

Über die Maassbestimmung der Athmungsgase durch ein neues Verfahren.

Von

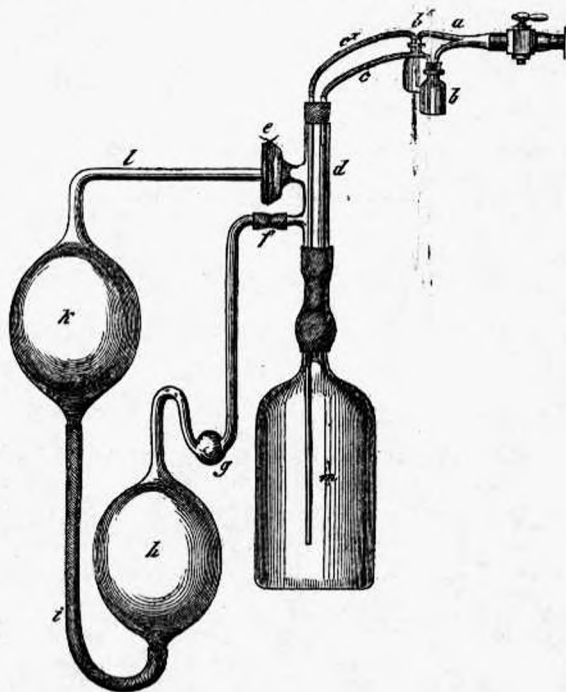
Dr. N. Kowalewsky.

Ueber die Athmung, ein in der Zeit veränderlicher Vorgang, kann man nur dadurch einen genügenden Aufschluss erhalten, dass man ihre mit der Zeit veränderlichen Werthe bestimmen lernt. Das Ideal, welches der Methodik vorschweben muss, besteht in graphischer Aufzeichnung des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlensäurebildung. Von diesem Ziele sind wir noch weit entfernt. Zur Auffindung zahlreicher Thatsachen würde aber auch schon ein Verfahren behilflich sein, welches erlaubte, die in mehreren Minuten verbrauchten und gebildeten O- und CO₂ mengen genau anzugeben.

Für die Kohlensäure konnte diese Forderung schon seit lange befriedigt werden; anders aber steht es mit dem Sauerstoff. Professor Ludwig zeigte mir das Modell eines kleinen Apparates, der auch dem letztern Bedürfniss abhelfen sollte; ich übernahm auf seine Aufforderung gern einige Versuche mit demselben, um ihn auf seine Brauchbarkeit zu prüfen. Das Resultat dieser Beobachtungen lege ich in Folgendem nieder.

Das neue Verfahren macht Gebrauch von einem durch Regnault und Reiset zuerst angewendeten Prinzip, bei welchem bekanntlich die Grösse des Athmungsraumes unverändert erhalten wird. Unter dieser Bedingung ist die Athmung nur dann möglich, wenn die ausgeathmete Kohlensäure fortwährend von einem Absorbenten aufgenommen und das verschwundene Sauerstoffgas durch neu hinzutretendes ersetzt wird. Die Abänderung, welche das Verfahren der französischen Gelehrten in dem neuen Apparate erfahren hat, besteht eines Theils darin, dass derselbe nicht für die totale, sondern nur für die Lungen-

athmung bestimmt ist und ausserdem ist die Regulirung des Druckes in dem Athmungsraume auf eine neue Weise hergestellt. Die nachstehende Zeichnung wird am besten dazu dienen können, um den Plan und seine Ausführung zu erläutern.



Mit der Luftröhre in Verbindung steht ein Gabelrohr *a*, die Zweige der Gabel münden je in ein Ventil, von denen eins nur den Ausathmungs-, das andere nur den Einathmungsstrom durchlässt. Die Röhren *c* und *c'*, welche aus diesen Ventilen hervorgehen, durchbohren einen Gummistopfen, welcher die obere Oeffnung eines kurzen etwa 20 Millimeter langen Glasrohres *d* schliesst. Diesem Glasstück wollen wir den Namen »Sauerstoffregulator« geben. Aus ihm gehen unter rechten Winkeln zwei kurze 5 Millimeter weite Glasröhrchen etwa in der Mitte seiner Länge hervor; eins derselben *e* mündet in eine Erweiterung, welche durch eine dünne Kautschukhaut verschlossen ist; an dem anderen *f* steckt ein entsprechend weiter Kaut-

schukschlauch. Dieser letztere läuft mittelst des Zwischenstücks *g* in die mit Sauerstoff gefüllte Flasche *h* aus. In die Oeffnung, welche am Boden der Flasche enthalten ist, geht der heberförmig gebogene Kautschukschlauch *i*, dessen aufsteigender Schenkel mit einer Oeffnung in Verbindung steht, welche den Boden der Wasserflasche *k* durchbohrt. Aus der oberen Oeffnung dieser letzteren Flasche geht ein rechtwinkelig gebogenes Glasrohr *l* ab. Der Rand, welchen die freie Oeffnung des Rohrs *l* umgibt, ist glatt abgeschliffen und die Wasserflasche ist so gestellt, dass jener Rand an der Kautschukplatte anliegt, welche die Erweiterung bei *e* verschliesst. Ehe ich das Spiel dieses Stückes schildere, will ich zuerst noch die Beschreibung des Apparates vollenden. An dem unteren offenen Ende des Sauerstoffregulators *d* steckt mittelst eines Kautschukschlaches die Kaliflasche *m*. Von den beiden Röhrchen *c* und *c'* endet *c*, welches zum Einathmungsventil führt, kurz unter dem Kautschukpfropfen in den Sauerstoffregulator, das andere *c'* führt dagegen bis in die Mitte der Kaliflasche *m*. Um diesem längern Rohr die nöthige Beweglichkeit zu ertheilen, ist es aus zwei Stücken, die durch ein Kautschukrohr verbunden sind, zusammengesetzt; dieses Gelenk befindet sich noch innerhalb des Sauerstoffregulators. — Die Wirkungen der einzelnen Stücke des Apparates ist leicht zu erkennen. Gelangt durch das Ausathmungsrohr Kohlensäure in die Kaliflasche, so wird dieselbe dort absorbiert werden und zwar um so rascher, je lebhafter das Kali geschüttelt wird. Dieses ist möglich, weil das Zuleitungsrohr sowohl als die Kaliflasche durch Kautschukgelenke mit den feststehenden Theilen des Apparates verbunden sind. Nehmen wir ferner an, es wäre durch das Einathmungsrohr Luft aus dem Sauerstoffregulator und der anhängenden Kaliflasche entfernt, so wird die Kautschukplatte, welche über der Erweiterung *e* gespannt ist, eingezogen; hierdurch wird sich die freie Oeffnung der rechtwinkligen Röhre, welche aus der Wasserflasche hervor geht, mit der Atmosphäre in Verbindung setzen, und es wird in Folge dessen aus der Flasche *k* so lange Wasser in den Sauerstoffbehälter *h* und also auch in den Sauerstoffregulator *d* einfließen, bis die Luft innerhalb des Regulators wieder so weit gespannt ist, dass sich die Kautschukplatte an die freie Mündung des Wasserbehälters anlegt. Von diesem Moment an wird Wasserabfluss und Sauerstoffzutritt beendet sein. Vorausgesetzt,

es sei das Gas, welches im Beginn der Versuche im Ventile, dem Regulator und der Kaliflasche enthalten war, atmosphärische Luft gewesen, so würde, wenn das Thier weder Stickstoff verbraucht noch ausgegeben hätte, die Zusammensetzung der Luft während der ganzen Dauer des Versuches unverändert geblieben sein, da die gebildete Kohlensäure fortwährend absorbiert und der verbrauchte Sauerstoff fortwährend wieder ersetzt wird. Um die Menge der Kohlensäure zu finden, welche während der Versuchszeit ausgehaucht wurde, hat man nur nöthig, die Kohlensäure zu messen, welche das Kali vor und nach Beendigung des Versuchs enthielt. Dieses hat bekanntlich keine Schwierigkeit. Die Menge des verbrauchten Sauerstoffes kann man noch directer finden durch Ablesen des Wasserstandes im Sauerstoffrohr vor und nach Beendigung des Versuchs. Da der Druck und die Temperatur des Sauerstoffes zu beiden Zeiten unverändert geblieben ist, so wird die Genauigkeit seiner Bestimmung nur von der Sicherheit der Ablesung im Rohr abhängen. — Etwas umständlicher wird die Bestimmung, wenn sich die Zusammensetzung der Luft im Athmungsraum während des Versuchs ändert. Dies wird allerdings der häufigere Fall sein, da sich weder der Stickstoff bei der Athmung vollkommen indifferent hält, noch auch das zum Versuch verwendete Sauerstoffgas vollkommen rein ist. In diesem Falle muss auch noch eine Luftprobe aus dem Athmungsraume herausgenommen und analysirt werden. Die procentische Zusammensetzung dieser Probe gibt die gesammte Menge von Sauerstoff, welche zu Ende des Versuchs im Athmungsraume enthalten ist, wenn das Volumen des letzteren bekannt war. Der Fehler, welcher durch die Aenderung der Temperatur in diese Bestimmung eingeführt ist, dürfte zu vernachlässigen sein, wenn man durch geeignete Mittel dafür sorgt, dass das an und für sich kleine Luftvolumen im Athmungsraum möglichst annähernd auf der Temperatur der Atmosphäre erhalten wird.

Damit, dass wir die ausgehauchten und eingenommenen Gasmengen bequem zu bestimmen vermögen, ist aber unsere Aufgabe noch nicht gelöst; sie wird es dann sein, wenn sich nachweisen lässt, dass der Apparat dem Thiere gestattet die ganze Kohlensäuremenge auszuhauchen, welche es während des Versuches bildete. — Die thierischen Flüssigkeiten, und insbesondere die alkalisch reagirenden, sind im Stande viel Kohlen-

säure zu absorbiren, wenn der Kohlensäuregehalt der Luft in den Athmungswegen zunimmt. Dieses Anwachsen der CO_2 kann aber nur dann umgangen werden, wenn die Luft, welche das Thier einathmet, vollkommen kohlensäurefrei ist, und wenn die Lunge jederzeit mit Leichtigkeit ihren Inhalt entleeren kann.

Die erste dieser Bedingungen war, wie ich glaube, in meinen Versuchen erfüllt; denn der Raum, welcher zwischen der Luftröhrenöffnung und den Ventilen lag, war kaum so gross als der, welcher sich am unverletzten Thier vom ersten Orte bis zur Nasenmündung erstreckt, also konnte sich hier keine Luft bei der Ausathmung anhäufen, welche die darauf folgende Einathmung in die Lunge zurückgeführt hätte. Das Anwachsen der Kohlensäure im Athmungsraum jenseits der Ventile ist leicht zu verhindern, wenn man die Ausathmungsluft bis nahe über dem Spiegel des flüssigen Absorbenten führt und wenn man eine starke, frisch bereitete Kalilauge anwendet und die Kohlensäureabsorption durch fleissiges Schütteln derselben befördert.

Die andere Bedingung, die widerstandsfreie Entleerung der Lunge, konnte dagegen in dem benutzten Apparat nicht erfüllt werden, da die Wasserventile und jedenfalls auch das kleine Volumen des Athemraums der In- und Expiration Hindernisse bieten. Um diesen Widerstand wegzuschaffen, könnte man in erster Linie daran denken die Ventile ganz zu beseitigen und die Luftröhre mittelst eines weiteren Verbindungsstückes so gleich an den Sauerstoffregulator anzufügen. Führt man diesen Gedanken aus, so tritt alsbald Dyspnoe ein, die bei Anwesenheit der Ventile nicht vorhanden war. Der Grund hierfür liegt offenbar darin, dass sich nun die Kohlensäure vor und in der Luftröhre anhäuft, theils weil die soeben ausgeathmete Luft so gleich wieder eingeathmet wird und theils, weil die ausgeathmete Luft zu weit vom Kali entfernt ist, um rasch von ihrer Kohlensäure befreit werden zu können.

Unsern gegenwärtigen Vorstellungen gemäss bewirken nun die Widerstände, welche sich der freien Bewegung der Luft entgegenwerfen, zunächst eine Verminderung der Athemzüge. Daraus folgt nun freilich noch nicht, dass auch zugleich die Ausscheidung der CO_2 beeinträchtigt werde. Denn die berühmten Versuche Vierordt's haben bekanntlich dargethan, dass innerhalb kürzerer Zeitgrenzen die Menge der ausgehauchten CO_2 nur dann in Folge einer seltener wiederkehrenden Athem-

bewegung herabgesetzt werde, wenn nicht durch eine vermehrte Tiefe der letztern der Umfang des Gasaustausches wieder ausgeglichen wurde. Da nun in dem vorliegenden Apparate die unvermeidlichen Hindernisse so klein als irgend möglich gemacht waren, so hoffte ich, es würde aus ihnen kein wesentlicher Fehler erwachsen. Dieses hat sich nun freilich nicht bestätigt.

In die Bestimmung des Sauerstoffs bringt dagegen das neue Verfahren, soweit meine Einsicht reicht, keinen principiellen Fehler hinein.

Ich theile nun sogleich die Resultate der Versuche mit, welche ich mit dem neuen Apparate ausführte. Ich gebe sie tabellarisch, da sie ihrer Einfachheit wegen keiner besonderen Erläuterung bedürfen.

	Zahl der Ath- mungen in 1 Min.	Ver- zehr- ter Sauer- stoff in 4 M.	Ausgeschie- dene Koh- len- säure in 4 M.	$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$	Versuchsdauer in Minuten	Bemerkungen.
I. Gewicht des Thiers 1630 Gr.						
Nach d. Trachealschnitt	77	—	—	—	—	
Nach der Verbindung mit den Ventilen	73	—	—	—	—	
Athmen in atmosph. Luft	66. 69	12.61	—	—	16	
Athmen in Sauerstoff						
ins Freie	88	—	—	—	—	
in den Apparat	66. 62	11.74	5.02	0.43	16	
Athmen in atmosph. Luft	63	10.65	4.67	0.44	16	Leichte Bewegungen
II. Gew. d. Thiers 1230 Gr.						
Nach Verbindung mit den Ventilen	104	—	—	—	—	
Atmosphärische Luft	55. 85	20.06	9.94	0.30	10	Das Einathmungsrohr tauchte gegen das Kali, das Ausathmungsrohr gegen den Sauerstoff.
Athmung in Sauerstoff						
ins Freie	125	—	—	—	16	
in den Apparat	101. 85	12.25	5.02	0.44	—	Einige Bewegungen.
III. Gew. d. Thiers 1825 Gr.						
Vor dem Versuch mit Kohl- blättern gefüttert.						
Vor dem Versuch mit den Ventilen	110	—	—	—	—	
Nach der Verbindung	174. 172	—	—	—	—	
Atmosphärische Luft	78. 69	12.85	6.80	0.49	16	Einige Bewegungen.
Athmung in Sauerstoff						
ins Freie	173. 169	—	—	—	—	
in den Apparat	66. 54	16.17	—	+	14	Ruhe.

	Zahl der Ath- mungen in 4 Min.	Ver- zehr- ter Sauer- stoff in 4 M.	Ausge- schie- dene Koh- len- säure in 4 M.	$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$	Versuchsdauer in Minuten	Bemerkungen.
IV. Gew. d. Thiers 1330 Gr. Mit Rübe gefüttert, danach 1520 Gr. Nach Verbindung mit den Ventilen	36	—	—	—	—	
In atmosphärischer Luft	34 u. 36	11.59	5.53	0.48	20	
In atmosphärischer Luft	47	—	—	—	—	
Während des Tetanus. .	43.39	14.21	7.20	0.51	48	3 Min. lang waren die bei- den unteren Extremitäten durch Inductions- schläge tetanisirt.
V. Gew. d. Thiers 1395 Gr. Vor dem Versuch in at- mosphärischer Luft .	70	—	—	—	—	
Sauerstoff ins Freie . . .	116	—	—	—	—	
in den Apparat .	81.78	11.06	6.62	0.60	16	
ins Freie	68	—	—	—	—	
in den Apparat .	71	—	9.18	—	3½	Starke Bewegungen.
ins Freie	80	—	—	—	—	
in den Apparat .	41	—	2.09	—	—	Die aorta abdominalis abgeklammert.

Um zu beurtheilen, welches Vertrauen die vorstehenden Versuche verdienen, wird es am besten sein, sie mit andern zu vergleichen, bei welchen das Kaninchen in freier Luft athmete.

1. Kohlensäure. Seit der ausgedehnten Versuchsreihe von Regnault und Reiset steht es für die Athmung der Grasfresser fest, dass der Sauerstoff, welchen sie mit der Kohlensäure aushauchen, nahezu gleich dem ist, welchen sie aus der Einathmungsluft eingenommen. Von dieser Regel weichen nun meine Beobachtungen sehr beträchtlich ab, wie dieses die Zahlen erkennen lassen, die im vierten Stabe der vorstehenden Tabelle eingezeichnet sind. Nur in einem Fall erreicht die Verhältnisszahl zwischen dem verschwundenen und dem wieder ausgegebenen Sauerstoff den Werth von 0,6, während sie sich in den übrigen zwischen 0,4 und 0,5 hält. Da kein Grund einzusehen ist, warum meine Beobachtungsthier sich anders als alle übrigen Kaninchen verhalten sollten, so ist es wahrscheinlich, dass mein Verfahren, die Athemgase zu gewinnen, den Verlust herbeigeführt hat.

Unter der Voraussetzung, dass diese Annahme richtig

wäre, gibt es zwei Möglichkeiten, um den eingetretenen Verlust zu erklären. Entweder es ist im Leibe des Thieres wirklich so viel Kohlensäure gebildet worden, als es dem eingeathmeten Sauerstoff nach möglich gewesen wäre, dann würde die Kohlensäure in Folge ihrer Anhäufung im Lungenraum von dem Blute, beziehungsweise den Gewebsflüssigkeiten zurückbehalten worden sein. Diese Vorstellung wollen wir zunächst festhalten und verfolgen. Um aber den weiteren Betrachtungen eine Unterlage zu geben, will ich aus der vorstehenden Tabelle zunächst die Werthe berechnen und zusammenstellen, welche dazu nöthig sind.

Nr. des Versuchs	Körpergewicht	Während des Versuchs zurückgehaltenes Kohlensäurevolumen in CC bei 0° u. 4 M. Hg.	Volumen der CO ₂ des Körpervolumen. Das spec. Gewicht des Thiers = Wasser	Zahl der Athemzüge im Apparat, die in freier Luft = 1 gesetzt.	Wirkliche Verminderung der Zahl der Athmungen in 4 Minute.
I. 1.	{ 1630 Gr. }	407 CC.	0.065	0.80 u. 0.75	17—21
I. 2.		96	0.059	0.76	20
II. 1.	{ 1230 }	111	0.090	0.53 u. 0.82	49—19
II. 2.		115	0.099	0.81 u. 0.68	24—40
III.	1825	96	0.053	0.45 u. 0.44	96—103
IV. 1.	{ 1330 }	121	0.091	0.86 u. 1.00	5—0
IV. 2.		126	0.095	0.94 u. 0.83	14—8
V.	1829	52	0.039	0.70 u. 0.67	35—38

Die Zahlen, welche in der dritten Reihe stehen, sind natürlich unter der Voraussetzung berechnet, dass der aufgenommene Sauerstoff einzig und allein zur Bildung von Kohlensäure verwendet sei, alle übrigen Angaben der Tabelle sind an und für sich verständlich.

Die vorstehenden Zahlen führen nun zu folgenden Erörterungen.

Zunächst ist es auffallend, dass eine so grosse Menge von CO₂ zurückgehalten sein soll. Bei dem bekannten Verhalten des Bluts gegen die CO₂ und in Anbetracht der geringen Blutmenge des Kaninchens kann es keinem Zweifel unterliegen, dass das CO₂quantum, dessen Absorption wir unterstellen, nicht bloss vom Blut, sondern auch von allen andern Körperbestandtheilen beherbergt worden sei. — Ein Anwachsen des

CO₂gehaltes in dem Thierleibe bis zu 10 Procent seines Umfangs und dazu noch in so kurzer Zeit würde, wie ich glaube, unsere ganze Annahme sehr unwahrscheinlich machen, wenn wir nicht schon aus den Versuchen von W. Müller wüssten, dass sich ein Kaninchen bis zu 50 Procent seines Volumens mit CO₂ von 0° und 1 Met. Hg. und zwar in kurzer Zeit schwängern kann, und dass das Thier, bevor sein Körper diesen CO₂gehalt erreicht, keine merklichen Zeichen von Vergiftung darbietet. Nach diesen Erfahrungen gehört der erste der logisch möglichen Erklärungsversuche allerdings nicht mehr zu den factisch unmöglichen.

Folgt man also der Anhäufungshypothese, so würde sich durch ihre Zusammenstellung mit anderen mehr oder weniger beglaubigten Vorstellungen noch Einiges andere ergeben. — Die CO₂, welche zurückgehalten wird, kann nicht frei sein, sondern sie muss im gebundenen Zustande verharren; denn ohne dieses wäre es unerklärlich, warum sie, die doch ein Dyspnoe erzeugendes Mittel sein soll, die Athembewegung nicht alsbald soweit steigerte, dass sich die normale Ventilation wiederherstellte. Wollte man aber, wie es bekanntlich geschieht, die bewegungsanregende Eigenschaft der CO₂ nicht gelten lassen, so würde man das genannte Gas dennoch als gebunden betrachten müssen, weil sich trotz jener Ansammlung die Spannung desselben nicht wesentlich gemehrt hat. Wäre dieses geschehen, so hätte die Ausathmungsluft alsbald ihren CO₂gehalt soweit vergrössern müssen, dass hierdurch trotz des verminderten Volums der Expiration das Gleichgewicht zwischen Ausscheidung und Entstehung der CO₂ wieder hergestellt würde. Ein solches Gleichgewicht stellt sich bekanntlich schliesslich immer her, wenn die Aushauchung der CO₂ innerhalb gewisser Grenzen gehemmt wird. Hierfür sprechen ebensowohl die Versuche von Valentin mit Durchschneidung beider nervi vagi, als auch die von Regnault und Reiset, in welchen die Thiere in einer Luft athmeten, die mehrere Procente CO₂ enthielt. Obwohl die Ausscheidung der CO₂ in dem erstern Fall durch die Minderung der Athemzüge gehemmt wurde und in dem zweiten durch den Gegendruck des CO₂antheils der Atmosphäre, so war doch in beiden allmählig das Verhältniss zwischen aufgenommenem O und ausgeschiedener CO₂ das normale geworden.

Dafür, dass die angehäuften CO₂ durch irgend welchen

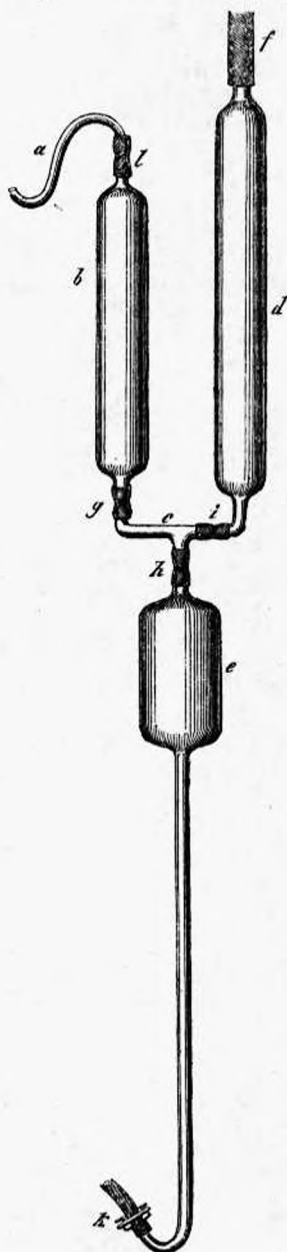
Absorbenten gebunden wird, spricht endlich der Umstand, dass eine so grosse Menge von CO_2 zurückgehalten wurde, trotzdem dass die Athemzüge noch so häufig waren. So wurden z. B. in den Beob. II zwischen 85 und 100 Athemzüge in der Minute ausgeführt und dennoch ward weniger als die Hälfte der CO_2 ausgehaucht, als man nach dem eingenommenen Sauerstoff hätte erwarten sollen. Wie wäre es möglich dieses Ergebniss ohne ein Bindungsmittel der CO_2 zu erklären?

Aus dieser kurzen Andeutung wird man, wie ich glaube, ersehen, dass durch die mitgetheilten Versuche neue Fragen über den Mechanismus der CO_2 -abscheidung angeregt sind und dass sich der einfachsten Annahme immerhin noch Schwierigkeiten genug entgegensetzen, um den andern Erklärungsgrund meiner Resultate als vollkommen beseitigt anzusehen. In der That muss man noch immer auf die Möglichkeit gefasst sein, dass bei gehemmter Ausscheidung der CO_2 innerhalb gewisser Grenzen auch ihre Entstehung gehemmt werde.

2. Sauerstoff. Mit der Bestimmung dieses Gases steht es, soweit ich vergleichen konnte, besser als mit derjenigen der Kohlensäure. Die Zahlen, die ich für ein Kilo Thier gefunden, schliessen sich denjenigen anderer Beobachter an; der Grund hierfür mag darin gelegen sein, dass die Sauerstoffaufnahme in geringerem Grade vom äusseren Druck dieses Gases beeinflusst wird, als der Austausch der Kohlensäure. Bestätigte sich bei weiteren Untersuchungen dieses Ergebniss, so würde die neue Methode schon aus diesem Grunde eine werthvollere Bereicherung unserer Hilfsmittel abgeben.

Eine bis zu den Einzelheiten herabsteigende Beschreibung des von mir angewendeten Apparats und seines Gebrauchs unterlasse ich; da der meine mit Ausnahme des Sauerstoffregulators nur aus Glasgefässen zusammengesetzt war, wie sie sich in jedem Laboratorium finden, so war er natürlich kein mustergiltiger und verdient darum keine besondere Beschreibung. Jeder in Gasuntersuchungen nur einigermaßen Geübte wird die hier nöthigen Einrichtungen leicht treffen können.

Dagegen halte ich es für angemessen, die von mir in Anwendung gezogene CO_2 -bestimmung genauer zu beschreiben. — Die physiologischen Bedingungen des Versuchs liessen es mir nothwendig erscheinen eine concentrirte Kalilösung als Absorbent der Kohlensäure in Anwendung zu bringen. Zu dem Ende bereitete ich mir eine concentrirte Kalilauge aus reinem kohlensauren Kali, hob dieselbe mit Anwendung bekannter Vor-



sichtsmassregeln sorgfältig auf und ermittelte in einem gegebenen Gewicht derselben den Kohlensäuregehalt. Von dieser Lösung brachte ich eine genau abgewogene Menge unmittelbar vor dem Versuch in das Athmungsrohr und bestimmte nachträglich aus der ganzen in Anwendung gezogenen Kaliflüssigkeit abermals die Kohlensäure. Offenbar wäre es fehlerhaft gewesen, nur einen Theil der Kalilauge, welche nach dem Versuche vorhanden war, zur Kohlensäurebestimmung zu benutzen; denn es musste sich das Volumen der Kalilösung durch das Wasser beträchtlich vermehrt haben, welches dieselbe aus der Athmungsluft und aus dem feuchten Sauerstoff des Ersatzgefässes verdichtet hatte. Dieser Umstand, verbunden mit der bekannten Erfahrung, dass die Kohlensäurebestimmung der Kalilösung durch Gewichtsanalyse zu keiner grossen Genauigkeit führe, bewogen mich, die Kohlensäure volumenometrisch zu bestimmen; die etwas grössere Mühe, die mit dieser Bestimmungsweise verbunden war, übernahm ich gern, weil es ja vor Allem darauf ankommen musste, zu ermitteln, bis zu welchem Grad von Genauigkeit die Bestimmung der expirirten Kohlensäure durch den neuen Apparat gefunden werden konnte. Die Einrichtung, mittelst welcher ich die Kohlensäurevolumina ausmittelte, war eine Modification der Ludwig'schen Gaspumpe. Ich gebe hier eine kurze Beschreibung derselben.

In der neuen Gestalt besteht die Gaspumpe (s. Holzschn.) ebenfalls aus einer Gabel, die auf einem langen Stiel sitzt; sie ist zusammengesetzt aus fünf Stücken, welche durch luftdichten Kautschuk luftdicht mit einander verbunden sind. Das Stück (b) trägt an seinem oberen engen Theil die feine umgebogene Röhre (a), welche in ein nebenstehendes Quecksilber-

gefäß eingetaucht werden kann. Das Stück (*b*) steht mit seiner unteren Verengung, welche übrigens die oberen an Weite übertrifft, an dem T förmigen Röhrenstück (*c*). Der andere horizontal liegende Schenkel dieses T förmigen Stücks ist nicht wie der eben erwähnte nach aufwärts gebogen, sondern läuft einfach horizontal weiter, an ihn stößt die Röhre (*d*), welche sich ihrer Form nach nur dadurch von (*b*) unterscheidet, dass ihr unterer verengter Ansatz unter einem stumpfen Winkel gebogen ist. Der senkrechte Schenkel von *c* geht gegen den Stiel, welcher bei *e* zu einer Kugel aufgeblasen ist, deren Räumlichkeit etwa der des Rohrs (*b*) gleichkommt. Der lange von der Kugel ausgehende Stiel ist unten etwas umgebogen und kann ebenso durch einen Kautschuk und Klemme verschlossen werden, wie die freien Mündungen von *b* und *d*. Um die Kugel *e* ist ein nicht gezeichnetes Blechgefäß wasserdicht angesetzt, in welchem durch eine untergeschobene Lampe Wasser zum Sieden gebracht werden kann. — Bei Benutzung dieses Werkzeugs kommt nun Folgendes in Betracht: Um die gesamte Kalimenge aus dem Athemapparat in die Pumpe überzuführen, ist es am einfachsten ein Stück der letztern als Absorptionsrohre beim Athmen zu benutzen; — hiezu wird dann am besten das Stück *b* verwendet. Ausser dieser ersten Bedingung sind noch folgende andere zu erfüllen; es muss das Quecksilber des Apparats und die Kalilauge von aller anhängenden und absorbirten atmosphärischen Luft befreit werden; ist dieses geschehen, so muss man die nothwendige Menge SO_2 in den Apparat bringen können, ohne ihren Inhalt wieder mit Luft zu verunreinigen, und endlich muss das Gemisch aus Kali und Säure so lange in der Kälte und Wärme ausgekocht und der leere Raum über ihm so oft erneuert werden, bis kein Gas mehr zu gewinnen ist.

Hiezu dient nun die nachstehende Reihe von Operationen. Bevor das Stück *b* an die Quecksilberzunge gesetzt wird füllt man den ganzen Apparat mit Quecksilber und entfernt aus ihm jede Luft aus. Dieses ist zu erreichen, weil man durch passendes Schliessen der Klemmen bei *f*, *g*, *h* und Oeffnen von *k* in jedem einzelnen Theile des Apparats einen luftleeren Raum erzeugen kann, in welchen die Luftblasen aufsteigen, die in dem Quecksilber enthalten sind. Ist dies geschehen, so wird durch die Oeffnung *f* das fehlende Quecksilber nachgegossen, nachdem man zuvor die Klemme bei *g* und *i* geschlossen hat. Hierauf nimmt man bei *g* den Kautschuk ab und setzt an seine Stelle denjenigen, welcher mit dem Kalirohr in Verbindung ist, mit anderen Worten, man fügt das bis dahin am Athemapparate befindliche und zuvor geschlossene Kalirohr an die Pumpe. Alsdann schliesst man die Klemme bei (*g*), steckt einen mit Quecksilber gefüllten Trichter luftdicht in den Kautschuk bei *f*, öffnet nun vorsichtig die Klemme bei *g* und treibt hierdurch die Kaliflüssigkeit in dem Schenkel *b* soweit empor, bis sie in seinem obern engen Theil angelangt ist; alsdann schliesst man die Klemme bei *a* und bei *g*, öffnet *h* und *k* und lässt durch *k* so lange Quecksilber ausfließen, bis sämtliches Kali

in die Kugel *e* getreten ist. Erwärmt man nun jetzt das Wasser in dem Blechgefäß um *e*, so kocht alle Luft, welche das Kali enthält, in den drüberstehenden luftleeren Raum *b* ab. Nachdem man das Kochen 15 Minuten hindurch fortgesetzt hat, schliesst man *h*, öffnet *f* und lässt aus dem aufgesetzten Trichter durch *d* hindurch so lange Quecksilber nach *b* fließen; zugleich öffnet man die Klemme *l* und treibt durch diese Oeffnung die in *b* enthaltene Luft aus. Dann schliesst man *f* und *l*, öffnet *k* und *h*, erzeugt von Neuem den luftleeren Raum, kocht abermals das Kali, schliesst dann wiederum *k* und *h*, öffnet *g* und treibt bei verschlossenem *l* Quecksilber in *b*; bleibt jetzt, nach dem sich *b* mit Quecksilber gefüllt hat, keine Luftblase mehr übrig, so ist die Kalilauge von ihrer atmosphärischen Luft befreit. Wenn dieses nach der zweiten oder dritten Operation bewerkstelligt ist, so lässt man die Kalilauge in das Rohr *b* aufsteigen, was einfach dadurch geschieht, dass man die Klemme *g* und *h* öffnet und *i* schliesst, in Folge dessen sich das Quecksilber gegen das Kali austauscht; nun schliesst man *g* und setzt auf *f* einen mit verdünnter und ausgekochter Schwefelsäure gefüllten Trichter. Werden nun *n* *i* *k* geöffnet, so fließt die Säure hinter dem Quecksilber in *d* ein; während noch die Säure fließt, klemmt man erst *k* und dann *i* und endlich *f* ab. Dann setzt man das mit Quecksilber gefüllte Röhrchen *a* bei *l* ein und taucht sein freies Ende unter eine mit Quecksilber gefüllte Messglocke; alsdann lässt man durch Oeffnen der entsprechenden Klemmen das Kali in die Kugel fließen, so dass in *b* ein luftleerer Raum entsteht, füllt wieder etwas Quecksilber durch *d* in *b* ein und neigt in dem Gelenke *i* das Stück soweit nach abwärts, dass die Säure in *b* aufsteigt, schliesst *g*, öffnet *i*, wobei die Klemme *h* geschlossen bleibt. In Folge hievon kommt die Säure mit Kali in Berührung; die hierbei sich entwickelnde Kohlensäure lässt man sogleich durch das geöffnete *l* in die Messglocke übersteigen. Nachdem die Gasentwicklung in der Kälte nicht weiter fortschreitet, erwärmt man das Gemenge von Kali und Säure in *e* und treibt so oft durch den wieder aufgerichteten Schenkel *d* mit Hilfe von eingegossenem Quecksilber das Gas aufwärts, als sich noch eine Spur desselben aus der Kalilauge entwickeln lässt. Die in die Messglocke übergetretene Gasmenge kann man dort unter bekannten Vorsichtsmassregeln ablesen und durch Kali auf ihre Reinheit prüfen. Diese Bestimmung der Kohlensäure ist sehr genau, wovon ich mich durch zahlreiche Versuche mit krystallisirtem kohlen-saurem Natron überzeugt habe. Besonders mache ich jedoch darauf aufmerksam, dass das Kali keine salpetersauren Salze enthalten darf, weil sich unter diesen Umständen Stickoxyd bildet, wodurch die Menge der gefundenen Kohlensäure zu gross ausfällt. Ich brauche kaum hinzuzufügen, dass meine Angaben über die Art und Weise, wie der beschriebene CO₂ apparat benutzt werden soll, nur auf diejenigen berechnet ist, welche mit den gasanalytischen Methoden vertraut sind.
