

Methoden zur Messung des respiratorischen Gaswechsels.

Wenn sich ein lebendes Wesen einige Zeit in einem allseitig gegen die Umgebung abgeschlossenen Raum aufhält, so verändert sich bekanntlich infolge der Atmung die Luft dieses Raumes in der Weise, dass sie reicher an Kohlensäure und Wasser, ärmer an Sauerstoff wird. Genauere Messungen haben ergeben, dass dieser respiratorische Gaswechsel nicht immer gleich stark ist; er zeigt sich abhängig von der Zufuhr von Nahrung, von der Art der Nahrung, von funktionellen Leistungen des Organismus, die willkürlich oder reflektorisch ausgeübt werden, und von Aenderungen in der Körpertemperatur. Die Kenntnis des Gaswechsels liefert uns also ein Bild von der Intensität des Stoffwechsels innerhalb eines Organismus; denn nicht bloß die Zufuhr von Nahrung, sondern sowohl Arbeit irgend welcher Art, als auch Erhöhung der Temperatur haben einen regeren Stoffwechsel zur Folge. Es ist daher auch von praktischer Bedeutung, Methoden zu finden, die den Gaswechsel möglichst genau zu messen gestatten; denn dadurch vermag man z. B. die Einwirkung erhöhter Temperaturen, die Einwirkung des Fiebers auf den Organismus kennen zu lernen oder aus der Verschiedenheit des Gaswechsels bei Zufuhr von Eiweiß, Fett oder Kohlehydraten Schlüsse auf die im Körper vor sich gehenden Umsetzungen zu ziehen. Misst man gleichzeitig mittels eines Kalorimeters die in derselben Zeit produzierte Wärmemenge, und kennt man außerdem die Wärme, welche bei der Verbrennung der dem Organismus zugeführten Nahrung frei wird, so kann man auch die theoretisch wichtige Frage beantworten, ob die vom Organismus abgegebene Wärmemenge gleich ist der durch den Stoffwechsel entstehenden.

Die einfachste Methode, den respiratorischen Gaswechsel zu messen, besteht darin, dass man ein bestimmtes, abgeschlossenes Luftvolumen, in dem sich das Versuchstier oder ein Mensch genügend lange Zeit aufhält, vor und nach dem Versuch analysiert. Diese schon aus dem Anfang des Jahrhunderts stammende Methode ist bis in die neuere Zeit hinein angewandt worden, dann aber wegen der Mängel, an der die Resultate leiden, aufgegeben worden. Ist nämlich der Luftraum, in welchen das Tier gebracht wird, klein, dann ändert die Respirationsluft stetig ihre Zusammensetzung und das Versuchstier kommt mit der Ausdehnung des Versuches unter immer abnormere Bedingungen. Ist der Luftraum aber sehr groß, dann werden die Aenderungen in der Zusammensetzung der Luft so gering, dass die unvermeidlichen Versuchsfehler der Analysen die Ergebnisse allzusehr beeinflussen.

Die Methode musste also in der Richtung geändert werden, dass die Atmungsluft stets ihre normale Zusammensetzung behalten konnte. Das ließ sich entweder in der Weise erreichen, dass die expirirte Kohlensäure beseitigt und durch Sauerstoff ersetzt wurde, oder dadurch, dass durch den Versuchsapparat konstant Luft hindurchströmte, deren Menge gemessen und die vor und nach dem Passieren des Raumes, in dem sich das Tier aufhielt, analysiert wurde. Beide Verfahren, die ursprünglich von Lavoisier angegeben sind, haben eine vollkommene Ausbildung erfahren, u. z. das erste Verfahren in der Anordnung des Apparates von Regnault und Reiset, das zweite in dem Apparat von Pettenkofer.

Beim Regnault-Reiset'schen Apparat¹⁾ befindet sich das Versuchstier in einem von der Außenluft sicher abgeschlossenen Behälter, aus dem zwei Rohre, das eine vom Boden, das andere von der Decke des Behälters, zu zwei mit starker Kalilauge gefüllten Flaschen führen, die dazu bestimmt sind, die expirirte Kohlensäure zu absorbieren. Diese birnförmigen Flaschen sind an ihren unteren Mündungen durch einen Gummischlauch verbunden und werden durch einen Motor abwechselnd gehoben und gesenkt, so dass die Kalilauge abwechselnd aus der einen Flasche in die andre und dann wieder zurückfließt. Die Wirkung der Bewegung ist, dass die Luft im Atmungsbehälter abwechselnd in die Flaschen eingesogen und wieder ausgetrieben wird, wobei die Kohlensäure derselben von der Kalilauge absorbiert wird. Um dies noch zu befördern, sind die Flaschen mit einer großen Zahl enger Glasröhren angefüllt, an deren sehr großer Oberfläche ein großer Teil der Lauge hängen bleibt, wenn dieselbe aus der in die Höhe steigenden Flasche abläuft, und so die gleichzeitig in die Flasche einströmende Luft schnell des größten Theils ihrer Kohlensäure beraubt. Da nun auf diese Weise die vom Tier ausgeatmete Kohlensäure mehr oder weniger vollständig entfernt wird, während das Tier gleichzeitig Sauerstoff aus der Luft aufnimmt, so entsteht eine Luftverdünnung, in Folge deren durch ein drittes in den Behälter mündendes Rohr aus einem Gasometer ein der verschwundenen Kohlensäure gleiches Volum von reinem Sauerstoff eintritt. Vor Beginn und nach Beendigung des Versuches werden die Kalilaugeflaschen zusammen mit dem Gummischlauch gewogen; die Gewichts Differenz ergibt die Kohlensäuremenge. Das Volumen des eingetretenen Sauerstoffs wird direkt am Gasometer abgelesen. Außerdem wird kurz vor dem Abbruch des Versuchs eine Probe aus dem Luftraum entnommen und analysiert. So erhält man alle Daten zur Berechnung der ausgeatmeten Kohlensäure und des vom Tier aufgenommenen Sauerstoffs.

Von Pettenkofer wurde diesem Verfahren der Vorwurf gemacht, dass sich mit der Zeit überreichende und schädliche Exhalationsgase im Innern des Apparates ansammeln und die Versuchstiere krank machen könnten. Seegen und Nowak leiteten deshalb die ein- und ausströmende Luft durch Verbrennungsrohre, in denen Gase wie Wasserstoff und Grubengas unschädlich gemacht werden. Es hat sich aber gezeigt, dass jene Befürchtung grundlos war.

Bei der Anordnung von Pettenkofer²⁾ wird aus einem nicht fest abgeschlossenen Raum von beliebiger Größe die Luft fortwährend durch Saugapparate aspirirt; sie passiert sodann eine Gasuhr, mit der ihr Volumen gemessen wird. Ein während des Versuches konstanter Bruchtheil der aspirirten Luft wird dieser durch kleine Pumpen entnommen und analysiert. Zu diesem Behuf wird die Luft zuerst durch eine Röhre geleitet, die Bimsstein mit konzentrierter Schwefelsäure enthält, welche das in der Luft enthaltene Wasser absorbiert, dann durch eine Röhre mit titrirter Barytlösung, in der die Kohlensäure vollkommen gebunden wird, und schließlich durch eine kleine Gasuhr. Eine ganz gleich gebaute Saug-

1) Regnault u. Reiset, *Annales de chimie et phys.* (3) XXVI, 1849; Reiset, *Ebenda* LXIX, 1863.

2) Pettenkofer, *Abhandl. d. math.-phys. Klasse der Akad. zu München*, IX, 1862.

pumpe entnimmt fortwährend der Umgebuug des Versuchsraums eine Probe von der Luft, die an die Stelle der aus dem Raum aspirierten Luft tritt; sie wird auf dieselbe Weise analysiert. Bei dieser Methode können also nur die ausgeschiedene Kohlensäure und das Wasser bestimmt werden, den Sauerstoff muss man berechnen. Auf ihn häufen sich daher alle Versuchsfehler, welche bei der Bestimmung der Kohlensäure und des Wassers etwa gemacht werden.

Einige Abänderungen des Pettenkofer'schen Verfahrens sind von Voit, Zuntz u. A. angegeben worden.

Das Regnault-Reiset'sche Verfahren galt bisher als nur für kleinere Tiere anwendbar, weil man glaubte, dass aus einem größeren Raum, wie er für Menschen und größere Versuchstiere erforderlich wird, die Kohlensäure nicht so reichlich von den Kaliflaschen absorbiert werden könnte, dass die Tiere im Apparate keinen Schaden litten. Jetzt ¹⁾ hat Hoppe-Seyler die Regnault-Reiset'sche Anordnung so weit verändert, dass der Gaswechsel von Menschen bis zu 24 Stunden ununterbrochen gemessen werden konnte, ohne dass diese über Beschwerden zu klagen hatten.

Um eine bessere Kohlensäureabsorption herbeizuführen, suchte Hoppe-Seyler hauptsächlich eine stärkere Ventilation des Atemraums durchzuführen. Er wandte zwei Paar voluminöser Kaliflaschen an, die, wie bei der Regnault-Reiset'schen Anordnung, durch einen Gummischlauch verbunden sind, in dem die Kalilänge bei der abwechselnden Hebung und Senkung der Flaschen von einem Paar zum andern fließt. Die Bewegung der Flaschen wird durch einen Wassermotor bewirkt. Die Flaschen jeder Seite sind oben unter sich durch ein gebogenes Rohr verbunden. In jeden der beiden Bogen münden in der Mitte von oben und unten, einander gegenüber, zwei Röhren ein. An den Einmündungsstellen sind leicht bewegliche aus Kautschukplatten bestehende Ventile angebracht, welche nach oben hin sich öffnen können; das eine öffnet sich also jederseits in die von oben in den Bogen einmündende Röhre, das zweite in das Lumen des Bogens selbst. Herrscht in einem Paar Kaliflaschen ein niedrigerer Druck als in den zwei in den Bogen mündenden Röhren, was der Fall ist, wenn dasselbe durch den Motor gehoben wird, so strömt die Luft durch die von unten in den Bogen mündende Röhre in die Kaliflaschen, und das obere Ventil schließt sich. Ueberwiegt durch Senkung der Kaliflaschen umgekehrt der Druck in diesen, so strömt die Luft aus den Kaliflaschen in die von oben in den Bogen mündende Röhre, das untere Ventil schließt sich. Also strömt die Luft durch die von unten einmündende Röhre in die Kaliflaschen, durch die von oben einmündende aus den Flaschen heraus.

Diese vier Rohre gehen nun zum Atemraum, der aus einem Kessel aus Eisen in Gestalt eines liegenden Zylinders besteht, und zwar in der Weise, dass an den zwei Enden des Zylinders oben die zwei unten in die Bogen einmündenden und unten die zwei oben in die Bogen einmündenden Rohre einlaufen.

Wenn der Motor in Bewegung gesetzt wird, so wird abwechselnd durch die obere Oeffnung am einen Ende des Zylinders Luft aus dem Atemraum angesaugt und gleichzeitig die aus einem Paar Kaliflaschen kommende Luft am anderen Ende unten eingeblassen. Außerdem

1) Zeitschrift für physiol. Chemie, XIX, 1894.

bringt die Anordnung der Ventile den Vorteil mit sich, dass die aus den Kaliflaschen fortgeführte Luft nicht durch dasselbe Rohr in den Atemraum zurückgekehrt, durch das sie ihn verließ.

Die so erreichte viel kräftigere Ventilation ermöglicht eine viel vollkommener Kohlendioxidabsorption in den großen Kaliflaschen.

Gegen das Regnault-Reiset'sche Verfahren machte man geltend, der Atemraum könne nicht luftdicht abgeschlossen werden. Man schloss das daraus, dass in seinem Inneren im Verlaufe des Versuches die Stickstoffmenge zunahm; da sich aber die Stickstoffmengen in den Einnahmen und Ausgaben des Versuchstieres als gleich groß erwiesen, so könne nur Stickstoff aus der umgebenden Atmosphäre eingedrungen sein. Hoppe-Seyler glaubt jedoch, dass die geringe Stickstoffzunahme daher rühre, dass durch die Sperrflüssigkeit des Sauerstoffgasometers Stickstoff der Atmosphäre in den Sauerstoff diffundiere und mit diesem durch das Zuleitungsrohr in den Atemraum gelange. Um diese Fehlerquelle nach Möglichkeit zu beseitigen, veränderte Hoppe-Seyler das Gasometer. Er versah sowohl die Glocke desselben, in der sich der Sauerstoff befindet, wie den Behälter für die Sperrflüssigkeit mit doppelten Wänden. Nun taucht die äußere Glockenwand in den Raum zwischen äußerer und innerer Behälterwand, der auch Sperrflüssigkeit enthält. Wird jetzt in den Raum zwischen den zwei Glockenwänden ebenfalls Sauerstoff gebracht, so gelangt die geringe Menge Stickstoff der atmosphärischen Luft, die durch die Sperrflüssigkeit hindurchdiffundiert, erst in den Sauerstoff, der sich im Raum zwischen den zwei Glockenwänden befindet. Aus diesem kann von dem Stickstoff dann durch abermaliges Passieren der Sperrflüssigkeit ein Teil in den inneren Glockenraum gelangen, der allein mit dem Atemraum kommuniziert. Das können aber immer nur Spuren sein, weil der Partialdruck des Stickstoffs im Sauerstoff zwischen den Glockenwänden nur äußerst gering ist. Die Glocke könnte sich nun aber nicht zur Austreibung des Sauerstoffs in den Atemraum in dem Behälter senken, weil sonst der Sauerstoff zwischen ihren Wänden komprimiert werden müsste. Darum ist noch ein zweites Gasometer aufgestellt, das mit dem Raum zwischen den Glockenwänden verbunden ist und aus diesem beim Sinken der Glocke den Sauerstoff aufnimmt.

Vor und nach der Ausführung eines Versuches wird der Sauerstoff im Atemraum und im Gasometer, die Kohlensäure im Atemraum und in der Kalilauge quantitativ bestimmt, die Person gewogen und Temperatur und Luftdruck gemessen.

Eine Reihe von Versuchen ergab, dass während der ganzen Dauer des Versuchs der Sauerstoffgehalt der Luft im Atemraum annähernd gleich groß bleibt, die Kohlensäuremenge indessen beträchtlich (bis zu 7%) zunimmt. Trotzdem haben die Personen, die zum Experimente dienten, weder dadurch irgend welche Beschwerden gehabt, noch durch die sich anhäufenden Exhalationsprodukte, die nicht durch Verbrennen entfernt wurden.

Da Rosenthal bei seinen kalorimetrischen Untersuchungen in die Lage kam, auch den respiratorischen Gaswechsel zu untersuchen, so hat er die beiden bisher angewandten Methoden (die von Pettenkofer und die von Regnault und Reiset) seinem Apparate anzupassen gesucht¹⁾.

1) J. Rosenthal, Kalorimetrische Untersuchungen. Archiv f. Anatomie und Physiologie, Physiol. Abteilung, 1894.

Durch geringfügige Veränderungen in seiner Anordnung können die Respirationsprodukte entweder nach der einen oder nach der anderen bestimmt werden. Die Luft wird in beiden Fällen so geleitet, dass sie von hinten in den Tierraum eintritt, am vorderen Rande umbiegt und zwischen diesem und der eigentlichen Kalorimeterwand wieder nach hinten zieht, um durch eine zweite Röhre, mit den Respirationsprodukten beladen, abzuziehen. Der größere Bruchteil der austretenden Luft wird von einer Wasserstrahlpumpe durch eine Gasuhr gesogen, einen kleineren saugt eine Quecksilberpumpe, die durch einen Motor in Bewegung gehalten wird, durch ein gewogenes Chlorcalciumrohr, das sämtliches Wasser zurückhält, drückt ihn dann durch ein Rohr mit feuchten Bimssteinstücken, von da durch mehrere Flaschen und eine Pettenkofer'sche Röhre, die mit titriertem Barytwasser gefüllt sind, und endlich durch eine kleine Gasuhr hindurch. Nach Beendigung des Versuches wird das Chlorcalciumrohr gewogen und der Titer eines Teiles des Barytwassers bestimmt, nachdem sich das Bariumkarbonat abgesetzt hat.

Bei einer Ventilation von 200 l in der Stunde steigt der Kohlensäuregehalt der Luft im Kalorimeter höchstens auf 1,35 %.

Soll das Regnault-Reiset'sche Verfahren in Anwendung kommen, so wird der gesamten aus dem Kalorimeter abgesogenen Luft Wasser und Kohlensäure vollkommen entzogen und dieselbe sodann in das Kalorimeter zurückgeleitet. Zu diesem Zweck strömt das aus dem Kalorimeter abgesaugte Gas zunächst zur Wasserabgabe durch ein mit Bimsstein-Schwefelsäure beschicktes Gefäß. Die Leitung gabelt sich alsdann; in jeden Zweig sind je zwei Kaliflaschen eingeschoben. Um die Kohlensäure möglichst vollkommen zu absorbieren, strömt die Luft durch versilberte Siebe in die Kalilauge ein und perlt durch diese hindurch. Etwa aus der Kalilauge mitgerissenes Wasser wird in weiteren mit Bimsstein und Schwefelsäure gefüllten Röhren zurückgehalten. Die Ansaugung erfolgt hier durch zwei Quecksilberpumpen. Jede derselben besteht aus zwei mit einander kommunizierenden Glasgefäßen, welche zur Hälfte mit Quecksilber beschickt sind. Durch den schon erwähnten, auch bei der Anordnung nach Pettenkofer benutzten kleinen Motor, der durch eine Wasserluftpumpe in Bewegung gesetzt wird, wird bewirkt, dass das Quecksilber abwechselnd auf- und abgeht. So entstehen zwei abwechselnd wirkende Saug- und Druckpumpen, durch welche die Luft ohne Pause aus dem Kalorimeter abgesaugt und wieder in dasselbe hineingedrückt wird. Damit bei Ausdehnung eines Versuches über einen größeren Zeitraum die Kaliflaschen nicht mit Kohlensäure überladen werden, kann das ganze System von Absorptionsgefäßen durch Drehung passender Hähne plötzlich ausgeschaltet und durch ein neues ersetzt werden. Die von Kohlensäure und Wasser befreite Luft wird in einem Sammelrohr vereinigt, durch das sie in das Kalorimeter zurückkehrt. Der Gasverlust wird ersetzt durch aus einem Gasometer unter konstantem Druck nachströmenden Sauerstoff, dessen Druck und Temperatur gemessen werden.

Um sich über die Zuverlässigkeit der Messungen mit seinem Apparat zu unterrichten, hat Rosenthal denselben vorher sorgfältig geprüft. Er verbrannte innerhalb des Kalorimeters Substanzen, deren chemische Konstitution bekannt ist, und deren Verbrennungsprodukte, die möglichst nur aus Kohlensäure und Wasser bestehen sollten, berechenbar sind. Rosenthal ver-

wandte hierzu in einer Reihe von Versuchen Alkohol, der sich in einer mit Baumwolldocht versehenen Glasflasche befand, in einer anderen Reihe Olivenöl, das annähernd die Zusammensetzung des Trioleinglyzerids hat; es wurde in einer gewöhnlichen Nachtlampe mit Schwimmerdocht verbrannt.

In der Mehrzahl der Versuche fand Rosenthal erheblich weniger Wasser, als bei der Verbrennung gebildet worden war, bei den Alkoholversuchen 50,53—91,37^o/_o, bei den Oelversuchen 59,75—88^o/_o der berechneten Menge. Dies hat seinen Grund darin, dass ein Teil des Wassers bereits im Kalorimeter kondensiert wird und sich dadurch der Berechnung entzieht. Je stärker die Ventilation und je höher die Temperatur im Kalorimeterraum ist, desto weniger Wasser wird kondensiert; das beweist ein bei höherer Temperatur ausgeführter Versuch, der 100,7^o/_o Wasser ergab. Bei Tierversuchen darf man aber so hohe Temperaturen nicht zur Anwendung bringen. Die Verbindung der Respirationsversuche mit kalorimetrischen nötigt daher, auf eine genaue Bestimmung des von dem Tiere abgegebenen Wassers zu verzichten. Annähernd kann man jedoch die Menge desselben aus dem Anfangs- und Endgewicht des Tieres und dem Gewicht seiner Einnahmen und Ausgaben berechnen.

Die Bestimmung der Kohlensäure gelingt dagegen sehr gut. Beispielsweise war bei gut gelungenen Versuchen mit Oelverbrennung die gefundene Kohlensäuremenge um weniger als 1^o/_o geringer als die berechnete. Die Sauerstoffmenge gab in der Regel um 2,5^o/_o zu große Werte, wahrscheinlich infolge eines Mangels im Sauerstoffgasometer. Rosenthal hofft diesen Fehler noch beseitigen zu können.

Wie schon früher bemerkt wurde, müssen bei dem Verfahren nach Regnault und Reiset zu Anfang und zu Ende des Versuchs Luftproben aus dem Tierraum entnommen und etwaige Aenderungen in der Zusammensetzung der Luft in Rechnung gezogen werden. Für die hierzu notwendigen Luftanalysen hat Rosenthal einen Apparat konstruiert, welcher in kurzer Zeit die Kohlensäure und den Sauerstoff bis auf $\frac{1}{100}$ Kubikzentimeter zu messen gestattet.

R. H.

Sigm. Schenkling, Nomenclator coleopterologicus.

Eine etymologische Erklärung sämtlicher Gattungs- und Artnamen der Käfer des deutschen Faunengebietes. 12^o. 224 S. Frankfurt a/M. H. Bechold 1894.

Da die Entomologie vielfach von Laien und auch solchen, die keine lateinischen Sprachstudien durchgemacht haben, mit Erfolg betrieben wird, so sind Hilfsmittel, wie sie in diesem Büchlein für die Käferkunde geboten werden, von Nutzen. Neben den alphabetisch geordneten Uebersetzungen und Erklärungen aller Gattungs- und Artnamen enthält es auch die Erklärung anderer in der Coleopterologie vorkommender Wörter, Ortsnamen, kurze Nachrichten über Autoren, ferner ein Verzeichnis der gebräuchlichen deutschen Käfernamen und ein Autorenverzeichnis. Es kann daher denjenigen, welche sich mit Käferstudien abgeben, empfohlen werden.

P.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1895

Band/Volume: [15](#)

Autor(en)/Author(s): Anonymos

Artikel/Article: [Methoden zur Messung des respiratorischen Gaswechsels. 650-655](#)