

Der respiratorische Gasaustausch bei grossen Temperaturänderungen.

Von

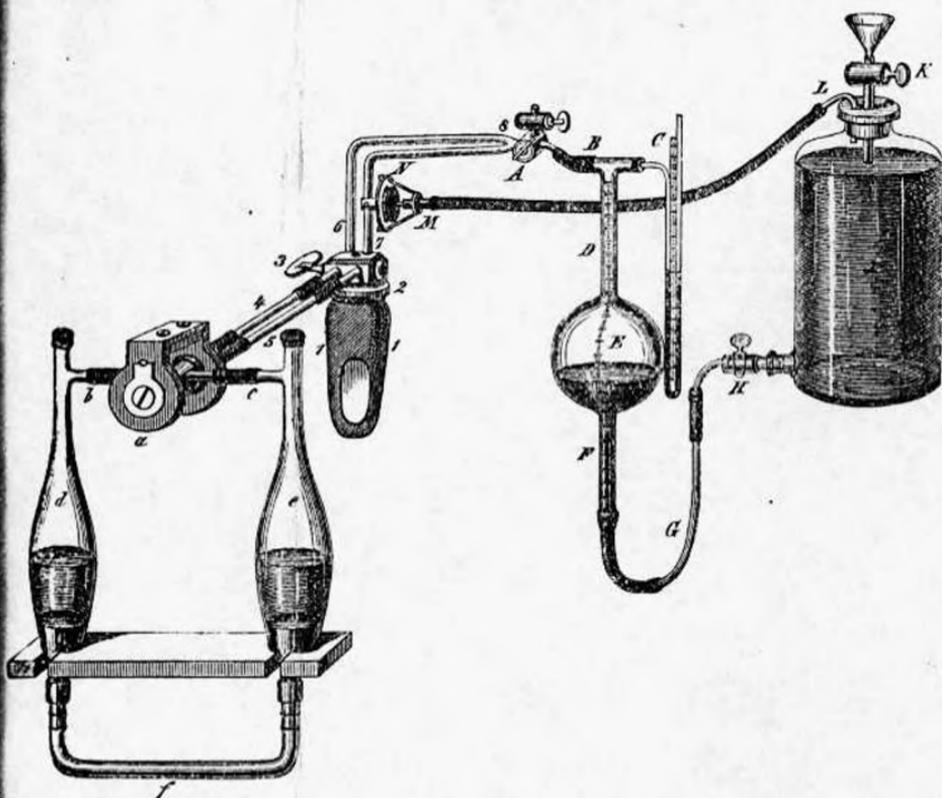
Dr. H. Sanders-Ezn.

(Mit einem Holzschnitt und einer Tafel.)

Schon zweimal wurde im Laboratorium des Prof. *Ludwig* der Versuch gemacht, den zeitlichen Verlauf der Lungenathmung genauer, als bisher geschehen, aufzufassen. Das erste von *Szcelkow* beschriebene Verfahren war genau, aber umständlich; das andere von *Kowalewsky* veröffentlichte war zwar sehr einfach zu handhaben, aber es liess die berechnete Einwirkung zu, dass es den Gang der Gasausscheidung durch Hemmung der Athembewegungen störe. — Ganz neuerlich ist nun dieser letztere Apparat so abgeändert worden, dass derselbe von dem obengenannten Fehler befreit und ausserdem befähigt ist, an das unverletzte Thier angesetzt zu werden, so dass eine beliebige Zahl von Versuchen mit demselben Individuum vorgenommen werden kann. Nach einer entsprechenden Vergrösserung seiner Dimensionen liesse er sich auch bequem zu Versuchen am Menschen verwenden. In jener neuen Gestalt besteht der Apparat aus einer Schnauzenkappe, durch welche das Thier mit dem Athmungsapparat verbunden wird, den Absorptionskugeln für CO_2 , und der Einrichtung für den Ersatz des verbrauchten Sauerstoffs. Mit diesem Apparate habe ich unter Mitwirkung von Prof. *C. Ludwig* einige Versuche angestellt.

Um die Uebersicht über die getroffenen Einrichtungen zu erleichtern, werde ich dieselben zunächst mit Hülfe des umstehenden Schemas erläutern.

Um die einzelnen vorhin erwähnten Abtheilungen sogleich kenntlich zu machen, ist in dem beistehenden Holzschnitt die



Abtheilung für den Ersatz des Sauerstoffs mit grossen Lettern, das Verbindungsstück zwischen dem Thier und dem Athmungsraum mit Zahlen, und die Abtheilung für die Absorption der CO_2 mit kleinen Lettern bezeichnet.

Das Verbindungsstück besteht aus einer Schnauzenkappe (1) von Kautschuk, die an eine Messingscheibe (2) luftdicht angepasst ist. Diese Scheibe trägt auf der Seite, welche von der Schnauzenkappe abgewendet ist, einen Hahn von Messing (3), dessen mehrfache Durchbohrungen so eingerichtet sind, dass der hohle Raum der Kappe nach Belieben bald mit dem Athmungsraum und bald mit der atmosphärischen Luft in Verbindung gesetzt werden kann. Von der Schnauzenkappe, beziehungsweise von ihrer Deckplatte entspringen vier Röhren.

Zwei derselben (4. 5) gehen aus dem Hahn (3) in der Richtung gegen die Absorptionskugeln hervor. Innerhalb des Hahns läuft die Lichtung der einen Röhre (4) unter einem rechten Winkel nach unten, so dass sie frei in den Hohlraum der Kappe mündet: die andere (5) liegt dagegen in entgegengesetzter Richtung, also nach oben. Beide Röhren (4. 5) durchsetzen auf ihrem Wege nach den Absorptionskugeln zunächst den Hahn (*a*), indem sie getrennt durch seinen Kern verlaufen, in diesem rechtwinkelig umbiegen und nun jederseits in die Röhren *bc* übergehen, welche aus der Hülse des Hahns entspringen. Da diese Hülse um ihren auf zwei Lagern ruhenden Kern drehbar ist, so können um die Mündungen von 4 und 5 die Ausläufer *bc* des Kugelapparats *def* bewegt werden. Der Hohlraum der eben genannten Abtheilung ist mit Luft, Barytlösung und Quecksilber und zwar in der Art ausgefüllt, dass etwa die Hälfte des Inhalts von Luft und der Rest von Barytlösung und Quecksilber ausgefüllt wird. Hierdurch sind also die Lufträume beider Kugeln von einander abgeschlossen. Bei der Drehung muss dieser Abschluss immer gewahrt bleiben, eine Forderung, durch welche die Grenze der Excursionen für die Drehung in dem Hahn *a* bestimmt wird.

Von der Schnauzenkappe aus erstrecken sich die beiden andern (6. 7) der dort abgehenden Röhren nach der Sauerstoffkugel hin. Die beiden Röhren (6. 7) sind als die Fortsetzungen von 4. 5 anzusehen, und zwar so, dass 6, welche die Fortsetzung von 4 bildet, unmittelbar aus dem Luftraume der Kappe hervorgeht, ohne mit dem Hahn 3 in weitere Berührung zu kommen. Die Röhre 7 dagegen, welche 5 fortsetzt, kommt aus dem Hahne hervor und setzt sich unmittelbar vor das Ende von 5; ihre Lichtung steht also in keiner unmittelbaren Verbindung mit dem Hohlraum der Kappe. — Die beiden Röhren 6. 7 laufen auf ihrem weitem Wege parallel und vereinigen sich bei 8 zu einer gemeinsamen Röhre, welche die Ausflussmündung der Sauerstoffkugel aufnimmt.

Der Sinn der bisher beschriebenen Einrichtung ist leicht zu verstehen. Denken wir uns die freie Mündung der Schnauzenkappe verschlossen, und erinnern wir uns, dass die Kugeln (*de*) um eine Axe drehbar sind, welche senkrecht auf der Ebene steht, in welcher die Röhren liegen, welche von den Kugelgefäßen abgehen. Wird die Drehung ausgeführt, wobei die

eine der beiden Kugeln empor- und die andere absteigt, so wird das Quecksilber aus der höher gestellten in die tiefere Kugel hinübertreten, und dem entsprechend wird ein Luftstrom durch die Kappe bis zum Ort des Sauerstoffeintritts (8) und von da durch das zweite Röhrenpaar (7. 5) bis in die andere Kugel dringen. Durch wechselndes Senken und Heben der Kugeln wird man also in jeder der beiden Röhren bald einen Strom vom CO_2 -Absorbenten aus zum Ort des Sauerstoffeintritts bald auch in entgegengesetzter Richtung hervorrufen können. Dadurch wird die Luft in der Kappe fortwährend erneuert.

Indem ich es der später folgenden genauern Beschreibung des Apparats überlasse, anzugeben, wie die eben erwähnte Drehung der Kugeln auszuführen sei, bemerke ich hier nur noch, dass durch die beschriebene Ventilation rasch jeder CO_2 -Gehalt der bewegten Luft durch den Absorbenten entfernt werden muss.

Der Theil des Apparats, welcher zum Ersatz des Sauerstoffs dient, besteht zunächst aus einer Kugel *E*, die je nach oben und unten eine Röhre entlässt. Die Röhre *D*, welche nach oben geht, trägt an ihrem Ende ein T-förmiges Stück, dessen eine Mündung *C* durch ein kleines Manometer verschlossen ist, während die andere *B* mittelst eines eingesetzten Hahnes *A* in die gabelförmige Vereinigung der beiden früher beschriebenen Röhren bei 8 übergeht.

Die Mündung der untern Röhre *F*, welche aus der Sauerstoffkugel hervorgeht, steht durch ein gebogenes Rohr *G* mit einer Wasserflasche (*J*) in Verbindung. Diese Flasche trägt folgende Einrichtungen. Der Kautschukkork auf seiner obern Mündung ist doppelt durchbohrt; in der einen Oeffnung sitzt ein Trichter mit einem Hahn *k*, durch ihn kann die Flasche mit Wasser gefüllt werden. In der zweiten Oeffnung des Korks steckt ein rechtwinkelig gebogenes Glasrohr *L*; von dem freien Ende desselben geht ein längerer Kautschukschlauch (*LM*) aus, der an seinem andern Ende über ein kurzes Glasröhrchen gesteckt ist, das in einem Bügel vor einer Kautschukplatte befestigt steht (*N*). Diese Kautschukplatte ist über den Rand eines sehr niedrigen Hohlgefässes von Messing gespannt, und das Röhrchen ist derart gegen die Platte eingestellt, dass seine Mündung verschlossen ist, wenn die Platte in einer Ebene mit dem Messingrande liegt, dass dagegen die Mündung der Röhre geöffnet ist,

wenn die Platte eine auch nur schwache Einbiegung gegen den Hohlraum des Messinggefässes besitzt.

Wir kehren nun zur Flasche zurück. Ueber ihrem Boden ist ein Tubulus *H* eingeschmolzen, der einen Glashahn trägt; jenseits dieses letztern ist eine Kautschukröhre aufgesteckt, welche mit ihm die freie Mündung des gebogenen Rohres *G* verbindet, das von der Sauerstoffkugel nach unten ausgeht.

Dieser Einrichtung der Flasche entsprechend kann, vorausgesetzt, dass der Hahn des Trichters (*K*) geschlossen ist, nur dann Wasser aus ihr in die Sauerstoffkugel übertreten, wenn die Mündung des kleinen Röhrchens, die sich an die Kautschukplatte legt, offen steht. Und der begonnene Ausfluss wird augenblicklich unterbrochen, wenn jene Mündung durch die Kautschukplatte wieder abgeschlossen wird.

In demselben Maasse, in welchem das Wasser zufließt, wird aber auch der Sauerstoff aus der Kugel in den Athmungsraum eintreten. Sowie man demnach den Verschluss der Röhrenmündung bei *M* von dem Druck in dem Athmungsraum abhängig macht, wird auch von diesem der Zufluss des Sauerstoffs geregelt werden. Um diese Abhängigkeit zu bewerkstelligen, genügt es, den Hohlraum des ringförmigen Messinggefässes durch eine Oeffnung mit dem Athmungsraume selbst in der Weise in Verbindung zu setzen, wie es in der Figur zu sehen. Während der Athmung spielt nun der Apparat, der den Sauerstoffzufluss regelt, folgendermassen. Wenn in Folge der Absorption von Sauerstoff durch das Thier und in Folge der CO_2 -Bindung durch den Baryt der Luftdruck im Athmungsraume vermindert ist, so wird die Kautschukplatte eingezogen, und es fließt Wasser aus der Flasche in die Sauerstoffkugel und danach so lange Sauerstoff in den Athmungsraum, bis der Druck dort so hoch gestiegen, dass die Platte die Mündung des Glasrohres wieder verschliesst.

Da das Thier während der Beobachtungszeit seine CO_2 sämmtlich an den Baryt abgibt, und da es seinen Sauerstoff nur aus dem Apparate bezieht; da ferner der Athmungsraum von unveränderlicher Grösse ist, da man den Druck und die Temperatur und auch die procentische Zusammensetzung der Luft in ihm vor und nach den Versuchen bestimmen kann, so hat man von chemischer Seite alle Mittel in der Hand, um die während einer bekannten Versuchszeit aufgenommenen und abgegebenen Gase zu messen.

Die genaue Beschreibung des Apparats, seine Vorrichtung zum Gebrauch, den Gang des Versuchs und die Fehler des Verfahrens werde ich erörtern, nachdem ich vorerst meine damit vorgenommenen Versuche geschildert habe.

Ergebnisse der Versuche. Das beschriebene Verfahren war aus dem Bedürfniss hervorgegangen, die physiologischen Aenderungen des Gasaustausches in seiner Abhängigkeit von den Schwankungen der innern Zustände der Thiere aufzufassen. Hierzu ist es jedoch nur insofern geeignet, als es die zeitlichen Aenderungen des Gasstromes, der durch die Lunge geht, genauer zu ermitteln vermag. Da aber die respiratorische Luftbewegung in den Lungen aus zahlreichen räumlich und functionell getrennten Quellen schöpft, so genügen für die Erkenntniss der letzten Vorgänge, durch welche die Schwankungen des Gasstromes bedingt sind, die Angaben unseres Apparats noch keineswegs. Seine Angaben gewinnen erst dann eine volle Bedeutung, wenn man entweder im Stande ist, während der Messung des Athmungsstromes entweder einzelne Organe oder Organengruppen von der Betheiligung am Gasaustausch auszuschliessen oder über alle andern so mächtig hervorzuheben, dass gegen ihre Thätigkeit die aller übrigen Organe zurücktritt. Oder statt dessen kann man auch alle Organe des Thieres gleichmässig ändern, und zwar in einem so raschen Wechsel, dass man voraussetzen darf, es sei dabei die chemische Anordnung der Organe wesentlich dieselbe geblieben. Diesen zuletzt genannten Weg habe ich bei der zu beschreibenden Versuchsreihe gewählt, indem ich die Thiere in raschem Wechsel bald auf eine höhere, bald auf eine niedere Temperatur brachte.

Die Aenderungen der Temperatur erzeugte ich einfach dadurch, dass ich das Thier in der Rückenlage mit ausgestreckten Beinen in einem Zinkkasten mit doppelten Wänden befestigte und auf denselben einen mit doppelten Wandungen versehenen Zinkdeckel aufsetzte. Der innere Hohlraum des Kastens war so bemessen, dass sich die Zinkwand möglichst eng an das eingeschlossene Thier anpasste, namentlich besass er zwei Aushöhungen für die ausgestreckten Hinterbeine; der einzige Körportheil, welcher aus dem Hohlraume des Kastens hervorragte, war der Kopf, da dieser mit der Schnauzenkappe in Verbindung gebracht werden musste.

Die beiden von den doppelten Wänden umschlossenen

Räume der obern und untern Kastenabtheilung waren durch Röhren mit einander in Verbindung gesetzt und ausserdem ging aus dem Boden und dem Deckel je eine Röhre ins Freie. Die eine von diesen wurde durch einen Kautschukschlauch mit einem grossen Gefäss verbunden, welches Wasser von einer bestimmten Temperatur enthielt, das andere mit einem Kautschukschlauche, welcher in ein auf dem Zimmerboden stehendes Gefäss ausmündete. Mittelst dieser Einrichtung konnte ein Strom beliebig warmen Wassers durch den Hohlraum, den die beiden Wände des Kastens umschlossen, geführt und hierdurch dem engen Luftraume, der das Kaninchen umgab, rasch eine bestimmte und gleichmässige Temperatur ertheilt werden. Diese Letztere war an dem Thermometer abzulesen, dessen Quecksilbergefäss durch den Deckel des Kastens hindurch unmittelbar über dem Fell des Kaninchens stand.

Nach den auf andern Gebieten gesammelten Erfahrungen durfte man erwarten, dass die Wärmeänderung zu verschiedenen Zeiten ungleiche Effecte hervorzurufen vermögend sei; insbesondere war es wahrscheinlich, dass in der Zeit, in welcher die Temperaturänderung innerhalb des Thieres eintrat, der Gasaustausch ein anderer wurde, als zu der Zeit, in welcher sich das Thier der bestehenden Temperatur accommodirt hatte.

Die Temperaturen, welche ich auf das Thier wirken liess, waren im Wesentlichen nur zwei, nämlich die obere und die untere Grenztemperatur, d. h. diejenigen, in welchen das Thier bei längerem Aufenthalt zu Grunde ging. Hierzu waren, wie der Versuch lehrte, Wärmegrade von 4° oder 44° im zufließenden Wasser hinreichend. Es kann nicht auffallen, dass diese Temperaturgrade, welche von dem frei beweglichen Thiere ohne Schaden ertragen werden, in dem Kasten zum Tode desselben führten, da hier die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Temperatur zwischen der Umgebung und dem Thiere ausglich, vermöge der Anordnung des Versuchs eine viel grössere sein musste.

Die nachfolgende Tabelle giebt die an drei Kaninchen in sieben verschiedenen Versuchstagen erhaltenen Beobachtungszahlen.

Nr. u. Gewicht des Kaninchens	Dauer		Zahl der Athemzüge	In der Minute		CO ₂ in Cbc bei 0° u. 4 M. Hg-Druck	CO ₂ / O	Temperatur im Luft- raume	Bemerkungen
	des Versuchs	der Pause		O in Cbc bei 0° u. 4 M. Hg-Druck	CO ₂ in Cbc bei 0° u. 4 M. Hg-Druck				
A.									
1.	13' 45"	—	62	28,91	17,46	0,73	—	9° C.	
132 Gr. 26. März	—	14' 15"	—	—	—	—	—	—	
2.	11' 34"	—	64	26,56	19,79	0,75	—	9° C.	
3.	20' 12"	—	40	15,44	11,47	0,74	—	37,5° C.	
4.	20' 15"	9'	42	14,97	10,23	0,68	—	37,5° C.	
B.									
1.	19' 1"	—	44	16,72	15,12	0,90	—	35,1° C.	
1707 Gr. 3. April	—	25'	—	—	—	—	—	—	
2.	17' 10"	—	48—62	17,59	13,88	0,79	—	38,3° C.	
3.	16' 15"	—	72—84	18,93	16,09	0,85	—	37—39° C.	
4.	13' 15"	—	84	26,46	20,48	0,77	—	38,5° C.	Starke Bewegungen.
5.	9' 35"	—	52—64	30,46	15,57	0,51	—	19,8° C.	

Nr. u. Gewicht des Kaninchens	Dauer		Zahl der Athemzüge	In der Minute		CO ₂ in CbC bei 0° u. 1 M. Hg-Druck	CO ₂ / O	Temperatur im Luft- raume	Bemerkungen	
	des Versuchs	der Pause		O in CbC bei 0° u. 1 M. Hg-Druck	CO ₂ in CbC bei 0° u. 1 M. Hg-Druck					
C. 1590 Gr. 9. April	1.	20'	48—56	27,84	19,85	—	0,71	7,0° C. 6,5—9,5° C.		
	2.	28'	48—53	27,50	20,29	—	0,74	4,4° C.		
	3.	34' 35"	—	50	17,84	13,06	—	3,4° C. 30° C.	Nach dem letzten Ver- suche zeigte sich das Thier sehr hinfallig.	
	4.	12' 40"	—	46	23,65	20,30	—	0,85	35—37° C.	
	5.	9' 10"	—	40	25,62	13,55	—	0,53	38,2° C.	
D. 1. 1660 Gr. 15. April	1.	25'	64—84	16,14	11,96	—	0,74	40° C. 40,0° C.	Nach Beendigung des letzten Versuchs todt in Wärmestarre, Tem- peratur im After 45°.	
	2.	26' 43"	—	20,53	15,51	—	0,75	40,4° C.		
	3.	24' 30"	—	92—116	21,68	17,31	—	0,79	40,4° C.	
A. 1640 Gr. 25. April	1.	20'	44	13,61	11,94	—	0,88	38° C. 38° C.		
	2.	30' 35"	60—88	13,07	11,18	—	0,85	37,5—38,5° C.		
	3.	37' 30"	50	16,94	12,58	—	0,74	7,8° C.	Heftige Bewegungen.	
		28' 17"	—	—	—	—	—	—		

Nach dem letzten Versuche tetanische Bewegungen; nach einem 32 Minut. langen Aufenthalt in der Zimmertemperatur konnte das Thier erst wieder seine gewöhnliche sitzende Stellung annehmen.

Hiervon 80' bei 8° C.
Heftige Bewegung.
Nach Beendigung des letzten Versuchs im After 20°, in d. Scheide 20,5. Tetanische Bewegungen. Nach 25 Minuten die Vorderbeine wieder hergestellt. Die Hinterbeine noch steif, die Hüfte am andern Tage noch gelähmt.

Bewegungen.

Schnarrender Athem.

Schnarr. Respiration, alsbald Tod. Temperatur im After 42,3°.

4.	30'	—	41—50	15,00	12,31	0,84	7,7° C.
5.	12'	—	59	21,83	9,49	0,43	7,5° C.
B.							
1.	25'	—	42	12,39	11,36	—	38,5° C.
1480 Gr.	—	—	32'	—	—	0,92	38,1° C.
2.	24' 10"	—	58,78	12,66	11,49	0,91	38,1° C.
30. Sept.	—	—	38	18,26	14,78	0,84	7,7° C.
3.	16' 40"	—	—	—	—	—	—
4.	19'	—	40—60	16,07	15,27	0,95	6,4—8,2° C.
5.	9' 45"	—	40—64	28,15	13,96	0,50	8° C.
C:							
1.	28'	—	20'	11,15	9,28	—	39,8° C.
1390 Gr.	—	—	112—144	—	—	0,83	39,8° C.
2.	26' 13"	—	30'	—	—	—	—
III.	—	—	66—98	12,02	9,76	0,81	40,3° C.
3.	20'	—	20' 47"	—	—	—	—
4.	—	—	64—96	15,44	12,82	0,83	40,4° C.
5.	20'	—	32'	—	—	—	—
6.	20'	—	80—104	15,56	13,55	0,87	40,9° C.

Aus dieser Gesamtübersicht wollen wir zuerst die Zahlen über CO_2 hervorheben. Auf den ersten Blick scheinen sie in keiner regelmässigen Beziehung zur Wärmeänderung zu stehen. Meine Zahlen würden sich also ähnlich verhalten, wie die meiner Vorgänger auf diesem Gebiete. *Spallanzani*, *Treviranus*, *Marchand* und *Moleschott* fanden, dass mit der steigenden Temperatur die Geschwindigkeit der CO_2 -Ausscheidung wuchs; *Vierordt* und *Letellier* dagegen erhielten das entgegengesetzte Resultat. Dieser Widerspruch dürfte sich jedoch lösen, wenn man bedenkt, dass die erstern Beobachter Kaltblüter oder, besser gesagt, wechselwarme Thiere dem Versuche aussetzten, bei denen mit der steigenden Luftwärme auch die Temperatur ihres Leibes anwuchs. Die beiden zuletzt genannten Beobachter unterwarfen dagegen stetig warme Wesen der Beobachtung, und zwar unter Umständen, dass ihre Eigentemperatur sich unabhängig von ihrer Umgebung erhielt. Bei dieser letzten Lebereigenschaft versteht es sich von selbst, dass mehr Wärme, also auch mehr CO_2 gebildet werden muss, wenn bei sinkender äussern die innere Temperatur auf ihrem unveränderten Stand erhalten werden soll, und dass bei dem umgekehrten Verhalten der äussern Wärme auch das umgekehrte mit der innern eintreten muss. Sonach hat es nichts Auffallendes, dass sogenannte Warmblüter die von *Vierordt* und *Letellier* aufgefundenen Beziehungen der CO_2 -Bildung zur Lufttemperatur darbieten.

Andererseits ist es aber denkbar, dass die CO_2 -Bildung in der umgekehrten Abhängigkeit von der äussern Wärme steht, wenn sich die Temperatur der CO_2 bildenden Substanz des Thieres der äussern Wärme anpasst, mit andern Worten, dass das wärmere Thier mehr CO_2 entwickelt, als das kältere. Hierfür spricht nicht allein der Gegensatz zwischen kalt- und warmblütigen, sondern es sind auch hiermit die Versuche der oben genannten Beobachter im Einklang.

Meine Beobachtungen unterscheiden sich nun von den frühern an Warmblütern angestellten dadurch, dass die Thiere ihre innere Wärme ändern mussten, so dass hierdurch die Kaninchen in die Lage gebracht wurden, in der früher nur die Kaltblüter beobachtet wurden. Sie unterscheiden sich von den ältern Beobachtungen, aber nicht allein durch diesen Umstand, sondern auch noch dadurch, dass die CO_2 -Bildung gemessen

wurde während einer plötzlichen Temperaturänderung. Dieses kann nicht ohne Einfluss geblieben sein; denn die Beobachtungen über Nerven- und Muskelreizbarkeit haben bekanntlich ergeben, dass eine rasch veränderliche Temperatur zum Nerven- und Muskelreiz wird; sie muss sich demnach auch für CO_2 -Ausscheidung wirksam zeigen.

Eine Gruppierung meiner Beobachtungen über CO_2 -Ausscheidung nach den eben hingestellten Grundsätzen scheint nun in der That Licht in dieselben zu bringen. Vergleiche ich das Minutenmittel der CO_2 -Ausscheidung in allen Beobachtungen, die bei über 38°C . ausgeführt wurden, mit denen die unter $+ 8^\circ$ gewonnen sind, so ergibt sich beim Kaninchen I. für die höhern Temperaturen die Zahl 15,50 und für die niedern Temperaturen die Zahl 18,09 und beim Kaninchen II. für die hohen Temperaturen die Zahl 11,49, für die niedern dagegen die Zahl 13,05. Das, was soeben für die Gesamtmittel aus allen höhern und niedern Temperaturen ausgesprochen wurde, gilt auch für die Separatmittel eines Versuchs, insofern vergleichbare Beobachtungen vorhanden sind. Diese Angaben sind also ein Hinweis darauf, dass auch in meinen Beobachtungsthieren die den Warmblütern eigenthümlichen Einrichtungen in den Gang gesetzt wurden, durch welche trotz der wechselnden äussern die innere Wärme auf stetiger Höhe erhalten wird.

Durchaus anders stellt sich dagegen das Ergebniss, wenn man die Zahlen miteinander vergleicht, welche die CO_2 -Ausscheidungen der Minute darbieten, wenn das Thier längere Zeit hindurch in der dasselbe entweder erwärmenden oder abkühlenden Temperatur gehalten wird. Im erstern Falle, wenn also das Thier von der warmen Luft umgeben war, stieg die ausgeschiedene CO_2 -Menge mit der Dauer des Aufenthalts dreimal in vier Beobachtungsreihen nicht unbeträchtlich an. Wenn dagegen das Thier längere Zeit in der kalten Umgebung verweilen musste, so blieb sich in den zwei ersten der aufeinander folgenden Beobachtungen die Menge der ausgeschiedenen CO_2 noch nahezu gleich; wurde dann aber die Einwirkung der kalten Luft (bis zu $1\frac{1}{2}$ Stunde) fortgesetzt, so sank die CO_2 -Ausscheidung ausnahmslos sehr beträchtlich ab. Da das Thermometer, welches im After des Thieres stand, in dem einen Falle eine Erhöhung, in dem andern eine Erniedrigung der Eigentemperatur angegeben hatte, so haben wir hiermit eine Beziehung zwischen

der Eigentemperatur und der CO_2 -Bildung zu Gesicht bekommen, wie sie alle auf *Spallanzani* folgende Beobachter an den Kaltblütern aufgedeckt haben.

Es erübrigt uns nun noch, den Gang der CO_2 -Ausscheidung darzustellen, wenn eine plötzliche Aenderung der Temperatur eintrat. Stieg die Wärme von 9 oder 4° plötzlich auf 37 oder 35°, so sank die CO_2 -Ausscheidung um ein sehr beträchtliches ab; sie stieg dagegen, wenn umgekehrt die Wärme von 38° auf die 7° oder 6° herabkam, sehr bedeutend an.

Zum Beleg für meine Aussprüche mögen folgende Angaben dienen.

Mittlere CO_2 -Ausscheidung in der Minute.

	Mittel aus allen Versuchen	bei hoher bei niedriger	Temper.	13,50 CbC.
Kaninchen I.	„ „ Versuch A	bei hoher	„	10,84 „
		bei niedriger	„	18,64 „
	„ „ Versuch C	bei hoher	„	16,79 „
		bei niedriger	„	17,73 „
Kaninchen II.	„ „ allen Versuchen	bei hoher	„	14,49 „
		bei niedriger	„	13,05 „
	„ „ Versuch A	bei hoher	„	11,56 „
		bei niedriger	„	10,49 „
	Mittel nach Vernachlässig. v. A 5	aus den nied.	„	12,40 „
	Mittel aus Versuch B	bei hoher	„	11,42 „
bei niedriger		„	14,33 „	

Ich wende denselben Gang der Betrachtung nun auch auf die absorbirten Sauerstoffmengen an.

Eine Vergleichung für Kaninchen I. und II. ergibt, dass auch hier das Minutenmittel des absorbirten Sauerstoffs, welches aus allen Beobachtungen gezogen wird, in der niedern Temperatur grösser als in der hohen ist. Dasselbe ergibt sich für die Mittel aus den einzelnen Versuchen mit den genannten Thieren. Mit Ausnahme eines Falls, in welchem das Minutenmittel für warme und kalte Temperaturen gleich blieb, ist es in der ersten jedesmal grösser als in der letztern.

Mittlere O-Absorption in der Minute.

	Mittel aus allen hohen	Temperatur.	20,21 CbC.
Kaninchen I.	„ „ den niedern	„	24,81 „
Kaninchen I. Versuch A	„ „ „ hohen	„	15,20 „
	„ „ „ niedern	„	25,23 „
Kaninchen I. Versuch C	„ „ „ hohen	„	24,68 „
	„ „ „ niedern	„	24,39 „
Kaninchen II.	„ „ allen hohen	„	12,93 „
	„ „ „ niedern	„	19,37 „

Kaninchen II. Versuch A	} Mittel aus den hohen	Temperatur.	13,84	CbC.
		„ „ „ niedern	„	17,92 „
Kaninchen II. Versuch B	} „ „ „ hohen	„	12,93	„
		„ „ „ niedern	„	20,82 „

Wenn dagegen die verschiedenen Minutenmittel des Sauerstoffs, welche ein Thier beim längern Aufenthalt in höherer Temperatur absorbirte, bei jedem einzelnen Versuche mit einander verglichen werden, so ergibt sich ein mit der entsprechenden CO₂-Vergleichung analoges Resultat; es steigt nämlich mit dem dauernden Aufenthalt des Thieres in der Wärme, beziehungsweise mit der Erhöhung seiner eigenen Temperatur die absorbirte O-Menge an.

Das Verhalten des absorbirten O in niedern Temperaturen geht dagegen mit den entsprechenden CO₂-Vergleichungen nicht mehr parallel. Allerdings sinkt auch hier anfänglich der verbrauchte Sauerstoff beträchtlich ab, dagegen wächst die aufgenommene Menge in den Fällen sehr bedeutend wieder an, in welchen durch die fortdauernde Kälte eine bis nahe zur Todestemperatur gehende Abkühlung des Thieres hervorgebracht wurde.

Man könnte zweifelhaft sein, ob diese bedeutende Vermehrung der O-Absorption der Abkühlung für sich oder dem tetanischen Zustand der Muskulatur zuzuschreiben sei, die man nach Entfernung des Thieres aus dem Kastenraum bemerkte. Gegen die letztere Erklärung erhebt sich jedoch die Thatsache, dass in den Perioden, wo die ungewöhnlich hohe Absorption eintritt, die Ausscheidung der CO₂ ungewöhnlich tief stand, ein Verhalten, von dem bei der Muskelcontraction bekanntlich das Gegentheil eintritt.

Die Aenderung der O-Absorption bei einer plötzlichen Temperaturschwankung gestaltet sich beim Uebergang aus der Wärme in die Kälte gerade so, wie dieses unter entsprechenden Verhältnissen mit der CO₂ geschieht, d. h. es steigt der absorbirte Sauerstoff mit dem Umschlag der Wärme in die Kälte sehr merklich an.

Bei der entgegengesetzten Schwankung geben die beiden Versuche, die ich vorführen kann, kein übereinstimmendes Resultat, vielleicht darum, weil in den beiden Versuchsreihen die kalte Temperatur vor dem Eintritt der warmen ungleich lange eingewirkt hatte.

Die Versuche von *Szcelkow* haben zuerst den Nachweis ge-

liefert, dass innerhalb sehr kurzer Zeiten die Mengen des absorbirten O und der ausgehauchten CO_2 einander durchaus nicht proportional zu gehen brauchen. Ein ähnliches Verhalten für längere Zeiten haben die Versuche von *Pettenkofer-Voit* und von *Henneberg* ergeben. Unter den später bei der Fehlerprüfung mitgetheilten Daten (p. 96) kommen auch noch einzelne vor, welche zeigen, wie rasch der Werth der Kohlensäureausfuhr über die Sauerstoffabsorption steigen oder unter sie sinken kann. Aehnliches zeigen einzelne Beobachtungen der vorstehenden Tabelle. Diese sollen hier noch betrachtet werden. Die Fälle, in welchen der Quotient aus den O in die CO_2 die Einheit übersteigt, treten in dieser Beobachtungsreihe seltener auf, als diejenigen, in welchen er unter 0,6 herabsinkt. Wir finden die erstere nur in der einen später mitzutheilenden Beobachtungsreihe, in welcher die Dauer des einzelnen Versuchs nicht mehr als 5—7 Minuten betrug, und heidesmal, wo dieser hohe Werth des Quotienten erscheint, folgt unmittelbar darauf eine Beobachtung, in welcher der Quotient bis zu 0,6 herabsinkt. Darnach scheint es, als ob unter den gewöhnlichen Lebensbedingungen des ruhigen Kaninchens nur selten auf lange Zeiten eine Abweichung von dem mittlern Werth des Quotienten stattfindet.

Das Ueberwiegen der O-Aufnahme über die CO_2 -Ausscheidung zeigt sich dagegen häufiger auch in Beobachtungen, welche sich über mehr als 10 Minuten erstreckten. Dabei war in keinem Falle eine Beobachtung vorausgegangen, in welcher der Quotient die Einheit überschritten oder auch sich ihr nur genähert hätte. Freilich waren aber jedesmal die Bedingungen, unter denen sich die Thiere während jener Beobachtungen befanden, von den normalen Verhältnissen sehr abweichend.

Der Eintritt des Quotienten im Werthe nahezu von 0,5 kann dadurch bedingt werden, dass entweder die Absorption des O über den bisher stattgefundenen Werth angestiegen, während die CO_2 -Ausscheidung sich gleich erhalten hatte oder gesunken war, oder aber es kann nur das letztere, bei unverändertem Sauerstoffverbrauch, eingetreten sein. Jedes dieser einzelnen Vorkommnisse würde natürlich auf einen besondern Verlauf des Lebens schliessen lassen.

Mustern wir auf Grundlage dieser Betrachtung unsere Beobachtungen durch, so finden wir in der That alle Möglichkeiten vertreten.

Bei dem Kaninchen II. (pag. 67) finden wir zweimal den niedrigen Quotienten und zwar so, dass einmal sein Werth auf 0,43, das andremal auf 0,50 herabkam. In beiden Fällen ist die CO_2 -Ausscheidung während der Beobachtung, die den niedrigen Quotienten lieferte, im Vergleich zu der CO_2 -Ausscheidung in der unmittelbar vorhergegangenen Ausscheidung gesunken und zwar um 40, beziehungsweise 20 Proc. Die O-Aufnahme hat sich dagegen im Vergleich zu der unmittelbar vorhergegangenen um 45, beziehungsweise 75 Proc. vermehrt. In beiden Fällen hatte nach vorhergehender Ueberwärmung des Thieres so lange die Kälte eingewirkt, bis jener zu tetanischen Bewegungen disponirende Zustand seiner Muskeln eingetreten.

Eine ähnliche Unabhängigkeit der O-Aufnahme und CO_2 -Abgabe findet sich beim ersten Kaninchen. Als das bis dahin erwärmte Thier aus der hohen in die mittlere Temperatur, d. h. von 38,5 auf 19,8° zurückgeführt wurde, sank gegen den unmittelbar vorhergehenden Versuch die CO_2 um 24 Proc. Allerdings war die CO_2 -Ausscheidung in dem unmittelbar vorhergegangenen Versuche eine sehr bedeutende gewesen. Legt man statt des eben erwähnten Versuchs den Versuch bei annähernd gleicher Temperatur vor dem Eintritt in die Ueberwärmung zu Grunde, so ergibt sich dagegen kein Absinken der CO_2 . Wenn es demnach zweifelhaft bleibt, ob man die CO_2 -Bildung in diesem Falle als eine normale ansehen muss, so ist unzweifelhaft eine bedeutende Steigerung des O-Verbrauchs eingetreten, denn verglichen mit dem unmittelbar vorhergehenden Versuche war die O-Aufnahme um 48 Proc., mit derjenigen dagegen zusammengehalten, welche vor der Ueberwärmung vorhanden, war sie um 28 Proc. gestiegen.

Der vierte Versuch mit niedrigen Quotienten kam bei dem Kaninchen I. vor, nachdem dasselbe erst abgekühlt und dann etwa 45 Minuten überwärmt worden war. Hier ruht die Ursache, warum sich der Quotient erniedrigte, darin, dass die CO_2 -Ausscheidung herabgegangen war. Verglichen mit dem unmittelbar vorhergehenden Versuche war sie um 33 Proc. niedriger geworden. Diese Erniedrigung würde noch grösser ausgefallen sein, wenn sich das Kaninchen bei dieser Versuchsreihe so verhalten hätte, wie es sonst geschehen, wenn es längere Zeit in hohen Temperaturen verweilte; in andern Fällen

nämlich pflegte die CO_2 -Ausscheidung mit der Einwirkungsdauer der hohen Temperatur zu wachsen. Die O-Absorption war in diesem Falle wenig oder gar nicht gestiegen. Gegen den unmittelbar vorhergegangenen Versuch betrug seine Zunahme allerdings 8 Proc.; diese fällt aber nicht in das Gewicht, da in der Regel mit dem andauernden Aufenthalt des Thieres in der Wärme die O-Absorption um ähnliche Werthe zuzunehmen pflegt.

Die vorgeführten Erscheinungen zeigen, dass eine Vermehrung der O-Absorption auf Grundlage zweier durchaus verschiedener Bedingungen eintreten kann; einmal tritt sie ein, wenn die Bildung der CO_2 eine sehr lebhaft ist, also bei einem gesteigerten Umsatz der thierischen Stoffe. Die Steigerung der O-Absorption kann aber auch eintreten beim geraden Gegentheil, bei einer Verminderung der CO_2 . Hier bleibt es nun freilich fraglich, ob der vom Blut aufgenommene Sauerstoff nur an die Absorbenten dieses Gases, welche in den Geweben enthalten sind, abgegeben wird, oder ob er zur Erzeugung niedriger Oxydationsproducte dient. Mir scheint die Frage nicht müssig, ob nicht vielleicht die grosse Menge von O, welche das niedrig temperirte Thier aufnimmt, in Verbindung steht mit der bedeutenden und andauernden Muskelreizbarkeit, die wir bei Warmblütern finden, wenn sie längere Zeit hindurch auf einer so niedern Temperatur verweilen, dass hierdurch ihr Inneres sehr merklich abgekühlt wurde.

Ueber den Verkehr des Stickgases würde ich mir ein Urtheil erlaubt haben, wenn mir mehr Uebung und grössere Zahlenreihen zu Gebote gestanden hätten. Für jetzt erwähne ich nur, dass in 36 Beobachtungen 24 vorkommen, die auf eine vollkommene Gleichgültigkeit dieses Gases schliessen lassen; acht derselben deuten auf eine Absorption des Gases hin, und unter diesen sind mindestens drei, in welchen der Verbrauch so gross war, dass das Deficit weit über die Fehlergrenze hinausfällt.

Ueber die Aenderung in der Zahl der Athemzüge. Da ich während meiner Beobachtungen jedesmal die Athemzüge zählte, welche das Kaninchen ausführte, so wurde hierdurch ein Material gewonnen, aus welchem die Abhängigkeit der Athemfolge von der Temperatur und dem Gasaustausch ermittelt werden konnte. Meine Beobachtungen sind nicht zahlreich genug, als dass ich ein Gesetz über die Abhängigkeit der Athembewegung von den beiden genannten willkürlich variabeln

ableiten könnte; sie eignen sich nicht einmal, um kritisch in die Verhandlungen einzutreten, die über diesen Gegenstand von *Vierordt*, *Traube*, *J. Rosenthal* und *Ackermann* angeregt worden sind. Ich führe nur Einiges aus meinem Tagebuche an, welches, wie ich glaube, in der Zukunft Beachtung verdienen dürfte. Da ich mich überzeugt habe, wie sehr die Athemzahl mit den einzelnen Thieren veränderlich ist, so beschränke ich mich auf die Betrachtung von 20 Beobachtungen, die ich am Kaninchen I. gewonnen habe.

Ordnet man die Beobachtungen über die Athemzahl nach der steigenden Temperatur der umgebenden Luft, so lassen sie, wie man aus nachfolgender Zusammenstellung ersieht, nur insofern eine Abhängigkeit von der steigenden Temperatur erkennen, als das Mittel der Athemzahl bei einer Lufttemperatur unter 9° nur etwa 20 Proc. niedriger ausfällt, als bei einer Temperatur über 35°.

Zusammenstellung der Zahl der Athemzüge nach der Temperatur für Kaninchen I. *)

Hinweis der Beobachtung auf Tabelle in pag. 65 fg.	Lufttemperatur	Zahl der Athemzüge in der Minute	Mittelwerth der Athemzüge
I. C. 3.	3,4°	48—52	} 53
I. C. 2.	4,4°	48—53	
I. C. 1.	6,5—9,5°	48—56	
I. A. 1. 2.	9°	60—64	
I. B. 5.	19,8°	52—64	
1. 2. 3. 4. **)	20°	39—48	} 63.
I. C. 4.	35,0—37,5°	44—48	
I. A. 3. 4.	37,5°	40	
I. B. 3.	37—39°	72—84	
I. C. 5.	38,2°	40—42	
I. B. 2. 4.	38,5°	48—62—84	
I. B. 1.	39,5—40,5°	64—84	
I. B. 2. 3.	40,4°	84—116	

Geht man die Zahlen dieser Zusammenstellung im Einzelnen durch, so bemerkt man, namentlich während der

*) In diese Tabelle sind aus dem Tagebuch die Einzelzahlen eingetragen statt der mittlern, wie dieses öfter in der frühern Tabelle geschehen.

**) pag. 95 ff.

Temperaturen, die über 35° liegen, sehr grosse Unregelmässigkeiten.

Da unzweifelhaft die Athemzahl nicht bloss durch die Körpertemperatur, sondern auch durch die Grösse des Gasaustausches bestimmt wird, so war es geboten, auch eine Zusammenstellung der in der Minute vollführten Athemzüge mit den in dieser Zeit ausgeschiedenen CO_2 - und absorbirten Sauerstoffmengen anzulegen. Als ich dieses ausführte, zeigte sich auf den ersten Blick gar keine Beziehung. Allerdings kann man bemerken, dass mehrmals, wenn bei annähernd gleichen Temperaturen die Gassumme steigt, auch die Athemzahl zunimmt. Dies gilt sowohl für hohe als für niedere Temperaturen; andere Male sinkt sie jedoch auch bei steigender Gassumme.

Daraus wäre zu schliessen, dass ausser den genannten Bedingungen auch noch andere rasch veränderliche die Zahl der Athemzüge bestimmen. Dieses ist ja auch, namentlich für reflectorische Erregungen von Seiten der Haut, bekannt genug, und namentlich bemerkte ich sehr häufig, wie rasch die Athemfolge sich änderte, wenn das Thier erschüttert oder mit der Hand berührt wurde.

Genauere Beschreibung des Apparates.

Beim Niederschreiben des Folgenden habe ich vorausgesetzt, dass der Leser die auf Seite 59 u. fg. gegebene schematische Darstellung des Verfahrens schon kenne.

1) Abtheilung für die Lüftung des Athmungsraums und die Absorption der CO_2 . Taf. I. Fig. 1 und 2; die erste Figur giebt eine Ansicht von vorn, die zweite von der Seite. Dieses Stück besteht aus den beiden communicirenden birnförmigen Gefässen *AB*, dem Tragbrett derselben *CC*, dem *T*-förmigen Verbindungsrohr *EE*, dem Hahn *F* mit seinem Träger *G*, und endlich dem Verbindungsstab zwischen dem Hahn und dem Tragbrett der birnförmigen Gefässe *H*. In dem Halse des Gefässes *A* steckt ein Thermometer. Jedes der beiden birnförmigen Gefässe hat einen untern verdickten und einen obern schlanken Hals; in die unten verdickte Hülse ist ein gebogenes Rohr eingeschliffen, so dass hierdurch die hohlen Räume der beiden Glasbirnen miteinander in Verbindung stehen. Zur Vervollständigung des luftdichten Verschlusses sind die senkrechten Stücke des gebogenen Rohres in die Hülse eingekittet, und ausserdem sind jederseits die beiden verkitteten Stücke durch starke Fäden

aneinander gebunden. An dem obern schlanken Ende sitzt jederseits ein T-Rohr auf. Der senkrechte Schenkel dieses T ist an der einen Seite durch ein starkwandiges Kautschukrohr luftdicht auf dem obern Hals aufgesetzt, und zwar in der Art, dass die beiden abgeschliffenen einander entsprechenden Enden der beiden Glasteile unmittelbar aufeinander stossen; Fäden, welche um die Kautschukröhre oben umgelegt sind, halten die Theile in ihrer Lage fest.

Die oben abgeschliffene Oeffnung des senkrechten Schenkels ist jederseits durch Platten aus Eisen verschlossen. Aus einer dieser Metallplatten ragt eine kurze Röhre hervor, durch welche ein Thermometer luftdicht in die Höhle des birnförmigen Gefässes eingesenkt werden kann; auch an diesem Orte sind die Fugen durch Kautschukkappen luftdicht gemacht und fest zusammengepresst.

Der waagerechte Schenkel des T trägt an seinem freien Ende ein kurzes starkwandiges Kautschukrohr, mittelst dessen jener Schenkel jederseits mit einem entsprechend weiten Metallrohr verbunden werden kann, das von der Hülse des Ventilationshahns dem waagerechten Schenkel des T-Rohrs entgegengeht.

Die bis dahin beschriebenen Glasstücke empfangen dadurch einen Halt, dass die Glasbirnen in zwei entsprechenden kreisförmigen Ausschnitten eines starken Brettes (CC) eingelassen sind.

Der Ventilationshahn (siehe den Durchschnitt des Hahns Fig. 3) besteht aus einem festgestellten Kern und einer beweglichen Hülse. — Der cylindrische Kern ruht mit seinen beiden Enden unbeweglich je in einem Lager. Beide Lagerstätten sind oberhalb durch einen starken Bügel miteinander verbunden. An der vom Beschauer abgewendeten Seite geht von diesem Bügel eine breite starke Eisenleiste (G) herab, welche sich nach abwärts etwa so tief erstreckt als das Verbindungsrohr der beiden Birnen. An ihrem untern Ende ist die Eisenschiene umgebogen und auf das obere Ende einer hölzernen Säule aufgeschraubt, welche ihrerseits auf dem Fussboden unverrücklich befestigt ist.

Der cylindrische Kern des Ventilationshahns ist von der einen seiner beiden Grundflächen her mit zwei durch eine Scheidewand voneinander getrennten Durchbohrungen versehen. Diese cylindrischen Bohrkanäle ragen bis in die Hälfte seiner Länge hinein und biegen dort jederseits gegen den Mantel

des Cylinders um, den sie schliesslich durchbrechen. Der Theil des Canals, der von dem centralen Theile des Cylinders gegen die Oberfläche desselben geht, läuft nach dieser letztern hin verbreitert aus, so dass die breite Spalte, welche sich auf der Oberfläche öffnet, jederseits ein Viertel des Kreisumfangs einnimmt. Siehe den Durchschnitt des Hahns Fig. 3 und die Seitenansicht und den Durchschnitt des Kerns Fig. 4.

Um den cylindrischen Kern des Ventilationshahns bewegt sich luftdicht eine starke cylindrische Hülse. Von der äussern Fläche dieser Hülse geht eine starke Eisenleiste (*H*) nach unten ab; an ihrem untern Ende trägt sie eine horizontale, mit einer Schraube versehene Klammer, die zwischen ihren beiden Blättern das Tragbrett der Birngefässe umgreift. Eine Nute, die in der Mitte des Brettes eingeschnitten ist, und eine Schraube, die von der Klammer herabgeht, sichert die feste Verbindung des Brettes mit dem Metallstabe; nach Lösung der Schraube kann das Brett leicht herausgenommen und durch ein anderes kugeltragendes ersetzt werden.

Von dem senkrechten Eisenstab, der, wie soeben beschrieben, das Brett trägt, geht etwa in der Mitte seiner Länge ein Eisenbügel *N* ab, dessen nach hinten gerichtete Zinken etwas über die Schiene *G* hinausragen, welche das Lager für den Kern des Ventilationshahns trägt. Gerade den breiten Seitenflächen dieser Schiene *G* gegenüber ist der Bügel, welcher von dem senkrechten Fortsatz *H* der Hülse ausgeht, jederseits von einer verstellbaren Schraube durchbohrt, und an den gegenüberstehenden Stellen ist um den Träger des Kernlagers ein Kautschukstreifen herumgelegt. Der Sinn der soeben beschriebenen Einrichtung ist der, dass durch den Bügel mit seinen Schrauben der Umfang der Drehung begrenzt wird, welchen die Glastheile und die mit ihnen verbundene Hülse um den Kern des Hahns erfahren können.

Um die eben geschilderte Drehung für die Ventilation nutzbar zu machen, gehen von der Hülse des Ventilationshahns die beiden vorhin schon erwähnten Mittelröhren *O* aus, welche durch einen kurzen Kautschukschlauch an die horizontalen Schenkel des T-förmigen Stückes *E* gefügt werden können. Die Art und Weise, wie die Ventilation zu Stande kommt und wie der Luftstrom geht, ist folgende: Gesetzt, es sei jede der beiden Birnen bis in die Hälfte ihrer Höhe

mit Flüssigkeit gefüllt und ebenso das untere Verbindungsrohr zwischen beiden, und es werde nun durch Drehung an dem Brette *C* die Kugel *A* emporgehoben und in Folge dessen *B* gesenkt, so wird die Flüssigkeit aus *A* in *B* fließen und demnach Luft durch die Bohrlöcher *OO* des Hahns in *A* gesaugt und aus *B* hervorgestossen werden. Hierbei wird das Volum der Luft, welches in die eine Kugel eindringt, gerade so gross sein wie das, welches aus der andern ausfliesst, weil das Gesamtvolum des Systems seiner überall steifen Wand wegen unveränderlich bleibt. Wenn, wie in dem vorliegenden Apparat, dafür gesorgt ist, dass die Röhren, durch welche die Luft und die Flüssigkeit strömt, überall weit sind, so wird sich auch kein Druckunterschied vor und hinter dem Strome einstellen, da eine jede Druckdifferenz durch den eingeleiteten Strom alsbald ausgeglichen wird.

Ohne merkliche Anstrengung kann jede Kugel in einer Minute 20—30mal auf ihren höchsten und ebenso viel mal auf ihren niedrigsten Stand gebracht werden, so dass hiernach in der Minute mindestens 10—15 Litres Luft durch den Athmungsraum hindurchgehen können.

2) Schnauzenkappe mit dem Verbindungshahn und den Leitungsröhren. — Diese Abtheilung besteht aus einer zur Kappe umgewandelten Kautschukröhre, die an eine Messingscheibe angebunden ist. Auf ihrer andern Seite trägt die Messingscheibe einen Hahn, aus dem drei Röhren hervorgehen, und ausserdem trägt sie neben dem Hahn noch eine vierte Röhre.

Das Kautschukrohr hat dünne Wandungen; es ist so weit, dass es bequem über die Schnauze eines rasirten Kaninchenkopfes herübergezogen werden kann und zwar so, dass wenn das freie Ende dieses Rohres bis nahe an die Augen über die Schnauze gezogen ist, die Wand desselben luftdicht an die mit Talg bestrichene Kaninchenhaut anschliesst (siehe Fig. 9). Die Länge der Kautschukkappe wird durch das entsprechende Maass der Kaninchnauze bestimmt; denn für die andern Bedingungen des Versuchs ist es vortheilhaft, den von der Schnauze freigelassenen Rauminhalt so klein wie möglich zu machen; also muss nach dem Anlegen der Kappe die Nasenöffnung des Thieres fast bis zur Berührung mit der Platte an dieselbe heranragen. Um das Abrutschen der Kappe von dem spitzen Kopf des Kaninchens zu verhindern, ist an dem freien Rande

derselben und zwar senkrecht auf die Fläche ihrer Lichtung eine Kautschukschlinge ausgeschnitten, welche über das Hinterhaupt des Kaninchens bis unter die Ohren desselben gezogen werden kann. Diese Schlinge wird aus der Wand der Röhre, die als Kappe dient, dadurch hergestellt, dass man an zwei gegenüberliegenden Wandflächen je einen fingerbreiten Streifen stehen lässt. Diese beiden Streifen werden zusammengenäht; die Entfernung, in der dieses vom freien Ende der Kappe geschieht, richtet sich nach dem Abstand der Augen vom Hinterhaupt. Das entgegengesetzte Ende der Kappe ist an den vorhin erwähnten Ring der Messingplatte *P* luftdicht aufgebunden.

Der messingene Boden der Kappe *P*, Fig. 5 und 6 von der Seite, Fig. 7 von oben, ist dreimal durchbohrt; zwei dieser Bohrungen dringen in den Hahn ein, und die dritte geht neben dem Hahn in eine Messingröhre über, auf die ich sogleich zurückkommen werde. Der Hahn selbst (Fig. 8 im Durchschnitt, ausserdem 5 bis 9), dessen Hülse auf die Messingplatte gelöthet ist, hat drei Durchbohrungen; eine geht in senkrechter Richtung auf die Ebene der Platte, so dass durch sie der Hohlraum der Kappe auf dem kürzesten Wege mit der umgebenden Luft in offene Verbindung gesetzt werden kann. Die beiden andern Bohrungen durchsetzen den Hahn in einem rechten Winkel und zwar so, dass je einer der Schenkel ihres Winkelcanals horizontal, der andere aber senkrecht läuft. Die beiden horizontalen gehen dann auch ausserhalb der Hülse parallel und zwar in die beiden Röhren *TR* über. Die beiden senkrechten Bohrungen gehen dagegen in entgegengesetzter Richtung. Die eine (Fig. 8) öffnet sich nämlich auf der untern Seite der Hülse und setzt somit den Hohlraum der Kappe mit dem Rohr *T* (Fig. 6) in Verbindung; die andere aber mündet nicht in die Kappe, sondern geht aufwärts (Fig. 8) und setzt (Fig. 6) die Röhren *R* und *S* miteinander in Communication.

Die drei Bohrungen des Hahns über der Kappe sind so gestellt, dass die mit geradem Verlauf in der Mitte zwischen den beiden Winkelcanälen steht. Die Durchbohrungen, welche der Kern unseres Hahns trägt, sind so auf seinen Umfang vertheilt, dass die winkelrechten Durchbohrungen, beziehungsweise deren Fortsetzungen, in die Röhren abgeschlossen sind, wenn der Canal offen steht, welcher auf geradem Wege aus der Kappenhöhle in die Luft führt, und umgekehrt.

Die Oeffnung (Fig. 8, *z*), welche, ohne in den Hahn einzumünden, unmittelbar aus der Kappenhöhle durch die Platte auf deren obere Fläche geht, verbindet mittelst des Kappenraumes die Messingröhre *U*, welche senkrecht von der Platte aus emporsteigt, mit Röhre *T*. Nachdem *U* eine Strecke hindurch die senkrechte Richtung innegehalten, biegt sie in einem rechten Winkel um und läuft dann horizontal weiter. Einige Zoll von ihrer Winkelbiegung entfernt (Fig. 6 und 7) kehrt sie um und läuft nun, indem sie in die Röhre *S* übergeht, parallel den Weg, den sie gekommen, zum Verbindungshahn zurück.

An der Umbiegungsstelle der beiden Röhrenschenkel *SU* mündet eine Röhre *a*, so dass es hier zur Bildung einer hohlen Gabel kommt. Der kurze Stiel dieser Gabel trägt in der Mitte seiner Länge ein kurzes, senkrecht aufgesetztes Rohr (*b*, Fig. 5). An der Verbindungsstelle der beiden Röhren befindet sich ein Hahn mit T-förmiger Bohrung, wodurch nach Belieben bald die geradlinige Fortsetzung der horizontalen Röhre (des Gabelstiels) in offene Verbindung tritt, bald aber auch das Lumen der senkrechten Röhre (*b*) mit der Fortsetzung der horizontalen zu verbinden ist, welche jenseit des Hahns (*d*, Fig. 5) ins Freie läuft. Die T-förmige Bohrung ist so eingerichtet, dass der horizontale Canal geschlossen wird, wenn der senkrechte offen steht, und umgekehrt.

Die Gabel (*ac*, Fig. 5) mit den rechtwinkelig aufgesetzten Zinken (*bd*), welche bis dahin beschrieben wurde, hat die Aufgabe, die Höhlung der Schnauzenkappe um den Sauerstoff führenden Theil des Apparates mit dem Ventilationshahn und seinen Anhängen zu verbinden, jedoch so, dass der Luftstrom, welcher aus einer der Birnen ausgeht, immer bis zum Stiel der Gabel laufen muss und erst von da aus durch die Schnauzenkappe hindurch zu der andern Birne gelangt. — Ausserdem aber soll er, nach Abschluss der eben geschilderten Verbindung, auch die Sauerstoffkugel mit der äussern Luft in Communication zu setzen im Stande sein.

3) Abtheilung für den Ersatz des verbrauchten Sauerstoffs. Diese Abtheilung besteht aus dem Gefäss für den Sauerstoff, der Druckflasche und dem Regulator des Drucks. Das Gefäss für die Aufbewahrung des zu verbrauchenden Sauerstoffs ist die Kugel (*h*, Fig. 5), aus der nach oben und unten zwei gerade, gleich weite Röhren ausgehen. Auf die obere der beiden Röhren (*g*)

ist ein hohles Querstück aufgeschmolzen. Die beiden geraden Röhren sind mit einer Theilung versehen und sammt dem Inhalt der Kugel geaicht. Das Querstück am freien Ende des obern Rohres (*g*) ist nach der einen Seite (*e*) hin durch einen Kautschuk mit dem Stielende der vorhin beschriebenen Gabel verbunden, so dass je nach der Stellung des Hahns die Sauerstoffkugel bald mit der Schnauzenkappe und dem Ventilationsapparate, bald aber auch mit der atmosphärischen Luft in Berührung gebracht werden kann.

In der andern Mündung des Querrohres (*f*) steckt der Manometer mittelst eines Kautschukpfropfs luftdicht.

Das untere Rohr (*i*), welches aus der Sauerstoffkugel hervorgeht, läuft in ein T-förmiges Messingrohr aus. Dieses letztere hat am Zusammenstoss seiner drei Zweige einen T-förmig durchbohrten Hahn, durch welchen einerseits die Sauerstoffkugel (*h*) mit einer grossen sauerstoffhaltenden Flasche (*k*) in Communication gebracht werden kann, mit Hülfe dessen aber auch andererseits eine Verbindung zwischen der O-Kugel und der Druckflasche herzustellen ist.

Die grosse als Gasometer dienende Flasche (*k*) steht innerhalb eines Wasserbehälters aus Blech. Das Wasser ragt bis über den Kautschukpfropf des Gasometerhalses hinaus. Will man die Sauerstoffkugel, nachdem sie durch den vorhergehenden Versuch mit Wasser gefüllt ist, von neuem mit Sauerstoff füllen, so hat man nur nöthig, die Hähne (*c d*) am Gabelstiel abzuschliessen und die offene Verbindung zwischen dem Gasometer und der O-Kugel herzustellen; alsbald tauscht sich das Wasser der Kugel gegen den Sauerstoff des Gasometers aus.

Die Flasche (*n*), welche durch das Rohr (*l*) mit dem horizontalen Schenkel des T-förmigen Rohrs zwischen *i* und *k* verbunden, ist unmittelbar über ihrem Boden mit einer Tubulatur und einem guten Glashahn (*m*) versehen. Ihr Hals ist mit einem doppelt durchbohrten Kautschukpfropf verschlossen; durch die eine seiner beiden Oeffnungen geht ein kurzes Glasrohr *o*, auf welchem durch ein Kautschukrohr ein kleiner Glastrichter aufgestellt wird; er dient zum Nachfüllen des Wassers. Ist die Flasche gefüllt, so kann durch eine Schraubenklemme oder einen Hahn dieser Ausgang der Flasche verschlossen werden.

Die andere Oeffnung des Pfropfs der Druckflasche ist von einem Glasrohr (*p*) durchbohrt, das rechtwinkelig gebogen ist

und in einen längern (*rr*) Kautschukschlauch abläuft, der bis zu dem Bügel geht, welcher das Glasrohr des Regulators trägt.

Der Körper des Druckregulators (Fig. 10 im Durchschnitt und Fig. 11 von oben) besteht aus einem sehr flachen cylindrischen Messinggefäss. Aus dem Boden dieses Gefässes (*s*) geht ein sehr kurzes Röhrchen aus, welches in die Messingröhre *S* einmündet, die aus dem Hahn über der Schnauzenkappe hervorgeht. Die weite Mündung des cylindrischen Messinggefässes ist durch eine dünne Kautschukplatte geschlossen, welche auf der Wand des Gefässes festgebunden ist. Von dem Boden gehen drei Bügel (*v v v*) aus (sie sind hier durch drei Schrauben befestigt), die genau gegenüber der Mitte der Kautschukplatte zusammenlaufen und eine Hülse (*x*) tragen, in welcher ein enges Glasrohr (*z*) steckt, und welches bis zur Kautschukplatte (*u*) vorgeschoben werden kann; mit dem andern Ende dieses Röhrchens steht der von der Druckflasche kommende Kautschukschlauch (*rr*) in Verbindung.

Zurichtung des Apparates für den Versuch.

1) Füllung der Kugeln. Die sorgfältig gereinigten und getrockneten Ventilationskugeln beschickte ich mit etwa 400 CC. (etwa 5,5 Kilometer) Quecksilber, und darauf füllte ich, nachdem die beiden Kugeln durch das Quecksilber abgesperrt waren, in jede derselben 100 CC. einer Barytlösung, welche bei 15° gesättigt war, und verschloss darauf die Gefässe. Auf diese Weise bereitete ich mir 5—6 mit fortlaufenden Nummern versehene Kugelpaare vor.

Die Füllung mit Quecksilber geschah in der Absicht, um den Athmungsraum auf 500 CC. zu verkleinern und namentlich auch, um dem Luftstrom eine grössere Beschleunigung zu ertheilen, welcher durch den Unterschied des Spiegels in den beiden Kugelgefässen eingeleitet wurde. Diese Absicht wurde auch insoweit erreicht, dass binnen zwei Secunden die höhere Kugel ihren Inhalt an Quecksilber in die tiefere entleerte. Dem entsprechend konnte jede Kugel in der Minute 15mal gehoben und gesenkt werden, so dass in dieser Zeit die Schnauzenkappe von mindestens 12 Litres Luft durchsetzt werden konnte, die nahezu frei von CO₂ waren.

Die Menge des eingefüllten Quecksilbers muss so gross sein, um beim niedrigsten Stand der einen Kugel den Uebertritt des Baryts in diese aus der höher stehenden unmöglich zu machen, und andererseits dadurch, dass die Barytlösung nach

vollkommener Entleerung des Quecksilbers aus der höhern in die tiefere Kugel nur bis in den Hals der letztern hineinreicht. Der Umfang der Drehung, den zu diesem Ende die Kugeln ausführen mussten, konnte durch die beiden früher beschriebenen Stellschrauben genau regulirt werden.

2) Verbindung der Kappe mit der Schnauze des Thieres. Um den luftdichten Verschluss der genannten Theile hervorbringen zu können, ist es nothwendig, die Schnauze bis zur Höhe des Unteraugenhöhlenrandes sorgfältig von aller Behaarung zu befreien. Dieses geschieht am besten mittelst einer feinen und scharfen Scheere, da man bei noch so grosser Vorsicht mit dem Rasirmesser die schlaffe Haut über der vielfach gebogenen Oberfläche sehr leicht verletzt, ein Umstand, der dann besonders schädlich wirkt, wenn man an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen dasselbe Thier zum Versuch benutzen will. Sind die Haare so weit als möglich entfernt, so überstreicht man die Haut der Schnauze mit einer weichen Talgmasse, wobei man natürlich die unmittelbare Umgebung der Nasenöffnung zu treffen vermeidet. In gleicher Weise talgt man die links gemachte Kappe auf ihrer innern Fläche ein. Darauf zieht man die Ohren durch die Strippe für das Hinterhaupt und stülpt alsdann die Kappe über die Nase so weit, dass ihr freier Rand nahe unter die Augen zu liegen kommt. Hiernach muss die Kautschukwand der Kappe innig an dem Ober- und Unterkiefer anliegen und zwar so fest, dass das Thier den Mund nicht öffnen kann. Zur weitem Sicherung des Verschlusses bestreicht man auch noch die Spalte, wo sich der Rand der Kappe und die Kieferhaut berühren, mit weicher Talgmasse ein; alsdann bindet man durch einen Faden, der um die Ohren geschlungen ist, den Kopf des Thieres auf die Unterlage fest und steckt darauf das betreffende Messingstück der Kappe in den dazu bestimmten Halter. Ist das Kautschukrohr der Kappe richtig gewählt und sind die verschiedenen Handgriffe sorgfältig ausgeführt, so schliesst die Kappe nicht blos dann luftdicht, wenn das Thier ruhig liegt, sondern auch bei Bewegungen desselben. Hiervon kann man sich leicht überzeugen, wenn man von den beiden Oeffnungen, die aus der Kappe hervorgehen, die eine schliesst und in die andere ein Manometer einsetzt. Das Thier, welches nur über die Luft im engen Raum der Kappe gebietet, ändert unter heftigen Bewegungen alsbald den Druck in diesem

Athmungsraum. Das Manometer, welches diese Aenderungen anzeigt, sieht man dann längere Zeit in der neuen Stellung verharren, wobei es gleichgültig, ob der Druck im Innern der Kappe höher oder niedriger als der atmosphärische ist.

Auch am Kopf des todten Kaninchens habe ich den Verschluss der Kappe manometrisch geprüft. Wenn der Druck im Innern der Kappe negativ war, so legte sich dieselbe um so inniger an die Kopfhaut an, je grösser der Druckunterschied zwischen innen und aussen wurde. Wenn dagegen der Druck im Innern der Kappe positiv wurde, so bewirkten die Kautschukränder bei so nachgiebigem Material, wie ich es anwendete, nur so lange einen sichern Verschluss, als der innere Druck dem äussern nicht mehr als 35 Mm. Hg. überlegen war. Stärkere und fester gespannte Kautschukwände würden auch bei höhern Druckunterschieden den Verschluss besorgen. Aus andern Gründen habe ich jedoch von ihrer Verwendung abgestanden, weil die Druckabweichung, unter der meine Versuche ausgeführt, immer niedriger war. Denn der innere Druck unterschied sich um höchstens ± 2 Millim. von dem der Atmosphäre.

Wenn die Kappe luftdicht aufsitzt, so steckt man die aus dem Hahn der Kappe hervorgehenden Röhren über den entsprechenden des Ventilationsapparats, wobei man den Kern des Kappenhahns natürlich so stellt, dass die Athembewegungen die Luft unmittelbar aus der Atmosphäre holen und sie ausstossen

3) Füllung der Sauerstoffkugel. Wir denken uns, bevor die Füllung der genannten Kugel geschieht, den T-förmig durchbohrten Hahn an der Grenze zwischen Athmungs- und Sauerstoffraum so gestellt, dass beide voneinander abgesperrt sind, und ebenso soll der Hahn, welcher an dem senkrechten Röhrenstück dieser Gegend eingefügt ist, geschlossen sein. Von da abwärts ist auch zu dieser Zeit der ganze Sauerstoffraum mit Wasser gefüllt bis zu dem T-förmig durchbohrten Canal der in der Grenze des Gasometers und des Sauerstoffraumes gelegen ist. Dieser letztere Hahn ist so gestellt, dass der Sauerstoffraum und das Gasometer voneinander abgesperrt sind; endlich ist auch der Glashahn, der in der Tubulatur der Druckflasche sitzt, geschlossen.

Will man nun die Kugel mit Sauerstoff füllen, so stellt man die Verbindung zwischen ihr und dem Gasometer so her, dass dabei das Rohr, welches vom Hahn zum Druckgefäss geht,

abgesperrt ist. Alsbald fliesst das Wasser aus den Röhren über der Kugel und aus dieser selbst in das Gasometer ab und seine Stelle nimmt der von unten her eindringende Sauerstoff ein. Gegen Ende dieses Austausches regelt man das Zufließen von Sauerstoff so, dass in dem untern getheilten Rohr der Sauerstoffkugel noch einige Theilstriche hoch das Wasser stehen bleibt; alsdann stellt man den untern T-förmigen Hahn in der Art ein, dass die Sauerstoffkugel vom Gasometer abgeschlossen ist und mit dem Druckgefäss in Verbindung kommt; darauf überzeugt man sich, dass die beiden obern Mündungen des Druckgefässes von der äussern Luft abgeschlossen sind, und nun erst öffnet man den Hahn, welcher die Druckflasche mit dem Sauerstoffraume in Verbindung setzt. Da man dafür gesorgt hat, dass ein kleiner Ueberdruck in der Wasserflasche vorhanden ist, so stürzt das Wasser in den Sauerstoffraum und comprimirt das dort vorhandene Gas. Wenn dieses geschehen, so schliesst man den Hahn des Wassergefässes und öffnet rasch vorübergehend denjenigen, welcher in dem senkrechten Rohr zwischen dem Sauerstoff- und Athmungsraum liegt. Das zusammengepresste Gas schleudert durch die entstandene Oeffnung den letzten Wassertropfen aus, der noch in jenen Röhrenstücken sass, und gleichet dabei seinen Druck mit dem der Atmosphäre aus. Ist darauf wieder der obere Hahn geschlossen, so entlässt man mit der vorher angegebenen Vorsichtsmassregel das in die Sauerstoffkugel eingeflossene Wasser wieder in das Gasometer und holt dafür wieder Sauerstoff heraus, sperrt dann das Gasometer ab und setzt den Sauerstoffraum mit dem Druckgefäss in Verbindung. Sollte noch einmal Wasser in die Sauerstoffkugel eindringen, so wiederholt man die eben angegebenen Handgriffe von Neuem und zwar so oft, bis das Wasser in der untern Röhre stehen bleibt und das Manometer anzeigt, dass der Druck des Sauerstoffs gleich dem der äussern Luft ist. Hiernach stellt man auch die Verbindung zwischen dem Sauerstoff- und dem Athmungsraum her, und der Versuch kann beginnen, nachdem man den Stand des Wassers in der untern Sauerstoffröhre und die Zeit auf einer Secundenuhr abgelesen.

Der Beginn des Versuchs ist zeitlich sehr genau abgegrenzt, da es nur nöthig ist, den Kappenhahn umzudrehen, um die Athmung des Thieres in den Apparat hinein, statt, wie bisher, in die umgebende Luft geschehen zu lassen.

4) Vorbereitung des Druckgefässes. Nach einem jeden Versuche muss man das Wasser, welches aus dem Druckgefäss ausgeflossen, durch neues ersetzen, da demselben eine solche Stellung gegeben wurde, dass nur so viel Wasser ausfliessen kann, als gerade nothwendig ist, um den Sauerstoff in die obere getheilte Röhre des Sauerstoffraums hineinzutreiben.

Gang des Versuchs. In allen Lufträumen des Apparats ist vor dem Beginn des Versuchs der Druck gleich dem des atmosphärischen. Die Zeit seines Anfangs ist scharf begrenzt durch die Umdrehung des Hahns über der Kappe. Mit dem ersten Athemzug, den das Thier in den Apparat hinein ausführt, beginnt auch das Spiel der Kautschukplatte, und zu gleicher Zeit treten kleine Schwankungen in dem Quecksilber des Manometers ein. Diese letztern können der In- und Expiration entsprechend entweder um den Nullpunkt der Quecksilberscala schwanken, oder es geschieht dieses um einen Punkt herum, welcher höher oder tiefer als der Nullpunkt liegt. Wird durch das Manometer ein Druck im Apparat angezeigt, welcher niedriger als der atmosphärische ist, so lässt sich diesem Uebelstand leicht dadurch abhelfen, dass man das Röhrrchen, welches gegen die Kautschukplatte angedrückt ist, ganz allmählig und zwar so lange von dieser entfernt, bis die Oeffnung des Röhrrchens während der Inspiration so weit gelüftet wird, dass die während der Oeffnung nachfliessende Menge von Sauerstoff genügt, um das verschwundene Gas durch neues zu ersetzen.

Zeigt aber umgekehrt das Manometer im Apparat einen höhern Druck als die Atmosphäre an, und geschieht dieses trotzdem, dass der Wasserdruck, welcher auf den Sauerstoffraum presst, ein sehr mässiger ist, so liegt die Schuld entweder daran, dass das Röhrrchen um ein Kleines zu weit von der Platte entfernt ist; man kann dann durch sorgfältige Regulirung seines Standes leicht Abhilfe leisten. Oefter aber ist auch der Ueberdruck bedingt durch tiefe Einathmungen, die vielleicht nur zeitweilig in dem Verlauf eines Versuchs eintreten. In diesem Falle habe ich den Hahn, der in der Tubulatur der Druckflasche gelegen ist, für einige Zeit und namentlich so lange geschlossen, bis das Manometer seine kleinen Schwankungen um den Nullpunkt herum ausführt. Wenn der Versuch seinem Ende nahte, d. h. wenn nämlich das Wasser in das obere aus der Sauerstoffkugel hervorgehende Röhrrchen eintrat, so habe ich, insofern

dieser nicht schon vorhanden war, absichtlich einen kleinen Ueberdruck der Luft im Apparate dadurch herbeigeführt, dass ich vorübergehend die Kautschukplatte vor der Röhre, die zum Druckgefäss führte, lüftete, wodurch das Wasser bis nahezu zum obern Ende des genannten Röhrchens emporstieg, und dann sogleich den untern Hahn des Druckgefässes geschlossen; darauf liess ich das Thier noch so lange in den Apparat hineinathmen, bis sich der Druck innerhalb desselben genau gleich dem des atmosphärischen gestellt hatte. Auf diesen letztern Zeitpunkt muss alle Vorsicht verwendet werden, da jede Ungleichheit des äussern und innern Drucks bei der Berechnung der Versuche auf fehlerhafte Resultate führt, weil dieselbe unter der Voraussetzung der Druckgleichheit ausgeführt wird.

1) Fehler des Apparats. Auswerthung des Sauerstoffs. Seine Bestimmung ruht auf einer einfachen Gleichung. In dieser bedeutet J das Luftvolum, welches der Athmungsraum des Apparats fasst; O das aus der Kugel in den Apparat übergetretene Luftvolum (beide Luftvolumina auf 0^0 und 1 M. Hg reducirt), α der procentische O-Gehalt der atmosphärischen Luft, $\alpha \pm \beta$ der procentische Gehalt der Luft im Apparate nach Beendigung des Versuchs, γ der Sauerstoffgehalt der Luft in der Kugel. Unter dieser Voraussetzung ist das verbrauchte Sauerstoffvolum $V = J\alpha - J(\alpha \pm \beta) + O\gamma$. Es wird also darauf ankommen, die Ungenauigkeiten aufzusuchen, welche den genannten Werthen anhaften können.

Die procentische Zusammensetzung der Gasgemenge ist durch die eudiometrische Analyse festgestellt; also müssen die Zahlen α , $\alpha + \beta$ und γ mit den Ungenauigkeiten dieser analytischen Methode behaftet sein, welche sich bekanntlich auf $\pm 0,4$ Proc. belaufen. Da in meinen Versuchen die aus der Sauerstoffkugel ausgetretene Luftmenge nie mehr als 328 CbC und die im Apparat enthaltenen 375 CbC betrug, so kann die analytische Ungenauigkeit nicht über ± 1 CbC O hinausgehen.

Der zweite Fehler wird in der ungenauen Bestimmung von J liegen. Da vor jedem Versuche die Birngefässe mit einem bestimmten Volum von Quecksilber und Barytlösung gefüllt werden, so müssen bei dieser Füllung trotz aller Vorsicht Ungenauigkeiten eintreten. Zur Schätzung derselben lege ich die Erfahrungen zu Grunde, die ich bei der Aichung der Gefässe selbst gesammelt. Hiernach betrug der maximale Unterschied ver-

schiedener Ausmessungen 3 CbC. Die durch solche oder auch viel grössere Fehler hervorgerufene Unsicherheit in der O-Bestimmung ist jedoch ohne Weiteres zu vernachlässigen. Denn der Calibrirungsfehler erscheint im Resultat nicht in seiner vollen Grösse, sondern multiplicirt mit dem Unterschied der O-Gehalte der Luft vor und nach dem Versuche. Dieses ergibt sich aus Folgendem. Gesetzt, es sei der Raum zu J angenommen, er habe aber $J \pm 3$ betragen, so würde die Differenz des wahren und des angenommenen Inhalts sein

angenommen $V = (\alpha - (\alpha \pm \beta)) J + O\gamma$
 wirklich $V' = (\alpha - (\alpha \pm \beta)) (J \pm 3) + O\gamma$ also $V' - V = \pm 3\beta$.

Da nun β , d. h. der Unterschied im O-Gehalt der Luft vor und nach dem Versuche in der Regel klein ist, so sinkt das Product zu einer Grösse herab, die niemals über die Zehnthelle eines CbC hinausgeht.

Aehnliches gilt für eine auf den ersten Blick bedeutendere Gattung von Bedenken. Der Apparat besitzt zwei Stellen, an welchen seine Wand sehr nachgiebig ist, nämlich an der Schnauzenkappe und am Kautschukventil. Sein Hohlraum kann sich also während des Versuchs selbst verändern, und zwar kann dieses entweder auf Kosten der O-Kugel oder des Brustraums geschehen. Gesetzt, es wäre gerade bei Beendigung des Versuchs wegen eines Ueberdrucks in der Wasserflasche Sauerstoff aus der Kugel in den Athemraum geworfen und dieser hierdurch vergrössert worden, so würde unter die Einnahmen dieser aus der Kugel verschwundene O gesetzt worden sein, obwohl er vom Thiere nicht wirklich aufgenommen, sondern in dem Athemraume verblieben wäre. Dieser Sauerstoff hätte aber dann den O-Gehalt des Athemraums vermehrt, und er wäre demnach und zwar mit umgekehrten Vorzeichen, wie früher, in Rechnung gekommen. Also gilt auch für diese Gattung von Fehlern das, was ich soeben über die Aichungsfehler aussagte.

Ausser den erwähnten Uebelständen könnte noch in Betracht kommen die Absorption, beziehungsweise die Abgabe von Sauerstoff durch die Barytlösung, die Aenderung der Dampfspannung und Aehnliches. Die hierdurch erwachsenden Abweichungen kann ich zwar aus Mangel an methodischen Untersuchungen nicht schätzen, aber ich halte sie für zu geringfügig, um ihnen einen messbaren Einfluss auf die Trübung der Resultate zuzuschreiben.

Bisher habe ich auf die Temperatur- und Druckänderungen, welche vor, während und nach dem Versuche eintreten, noch keine Rücksicht genommen. Dieses soll nun geschehen. Am bequemsten und vortheilhaftesten wird es immer sein, wenn man den Versuch gerade in dem Augenblicke schliesst, wo der Druck im Athemraum genau wieder gleich dem atmosphärischen, also auch demjenigen ist, der zu Anfang des Versuchs bestand. Bei der Möglichkeit, durch Umdrehen eines Hahns den Versuch in jedem Augenblicke unterbrechen zu können, lässt sich dieses auch immer ausführen, wenn nach Entleerung der Sauerstoffkugel der Druck um einige Millimeter höher als der atmosphärische ist. Hierfür muss also durch die schon angegebenen Handgriffe Sorge getragen werden, und in der That ist dieses bei weitaus der grössten Zahl meiner Beobachtungen geschehen. Hat man aber diese Vorsicht versäumt, so geschieht es leicht, dass bei Beendigung des Versuchs der Druck im Apparat um einige Millimeter tiefer als bei Beginn desselben steht, wodurch dann vermöge der Beweglichkeit der erwähnten aus Kautschuk bestehenden Wandtheile auch der Inhalt des Apparats um einige CbC kleiner wird. Dieses ist mir im Verlauf meiner Versuche zweimal begegnet. Da man den Druck in bekannter Weise zum Aufsuchen der absoluten Gasmengen in Betracht zieht, so kommt nur die Raumänderung in Betracht, deren unbedeutenden Einfluss ich soeben gewürdigt habe.

Ueber die Temperaturänderung und ihren Einfluss auf das Resultat bemerke ich Folgendes. Den Versuch begann ich bei einer durch den ganzen Apparat gleichmässigen, durch das Thermometer bestimmten Temperatur. Ich glaubte nun während und nach dem Versuche die Temperaturmessung unterlassen zu können, da ich voraussetzte, dass bei der grossen Zahl metallischer Flächen, an welchen die ausgeathmete Luft vorbeistreichen musste, keine merkliche Temperaturänderung eintreten würde, und ich hielt diese Annahme für um so mehr gerechtfertigt, als ich ausserhalb der Schnauzenkappe gar keinen oder nur einen sehr geringen Wasserbeschlag wahrte. Dennoch bereue ich jetzt, diese Unterstellung gemacht zu haben, da ich mich nach Beendigung meiner Versuche überzeugte, dass in der That durch die Athmung in den Apparat die Wärme ansteigen kann. Als ich später Kaninchen in den Apparat athmen liess, fand sich, dass bei einer bis zu 25 Minuten dauernden

Verbindung des Thieres mit dem Athmungsraum die Wärme desselben um 0,9 bis 1,4⁰ zugenommen hatte. Da bei der ungleichen Dauer meiner Versuche ich nicht im Stande bin, sie im Einzelnen zu corrigiren, so sehe ich mich nachträglich genöthigt, sie sämmtlich als mit dem maximalen Fehler der Temperatur behaftet anzusehen. Geschieht dieses, so entsteht eine Unbestimmtheit des Resultats im Maximalbetrage von 1,7 CbC bei 0⁰ und 1 M. Hg.

Aus der Zusammenzählung ergibt sich, dass, sorgsame Arbeit vorausgesetzt, die Ungenauigkeit nicht über ± 2 CbC O bei 0⁰ und 1 M. Hg. zu steigen braucht, dass er aber durch ein Versehen von meiner Seite auf $\pm 3,4$ CbC emporgewachsen.

Dieser Fehler ist ein constanter, durch die Eigenschaften des Verfahrens unter allen Umständen gegeben; er wird also das Resultat des Versuchs um so mehr trüben, je geringer die absolute Menge des Sauerstoffs ist, welche von dem Thiere während der Beobachtung verschluckt wurde.

In einigen meiner Versuche, die im Interesse der Methode angestellt wurden, setzte ich die Beobachtung nur so lange fort (4,5 bis 7,0 Minuten), bis das Thier 66 bis 88 CbC O (bei 0⁰ und 1 M. Hg) verzehrt hatte; hier würde also der Fehler 4 bis 5 Proc. der Gesammtmenge betragen haben. — Die Versuche, welche ich zur Bestimmung des Einflusses der Temperaturänderung unternahm, beendete ich dagegen erst dann, wenn die Thiere mindestens 300 CbC O (bei 0⁰ und 1 M. Hg) zu sich genommen hatten. In diesen Fällen ist also der Fehler auf 4 Proc. herabgedrückt, eine Genauigkeit, die, wie ich glaube, nichts zu wünschen übrig lässt.

2) Stickstoff. Seine Bestimmung ruht auf denselben Grundlagen wie die des O. Die zu erreichende procentische Genauigkeit ist jedoch eine geringere; einmal darum, weil durch die Athmung kein oder wenig Sauerstoff entsteht, beziehungsweise verschwindet, und dann weil der Gehalt der atmosphärischen Luft an N 3,78mal grösser ist als der des O. Wie durch den letztern Umstand alle die aufgezählten constanten Fehler des Apparats sich erhöhen, so wachsen durch die geringen Stickstoffunterschiede im Beginn und Ende des Versuchs die procentischen Werthe des Stickstofffehlers so bedeutend, dass ausser einer grossen Sorgfalt auch zahlreiche Versuche zur Erhaltung

sicherer Werthe nöthig sind. Ich habe es desshalb diessmal unterlassen, auf die Variationen der Stickstoffwerthe die Aufmerksamkeit zu lenken.

3) Kohlensäure. Meine Bestimmung führte ich genau nach der Vorschrift von *Pettenkofer* aus; die von ihm bezeichneten Genauigkeitsgrenzen werden also auch für meine Bestimmungen zu beanspruchen sein. Ausser der Titrirung ist aber auch noch Anderes im Auge zu behalten. Selbstverständlich muss die Lösung, welche bis zu Ende des Versuchs anwesend ist, die Absorption der CO_2 rasch und vollständig ermöglichen. Dieser Bedingung gemäss müssen beim Beginn des Versuchs 200 CbC. einer concentrirteren etwa bei 15°C . gesättigten Barytlösung in die Birngefässe gebracht werden. Diese Menge sättigte in der Concentration, die ich ihr gegeben, 425 CbC. CO_2 bei 0° und 4 M. Hg. Da aber das Maximum, welches bei meinen Versuchen die Thiere aushauchten, 290 CbC. bei 0° und 4 M. Hg-Druck betrug, in der Regel aber die CO_2 -Erzeugung unter 150 CbC. blieb, so scheint es mir, als sei von dieser Seite her das Ergebniss meiner Beobachtungen vorwurfsfrei gewesen.

Einen andern Punkt, der die CO_2 -Bestimmung fehlerhaft machen könnte, betrifft die Frage, ob die Barytlösung durch Condensation von Wasserdämpfen verdünnt werden könnte, die in der Ausathmungsluft enthalten waren. Der Athmungsraum musste durch das Wassergas, welches das Kaninchen ausathmete, für die Temperatur seiner Luft fortwährend mit Wasserdampf gesättigt sein. Es wäre nun denkbar, dass aus diesem Vorrath die Barytlösung auf zweierlei Weise geschöpft hätte. Erstens dadurch, dass sie wasseranziehend wirkte. Um diese Annahme zu prüfen, habe ich eine bei gewöhnlicher Temperatur concentrirte Barytlösung in eine Flasche gebracht, deren Hals auf der inwendigen Fläche mit einigen Wassertropfen benetzt war; diese habe ich verschlossen längere Zeit aufbewahrt. Hätte die Barytlösung das Vermögen, Wasser anzuziehen, so würde zu erwarten gewesen sein, dass die Tröpfchen allmählig verschwunden wären; dieses trat jedoch nicht ein. Sollte also in der That durch die Barytlösung die Tension der Luft für Wasserdämpfe herabgesetzt werden, so könnte dieses nur in so geringem Grade geschehen, dass dieses Vermögen ohne allen Einfluss auf den Respirationversuch bliebe. Andererseits könnte auch die Barytlösung Wasser aus der höher erwärmten Ausathmungsluft

aufnehmen, mit der sie während der Ventilation in Berührung gekommen ist. Diese Annahme widerlegt sich aber direct aus den Erscheinungen des Versuchs selbst. Hätte sich die Luft auf ihrem Wege aus der Schnauzenkappe bis in das Kugelgefäss noch merklich abgekühlt, so müssten sich die Glasröhren, welche die beiden Stücke verbinden, auf ihrer innern Fläche mit Wasser beschlagen haben, was in der That nicht geschieht. Daraus geht hervor, dass die Luft schon durch die Metallstücke der Kappe genügend abgekühlt wurde, so dass sie bei ihrem Uebergang in die andern Stücke des Apparats kein Wasser mehr abgeben konnte. Aber wenn selbst aller ausgeathmete Wasserdampf in die Barytlösung gedrungen wäre, so würde doch der Fehler kein sehr merklicher sein. Angenommen, die auf 20° mit HO gesättigte Luft sei vom Kaninchen auf 40° erwärmt und mit HO gesättigt worden, angenommen, das Thier habe 80mal in der Minute geathmet und je 5 CbC., also in 20 Minuten 8 Litres Luft ausgestossen, so würde hierdurch doch nur höchstens 0,3 CbC. Wasser in die Barytlösung gekommen sein, wodurch ein proportionaler Fehler von 0,15 Proc. veranlasst wäre.

4) Störungen der Athembewegung. Jeder Widerstand, den die Luft beim Ein- oder Austritt aus der Nase vorfindet, verlangsamt bekanntlich die Athembewegung. Hierdurch könnte dann, wie wir aus guten Gründen anzunehmen berechtigt sind, die Ausscheidung der CO_2 aus dem Blute beeinträchtigt werden. Um den Athmungswiderstand vollkommen wegzuschaffen, ist es nicht allein nöthig, die Ventile zu entfernen, welche früher in ähnlichen Apparaten vorhanden waren, sondern es muss auch die vor der Nase liegende Luft immer genau auf dem Druck der Atmosphäre erhalten werden. Die erstere dieser Bedingungen konnte nach der Einführung eines neuen Ventilationsverfahrens erfüllt werden, die zweite dagegen ist nicht vollständig erreicht worden. Sie würde leicht zu erfüllen gewesen sein, wenn man entweder das ganze Thier in den Athmungsraum aufgenommen hätte, oder wenn man den Inhalt des letztern zu einer Grösse hätte anschwellen lassen, gegen welche das Volum eines Athemzugs verschwindend klein gewesen. Jeder der genannten Auswege würde aber die genaue Auswerthung des verzehrten Sauerstoffs wesentlich erschwert, wenn nicht unmöglich gemacht haben, und darum schien es rathsam, auf andere Wege zu denken. — Das einzige Mittel, was bei einem kleinen, 500 CbC. nicht über-

steigenden Athmungsraum und bei Ausscheidung des Kaninchenleibes sich noch darbot, bestand, wie es scheint, darin, das Volum des Athemraums mit der In- und Expiration selbst veränderlich zu machen. Diesen Dienst leisten nun in unserm Falle die zwei beweglichen Wandstücke des Apparats, die Kautschukplatte des Sauerstoffregulators und die Schnauzenkappe, zwei Theile, deren Nachgiebigkeit und Ausdehnung gross genug sind, um bei einer Druckänderung, die $\pm 1,0$ bis $\pm 0,5$ Mm. nicht übersteigt, das Volum eines Athemzugs aufzunehmen. Die Richtigkeit dieser Behauptung ward durch die Angaben des Manometers, welches in den Athmungsraum eingesetzt ist, bestätigt.

Ein so kleiner Widerstand hindert nun das Thier nicht mehr, in weiten Grenzen seine Brustbewegung dem Athmungsbedürfniss anzupassen. In meinen Versuchen habe ich bemerkt, dass die Athemzahl des Kaninchens durch den Apparat entweder gar nicht oder nur sehr unbedeutend herabgesetzt wird, wenn das Thier in freier Luft überhaupt nicht mehr als 60 Athemzüge in der Minute ausführt. Sowie die Athemzahl auf oder unter diesem Werth bleibt, erhält sie sich unverändert, auch wenn man die Kappe aufsetzt oder die Schnauze mit dem ventilirten Athmungsraum in Verbindung bringt. — Zum weitern Beweis dafür, dass die Thiere innerhalb des Athmungsraums die Brustbewegungen ihrem Luftbedürfniss anpassen können, dient die Erfahrung, dass mit der veränderten Temperatur und andern Umständen die Zahl der Athemzüge sehr rasch und bedeutend wechselt. So habe ich z. B. die Minutenzahl der Athemzüge bei demselben Thiere und in derselben Versuchsreihe von 40 auf 116 steigend und sinkend getroffen. In diesen Fällen wäre bei freier Athmung allerdings eine noch grössere Athemzahl zu erwarten gewesen.

Für meine Annahme, dass die durch den Apparat veranlasste Störung der Athembewegungen das Resultat des Gasaustausches nicht wesentlich ändert, kann ich auch noch zwei Beobachtungen vorführen, in denen ich absichtlich eine Hemmung des Luftstroms und zwar dadurch anbrachte, dass ich die Schnauzenkappe unmittelbar vor der Nase mit einem starken Faden einschnürte.

Der erste Versuch ist an dem Kaninchen I, das auch noch zu andern Beobachtungen diente, angestellt. Der Versuch ergab

Nr. u. Gewicht des Kaninchens	Dauer		Zahl der Athemzüge	In der Minute		CO ₂ in CbC bei 0° u. 1 M. Hg-Druck	CO ₂ / O	Temperatur im Luft- raume	Bemerkungen
	des Versuchs	der Pause		O in CbC bei 0° u. 1 M. Hg-Druck	CO ₂ in CbC bei 0° u. 1 M. Hg-Druck				
1330 Gr.									
1.	23' 4"	—	44—48	42,34	9,07	0,73	20°		
2.	22' 0"	6' 59"	40	43,49	11,36	0,84	"		
3.	18' 18"	6' 0"	41—42	46,62	13,57	0,81	"		
4.	22' 40"	47' 0"	28—32—34	43,18	10,25	0,78	"		Athmungshinderniss.
5.	21' 9"	10' 20"	39—40	44,33	10,36	0,72	"		

In der Beobachtung 4. war also die Zahl der Athemzüge im Mittel auf 34 herabgesunken, während sie in den übrigen Beobachtungen im Mittel 42 betrug; ihr Werth war also 0,74 des ursprünglichen. Das O-Mittel aus allen übrigen Beobachtungen betrug 43,90 und das CO₂-Mittel 11,09. Während des Athmungshindernisses beliehen sich die beiden Werthe dagegen auf 13,18 O und 10,25 CO₂, also verhielten sich die Ausscheidungen bei der Athmungshemmung wie 0,95 und 0,92 zu denen ohne Hemmung. Trotz dieses auf eine Abnahme des Gasaustausches hindeutenden Verhaltens würde es doch gewagt sein, eine solche Minderung anzunehmen, da in Beobachtung 1. bei 46 Athemzügen Sauerstoff- und CO₂-Austausch geringer war als in 4. mit dem Athmungshinderniss. Die geringeren Zahlen dieses Versuchs liegen also noch ganz in der Breite des Athmungsbedürfnisses für das Kaninchen während jener Zeit.

Der zweite Versuch an einem andern Kaninchen gab nachstehendes Resultat; ich verfehle nicht darauf hinzuweisen, dass die Versuchs-

Nr. u. Gewicht des Kaninchens	Dauer		Zahl der Athemzüge	In der Minute		$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$	Temperatur im Luft- raume	Bemerkungen
	des Versuchs	der Pause		O in CbC bei 0° u. 4 M. Hg-Druck	CO ₂ in CbC bei 0° u. 4 M. Hg-Druck			
1141 Gr.	6' 7"	—	38	11,47	8,65	0,75	30°	Athmungshinderniss.
	7' 25"	—	35	8,64	9,78	4,13	"	
	6' 20"	—	33	14,07	8,11	0,58	"	
II.	—	40'	—	—	—	—	"	Athmungshinderniss.
	6' 55"	—	36	10,53	8,70	0,83	"	
	6' 10"	—	37	14,44	19,10	1,67	"	
	4' 40"	—	28	14,24	8,66	0,61	"	Athmungshinderniss.

dauer hier viel kürzere Zeit, nur 4,5 bis 7 Min. betrug.

Die Athmungszahl war bei diesem Thiere das erstemal im Verhältniss von 1 zu 0,9 und zum zweitenmal im Verhältniss von 1 zu 0,76 vermindert worden. Trotz dieser ungleichen Aenderung war das Resultat des Gasaustausches beidesmal dasselbe, nämlich die CO₂-Ausscheidung war um ein Geringes gemindert, die O-Absorption dagegen beträchtlich gemehrt. Im Hinblick auf ähnliche Ergebnisse der Versuche von *Kowalewsky*, namentlich rücksichtlich des Verhältnisses von $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$, könnte man hierin eine Folge der Athmungsstörung sehen, allein an dieser Unterstellung wird man jedoch irre, wenn man bemerkt, dass dem Versuch mit dem niedrigen Werthe des Quotienten CO₂ jedesmal ein anderer vorausgeht, in dem die CO₂-Ausscheidung beträchtlich erhöht war, wobei also der genannte Quotient die Einheit überstieg. Das Verhalten des Gasaustausches während der Athmungshemmung war also möglicherweise gar nicht durch diese letztere bedingt, sondern es fand sich zufällig, dass ein eigenthümlicher Athmungsprocess zu jener Zeit eintrat, der auch ohne die Hemmung stattgefunden hätte. Gesetzt aber, es wäre das abweichende Ergebniss der Respiration dem gestörten Verlauf der Bewegungen zuzuschreiben, so müsste man schliessen, dass

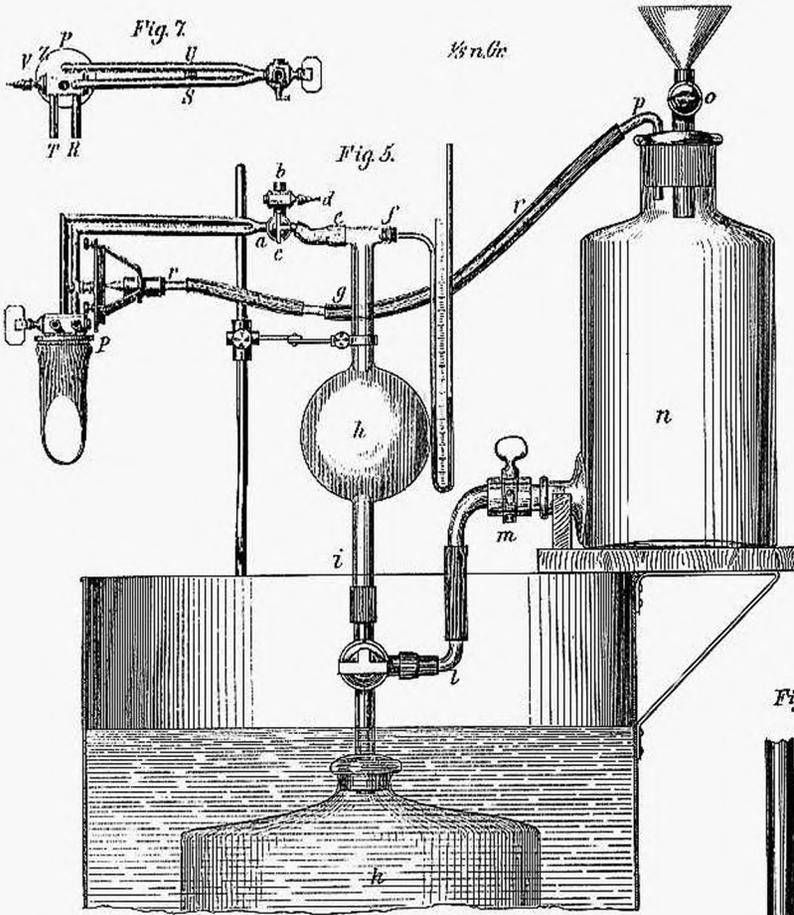
bei längerer Dauer der Athmung der Gasaustausch in umgekehrter Richtung abgewichen sei, da bei dem zuerst erwähnten Versuche, welcher längere Zeit in Anspruch nahm, nichts Aehnliches bemerkt wurde.

Besonders hervorzuheben sind noch zwei Vorsichtsmassregeln, ohne deren Befolgung die Athembewegung allerdings sehr beeinträchtigt wird. Die erste bezieht sich auf die Lagerung des Thieres, beziehungsweise seines Kehlrums. Wenn man dem Kaninchen die Rückenlage ertheilt und den Kopf auf der Unterlage durch Umschnürung der Ohren festbindet, so ereignet es sich häufig, dass der Kehlrum zusammengedrückt und hierdurch die Athmung sehr bedeutend gehemmt wird. Nach geschehener Befestigung des Thieres muss man also, bevor die Schnauzenkappe aufgesetzt wird, jedesmal die Athemzüge zählen. Zeigt sich alsdann, dass sie bedeutend gemindert sind, so muss man durch Unterschieben eines kleinen Kissens unter das Nackengelenk, oder auf irgend welche andere Weise die Compression des Kehlrums wegschaffen. Sowie dieses geschehen, stellt sich der vor dem Aufbinden vorhandene Rhythmus der Bewegung wieder her.

Die zweite Vorsichtsmassregel bezieht sich auf den Zufluss des Sauerstoffs. Wenn das Glasröhrchen, welches aus der Druckflasche hervorgeht, nicht sehr sorgfältig gegen die Kautschukplatte des Regulators eingestellt ist, oder wenn die Wassersäule, welche den Sauerstoff aus der Kugel her austreibt, zu gross ist, so ereignet es sich leicht, dass mit jeder Einathmung zu viel oder auch zu wenig Sauerstoff in den Athmungsraum hineindringt. Das Bestehen dieses Fehlers war sogleich durch den Stand des Manometers offenbart. Man kann diesem Uebelstand durch Einstellung des Röhrchens oder durch Regulirung des Hahns in der Tubulatur der Wasserflasche leicht abhelfen.

5) Fehler aus der Lagerung des Thieres. Während der Beobachtung liegt das Thier festgebunden in der Rückenlage; es ist wahrscheinlich, dass hierdurch, beziehungsweise durch die Muskelruhe, zu welcher das Thier gezwungen ist, und durch den besondern Grad der Abkühlung, der es ausgesetzt ist, in der Bildung und dem Austausch von Gasen Aenderungen eintreten. Voraussichtlich muss jedoch, nachdem das Thier einige Zeit in der ungewöhnlichen Lage verharret hat, insofern wieder

ein Gleichgewicht hergestellt werden, als die Bildung und der Verbrauch an Gasen im Innern des Körpers dem Aus- und Eingang derselben durch die Lunge gleich wird. Dieser Ueberlegung entsprechend habe ich die Thiere eine Stunde und länger vor dem Versuch aufgebunden und diesen letztern erst dann begonnen, wenn sich zehn und mehr Minuten hindurch die Zahl der Athmungszüge in der Zeiteinheit gleichblieb.



1/8 n.Gr.

Fig. 5.

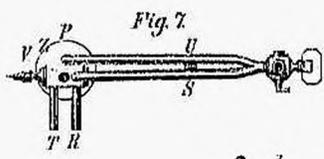
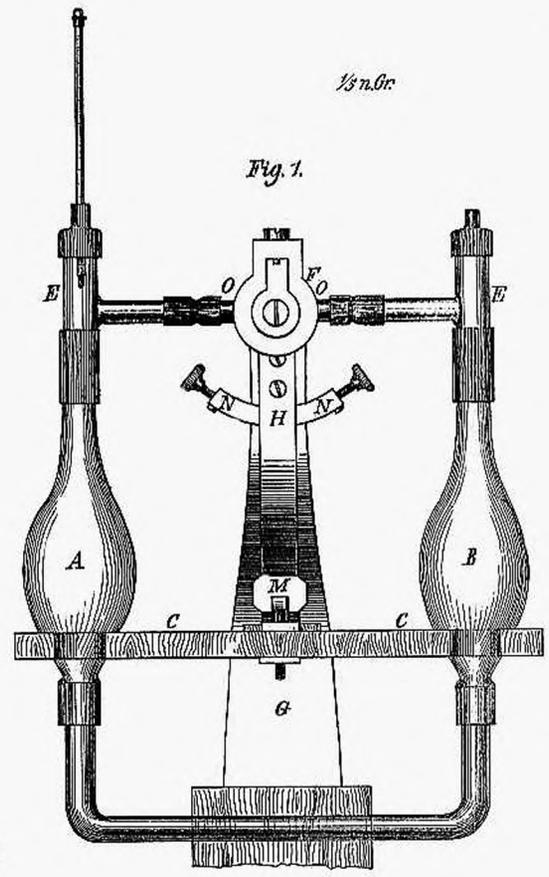


Fig. 7.



1/3 n.Gr.

Fig. 1.

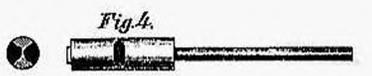


Fig. 4.

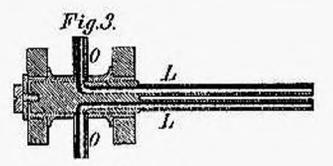


Fig. 3.

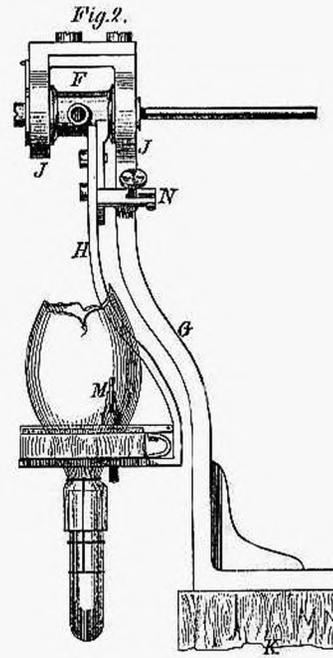
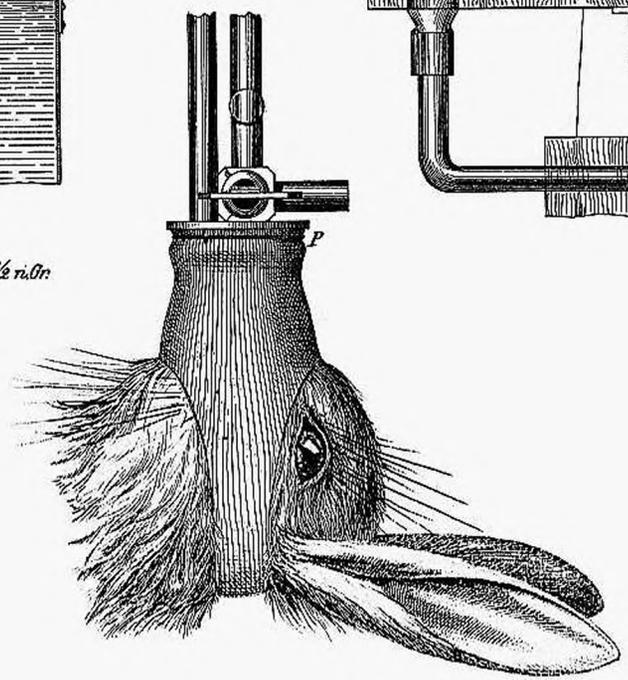


Fig. 2.

Fig. 9.



1/2 n.Gr.

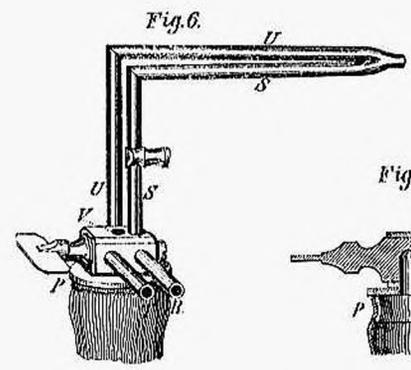


Fig. 6.

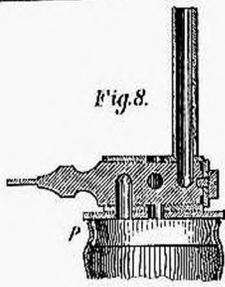


Fig. 8.

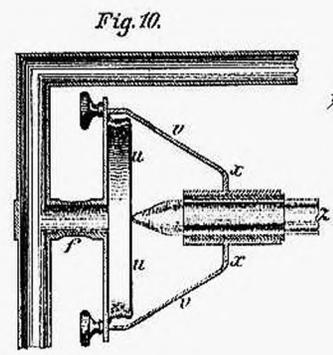


Fig. 10.

1/2 n.Gr.

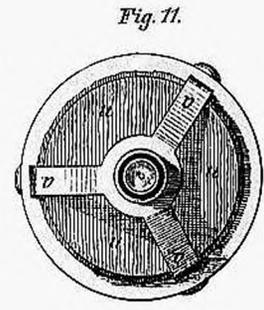


Fig. 11.