

## Die Bestimmung der Wasserdampfausscheidung in Verbindung mit dem Jaquet'schen Respirationsapparat.

Von

**Rudolf Staehelin.**

Bei vielen Stoffwechselversuchen ist es wünschbar, auch die vom Versuchsindividuum dampfförmig ausgeschiedene Wassermenge zu kennen, da die Wasserdampfabgabe eine wichtige Rolle im Wärmehaushalt des Organismus spielt und sowohl beim gesunden als auch beim kranken Menschen noch recht wenig untersucht ist. Ich habe deshalb versucht, an dem von Jaquet konstruierten Respirationsapparat<sup>1)</sup>, der der medizinischen Klinik zu Basel gehört, eine Vorrichtung zum Zweck der Wasserbestimmung anzubringen. Durch die Möglichkeit, neben Kohlensäureproduktion und Sauerstoffkonsum auch noch die Wasserdampfabgabe zu bestimmen, wird der Kreis der Aufgaben, die durch den Jaquet'schen Apparat gelöst werden können, wesentlich erweitert.

Anfangs versuchte ich die Wasserdampfabgabe in der Weise zu bestimmen, dass ich in der Luft vor und nach dem Durchtritt durch die Respirationskammer den Wassergehalt feststellte.

Zuerst verfuhr ich in Untersuchungen, die ich zusammen mit Herrn Dr. Ernst Hagenbach und Herrn Dr.

---

<sup>1)</sup> Jaquet, ein neuer Apparat zur Untersuchung des respiratorischen Stoffwechsels des Menschen. Verhandl. der Nat. Ges. in Basel. Bd. 15. S. 252.

Nager ausführte, in der Weise, dass ich Luftproben mit Hilfe einer Mariotte'schen Flasche durch Chlorcalciumröhrchen langsam absog. Die Gewichtszunahme des Chlorcalciumröhrchens zeigte den Wassergehalt an, die abgesaugte Luftmenge wurde durch Wägen der vollen und der leeren Flasche unter Berücksichtigung der Temperatur und des Unterdrucks in der Flasche bestimmt. Die Methode erwies sich aber als unpraktisch. Die Berechnung ist sehr umständlich, und es ist schwierig, bei derartigen Versuchen, bei denen man eine Menge anderer Arbeit zu verrichten hat, die Wägungen mit der nötigen Genauigkeit vorzunehmen. Wir haben daher die viel einfachere Methode gewählt, dass wir die Feuchtigkeit der Luft mit einem Saussure'schen Hygrometer bestimmten. Den Herren Prof. Albrecht Burckhardt und Prof. A. Riggenbach möchte ich auch an dieser Stelle für die Überlassung der Instrumente danken. Aber auch damit machten wir keine befriedigenden Erfahrungen.<sup>1)</sup> Die Kontrollversuche mit Verbrennung von Alkohol und Paraffinkerzen ergaben Differenzen der gefundenen Wassermengen gegenüber den berechneten von über 10%. Dagegen waren diese Fehler nicht gross genug um das Resultat der Kohlensäure- und Sauerstoffbestimmung zu beeinträchtigen. Wir erhielten

		berechnet	gefunden	Differenz	
12. VII 1905	CO <sub>2</sub>	21,668	21,142	-0,526	= -2,43%
	O <sub>2</sub>	23,371	23,92	+0,55	= +2,35%
17. VII 1905	CO <sub>2</sub>	82,224	79,524	-2,700	= -3,28%
	O <sub>2</sub>	90,764	93,975	+3,211	= +3,54%

---

<sup>1)</sup> Dass mit Haarhygrometern genaue Resultate erreicht werden können, haben Rubner und seine Schüler erwiesen und Schwenkenbecher hat es bestätigt (Schwenkenbecher, Deutsches Archiv für klinische Medizin. Bd. 79. S. 61).

Ich muss hier bemerken, dass sich bei diesen Versuchen die Notwendigkeit einer kleinen Abänderung an der Jaquetschen Anordnung erwiesen hat, indem es besser ist, die Gasuhr statt mit Wasser mit Vaselineöl zu füllen. Es hat sich nämlich gezeigt, dass die Luft, die in die Gasuhr eintritt, nie vollkommen mit Wasserdampf gesättigt ist, sondern dass die Feuchtigkeit oft nur 60 bis 80% beträgt. Wenn nun in 2 Stunden 24 m<sup>3</sup> Luft von 60% Sättigung bei einer Temperatur von 16° die mit Wasser gefüllte Gasuhr passiert, so können 130 cm<sup>3</sup> Wasser verdunsten, der Luftraum, der ursprünglich 10 Liter beträgt, wird dadurch um 1,3% zunehmen und es entsteht ein Ablesungsfehler von 1,3%. Steigt die Temperatur auf 20°, so beträgt bei gleicher Sättigung und gleicher Ventilation der Ablesungsfehler sogar über 3%. Durch die Füllung der Gasuhr mit einer Flüssigkeit, die Wasser weder aufnimmt noch abgibt, wird dieser Fehler vermieden. Freilich muss dann der Wassergehalt der durchgesogenen Luft bei der Reduktion auf 0°,760 mm und Trockenheit in Betracht gezogen werden, und die Berechnung gestaltet sich dadurch ziemlich kompliziert.

Diejenige Methode der Wasserbestimmung, die ich zuerst in Versuchen mit Dr. Falta und Dr. Grote anwandte und mit der ich die besten Resultate erzielt habe, war mir von Geh.-Rat Hempel in Dresden empfohlen worden. Sie besteht darin, dass man die Luft sowohl vor dem Eintritt in den Respirationskasten als auch nach dem Austritt aus demselben durch starke Abkühlung vollständig von Wasser befreit. Die Luft tritt dann trocken in den Kasten ein, und das durch die zweite Kühlvorrichtung niedergeschlagene Wasser stellt das ganze vom Versuchsindividuum dampfförmig abgegebene Wasser dar und kann direkt gewogen werden. Aus dieser zweiten Kühlvorrichtung wird die Luft in die Gasuhr

geleitet, und die Reduktion des abgelesenen Luftvolums auf 0° und 760 mm Quecksilberdruck gestaltet sich nun, da die Luft trocken ist, relativ einfach.

Die Kondensation des Wassers findet in Gefässen statt, die in einer Kältemischung (Eis und Kochsalz) stehen. Diese Kondensationsgefässe müssen natürlich so beschaffen sein, dass sie auf Dezigramme genau gewogen werden können, und dass eine möglichst grosse abkühlende Oberfläche mit der Luft in Berührung kommt, ohne dass der Luft ein Widerstand gesetzt wird. Die Gefässe, deren ich mich mit gutem Erfolge bediente, sind aus Messingrohr von 22 mm Durchmesser hergestellt. Der zuführende Schenkel verläuft gerade nach abwärts und endigt unten in einem kleinen etwas weiteren Wasser-sack. Nahe dem unteren Ende ist seitlich der abführende Schenkel angesetzt. Er verläuft in 3 Windungen gleichmässig ansteigend nach oben und endigt nach aufwärts gebogen in gleicher Höhe wie der zuführende Schenkel. Die Höhe des ganzen Gefässes beträgt 36 cm, der Durchmesser 23 cm. Die freien Enden werden durch Schlauchstücke mit der Luftleitung verbunden und für die Wägung mit Gummipfropfen verschlossen. Das Metall oxydiert sich zwar allmählich etwas, aber es hat sich gezeigt, dass auch durch mehrere Versuche das Gewicht der trockenen Gefässe nicht um ein Dezigramm verändert wird.

Die Grundbedingung für die Anwendung dieser Methode ist, dass das Wasser wirklich vollständig niedergeschlagen wird. Das ist nun bei der starken Ventilation tatsächlich nicht ganz der Fall. Der Fehler wird aber korrigiert, wenn man die Luft nach dem Passieren der Kondensationsgefässe durch Chlorcalcium leitet. Ich benützte als Chlorcalciumsgefässe 55 cm lange Cylinder aus möglichst dünnem Glas, die auf der einen Seite zu-

geschmolzen, auf der andern durch einen Gummipfropf verschlossen waren. Durch den Gummipfropf ging ein Glasrohr mit 22 mm innerem Durchmesser, das zur Zuführung der Luft diente. Die Abstromöffnung befand sich nahe dem Boden des Gefässes, wo ein ebenfalls 22 mm weites Glasrohr seitlich eingeschmolzen war. Versuche haben ergeben, dass die Luft nach dem Passieren der 2 Gefässe in der Tat trocken ist. Während zweier Versuche wurden 20 Liter Luft aus der Öffnung, die zum Absaugen der Luftproben an der Gasuhr dient, langsam durch ein gewogenes Chlorcalciumröhrchen geleitet. Beide male zeigte das Chlorcalcium keine Gewichtszunahme.

Die Einrichtung muss im Einzelnen so getroffen werden, dass der Luftstrom nirgends grössere Widerstände findet, da sonst leicht Undichtigkeiten entstehen und Zimmerluft mitgesaugt wird. Deshalb müssen überall die Rohrverbindungen möglichst weit (nicht unter 22 mm Durchmesser) genommen werden; die Gummischlauchverbindungen sind auf das Notwendigste zu reduzieren; das Chlorcalcium muss recht grobkörnig sein und häufig erneuert werden. Es gelang durch diese Vorsichtsmassregeln die Widerstände so gering zu gestalten, dass der negative Druck in der Gasuhr, also am Ende des ganzen Systems, 3 cm Wasser nicht überschreitet. Nur bei sehr langen Versuchsperioden kann sich das Messingrohr durch Eisbildung verstopfen, so dass der Widerstand wächst. Wir haben deshalb in solchen Fällen die Luft zuerst durch eine Glasflasche, die ebenfalls in einer Kältemischung stand, geleitet. In dieser wurde die Hauptmenge des Wassers kondensiert und nachher schlug sich im Schlangengefäss nichtmehr zu viel Wasser nieder. Diese doppelte Vorlage haben wir seither für die Trocknung der atmosphärischen Luft immer angewandt, so dass dort eine Auswechslung der Vorlage nie nötig ist.

Kontrollversuche mit Verbrennung von Kerzen, deren Zusammensetzung bestimmt wurde, ergaben befriedigende Resultate, namentlich bei Verwendung des Kastens für Tiere, der in der gemeinschaftlich mit Falta und Grote ausgeführten Arbeit benützt wurde und an anderem Orte beschrieben ist. <sup>1)</sup>

#### Gramm Wasser

	berechnet	gefunden	Differenz	= %
15. II. 1906	23,9	24,5	+ 0,6	= + 2,5
3. III.	65,6	64,9	- 0,7	= - 1,1
5. III.	56,9	56,3	- 0,6	= - 1,1
12. III.	54,5	55,3	+ 0,8	= + 1,5
24. III.	97,1	96,6	- 0,5	= - 0,5
25. VI.	96,1	96,2	+ 0,1	= + 0,1

Die Versuche wurden in der Weise angestellt, dass die gewogenen Kerzen im Apparat aufgestellt wurden und dann erst eine Stunde lang trockene Luft durch den Apparat gesaugt wurde. Dann wurden die Kerzen ohne Eröffnung des Kastens mit Hilfe des Leuchtkörpers einer Nernst-Lampe, dessen Kabel in einem Messingrohr durch die Thermometer-Öffnung des Kastens gut eingedichtet nach aussen ging, angezündet und später durch die Abflussöffnung mittelst eines dicht eingeführten Rohrs ausgeblasen. Nach dem Löschen ging die Ventilation noch eine Stunde weiter, so dass der im Kasten befindliche Wasserdampf für die Bestimmung gewonnen werden konnte.

Weniger genau waren die Resultate bei der Benützung des Kastens für Menschen. Der Kasten hat eine grosse Oberfläche und enthält ziemlich viel Holz und andere Bestandteile, die Wasser absorbieren können. Man kann deshalb den Kasten nicht vor und nach dem

<sup>1)</sup> Falta, Grote und Staehelin, Hofmeisters Beiträge zur chemischen Physiologie und Pathologie. Bd. 9.

Verbrennen der Kerze trocknen und das ganze produzierte Wasser gewinnen, sondern man kann nur berechnen, wie viel Wasser in der Stunde produziert wurde, und dann, wenn Produktion und Abfuhr des Wasserdampfes sich auf ein konstantes Verhältnis eingestellt haben, also etwa von der 3. Stunde an, die stündliche Abfuhr des Wassers bestimmen. Ich erhielt dabei:

	berech. pro Stunde	gefunden	Differenz	= %
1. XII. 1906	20,1 g	19,1	-- 1,0 g	— 5,0
8. XII.	11,55 „	12,2	+ 0,65 „	+ 5,6
14. XII.	16,54 „	15,9	— 0,6 „	— 3,6
21. XII.	22,4 „	23,4	+ 1,0 „	+ 4,5

Bei Versuchen mit Menschen müssen selbstverständlich die Kleider, Kissen, Tücher etc., die in den Apparat gebracht werden, vorher und nachher gewogen werden, und die Gewichtszunahme ist zur gefundenen Wassermenge zu addieren. In 12 Stunden habe ich bisweilen mehrere 100 g Wasser in Kleidern und Bettwerk erhalten.

Um die Wasserdampfausscheidung in kürzeren Perioden untersuchen zu können, müssen das Kondensationsgefäß, das Chlorcalciumrohr und deren Verbindungsrohr doppelt vorhanden sein. Vor Beginn einer neuen Periode werden die leeren miteinander verbundenen Gefäße unmittelbar neben den eingeschalteten bereit gestellt, dann ist die Umschaltung in wenigen Sekunden bewerkstelligt.

Da nun diese Methode der Wasserbestimmung eine Änderung des Jaquetschen Apparates bedeutet, die die Genauigkeit der Kohlensäure- und Sauerstoffbestimmung modifizieren könnte, habe ich Kontrollversuche mit Verbrennung von Kerzen bekannter Zusammensetzung in gleicher Weise, wie bei der Wasserbestimmung beschrieben, angestellt.

	berechnet	gefunden	Differenz	= %
1. mit dem Kasten f. Tiere	gCO <sub>2</sub> 232,8	228,9	— 3,9	= — 1,7
24. III. 1906	O <sub>2</sub> 245,5	241,9	— 3,6	= — 1,4
25. VI. 1906	CO <sub>2</sub> 230,4	226,3	— 4,1	= — 1,8
	O <sub>2</sub> 242,9	238,2	— 4,7	= — 1,9
2. mit dem Kast. f. Menschen	CO <sub>2</sub> 179,9	177,0	— 2,89	= — 1,7
8. XII 1906	O <sub>2</sub> 189,7	186,0	— 3,68	= — 1,9

So genaue Resultate erzielt man aber nur, wenn man sowohl bei den Ablesungen als auch bei den Gasanalysen mit grösster Genauigkeit vorgeht. Was die *Ablesungen* des Gasuhrstandes, der Temperatur, des Barometerstandes und des negativen Drucks betrifft, so genügt es, sie zweimal in der Stunde vorzunehmen. Auch bei den Kontrollversuchen wurden nur halbstündliche Ablesungen gemacht. Bei den *Gasanalysen* sind besonders zwei Punkte zu berücksichtigen. Erstens müssen von allen Luftproben doppelte Analysen angestellt werden. Bei solchen Vorsichtsmassregeln, die eine einzelne Analyse nicht über 30—40 Minuten ausdehnen, gelingt es zwar meist, eine solche Übereinstimmung der beiden Kohlensäure- und Sauerstoffbestimmungen zu erhalten, dass die Differenz 0,01% nicht übersteigt. Aber bisweilen kommen doch ohne erkennbare Ursachen grössere Differenzen vor. In einer Versuchsreihe mit 73 Luftproben war ich beispielsweise genötigt, 6 mal eine dritte Bestimmung vorzunehmen, weil die Differenz der beiden ersten grösser als 0,01 war. Eine Genauigkeit bis auf 0,01% ist deshalb nötig, weil der Kohlensäuregehalt und das Sauerstoffdefizit häufig nur 0,5% betragen und daher ein Fehler von 0,02% schon 4% ausmacht. Der zweite Punkt betrifft *die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft*. Diese zeigt, namentlich in ihrem Gehalt an *Sauerstoff* so erhebliche Schwankungen, dass es nicht



angeht, einfach mit Mittelwerten zu rechnen. Ich habe unter 51 Analysen der atmosphärischen Luft in Basel, deren Mittel 20,90% betrug, nur 22 mal den Mittelwert beobachtet; 2 mal war der O<sub>2</sub>gehalt geringer als 20,89, 8 mal grösser als 20,91%. Die extremsten Werte waren 20,875 und 20,94%. Geringer waren die Differenzen im *Kohlensäuregehalt*. Als Mittel von 51 Analysen erhielt ich 0,035%, nur 5 mal Zahlen über 0,4% mit 0,055 als höchstem Wert<sup>1)</sup>. Diese Differenzen, namentlich des Sauerstoffgehaltes sind so gross, dass es nötig ist bei jedem Versuch zum mindesten Stichproben der atmosphärischen Luft zu untersuchen.

---

<sup>1)</sup> Die Analysen der atmosphärischen Luft, die ich im Lauf der Versuche auszuführen genötigt war, sollen in extenso in der meteorologischen Zeitschrift veröffentlicht werden.

---

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1908

Band/Volume: [19\\_1908](#)

Autor(en)/Author(s): Staehelin Rudolf

Artikel/Article: [Die Bestimmung der Wasserdampfausscheidung in Verbindung mit dem Jaquet'schen Respirationsapparat 100-108](#)