ist ganz zu vernachlässigen, da sie selbst bei den ungünstigsten Voraussetzungen nicht 0,1 % des Luftstroms beträgt. Ebensowenig bringt die durch eine Aenderung in der Temperatur und in dem Feuchtigkeitsgehalte stattfindende Volumsänderung bei der Anordnung des Apparates einen irgend beachtenswerthen Fehler hervor.

Es handelt sich nun, nachdem der für das Thier bestimmte Raum gehörig ventilirt und die Menge der gewechselten Luft gemessen ist, die eintretende und die mit den gasförmigen Abscheidungsprodukten des Thieres beladene Luft genau zu untersuchen. Es ist unmöglich aus der gesamten Luft durch Absorptionsapparate diese stets nur in geringer Menge vorhandenen Produkte völlig wegzunehmen, die Apparate hätten dabei zu grosse Dimensionen angenommen. Desshalb hat Pettenkofer die atmosphärische Luft wie sie ist, mit allen ihren Bestandtheilen in die Kammer eintreten lassen, und nur einen genau gemessenen Bruchtheil der ein- und austretenden Luft fortlaufend der Untersuchung

1) Annalen der Chem. u. Pharm. 1862. Suppl. Bd. 2, S. 11.

unterworfen. Hätte er die eintretende Luft vorher von Kohlensäure und Wasser befreit, so hätte, wenn die Absorption auch ganz gelungen wäre, der ganze Apparat absolut luftdicht schliessen müssen und die Luft nur an einer Stelle eindringen dürfen, was nur schwer und mit grossen Umständlichkeiten zu erreichen ist; ausserdem wären für das Thier durch den Aufenthalt in einer trockenen Luft, wenigstens in Beziehung der Wasserverdunstung, ungünstige und abnorme Verhältnisse gesetzt gewesen. Bei dem kleinen Apparate ist es, wie ich vorher schon angegeben habe, möglich, den Versuchsraum luftdicht zu schliessen und eine ihres Wassers oder ihrer Kohlensäure beraubte Luft eintreten zu lassen; jedoch wird dieses Verfahren nicht für gewöhnlich, sondern nur bei bestimmten Fragen benützt.

Es ist ungleich einfacher und genauer einen bekannten Bruchtheil der eintretenden Luft auf ihren Gehalt an Kohlensäure, Wasser etc. zu untersuchen und durch den Vergleich mit der Zusammensetzung eines Theils der austretenden Luft das, was das Thier dazu geliefert hat, zu bestimmen. Es handelt sich also dabei, da die eintretende Luft schon Wasser und Kohlensäure enthält, wesentlich um die Ermittlung der Differenzen in der ein- und austretenden Luft, woraus der schon vorher berührte grosse Vortheil der Eliminirung der constanten Fehler der Untersuchung erwächst.

Man untersucht einen gemessenen und immer gleichen Bruchtheil der Gesamtluft mit aller Schärfe. Je genauer die Bestimmung des Wassers oder der Kohlensäure ist, desto kleiner kann der Bruchtheil der untersuchten Luft werden, von dem aus auf die Gesamtluft gerechnet werden soll. Da man nun nach den Angaben von Pettenkofer selbst bei ziemlich langen Absorptionsröhren in 1 Stunde nur etwa 5 Liter Luft durchleiten darf, wenn man auf eine vollständige Absorption der Kohlensäure zählen will, so musste er bei seinem grossen Apparate bei einem Gesamtluftstrom von 20000 Liter und mehr in 1 Stunde das Ergebniss der Untersuchung des Bruchtheiles der Luft mit 4000 multipliciren d. h. er konnte nur etwa 0,025 % der Gesamtluftmenge untersuchen. Dieser Umstand verlangt nun eine ausserordentliche Ausbildung in der Bestimmung des Wassers und der Kohlensäure, was auch den Bemühungen Pettenkofers gelang. Jedoch vermochten nur

die Controlversuche darüber Aufschluss zu geben, ob es wirklich möglich ist, aus der Untersuchung eines so kleinen Bruchtheiles auf das Ganze zu rechnen. In der That, es konnte unter solchen Verhältnissen der Kohlenstoffgehalt einer im Respirationsapparate brennenden Stearinkerze oder das darin aus einem Kolben verdampfte Wasser genauer als auf 1 % wieder gefunden werden. Dies stellt sich nun bei dem kleinen Apparate ungleich günstiger, da mit ihm die gleiche Menge Luft wie am grossen Apparate untersucht wird, die Gesamtmenge der Luft jedoch um Vieles kleiner ist. Die Menge der untersuchten Luft beträgt dabei nämlich in der Stunde gewöhnlich 7 Liter, die Menge der Gesamtluft etwa 1600 Liter, so dass das Resultat der Untersuchung nur mit 228 zu multipliciren ist und bis zu 0,44 % der Luft analysirt werden.

Es ist klar, und Pettenkofer hat dies besonders hervorgehoben, dass bei der Bestimmung der Differenzen in der ein- und abströmenden Luft während der ganzen Dauer eines Versuches stets der gleiche Bruchtheil der Gesamtluft untersucht werden muss. Wenn während eines Versuches die äussere Luft in ihrer Zusammensetzung nicht wechselte und namentlich wenn in dieser Zeit das im Apparate befindliche Thier stets die gleiche Menge von Kohlensäure etc. abgeben würde, dann wäre es gleichgültig, ob zeitweise mehr oder weniger der Luft zur Untersuchung käme. Da dies aber nicht der Fall ist, und das Thier z. B. kurze Zeit nach der Nahrungsaufnahme ansehnlich mehr Kohlensäure ausscheidet als später, so würde man, falls in der ersten Zeit ein grösserer Bruchtheil der Luft durch die Absorptionsapparate geleitet würde, im Ganzen eine viel zu grosse Kohlensäureausscheidung berechnen.

Die Wegnahme eines bestimmten Bruchtheiles der Gesamtluft zur Untersuchung geschieht auch bei meinem kleinen Apparate durch kleine Pumpen, deren Bewegung von dem Wasserrade ausgeht, welches auch die Gasuhrtrommel in Bewegung versetzt. Diese Pumpen saugen eine Probe der Luft an, und drücken dann dieselbe durch die Absorptionsapparate für Wasser und Kohlensäure.

Die Vorrichtungen dazu können nur durch die Zeichnungen der beigegebenen Tafeln klar gemacht werden. Ich habe schon gesagt, dass eine durch die Röhre D gezogene senkrechte Ebene die Einrichtungen

für die Untersuchung der Luftproben in zwei Theile scheidet; der eine Theil, nämlich die Pumpen mit den Ventilen, die Apparate für die Absorption des Wassers und für die Wiederbefeuchtung der Luft sind auf der Tafel II. gezeichnet, der andere Theil, die Barytwasserröhren mit den Gasuhren auf der Tafel I.

An der Axe des Wasserrades (Tafel II.) befindet sich ein 10 cm. langer Krummzapfen l mit einem Schlitz, in welchen mittelst eines Schraubenzapfens die Stange m befestigt wird. Bei der Drehung des Wasserrades wird der Krummzapfen mit herumgedreht und dadurch die Stange in hin- und hergehende Bewegung versetzt. Die Stange bewegt nun denjenigen Theil des Apparates, welcher das Auf- und Niedergehen der Pumpen zu besorgen hat. Zu dem Zwecke ist in der Tischplatte eine 32 cm. hohe, feste Messingsäule n eingelassen, die an ihrem oberen Ende eine Stahlaxe trägt, auf welcher in einer Hülse der vertikal stehende, 22 cm. lange Messinghebel o drehbar ist. In das untere Ende des Hebels greift in einen Schlitz die Fortsetzung der Stange m ein. Die letztere verdünnt sich nämlich nahe ihrem Ende zu einem drehbaren Stab, welcher in die mit dem Hebel o verbundene Röhre eingesteckt und in beliebiger Tiefe durch eine Schraube q fixirt werden kann. Das obere Ende des Hebels trägt eine Hülse, in welcher ein 32 cm. langer Stahlstab durch eine Schraube festgehalten wird; an dem Stahlstab werden die vier Rollen tragenden Messingklötze p festgeschraubt. Ich habe, da in der Zeichnung der Tafel II. dieser Theil des Apparates nicht genau zu übersehen ist, auf der Tafel III. Fig. 1. eine weitere Abbildung desselben, und zwar von Oben her gesehen, gegeben, wo die Stellung der vier an dem Stahlstab befestigten Klötze p mit den Rollen besser heraustritt. Es ist klar, dass bei der hin- und hergehenden Bewegung des unteren Theiles des Hebels der obere Theil mit dem Stahlstabe die entgegengesetzte Exkursion ausführt; durch feine Striche an der Drehungshülse ist angezeigt, wie weit der Hebel aus der vertikalen Stellung nach beiden Seiten abgelenkt wird.

Auf den Rollen des Stahlstabes sind die Darmsaiten (Taf. III. Fig. 1. s.) aufgewickelt, an welchen die vier kleinen Saugpumpen auf- und abbewegt werden; jede der Rollen ist auf ihrer Axe durch eine starke Feder fixirt. Links und rechts von der Säule n steht ein aus

Messing gefertigter Träger, an dessen oberem Querstück je zwei Führungsrollen *t* angebracht sind, über welche die an den Saugcylindern der Pumpen in einem Häckchen eingehängten Darmsaiten laufen. Bewegt sich der obere Theil des Hebels *o* nach rechts, so werden dadurch die beiden links stehenden Saugcylinder gehoben, und die rechts stehenden gesenkt; umgekehrt ist es bei der Bewegung des Hebels nach links.

Die Einrichtung der Saugpumpen, wie sie sich jetzt auch an dem Versuchstische des grossen Respirationsapparates nach der Angabe Pettenkofer's findet, ist aus der Zeichnung der Tafel II. leicht ersichtlich. Ein 13,7 cm. hohes und 6,4 cm. im Durchmesser haltendes festes Glas ist bis auf 2,2 cm. von seinem Rande mit Quecksilber gefüllt; am Boden des Glases ist eine Uförmig gebogene Glasröhre durch eine 2 cm. dicke Schicht von Wachs, das im geschmolzenen Zustande eingegossen wird, befestiget, so dass sie mit ihrem einen, inneren Ende 2,6 cm. über das Niveau des Quecksilbers herausragt. Ueber dieses innere Ende der Röhre wird ein 12 cm. hoher und 3,5 cm. weiter, oben geschlossener Glaszylinder gestülpt, welcher oben eine Messingfassung trägt, an welcher der die Darmsaiten aufnehmende Stahlstab von 9,5 cm. Höhe senkrecht eingelassen ist; über den Stahlstab wird ein mit einem Deckel versehenes Messinggefäss geschoben, in dessen Inneres Schrote zur Ausgleichung des Gewichtes und zur Beschwerung des Glaszylinders gelegt werden. — Das andere äussere Ende der Glasröhre ist unter rechtem Winkel abgebogen und durch ein Kautschukrohr mit dem einen Arm eines 3 armigen Gabelrohres in Verbindung gesetzt; die beiden anderen Arme sind mit den zwei Ventilen verbunden. Als Ventil dient ein in der Mitte bauchig ausgetriebenes Glasgefäss mit zwei nach aufwärts gerichteten Schenkeln, dessen Form und Stellung aus der in $\frac{1}{2}$ der natürlichen Grösse gegebenen Zeichnung, Fig. 2 auf Tafel III., ersichtlich ist. Die beiden Ventile enthalten Quecksilber und sind in entgegengesetzter Richtung geneigt, so zwar, dass das Quecksilber den tieferen Theil absperrt, in dem einen den linken Schenkel, in dem anderen aber den rechten Schenkel. Die Ventile sind zwischen den an dem kleinen Träger befindlichen federnden Gabeln durch Schrauben eingeklemmt,

welchen Gabeln durch die unteren Schrauben jede beliebige Neigung gegeben werden kann.

Das Spiel der Pumpen wird nun leicht verständlich sein. Bewegen sich die Cylinder nach aufwärts, so saugen sie sich durch das Ventil u (das Eintrittsventil) voll mit Luft, während das Ventil v absperrt; bewegen sich die Cylinder dagegen durch ihre Schwere nach abwärts, so drücken sie die vorher aufgesaugte Luft durch das Ventil v (das Austrittsventil) fort, während jetzt das Ventil u schliesst.

Die Einstellung der Ventile kann so fein gemacht werden, dass ein sehr schwacher Druck hinreicht die kurze Quecksilbersäule in dem tieferen Schenkel etwas herabzudrücken und den Weg frei zu machen. Zu dem Zwecke muss der Grösse der Ausbauchung an dem unteren Theil des Ventils und der Länge des horizontalen Theiles des angesetzten Glasrohres besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Ich benütze die gleichen Ventile, um bei tracheotomirten Kaninchen die Inspirationsluft von der Expirationsluft zu scheiden; während in den gewöhnlich angewendeten Müller'schen Flaschenventilen das absperrende Quecksilber oder das Wasser mit Gewalt hin- und hergeschleudert wird, und nicht ganz kräftige Thiere den Widerstand nur während kurzer Zeit überwinden, sieht man an den neuen Ventilen bei feiner Einstellung kaum eine Bewegung des Quecksilbers und die Kaninchen athmen stundenlang ohne Aenderung der Athmung durch dieselben.

Auch bei den Versuchen am Respirationsapparate sollen die Ventile nicht stärker geneigt werden als nöthig ist, um eben mit Sicherheit das Absperren zu bewirken, und dies geschieht, wenn beim Durchtreten der Luft an der Oberfläche des Quecksilbers eine Kräuselung wahrzunehmen ist; bei stärkerer Neigung treten grössere Widerstände und schleudernde Bewegungen des Quecksilbers auf, was zu einem Mitreissen von Quecksilberkügelchen und zu Unregelmässigkeiten im Luftstrome führt. Die von Pettenkofer den Saugpumpen gegebene Form ist zum Gelingen des Versuches ganz wesentlich, da sie es erlaubt, langsam und allmählich eine Probe der Luft anzusaugen, und dieselbe nachher ebenso langsam und allmählich durch die Absorptionsapparate zu drücken, so dass möglichst lange Zeit für die Absorption gegeben ist. Ich würde nach meinen Erfahrungen sehr davon abrathen, irgend

eine Aenderung daran anzubringen; man wird nach zeitraubenden Misserfolgen wieder zur ursprünglichen Vorrichtung zurückkommen.

Es ist möglich, mehr oder weniger Luft durch einen Hub der Saugcylinder ansaugen zu lassen. Es kann dies auf mehrerlei Weise geschehen. Einmal indem man die Stange *m* in dem Schlitze des Krummzapfens *l* an dem Wasserrad oder in dem Schlitze an dem unteren Theil des Hebels *o* verschiebt; und endlich dadurch, dass man die Darmsaiten, an welchen die Saugcylinder hängen, durch geringere oder grössere Aufwicklung an den Rollen kürzer oder länger macht, wodurch die Cylinder dann mehr oder weniger aus dem Quecksilber gehoben werden.

Um die Exkursionen des Hebels *o* nach beiden Seiten ganz gleich zu machen, wird die Stange *m* in der mit dem unteren Schlitz des Hebels *o* verbundenen Hülse so weit eingesteckt und durch die Stellschraube *q* festgehalten, bis dieses Ziel erreicht ist; es werden dann die vier Saugcylinder bei gleicher Saitenlänge gleich hoch gehoben. Durch Einlegen von Schroten in die auf den Cylindern befindlichen Gefässe werden die ungleichen Gewichte und Widerstände auf beiden Seiten äquilibrirt, und die Cylinder zugleich so beschwert, dass sie von selbst im Quecksilber herabsinken.

Die vier Pumpen nehmen zwei Proben der in den Kasten einströmenden äusseren Luft, und zwei Proben der aus dem Kasten austretenden inneren Luft zur Untersuchung weg. Die dem Beschauer auf der Tafel II. zugewendeten beiden Pumpen gehören für die äussere Luft und sind mit A I und A II bezeichnet, die von ihm abgewendeten Pumpen J I und J II sind für die innere Luft bestimmt. Man bemerkt, dass, da die entsprechenden Pumpen auf entgegengesetzten Seiten der Drehungsaxe des Hebels stehen, ohne Unterbrechung Proben der äusseren und inneren Luft zur Untersuchung gelangen.

Die Pumpen machen bei einer Umdrehung des Rades und der Gasuhrtrommel einen Auf- und Niedergang. Wenn im Mittel 1788 Liter Luft in der Stunde durch die grosse Gasuhr ventilirt werden, so werden 11,6 Liter durch eine der kleinen Gasuhren angegeben, so dass darauf 267 Umdrehungen der grösseren Gasuhr und ebensoviel Auf- und Niedergänge der Cylinder der kleinen Saugpumpen treffen. Mit

einem Hub der letzteren werden daher etwa 43 cc. Luft angesaugt und beim Herabsinken wieder fortgedrückt; die 43 cc. Luft passiren in 13 Sekunden die Absorptionsapparate.

Die Eintrittsventile der beiden Pumpen für die äussere Luft stehen mit einer langen Glasröhre A in Verbindung, welche dicht über der Eintrittsöffnung der Luft zu der Kammer mündet (Tafel I.); die Glasröhre liegt dort auf der Deckscheibe des Kastens, biegt dann rechtwinkelig ab und geht gerade fort bis zum oberen Querstück des ersten rechts liegenden Trägers, wo sie sich gabelt, was am besten aus der Ansicht von Oben in der Figur 1 der Tafel III. zu ersehen ist. Der eine unter rechtem Winkel sich abzweigende Schenkel AII geht dem Querstücke des Trägers entlang nach vorne und biegt dann gegen das Eintrittsventil der Pumpe AII ab. Der andere Schenkel AI geht in gerader Richtung weiter nach dem anderen linksseitigen Träger, biegt dort ebenfalls nach vorne ab und wendet sich schliesslich nach abwärts zu dem Eintrittsventil der Pumpe AI.

Die für die innere Luft bestimmten Pumpen nehmen ihre Luft aus der Hauptröhre D weg, an welcher ein engeres Seitenrohr J von Blech angesetzt ist. Mit letzterem ist durch einen Kautschukschlauch eine Glasröhre mit luftdicht eingeschliffenem Glashahn befestiget, mit deren anderen Ende mittelst eines kurzen Schlauchs die längere Glasröhre J in Verbindung steht. Diese Glasröhre theilt sich ebenfalls an dem ersten, rechts liegenden Träger in zwei Schenkel; der eine JII begiebt sich gleich nach abwärts zu dem Eintrittsventil der Pumpe JII, der andere JI biegt erst in der Höhe des Eintrittsventils der Pumpe JI nach abwärts ab, um sich mit diesem Ventil zu vereinen.

Die von den Pumpen beim Niedergehen fortgedrückte Luft passirt die Absorptionsapparate für Wasser und Kohlensäure, und zuletzt die Gasuhren, woselbst sie gemessen wird.

Von dem Austrittsventil jeder Pumpe geht eine passend gebogene Glasröhre (AI u. II, JI u. II) aus; diese vier Glasröhren sind in der hölzernen Brücke F in Rinnen eingesteckt und durch einen aufgeschraubten Deckel festgehalten; sie münden sämmtlich etwa 5 cm. hinter der Brücke. In einer Entfernung von 37 cm. von der ersten Brücke steht eine zweite G, in welche ebenfalls vier mit den Befeuchtungs-

apparaten in Zusammenhang stehende Glasröhren eingesteckt sind. Zwischen den in den beiden Brücken befindlichen Glasröhren befindet sich ein Zwischenraum, in den die Absorptionsapparate für das Wasser eingeschaltet werden.

Es sind dies kleine Glaskölbchen von der auf Tafel III. Fig. 3 in $\frac{1}{2}$ der natürlichen Grösse gegebenen Form; sie werden durch die mit einem luftdicht eingeriebenen Glasstopfen verschliessbare Mündung mit kleinen in concentrirter Schwefelsäure getränkten Bimssteinstückchen gefüllt.

In der in Gemeinschaft mit meinem Bruder E. Voit und mit J. Forster herausgegebenen Abhandlung¹⁾: „über die Bestimmung des Wassers mittelst des Pettenkofer'schen Respirationsapparates“ ist eingehend dargelegt worden, warum wir diese Form der Schwefelsäurekölbchen gewählt haben, und warum früher schon die ursprünglich von Pettenkofer ihnen gegebene, dem Liebig'schen Kugelapparate entlehnte Form verlassen wurde. Die neuen Kölbchen thun ganz ausserordentlich gute Dienste. Es sind stets zwei hinter einander gespannt, damit durch das zweite noch die letzte, meist nur Bruchtheile eines Milligramms betragende Spur des Wassers weggenommen wird. Wir haben schon 12 Versuche mit den nämlichen Kölbchen und derselben Füllung in gleicher Aufstellung gemacht und im zweiten noch immer nur eine Gewichtsvermehrung von einigen Milligrammen gefunden. Man muss sich jedoch hüten die schon öfters benützten, reichlich Wasser enthaltenden Kölbchen in zweiter Linie aufzustellen, da dann nach unserer Erfahrung durch den trockenen Luftstrom der verdünnten Schwefelsäure Wasser entzogen wird und die Kölbchen an Gewicht verlieren.

Das Gewicht der gefüllten Kölbchen beträgt zwischen 60 und 90 gr.; es wird dasselbe auf einer feinen Wage, meist nach der Methode durch Schwingungsbeobachtungen, auf $\frac{1}{10}$ mgr. genommen. Je kleiner der Bruchtheil der untersuchten Luft gegenüber dem Gesamtluftstrom ist, desto genauer muss die Bestimmung des Bruchtheils sein. Man kann leicht berechnen, wie weit man in einem gegebenen Falle in der Bestimmung der Kohlensäure und des Wassers genau sein muss, um in dem Gesamtluftstrom keinen grösseren Fehler als 1 % zu erhalten. Eine solche Berechnung lehrt uns auch, dass man mit grossen und

1) Zeitschrift f. Biologie 187b. Bd. 11. S. 126.

schweren, viel über 100 gr. wiegenden Absorptionsapparaten für das Wasser, welche man nicht so sicher wägen kann, den Fehler ganz enorm vermehrt, ohne dadurch irgend einen Vorthail in der Absorption des Wassers zu gewinnen.

Zur Füllung der Kölbchen werden die gewaschenen Bimssteinstückchen gegläht und noch heiss in die Schwefelsäure geworfen, damit sie sich vollsaugen, dann in einen Trichter abtropfen gelassen und in die Kölbchen gebracht; nach der Füllung werden die beiden Zugangsröhren zu dem Kölbchen durch ein kleines, an dem einen Ende mit einem soliden Glasstopfen versehenes Kautschukrohr verschlossen.

Ein besonderes Augenmerk muss auch auf die Kautschukverbindungen gerichtet werden. Die dazu benützten Kautschukschläuche werden zuvörderst auf ihre Dichtigkeit geprüft und zwar durch ein Quecksilbermanometer. Man bläst in den mit dem Manometer verbundenen Schlauch Luft ein, so dass der äussere Schenkel der Quecksilbersäule sich erhebt, und verschliesst dann den Schlauch mit einem Glasstopfen. Ist der Schlauch brauchbar, so bleibt der Unterschied in dem Stande des Quecksilbers in den beiden Schenkeln des Manometers bestehen. Man findet auf diese Weise sehr häufig Fehler in den Kautschukschläuchen. Auf dieselbe Weise wird auch die Dichtigkeit der Schwefelsäurekölbchen nach dem Füllen untersucht.

Bei unseren früher beschriebenen Irrfahrten in der Wasserbestimmung hatten wir auch bemerkt, dass nach dem Trocknen der Luft durch das erste Schwefelsäurekölbchen von dem folgenden Kautschukrohr Wasser weggenommen und im zweiten Kölbchen wieder abgelagert wird. Wir haben daher eine Zeit lang die zur Verbindung der Kölbchen unter einander und mit den Glasröhren zwischen den beiden Holzbrücken gebrauchten Kautschukröhrchen im Exsikkator über Schwefelsäure aufbewahrt und vor und nach dem Versuche gewogen. Wir sind jetzt davon ganz abgekommen, da wir es vorziehen, die Glasröhren ganz an einander stossen zu lassen, so dass keine Kautschukfläche frei bleibt, was auch für den vollständigen Verschluss von Bedeutung ist.

Die durch die Schwefelsäurekölbchen getrocknete Luft gelangt nun in Flaschen, in welchen sie sich wieder mit Wasserdampf sättiget, damit beim Durchgange durch die mit einem bestimmten Volum der Baryt-

lösung gefüllten Kohlensäureabsorptionsapparate das Volumen dieser Lösung durch Entziehung von Wasser sich nicht vermindert. Die Befeuchtungsflaschen sind von derbem Glase, 13,5 cm. hoch und 6,5 cm. breit, und mit in Wasser getränkten Bimssteinstückchen gefüllt. Sie sind mit einem doppelt tubulirten Kautschukstopfen verschlossen; die eine der durchtretenden Glasröhren, welche mit der von der Brücke kommenden in Verbindung steht, reicht bis nahe an den Boden des Gefässes, die andere zur Barytwasserröhre führende nur bis dicht unter den Stopfen. Von Zeit zu Zeit muss das Wasser in dem Gefässe erneuert werden; es wird dann so viel Wasser aufgegossen, bis sich nach völliger Durchtränkung der Bimssteinstücke nach einigem Stehen eine die Mündung der ersteren Glasröhre nicht erreichende Schicht Wasser am Boden angesammelt hat. —

Die Luft tritt aus dem Befeuchtungsapparate in ihrem weiteren Fortgange durch Kautschukschläuche in die zur Absorption der Kohlensäure bestimmten Barytwasserröhren. Dieser Theil des Apparates befindet sich auf der andern Seite der durch das Rohr D gelegt gedachten senkrechten Ebene, und ist auf der Zeichnung der Tafel I. aufgenommen. Jede der vier Luftproben tritt durch zwei mit Barytwasser gefüllte Röhren, eine längere und eine kürzere. Die Röhren für die innere Luft (J Ia u. J Ib, J IIa u. J IIb) sind an den hinteren Trägern der oberen für die Aufstellung der kleinen Gasuhren bestimmten Tischplatte befestigt, die für die äussere Luft (A Ia u. A Ib, A IIa u. A IIb) an den vorderen Trägern.

Die Vorrichtung zur Aufstellung der Barytwasserröhren ist auf Tafel III. Figur 4 eigens abgebildet, und zwar von Oben und von der Seite gesehen. Der eine Theil derselben dient zur Befestigung an dem Träger, der andere Theil ist das Lager für die Barytröhren. Die Klemmvorrichtung stellt einen Messingklotz dar, an dessen einem Ende ein halbcylindrischer Ausschnitt angebracht ist; dieser Ausschnitt wird in die Trägerstange eingesteckt und dort in passender Höhe durch eine Klemmschraube befestigt. Der zweite Theil besteht aus einem Messingbacken, der mittelst einer Axe auf dem entsprechenden Backen der Klemmvorrichtung gedreht und in bestimmter Stellung durch eine Schraube festgestellt werden kann. Der Messingbacken trägt das Lager

für die Barytröhre; zu beiden Seiten des Lagers befinden sich Vorsprünge, jeder mit einer Schraube versehen, durch welche der durch Schlitz eingeschobene Lagerdeckel festgeschraubt wird. Lager und Deckel sind mit Kautschukplatten gefüttert, um das Zerdrücken der Röhren zu vermeiden. Durch die Drehung des Backens kann der Röhre jede beliebige Neigung gegeben werden; für gewöhnlich stehen jedoch bei den Versuchen mit dem kleinen Apparate die Röhren nur sehr wenig geneigt, um die Widerstände für den Durchtritt der Luft so klein als möglich zu machen.

Die grösseren Barytwasserröhren haben eine Länge von 110 cm. und eine Breite von 2,8 cm. und fassen 540 cc. Flüssigkeit; die kleineren Röhren sind 60 cm. lang und 2,4 cm. breit, und fassen 180 cc. Flüssigkeit. An dem Austrittsende jeder Röhre ist eine Kugel angeblasen, die sich zu einem Ansatzstücke für die Kautschukröhre verengert. In die Eintrittsöffnung wird ein Kautschukpropf eingeschoben, in dessen Bohrung eine Glasröhre steckt, welche an ihrem im Innern der Barytröhre befindlichen Ende ein Stückchen eines engen Kautschukschlauches trägt.

Je nach der Zeitdauer des Versuches und der Grösse des Thieres ist die Menge und Concentration des in die Röhren eingefüllten Barytwassers verschieden. Gewöhnlich nehme ich für einen sechsstündigen Versuch bei einem bis zu fünf Kilo schweren Thiere in die grösseren Röhren für die innere Luft 240 cc. Barytwasser, von welchem für 30 cc. etwa 70 cc. der Oxalsäure (1 cc. = 1 mgr. Kohlensäure) zur Neutralisation nöthig sind; in die grösseren Röhren für die äussere Luft kommen 240 cc. eines schwächeren Barytwassers (für 20 cc = 30 cc. der Oxalsäure). In die vier kleineren Röhren werden 50—100 cc. des schwächeren Barytwassers gebracht.

Die Barytwassermischungen werden nach der Angabe Pettenkofer's in etwa 6 Liter Flüssigkeit haltenden Flaschen (siehe Tafel III. Fig. 5.) aufbewahrt, aus denen sie mit Saugpipetten aus einem Heberrohre mit Quetschhahn ausgezogen werden, während die dafür eintretende Luft über Bimsstein geht, welcher zur Absorption der Kohlensäure mit Natronlauge befeuchtet ist. In solchen Flaschen ändert sich der Gehalt des Barytwassers nur sehr allmählich. Zu dem Barytwasser muss aus dem von Pettenkofer¹⁾ angegebenen Grunde etwas Chlorbariumlösung zugefügt werden.

1) a. a. O. S. 27,

Die durch die Pumpen weggedrückte Luft soll Blase für Blase durch das Barytwasser streichen. Der Grad der Schrägstellung der Röhren bedingt die Geschwindigkeit der durchtretenden Luftblasen, welche sich nicht zu grösseren Blasen vereinigen dürfen. Es ist Manchen unverständlich geblieben, dass aus den durchrückenden Luftblasen alle Kohlensäure entfernt wird, da das Centrum der Luftblase doch eine gewisse Entfernung von dem Barytwasser hat; aber durch die beständige, zum Theil rollende Bewegung der Blasen auf dem doch ziemlich langen Wege kommen alle Theilchen der Luft mit dem Barytwasser in Berührung, wie die Resultate der Controlversuche beweisen. —

Es bleibt jetzt nur noch übrig, das Volum der vier Luftproben zu messen, und dies geschieht in den vier auf der oberen Tischplatte aufgestellten kleineren Gasuhren, wo die Luft kohlenstofffrei und mit Wasserdunst gesättigt anlangt und nach der Messung entweicht.

In der schon citirten Abhandlung: „über die Bestimmung des Wassers mittelst des Pettenkofer'schen Respirationsapparates¹⁾“ ist besonders hervorgehoben worden, dass die Gasuhren, wenn man genaue Resultate erhalten will, sorgfältigst geaicht werden müssen. Dies ist nun bei der gewöhnlichen Construction der Gasuhr nicht möglich, da dabei die Uebertragung auf den letzten Zeiger durch eine Spindel ohne Ende geschieht; sind die Windungen der Spindel nicht völlig gleich geschnitten, was meist der Fall ist, so fallen die Angaben der Gasuhr verschieden aus; da man nämlich nie weiss, welcher Gang der Spindel eben benützt wird, so ist man nicht im Stande, durch eine Aichung den wirklichen Werth der Drehung zu bestimmen. Es wurden daher schon seit längerer Zeit die gewöhnlichen Gasuhren für unsere Respirationsapparate verworfen und andere gewählt, bei welchen der die Unterabtheilungen angegebende Zeiger fest mit der Axe der Trommel verbunden ist und sich mit ihr bewegt. Befindet sich dieser Zeiger an einem bestimmten Theilstriche des Zifferblattes, so hat die Trommel einen bestimmten und stets den nämlichen Stand, so dass sich jetzt durch Aichung der wirkliche Werth einer Trommelumdrehung und auch der eines Theiles einer Drehung leicht ermitteln lässt. Eine ganze

1) a. a. O. S. 145.

Umdrehung des kleineren Zeigers der Gasuhr entspricht etwa 2,4 Liter; da der Kreis in 100 Grade getheilt ist, so kann bis auf 24 cc. abgelesen und auf 2,4 cc. geschätzt werden. In der That stimmen drei hinter einander mit einem Wasservolum von nahezu 44 Liter gemachte Aichungen der gleichen Gasuhr bis auf diesen Werth unter einander überein. Solche Uhren sind in guter Ausführung von L. A. Riedinger in Augsburg oder von der Gasapparatenfabrik zu Schaffhausen zu beziehen.

Wir legen den grössten Werth auf die genaue Aichung der Gasuhren, denn man braucht nur eine kleine Rechnung zu machen, um zu ersehen, welche bedeutende Fehler bei der Berechnung von einem kleinen untersuchten Luftvolum auf ein grösseres dann gemacht werden, wenn die Luftvolumina nicht genügend bekannt sind oder gewisse Fehlergränzen eingeführt werden. Die Wenigsten sind sich dessen bewusst, und meinen, wenn die Gasuhr einige Male mit einem geringen Luftvolumen geaicht ist und bis auf einige Prozente übereinstimmende Werthe gibt, dieselbe ohne Weiteres benützen zu können. Unser Aichapparat ist jetzt so vervollkommen worden, dass man auf das Genaueste und sehr rasch die jeweiligen Angaben der Gasuhr feststellen kann.

Obwohl die Aichvorrichtung in der Abhandlung über die Bestimmung des Wassers¹⁾ beschrieben worden ist, so komme ich doch wegen der Wichtigkeit des Gegenstandes nochmals darauf zurück. In der Figur 6 der Tafel III. ist der Apparat in $\frac{1}{20}$ der natürlichen Grösse abgebildet.

Das aus einem Aspirator auslaufende Wasser von bekanntem Volum verdrängt ein gleiches Volum Luft aus einem Glasballon, welche Luft dann durch die Gasuhr getrieben wird und nach der Messung entweicht.

Der auf einem Holzgestelle stehende Aspirator fasst etwa 44 Kilo Wasser; ein wesentlich geringeres Volumen darf nicht genommen werden, da sonst die Genauigkeit der Aichung leidet. Der Aspirator ist aus starkem Zinkblech; an dem oberen Theile befindet sich ein Rohrstutzen zur Füllung des Apparates, an dem Boden ist ein messingenes Ausflussrohr mit Hahn angebracht, an welches das zum Glasballon führende Kautschukrohr angesteckt wird. Zwischen dem Boden und dem Hahn ist ein unter rechtem Winkel abgehendes Messingrohr an-

1) a. a. O. S. 147.

gesetzt, in welches eine als Wasserstandsmesser dienende senkrechte Glasröhre eingesteckt wird; an dem Glasrohr befindet sich, in der Höhe des verjüngten oberen Theiles des Aspirators, eine Marke, bis zu welcher man das Wasser einfüllt. Nach der vollständigen Füllung wird der Aspirator auf einer auf 1 gr. noch ausschlagenden Dezimalwaage gewogen, die Temperatur des Wassers genommen, und nach dem Auslaufen des Wassers der Aspirator wieder gewogen. Der von uns benützte Aspirator fasst nach einer Anzahl von Wägungen, deren grösste Differenz bei verschiedener Temperatur 40 gr. beträgt, 43720 gr. Wasser. In der oben citirten Abhandlung¹⁾ ist eine Reihe solcher Wägungen vorgeführt worden.

Als Gefäss für das Ablaufen des Wassers aus dem Aspirator dient ein gewöhnlicher, in einem Zinktrog stehender Schwefelsäureballon. Derselbe ist durch einen dreifach tubulirten Kautschukstopfen verschlossen; in der einen Oeffnung steckt ein bis auf den Boden des Ballons reichendes und an seinem unteren Ende aufgebogenes, als Syphon wirkendes Glasrohr, dessen oberes Ende das vom Aspirator kommende Kautschukrohr aufnimmt; die zweite Oeffnung trägt ein dicht unter dem Stopfen mündendes Glasrohr, um den Ballon mit der Gasuhr durch einen Kautschukschlauch in Verbindung zu setzen; die dritte Oeffnung endlich ist durch ein Thermometer verschlossen. Eine im Umkreis der Ballonmündung angebrachte, über den Kautschukstopfen hervorstehende Messingfassung erlaubt durch Eingiessen von Wasser einen völlig luftdichten Verschluss herzustellen.

Ist der Aspirator gefüllt und der Ballon mit der Gasuhr verbunden, so treibt man zunächst mit dem Munde Luft durch das für den Aspirator bestimmte Kautschukrohr, bis der Zeiger der Gasuhr sich bewegt, wodurch die Spannung in dem Ballon und der Uhr hergestellt wird, damit im Momente des Eintretens von Wasser in den Ballon der Zeiger der Uhr sich zu bewegen beginnt. Sobald die Spannung eingetreten ist, drückt man die Kautschukröhre mit den Fingern ab und steckt sie an das Ausflussrohr des Aspirators. Nun verschliesst man die Wasserstandsröhre am Aspirator, weil sonst beim Abfliessen des Wassers Luft

1) a. a. O. S. 148.

durch die enge Röhre hineingerissen wird, liest die Gasuhr ab und öffnet den Hahn. Sofort beginnt der Zeiger der Gasuhr sich zu bewegen. Während des Ablaufens des Wassers notirt man von Zeit zu Zeit die Temperatur an dem Thermometer des Ballons und der Gasuhr; nach Vollendung des Abflusses öffnet man den Verschluss an der Manometer-röhre, erhebt den Aspirator, um alles Wasser aus dem Kautschukschlauch zu entfernen, und liest dann abermals den Stand der Gasuhr ab.

Durch einen Flaschenzug wird darnach der volle Ballon in die Höhe gehoben, und durch einen Heber in wenigen Minuten das Wasser wieder in den Aspirator übergefüllt.

Das Wasser im Aspirator, im Ballon und in der Gasuhr, sowie die darin befindliche Luft sollen wo möglich die gleiche Temperatur haben, da Reduktionen wegen der oft raschen und ungleichen Aenderung der Temperatur zu keinen genauen Resultaten führen. Es wird deshalb ein grösserer Wasservorrath in dem nach Norden gelegenen Raume, in welchem auch die Uhren und die Aichapparate stehen, aufbewahrt, und die Aichung an solchen Tagen vorgenommen, an denen nur geringe Temperaturschwankungen vorkommen. Man erhält dann bei mehrmaliger Aichung derselben Gasuhr für 43,720 Liter Luft nicht mehr als 2,4 cc. Differenz.

Da das in den Ballon einfliessende Wasser häufig eine etwas niedrigere Temperatur besitzt als die Zimmerluft, und da sich deshalb die aus dem Ballon durch das Wasser verdrängte erkältete Luft auf ihrem Wege bis zur Gasuhr wieder erwärmt, so muss in diesem Fall das Volumen der bei einer gewissen Temperatur verdrängten Luft entsprechend der Temperatur der in die Gasuhr eintretenden Luft nach bekannten Regeln vermehrt werden.

Der Wasserstand der Gasuhren ist von Zeit zu Zeit zu ergänzen. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass das etwas enge mit Windungen versehene Ueberlaufrohr der Gasuhr dem Abfließen des Wassers einen gewissen Widerstand entgegen setzt und deshalb das Ausfliessen erst beginnt, wenn das Niveau des Wassers in der Uhr höher steht als dem unteren Rande der Oeffnung entspricht. Legt man aber, wenn das Wasser nach dem Auffüllen nicht mehr freiwillig abfließt, den Finger oder einen Glasstab an die Oeffnung an, so folgt noch Tropfen auf

Tropfen. Man erhält auf diese Weise stets den gleichen Wasserstand, und die Aichungen geben nur sehr geringe Unterschiede. Es ist auch dadurch, wie ich schon angegeben habe, eine öftere Aichung der grösseren Gasuhr ganz überflüssig geworden. Zum Beweise dafür theile ich die Resultate mehrerer unter solchen Cautelen angestellter Aichungen dieser Gasuhr mit:

Luft durch den Ballon in cc.	Luft durch die Gasuhr in cc.	Angabe der Gasuhr in cc.	1000cc. der Uhr entsprechen in cc.
43720 bei 18,02°	43733 bei 18,35°	43350	1008,8
43720 bei 17,83°	43733 bei 17,79°	43320	1009,2
43720 bei 17,76°	43733 bei 17,76°	43300	1009,7

Vor Beginn eines Versuches müssen nun nach der Zusammenstellung aller Vorrichtungen die Leitungen auf ihre Dichtigkeit geprüft werden. Es ist dies absolut nothwendig, da es auch bei aller Aufmerksamkeit nicht möglich ist, alle Undichtigkeiten von vorne herein zu vermeiden, und viele Versuche in Folge davon unbrauchbar würden. Oft hat sich eine seichte Rinne an der inneren Oberfläche einer Kautschukröhre als Ursache der Undichtigkeit herausgestellt. Eine solche Prüfung ist nun glücklicher Weise leicht und sicher möglich.

Die Hauptleitung muss von dem Abgange des Hauptrohres an der Kammer bis zur messenden grösseren Gasuhr dicht sein, weil sonst nicht aus der Kammer, sondern von Aussen kommende Luft in die Ritzen eindringt. Die Prüfung der Dichtigkeit dieser Hauptleitung braucht nur selten vorgenommen zu werden und geschieht wie die der Kammer einfach mit Leuchtgas, das man mit vollem Drucke in das Rohr D eintreibt, bis dieses ganz damit gefüllt ist, wornach man im Dunkeln untersucht, ob nirgends entzündbares Gas entströmt.

Die Prüfung der Dichtigkeit der Leitungen für die zu untersuchende Luft ist viel einfacher und muss vor jedem Versuch gemacht werden.

Um sich von der Dichtigkeit bis zu den Pumpen zu überzeugen, sperrt man den Eingang der Glasröhre A für die Probe der eintretenden Luft mit einem durch einen Glasstopfen geschlossenen Kautschukrohr ab, und ebenso den Eingang zur Glasröhre J für die Probe der aus der Kammer kommenden Luft durch Drehen des Glashahnes. Darauf hebt man nach einander die Cylinder der Pumpen, wobei bei völliger Dichtigkeit das Quecksilber in den Cylindern und in den Austrittsventilen mit in die Höhe gezogen wird und längere Zeit unverrückt auf seinem Stande bleibt. Bei der geringsten Undichtigkeit tritt Luft ein und das anfangs gehobene Quecksilber sinkt zusehends herab. Auf die gleiche Weise prüft man auch die Dichtigkeit der Kammer, indem man die Eintrittsöffnung verschliesst, und einen der Saugcylinder für die innere Luft erhebt.

Zur Untersuchung der Dichtigkeit der Leitungen von der Pumpe ab bis zur Gasuhr, welche wegen der vielen Verbindungen ungleich schwieriger herzustellen ist, verschliesst man den Kautschukschlauch dicht an der kleinen Gasuhr mit einem Quetschhahn, erhebt die betreffende Pumpe, die sich mit Luft vollsaugt, und senkt sie dann allmählich wieder nieder. Als Führung lässt sich an jedem neben der Pumpe stehenden Träger in einer Hülse eine kleine Messingplatte x, welche auf Tafel III. Fig. 7 eigens abgebildet ist, verschieben und in beliebiger Höhe mittelst einer Schraube feststellen; in ihr befindet sich ein Loch zum Einschieben und Führen der Pumpenstange. Da für die Luft der Ausweg abgesperrt ist, so lastet die ganze Schwere der Pumpe auf dem Quecksilber im Innern des Cylinders und der Luft der Leitung. Anfangs wird die Luft unter Entweichen eines Theils derselben durch das Austrittsventil, die Schwefelsäurekölbchen und die Barytwasserröhren comprimirt, das Niveau des Quecksilbers in dem Cylinder stellt sich ansehnlich niedriger als ausserhalb, und das Quecksilber im Eintrittsventil wird gehoben; in kurzer Zeit tritt aber ein Gleichgewichtszustand ein, und nun darf trotz des starken Drucks nicht die mindeste Verschiebung der Stange in der Führungsplatte wahrnehmbar sein. Jede Undichtigkeit verräth sich sofort durch ein Sinken der Stange. Beim Oeffnen des Verschlusses an dem Schlauche fällt der Cylinder herab, was man durch Festhalten desselben verhütet.

Es ist leicht durch Abdrücken der verbindenden Kautschukröhren an verschiedenen Stellen den Ort der Undichtigkeit zu finden, und die völlige Dichtigkeit herzustellen.

Da von der eintretenden und austretenden Luft jedes Mal zwei Proben zur Analyse genommen werden, so kann man sich durch die Uebereinstimmung der Resultate der beiden Proben ebenfalls von der Dichtigkeit der Leitung und der Abwesenheit anderer Fehlerquellen überzeugen. Auf eine einzige Untersuchung der ein- oder austretenden Luft ist nach unseren Erfahrungen gar kein Werth zu legen; nur die Uebereinstimmung zweier Proben belehrt uns über die Genauigkeit der Arbeit, und gibt die nöthige Zuversicht in der Ziehung der Schlussfolgerungen.

Ueber die Bestimmung des Wassers mittelst der mit Schwefelsäure beschickten Glaskölbchen haben wir uns schon zur Genüge in der mehrfach citirten Abhandlung¹⁾ ausgesprochen, und ist zu dieser Darlegung nichts weiter hinzuzufügen.

Die Bestimmung der Kohlensäure geschieht mit einer Lösung von Oxalsäure von bekanntem Gehalte (2,8636 gr. krystallisirte Säure zu 1 Liter in Wasser gelöst) auf die Weise, welche Pettenkofer²⁾ früher eingehend beschrieben hat. Wir titriren eine erste Probe gewöhnlich mit Rosolsäure; die zweite mit Curkumapapier, da wir dieser Methode, wenn sie richtig ausgeführt wird, immer noch den Vorzug der grösseren Genauigkeit geben. Wir räumen aber ein, dass die Titrirung mit frisch bereiteter Rosolsäurelösung und einer verdünnten Schwefelsäure manche andere Vorthelle hat, und bei den Versuchen mit dem kleinen Apparate, wo ein viel grösserer Bruchtheil der Luft untersucht wird, wohl anzuwenden ist.

Es ist auch bei dem kleinen Apparate möglich, ähnlich wie es bei dem grossen Pettenkofer'schen geschehen ist, die Luft auf andere Gasarten wie z. B. Wasserstoffgas oder Grubengas zu untersuchen, und zwar durch Leiten einer Probe über glühendes Kupferoxyd oder Platinschwamm. Wir haben bei Mittheilung unserer Wasserbestimmungen

1) Zeitschr. f. Biologie 1875. Bd. 11. S. 126.

2) Annal. d. Chem. u. Pharm. 1862. Suppl. Bd. 2. S. 23.

hierüber gesprochen; wir würden es nach den dabei gemachten Erfahrungen vorziehen, eine gewisse Menge der Luft von etwa 50 bis 60 Liter in einem Gasometer anzusammeln, und dieselbe dann langsam über die Verbrennungsröhren und nachher durch die Absorptionsapparate für Wasser und Kohlensäure zu drücken. Wenn sich in einem Volum der geglühten Luft mehr Wasser und Kohlensäure findet, als in einem gleichen Volum der ungeglühten Luft, dann ist entsprechend Wasser und Kohlensäure im Verbrennungsröhr aus anderen Gasen gebildet worden.

Die Bestimmung des Sauerstoffs geschieht bei den Versuchen mit unseren Respirationsapparaten bekanntlich nicht auf direktem, sondern wie gewöhnlich bei der Elementaranalyse auf indirektem Wege. Um was unter Berücksichtigung der Veränderung des Körpergewichtes die Summen der Ausgaben grösser sind als die der Einnahmen, das muss von Aussen an Sauerstoff aufgenommen worden sein. Die indirekte Ermittlung der Sauerstoffaufnahme setzt also neben der Kenntniss der Einnahmen und Ausgaben des Körpers die Bekanntschaft des Anfangs- und Endgewichtes des Thieres voraus. Die Feststellung des Körpergewichtes macht nun einige Schwierigkeiten, da es sich bei unseren Waagen nicht genauer als auf $\frac{1}{10}$ gr. bestimmen lässt. Der Sauerstoffverbrauch kann also nur auf etwa $\frac{2}{10}$ gr. mit Sicherheit angegeben werden, so dass bei kleinen Sauerstoffmengen der Fehler nicht unerheblich wird und z. B. bei einer Aufnahme von nur 4 gr. Sauerstoff 5 % ausmacht.

Man erfährt daraus, wieviel Sauerstoff von Aussen aufgenommen worden ist, aber nicht zu was derselbe im Innern des Körper verwendet wurde. Man bekommt über Letzteres jedoch noch weiteren Aufschluss, wenn man zusieht, ob zur Oxydation der im Organismus zersetzten Stoffe ebensoviel Sauerstoff nöthig ist als unterdessen von Aussen eintrat, oder ob weniger oder mehr dazu gehört. In den meisten Fällen stimmt die Grösse der Sauerstoffaufnahme mit der Sauerstoffabgabe in den Ausscheidungsprodukten überein; es kommt aber auch vor, dass ein Theil des eingetretenen Sauerstoffs irgendwie im Körper als solcher oder in Oxydationsprodukten zurückbleibt oder dass auf Kosten eines früher

schon angesammelten Sauerstoffvorrathes Wasser und Kohlensäure gebildet werden.

Es wäre gewiss, schon der Controle wegen, sehr wünschenswerth, wenn es gelänge, den Sauerstoff direkt zu ermitteln. Es ist bei unserem Verfahren nicht möglich durch Untersuchung einer kleinen Luftmenge nach der Bunsen'schen Methode den Sauerstoffverbrauch nur einigermaßen genau festzustellen, da die Differenz des Sauerstoffgehaltes der äusseren und inneren Luft zu gering ist. Man könnte versuchen, die von einer Pumpe gesogene Luftprobe über eine mit Kupfer gefüllte Verbrennungsröhre zu drücken und so den Sauerstoff dem Gewichte nach zu bestimmen; aber man müsste vorher sich noch davon überzeugen, ob bei dem raschen Durchgang einer so grossen Luftmenge auch aller Sauerstoff verzehrt wird. Sollte dies nicht gelingen, so könnte man die grössere Gasuhr so einrichten, dass sie von dem durch sie gehenden Luftstrome ununterbrochen einen beliebigen, für jede Trommelumdrehung stets gleichen Theil (etwa 50 Liter) in einem Sammelbehälter zur Aufbewahrung bringt, welcher Bruchtheil die nämliche Zusammensetzung hat wie im Mittel die ganze durch die Gasuhr gegangene Luftmenge. Es sollen in dieser Richtung Versuche zur direkten Bestimmung des Sauerstoffs angestellt werden.

Alle Theile am Apparate sind, wie in den Abbildungen auf Tafel I. und II. mit Zeichen versehen, und zwar die Leitung der eintretenden äusseren Luft mit A, die der austretenden inneren Luft mit J. Da jede der Leitungen A und J zur Untersuchung von zwei Luftproben in zwei Theile auseinandergeht, so ist der eine Theil mit A I und J I, der andere mit A II und J II bezeichnet. Jede der vier Luftproben geht durch zwei Absorptionsapparate für das Wasser und durch zwei weitere für die Kohlensäure; man findet daher an den betreffenden Stellen die Bezeichnung A Ia und A Ib, A IIa und A IIb, ferner J Ia und J Ib, J IIa und J IIb. Diese Bezeichnungen sind leicht kenntlich angebracht, so dass man ganz mechanisch die einzelnen Theile des Apparates zusammensteckt, und jede Verwechslung der vielfachen Leitungen vermeidet.

Ist der ganze Apparat auf diese Weise zusammengestellt, und auf den dichten Verschluss geprüft, so werden die Gasuhren abgelesen und

das Thier zum Einbringen in den Versuchsraum bereit gehalten. Das Thier wird in einem aus Weissblech verfertigten leichten Behälter mit Deckel (von etwa 470 gr. Gewicht) auf einer grossen zweiarmigen Waage, welche bei der betreffenden Belastung noch auf 0,1 gr. einen deutlichen Ausschlag gibt, gewogen, rasch in die Kammer gebracht, der Wasserhahn des Abflussrohres e gedreht und die Zeit abgelesen.

Man hat nun mit dem Versuche nichts weiter mehr zu thun, als höchstens die in einer der kleinen Gasuhren und im Zimmer aufgestellten Thermometer von Zeit zu Zeit abzulesen.

Man kann den Versuch verschieden lange Zeit währen lassen; bei Einfüllung einer grösseren Menge concentrirten Barytwassers in die Röhren lässt er sich auf zwei Tage und länger ausdehnen. Verzichtet man auf die doppelten Proben, so ist es möglich, zwei Versuche hintereinander, ohne das Thier aus dem Kasten zu nehmen, anzustellen, indem man zuerst die Leitung für die Proben I und dann die für die Proben II einschaltet. Will man die Doppelproben beibehalten, so nimmt man das Thier nach Beendigung des ersten Versuchs aus dem Kasten und schaltet unterdess die bereit gehaltenen gewogenen und gefüllten Absorptionsapparate ein, was in einer halben Stunde geschehen ist.

Soll der Versuch beendigt werden, so wird das Thier aus der Kammer genommen und in das Blechgefäss gebracht, um es rasch zu wägen; zu gleicher Zeit wird der Zuflusshahn zum Wasserrad abgesperrt. Darnach liest man die Gasuhren ab, nimmt die Verbindungen aus einander, wiegt die Schwefelsäureapparate und bringt die acht Barytwasserproben in bereit gehaltene Fläschchen. Nach dem Absetzen des Niederschlags von kohlensaurem Baryt saugt man aus dem klaren Theil zur Titrirung die Pipette voll, in der Weise wie es Pettenkofer¹⁾ beschrieben hat.

Es ist klar, dass wenn das Thier während des Versuchs Harn oder Koth in die Kammer entleert, dies die Ermittlung des vom Thier dampfförmig abgegebenen Wassers und die Berechnung der Sauerstoffaufnahme vereitelt; dagegen lässt sich die Bestimmung der Kohlensäure noch verwerthen. —

1) a. a. O. S. 36.

Die Berechnung der Versuchsergebnisse ist eine ganz einfache.

Bei Anwendung des Pettenkofer'schen Apparates müssen die in der grossen Gasuhr und in den kleinen Gasuhren gemessenen Luftvolumina auf gleiche Temperatur und Feuchtigkeit gebracht werden, da die Temperatur in der grossen Gasuhr, namentlich im Winter, wegen der langsameren Erwärmung der bedeutenden Wassermasse, oft um $5-6^{\circ}$ niedriger ist als in den kleinen Gasuhren. Zu dem Zwecke wurde für die beobachtete Temperatur die Luft als mit Feuchtigkeit gesättigt angenommen, und die Angabe der grossen Gasuhr auf die Temperatur und die derselben entsprechende Feuchtigkeit der kleinen Gasuhren gebracht.

Diese Reduktion ist bei dem kleinen Apparate nicht nöthig. Die vier kleinen Gasuhren und die grössere sind in ihrem Volum nur wenig unterschieden und zeigen immer die gleiche Temperatur an; die Temperatur im Zimmer wird deshalb möglichst gleich erhalten und der Apparat einige Zeit vor Beginn des Versuchs natürlich ohne Einschaltung der Absorptionsapparate in Gang gesetzt.

Letzteres ist auch nöthig, um die von den früheren Versuchen herrührende, in den Leitungen befindliche Luft oder das in den Leitungen manchmal verdichtete Wasser zu entfernen. Es kann nämlich vorkommen, dass die am Schlusse eines Versuches in den inneren Leitungen befindliche, mit Wasserdampf nahezu gesättigte Luft beim Erkalten des Zimmers ihr Wasser theilweise niederschlägt, wodurch man dann ohne vorherige Ventilation bei dem nächsten Versuche viel zu hohe Werthe erhält, wie es z. B. bei den ersten Controlversuchen für das Wasser am kleinen Apparate der Fall war.

Der Luftdruck braucht ebenfalls nicht berücksichtigt zu werden, da er auf alle Theile des Apparates in gleicher Weise einwirkt.

Eine Differenz bei der Messung der Luftproben und der des ganzen Stromes besteht darin, dass die untersuchte Luft frei von Kohlensäure ist, die Luftmasse des ganzen Stromes aber sammt ihrer Kohlensäure gemessen wird; der dadurch erzeugte Fehler, der sich leicht corrigiren liesse, ist jedoch nach den Berechnungen Pettenkofer's so gering, dass eine Correktion überflüssig ist. Zudem wirken hier zwei Fehler, der durch nicht völlige Sättigung des Gesamtstroms mit Wasserdampf und der durch den

Kohlensäuregehalt desselben, im entgegengesetzten Sinne und compensiren sich theilweise.

Nach der Ablesung der Gasuhren, der Wägung der Schwefelsäurekölbchen und der Titrirung der Barytwässer berechnet man nach Pettenkofer zunächst nach den Resultaten der Aichung die durch die Gasuhren hindurch getretenen Luftvolumina, und dann mit Hilfe dieser Zahlen die in 1000 Liter der eintretenden und in 1000 Liter der austretenden Luft enthaltenen Mengen von Wasser und Kohlensäure. Die Differenz der beiden gibt an, wieviel Wasser oder Kohlensäure in der Kammer durch ein darin athmendes Thier oder eine darin brennende Kerze an 1000 Liter Luft hinzugekommen sind. Nach den Angaben der grösseren Gasuhr lässt sich dann die ganze vom Thier oder der Kerze abgegebene Wasser- und Kohlensäuremenge berechnen.

Ursprünglich befindet sich in dem Kasten und den Leitungsröhren reine atmosphärische Luft, am Ende des Versuches dagegen eine durch die Athmung des Thieres an Kohlensäure und Wasser reichere Luft. Da der Inhalt des Kastens 64 Liter, der des Hauptleitungsrohres D etwa 2,55 Liter beträgt, so hat man 66,55 Liter einer wasser- und kohlen-säurereicheren Luft, deren Wasser und Kohlensäure mit in Rechnung zu kommen hat. Man könnte die Zusammensetzung dieser Luft leicht untersuchen, und ich hatte früher auch gleich hinter dem Kasten eine grosse etwa 6—8 Liter fassende Flasche eingeschaltet und darin durch Schütteln mit einer gemessenen Menge Barytwasser den Kohlensäuregehalt bestimmt. In einzelnen Fällen habe ich nach Wegnahme des Thieres oder der Kerze noch eine Zeit lang fort ventilirt, bis jene Luft durch gewöhnliche atmosphärische Luft ersetzt war. Es lässt sich aber ebensogut der Gehalt der rückständigen Luft berechnen, und zwar auf die von Pettenkofer schon geübte Weise. In 1000 Liter der im Kasten zurückbleibenden Luft ist mehr Wasser und Kohlensäure enthalten als im Mittel in 1000 Liter der untersuchten und der durch die grössere Gasuhr gegangenen Luft, da die beiden letzteren durch die anfänglich im Kasten und der Röhre befindliche Luftmenge von 66,55 Liter verdünnt wurde. Sind z. B. im Ganzen bei einem sechstündigen Versuche 10000 Liter durch die grössere Gasuhr gegangen, und darin 12 gr. Wasser und 18 gr. Kohlensäure gefunden worden, so fragt man, wieviel in den

66,55 Liter Luft des Kastens sich noch befinden, wenn in 10000—66,55 d. i. in 9933,5 Liter 12 gr. Wasser und 18 gr. Kohlensäure enthalten sind. Seidel hat dargethan, dass sobald nur so viel Luft durch die grössere Gasuhr gegangen ist, dass die Menge derselben fünf Mal den Inhalt der Kammer ausmacht, also in unserem Beispiel 320 Liter, der Fehler nur mehr $\frac{1}{6}\%$, und bei sechsmaligem Durchgang, in dem gegebenen Fall nach 384 Liter, nur mehr $\frac{1}{20}\%$ beträgt.

Da bei dem kleinen Apparate die Menge der untersuchten Luft im Verhältniss zum Gesamtluftstrom viel grösser ist als bei dem Apparate von Pettenkofer, so muss hier auch die in den zwei Proben der untersuchten inneren Luft enthaltene und vom Thier abgegebene Wasser- und Kohlensäuremenge oder auch das Volum dieser Luftproben zu dem durch die grössere Gasuhr angegebenen Volum hinzu gerechnet werden.

Um einen Ueberblick über die Art der Berechnung der Resultate zu geben, setze ich das Protokoll eines an einer Katze angestellten Versuches hierher:

8. Juni 1875. (20,2° C.; Dauer des Versuchs 6 St. 3. M.)

Gewicht des Thiers vor dem Versuch 3001,3 gr.

Gewicht des Thiers nach dem Versuch 2987,8 „

Differenz: —13,5 gr.

Stand der grösseren Gasuhr nach dem Versuch 16946,9

Stand der grösseren Gasuhr vor dem Versuch 5431,6

Differenz: 11515,3

Corrigirte Luftmenge (1000 = 1007,4): 11600,5 cc.

Nro.	Mengen der unter- suchten Luft		Kohlensäurebestimmung					Wasserbestimmung	
			Barytwasser			Kohlen- säure in der unters. Luft	Kohlen- säure i. 1000 Liter Luft	Wasser in der unters. Luft	Wasser in 1000 Liter Luft
	abgelesen in Umgängen	corrigirt in Liter ¹⁾	Volum in cc.	cc. Oxalsäure für 25 cc.					
vorher				nachher					
A I	26,380	67,108	a) 240	33,8	29,8	0,03900	0,5811	0,7682	1,1447
			b) 50	33,8	33,5				
A II	26,657	67,024	a) 240	33,8	29,8	0,03900	0,5819	0,7670	1,1444
			b) 50	33,8	33,5				
J I	22,985	56,044	a) 240	72,4	61,8	0,10236	1,8264	0,6947	1,2395
			b) 50	33,8	33,5				
J II	25,577	64,981	a) 240	72,4	60,3	0,11636	1,7907	0,8135	1,2519
			b) 50	33,8	33,7				

1) 1 Umgang von A I = 2,5439 Liter, A II = 2,5143 L., J I = 2,4383 L., J II = 2,5406 L.

	Wasser	Kohlensäure
in 1000 Liter innerer Luft im Mittel . .	1,2457	1,8085
in 1000 Liter äusserer Luft im Mittel . .	1,1445	0,5815
Differenz:	0,1012	1,2270
in 11600,5 Liter der grossen Gasuhr . .	11,74	14,23
in 66,55 Liter in der Kammer u. im Rohr	0,07	0,08
in 121,02 Liter der 2 kl. inneren Gasuhren	0,12	0,15
Summe:	11,93	14,46

Berechnung des Sauerstoffs:

Anfangsgewicht: 3001,3	Endgewicht: 2987,8
Einnahmen: 0	Ausgaben: Harn 0
Summe: 3001,3	Wasser 11,93
	Kohlensäure 14,46
	Summe: 3014,19
	— 3001,30
	Sauerstoff auf: 12,89
	(Verhältniss 100 : 81).

Controlversuche.

Ich habe schon öfter erwähnt, dass Controlversuche über den Grad der Genauigkeit der durch Respirationsapparate erhaltenen Resultate absolut nothwendig sind. Es ist nicht möglich bei so complicirten Apparaten von vornherein Alles so einzurichten, dass die Ergebnisse auf Sicherheit Anspruch machen können; man muss sich vorerst durch eigens darauf hin gerichtete Versuche überzeugen, ob der Apparat auch das leistet, was man von ihm voraussetzt. Es kann das Prinzip desselben ganz tadelfrei erscheinen, und doch können die gewonnenen Zahlen nicht der Wahrheit entsprechen, wenn man irgend etwas bei der Ausführung der Versuche übersehen hat. Man glaube ferner ja nicht, dass man im Besitze eines solchen Apparates alsbald Untersuchungen am Thiere anstellen darf, ohne sich durch eine Reihe von Vorversuchen tüchtig eingeübt zu haben. Alles dies erfährt man nur durch Controlversuche, welche darthun, wie weit in dem Apparate unter analogen

Verhältnissen, unter denen darin ein Thier athmet, in bekannten Mengen entwickelte Kohlensäure oder Wasser wieder gefunden werden. So lange dies für einen Apparat der Art nicht erwiesen ist, zweifeln wir nach den von uns gemachten Erfahrungen mit vollem Rechte an den Angaben desselben.

Bevor der kleine Apparat seine jetzige Gestalt angenommen hatte, zu einer Zeit als der Versuchsraum ansehnlich kleiner war und die Ventilation durch zwei in Glyzerin gehende und mit der Hand in Bewegung versetzte grosse Saugcylinder besorgt wurde und viele Verbesserungen in der Methode der Untersuchung noch nicht eingeführt waren, wurden Controlbestimmungen mit kleinen, sehr dicken und in einer Papierkapsel steckenden Stearinkerzen gemacht, in der Form wie man sie früher häufig als Nachtlichter gebrauchte. Ich erhielt damals bei Verbrennung von 4—8 gr. Stearinsäure während 1—2 Stunden, welche 5—9 gr. Wasser und 12—22 gr. Kohlensäure geben sollten, die folgenden Fehler in Prozent ausgedrückt:

	Kohlensäure	Wasser	Sauerstoff
1)	+ 4,9	+ 2,7	+ 5,7
2)	— 1,5	+ 4,4	+ 0,7
3)	— 3,2	— 0,7	— 3,3
4)	— 7,9	— 1,9	— 8,4
5)	+ 6,1	+ 8,1	+ 9,0
6)	— 5,2	— 10,0	— 9,1
7)	— 6,0	— 1,2	— 6,8
8)	+ 2,0	+ 3,3	+ 2,9
9)	+ 3,9	+ 2,4	+ 4,6.

Die Resultate sind bei den damaligen noch ungünstigen Verhältnissen ganz leidliche.

Als der Apparat in seiner jetzigen Gestalt dastand und durch eine Anzahl von Versuchen an Thieren seine Brauchbarkeit dargethan war, musste wieder zu Controlversuchen geschritten werden. Es war unterdess die Erfahrung gemacht worden, dass zwar für die Controlbestimmungen der Kohlensäure Stearinkerzen vorzüglich brauchbar sind, dagegen

nicht für die des Wassers und zwar wegen der unvollständigen Verbrennung der Stearinsäure. Es wurden daher die Controlversuche für die Kohlensäure und das Wasser nicht in ein und demselben Versuche ausgeführt, sondern die für die Kohlensäure durch Verbrennung von Olein und die für das Wasser durch Verdampfung von Wasser. An denselben betheiligte sich mein Assistent, der Privatdozent Dr. J. Forster.

Zu den Controlbestimmungen für die Kohlensäure diente als Kohlensäurequelle, wie gesagt, reines Olein, welches in einem kleinen Glasnöpfchen mit Hülfe eines in einen Schwimmer eingesteckten passenden Glascapillarröhrchens verbrannt wurde. Die Weite der Capillare und die Höhe derselben über dem Oelniveau wurde so gewählt, dass in der Stunde zwischen 3 und 4 gr. Kohlensäure geliefert wurden, also etwa so viel als in gleicher Zeit von einem Kaninchen.

In fünf solchen Versuchen wurde erhalten:

a) 5. Juli 1875.

(Dauer des Versuchs 5 St. 54 M.)

6,4916 gr. Olein verbrannt = (bei 77,37 % Kohlenstoff) 18,42 gr. Kohlens.

Stand der grösseren Gasuhr zu Ende des Versuchs 16010,6

Stand der grösseren Gasuhr zu Anfang des Versuchs 5448,6

Differenz: 10562,0

corrigirte Luftmenge (1000 = 1007,4): 10676,9 cc.

Nro.	untersuchte Luftmenge		Kohlensäurebestimmung				
	abgelesen in Umgängen	corrigirt in Liter ¹⁾	Barytwasser			Kohlensäure in der untersuchten Luft	Kohlensäure in 1000 Liter Luft
			Volum in cc.	cc. Oxalsäure für 25cc.			
				vorher	nachher		
A I	24,345	61,931	a) 240	33,7	30,0	0,03592	0,5800
			b) 50	33,7	33,5		
A II	25,462	64,019	a) 240	33,7	29,75	0,03852	0,6017
			b) 50	33,7	33,4		
J I	20,368	49,663	a) 240	71,9	59,8	0,11696	2,3550
			b) 50	33,7	33,3		
J II	23,369	59,371	a) 240	71,9	57,7	0,13712	2,3095
			b) 50	33,7	33,3		

1) 1 Umgang von A I = 2,5439 Liter, A II = 2,5143 L., J I = 2,4383 L., J II = 2,5406 L.

in 1000 Liter innerer Luft im Mittel: 2,3323 gr. Kohlensäure
 in 1000 Liter äusserer Luft im Mittel: 0,5908 „ „
 Differenz: 1,7414 gr. Kohlensäure
 in 10676,9 Liter Luft der grösseren Gasuhr: 18,59 gr. Kohlensäure
 in 66,55 Liter Luft in d. Kammer u. im Rohr: 0,11 „ „
 in 107,9 Liter Luft in d. kl. inneren Gasuhren: 0,19 „ „
 Summe: 18,89 gr. Kohlensäure
 = +2,5 %.

b) 8. Juli 1875.

(Dauer des Versuchs 6 St. 32 M.)

8,0250 gr. Olein verbrannt = 22,77 gr. Kohlensäure.

Stand der grösseren Gasuhr zu Ende des Versuchs: 14196,8

Stand der grösseren Gasuhr zu Anfang des Versuchs: 5164,4

Differenz: 9032,4

corrigirte Luftmenge (1000 = 1026,5): 9271,7 cc.

Nro.	untersuchte Luftmenge		Kohlensäurebestimmung				
	abgelesen in Umgängen	corrigirt in Liter	Barytwasser			Kohlensäure in der untersuchten Luft	Kohlensäure in 1000 Liter Luft
			Volum in cc.	cc. Oxalsäure für 25cc.			
				vorher	nachher		
A I	20,430	51,973	a) 240	33,7	29,4	0,04208	0,8097
			b) 50	33,7	33,3		
A II	21,312	53,586	a) 240	33,7	29,2	0,04380	0,8174
			b) 50	33,7	33,4		
J I	18,148	44,251	a) 240	71,9	57,1	0,14228	3,2153
			b) 50	33,7	33,6		
J II	20,559	52,231	a) 240	71,9	54,4	0,16860	3,2280
			b) 50	33,7	33,4		

in 1000 Liter innerer Luft im Mittel: 3,2216 gr. Kohlensäure

in 1000 Liter äusserer Luft im Mittel: 0,8135 „ „

Differenz: 2,4081 gr. Kohlensäure

in 9271,7 Liter Luft der grösseren Gasuhr: 22,33 gr. Kohlensäure

in 66,55 Liter Luft in d. Kammer u. im Rohr: 0,15 „ „

in 96,48 Liter Luft in d. kl. inneren Gasuhren: 0,23 „ „

Summe: 22,71 gr. Kohlensäure
 = -0,3 %.

c) 9. Juli 1875.

(Dauer des Versuchs 6 St. 29 M.)

10,532 gr. Olein verbrannt = 29,88 gr. Kohlensäure.

Stand der grösseren Gasuhr zu Ende des Versuchs: 13918,2

Stand der grösseren Gasuhr zu Anfang des Versuchs: 4357,8

Differenz: 9560,4

corrigirte Luftmenge (1000 = 1026,5): 9813,7 cc.

Nro.	untersuchte Luftmenge		Kohlensäurebestimmung				
	abgelesen in Umgängen	corrigirt in Liter	Barytwasser			Kohlensäure in der untersuchten Luft	Kohlensäure in 1000 Liter Luft
			Volum in cc.	cc. Oxalsäure für 25cc.			
				vorher	nachher		
A I	20,835	53,004	a) 240 b) 50	33,7 33,7	30,0 33,4	0,03612	0,6814
A II	23,311	58,612	a) 240 b) 50	33,7 33,7	29,7 33,4	0,03900	0,6654
J I	18,702	45,601	a) 240 b) 50	71,9 33,7	54,5 33,3	0,16784	3,6806
J II	20,533	52,166	a) 240 b) 50	71,9 33,7	51,3 33,3	0,19856	3,8063

in 1000 Liter innerer Luft im Mittel: 3,7434 gr. Kohlensäure

in 1000 Liter äusserer Luft im Mittel: 0,6734 „ „

Differenz: 3,0700 gr. Kohlensäure

in 9813,7 Liter Luft der grösseren Gasuhr: 30,13 gr. Kohlensäure

in 66,55 Liter Luft in d. Kammer u. im Rohr: 0,20 „ „

in 97,80 Liter Luft in d. kl. inneren Gasuhren: 0,30 „ „

Summe: 30,63 gr. Kohlensäure
= +2,5 %.

d) 2. August 1875.

(Dauer des Versuchs 5 St. 27 M.)

10,0666 gr. Olein verbrannt = 28,556 gr. Kohlensäure.

Stand der grösseren Gasuhr zu Ende des Versuchs: 17760,6

Stand der grösseren Gasuhr zu Anfang des Versuchs: 6100,2

Differenz: 11660,4

corrigirte Luftmenge (1000 = 1009,2): 11767,7 cc.

Nro.	untersuchte Luftmenge		Kohlensäurebestimmung				
	abgelesen in Umgängen	corrigirt in Liter	Barytwasser			Kohlensäure in der untersuchten Luft	Kohlensäure in 1000 Liter Luft
			Volum in cc.	cc. Oxalsäure für 25 cc.			
				vorher	nachher		
A I	27,700	70,469	a) 240 b) 50	27,7 27,7	22,9 27,2	0,04708	0,6681
A II	27,884	70,110	a) 240 b) 50	27,7 27,7	22,9 27,3	0,04688	0,6687
J I	21,223	50,455	a) 240 b) 50	72,7 27,7	56,2 27,5	0,15880	3,1474
J II	26,277	66,759	a) 240 b) 50	72,7 27,7	51,6 27,3	0,20336	3,0463

in 1000 Liter innerer Luft im Mittel: 3,0969 gr. Kohlensäure

in 1000 Liter äusserer Luft im Mittel: 0,6684 „ „

Differenz: 2,4285 gr. Kohlensäure

in 11767,7 Liter Luft der grösseren Gasuhr: 28,58 gr. Kohlensäure

in 66,55 Liter Luft in d. Kammer u. im Rohr: 0,16 „ „

in 117,20 Liter Luft in d. kl. inneren Gasuhren: 0,28 „ „

Summe: 29,02 gr. Kohlensäure
= +1,6 ‰.

e) 3. August 1875.

(Dauer des Versuchs 6 St. 19 M.)

7,6666 gr. Olein verbrannt = 21,75 gr. Kohlensäure.

Stand der grösseren Gasuhr zu Ende des Versuchs: 18996,3

Stand der grösseren Gasuhr zu Anfang des Versuchs: 7761,6

Differenz: 11234,7

corrigirte Luftmenge (1000 = 1009,2): 11338,0 cc.

Nro.	untersuchte Luftmenge		Kohlensäurebestimmung				
	abgelesen in Umgängen	corrigirt in Liter	Barytwasser			Kohlensäure in der unter- suchten Luft	Kohlensäure in 1000 Liter Luft
			Volum in cc.	cc. Oxalsäure für 25 cc.			
				vorher	nachher		
A I	26,994	68,670	a) 240 b) 50	27,7 27,7	23,4 27,25	0,04218	0,6142
A II	26,465	66,541	a) 240 b) 50	27,7 27,7	23,06 27,10	0,04574	0,6874
J I	21,799	51,824	a) 240 b) 50	72,7 27,7	58,7 27,3	0,13520	2,5427
J II	25,684	65,253	a) 240 b) 50	72,7 27,7	55,5 27,3	0,16592	2,6089

in 1000 Liter innerer Luft im Mittel: 2,5758 gr. Kohlensäure

in 1000 Liter äusserer Luft im Mittel: 0,6508 „ „

Differenz: 1,9250 gr. Kohlensäure

in 11338,0 Liter Luft der grösseren Gasuhr: 21,82 gr. Kohlensäure

in 66,55 Liter Luft in d. Kammer u. im Rohr: 0,13 „ „

in 117,10 Liter Luft in d. kl. inneren Gasuhren: 0,23 „ „

Summe: 22,18 gr. Kohlensäure

= + 1,9 ‰.

Für die Wassercontrolbestimmungen wurde ähnlich wie bei den betreffenden Versuchen am grossen Apparate Wasser aus einer Retorte verdampft. Zu dem Zwecke wurde die vordere Glasscheibe der Kammer fortgenommen und durch eine Zinkplatte ersetzt. Dieselbe hat nahe dem unteren Rande eine kreisrunde Oeffnung, an welche ein kurzer Blechstutzen angelöthet ist; eine dicht schliessende Kautschukkappe verbindet diesen Stutzen mit dem in das Innere des Kastens hinein ragenden Halse der Retorte. Die Retorte wird durch einen Schlangensbrenner mit sehr kleinen Flammen erwärmt, so dass in Zeit von einer Stunde nur etwa 2 gr. verdunsten; es wurde vorher ausprobt, wie weit man bei einer bestimmten Füllung der Retorte den Gashahn aufdrehen musste, um eben eine solche Grösse der Wasserverdampfung zu erreichen. Die Menge des aus der Retorte verdunsteten Wassers wurde durch Wiegung der durch einen Stopfen verschlossenen Retorte vor und nach dem Versuche festgestellt.

Ich theile in Folgendem die Resultate von drei Versuchen der Art mit:

a) 22. Januar 1875.

(Dauer des Versuchs 5 St. 47 M.)

Wasser verdampft: 10,70 gr.

Stand der grösseren Gasuhr zu Ende des Versuchs: 12705,0

Stand der grösseren Gasuhr zu Anfang des Versuchs: 1812,5

Differenz: 10892,5

corrigirte Luftmenge (1000 = 986,3): 10743,3 cc.

Nro.	untersuchte Luftmenge		Wasserbestimmung	
	abgelesen in Umgängen	corrigirt in Liter ¹⁾	in der untersuchten Luft	in 1000 Liter Luft
A I	28,824	73,611	0,44644	6,0648
A II	27,705	70,226	0,42746	6,0869
J I	26,123	64,320	0,45759	7,1142

in 1000 Liter innerer Luft im Mittel: 7,1142 gr. Wasser

in 1000 Liter äusserer Luft im Mittel: 6,0758 „ „

Differenz: 1,0384 gr. Wasser

in 10743,3 Liter Luft der grösseren Gasuhr: 11,15 gr. Wasser

in 66,55 Liter Luft in der Kammer und im Rohr: 0,07 „ „

in 64,32 Liter Luft in der kleinen inneren Gasuhr: 0,07 „ „

Summe: 11,29 gr. Wasser

= + 5,5 %.

b) 27. Januar 1875.

(Dauer des Versuchs 5 St. 18 M.)

Wasser verdampft: 12,95 gr.

Stand der grösseren Gasuhr zu Ende des Versuchs: 12011,9

Stand der grösseren Gasuhr zu Anfang des Versuchs: 2723,5

Differenz: 9288,4

corrigirte Luftmenge (1000 = 986,3): 9161,14 cc.

Nro.	untersuchte Luftmenge		Wasserbestimmung	
	abgelesen in Umgängen	corrigirt in Liter	in der untersuchten Luft	in 1000 Liter Luft
A I	24,464	62,476	0,33039	5,2882
A II	23,415	59,352	0,31643	5,3314
J I	21,856	53,814	0,36131	6,7140
J II	24,036	60,929	0,41046	6,7367

1) 1 Umgang von A I = 2,5538; von A II = 2,5348; von J I = 2,4622.

in 1000 Liter innerer Luft im Mittel: 6,7253 gr. Wasser
 in 1000 Liter äusserer Luft im Mittel: 5,3098 „ „
 Differenz: 1,4155 gr. Wasser
 in 9161,14 Liter Luft der grösseren Gasuhr: 12,97 gr. Wasser
 in 66,55 Liter Luft in der Kammer u. im Rohr: 0,09 „ „
 in 114,74 Liter Luft der kleinen inneren Gasuhren: 0,16 „ „
 Summe: 13,13 gr. Wasser
 = +1,4 ‰.

c) 29. Januar 1875.

(Dauer des Versuchs 5 St. 37 M.)

Wasser verdampft: 16,75 gr.

Stand der grösseren Gasuhr zu Ende des Versuchs: 13002,0

Stand der grösseren Gasuhr zu Anfang des Versuchs: 2603,4

Differenz: 10398,6

corrigirte Luftmenge (1000 = 986,3): 10256,3 cc.

Nro.	untersuchte Luftmenge		Wasserbestimmung	
	abgelesen in Umgängen	corrigirt in Liter	in der unter- suchten Luft	in 1000 Liter Luft
A I	27,448	70,097	0,39268	5,6019
A II	26,117	66,201	0,37339	5,6402
J I	24,248	59,703	0,43286	7,2502
J II	26,927	68,257	0,49535	7,2571

in 1000 Liter innerer Luft im Mittel: 7,2536 gr. Wasser

in 1000 Liter äusserer Luft im Mittel: 5,6211 „ „

Differenz: 1,6325 gr. Wasser

in 10256,3 Liter Luft der grösseren Gasuhr: 16,74 gr. Wasser

in 66,55 Liter Luft in der Kammer u. im Rohr: 0,10 „ „

in 127,96 Liter Luft der kleinen inneren Gasuhren: 0,21 „ „

Summe: 17,05 gr. Wasser

= +1,8 ‰.

Zur leichteren Uebersicht stelle ich die Resultate der Controlversuche nochmals zusammen. Es wurde dabei erhalten:

Controlversuche für Kohlensäure:

Nro.	Kohlensäure entwickelt	Kohlensäure erhalten	D i f f e r e n z	
			absolut	in Prozent
a.	18,42	18,89	+ 0,47	+ 2,5
b.	22,77	22,71	— 0,06	— 0,3
c.	29,88	30,63	+ 0,75	+ 2,5
d.	28,56	29,02	+ 0,46	+ 1,6
e.	21,75	22,18	+ 0,43	+ 1,9

Controlversuche für Wasser:

Nro.	Wasser verdampft	Wasser erhalten	D i f f e r e n z	
			absolut	in Prozent
a.	10,70	11,29	+ 0,59	+ 5,5 ¹⁾
b.	12,95	13,13	+ 0,18	+ 1,4
c.	16,75	17,05	+ 0,30	+ 1,8

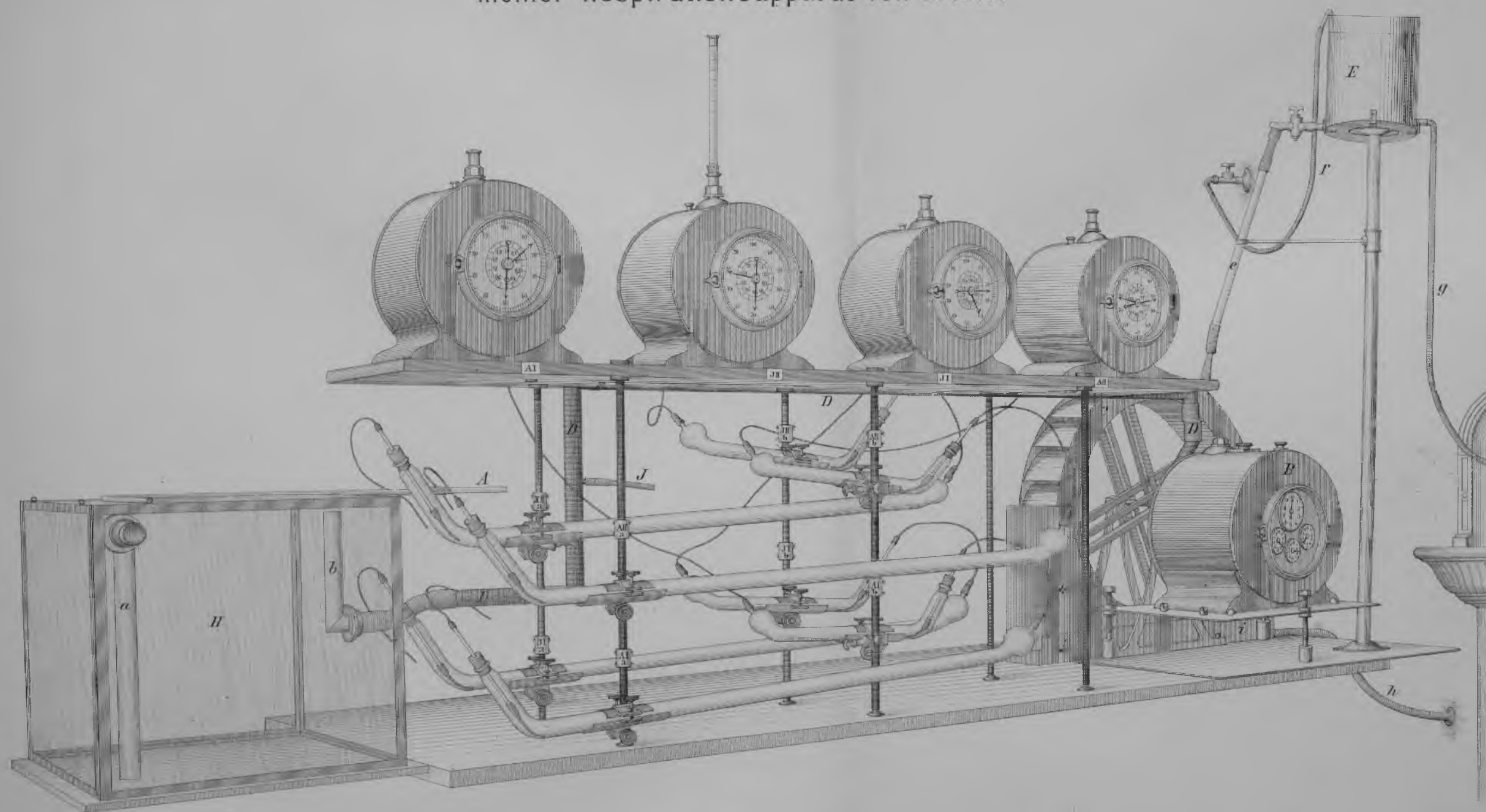
Nach diesen Resultaten erreicht man mit dem kleinen Respirationsapparate für das Wasser und die Kohlensäure eine Genauigkeit von 1—2 %, ähnlich wie mit dem Pettenkofer'schen Apparate. Man könnte es auffallend finden, dass bei den kleinen Dimensionen des ersteren die Uebereinstimmung nicht eine grössere ist, besonders da ein ungleich grösserer Bruchtheil der Luft dabei auf die Bestandtheile untersucht wird. Dies rührt daher, dass hier eine wesentlich geringere Menge von

1) Dieser Versuch gibt ein etwas zu hohes Resultat, da vor Beginn desselben noch nicht genügend ventilirt worden war und in den Leitungen sich etwas Wasser von dem vorausgehenden Versuche befand.

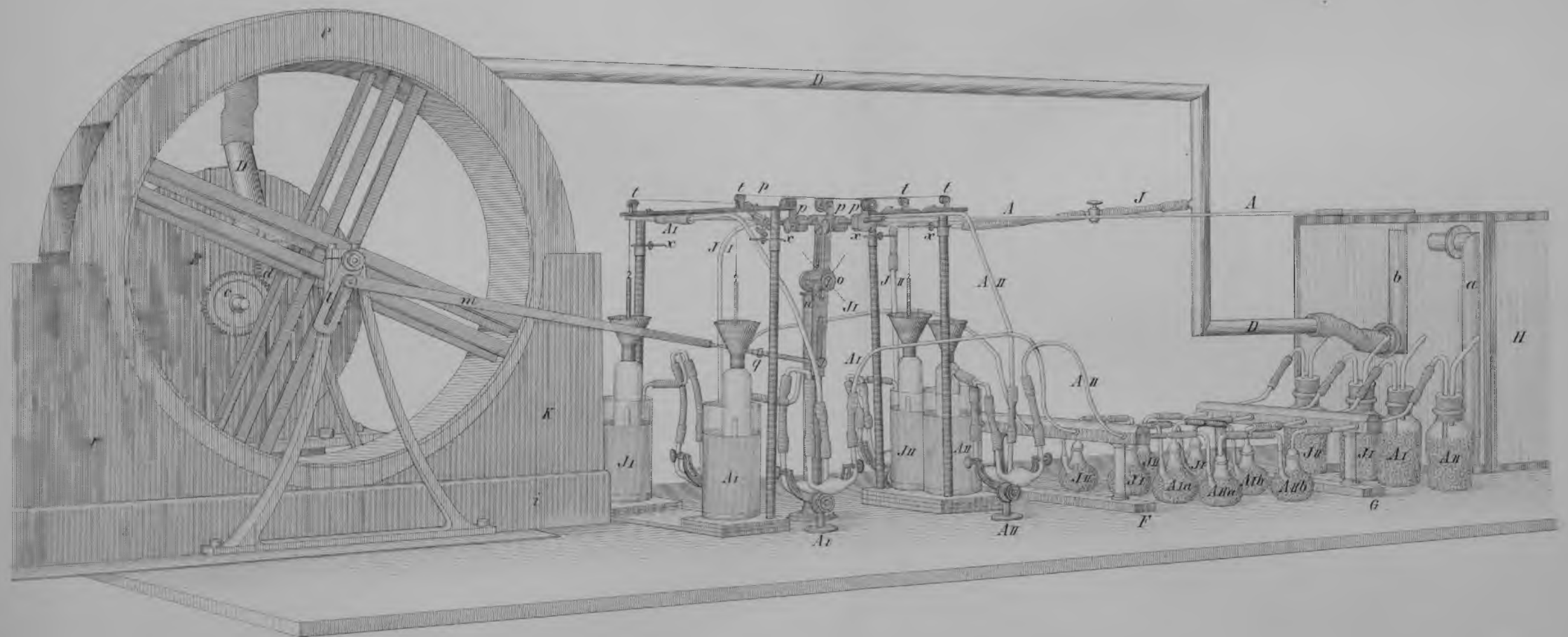
Wasser und Kohlensäure zu suchen ist und desshalb wohl absolut ein ungleich genaueres Resultat erhalten wird, aber nicht prozentig. Es lassen sich eben gewisse Fehler nicht vermeiden, und diese machen dann bei kleinen absoluten Mengen einen grösseren Bruchtheil aus, als bei grösseren.

Es ist dadurch erwiesen, dass mit dem kleinen Apparate Untersuchungen des Gaswechsels bei kleineren Thieren angestellt werden können. Es wäre nur zu wünschen, dass auch Andere die von ihnen angewandten Hilfsmittel einer ähnlichen Controle unterziehen würden; ich bin überzeugt, sie würden zum Theil erstaunt sein über die Angaben derselben. —

Kleiner Respirationsapparat von C. Voit.



Kleiner Respirationsapparat von C. Voit.



Kleiner Respiration-Apparat von C. Voit.

Taf. III.

