

Ueber die Lungenathmung.¹

Von

Christian Bohr.

(Aus dem physiologischen Institute der Universität Kopenhagen.)

Schon anderswo² habe ich kürzere Mittheilungen über einige Untersuchungen veröffentlicht, die Spannung der Gase theils im circulirenden Arterienblute, theils in der gleichzeitig ausgeathmeten Lungenluft betreffend.

Meine Absicht war es, durch diese Versuche darüber Aufschluss zu erlangen, inwiefern die ununterbrochene Wanderung der Gase durch das Lungengewebe hinlängliche Erklärung in einem einfachen Diffusionsprocesse finde, oder ob dabei die Gewebelemente der Lunge ganz nach der Art des Verhaltens der Gewebelemente eigentlicher Drüsen beim Secretionsprocesse in eigenthümlicher Weise miteingriffen. Sollte es sich nämlich bei der Untersuchung herausstellen, dass die Wanderung der Gase durch das Lungengewebe immer in der Richtung nach dem niedrigeren Drucke stattfände, würden die Spannungsdifferenzen an den beiden Seiten der Alveolarwände in einfacher und hinlänglicher Weise die hierhergehörigen Phänomene in ihrer zur Zeit bekannten Ausdehnung erklären.

Wären die Spannungswerthe dagegen nur ab und zu unzweifelhaft von der Art, dass die verhältnissmässig niedrigste Spannung sich am Ausgangspunkte der Gasbewegung fände, und hätten sich in diesem Falle die Gase also der Richtung entgegen bewegt, welche der Druck zu fordern schien, würde selbstverständlich die einfache Diffusion als Erklärung nicht mehr genügen.

¹ Der Redaction zugegangen den 16. April 1890.

² *Centralblatt für Physiologie*. 1887. Bd. I. Nr. 14. 1888. Bd. II. Nr. 17.

Das Gewebe der Lunge würde dann specifischer Weise sich am Gasaustausche betheilig haben, ein Umstand, welcher unserer Auffassung auch anderer Theile der Respirationslehre in nicht geringem Grade beeinflussen würde.

Im Grossen und Ganzen haben nun meine Versuche entschieden gezeigt, dass das Lungengewebe bei dem Gasaustausche eine active Rolle spielt, wonach also die Function der Lunge als den eigentlichen Drüsenfunctionen analog aufzufassen wäre. Diese Auffassung ist zwar nicht mit der zur Zeit in der Physiologie als herrschend zu betrachtenden Meinung übereinstimmend, jedenfalls nicht was den Sauerstoff betrifft; andererseits scheint sie mir jedoch auch mit keinen bisher veröffentlichten experimentellen Thatsachen in Streit zu gerathen.

Es fehlte mir bei meinen früheren kurzen Mittheilungen die Gelegenheit, eine nähere Beschreibung der angewandten Methode und der einzelnen Versuche einzufügen. Eine solche Beschreibung findet sich deshalb weiter unten, wie die hier vorliegende Abhandlung ausserdem eine Reihe bis jetzt nicht veröffentlichter Versuche über den Einfluss der Einathmung kohlen säurehaltiger Luft auf die Spannung der Blutgase enthält. Die hierdurch gewonnenen Ergebnisse haben die Anschauung über die Function der Lungen bestätigt, die ich mir auf Grundlage meiner früheren Versuche mit kohlen säurefreier Athmungs luft gebildet hatte.

I.

Methodik.

Bei den hier vorgenommenen Versuchen wurden, wie erwähnt, gleichzeitig die Spannungen der Gase im arteriellen Blute und in der Lungenluft festgestellt. Von den hierbei in Anwendung gebrachten Methoden werden wir erst diejenige beschreiben, welche zur Bestimmung der Spannung des Sauerstoffes und der Kohlensäure im Blute diene. In ihren Hauptzügen ist sie folgende: Das Blut strömt von einer Arterie direct in einen Apparat hinein, dessen Construction ich sogleich näher beschreiben werde, und tritt hier mit einer grossen Oberfläche in Diffusionsverkehr mit der im Apparate enthaltenen Luft. Das Verharren des Blutes in dem genannten Apparate war sehr kurz, nur den Bruchtheil einer Minute; nach Verlauf dieser Zeit strömte es durch das periphere Ende einer durchgeschnittenen Arterie oder durch eine Vene wieder aus dem Apparate heraus und zum Versuchsthier zurück, und gleich wurde dann sein Platz im Apparate von einer neuen Portion Blut eingenommen. In dieser Weise konnte der Versuch längere

Zeit hindurch fortgesetzt werden, während das angewandte Blut doch immer frisch blieb und nur sehr kurze Zeit ausserhalb dem Thiere sich befand. Bei solcher Anordnung wird nun recht schnell ein Diffusionsgleichgewicht zwischen den Gasen des Blutes und der Luft im Apparate eintreten; observirt man dann den Totaldruck im Apparate und unterwirft eine Probe von der Luft im Apparate der Analyse, so lassen sich die Partialdrucke der einzelnen Gase letztgenannter Luft berechnen. Diese sind mit der Spannung der betreffenden Gase im Blute identisch.

Der bei diesem Messen der Spannungen benutzte Apparat ist in seinen Grundzügen während eines Aufenthaltes bei meinem lieben Lehrer, Prof. Ludwig, im Leipziger Laboratorium im Jahre 1887 construirt worden, und als Grundlage diente mir die letzteingeführte Modification der Stromuhr des genannten Forschers; die beiden Apparate haben die eigenthümliche Stromanordnung des Blutes gemeinsam. Im Folgenden wird der Apparat Hämataerometer genannt.

Das Hämataerometer. Zwei cylindrische Glasröhren (Fig. 1 a_1 und a_2) sind senkrecht und einander parallel aufgestellt; ihre Länge ist etwa 20 cm, ihr Diameter 2 cm. Nach aufwärts verengern sie sich und gehen hier in die Röhre m über, durch welche die Cylinder mit einander communiciren können; nach abwärts enden die Cylinder in die Glasröhren d_1 und d_2 aus, und den unteren Enden der Cylinder am nächsten zweigen sich die Röhren b_1 und b_2 ab. In diesen Cylindern findet die oben erwähnte Ausgleichung zwischen der in ihnen sich schon befindlichen Luft und den Gasen des fortwährend frisch einströmenden Blutes statt, dessen Strömung in folgender Weise regulirt wird. Aus dem centralen Ende einer durchschnittenen Arterie strömt das Blut durch das T-Rohr f (Fig. 1) und stehen ihm nun durch die sich kreuzenden Kautschukschläuche (die auf der Zeichnung schraffirt sind) zwei Wege offen, entweder durch die Röhre b_1 zum Cylinder a_1 oder durch die Röhre b_2 zum Cylinder a_2 ; indessen ist zur jeweilig gegebenen Zeit nur der eine dieser Schläuche zu passiren (b_2), der andere wird durch eine Schiebklammer (pr) zusammengedrückt, das Blut wird deshalb allein in den einen Cylinder (a_2) eindringen. Gleichzeitig wird der andere Cylinder (a_1) vom Blute entleert, mit dem es gefüllt ist; der Ablauf aus den Cylindern findet nämlich durch die unteren Enden d_1 und d_2 statt, die durch Kautschukschläuche mit demjenigen Rohr (g) verbunden sind, durch welches das Blut dem peripheren Ende der Arterie zu- und also in's Thier zurückströmt. Wie aus der Figur ersichtlich, kann wegen des ungekreuzten Verlaufes der Ablaufschläuche zwischen die Schiebklammer hindurch sich eben nur derjenige Cylinder entleeren, dessen Zuströmungsöffnung geschlossen ist (a_2). Hat in dem sich im

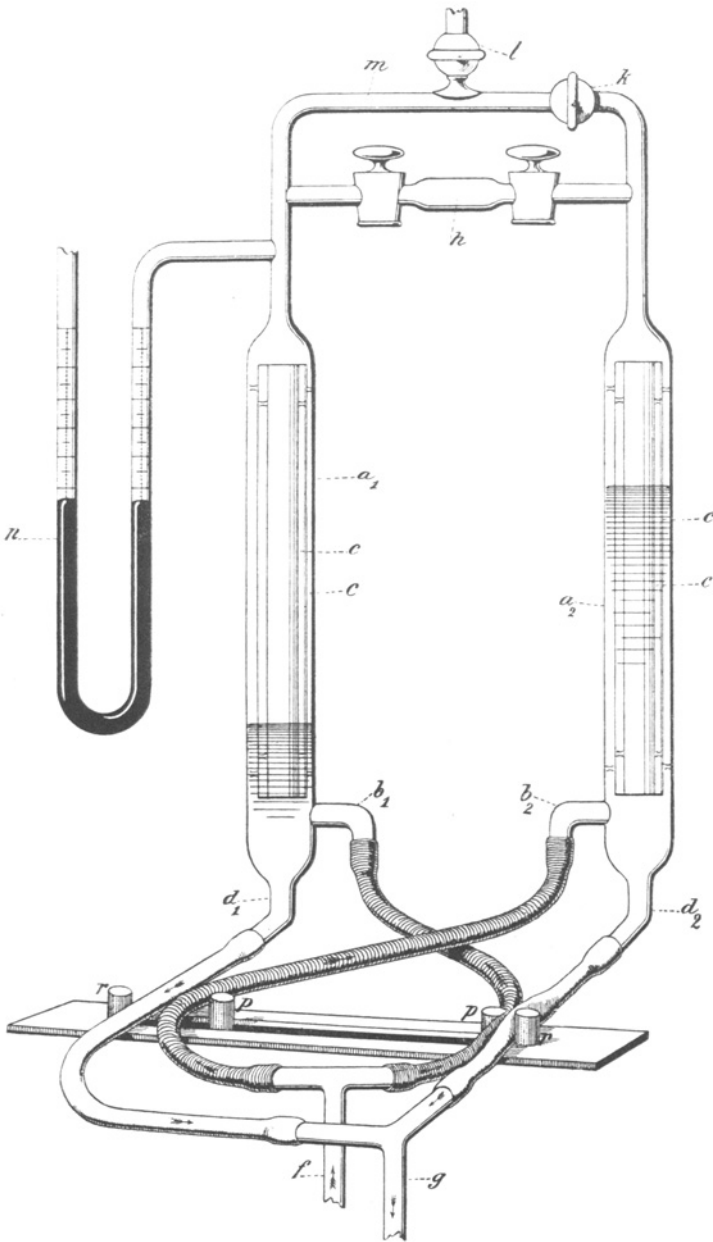


Fig. 1.

Augenblick füllenden Cylinder das Blut den oberen, eingeengten Theil erreicht, und ist es also aus dem anderen Cylinder gleichzeitig dicht bis unterhalb der Röhre *b* abgeströmt, wird mittelst eines (auf der Figur nicht angegebenen) Hebels die Stellung der Schiebklammer verändert; es werden nun die Schläuche, die bis jetzt offen standen, zusammengeklemt und umgekehrt. Die Cylinder wechseln in der Weise beständig ihre Rolle, und so lange der Versuch dauert, setzt sich dies Spiel des Blutes, bei dem abwechselnd jeder Cylinder vom Thier das Blut empfängt und es wieder zurückströmen lässt, ununterbrochen fort.

Die Einrichtung der erwähnten Schiebklammer ist folgende: Ein Stück Metall trägt die beiden Metallstäbchen *rr*; zwischen ihnen befindet sich im Metall ein Ausschnitt, durch welchen die Stäbchen *pp* hervorragen. Diese sind an eine unterliegende Metallplatte befestigt, welche durch einen Hebel von der einen Seite zur anderen verschiebbar ist.

Von Anfang an muss der ganze Apparat passend mit Flüssigkeit gefüllt sein (bis zur Hälfte der beiden Cylinder). Hierzu kann defibrirtes Blut benutzt werden oder 0.7% ClNa, welches letztere ich immer benutzt habe. Endlich sei mit Bezug auf die Strömung des Blutes bemerkt, dass die Stellung der Zuströmungsröhre (*b*) des Cylinders zu dessen Ablaufsröhre (*d*) in der auf der Figur angegebenen Weise deshalb gewählt ist, um sicher zu stellen, dass die Cylinder auch jedes Mal mit frischem arteriellem Blute gefüllt werden. Sorge ist dafür zu tragen, dass das Blut aus dem Cylinder bis etwas unterhalb *b* ausläuft; das einströmende Blut, welches durch *b* eintritt, wird dann nur in verschwindendem Grade mit dem nach der Entleerung des Cylinders in dessen niedrigsten Theile resistirenden Blute gemischt.

Während dieser solcher Weise beschriebenen Bewegung des Blutes in den Cylindern wird die Luft im Aerometer von dem einen Cylinder zum anderen hin und wieder zurückgetrieben, indem dieselbe, insofern der Hahn (*k*) offen ist, durch die Röhre *m* passirt; während des eigentlichen Versuches ist der genannte Hahn geschlossen, und die Luft nimmt dann ausschliesslich ihren Weg durch den Luftrecipienten *h*, welcher an beiden Enden mit luftdicht geschliffenen Hähnen versehen ist. Während dieser ununterbrochenen Wanderung der Luft von einem Cylinder zum anderen gleicht sich dieselbe mit den Gasen des Blutes aus. Im Besonderen kommt die Luft jedes Mal, wenn sie in den eben vom Blut entleerten Cylinder hineinströmt, mit dem frischen arteriellen Blute, das hier überall die Glaswände befeuchtet, in Berührung. Um diesen Glaswänden eine grosse Oberfläche im Vergleich zu den Volumen des

Cylinders zu verschaffen, sind im Cylinder zwei sowohl nach oben als nach unten offene Glasröhren (*cc*), die eine innerhalb der anderen angebracht; dieselben sind sodann durch kleine an die Seiten des Cylinders angeschmolzene Glasstiele in der bestimmten Stellung gehalten, die die Figur angiebt. Der Diameter des Cylinders ist, wie schon früher erwähnt, 20^{mm}, die Diameter der offenen Glasröhren sind etwa 13 und 7^{mm}. Hierdurch wird die blutbefeuchtete Fläche, die bei jeder Cylinderentleerung sich der Einwirkung der Luft darbietet, etwa 310 □^{cm}, während das Volumen des Cylinders etwa 40^{ccm} gross ist. Hätte dieses selbe Verhältniss zwischen der Oberfläche und dem Volumen an einem einfachen Glasylinder ohne Einschubröhren erreicht werden sollen, hätte derselbe einen Diameter von etwa 1/290 der Länge gehabt haben müssen und würde solcher Weise von sehr unbequemen Dimensionen geworden sein.

Die grosse Oberfläche ist ein sehr günstiger Moment für die Diffusion zwischen Blut und Luft; diese wird aber ausserdem sehr durch die fortwährend der Luft im Aerometer mitgetheilten Bewegung befördert; hierdurch werden nämlich die Luftschichten, die in unmittelbarer Berührung mit dem Blute gewesen sind, jeden Augenblick mit der ganzen Luftmenge vermischt, wodurch sie dann immer wieder neuen Luftschichten Platz geben. Aus der Methodik der Gasanalyse weiss Jedermann, welche grosse Rolle die stossweise Bewegung einer Luftmasse für die gleichmässige Mischung ihrer Bestandtheile spielt.

Ist dann solcher Weise die erste Abtheilung des Versuches beendigt, werden die Hähne am Recipienten *h* geschlossen; hierdurch wird in diesem eine Luftprobe eingeschlossen, die nach der Entfernung des Recipienten vom Aerometer in ein Eudiometer übergefüllt und dann analysirt werden kann. Es waren in der Regel an dem Apparat ausser *h* ein oder zwei ähnliche Recipienten angebracht; diese sind, um die Zeichnung nicht zu sehr zu compliciren, auf der Fig. 1 fortgelassen, ihr Platz ist aber hinter dem Recipienten *h* und sie stehen in ganz ähnlicher Weise wie dieser mit der Röhre *m* in Verbindung. Wenn daher die eine Versuchsabtheilung mit dem Abschliessen des ersten Recipienten beendigt ist, kann unmittelbar darauf eine neue Abtheilung mittels eines zweiten Recipienten anfangen, ohne dass irgend welche Unterbrechung der regelmässigen Strömung des Blutes durch die Cylinder eintritt. Erst wenn der ganze Versuch beendigt, werden sämtliche Recipienten von dem Apparate entfernt. Ihre Verbindung mit diesem geschieht mittels kurzer Kautschukschläuche, so dass Glas unmittelbar gegen Glas anstösst; die kurzen Schläuche werden vor dem Versuche gefirnisset; in derselben Weise sind die wenigen anderen Verbindungen

zwischen den Theilen des übrigens ganz aus Glas gebildeten Apparates zu Stande gebracht.

Bei der Weise, in welcher die Proben der Aerometerluft zur Analyse herausgenommen werden, muss man selbstverständlich sicher sein, dass die Luft im Recipienten *h*, zu jeder Zeit während des Versuches, mit der Luft in den Cylindern in ihrer Zusammensetzung übereinstimmt. Für dieses ist in unbedingt sicherer Weise gesorgt, indem der Luft während ihrer Wanderung von Cylinder zu Cylinder allein der Weg durch den Recipienten zu Gebote gestellt ist, wie auch der Cubikinhalte des letzteren (etwa 15 ^{ccm}) bedeutend kleiner ist als derjenige eines einzelnen Cylinders (etwa 40 ^{ccm}). Es wird während jeder Bewegung des Blutes im Apparate deshalb die Luft des Recipienten vollständig durch die Luft aus dem sich im Augenblicke mit Blut füllenden Cylinder ersetzt.

Bisweilen ist es wünschenswerth, vor Anfang des Versuches das Aerometer mit einer Gasmischung angefüllt zu haben, die einen von dem der atmosphärischen Luft abweichenden Gehalt an Gasen hat; auch hierzu werden die Recipienten benutzt, indem einer oder mehrere von ihnen vor der Zusammensetzung des Apparates mit einem reinen Gase passender Natur (Kohlensäure, Sauerstoff oder Stickstoff) gefüllt wird; sind dann die Recipienten an ihrem Platze angebracht und sind die Cylinder bis zur Hälfte mit einer Chlornatriumlösung gefüllt, also alles in Stand gesetzt, um den Versuch zu beginnen, werden sämtliche Hähne der Recipienten, sowie der Hahn *k* geöffnet, und die Flüssigkeit im Apparate wird darauf mittels einer mit dem Rohr *f* verbundenen Druckflasche, die eine Chlornatriumlösung enthält, in dieselbe Bewegung gesetzt, welche nach obiger Beschreibung dem Blute während eines eigentlichen Versuches mitgetheilt wird. Nur wenige Bewegungen der Flüssigkeit auf und ab genügen dann, um überall im Apparate eine vollkommen gleiche Luftmischung herzustellen; dieses ist durch besondere Versuche geprüft worden, und liess sich übrigens in Folge der Construction des Apparates voraussagen.

Noch ist, was die Einrichtung des Aerometers betrifft, zu bemerken, dass der Hahn *l* (Fig. 1) dazu benutzt wird, den Apparat in Communication mit der atmosphärischen Luft zu setzen, was während des Einfüllens der ClNa-Lösung vor Beginn des Versuches nöthig ist; so lange der Versuch dauert, ist er fortwährend geschlossen. Ein Quecksilbermanometer (*w*) erlaubt es, den Totaldruck im Aerometer abzulesen.

Die Aufstellung des Aerometers ergibt sich aus der Fig. 2. Um die Temperatur constant zu halten, ist der Apparat in einem aus Glaswänden gebildeten Wasserkasten (*B* Fig. 2) angebracht. Durch den Boden

des Kastens sind die Röhren *f* und *g* für das zu- und abströmende Blut geleitet; um das Anbringen des Apparates im Kasten zu erleichtern, ist der obere Theil des letzteren mit dem Boden durch einen Quecksilberschluss verbunden und also leicht zu entfernen. Das Wasser um den Aerometer herum wird während des Versuches constant auf einer Temperatur von etwa 38° gehalten. Diese wird mittels einer Gasflamme, die mit einem Aetherregulator in Verbindung steht, fertig gebracht.

Aus dem Wasserkasten ragt mit seinem Griff der Hebel hervor, der, wie oben erwähnt, die Schiebklammer *pr* (Fig. 1) bewegt. Bei jeder Aenderung der Stellung dieses Hebels, also bei jeder neuen Cylinderfüllung, wird dann ein elektrischer Contact (*b* Fig. 2) geschlossen, wodurch die Anzahl und die Dauer der Cylinderfüllungen mittels eines Electromagneten an dem rotirenden Cylinder *c* (Fig. 2) markirt wird.

Die Menge des Blutes, welche den rotirenden Cylinder passirt hat, und die Dauer des Verharrens jeder einzelnen Blutportion im Apparate ist deshalb zu jedem beliebigen Zeitpunkte des Versuches bekannt.

Es musste bei der Aufstellung besonders auf die Regulirung des im Aerometer herrschenden Totaldruckes Rücksicht genommen werden. Hätten das Versuchsthier und der Apparat sich in derselben Höhe befunden, würde nämlich der Druck im Apparate wegen des Druckes in der Arterie, mit der er in Verbindung gesetzt war, ungefähr 120^{mm} Hg über dem Drucke der Atmosphäre gewesen sein. Wie gleich gezeigt werden wird, war indessen, um das Diffusionsgleichgewicht im Aerometer hervorzubringen, nothwendiger Weise die Forderung zu stellen, dass der Totaldruck ziemlich mit dem Drucke der Atmosphäre gleichkomme. Dieser Forderung wurde dann in folgender Weise Rechnung getragen.

Das Aerometer war auf einem kleinen Gerüst (*C* Fig. 2) angebracht, so dass das Instrument sich etwa 2.5 m über dem Fussboden befand. Das Versuchsthier dagegen lag auf einem in Schnüren aufgehängten Tisch (*A*), welcher in verticaler Richtung über eine an der Decke angebrachte Rolle beweglich war. Die Verbindung zwischen den übergeschnittenen Arterien und dem Aerometer geschah mittels der Kautschukschläuche *f* und *g* (Fig. 2). Die Person, die mit Hilfe des Hebels *a* für regelmässige Blutströmung in den Cylindern Sorge trug, beobachtete gleichzeitig das Manometer *n* (Fig. 1), und indem sie einem Assistenten Ordre gab, den Tisch nach Umständen zu heben oder zu senken, hatte sie es fortwährend in ihrer Macht, den Manometerstand ununterbrochen um den Nullpunkt zu halten.

Dass nun, um die Bedingungen für ein Diffusionsgleichgewicht bei unserem Apparate zu Stande zu bringen, eine solchartige Regulirung des Druckes nothwendig ist, geht aus folgender Betrachtung hervor: Es werden in den Lungen Gase im Blute unter dem Totaldruck von ungefähr einer Atmosphäre und bei einer Temperatur von etwa 38° aufgenommen. Das Arterienblut strömt dem Aerometer zu, welches dieselbe Temperatur wie die Lungen hat, in welchem aber ohne Anwendung der eben beschriebenen Aufstellung der Totaldruck etwa 120^{mm} Hg über den Druck der Atmosphäre sein würde. Da nun die Gasmischungen in der Lungenluft und im Aerometer, qualitativ gesehen, eine und dieselbe Zusammensetzung haben, muss, wenn Gleichgewicht eintreten soll, im Aerometer eine theilweise Absorption von wenigstens einem Gase vor sich gehen; während aber diese Absorption vor sich geht, vermindert sich durchaus nicht der Totaldruck im Aerometer, wie es der Fall hätte sein müssen, wenn dieser ein geschlossener Behälter gewesen wäre; denn das Blut im Apparate communicirt mit dem arteriellen Blute und hält sich immer auf der Höhe des Arteriendruckes. Dagegen steigt ein dem absorbirten Gasvolumen entsprechendes Quantum Blut aus den Gefässen des Thieres in den Apparat hinein. Etwas mehr als früher werden die Cylinder mit Blut gefüllt und der Druck ist wieder auf 120^{mm} gestellt. Jetzt muss indess wieder das eine oder das andere Gas wenigstens theilweise absorbirt werden. Als Resultat ergibt sich dann die noch weitere Füllung der Cylinder mit Blut, und ein Gleichgewicht würde erst dann eintreten, wenn sie ganz gefüllt worden wären, welches selbstverständlich die Fortsetzung des Versuches unmöglich machen würde. Eben aus diesem Grunde ist es nothwendig, den Totaldruck des Aerometers immer ungefähr auf der Höhe des Druckes der Atmosphäre zu halten, wie es durch die bereits angegebene Aufstellungsweise ermöglicht ist.

Der Respirationsapparat. Unserem Plane gemäss sollte gleichzeitig mit der Spannung der Gase im Blute auch die Zusammensetzung der Athmungsluft untersucht werden. Dieses geschah in einer Weise, welche ausser der mittleren Zusammensetzung der Athmungsluft innerhalb einer gegebenen Zeit sogleich auch gestattete, die Menge der ein- und ausgeathmeten Luft zu bestimmen, so dass man dadurch über den ganzen Verlauf des Lungenrespirationsprocesses während des Versuches Aufschluss gewann. Das Verfahren ist folgendes: Eine dem Versuchsthiere eingesetzte Trachealanüle steht mit einem leicht beweglichen, gut schliessenden Klappenventil (*d* Fig. 2) in Verbindung, durch dessen eines Ventil das Ausathmen, während durch das andere das Einathmen vor sich geht. Die Einathmungsluft passirt zuerst die Gasuhr *J*

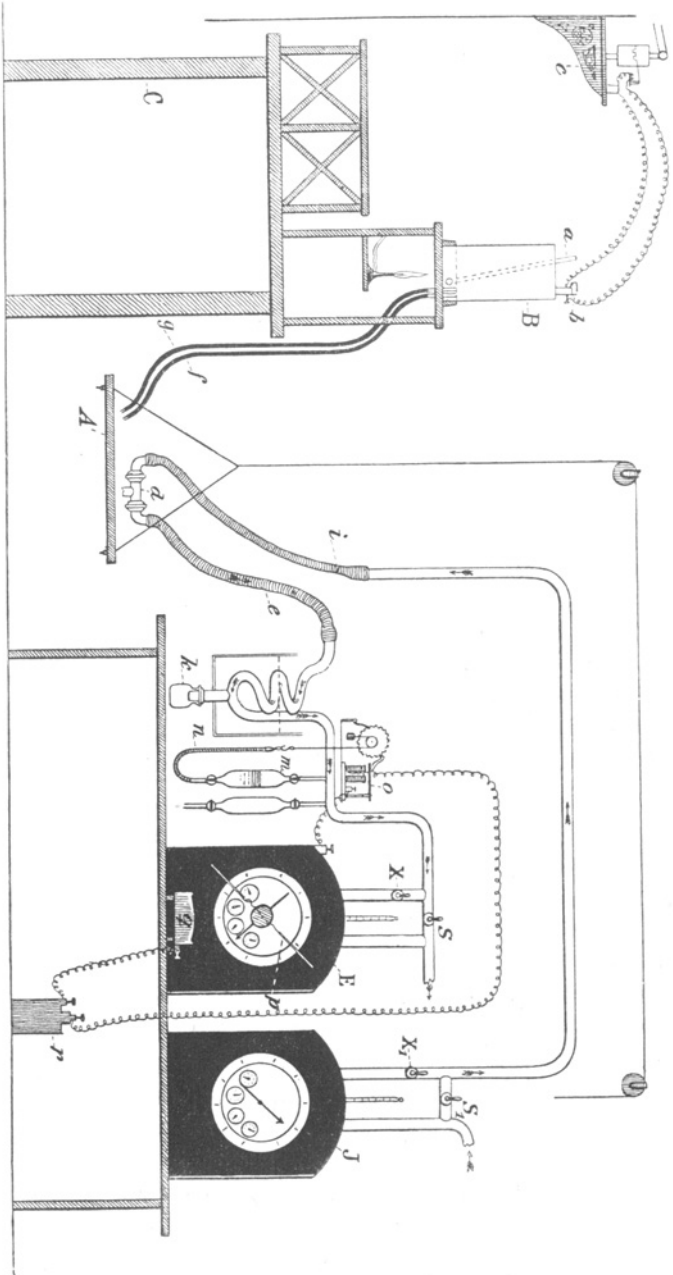
(Fig. 2)¹ und gelangt zum Ventile durch die Röhre *i*; diese Röhre ist, wie die übrigen Leitungen des Respirationsapparates, von einem solchen Kaliber, dass dieses der Luftpassage bei der Respiration eines grossen Hundes kein nennenwerthes Hinderniss entgegensetzt (Diameter etwa 2.5 cm). Der auf der Figur schraffierte Theil der Leitung ist, um die Bewegung des Tisches *A* zu ermöglichen, aus Kautschuk.

Die Ausathmungsluft tritt durch die Röhre *e* heraus und passirt auf dem Wege nach der Gasuhr *E* eine Kühlvorrichtung, in welcher dieselbe auf Stubentemperatur abgekühlt wird. Das hierdurch verdichtete Wasser läuft in die Flasche *K* ab. Zwischen den Kühler und die Gasuhr ist ein Apparat eingeschoben, mittels welchem von der Ausathmungsluft continuirlich Proben zur Analyse herausgenommen werden. Die Proben werden der Menge der Ausathmungsluft proportional genommen und werden dieselben dadurch der genaue Ausdruck für die mittlere Zusammensetzung derselben innerhalb einer gegebenen Zeit. In folgender Weise geht man dabei vor: Der Recipient *m* (Fig. 2), welcher an beiden Enden mit Hähnen versehen ist, enthält Quecksilber und steht nach unten mit dem Kautschukschlauche *n* in Verbindung; dieser letztere ist an dem oberen Ende offen und, wie es sich aus der Figur ergibt, um die Axe eines vom Electromagneten *o* getriebenen Zahnrades aufgehängt.

Der Stand des Quecksilbers in dem Recipienten *m* ist, wenn die Hähne geöffnet sind, durch die Höhe bestimmt, in welcher sich das offene Ende des Kautschukschlauches befindet. Bei Beginn des Versuches ist der Schlauch demnächst so aufgehängt, dass der ganze Recipient bis zur Einmündung in die Ausathmungsleitung mit Quecksilber gefüllt ist. Sobald die Gasuhr für Ausathmung eine halbe Umdrehung (etwa für jeden halben Liter Ausathmungsluft) gemacht hat, schliesst ein auf der Axe der Gasuhr angebrachtes Metallstäbchen einen Contact für das Element *r*, indem dasselbe in die Quecksilberschale *q* hineintaucht.² Der Electromagnet *o*, welcher dadurch in Bewegung gesetzt wird, treibt das Zahnrad einen Zahn vorwärts; der Kautschukschlauch *w* senkt sich dann um einen Bruchtheil eines Millimeters und es fliesst aus dem offenen Ende desselben soviel Quecksilber heraus, dass sich um denselben Bruchtheil eines Millimeters das Quecksilberniveau im Recipienten *m* senkt. Auf dieser Weise füllt sich der in seiner Länge

¹ Der Respirationsapparat, der die rechte Seite der Fig. 2 einnimmt, ist der Deutlichkeit wegen in einem weit grösseren Maassstabe gezeichnet als das die linke Seite der Figur einnehmende Aerometer.

² Eine analoge Vorrichtung ist schon früher in dem Laboratorium des Hrn. Prof. Zuntz angewandt.



überwiegend cylindrisch geformte Recipient der Bewegung der Gasuhr *E* proportional mit Ausathmungsluft. Ist der Recipient darauf vollständig mit Luft gefüllt, werden dessen beide Hähne geschlossen und sodann wird ein neuer Recipient in Gebrauch genommen. Nach dem Versuche werden die auf diese Weise aufgesammelten Ausathmungsgase in das Eudiometer übergefüllt und analysirt.

An der Einathmungsleitung war ein ganz ähnlicher (auf der Figur nicht angegebener) Apparat angebracht. Dieser wurde in allen Fällen benutzt, wo die Einathmungsluft eine andere Zusammensetzung als die der atmosphärischen Luft hatte. In solchen Fällen wurde übrigens für Gleichmässigkeit der Einathmungsluft dadurch gesorgt, dass diese am Tage vor dem Versuche in einem grossen genau äquilibrirten, 1000 Liter enthaltenden, Spirometer zubereitet worden war; aus diesem Spirometer athmete das Thier während des Versuches.

Da die Versuchsdauer ziemlich kurz, in der Regel $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ Stunde war, musste die Anfangs- und die Schlusszeit mit Genauigkeit festgesetzt werden. Zu diesem Zwecke waren vor dem Versuche die Hähne *X* und *X*₁ geschlossen, *S* und *S*₁ dagegen geöffnet. Das Gas umging die Gasuhren. Auf bestimmtem Minutenschlag wurden *X* und *X*₁ geöffnet und *S* und *S*₁ geschlossen; hierdurch erst wurde der Luft der Weg durch die beiden Gasuhren geöffnet. Beim Abschluss des Versuches ging man in analoger Weise vor.

Durch die so beschriebene Methode sind wir im Stande, die Zusammensetzung der Ausathmungsluft innerhalb eines gewissen Zeitraumes kennen zu lernen. Zu bemerken ist indess, dass die Gasmischung, mit welcher das Blut in den Alveolen der Lunge in Berührung kommt, nicht dieselbe Zusammensetzung hat, wie die Ausathmungsluft; letztere besteht nämlich, wie bekannt, aus einer Mischung von Alveolenluft mit der im Wesentlichen unveränderten atmosphärischen Luft, die bei der Einathmung nur in die grossen Luftwege hineingelangt ist. Die Verschiedenheiten in der Zusammensetzung, welche die Ausathmungsluft und die Alveolenluft darbieten, ist von dem Verhältniss zwischen der Tiefe des Athemzuges und dem Volumen der grossen Luftwege abhängig und deshalb selbst in Bezug auf ein und dasselbe Individuum sehr variabel; man weiss indess schon im Voraus, dass die Alveolenluft stets reicher an Kohlensäure und ärmer an Sauerstoff ist als die Ausathmungsluft; wenn deshalb, wie in einigen der weiter unten angeführten Versuche der Kohlensäuredruck im Blute grösser als in der Ausathmungsluft ist, ziehen wir den Schluss, dass diese Druckdifferenzen in derselben Richtung gehen müssen, und nur in noch höherem Grade hervortretend sind, sobald man das Blut mit der Alveolenluft vergleicht. In

solchen Fällen können wir sodann mit Sicherheit behaupten, dass die treibende Kraft des in den Lungen stattfindenden Luftaustausches nicht in den Differenzen des Druckes auf die beiden Seiten der Alveolenwände zu suchen ist. Vielmehr ist eine Druckdifferenz während des Luftaustausches überwunden worden, für deren Grösse wir freilich nur einen Minimalwerth kennen. Aber in anderen Versuchen, in den die Kohlen-säurespannung im Blute höher, die Sauerstoffspannung dagegen niedriger als in der Ausathmungsluft ist, wird die Sache complicirter. Es ist hier die Möglichkeit vorhanden, dass die Differenz zwischen der Spannung im Blute und in der Alveolenluft das Vorzeichen wechsele, insofern wir wirklich im Stande wären, zum Vergleich statt der Ausathmungsluft die kohlen-säurereichere und sauerstoffärmere Alveolenluft anzuwenden. Für die Versuche wäre es deshalb ein Gewinn, wenn eine grössere Annäherung an die Alveolenluft hergestellt werden könne, als uns die Ausathmungsluft zur Hand giebt; und es wird dieses auch ohne Beeinträchtigung der Sicherheit des Versuches dadurch möglich, dass wir die Zusammensetzung berechnen, welche die ausgeathmete Luft in demjenigen Augenblicke hat, in welchem dieselbe, ehe sie gemischt wird mit der in der Trachea und in der Canüle stehenden atmosphä-rischen Luft, die Bifurcatur der Trachea passirt. Um diese Grösse zu berechnen, müssen als bekannt vorausgesetzt werden: die Zusammen-setzung der ein- und ausgeathmeten Luft, die Grösse eines einzelnen Athemzuges, sowie das Volumen der Trachea bis zur Bifurcatur und des schädlichen Raumes im Ventilapparate. Die beiden ersten Grössen erhalten wir durch die Respirationsversuche. Das Volumen der Trachea bis an die Bifurcatur wird nach dem Tode des Versuchsthieres durch *directe Messungen mit Wasser bestimmt*.

Nennt man dann die procentische Menge eines Gases in der Aus- und Einathmungsluft resp. E und J , ist ferner A das Volumen eines einzelnen Athemzuges und a das Volumen der Trachea sammt des schädlichen Raumes im Ventile, so findet man die procentische Menge (X) des betreffenden Gases in der ausgeathmeten Luft eben in dem Augenblicke, in welchem sie die Bifurcatur passirt als

$$X = \frac{A E - a J}{A - a}.$$

Wie oben erwähnt, wird bei dieser Berechnung vorausgesetzt, dass sich der während einer Respirationsphase in der Trachea stehen gebliebene Theil der Einathmungsluft in seiner Zusammensetzung nicht merkbar verändert hat. Obwohl die Richtigkeit dieser Voraussetzung wohl kaum zu bezweifeln ist, habe ich doch als Probe auf die Brauch-barkeit der Formel folgenden Versuch Sicherheits halber angestellt:

Während man an einem grossen Hunde in oben beschriebener Weise die Respiration bestimmte, nahm man gleichzeitig durch ein in die Trachea eingeschobenes, dünnes elastisches Katheter eine Luftprobe aus der Bifurcatur heraus. Diese Luftprobe wurde eingesaugt über Quecksilber, und zwar so, dass nur während jeder Ausathmung¹ gesaugt wurde. Bei diesem Versuche erwies sich nun das Volumen eines Athemzuges $A = 152 \text{ ccm}$, der schädliche Raum bis an die Bifurcatur $a = 100 \text{ ccm}$. Das Kohlensäureprocent in der Ausathmungsluft $E = 0.92$, das Kohlensäureprocent in der Einathmungsluft $J = 0$. Hieraus berechnet sich nach nachstehender Formel der Kohlensäuregehalt in der Bifurcaturluft:

$$X = \frac{152 \cdot 0.92}{52} = 2.69 \text{ } \%.$$

Die directe Bestimmung der Kohlensäure in derselben Luft ergab die sehr nahe übereinstimmende Grösse von $2.74 \text{ } \%$.

Wie das Beispiel zeigt, kann der Kohlensäuregehalt der Bifurcaturluft bei oberflächlichem Athemzuge dreimal so gross wie der Kohlensäuregehalt in der gleichzeitig ausgeathmeten Luft sein. In solchen Fällen wird es, um Missverständnissen zu entgehen, nothwendig sein, beim Vergleiche mit den Gasen des Blutes nicht die Ausathmungsluft sondern die Bifurcaturluft zu benutzen; in anderen Fällen ist der Unterschied zwischen der Bifurcatur- und der Ausathmungsluft von viel geringerer Bedeutung; da aber die Bifurcaturluft stets eine bessere Annäherung an die Alveolenluft darbietet, ist sie überall im Folgenden benutzt worden. Die Data, welche zu ihrer Berechnung Dienste geleistet haben, sind weiter unten bei jedem einzelnen Versuche angeführt.

Die Gasanalyse. Die verschiedenen Gasanalysen, die bei diesen Untersuchungen in Frage kommen, sind in der Weise eudiometrisch ausgeführt, dass die Kohlensäure mittelst Absorption mit Natronlauge, der Sauerstoff durch Explosion mit Wasserstoff gemessen worden. Um die Ausführung der bei jedem Versuche recht zahlreichen Analysen zu beschleunigen, waren die Eudiometer reihenweise in einer Quecksilberwanne angebracht, das mittels eines Quecksilberhebers mit dem Barometergefäss in Verbindung gesetzt war. Sowohl das Eudiometer als das Barometer hatten einen Diameter von 2 cm und waren mit Wasser von Stubentemperatur umgeben. Der Druck in den Eudiometern wurde dann mittels des Kathetometers durch Ablesung der Quecksilberoberfläche im Eudiometer und im Barometer bestimmt. Bei den Analysen

¹ Insofern continuirlich (also auch während der Einathmung) gesaugt wird, erhält man eine Mischung von Einathmungs- und Ausathmungsluft mit einem niedrigen Kohlensäuregehalt. Letzterer kann selbstverständlich nie zu hoch gefunden werden.

der Gase angewendet bietet das Kathetometer nicht allein grosse Genauigkeit dar, sondern ist zu gleicher Zeit sehr zeitsparend. Man hatte sich selbstverständlich bemüht, die einzelnen Manipulationen bei der Analyse (Umschliessung der Apparate mit Wasser u. s. w.) so bequem als möglich in's Werk zu setzen. Das Verfahren dabei bedarf indess keiner näheren Beschreibung.

Versuchsobjecte. Zu den Versuchen wurden ausschliesslich grosse Hunde verwendet. Das Blut strömte durch das centrale Ende einer Arterie (Carotis oder A. femoralis) in's Hämataerometer hinein und floss zum Thiere zurück, entweder durch das periphere Ende der Carotis oder durch das centrale Ende der Vena femoralis. Des Näheren hierüber ist bei den einzelnen Versuchen Erwähnung gethan. Um ungehindert den Lauf des Blutes durch Schlauch und Aerometer zu ermöglichen, war die Coagulationsfähigkeit des Blutes für alle Fälle durch Injection von Pepton¹ oder durch Blutegelinfus² aufgehoben. Ueber die Einwirkung, den diese Eingriffe auf die Respiration ausüben, ist von mir schon früher eine Untersuchung mitgetheilt worden.³ Die Anwendung der genannten Mittel führen freilich zu einer Complication, die insofern unangenehm ist, als besonders durch Anwendung von Pepton der Blutdruck sinkt und der respiratorische Stoffwechsel an Intensität verliert (a. a. O.), andererseits bietet, ganz von dem leichteren Strömen des Blutes abgesehen, die Anwendung dieser Mittel jedoch auch Vortheile dar, indem sie diejenigen Reactionsveränderungen verzögert, die das Blut sehr schnell, nachdem es die Gefässe verlassen hat, erleidet und bei Spannungsversuchen ist eben solches nicht unwesentlich.

Hiermit ist das Wesentliche des Verfahrens bei den Versuchen beschrieben; es ist also bei jedem Versuche eine nicht unbedeutende Aufstellung von Apparaten erforderlich, nebst einer nicht geringen Zahl von Bestimmungen für jeden Versuch. Soweit ich zu sehen vermag, sind diese Schwierigkeiten eng mit der Natur der Aufgabe verknüpft. Wo es die Aufgabe ist, die Spannung der Gase im Blute zu bestimmen, muss dieses in möglichst unverändertem Blute und auf directem Wege geschehen; eine Berechnung der Spannungsgrade, die sich auf die Menge der Gase im Blute stützt, wird irre führen. Ausserdem ist, wie es die Versuche im nächsten Abschnitte zeigen werden, der grossen Variation der Spannungen wegen die Zusammensetzung der Lungengase nothwendiger Weise gerade innerhalb desselben Zeitraumes zu unter-

¹ Fano, *Archiv f. Anatomie und Physiol.* 1881.

² Haycraft, *Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmak.* 1884. Bd. XVIII.

³ *Centralblatt für Physiologie.* 1888. S. 261.

suchen, in dem auch die Spannungen im Blute bestimmt werden. Dies Combiniren eines directen Spannungsversuches mit einem gleichzeitigen Respirationsversuche vereinfacht die Versuchsbedingungen möglichst, complicirt aber die Ausführung der Versuche. Was doch stets die Hauptsache, die Deutung der Versuchsergebnisse wird hierdurch sicherer und einfacher.

II.

Versuche.

Nach der im vorigen Abschnitte beschriebenen Methode ist die hier folgende Reihe von Versuchen ausgeführt; in ihnen ist also, ausser dem respiratorischen Stoffwechsel durch die Lungen, die Spannung der Gase in dem arteriellen Blute und in der gleichzeitig ausgeathmeten Luft bestimmt. Mittels der letzteren Grösse in Verbindung mit dem Cubikinhalte eines Athemzuges und dem Volumen der Trachea ist die Zusammensetzung der Bifurcaturluft berechnet. Diese letztere bietet uns, wie im vorigen Abschnitte entwickelt, den approximativen Werth der Alveolenluft. Im Uebrigen finden sich bei den Versuchen sämmtliche solche Data angeführt, die Einfluss auf die Genauigkeit und Tragweite derselben üben können, als da sind die Länge der Zeit, in welcher das Blut durch das Aerometer strömt; die Dauer des Verharrens jeder einzelnen Blutportion im Apparate, sowie die Zusammensetzung der Luft in demselben vor Beginn des Versuches.

Der Zustand des Gleichgewichtes zwischen Aerometerluft und den Gasen des durchströmenden Blutes wird wegen der günstigen Diffusionsbedingungen mit grosser Schnelligkeit zu Stande gebracht, und derselbe ist gewöhnlich im Verlaufe weniger Minuten beendet. Dieses geht aus folgenden Beispiele hervor. Im unten angeführten Versuche VI hielt die Luft im Aerometer, vor dem Versuche 6.07 % CO_2 , nach dem Verlaufe von $4\frac{1}{2}$ Minuten war die Kohlensäuremenge auf 2.26 % gesunken und hiermit war die Ausgleichung vollständig, denn in den nächsten 3 Minuten hob die Kohlensäure sich wieder ein wenig, nämlich bis auf 2.47 %.

Im Versuche VII war das Kohlensäureprocent in der Aerometerluft vor dem Versuche 4.62, nach $2\frac{1}{2}$ Minuten war es bis auf 3.96 gesunken, $11\frac{1}{2}$ Minuten später war es 4.39; $2\frac{1}{2}$ Minuten genügten dann, um die Kohlensäure auf ihrem Minimalwerth zu bringen.

In Betreff des Sauerstoffes ist in derselben Beziehung der Versuch XII erläuternd; hier war die Sauerstoffmenge in der Luft des Apparates vor Beginn des Versuches 16 %; $2\frac{1}{2}$ Minuten später war

dieselbe bis auf 14·87 % gesunken, womit die Ausgleichung fertig war, denn $3\frac{1}{2}$ Minuten nachher wurde das Sauerstoffprocent auf 15·0 befunden. In demselben Versuche sank die Kohlensäure in den ersten $2\frac{1}{2}$ Minuten von 8·5 % auf 4·20 % herab.

Hieraus ist ersichtlich, dass eine Zeit von nur wenigen Minuten genügen wird, um das Gleichgewicht zwischen den Gasen im Aerometer als hergestellt zu betrachten. Wegen des Variirens der Spannungen selbst innerhalb kurzer Zeit, wovon sich in den schon angeführten Versuchen Beispiele finden, ist es nicht rathsam, die Dauer des Versuches zu lange auszudehnen.

Gewisse Versuche bieten für vollständige Diffusionsausgleichung eine besondere Garantie, nämlich die Versuche, in denen eines der Gase (entweder Sauerstoff oder Kohlensäure) im Apparate längere Zeit hindurch dieselbe procentische Zusammensetzung constant erhält, während die anderen Gase bedeutend variiren. Beispiele eines solchen Verhältnisses bietet uns der Versuch I, in welchem die Luft im Apparate bei Beginn des Versuches 20·40 % Sauerstoff und 0·14 % Kohlensäure enthielt und nach 18 Minuten 20·44 % Sauerstoff und 1·43 % Kohlensäure, hier ist dann der Werth des Sauerstoffes völlig sichergestellt; in den Versuchen II und XIII findet sich für die Kohlensäure ein analoger Fall (Spannungswerth der Kohlensäure = 0).

Am allergünstigsten aber für unsere speciellen Zwecke werden sich diejenigen Fälle stellen, in denen das Kohlensäureprocent in der Aerometerluft während des Versuches von höherem auf niedrigerem Werth herabgesunken ist und dabei den Werth der Kohlensäure in der Ausathmungsluft passirt hat, oder wo das Procent des Sauerstoffes im Aerometer von niedrigerem auf höherem Werth gestiegen ist, so dass das letzterreichte Sauerstoffprocent im Aerometer grösser ist, als das entsprechende Procent in der Ausathmungsluft. So im Versuche XII, in welchem das Kohlensäureprocent im Aerometer vor dem Versuche 8·5 und während des Versuches bis auf 4·20 % herabsank, während in der Ausathmungsluft die Kohlensäure 5 % war. Im Versuche XIII findet sich ein analoges Verhältniss für den Sauerstoff. Die Menge dieser Gase im Aerometer war vor dem Versuche 19·2 % und stieg dann allmählich bis auf 20·4 %, während die Ausathmungsluft zu gleicher Zeit nur 18·78 % Sauerstoff enthielt. In solchen Versuchen ist der experimentelle Beweis für die Wanderung der Gase durch das Lungengewebe, von niedrigerem auf höherem Druck mit der grössten Schärfe geleistet, eine solche Anordnung des Versuches ist indess nicht immer leicht zu treffen und kann auch nicht als nothwendige Bedingung für Sicherheit des Versuches angesehen werden, wie es aus dem hervorgeht, was oben

angeführt ist über die Geschwindigkeit, mit der im Aerometer die Diffusionsausgleichung von statten geht.

Die hier folgenden Versuche sind die gesammten von mir über die vorliegende Frage ausgeführten.

Eine Mehrzahl derselben erweist die active Rolle des Lungengewebes während der Respiration, indessen finden sich doch unter den Versuchen einige, in denen die Druckverschiedenheiten an den beiden Seiten der Alveolarwand eine genügende Erklärung für Bewegungen der Gase abgeben können. Die Verhältnisse sind an diesem Punkte ganz dieselben, wie sie bei analogen Untersuchungen über die Secretion anderer Drüsen befunden worden sind.

Jeder detaillirten Beschreibung eines Versuches sind einige Bemerkungen angefügt, um die Uebersicht der experimentellen Thatsachen zu erleichtern; zu demselben Zwecke sind dann darauf die Versuchsergebnisse in einer Tabelle zusammengestellt.

A. Versuche, in denen die Einathmungsluft kohlenstofffreie atmosphärische Luft war.

I. Gewicht des Thieres = 14.1 kg. Temperatur = 37.8°. Intravenöse Injection eines Infus von 60 Blutegeln.

Stromrichtung des Blutes aus Carotis d. central in Carotis s. peripher.

Pro Kilo und Stunde: Aufgenommener Sauerstoff = 588.1 ccm. Ausgeschiedene Kohlensäure = 592.4 ccm. Respiratorischer Quotient = 1.007.

Während des Tensionsversuches:

In der Ausathmungsluft: Sauerstoff = 19.18 %. Kohlensäure = 1.49 %. Barometer = 752. Athemzüge pro Minute = 65. Volumen eines Athemzuges = 163 ccm. Trachealraum = 60 ccm. Also:

In der Bifurcaturluft: Sauerstoff = 18.11 %. Kohlensäure = 2.36 % und in derselben Luft die Tension: Sauerstoff = 127.4 mm. Kohlensäure = 16.6 mm.

Im Aerometer: Druck (Ueberdruck über der Atmosphäre): = 0. Temperatur = 37.5°. Die Luft vor dem Versuche: Sauerstoff = 20.40 %. Kohlensäure = 0.14 %.

Nach Blutströmung in 18 Minuten (Verharren im Apparat = 45 Sec.): Sauerstoff = 20.44 %. Kohlensäure 1.43 %.

Hiernach: Die Tension im arteriellen Blute: Sauerstoff = 143.9 mm. Kohlensäure = 10.1 mm.

In diesem Versuche war also die Sauerstoffspannung höher, die Kohlensäurespannung niedriger in dem arteriellen Blute als im Lungengas.

II. Gewicht des Thieres = 31.5 kg. Temperatur = 38.6°. Peptoninjection.

Stromrichtung des Blutes aus der Carotis d. central in die Carotis s. peripher.

Pro Kilo und Stunde: Aufgenommener Sauerstoff = 280.7 ^{ccm.}, Ausgeschiedene Kohlensäure = 158.7 ^{ccm.}, Respiratorischer Quotient = 0.57.

Während des Tensionsversuches:

In der Ausathmungsluft: Sauerstoff = 19.06 ^{0/0}, Kohlensäure = 1.07 ^{0/0}, Barometer = 764.5, Athemzüge pro Minute = 17, Volumen eines Athemzuges = 457 ^{ccm.}, Der Trachealraum = 100 ^{ccm.}, Also:

In der Bifurcaturluft: Sauerstoff = 18.51 ^{0/0}, Kohlensäure = 1.37 ^{0/0} und in derselben Luft Tension: Sauerstoff = 132.1 ^{mm.}, Kohlensäure = 9.9 ^{mm.}

Im Aerometer: Druck = 0, Temperatur = 37.6⁰, Die Luft vor dem Versuche: Sauerstoff = 21 ^{0/0}, Kohlensäure = 0.

Nach Blutströmung in 13 Minuten (Verharren im Apparate = 34 Sec.): Sauerstoff = 19.84 ^{0/0}, Kohlensäure = 0.

Hiernach die Tension im arteriellen Blute: Sauerstoff = 142.1 ^{mm.}, Kohlensäure = 0 ^{mm.}

In diesem Versuche war also wieder die Sauerstoffspannung höher, die Kohlensäurespannung niedriger in dem arteriellen Blute als in dem Lungengas.

III. Gewicht des Thieres = 13.5 ^{kg.}, Temperatur = 37.3⁰, Injection von Blutegelinfus.

Stromrichtung des Blutes von der Carotis d. central in die Carotis s. peripher.

Pro Kilo und Stunde: Aufgenommener Sauerstoff = 663.6 ^{ccm.}, Ausgeschiedene Kohlensäure = 555 ^{ccm.}, Respiratorischer Quotient = 0.836.

Während des Tensionsversuches:

In der Ausathmungsluft: Sauerstoff = 17.30 ^{0/0}, Kohlensäure = 2.71 ^{0/0}, Barometer = 758.5, Athemzüge pro Minute = 20, Volumen eines Athemzuges = 246 ^{ccm.}, Trachealraum = 50 ^{ccm.}, Also:

In der Bifurcaturluft: Kohlensäure = 3.40 ^{0/0} und in derselben Luft Tension: Kohlensäure = 24.2 ^{mm.}

Im Aerometer: Druck = 0, Temperatur = 37.7⁰, Die Luft vor dem Versuche: Sauerstoff = 18.40 ^{0/0}, Kohlensäure = 0.

Nach Blutströmung in 10 Minuten (Verharren im Apparate = 12 Sec.): Kohlensäure = 1.54 ^{0/0}.

Hiernach die Tension im arteriellen Blute: Kohlensäure = 10.9 ^{mm.}

Die Bestimmung des Sauerstoffes in dem Aerometer missglückte wegen Sprengung des Eudiometers. Die Spannung der Kohlensäure in dem arteriellen Blute war niedriger als in dem Lungengas.

IV. Gewicht des Thieres = 15.5 ^{kg.}, Temperatur = 38.9⁰, Injection von Blutegelinfus.

Stromrichtung des Blutes aus der Carotis d. central in die Carotis s. peripher.

Pro Kilo und Stunde: Aufgenommener Sauerstoff = 633·8 ccm. Ausgeschiedene Kohlensäure = 544·6 ccm. Respiratorischer Quotient = 0·859.

Während des Tensionsversuches:

In der Ausathmungsluft: Sauerstoff = 19·11 0/0. Kohlensäure = 1·54 0/0. Barometer = 761. Athemzüge pro Minute = 36. Volumen eines Athemzuges = 275 ccm. Trachealraum = 65 ccm. Also:

In der Bifurcaturluft: Sauerstoff = 18·52 0/0. Kohlensäure = 2·11 0/0 und in derselben Luft Tension: Sauerstoff = 131·4 ccm. Kohlensäure 14·3 ccm.

Im Aerometer: Druck = 0. Temperatur = 37·8°. Die Luft vor dem Versuche: Sauerstoff = 14·54 0/0. Kohlensäure = 1·87 0/0.

Nach Blutströmung in 8 Minuten (Verharren im Apparate = 11 Sec.): Sauerstoff = 14·73 0/0. Kohlensäure = 1·93 0/0.

Nach Blutströmung in 10¹/₂ Minuten: Sauerstoff = 14·79 0/0. Kohlensäure = 2·34 0/0.

Hiernach die Tension in dem arteriellen Blute: Sauerstoff = 105·4 mm. Kohlensäure = 16·7 mm.

Die Spannung des Sauerstoffes war hier niedriger, die der Kohlensäure höher im arteriellen Blute als im Lungengas. Dass die 2. Probe von der Luft im Aerometer nur 2¹/₂ Minuten nach der ersten genommen wurde, hatte seinen Grund in dem Umstande, dass das Blut im Aerometer das Zeichen einer beginnenden Coagulation verrieth.

V. Gewicht des Thieres = 27·2 kg. Temperatur = 38·4°. Pepton-injection.

Stromrichtung des Blutes aus der Carotis d. central in die Carotis s. peripher.

Pro Kilo und Stunde: Ausgeschiedene Kohlensäure = 202·8 ccm.

Während des Tensionsversuches:

In der Ausathmungsluft gleichzeitig mit untenstehender 1. Luftprobe vom Aerometer: Kohlensäure = 0·68 0/0; gleichzeitig mit der 2. Luftprobe Kohlensäure = 1·14 0/0. Athemzüge pro Minute = 18. Volumen eines Athemzuges = 585 ccm. Trachealraum = 108 ccm. Also:

In der Bifurcaturluft: Kohlensäure 1. = 0·83 0/0; 2. = 1·39 0/0 und in derselben Luft Tension für die Kohlensäure 1. = 5·8 mm; 2. = 9·7 mm.

Im Aerometer: Druck = 0. Temperatur = 37·2°. Die Luft vor dem Versuche: Kohlensäure = 3·38 0/0.

Nach Blutströmung in 18¹/₂ Minuten (Verharren im Apparate = etwa 60 Sec.): Sauerstoff = 16·93 0/0. Kohlensäure = 2·83 0/0; hiernach die Tension im arteriellen Blute: Sauerstoff = 118·3 mm. Kohlensäure = 19·8 mm.

Nach Blutströmung in 30 Minuten: Sauerstoff = 16·63 0/0. Kohlensäure = 2·99 0/0; hiernach die Tension im arteriellen Blute: Sauerstoff = 116·3 mm. Kohlensäure = 20·9 mm.

In diesem Versuche fehlen eines Unfalles wegen mehrere Sauerstoffbestimmungen. Bezüglich der Verhältnisse bei der Sauerstoffspannung lehrt er uns deshalb nichts; die Kohlensäurespannung betreffend zeigt der Versuch mit grosser Sicherheit uns einen weit höheren Werth in dem arteriellen Blute als in der Bifurcaturluft. Bemerkenswerth ist hier das Variiren des Kohlensäuregehaltes der Ausathmungsluft während der zwei Abschnitte des Versuches (von 0.68 auf 1.14 ‰), welches sich wohl in der Kohlensäurespannung wiederfinden lässt, jedoch in einem auffallend geringerem Grade (von 2.83 auf 2.99).

VI. Gewicht des Thieres = 18.91 kg. Temperatur = 38.5°.

Stromrichtung des Blutes aus der Carotis d. central in die Carotis s. peripher.

Pro Kilo und Stunde: Aufgenommener Sauerstoff = 847.9 ccm. Ausgeschiedene Kohlensäure = 453.9 ccm. Respiratorischer Quotient = 0.54.

Während des Tensionsversuches:

In der Ausathmungsluft: Sauerstoff = 18.43 ‰. Kohlensäure = 1.686 ‰. Barometer 753. Athemzüge pro Minute = 150. Volumen eines Athemzuges = 61 ccm. Trachealraum = 40 ccm. Also:

In der Bifurcaturluft: Sauerstoff = 13.52 ‰. Kohlensäure = 4.05 ‰ und in derselben Luft die Tension: Sauerstoff = 95.4 mm. Kohlensäure = 34.6 mm.

Im Aerometer: Druck = 0. Temperatur = 37.3. Die Luft vor dem Versuche: Sauerstoff = 11.64 ‰. Kohlensäure = 6.07 ‰.

Nach Blutströmung in 4½ Minuten (Verharren im Apparate = 10 Sec.): Sauerstoff = 13.97 ‰. Kohlensäure = 2.25 ‰.

Nach Blutströmung in 7½ Minuten: Sauerstoff = 14.35 ‰. Kohlensäure = 2.47 ‰; hiernach die Tension im arteriellen Blute: Sauerstoff 101.2 mm. Kohlensäure = 17.4 mm.

Also war die Sauerstoffspannung höher, die Kohlensäurespannung niedriger im arteriellen Blute als im Lungengas. Der Versuch zeigt, wie nothwendig es für unsere Zwecke ist, dass die Zusammensetzung der Bifurcaturluft berechnet wird, sobald die Respiration oberflächlich und beschleunigt ist.

VII. Gewicht des Thieres = 31.1 kg. Temperatur = 38.5°. Intravenöse Injection von Blutegelinfus.

Stromrichtung des Blutes aus der A. crural. s. central in die Vena cruralis s. central.

Pro Kilo und Stunde: Aufgenommener Sauerstoff = 450.8 ccm. Ausgeschiedene Kohlensäure = 362.7 ccm. Respiratorischer Quotient = 0.81.

Während des Tensionsversuches wurden von der Ausathmungsluft zwei Proben gleichzeitig mit den beiden unten angeführten Aerometerproben genommen.

Die Zusammensetzung der Ausathmungsluft wurde befunden: 1. Sauerstoff = 17.30 %; Kohlensäure = 2.72 %^o. 2. Sauerstoff = 17.43 %; Kohlensäure = 2.64 %^o.

Athemzüge pro Minute = 21. Volum eines Athemzuges = 361 ^{ccm}.
Trachealraum = 100 ^{ccm}.

Hiervon in Betreff der 2. Probe:

In der Bifurcaturluft: Sauerstoff = 16.06 %^o. Kohlensäure = 3.65 %^o und in derselben Luft die Tension: Sauerstoff = 114.1 mm.
Kohlensäure = 25.9 mm.

Im Aerometer: Druck 1. = 40 mm; 2. = 10 mm. Temperatur = 37.6°^o. Die Luft vor dem Versuche: Sauerstoff = 16.88 %^o. Kohlensäure = 4.62 %^o.

Nach Blutströmung in 2¹/₂ Minuten (Verharren im Apparate = 5 Sec.):
Sauerstoff = 16.72 %^o. Kohlensäure = 3.95 %^o.

Nach Blutströmung in 14 Minuten: Sauerstoff = 16.05 %^o. Kohlensäure 4.39 %^o; hiernach die Tension in dem arteriellen Blute: Sauerstoff = 115.9 mm. Kohlensäure = 31.7 mm.

Hier war also sowohl die Sauerstoffspannung als die Kohlensäurespannung etwas höher in dem arteriellen Blute als in der Bifurcaturluft. Das Blut strömte von einer Arterie in eine Vene; über die Folgen, die diese Versuchsanordnung möglicher Weise haben kann, siehe unten.

VIII. Gewicht des Thieres = 15.3 kg. Temperatur = 37.9°^o. Peptoninjection.

Stromrichtung des Blutes aus der A. cruralis s. central in V. cruralis s. central.

Pro Kilo und Stunde: Aufgenommener Sauerstoff = 545.4 ^{ccm}. Ausgeschiedene Kohlensäure = 417.4 ^{ccm}. Respiratorischer Quotient = 0.77.

Während des Tensionsversuches:

In der Ausathmungsluft: Sauerstoff = 19.32 %^o. Kohlensäure = 1.29 %^o. Athemzüge pro Minute = 27. Volumen eines Athemzuges = 325 ^{ccm}. Trachealraum = 75 ^{ccm}. Also:

In der Bifurcaturluft: Kohlensäure = 1.680 %^o und in derselben Luft die Tension: Kohlensäure = 12 mm.

Im Aerometer: Druck = 20 mm. Temperatur = 37.7°^o. Die Luft vor dem Versuche: Kohlensäure = 3.6 %^o.

Nach Blutströmung in 29 Minuten (Verharren im Apparate = 10 Sec.):
Kohlensäure = 2.64 %^o.

Hiernach Tension im arteriellen Blute: Kohlensäure = 20.5 mm.

Ueber das Verhalten des Sauerstoffes giebt dieser Versuch keine Aufklärung. Die Spannung der Kohlensäure wird bedeutend höher im arteriellen Blute als im Lungengas befunden.

IX. Gewicht des Thieres = 20.6 kg. Temperatur = 39.5°^o. Morphinarkose.

Stromrichtung des Blutes aus der Carotis d. central in die Carotis s. peripher.

Pro Kilo und Stunde: Aufgenommener Sauerstoff = 823 ^{ccm.}. Ausgeschiedene Kohlensäure = 524 ^{ccm.}. Respiratorischer Quotient = 0.63.

Während des Tensionsversuches:

In der Ausathmungsluft: Sauerstoff = 19.46 ^{0/0}. Kohlensäure = 1.06 ^{0/0}. Barometer 766.5. Athemzüge pro Minute = 140. Volumen eines Athemzuges = 150 ^{ccm.}. Trachealraum = 100 ^{ccm.}. Also:

In der Bifurcaturluft: Sauerstoff = 16.38 ^{0/0}. Kohlensäure = 3.19 ^{0/0} und in derselben Luft die Tension: Sauerstoff = 116.8 ^{mm.}. Kohlensäure = 22.8 ^{mm.}

Im Aerometer: Druck = 0. Temperatur = 38°. Die Luft vor dem Versuche: Sauerstoff = 17.0 ^{0/0}. Kohlensäure = 4.1 ^{0/0}.

Nach Blutströmung in 18.5 Minuten (Verharren im Apparate = 13 Sec.): Sauerstoff = 16.44 ^{0/0}. Kohlensäure = 5.29 ^{0/0}. Hiernach die Tension im arteriellen Blute: Sauerstoff 117.9 ^{mm.}. Kohlensäure = 38 ^{mm.}

Hier war also die Sauerstoffspannung etwas höher, die Kohlensäurespannung bedeutend höher in dem arteriellen Blute als in dem Lungengas.

X. Gewicht des Thieres = 41.5 ^{kg.}. Temperatur = 38.7°. Intra-venöse Injection von Blutegelinfus.

Stromrichtung des Blutes aus der Carotis d. central in die Carotis s. peripher.

Pro Kilo und Stunde: Aufgenommener Sauerstoff = 880.7 ^{ccm.}. Ausgeschiedene Kohlensäure = 527.5 ^{ccm.}. Respiratorischer Quotient = 0.60.

Während des Tensionsversuches wurden von der Ausathmungsluft zwei Proben zu gleicher Zeit mit den zwei unten angeführten Aerometerproben genommen.

Die Zusammensetzung der Ausathmungsluft war: 1. Sauerstoff = 18.81 ^{0/0}. Kohlensäure = 1.197 ^{0/0}. 2. Sauerstoff = 19.16 ^{0/0}. Kohlensäure = 0.763 ^{0/0}. Athemzüge pro Minute = 148. Volumen eines Athemzuges = 187 ^{ccm.}. Trachealraum = 120 ^{ccm.}. Also:

In der Bifurcaturluft: 1. Sauerstoff = 14.88 ^{0/0}. Kohlensäure = 3.34 ^{0/0}. 2. Sauerstoff = 15.87 ^{0/0}. Kohlensäure = 2.13 ^{0/0} und in derselben Luft die Tension: 1. Sauerstoff = 103.0 ^{mm.}. Kohlensäure = 23.2 ^{mm.}. 2. Sauerstoff = 109.8 ^{mm.}. Kohlensäure = 14.8 ^{mm.}

Im Aerometer: Druck = 0. Temperatur = 37.1°. Die Luft vor dem Versuche: Sauerstoff = 21 ^{0/0}. Kohlensäure = 0.

Nach Blutströmung in 5 Minuten (Verharren im Apparate = 5 Sec.): Sauerstoff = 20.23 ^{0/0}. Kohlensäure = 1.61 ^{0/0}. Hiernach die Tension im arteriellen Blute: Sauerstoff = 141 ^{mm.}. Kohlensäure 11.2 ^{mm.}

Es wurde nun ohne Unterbrechung des Versuches durch Oeffnung eines bis jetzt abgesperrten Recipienten eine Luftmischung im Apparate zu Stande gebracht, deren Zusammensetzung folgende war: Sauerstoff = 17.07 ^{0/0}. Kohlensäure = 2.5 ^{0/0}.

Nach Blutströmung in 15 Minuten (Verharren im Apparate = 5 Sec.): Sauerstoff = 17.8 ‰, Kohlensäure = 3.97 ‰ und hiernach die Tension im arteriellen Blute: Sauerstoff = 121.7 mm, Kohlensäure = 27.6 mm.

In beiden Versuchsabschnitten war die Sauerstoffspannung in dem arteriellen Blute höher als in der Lungenluft. Die Kohlensäure bietet die Sonderbarkeit dar, dass die Tension derselben im Blute zu derselben Zeit steigt, zu welcher die Tension im Lungengase fällt. Beim Schluss des Versuches ist dieselbe im arteriellen Blute bedeutend höher als im Lungengas.

XI. Gewicht des Thieres = 28.6 kg, Temperatur = 38.9°. Intravenöse Injection von Blutegelinfus.

Stromrichtung des Blutes aus der Carotis d. central in die Carotis s. peripher.

Pro Kilo und Stunde: Aufgenommener Sauerstoff = 658.3 ccm, Ausgeschiedene Kohlensäure = 503.7 ccm, Respiratorischer Quotient = 0.77.

Während des Tensionsversuches:

In der Ausathmungsluft: Sauerstoff = 16.65 ‰, Kohlensäure = 3.04 ‰, Athemzüge pro Minute = 25, Volumen eines Athemzuges = 450 ccm, Trachealraum = 100 ccm, Also:

In der Bifurcaturluft: Sauerstoff = 15.41 ‰, Kohlensäure = 3.91 ‰ und in derselben Luft die Tension: Sauerstoff = 112.2 mm, Kohlensäure = 28.4 mm.

Im Aerometer: Druck = 0, Temperatur = 38.3°. Die Luft vor dem Versuche: Sauerstoff = 21 ‰, Kohlensäure = 0 ‰.

Nach Blutströmung in 17 Minuten (Verharren im Apparate = 5½ Sec.): Sauerstoff = 17.80 ‰, Kohlensäure = 3.79 ‰, Hiernach die Tension im arteriellen Blute: Sauerstoff = 121.7 mm, Kohlensäure = 27.7 mm.

Die Kohlensäurespannung war hier etwas niedriger und die Sauerstoffspannung etwas höher in dem arteriellen Blute als in dem Lungengas.

B. Versuche, bei denen die eingeathmete Luft kohlenstoffhaltig war.

XII. Gewicht des Thieres = 26 kg, Temperatur = 38.8°, Intravenöse Injection von Blutegelinfus.

Stromrichtung des Blutes aus der A. cruralis s. central in die V. cruralis s. central.

Die Zusammensetzung der Einathmungsluft war in Procenten: Sauerstoff = 18.77, Kohlensäure = 4.85, Stickstoff = 76.38.

Pro Kilo und Stunde: Aufgenommener Sauerstoff = 817.4 ccm, Ausgeschiedene Kohlensäure 423.7 ccm, Respiratorischer Quotient = 0.52.

Während des Tensionsversuches:

In der Ausathmungsluft: Sauerstoff = 16.69 ‰, Kohlensäure =

5.66 $\%$. Barometer 757. Athemzüge pro Minute = 30. Volumen des Athemzuges = 651 ccm . Trachealraum = 65 ccm . Also:

In der Bifurcaturluft: Sauerstoff = 16.46 $\%$. Kohlensäure = 5.75 $\%$ und in derselben Luft die Tension: Sauerstoff = 116.1 mm . Kohlensäure = 40.6 mm .

Im Aerometer: Druck = 0. Temperatur = 38.1 $^{\circ}$. Die Luft vor dem Versuche: Sauerstoff = 16.0 $\%$. Kohlensäure = 8.5 $\%$.

Nach Verlauf von 2 $\frac{1}{2}$ Minuten war die Zusammensetzung: Sauerstoff 14.87 $\%$. Kohlensäure = 5.41 $\%$.

Nach Blutströmung in 6 Minuten (Verharren im Apparate = 4 Sec.): Sauerstoff = 15.00 $\%$. Kohlensäure = 4.20 $\%$. Hiernach die Tension im arteriellen Blute: Sauerstoff = 106.1 mm . Kohlensäure = 29.7 mm .

In diesem Versuche hatte die Kohlensäurespannung im Aerometer während des Versuches sich von 8.5 $\%$ auf 4.20 $\%$ herab bewegt und war dadurch niedriger als die Kohlensäurespannung in der eingeathmeten Luft (4.85 $\%$) geworden. Die Sauerstoffspannung war niedriger im arteriellen Blute als im Lungengas.

XIII. Gewicht des Thieres = 14.7 kg . Temperatur = 37.8 $^{\circ}$. Intra-venöse Injection von Blutegelinfus.

Stromrichtung des Blutes aus der Carotis d. central in die Carotis s. peripher.

Die Zusammensetzung der Einathmungsluft war: Sauerstoff = 19.99 $\%$. Kohlensäure = 3.17 $\%$. Stickstoff = 76.84 $\%$.

Pro Kilo und Stunde: Aufgenommener Sauerstoff = 423.0 ccm . Ausgeschiedene Kohlensäure = 469.7 ccm . Respiratorischer Quotient = 1.11.

Während des Tensionsversuches:

In der Ausathmungsluft: Sauerstoff = 18.78 $\%$. Kohlensäure = 3.92 $\%$. Barometer = 752. Athemzüge pro Minute = 41. Volumen eines Athemzuges = 373 ccm . Trachealraum = 60 ccm . Also:

In der Bifurcaturluft: Sauerstoff = 18.55 $\%$. Kohlensäure = 4.06 $\%$ und in derselben Luft die Tension: Sauerstoff = 130.4 mm . Kohlensäure = 28.5 mm .

Im Aerometer: Druck = 0. Temperatur = 37.5 $^{\circ}$. Die Luft vor dem Versuche: Sauerstoff = 19.2 $\%$. Kohlensäure = 0 $\%$.

Nach Blutströmung in 6 Minuten: Sauerstoff = 20.67 $\%$. Kohlensäure = 0 $\%$.

Nach Blutströmung in 12 Minuten (Verharren im Apparate = 18 Sec.): Sauerstoff = 20.40 $\%$. Kohlensäure = 0.14 $\%$. Hiernach die Tension im arteriellen Blute: Sauerstoff = 143.6 mm . Kohlensäure = 0.9 mm .

Die Sauerstoffspannung war also hier höher, die Kohlensäurespannung niedriger im arteriellen Blute als im Lungengas.

XIV. Gewicht des Thieres = 13.5 kg . Temperatur = 37.3 $^{\circ}$. Intra-venöse Injection von Blutegelinfus.

Stromrichtung des Blutes aus der Carotis d. central in die Carotis s. peripher.

Die Zusammensetzung der Einathmungsluft war: Sauerstoff = 20.24 %₀. Kohlensäure = 2.03 %₀. Stickstoff = 77.73 %₀.

Pro Kilo und Stunde: Aufgenommener Sauerstoff = 560.1 ccm. Ausgeschiedene Kohlensäure = 604.2 ccm. Respiratorischer Quotient = 1.08.

Während des Tensionsversuches:

In der Ausathmungsluft: Sauerstoff = 18.18 %₀. Kohlensäure = 3.79 %₀. Barometer = 758.5. Athemzüge pro Minute = 21. Volumen eines Athemzuges = 384 ccm. Trachealraum = 50 ccm. Also:

In der Bifurcaturluft: Sauerstoff = 17.87 %₀. Kohlensäure = 4.05 %₀ und in derselben Luft die Tension: Sauerstoff = 127.1 mm. Kohlensäure = 28.8 mm.

Im Aerometer: Druck = 0. Temperatur = 37.7°. Die Luft vor dem Versuche: Sauerstoff nicht bestimmt. Kohlensäure = 1.54 %₀.

Nach Blutströmung in 14 Minuten (Verharren im Apparate = 21 Sec.): Sauerstoff = 17.97 %₀. Kohlensäure = 2.80 %₀. Hiernach die Tension im arteriellen Blute: Sauerstoff = 127.6 mm. Kohlensäure = 19.9 mm.

In diesem Versuche war die Sauerstoffspannung in dem arteriellen Blute sehr wenig höher, die Kohlensäurespannung in demselben Blute bedeutend niedriger als im Lungengas.

XV. Gewicht des Thieres = 29.5 kg. Temperatur = 38.7°. Pepton-injection.

Stromrichtung des Blutes aus der A. cruralis s. central in die V. cruralis s. central.

Die Zusammensetzung der Einathmungsluft war: Sauerstoff = 18.85 %₀. Kohlensäure = 8.89 %₀. Stickstoff = 72.26 %₀.

Pro Kilo und Stunde: Aufgenommener Sauerstoff = 543.6 ccm. Ausgeschiedene Kohlensäure = 280.2 ccm. Respiratorischer Quotient = 0.52.

Während des Tensionsversuches wurden von der Ausathmungsluft zwei Proben gleichzeitig mit den beiden unten angeführten Aerometerluftproben genommen. Es wurde befunden: 1. Sauerstoff = 17.49 %₀. Kohlensäure = 9.70 %₀. Barometer = 756.5. 2. Sauerstoff = 17.15 %₀. Kohlensäure = 10.00 %₀.

Die Zahl der Athemzüge pro Minute stieg während des Versuches fortwährend, sie war am Anfange 15, und darauf, als jede dritte Minute gezählt wurde, 25, 40, 42, 42, 40; durchschnittlich war sie 34. Volumen des Athemzuges = 500 ccm. Trachealraum = 100 ccm. Also:

In der Bifurcaturluft: 1. Sauerstoff = 17.08 %₀. Kohlensäure = 9.90 %₀. 2. Sauerstoff = 16.72 %₀. Kohlensäure = 10.25 %₀ und in derselben Luft die Tension: 1. Sauerstoff = 120.5 mm. Kohlensäure = 69.8 mm. 2. Sauerstoff = 117.9 mm. Kohlensäure = 72.5 mm.

Im Aerometer: Druck = 25 mm. Temperatur = 38.4°. Die Luft vor dem Versuche: Sauerstoff = 17.59 %₀. Kohlensäure = 4.12 %₀.

Nach Blutströmung in $7\frac{1}{2}$ Minuten bestand die Luft aus: Sauerstoff = 16.72% . Kohlensäure = 5.12% . Hiernach die Tension im arteriellen Blute: Sauerstoff = 122.3 mm . Kohlensäure = 37.4 mm .

Nach Blutströmung in $17\frac{1}{2}$ Minuten (Verharren im Apparate = 7 Sec.): Sauerstoff = 16.19% . Kohlensäure = 7.90% . Hiernach die Tension im arteriellen Blute: Sauerstoff = 118.4 mm . Kohlensäure = 57.8 mm .

Die Spannung des Sauerstoffes im arteriellen Blute war ein Unbedeutendes höher als in dem Lungengas. Die Kohlensäurespannung war im arteriellen Blute viel niedriger als in dem Lungengas, ja sogar niedriger als in der Einathmungsluft. Die Respiration war in Folge des grossen Kohlensäuregehaltes der Einathmungsluft sehr angestrengt und die Zahl der Athemzüge anfangs in stetigem Steigen. Es ist auch nicht dem Versuchsthier geglückt, während des Versuches die Kohlensäurespannung auf dem verhältnissmässig niedrigen Stande zu halten, den dieselbe am Anfange des Versuches innehatte.

XVI. Gewicht des Thieres = 40 kg . Temperatur = 38.1° . Pepton-injection.

Stromrichtung des Blutes aus der A. cruralis central in die V. cruralis central.

Die Zusammensetzung der Einathmungsluft war: Kohlensäure = 3.18% . Bestimmung des Sauerstoffes fehlt, indem die Eudiometer aus Missverständniss geleert worden, ehe die Analyse fertig war.

Während des Tensionsversuches wurden von der Ausathmungsluft zwei Proben gleichzeitig mit den beiden unten angeführten Aerometerluftproben genommen.

In der Ausathmungsluft: Kohlensäure 1. = 4.28% . 2. = 4.53% . Barometer = 760 . Athemzüge pro Minute = 30 . Volumen des Athemzuges = 684 ccm . Trachealraum = 125 ccm . Also:

In der Bifurcaturluft: Kohlensäure 1. = 4.53% . 2. = 4.84% und in derselben Luft die Tension: Kohlensäure 1. = 32.2 mm . 2. = 34.4 mm .

Im Aerometer: Druck = 15 mm . Temperatur = 38.3° . Die Luft vor dem Versuche: Kohlensäure = 5.24% .

Nach Verlauf von $6\frac{1}{4}$ Minuten war die Kohlensäure = 4.81% . Hiernach die Tension im arteriellen Blute: Kohlensäure = 34.9 mm .

Nach Blutströmung in $14\frac{1}{4}$ Minuten (Verharren im Apparate = 18 Sec.): Kohlensäure = 5.02% . Hiernach die Tension in dem arteriellen Blute: Kohlensäure = 36.3 mm .

In beiden Fällen war also die Spannung der Kohlensäure im arteriellen Blute grösser als im Lungengas.

Die in den obenstehenden Versuchen angeführten Grössenbestimmungen, auf die es für unseren Zweck besonders ankommt, nämlich die der Spannung im Arterienblute und in der Bifurcaturluft, sind in

den nachstehenden zwei Tabellen zusammengestellt. Die Rubrik mit der Ueberschrift: „Differenzen“, enthält die Differenzen zwischen den Spannungen im Arterienblute und in der Bifurcaturluft. In Betreff des Sauerstoffes bedeutet dann ein positives Vorzeichen der Differenz, dass die Spannung im Blute durch die Wirksamkeit der Lunge höher als in der Alveolenluft ist, welche doch die Quelle bildet, aus der der Sauerstoff des Blutes geschöpft wird, dass also das Lungengewebe spezifische Wirkungen an den Tag gelegt hat; ein negatives Vorzeichen bedeutet, dass der Sauerstoff einfach in's Blut hinein diffundirt sein kann. In Betreff der Kohlensäure ist die Bedeutung der Vorzeichen die umgekehrte; hier zeigt ein negatives Vorzeichen die active Rolle der Lunge bei der Kohlensäureausscheidung an. Um die Uebersicht zu erleichtern, sind in den Fällen, in denen der einfache Diffusionsprocess zur Erklärung der Phänomene ungenügend ist, die Differenzen mit fettgedruckten Typen bezeichnet. In den Tabellen finden sich zu gleicher Zeit Rubriken für die Aufnahme des Sauerstoffes und die Ausscheidung der Kohlensäure pro Kilo und Stunde, sowie für den respiratorischen Quotient.

Tabelle 1.

Versuche mit Einathmung kohlenstofffreier atmosphärischer Luft.

Versuchs-Nr.	Spannung des Sauerstoffes			Spannung der Kohlensäure			Pro Kilo u. Stunde		Respirationsquotient	Anmerkung
	in der Bifurcaturluft	in dem Arterienblute	Differenz	i. d. Bifurcaturluft	i. d. Arterienblute	Differenz	ausgeschiedene CO ₂	aufgenommener O ₂		
I.	127.4	143.9	+ 16.5	16.6	10.1	- 6.5	592	588	1.01	A. I.
II.	132.1	142.1	+ 10	9.9	0	- 9.9	159	281	0.57	A. P.
III.				24.2	10.9	- 13.3	555	664	0.84	A. I.
IV.	131.4	105.4	- 26.0	14.3	16.7	+ 2.4	545	634	0.86	A. I.
Va.		118.3		5.8	19.8	+ 14	203	—	—	A. P.
Vb.		116.3		9.7	20.9	+ 11.2				
VI.	95.4	101.2	+ 5.8	34.6	17.4	- 17.2	454	848	0.54	A. I.
VII.	114.1	115.9	+ 1.8	25.9	31.7	+ 5.8	363	451	0.81	V. I.
VIII.				12.0	20.5	+ 8.5	417	545	0.77	V. P.
IX.	116.8	117.9	+ 1.1	22.8	38.0	+ 16.8	524	823	0.63	A. P.-M.
Xa.	103.0	141.0	+ 38	23.2	11.2	- 12	528	881	0.60	A. I.
Xb.	109.8	121.7	+ 11.9	14.8	27.6	+ 12.8				
XI.	112.2	121.7	+ 9.5	28.4	27.7	- 0.7	504	658	0.77	A. I.

In der Tabelle 2 ist fernerhin die Zusammensetzung der Einathmungsluft angegeben. In der Anmerkungsrubrik der einzelnen Versuche bedeutet A, dass das Blut aus dem centralen Ende einer Arterie in's Aerometer floss und in das periphere Ende der Arterie zurückfloss. V. zeigt an, dass das Blut aus dem centralen Ende einer Arterie zum centralen Ende einer Vene durch das Aerometer floss. P. und I. bedeuten, dass resp. Pepton und Blutegelfinns benutzt worden sind, um das Blut während des Versuches flüssig zu halten.

Tabelle 2.

Versuche mit Einathmung kohlenensäurehaltiger Luft.

Versuchs-Nr.	Spannung des Sauerstoffes			Spannung der Kohlensäure			Pro Kilo und Stunde		Respirationsquotient	Einathmungsluft		Anmerkung
	i. d. Bifurcaturluft	i. d. Arterienblute	Differenz	i. d. Bifurcaturluft	i. d. Arterienblute	Differenz	ausgeschiedene CO ₂	aufgenommenes O ₂		CO ₂ %	O ₂ %	
XII.	116.1	106.1	- 10	40.6	29.7	- 10.9	424	817	0.52	4.9	18.8	V. I.
XIII.	130.4	143.6	+ 13.2	28.5	0.9	- 27.6	470	423	1.11	3.2	20.0	A. I.
XIV.	127.1	127.6	+ 0.5	28.8	19.9	- 8.9	604	560	1.08	2.0	20.2	A. I.
XV a.	120.5	122.3	+ 1.8	69.8	37.4	- 32.4	280	544	0.52	8.9	18.9	V. P.
XV b.	117.9	118.4	+ 0.5	72.5	57.8	- 14.7						
XVI a.		—	—	32.2	34.9	+ 2.7	369			3.2	—	V. P.
XVI b.		—	—	34.4	36.8	+ 1.9						

Was an den Zahlen der vorstehenden Tabellen zuerst in's Auge fällt, ist die grosse Variation der Spannungswerthe sowohl in der Bifurcaturluft als in dem Arterienblute, selbst wo die Einathmungsluft überall dieselbe gewesen ist wie in den Versuchen der Tabelle 1. Auf dieser Tabelle schwingen die Sauerstoffspannungen des Arterienblutes zwischen 101 und 144 mm, die Kohlensäurespannungen zwischen 0 und 38 mm. Auf der Tabelle 2 (Versuche mit kohlenensäurehaltiger Einathmungsluft) liegen die Kohlensäurespannungen des Arterienblutes zwischen 0.9 und 58 mm. Mittelzahlen so stark variirender Werthe zur Begründung von Schlüssen über die Natur der Lungenfunction zu benutzen, hat für unseren Zweck natürlich keinen Sinn; jeder einzelne Fall muss für sich betrachtet werden.

Dieses muss besonders hervorgehoben werden, weil man in der Litteratur ab und zu Mittelzahlen von Spannungswerthen der Blutgase zu Schlüssen unrichtig benutzt sieht.

Es geht zweitens aus den Tabellen hervor, dass die Verschiedenheit der Drucke an den beiden Seiten der Alveolarwand in der überwiegenden

Zahl von Fällen nicht die treibende Kraft der Gasbewegungen im Lungengewebe sein kann. Im Ganzen sind in den 23 von 34 Fällen die Druckwerthe der Art, dass die Bewegung in der Richtung gegen die höheren Drucke stattgefunden hat. Die einzelnen Abtheilungen betreffend verhält die Sache sich folgendermassen: Bei Einathmung kohlenstoffsaurefreier atmosphärischer Luft ist die Differenz für den Sauerstoff 8mal positiv (active Wirkung des Lungengewebes) und nur 1 mal negativ. Für die Kohlensäure findet man eine negative Differenz (active Wirkung des Lungengewebes) in 6 Fällen, eine positive in 7 Fällen. Während der Einathmung kohlenstoffhaltiger Luft sind die Sauerstoffdifferenzen 4mal positiv und 1 mal negativ, die Kohlensäuredifferenzen 5mal negativ und 2mal positiv.

Für Sauerstoff ist die grösste positive Differenz $+ 38^{\text{mm}}$, während die grösste negative Differenz für Kohlensäure $- 32.4^{\text{mm}}$ ist. Diese Drucke sind dann die ebengenannten Gase zu überwinden im Stande gewesen, und zwar mag hier daran erinnert werden, dass die Differenzen nur Minimalwerthe sind, da sie auf der Bifurcaturluft statt auf der Alveolenluft basirt sind.

Es ist natürlich für unsere Zwecke von eben so wenigem Nutzen, die Mittelzahlen der Differenzen als die Mittelzahlen der Spannungen zu berechnen.

Zwischen dem Werthe der Differenzen und der Grösse des respiratorischen Stoffwechsels, wie diese sich durch Aufnahme des Sauerstoffes und Abgabe der Kohlensäure pro Kilo und Stunde zu erkennen giebt, ist kein bestimmter Zusammenhang zu beobachten. Zur Behandlung dieser Frage muss die Tabelle 1 herbeigezogen werden, da die Einathmungsluft hier in sämtlichen Versuchen eine und dieselbe Zusammensetzung hatte; in der Tabelle 2 wird selbstverständlich der grössere oder geringere Kohlensäuregehalt der eingeathmeten Luft auf den respiratorischen Stoffwechsel einwirken. Vergleichen wir dann auf der Tabelle 1 die Sauerstoffdifferenzen mit der Aufnahme des Sauerstoffes pro Kilo und Stunde, sehen wir, dass die grösste positive Differenz $+ 38$ (Nr. X) mit einer Sauerstoffaufnahme von 881^{ccm} , die grösste negative Differenz auf $- 26$ (Nr. IV) mit einer Sauerstoffaufnahme von 634^{ccm} zusammentrifft. In diesen zwei Fällen war also, wo der Sauerstoff im Blute einen höheren Druck zeigte als im Lungengas, die Sauerstoffaufnahme am grössten; dieses ist jedoch keine feste Regel, denn im Versuche II, in dem die Differenz $+ 10$ ist und also ungefähr in der Mitte der zwei genannten Differenzen liegt, ist die Sauerstoffaufnahme 281^{ccm} , welches der niedrigste Werth in sämtlichen Versuchen ist; auch für die Kohlensäure findet man keine bestimmte Relation

zwischen den hier berührten Grössen. In den Versuchen III und IX, in denen die Kohlensäureabgabe pro Kilo und Stunde bez. 555 und 524 ^{ccm}, also ziemlich übereinstimmend ist, zeigen uns die Differenzen die stark variirenden Werthe von bez. -13.3 und $+16.8$ ^{mm}. Die grösste Kohlensäureabgabe von 592 ^{ccm} findet man im Versuch I, in dem die Differenz den Werth -6.5 hat.

Dass die Grösse des Stoffwechsels pro Kilo sich nicht in den Differenzwerthen ausgeprägt hat, kann übrigens nicht überraschen. Feste Relationen zwischen dem Stoffwechsel und den Differenzen (welche letztere ein Ausdruck für die Grösse der Arbeit des Lungengewebes während des Luftwechsels sind) würde man nur unter der Voraussetzung erwarten können, dass der grössere Stoffwechsel immer von einer relativ grösseren Anspannung der functionirenden Organe begleitet wäre; es wäre wohl anzunehmen, dass dies der Fall sein würde, sobald es sich um verschiedene Phasen des Stoffwechsels bei demselben Individuum handelt; wenn aber, wie bei unseren Versuchen, vom Stoffwechsel verschiedener Individuen die Rede ist, können Schlüsse in der erwähnten Richtung nicht gezogen werden.

Es würde nun sehr zu Gunsten unserer Zwecke sein, wenn man während der Versuche einen Zustand hätte hervorbringen können, in welchem der Organismus alle Hilfsmittel in Beschlag nehmen müsste, um die Forderungen zu befriedigen, welche von Seiten des Stoffwechsels an ihn gestellt wurden, wenn man beispielsweise dem Versuchsindividuum erhöhte Muskelarbeit auszuführen gegeben hätte. Aus technischen Gründen war dieses indess unmöglich, man musste sich im Gegentheil darin finden, dass der Stoffwechsel des Versuchstieres recht bedeutend durch Immobilisation sowie in einigen der Fälle durch Injection von Pepton herabgesetzt worden war (s. z. B. Nr. II u. V). Wahrscheinlich noch weiter ist in den Fällen, in denen das arterielle Blut in's Thier durch eine Vene zurückströmte, wegen der starken Arterialisirung des venösen Blutes der Anspruch an die Wirksamkeit der Lungen herabgesetzt worden.

Die Versuche auf der Tabelle 1 sind also durchgehends unter Umständen ausgeführt, die für die spezifische Wirksamkeit der Lunge als ungünstig anzusehen sind, insofern anzunehmen ist, dass sich die Lungenwirksamkeit im Verhältniss zu den Ansprüchen steigert, die man an die Arbeit der Lungen stellt.

Den auf der Tabelle 2 angeführten Versuchen lag nun eben die Vorstellung zu Grunde, dass die Einathmung kohlenensäurehaltiger Luft möglicher Weise ein Mittel wäre, um das Lungengewebe zu energischerer Arbeit anzuspannen. Es geht aus den Resultaten dieser Versuche hervor, dass die kohlenensäurehaltige Luft wirklich als Irritament auf die

specifische Kohlensäureausscheidung gewirkt hat, denn während man bei Einathmung von kohlensäurefreier Luft in 6 Fällen von 13 eine negative Differenz fand und während die grösste negative Differenz hier -17.2 betrug, wurden bei Einathmung von kohlensäurehaltiger Luft in 5 Fällen von 7 negative Differenzen gefunden, und es war die grösste negative Differenz -32.4 . Folgendes Beispiel weist auf mehr directe Weise auf die incitirende Einwirkung der Kohlensäure auf die secretorische Function der Lungen hin. An einem Hunde wurde zuerst, während das Thier eine Luft mit dem Gehalte von 3.2% Kohlensäure einathmete, ein Spannungsversuch angestellt. Die Kohlensäurespannung war dabei 0.9 mm und die Kohlensäuredifferenz -27.6 mm (Tabelle 2, Nr. XIII). An demselben Individuum wurde unmittelbar darauf ein neuer Spannungsversuch unternommen, die Respirationsluft war aber diesmal kohlensäurefreie atmosphärische Luft. Die Kohlensäurespannung im Blute stieg sodann bis auf 10.1 mm und die Kohlensäuredifferenz war nur -6.5 mm . In diesen Versuchen sind die Spannungswerthe mit grosser Genauigkeit bestimmt worden (s. S. 252).

Zurück steht jetzt, diejenigen Versuche näher zu betrachten, in denen die Gase in der Richtung nach dem niedrigeren Drucke sich bewegt haben, in denen es demnach möglich wird, eine einfache Gasdiffusion durch die Alveolarwand anzunehmen. Nothwendig ist doch eine solche Annahme nicht, ja wohl kaum natürlich, nachdem jetzt in mehreren anderen Fällen die specifische Wirksamkeit des Lungengewebes unzweifelhaft als erwiesen zu betrachten ist. Einige der hier in Frage kommenden Versuche bieten ausserdem Umstände dar, die sich schwer mit der Diffusionshypothese in Uebereinstimmung bringen lassen, ob auch die Druckverhältnisse eine solche ermöglichen. So die Versuche X_a und b. Hier ist in der ersten Abtheilung (a) die procentische Menge der Kohlensäure in der Expirationsluft 1.20 und gleichzeitig enthielt die Luft im Aerometer 1.61% Kohlensäure (die Blutspannung = 11.2 mm , die Kohlensäuredifferenz = -12 mm). Im zweiten Abschnitte des Versuches (b) stieg die Spannung im Blute, indem in der Luft des Aerometers 3.97% Kohlensäure befunden wurde (Spannung des Blutes = 27.6 mm , Kohlensäuredifferenz = $+12.8\text{ mm}$), gleichzeitig sank aber das Kohlensäureprocent in der Ausathmungsluft auf 0.76% herab.

Dieser Umstand, dass die Kohlensäurespannung im Blute bis über das Doppelte stieg, während sie bis unter die Hälfte des früheren Werthes in der Ausathmungsluft sank, lässt sich fast an, als ob in der Lunge ein Zustand eingetreten, welcher Kohlensäureretention bewirkt hätte; gemäss der Diffusionshypothese ist dieser Fall jedenfalls schwer verständlich.

Die Hauptpunkte der in dieser Abhandlung enthaltenen Ergebnisse resumiren wir dann in folgenden Sätzen:

1. Die Spannungen der Gase in dem arteriellen Blute und in der zu gleicher Zeit ausgeathmeten Lungenluft haben in der Mehrzahl der untersuchten Fälle solche Werthe dargeboten, dass die Spannungsdifferenzen an den zwei Seiten der Alveolarwand nicht die Kräfte sein können, welche die Wanderung der Gase durch das Lungengewebe bedingen.

2. Solches tritt, was die Kohlensäure betrifft, in besonders deutlicher Weise bei der Einathmung kohlendioxidhaltiger Luft hervor.

3. Die Spannung der Gase, sowohl der Kohlensäure als des Sauerstoffes in dem arteriellen Blute ist je nach den verschiedenen Individuen sehr variabel, selbst wenn diese sich unter denselben äusseren Verhältnissen befinden; ja sogar bei demselben Individuum können innerhalb kürzerer Zeiträume die Spannungen ohne nachweisbare Aenderungen der äusseren Verhältnisse variiren.

Der Gaswechsel durch die Lunge mag hiernach mit denjenigen Processen im Organismus am nächsten analog sein, die unter dem Namen Drüsensecretionen zusammengefasst werden. Wie andere Organe ist natürlich auch die Lunge nur im Stande, innerhalb eines engen Rahmens äusserer physikalischer Verhältnisse ihre eigenthümliche Wirksamkeit zu entfalten. Dies zeigen die bekannten Phänomene, die eintreten, wenn der Organismus dem Einfluss einer besonders sauerstoffarmen oder kohlendioxidreichen Luft ausgesetzt wird. Aber mit Ausnahme solcher extremen Verhältnisse ist die spezifische Wirkung des Lungengewebes das hauptsächlichste, die Grösse der Gas-Spannungen im Blute bestimmende Moment.

Den Einfluss, den das Lungengewebe erweislich auf das Verhältniss der Gas-Spannungen im Blute und in der Lungenluft ausübt, kann man sich entweder als eine directe Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe von Kohlensäure durch die Epithelzellen der Alveolarwand vorstellen, oder auch als eine Einwirkung auf das Blut, durch welche die Spannungen in demselben in dem Augenblicke verändert werden, in welchem es die Lungen verlässt; selbstverständlich schliesst die eine dieser beiden Wirkungsweisen nicht die andere aus.

Für die erste Anschauung scheinen die interessanten Farbenversuche von Ehrlich,¹ in denen er die reducirende Wirkung der lebenden Lunge nachweist, zu sprechen; die andere Anschauung scheint eine Stütze zu finden in einigen Versuchen über die Spannungsverhältnisse des Blutes, die ich hoffe nächstens veröffentlichen zu können.

¹ Ehrlich, *Sauerstoffbedürfniss des Organismus*. Berlin 1885. S. 143.