

Ueber die Athmung in der Lunge.

Von

Dr. J. J. Müller.

Die Lunge des lebenden Organismus charakterisirt eine stetige Vereinigung der innern und äussern Athmung; die Beobachtung am lebenden Thiere muss sich daher immer auf das combinirte Resultat beider Processe beziehen. Eine Trennung wird aber möglich bei der Erforschung der Vorgänge an der herausgeschnittenen, künstlich durchströmten Lunge.

In der That, hier ist die Möglichkeit sofort gegeben, die Function der Lunge aus dem Versuche auszuschliessen oder sie mit einzuführen. Im ersten Falle führt der Gaswechsel des durchströmenden Blutes zur Kenntniss eines neuen, für die Lehre von der Respiration wichtigen Vorganges. Bei der Einfachheit des Lungengewebes und der geringen Zahl der in ihm angehäuften chemischen Verbindungen gewinnt er eine allgemeine fundamentale Wichtigkeit in der Lehre von der Gewebeathmung, deren Thatsachen bis jetzt nur an den viel complicirter gebauten Geweben des Muskels und der Niere gewonnen sind. — Im zweiten Falle, dem vereinigten Vorgange der äussern und innern Athmung, wird es möglich den Gaswechsel für dasselbe Organ gleichzeitig im Blute und der Lungenluft zu erforschen und jeden als Function dieser Variabeln darzustellen. Weiter kann der Athmungsprocess in einer neuen Reihe fundamentalster Abhängigkeiten, in seinen Beziehungen zu Geschwindigkeit, Druck, Temperatur des Blutes festgestellt werden. Bei der hohen Wichtigkeit dieser Fragen für die Theorie der Respiration wird die Methode um so schätzbarer, als am lebenden Organismus die Beantwortung dieser Fragen nicht erreichbar ist; in ihm

führt die Aenderung jeder jener Variabeln zu einer Aenderung der Athmung aller Gewebe und damit zu einer höchst verwickelten Aenderung des Blutes.

Der angedeuteten Methode liegt die principielle Voraussetzung zu Grunde, dass sich die Lebeenseigenschaften der Lunge unter dem Einflusse des durchströmenden Blutes während des Versuches erhalten. Gibt es also genügende Garantien hiefür? Eine der ersten anzuführenden Versuchsreihen zeigt, dass ein eigenthümlicher Gaswechsel während einer sehr langen Versuchsdauer sich in nahe vollkommener Constanz erhielt. Dies konnte allerdings nur auf der Erhaltung der normalen Eigenschaften des Gewebes beruhen. Directer noch besitzt man bekanntlich für die Lebeenseigenschaften der Lunge ein Zeichen in der Contraction derselben beim Eintauchen in Eiswasser (*Traube*). Ich habe diese Probe nach jedem Versuche angestellt; sie fiel, wenn die Durchleitung des Blutes ununterbrochen fortgeführt worden war, stets im Sinne der Conservirung des Lebens aus. Electriche Reizungen, wodurch ich partielle Contractionen zu erzielen hoffte, führten dagegen weder an der ganz frischen, noch an der Lunge, die zum Versuche gedient hatte, zu einem Resultate. Aufzublasen war die Lunge nach dem Versuch immer vollständig.

Eine andere wesentliche Bedingung für die Möglichkeit, aus der Aenderung der Gase des Blutes, das die Lunge durchströmt hat, auf Lebensvorgänge in ihr zu schliessen, ist, dass die Lunge keine freie Säure enthält. Säuren führen, wie schon Herr *L. Meyer*¹⁾ nachwies und neuerdings die Herren *Pflüger* und *Zuntz*²⁾ bestätigten, den Sauerstoff des Blutes in feste Verbindungen über, aus denen er bei der Entgasung nicht mehr gewonnen werden kann. Sie können somit gewisse Vorgänge vortäuschen, die gar keine Lebenserscheinungen sind. Nun reagirt die Lunge aber in der That alkalisch.³⁾ Ich habe die Reaction an der ganz frischen Lunge und nach mehrstündigem Liegen derselben im Zimmer ohne Blutdurchleitung mit Sorgfalt geprüft, sie fiel beide Male in dem nämlichen angeführten Sinne aus.

1) *L. Meyer*, die Gase des Blutes. Zeitschr. f. rat. Med. VIII. 256.

2) *Pflüger* u. *Zuntz*, Einfluss der Säuren auf die Gase des Blutes. Archiv f. Phys. I, 361.

3) *Kühne*, physiol. Chemie 443.

Ein fundamentales Bedenken für die weitere Verwerthung der Resultate solcher Durchleitungsversuche bleibt aber immer noch bestehen. Die Versuche am Muskel haben ergeben, dass »das kühle, arterielle, faserstofffreie, den Einwirkungen anderer thierischen Organe entzogene Blut anders wirkt, als das lebendige«. Es vermag im Muskel allerdings die Gruppe von Processen, welche die Reizbarkeit zur Folge hat, sehr lange zu erhalten, die Erhaltung seiner Leistungsfähigkeit ist aber immer eine recht beschränkte.¹⁾ Der herausgeschnittene Muskel entfernt sich auch bei der Durchströmung immer mehr von seinen wahren Lebensverhältnissen, er wirkt weniger energisch auf den Sauerstoff als der lebendige²⁾ und das Verhältniss seines Sauerstoff-Verbrauches zur Kohlensäure-Bildung ist im ruhenden Zustande gerade das umgekehrte wie im Organismus.³⁾ Die Leber sondert allerdings Galle ab⁴⁾, die Niere aber niemals Harn.⁵⁾ Wesentliche Unterschiede dieser Blutart von dem im Gefässsysteme kreisenden Blute sind also nicht zu verkennen, wie von anderer Seite auch Herr *Pflüger*⁶⁾ hervorhebt. Allein die erzielten Verhältnisse kommen denen im lebenden Organismus wenigstens nahe und in dieser Annäherung liegen der Anhaltspunkte für weitere Erkenntniss und darum der Motive für die Befolgung dieser Methode hinreichende.

Damit ist einer sehr ausgedehnten Reihe von Versuchen das Feld geöffnet. Ich habe eine Anzahl solcher Versuche, die freilich von der grossen Mannigfaltigkeit der hier in Betracht kommenden Fragen nur einen Theil bilden, im Institute des Herrn Professor *Ludwig* ausgeführt. Der ganze Plan der Untersuchung ist eine Anregung meines hochverehrten Lehrers; ich bitte daher, die folgenden Versuche als eine Ausführung seiner Ideen zu betrachten. Für die Unterstützung, die er mir darin zukommen liess, freue ich mich, ihm hier meinen wärmsten Dank aussprechen zu können.

1) *Ludwig* u. *Schmidt*, das Verhalten der Gase, welche mit dem Blute durch den reizbaren Säugethiermuskel strömen. Arbeiten aus der phys. Anst. zu Leipzig. III. 29.

2) I. c. 43, 44.

3) I. c. 55—60.

4) Arbeiten etc. III, 113.

5) Arbeiten etc. II, 114. III, 139.

6) *Pflüger*, Archiv f. Phys. I, 277.

I. Ueber die innere Athmung der Lunge.

Die Möglichkeit einer fruchtbaren Verwerthung der bezeichneten Methode für die Erforschung der Gewebeathmung der Lunge ist an die praktische Verwirklichung der Forderung geknüpft, dass durch den gesammten die Lunge begrenzenden Flächencomplex weder Kohlensäure aus dem Blute noch Sauerstoff in dasselbe trete. Diesen Gasbewegungen suchte ich dadurch vorzubeugen, dass ich die gänzlich zusammengefallene Lunge in einen luftdicht schliessenden Kautschukbeutel einschloss, welcher in innigste Berührung mit der Lungenoberfläche gebracht und durch Eintauchen des ganzen Apparates in Wasser in dieser Lage erhalten wurde. Um näher noch aus den jetzt noch vorhandenen kleinen Gasräumen eine Sauerstoff-Aufnahme zu verhüten, wurden jedesmal der Lungenraum wie die künstliche Pleurahöhle wiederholt mit reinem Stickstoff gefüllt. Bei dem letzten Zusammenfallen der Lunge und dem schliesslichen genauen Anlegen des Beutels an ihre Oberfläche konnten dann nur ganz minimale Mengen von Sauerstoff die Lunge noch umspülen. Zwei Manometer, in die Trachea und den künstlichen Pleuraraum eingesetzt, dienten zur Controle der Spannung der Gase in diesen Räumen. Die Unveränderlichkeit ihres Standes während der Versuche zeigte, dass, bis auf einen unten zu besprechenden kleinen Fehler, die Verhinderung der Diffusion wirklich erzielt war.

Das Gelingen des Versuches hängt weiter von der Möglichkeit ab, dass die Durchleitung des Blutes durch das pulmonale Gefässsystem ohne Blutung geschehe. In dieser Beziehung ist die Lunge ein unerwartet günstiges Object für die Untersuchung. Die zahlreichen Verbindungen der verschiedenen Gefässsysteme dieses Organes liessen Blutungen mehr als anderswo befürchten. An den Grenzen der Alveolen und Bronchien geht bekanntlich das pulmonale System in das bronchiale über und auf der Bronchialschleimhaut breiten sich Zweige der Pulmonalarterie aus; Zweige derselben zur Pleura sind wenigstens wahrscheinlich gemacht. Doch ist schon zu bemerken, dass aus den Capillarnetzen der feinen Bronchien auch Aeste der *V. pulmonalis* entspringen; ein Theil des hier eingetretenen Blutes kann also seinen Rückweg in die pulmonale Bahn finden. Ausserdem aber ist bei der Enge der Gefässe, dem vollständigen Zusammenfallen

der Lunge und (wie sich gleich zeigen wird) den kleinen Drücken ein totaler Verschluss der kleinen bronchialen Venen wohl möglich. So trat denn auch nie eine irgend erhebliche Blutung ein, wenn auch andererseits fast in keinem Versuche ein Blutaustritt gänzlich vermieden war. Einige Cubikcentimeter einer schwach roth gefärbten serumähnlichen Flüssigkeit waren bei der Oeffnung des Kautschukbeutels nach dem Versuche in der Mehrzahl der Fälle in ihm zu finden; sie machten jedoch in keinem der für die Resultate benützten Versuche mehr als 1% der ganzen durchgegangenen Blutmenge aus. Im Lungenraume habe ich keine Spuren von Blutung bemerkt.

Die nähere Anordnung der Versuche zeigt Fig. 1 (S. 154). *L* stellt die in den Kautschukbeutel eingeschlossene Lunge dar. In ihre Gefässe und Trachea sind Canülen eingesetzt, welche zu ihrer Verbindung mit der an einem Stative befestigten metallenen Platte *P* dienen. Wie Fig. 2 schematisch andeutet, ist letztere zu diesem Zwecke mit einer Reihe sie durchdringender Röhrchen versehen, deren relative Lage derjenigen der Lungengefässe und Trachea entsprechend gewählt ist. *t* führt in die Trachea, hier wird ein Manometer *m* luftdicht eingesetzt. *a* ist das arterielle Zuflussröhrchen, *v v' v''* deuten die Enden der venösen Bahn an. Von den letzten drei Röhrchen werden entweder nur eines oder alle drei benützt, je nachdem die beiden Lungen oder nur eine angewendet sind. Im ersten Falle ist die venöse Canüle in den linken Vorhof gesetzt, im letzteren werden die Canülen in die Pulmonalvenen direct eingefügt. Dort sind die nicht gebrauchten Röhrchen (*v' v''*) zu verschliessen, hier sind alle drei durch ein verzweigtes Glasrohr in eine Bahn zu vereinigen. *p* führt in den Zwischenraum zwischen Lunge und Beutel. Das Manometer, das hier eingesetzt wird, ist der Einfachheit der Zeichnung halber in Fig. 1 nicht wieder gegeben. — Der Beutel wird aus einem sich conisch verjüngenden Stücke und einer über einen metallenen Ring *R* gespannten Membran gebildet. Während das erste ein für alle Male luftdicht an den Rand der Platte *P* angelegt ist, wird die letztere erst, wenn die Lunge an *P* befestigt ist, mit dem untern Ende des conischen Mantels luftdicht verbunden. Einige metallene Stäbchen, welche an den Enden durch zwei dem Umfange der Platte *P* und des Ringes *R* entsprechende ringförmige Bänder vereinigt sind, dienen jetzt, passend angelegt, dazu, dem Ringe *R* mit

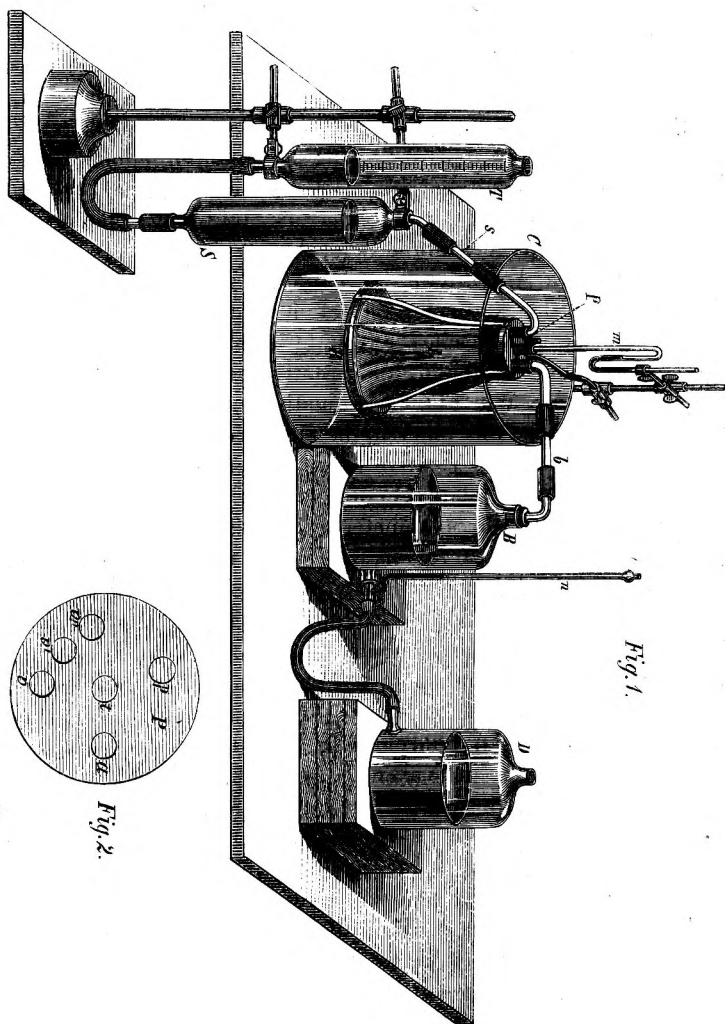


Fig. 1.

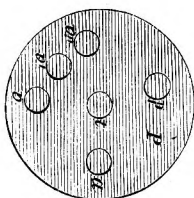


Fig. 2.

der Membran eine feste Lage zu geben. — *C* ist ein cylindrisches mit Wasser gefülltes Gefäß, welches die so eingehüllte Lunge aufnimmt.

Das mit der Manometerröhre *n* versehene Gefäß *B* enthält das Blut, welches für die Durchleitung bestimmt ist; es ist durch die Leitung *b*, die aus mehreren, durch Kautschuk verbundenen Glasröhrchen gebildet ist, mit dem arteriellen Röhrchen *a* und durch einen Kautschukschlauch mit dem Druckgefäße *D* verbunden. — Aus dem venösen Röhrchen *v* führt eine ähnlich wie *b* gebildete Leitung *s* zu dem calibrierten cylindrischen Sammelgefäße *S*, das, analog wie *B* mit *D*, mit einem zweiten Gefäße *T* verbunden ist. An der Leitung *s* ist eine (ebenfalls nicht gezeichnete) seitliche Röhre angebracht, welche für den Abfluss aller der nicht zur Analyse benützten Blutmengen bestimmt ist.

Der Mechanismus der Durchleitung ist nach dem Gesagten klar. Die Höhe des Quecksilbergefäßes *D* bestimmt den für die gewünschte Geschwindigkeit erforderlichen Druck, der stets an dem Manometer *n* abgelesen wird. Sie soll allein für die Regelung der Geschwindigkeit dienen. Die Höhe von *D* muss dann immer so gewählt werden, dass die beiden Quecksilberniveaux in *T* und *S* zusammenfallen (der geringe Druck der in *S* vorhandenen Blutsäule mag meist vernachlässigt werden). Doch ist es manchmal gefordert, zu Gunsten bald dieser bald jener Röhre eine Druckdifferenz von 1—2 Millimetern Behufs einer vorübergehenden Beschleunigung oder Verzögerung der Durchflussgeschwindigkeit eintreten zu lassen.

Die Versuche sind alle an der Lunge von Hunden angestellt. Zuerst wurde immer das Blut in üblicher Weise ¹⁾ aus der Carotis des Thieres gewonnen und nach der Defibrination in das Gefäß *B* eingeführt, wo es unter sorgfältigstem Luftabschluss bis zum Beginn der Durchleitung stehen blieb. Das Blut hatte während der Durchleitung immer die gewöhnliche Zimmertemperatur von 18—20°. — Hatte der geforderte Aderlass das Thier nicht erschöpft, so wurde jetzt von ihm auch die Lunge benützt; in einer Anzahl von Fällen jedoch lieferte sie ein zweites Thier. Nach der Tödtung des Thieres durch einen Stich in die *med. oblong.* und gänzlicher Verblutung wurden Lungen und

1) Arbeiten etc. II, 114. III, 9.

Herz möglichst rasch herausgenommen, Gefässe und Trachea passend isolirt, mit den bereit gehaltenen Canülen versehen und, nach Füllung der arteriellen Canüle mit Blut, das Präparat an die Platte *P* befestigt. Dann konnte gleich die Schliessung des Beutels geschehen, es folgte, nach der Einbindung der Manometer und dem Einsetzen in Wasser, die wiederholte Füllung und Entleerung der Alveolen und des pleuralen Raumes mit Stickstoff, endlich unter Verhütung aller Luftblasen die Verbindung mit den Gefässen *B* und *S*. Unmittelbar vor der letzteren wurde aus dem Gefäss *B* nach sorgfältigem Schütteln die Vergleichsprobe aufgefangen.

Jetzt konnte die Durchleitung beginnen. Vor dem Aufangen des durchgeströmten Blutes in dem Sammelgefässe *S* wird dabei passend immer eine gewisse Menge Blut durch die seitliche Ansatzröhre in *s* ohne weitere Verwendung ausfliessen. Es werden dadurch einzelne noch faserstoffhaltige Blutreste, die nachher bei der Gerinnung Verstopfungen erzeugen möchten, entfernt; man erzielt eine Erholung der Lunge, welche während der nicht unbeträchtlichen Zubereitungen vielleicht etwas gelitten hat; kleine noch übrig gebliebene Räume werden mit CO_2 gesättigt und man gewinnt die Kenntniss des geforderten Druckes zu einer Zeit, wo unvermeidliche Unregelmässigkeiten noch nicht störend wirken.

Die Geschwindigkeit der Durchleitung gelang es stets in vorzüglicher Constanz zu erhalten. Anfangs sind die geforderten Druckwerthe immer gering; mit der Versuchsdauer wachsen aber die Widerstände, meist mehr oder weniger regelmässig; wenigstens konnte ich keine auffallend unregelmässigen Schwankungen bemerken, wie sie beim Muskel erscheinen.¹⁾ Betrug der Druck Anfangs kaum mehr als 5 Mm, so stieg er gegen das Ende des Versuches allmählig auf 20–30 Mm. Diese Drücke dienen in den meisten Fällen zur Erzeugung einer während des ganzen Versuches constanten Geschwindigkeit von 2–3 Cubikcentimeter in der Minute. Doch kann durch entsprechende Erhöhung des Druckes mit Leichtigkeit eine viel grössere Geschwindigkeit, bis zu 20–30 Cubikcentimeter, in der Minute erzielt werden.

In den folgenden Versuchsreihen ist bisweilen eine recht

1) Arbeiten etc. III, 46.

beträchtliche Anzahl von Blutproben aufgefangen; ihre Auspumpung nahm eine Zeit in Anspruch, welche, auch wenn die Proben sofort bei 0° aufbewahrt wurden, für die von Herrn A. Schmidt beschriebenen Veränderungen¹⁾ wohl hinreichte. Ich beobachtete daher durchweg eine solche Anordnung, dass die eintretenden Veränderungen die Resultate des Versuches zu verkleinern suchten. Die Vergleichsprobe stand in Zimmertemperatur bis nach vollendetem Auffangen des durchgegangenen Blutes; dann wurden beide in Eis gestellt. Nach vollendetem Versuch begann ich die Auspumpung mit der durchgegangenen Probe. — Auspumpung und Analyse geschahen übrigens nach den bekannten Methoden dieses Institutes.²⁾

1.

Der Fundamentalversuch, der sich zuerst der Ausführung darbot, war die Durchleitung von kühlem, O-haltigem, defibriertem Blute durch die Lunge.

Die erste charakteristische Erscheinung dabei ist, dass das hellroth arteriell einströmende Blut dunkel venös aus der Lunge heraustritt. Die Aenderung der Farbe ist immer deutlich, besonders auffallend aber, wenn die Geschwindigkeit der Durchleitung eine geringe gewesen war.

Schon dieser Farbenwechsel des Blutes weist auf eine bedeutende Aenderung in seinem Gasgehalte, des Näheren seiner O-Menge. Zwar kann bekanntlich die Farbe des Blutes direct nicht maassgebend für seinen Gasgehalt sein, insofern, wie Herr Pflüger nachweist, bei verschiedenen arteriellen Blutarten das dunklere den grösseren O-Gehalt besitzt; aber bei demselben Blute ist die Menge des O immer entscheidend für seine Farbe.³⁾ Daraus folgt, dass das durch die Lunge geströmte Blut eine gewisse Menge seines O eingebüsst hat.

Die nähere Kenntniss der Vorgänge konnte erst die Analyse des Gasgehaltes vor und nach der Durchströmung, des »Arterien-« und »Venenblutes« geben. Für die Ableitung der Erscheinungen theile ich zunächst die Ergebnisse einer Anzahl

1) Arbeiten etc. II, 49. 51. 52.

2) Arbeiten etc. II, 33. 34. 119.

3) Pflüger, Archiv für Phys. I, 69—79.

Versuche mit. Sie sind nach der beschriebenen Methode gewonnen. Es waren beide Lungen angewendet, die venöse Canüle sass im Vorhof; die nähern Verhältnisse sind in den Tabellen mit enthalten. Die Geschwindigkeit bezieht sich auf die Minute, der Druck auf Quecksilber.

Tabelle I enthält die Resultate einer einmaligen Durchleitung; die Geschwindigkeit ist immer sehr klein.

I.

No.	Blutart	O	CO ₂	N	Geschw.	Druck
1.	Arterienbl.	45.32	20.74	4.62	2	15
	Venenbl.	43.94	21.75	2.23		
2.	Arterienbl.	48.49	21.26	4.52	2	15—20
	Venenbl.	46.84	22.78	2.32		
3.	Arterienbl.	46.64	19.34	4.68	2	7—10
	Venenbl.	44.92	20.22	4.92		
4.	Arterienbl.	44.23	20.02	4.44	3	5
	Venenbl.	44.47	21.17	4.88		

Tabelle II gibt die fractionirten Ergebnisse einer einmaligen Durchleitung. Hier flossen zwischen je zwei Auffangszeiten 40 Cmt. Blut in's Freie, ebenso viel wurden in dem Cylindergefäße S aufgefangen. Das Arterienblut *a* ist zu Anfang, das mit *b* bezeichnete zu Ende des Versuches gewonnen. Die beiden letzten Proben konnten erst am Tage nach dem Versuche ausgepumpt werden; sie zeigen in Folge dessen einen zu geringen O-Gehalt und werden darum im Folgenden nicht weiter berücksichtigt.

II.

No.	Blutart	O	CO ₂	N	Geschw.	Druck
5.	Arterienbl.	47.42	46.94	0.65	2	5—10 10—15 15—20 15—20
	Venenbl.	45.55	47.82	4.99		
		45.69	48.03	2.45		
		45.78	47.89	2.08		
		45.48	47.86	2.06		
	Arterienbl.	47.04	46.84	4.87		

Tabelle III endlich gibt die Resultate zweier Versuche mit grösseren Geschwindigkeiten und wiederholter Durchleitung desselben Blutes. Eine einzelne Durchleitung würde bei sehr grossen Geschwindigkeiten eine nur sehr geringe Aenderung im Gasgehalt hervorbringen, die analytischen Fehler würden daher hier relativ sehr gross. Andererseits konnte eine wiederholte Durchleitung in analoger Weise fractionirt werden wie die eben mitgetheilte und darum neue Vergleichspunkte bieten. Zur Erzielung der Wiederholung war der schon von Herrn A. Schmidt bei der Niere benützte Stromwender in ganz analoger Weise, wie es dort geschehen war, eingeschaltet.¹⁾ Die Gefässe S und T waren durch ein dem Gefässpaar B und D ganz gleiches ersetzt; das Auffangen der Blutprobe geschah aus einem der Gefässe B. Diese Modification der Versuchsanordnung bedingt, dass die Durchflussgeschwindigkeit hier nicht in solcher Constanz erhalten werden konnte, wie es in den obigen Versuchen der Fall war. — Bei dem Venenblut ist je die Anzahl der Durchleitungen angedeutet.

III.

No.	Blutart	O	CO ₂	N	Geschw.	Druck
6.	Arterienbl.	44.49	46.64	4.84	42.3	45—55
	Venenbl. (2)	42.00	47.32	4.93		
7.	Arterienbl.	44.66	48.88	4.38	27	} 40—45
	Venenbl. (6)	44.04	20.48	4.23		
	Venenbl. (9)	9.49	24.40	4.82	24	

Aus diesen Tabellen ergeben sich zunächst unmittelbar die folgenden Sätze.

4) Wie aus der Farbenänderung des Blutes abgeleitet, erleidet der O-Gehalt des durchströmenden Blutes eine beträchtliche Verminderung. Dass diese Abnahme nicht etwa Folge anwesender Säuren sein kann, ist bei der schon hervorgehobenen Alcalescenz der Lungen klar. Die Lunge hat also das Vermögen, den O des Blutes in festere Verbindungen überzuführen. Im Versuche konnte keine Gelegenheit zur Aufnahme von O ge-

4) Arbeiten II, 447.

geben sein. Die numerischen Werthe der O-Abnahme, die ich für eine genauere Einsicht in die Art dieses Verbrauches hier zusammenstelle, sind daher bis auf die analytischen Fehler richtig.

No.	Absoluter O-Verbrauch in 100 Blut	Absoluter O-Verbrauch auf 100 O	O-Verbrauch in 1 Minute von 100 Blut	O-Verbrauch in 1 Minute auf 100 O	Geschw.
1.	1.38	9.04	0.028	0.180	2
2.	1.65	8.92	0.033	0.178	2
3.	1.69	10.17	0.034	0.203	2
4.	2.76	19.39	0.083	0.582	3
5.	1.87	10.73	0.037	0.215	2
	1.73	9.93	0.035	0.199	2
	1.64	9.44	0.033	0.188	2
6.	2.49	17.18	0.153	1.057	12.3
7.	3.65	24.90	0.164	1.121	27
	1.52	13.80	0.122	1.104	24

Die Zahlen dieser Tabelle sind zwar nicht unmittelbar mit einander zu vergleichen, da die von Versuch zu Versuch verschiedenen Eigenthümlichkeiten sowohl der Lungen als des Blutes wesentliche Verschiedenheiten bedingen konnten. Dies muss nicht nur von der grösseren oder geringeren Masse der Lungen gelten, sondern auch von dem Grade der Lebhaftigkeit ihrer Lebensprocesse in normaler Lage im Organismus und von der Vollkommenheit ihrer Conservirung bis zur eigentlichen Durchleitung. In analoger Weise kann der Gehalt des Blutes an diesen oder jenen leicht verbrennlichen Stoffen den grössten Einfluss haben. Vergleicht man aber zunächst in der Anzahl von Versuchen, die unter gleicher Durchflussgeschwindigkeit ausgeführt sind (2 Cbcm.) die O-Mengen, welche 100 Cbcm. Blut in einer Minute verbrauchen, so erreichen in Wirklichkeit die befürchteten Schwankungen nicht einmal den Werth 0.04. Die procentischen Mengen des in der Zeiteinheit verbrauchten O schwanken um nicht mehr als 0.04. — Eine eingehendere Discussion lässt nun des Näheren eine Gesetzmässigkeit der Zahlen nach zwei Richtungen erkennen.

Die Zahlen der Versuchsreihen 5 und 7, die je an derselben Lunge gewonnen sind, zeigen beide eine stetige Abnahme des O-Verbrauchs. Da sie nach der Zeit geordnet sind, während welcher die Lunge zum Versuche diente, so folgt daraus, dass

der O-Verbrauch, welchen das die herausgeschnittene Lunge durchströmende Blut erfährt, in einer gewissen Abnahme begriffen ist. Im Versuch 5 ist diese Abnahme eine sehr unbedeutende, im Versuch 7 fällt sie erheblicher aus, was mit der gleichzeitigen Verminderung des O-Gehaltes des Blutes zusammenhängen mag.

Ordnet man die Zahlen der Tabelle nach den Geschwindigkeiten, so zeigt sich, dass den grössten Werthen der letzteren ein sehr viel grösserer O-Verbrauch entspricht. Wäre nun in dieser Reihenfolge nichts geändert als eben die Geschwindigkeit, so könnte dies sofort als auf einem Causalzusammenhang beruhend aufgefasst werden. Es sind aber, da die Geschwindigkeiten verschiedenen Versuchen angehören, sowohl Lunge als Blut andere geworden, und es fragt sich daher, wie viel von jenen Unterschieden durch diese Aenderung bedingt sein konnte. Hier ergibt sich nun sofort, dass bei gleicher Geschwindigkeit die Differenzen des O-Verbrauches in den verschiedenen Versuchen sehr viel geringer sind als die Differenzen bei den verschiedenen Geschwindigkeiten. Wie schon hervorgehoben, erreichen jene auf die Zeiteinheit und 100 Cbcm. Blut bezogen nie 0.04, diese halten sich immer über 0.4. Dies berechtigt zu dem Schlusse, dass analog wie beim Muskel ¹⁾ mit der Stromgeschwindigkeit der O-Verbrauch wächst. — Zu diesem Satze würden Versuche mit Variation der Geschwindigkeit an demselben Präparate in analoger Weise wie sie die Herren *Ludwig* und *Schmidt* am Muskel ausführten, directer führen; doch ist bei dieser Methode die sehr geringe Grösse der Aenderungen im Gasgehalt wohl hervorzuheben, die auch hier eine mehrmalige Durchleitung des rascher strömenden Blutes verlangte.

Reducirt man den absoluten O-Verbrauch bei den wiederholten Durchleitungen unter grösserer Geschwindigkeit auf eine einmalige Durchleitung, so ergibt sich, dass das rascher fliessende Blut einen geringeren O-Verlust erleidet, als das langsam strömende. Dies lässt sich auch dahin fassen, dass der O-Verbrauch um so grösser ist, je grösser der ursprüngliche Gehalt an O ist.

2) Der CO_2 -Gehalt des durchströmenden Blutes erhöht sich.

1) *Ludwig* u. *Schmidt*, Arbeiten III, 34.

Fehler in diesem Zuwachse sind in verminderndem Sinne möglich. Erheblich konnten sie nicht ausgefallen sein, das zeigt der sich nicht ändernde Stand der Manometer des Lungen- und künstlichen Pleuraraumes. Gerade aus diesem Grunde macht jedoch die gleich näher anzuführende N-Aufnahme das wirkliche Vorhandensein eines geringen CO_2 -Austrittes zweifellos. Wenn demnach die Zahlen der folgenden Zusammenstellung alle etwas zu klein sind, so dürften doch ihre Abweichungen gering genug sein, um die Ableitung der gesetzmässigen Beziehungen der CO_2 nicht zu verhindern.

No.	Absolute CO_2 -Bildung in 100 Blut	Absolute CO_2 -Bildung auf 100 CO_2	CO_2 -Bildung in 1 Minute von 100 Blut	CO_2 -Bildung in 1 Minute auf 100 CO_2	Geschw.
1.	1.01	4.87	0.020	0.097	2
2.	1.52	7.15	0.030	0.143	2
3.	0.91	4.71	0.018	0.094	2
4.	1.15	5.74	0.035	0.172	3
5.	0.91	5.38	0.018	0.108	2
	1.12	6.62	0.022	0.132	2
	0.98	5.79	0.020	0.116	2
6.	0.71	4.28	0.044	0.263	12.3
7.	1.30	6.89	0.059	0.340	27
	0.92	4.55	0.074	0.364	24

Die Zahlen dieser Tabelle zeigen *cet. par.* etwas grössere Schwankungen als die des O-Verbrauches, was ausser auf den schon angeführten Umständen auf der grösseren Schwierigkeit einer vollständigen Gewinnung der letzten CO_2 -Reste des Blutes beruhen mag. Doch ist auch in ihnen in denselben beiden Richtungen wie beim O-Verbrauch eine Gesetzmässigkeit nicht zu verkennen.

Während der Zeit, wo die Lunge aus dem Organismus herausgeschnitten ist, erhielt sich wie aus 5 und 7 hervorgeht, der CO_2 -Gewinn des Blutes bis auf geringe Abweichungen auf derselben Grösse. Letztere scheinen aber im Gegensatze zu dem Verhalten des O-Verbrauches auf eine geringe Zunahme zu deuten.

Wie der O-Verbrauch erfährt auch die CO_2 -Bildung bei der Steigerung der Stromgeschwindigkeit eine beträchtliche Vergrösserung. Dieser Zuwachs ist aber ein relativ kleinerer als

der des O-Verbrauches; immerhin ist er gross genug, um die Ableitungsweise, die dort gegeben, giltig zu erhalten.

Das Verhältniss des verschwundenen O zu der gebildeten CO_2 ist grösser als 1; es schwankt ungefähr gleich zu beiden Seiten des Werthes $\frac{\text{O}}{\text{CO}_2} = 2$. — Mit der Geschwindigkeit wächst der genannte Quotient.

3) Auch der N-Gehalt des durchströmenden Blutes erfährt eine Erhöhung. Wo er im Arterienblut schon relativ bedeutend war, fällt diese Vermehrung sehr gering aus; in Versuch 5, wo der Gehalt des einströmenden Blutes an N gering war, ist der Zuwachs ein recht beträchtlicher. Dies weist darauf hin, dass der N einen gewissen procentischen Gehalt, der nicht weit über 2 Cbcm. liegen konnte, nicht überschreitet. Doch muss dieser Werth von der Spannung der das Blut umspülenden N-Atmosphäre abhängen.

Die Triftigkeit dieser Grundlagen, auf welchen die weiteren Schlüsse auf die Vorgänge in der Lunge beruhen, wird ersichtlich in keiner Weise weder durch die Fehler der Analyse und Auspumpung noch durch die Diffusionserscheinungen oder Unregelmässigkeiten in der Vertheilung der Blutkörperchen erschüttert. Wichtiger ist die Frage, in wie weit die Muskeln des Vorhofes an dem Resultate betheiligt sind. Wenn auch ihre Masse klein ist, so durfte doch zur Elimination ihres Einflusses der Versuch an einer Lunge unter directer Einsetzung der venösen Canülen in die Lungenvenen erwünscht sein. Tabelle IV gibt die Resultate zweier solcher Versuche.

IV.

No.	Blutart	O	CO_2	No.	Geschw.	Druck
8.	Arterienbl.	13.22	19.64	1.67	3.3	15—20
	Venenbl.	12.57	20.00	2.55		
9.	Arterienbl.	14.74	20.07	1.64	10	15—20
	Venenbl.	14.27	20.26	1.79		

No.	O-Verbrauch	in 100 Blut	CO ₂ -Bildung	in 100 Blut
	Absolut	in 1 Minute	Absolut	in 1 Minute
8.	0.65	0.021	0.36	0.012
9.	0.44	0.044	0.18	0.018

Die Endresultate dieser Versuche, der O-Verbrauch und der CO₂-Gewinn in 100 Cbcm. während der Zeiteinheit, sind nur wenig kleiner als die Hälfte der entsprechenden Werthe der beiden früheren Tabellen, in naher Uebereinstimmung mit der Reduction der wirkenden Lungenmasse auf die Hälfte. Der Vorhofsmuskel konnte somit einen erheblichen Einfluss nicht gehabt haben und es dürfen daher die gewonnenen Resultate sofort weiter verwendet werden.

Offenbar theilen sich die Resultate in zwei wesentlich verschiedene Gruppen. Das Verhalten des N nimmt eine besondere Stellung ein, während es auf der Hand liegt, die Aenderungen des Gehaltes an O und CO₂ in Beziehung zu einander, resp. zu einem gemeinschaftlichen Vorgang zu bringen.

Die nachgewiesene N-Aufnahme, welche mit der von Herrn *Preyer*¹⁾ beobachteten N-Vermehrung beim Schütteln des Blutes mit Luft übereinstimmt, wird von hohem Interesse in Hinsicht auf die schon so oft discutierte Frage der N-Resorption in den Lungen des athmenden Thieres. Zwar sind die Verhältnisse des Versuches wesentlich andere als die des normalen Athmungsprocesses, die Lunge war mit nahezu reinem N in Berührung. Jene N-Aufnahme darf daher nicht als Beweis einer Aufnahme bei der Athmung angesehen werden. Wenn aber schon die alten Beobachtungen von *Humboldt*, *Davy*, *Pfaff*, die neueren von *Sanders*²⁾ und *Scheremetjewski*³⁾ mit grösserer oder geringerer Allgemeinheit eine Aufnahme bei der Respiration ergaben, so dürfte die Natur dieser Aufnahme als eines physiologischen Vorganges nicht mehr zweifelhaft sein.

Der O-Verbrauch und die CO₂-Bildung sind die Folgen eines molecularen Umsetzungsprocesses, welcher während der Durchleitung unter dem Einflusse des Gewebes stattfindet. Die Aenderungen beider können bis auf die Fehler der Analyse nur auf einer Aenderung der Intensität dieses Processes be-

1) Wiener Sitzungsber. 49. 36.

2) Arbeiten etc. II, 74.

3) Arbeiten etc. III, 121.

ruhen. Daraus folgt, dass diese Intensität eine Function der Versuchsdauer und der Stromgeschwindigkeit ist. Die erste Abhängigkeit kann nur dem herausgeschnittenen Organe eigenthümlich sein. Die zweite Beziehung wird dagegen in zweifacher Hinsicht von Wichtigkeit.

Zunächst liefert sie einen neuen Beweis — sollte es anders eines solchen noch bedürfen — dafür, dass die Athmungsprocesse auch in Gefässprovinzen, die nicht dem Muskel angehören, sehr veränderlich sind, dass also der Unterschied, welchen der O-Verbrauch und die CO₂-Bildung bei der Gesammtathmung in den verschiedenen Arbeitszuständen zeigen, nicht allein in den verschiedenen Zuständen der Muskeln bedingt ist.¹⁾ Sie alle variiren ja stets die Geschwindigkeit des Blutstromes.

Weiter ermöglicht die genannte Function die Ableitung eines allgemeinen Satzes über die Natur des Vorganges. Fasst man in's Auge, dass bei der kleinen Geschwindigkeit und dem geringen O-Verbrauch die Lebesenseigenschaften der Lunge sich ebenso gut erhalten, wie bei der grossen Stromgeschwindigkeit und dem gesteigerten O-Verbrauch, so ergibt sich auch hier wie beim Muskel, dass unter dem Einflusse des Gewebes Umsetzungsprocesse auftreten, die in keiner Beziehung stehen zur Erhaltung der Lebesenseigenschaften derselben.²⁾

Die Erscheinungen des O-Verbrauches und der CO₂-Bildung in den Lungen haben nach dem Gesagten eine allgemeine Bedeutung für die Lehre von der Gewebeathmung, namentlich deswegen, weil das Gewebe der Lunge sehr einfach gebaut ist, diese Athmung also hier unter den einfachsten Verhältnissen auftritt. Wie modificirend die Complicirtheit des Gewebes in die Athmung eingreift, zeigt die Umkehrung der Quotienten $\frac{O}{CO_2}$ beim herausgeschnittenen Muskel.³⁾ Der Einfluss der Stromgeschwindigkeit auf den O-Verbrauch ist dagegen gerade bei diesem Organe entdeckt worden⁴⁾; ihre Bedeutung für die CO₂-Bildung und das Verhältniss des O-Verbrauches zur CO₂-Bildung ist oben hervorgehoben.

1) Vergl. Arbeiten etc. III, 1. 42.

2) Arbeiten etc. III, 35.

3) Arbeiten etc. III, 55 ff.

4) Arbeiten etc. III, 34 ff.

Die genannten Erscheinungen haben aber ein neues Interesse, insofern sie in dem eigentlich athmenden Apparate des Organismus auftreten. Die äussere Athmung macht das venöse einströmende Blut arteriell, die innere verwandelt das arterielle in gewissem Grade wieder in venöses; dem entsprechend ist sowohl der Wechsel der Farbe als die Aenderung im Gehalte an O und CO₂ in den beiden Processen gerade der entgegengesetzte. Das Verhältniss der letzteren Aenderungen jedes Processes ist dagegen in beiden wieder dasselbe.

In der Lunge erfolgt also in der That schon ein Theil des grossen Zersetzungs Vorganges. Die alte Anschauung von *Mayow* und *Lavoisier* tritt damit wieder in ein gewisses Recht. Freilich ist die Grösse dieser pulmonalen Zersetzung eine sehr geringe gegenüber der Grösse in den übrigen Theilen, namentlich im gesammten Muskelsysteme und die von *Lagrange*, *Spallanzani*, *Edwards* und *Magnus* begründete Lehre behält ihre Richtigkeit in erster Annäherung.

2.

In der Frage nach der Ursache des energischen molecularen Umsetzungsprocesses in den Geweben sind bekanntlich zwei Möglichkeiten offen: Entweder wird der Sauerstoff durch die Einwirkung der Gewebe in jene Modification umgewandelt, in der er, ganz vorzugsweise energisch oxydirend, Verbindungen verbrennt, die er im nicht erregten Zustande nicht angreift. Oder es werden die Moleculargruppen unter dem Einflusse des Gewebes zerspalten, wobei dem gewöhnlichen nicht erregten Sauerstoff in dreierlei Weise Gelegenheit zu energischen Oxydationen gegeben sein kann: 1) Mit schwer zerstörbaren Gruppen tritt er im *status nascens* in Verbindung; 2) es werden leicht oxydable Verbindungen gebildet; 3) es werden einfache Moleculargruppen (z. B. Elemente) ausgeschieden mit hoher Verwandtschaft zum Sauerstoff. — Unterstützend kommt die von Herrn *Pflüger* ¹⁾ hervorgehobene Lockerung des O in den Blutkörperchen hinzu: im O-freien Raum zersetzt sich das Oxyhämoglobin, ein Process, welcher durch die Temperaturerhöhung unterstützt wird, die das vom Herzen in die Gewebe zurückströmende Blut erfährt.

1) Archiv f. Physiol. I, 74. II, 169. 177.

Energische oxydirende Wirkungen des Ozones auf das Blut sind durch die Beobachtungen des Herrn *His*¹⁾ erwiesen; mit ozonisirter Luft geschüttelt wird das Blut so vollständig oxydirt, dass gar keine Albuminate und wenig organische Stoffe überhaupt bleiben. Andererseits ist das Vorhandensein kleiner Mengen von Ozon im Blute durch Herrn *Schmidt*²⁾ hervorgehoben. Nimmt man demgemäss eine Ozonisirung des O unter dem Einflusse der Gewebe an, so entspringt die Frage nach der nähern Natur seiner Wirkungen. Hier werden nun nach den Untersuchungen des Herrn *v. Gorup-Besanez*³⁾ zwei Punkte von besonderer Wichtigkeit.

Die Einwirkung des Ozones auf die Albuminate gehört zu den allereingreifendsten Wirkungen desselben. Also müssten die Eiweissstoffe des Blutes und der Gewebe ganz vorzugsweise den zerstörenden Wirkungen des Ozones unterliegen. Bei dem wesentlichen Antheil der Albuminate am Bau der Gewebe sind die Consequenzen dieser Annahme evident.

Die Einwirkung des Ozones auf die ganze Reihe der Kohlenhydrate ist fast ohne Ausnahme Null. Gerade diese aber sind recht eigentlich das Object der Verbrennung und diese ist bei der erwiesenen Krafterleistung dieses Processes von der fundamentalsten Bedeutung für den Organismus. Nun erfahren allerdings eine Anzahl der Kohlenhydrate bei Gegenwart von Alkali durch Ozon eine Zerlegung. Dies also schiene hinreichende Garantien zu bieten für die Möglichkeit der Verbrennung im Thierleibe. Allein die neuesten Versuche des Herrn *Scheremetjewski*⁴⁾ beweisen nur zu sehr, wie unbegründet diese Ausflucht ist: »die Lebhaftigkeit der Athmung wird nicht erhöht durch die Anwesenheit des Zuckers im Blute, — wir haben keinen Grund zu der Annahme, es könne der Zucker als solcher, wenn er dem Blute einverleibt wird, den oxydirenden Vorgängen innerhalb der Gefässe verfallen.« Damit in Uebereinstimmung ist die Beobachtung des Herrn *v. Gorup-Besanez*, dass bei Behandlung der Milch mit Ozon ihr Zucker gar nicht, ihre Fette

1) *His*, Archiv f. path. Anat. u. Phys. v. *Virchow*. X, 483.

2) *Schmidt*, Ozon im Blute. Hämatol. Studien. I, 45. Archiv f. path. Anat. XLII 249.

3) *v. Gorup-Besanez*, Ueber die Einwirk. des Ozon auf org. Verb. Anal. d. Chemie. Bd. 110. Bd. 125.

4) Arbeiten etc. III, 142.

nur äusserst langsam angegriffen werden. Essigsäure und Ameisensäure werden zwar für sich nicht, aber bei Gegenwart von Alkali verbrannt; bei der Durchleitung durch die Gewebe bedingen sie keine Veränderung der Athmung. Ebenso wenig erfährt die Benzoesäure eine Zerlegung, die doch bei Gegenwart von Alkali ebenfalls vollständig durch Ozon verbrannt wird.

Die genauere Analyse der Wirkungen des Ozones auf die organischen Verbindungen zeigt also hinsichtlich der beiden Punkte, welche die allerfundamentalsten für den Organismus sind, des Baues seiner Gewebe und der Arbeitsleistung derselben, die Unmöglichkeit einer Ozonisirung des O durch das Gewebe. Vom Standpunkte der Zerspaltung unter ihrem Einflusse erblicken wir umgekehrt zwei Thatsachen, die eine wichtige Stütze für diese Annahme sind.

Im Muskel ist auch bei Abwesenheit freien O's eine CO_2 -Bildung nachgewiesen. Die Herren *Ludwig* und *Schmidt*¹⁾ fanden bei Durchleitung von Erstickungsblut durch denselben die CO_2 -Bildung nahezu ebenso mächtig wie in den Fällen, wo das durchströmende Blut eine merkliche Menge O einbüsste. Im Muskel ist aber kein auspumpbarer O. Daher kann diese CO_2 -Bildung doch nicht von einer Oxydation herrühren, es kann der ihr zu Grunde liegende Vorgang nur eine Zerspaltung sein.

Im künstlichen Venenblute der Niere sind durch Herrn *A. Schmidt*²⁾ Stoffe nachgewiesen, welche den locker gebundenen O zu fixiren vermögen. Die Menge dieses O, der nach der Absorption durch das Nierenvenenblut nicht mehr durch Auspumpung gewonnen werden konnte, betrug in einem Falle die Hälfte des auspumpbaren Blut-O; dafür waren 2.29 Cbcm. CO_2 mehr gewonnen. Es ist hienach augenscheinlich, dass unter dem Einflusse des Gewebes aus den schwerer oxydablen Moleculargruppen Verbindungen entstehen, die durch den im Blut vorhandenen nicht ozonisirten O zu Kohlensäure und Wasser verbrannt werden.

Endlich dürfte es erlaubt sein, zwei andere Punkte hervorzuheben, welche der Ansicht von der Zerspaltung der Moleculargruppen theils eine hohe Wahrscheinlichkeit, theils eine Analogie zu einer bekannten Contact-Wirkung der Gefässwandungen

1) Arbeiten III, 59.

2) Arbeiten II, 126.

verleihen. Es wurde oben nachgewiesen, dass bei der Durchleitung von Blut durch die Lunge der Quotient aus dem O-Verbrauch durch die CO₂-Bildung mit der Stromgeschwindigkeit wächst. Diese Beobachtung ist mit der Annahme der reinen Verbrennung der Stoffe durch den ozonisirten O nur unter künstlichen und darum unwahrscheinlichen Unterstellungen vereinbar. Aus der Annahme der Zerspaltung ergibt sie sich, wie unten gezeigt werden soll, leicht. — Die Gerinnung des Blutes ist bekanntlich dann und (ohne weitere Behandlung) nur dann verhütet, wenn das Blut mit den Gefässwänden in Berührung ist. Ist also hier eine Contactwirkung nachgewiesen, warum soll sie nicht auch in der andern, der charakterisirten Richtung sich äussern können?

Nach Allem dürfte die discutirte Frage bereits als eine erledigte angesehen werden. Ein *experimentum crucis* steht aber zu Gebote in der Zerlegung einer Moleculargruppe, wo die Menge des bei der Verbrennung verbrauchten O in einem bekannten Verhältniss stehen muss zu einem vollständig gewinnbaren Verbrennungsproducte. Solche Verbindungen sind die Kohlenhydrate und die analog zusammengesetzten Körper, die unter ebensoviel O-Verbrauch als CO₂-Bildung zu CO₂ und Wasser vollständig verbrannt werden. Der O-Verbrauch und die CO₂-Bildung lassen sich aber in dem durch das Gewebe strömenden Blute mit Genauigkeit ermitteln. Sind also hier die Volumina des O-Verbrauches und der CO₂-Bildung verschieden, so ist dies ein unumstösslicher Beweis dafür, dass die Zerlegung nicht eine Verbrennung sein konnte. Ist das Verhältniss der Volumina aber = 1, so ist dies ein Beweis weder für die eine noch für die andere Ansicht. Denn es wäre hier immer noch denkbar, dass erst unter einer durch das Gewebe eingeleiteten Zerspaltung die Vereinigung des O mit gewissen Moleculen in oben angedeuteter Weise stattgefunden und durch die vollständige Oxydation dieser intermediären Verbindungen erst eine solche der ursprünglichen ermöglicht wurde.

Unter diesen Körpern ist nun für die Entscheidung unserer Frage speciell die Gruppe von besonderer Wichtigkeit, welche nachweislich häufig in grösseren Mengen im Organismus vorkommt. Eine solche Verbindung ist die Milchsäure; sie wird nicht nur in der Nahrung dem Thierleibe zugeführt, sondern auch

in seinen Organen bei der Function derselben reichlich gebildet, während sie nur in sehr geringer Menge im Harne erscheint. Sie geht also jedenfalls im lebenden Organismus eine Zerlegung ein. Im nachgeahmten Processe der Zerlegung, welche durch ihre Einverleibung in das ein herausgeschnittenes Organ durchströmende Blut erzielt wird, dürfen wir aber wohl mit Recht den nämlichen Vorgang erwarten.

Nun hat bekanntlich schon Herr *Scheremetjewski*¹⁾ die Milchsäure diesem Versuche unterworfen. Er versetzte das kühle defibrinirte O-haltige Blut mit einer gewissen Menge einer wässrigen Solution von milchsaurem Natron und leitete abwechselnd das Normalblut und das Milchsäureblut durch die Niere des Hundes. Aus dem Unterschied, den die Aenderung des Gehaltes des Blutes an O und CO₂ in den beiden Fällen zeigte, liess sich dann leicht die gesuchte Beziehung ableiten; der Quotient dieser Differenzen drückte ja unmittelbar das gewünschte Verhältniss aus. Er fiel in drei unter vier Fällen nahe der Einheit gleich aus. — Für die Beweiskraft der Ergebnisse solcher Versuche ist zunächst der schon erwähnte Punct zu berücksichtigen: sie werden nicht mehr entscheidend, sobald jener Quotient der Einheit gleich kommt. Für die Versuche an der Niere werden speciell zwei andere Punkte wichtig. Die Niere war zwar in ein luftdichtes Gefäss eingeschlossen, zwischen ihrer Oberfläche und den Wänden desselben blieb aber immer noch ein beträchtlicher Raum. Eine Abgabe von CO₂ nach Aussen war also immer vorhanden. Während der Durchleitung schwillt die Niere beträchtlich an; dieser Austritt von Serum in das Parenchym muss aber nicht nur jene CO₂-Diffusion aus dem Organ erhöhen, sie führt zu einer beträchtlichen relativen Blutkörperchenvermehrung im ausströmenden Blute. Der Gesamteinfluss zeigte sich in den Versuchen des Herrn *Schmidt*²⁾ in einem Falle als ein CO₂-Verlust von 2,5 Cbcm. in 100 Cbcm. Blut. Nun sind allerdings die benützten Zahlen Resultate von Differentialversuchen. Beide Processe brauchten aber keineswegs für das Normalblut und das Milchsäureblut in gleichem Maasse abzulaufen, denn letzteres war nicht unerheblich verdünnt. Alle diese Punkte gestatten nicht, die Ergebnisse der

1) Arbeiten III, 114.

2) Arbeiten II, 128 129.

Versuche des Herrn *Scheremetjewski* für eine Entscheidung der angeregten Frage zu benützen. Es war gefordert die Versuche an einem Organe wieder aufzunehmen, das bei grösserer Einfachheit in der Structur eine vollständige Gewinnung der CO_2 erlaubte. Die Lunge genügte beiden Forderungen; ich habe daher an ihr eine Anzahl solcher Versuche angestellt.

Die Anordnung der Versuche war dieselbe, wie in den früher beschriebenen Versuchen. Wie dort begann auch hier der Versuch mit der Gewinnung des Blutes. Nach seiner Defibrination wurde dieses zunächst in ein grösseres Quecksilbergefäss aufgefangen und erst nach sorgfältigem Schütteln durch ein Gabelrohr zwei Dritttheile der Menge in zwei andere Quecksilbergefässe übergeführt. Alle drei Blutquanta blieben jetzt in genauestem Abschluss von Luft. — Das milchsaure Natron, auf gewöhnliche Weise durch Sättigung der verdünnten Säure mit wiederholt durch Umkrystallisiren gereinigtem $\text{Na}_2 \text{CO}_3$ bis zu genau neutraler Reaction dargestellt, wurde in einer Lösung von 43,4 Milligr. auf 4 Cbemt. Wasser der einen Blutmenge zugefügt. Auf je 20 Cbemt. Blut fiel 4 Cbemt. der Solution.

War die erste Durchleitung von normalem Blut in der üblichen Weise vollendet, so dass erst nach dem Ausfliessen einer gewissen Menge Blutes in's Freie die schliessliche Sammlung in dem cylindrischen Gefässe *S* erfolgt war, so wurden die Gefässe *B* und *S* durch die beiden andern rasch vertauscht, die für Durchleitung und Auffangen des mit milchsaurem Natron versetzten Blutes bestimmt waren. Diese Durchleitung geschah unter besonderer Berücksichtigung gleicher Geschwindigkeit wie im ersten Falle. Das Sammeln des Venenblutes erfolgte immer erst nachdem eine Blutmenge (40 Cbemt.) durchgeströmt war, welche zu der Annahme berechtigte, dass jetzt alles Normalblut durch das Milchsäureblut verdrängt sei. Endlich schloss sich in entsprechender Weise die Durchleitung der zweiten Quantität Normalblut an.

Das Auffangen der arteriellen Blutprobe geschah immer unmittelbar vor Beginn der Durchleitung nach sorgfältigem Schütteln der Blutmenge; sie blieb bis nach Vollendung dieser einen Durchleitung in Zimmertemperatur; dann wurde sie zusammen mit dem venösen Blute im Sammelgefässe bis zur Auspumpung in Eis aufbewahrt. — Die Reihenfolge der Auspumpungen war so, dass allfällige Veränderungen des Blutes in

einem das Endresultat verkleinernden Sinne ausfallen mussten. Demgemäss folgte dem Milchsäureblut das Normalblut und dem venösen das arterielle.

Den eigentlichen Versucheresultaten kann ich eine Bestätigung der von Herrn *Scheremetjewski* gemachten Beobachtung vorausschicken, dass ein Zusatz von neutralem milchsaurem Natron zum Blute keine Aenderung im Gasgehalte desselben bedingt. Dies gilt auch für das Blut, das eine beträchtliche Zeit (24^h) mit der Lösung versetzt, in Eiswasser aufbewahrt war. Hievon überzeuete mich ein Controlversuch, den ich jedoch, da sich das Verhältniss auch in der folgenden Tabelle ausspricht, übergehen kann. Ich bemerke indessen, dass es auch bei sorgfältigster Beobachtung aller Vorsichtsmaassregeln beim Versuch der Auspumpung und Analyse nur selten gelingt, die beiden normalen Blutnengen in ganz gleichem Gasgehalte zu erhalten; dementsprechend zeigt auch das arterielle Milchsäureblut bisweilen geringe Abweichungen vom arteriellen Normalblut, die nicht allein von jener continuirlichen Aenderung im Gaswechsel herrühren dürften.

Die folgende Tabelle gibt die Resultate dreier Versuche wieder. Die ersten zwei sind an den beiden Lungen, der dritte nur an der einen angestellt. Bei dem letzteren fehlt die Analyse des arteriellen Milchsäureblutes. Es wurde an seine Stelle der Gehalt des arteriellen Normalblutes gesetzt, was nach den eben gemachten Bemerkungen und einem Vergleiche mit dem zweiten arteriellen Normalblute wohl erlaubt war. — Die Blutarten folgen sich in der Reihe der Durchleitungen.

V.

No.	Blutart	O	CO ₂	N	Geschw.	Druck
4.	N. Art.	46.64	49.34	4.68	2	7—10
	Ven.	44.92	20.22	4.92		
	M. Art.	46.70	49.44	4.75	2	10
	Ven.	44.36	22.62	2.34		
	N. Art.	46.49	20.19	4.96	2	15—20
	Ven.	43.88	22.22	2.48		

No.	Blutart	O	CO ₂	N	Geschw.	Druck
2.	N. Art.	14.23	20.02	4.44	3	5
	Ven.	11.47	21.17	4.88		
	M. Art.	14.49	19.97	4.76	3	
	Ven.	11.12	23.90	4.73		
	N. Art.	14.91	20.76	2.00	3	
	Ven.	11.97	23.21	2.69		
3.	N. Art.	13.22	19.64	4.67	3.3	15—20
	Ven.	12.57	20.00	2.55		
	M. (Art.	13.22	19.64	4.67)	3.3	20—25
	Ven.	12.63	20.21	2.16		
	N. Art.	13.28	19.19	4.40	3.3	25—30
	Ven.	12.85	19.50	2.32		

Für die nähere Ableitung der Erscheinungen theile ich zunächst die aus den Versuchsdaten der Tabelle V abgeleiteten numerischen Werthe mit. Sie beziehen sich alle auf die Minute als Zeiteinheit.

No.	Blutart	O-Verbrauch	Differenz	CO ₂ -Bildung	Differenz	Verhältn. der Differenzen
1.	Normal.	0.034		0.018		
	Milchs.	0.047	0.013	0.070	0.052	4 : 4
	Normal.	0.046	0.012	0.041	0.023	
2.	Normal.	0.083		0.035		
	Milchs.	0.101	0.014	0.120	0.085	4 : 6
	Normal.	0.089	0.006	0.074	0.039	
3.	Normal.	0.024		0.012		
	Milchs.	0.020	0.002	0.049	0.008	4 : 4
	Normal.	0.044		0.010		

Diese Zusammenstellung ergibt unmittelbar die folgenden Sätze.

1. Durch den Zusatz des milchsauren Natron zum Blute wird sowohl der O-Verbrauch als die CO₂-Bildung in dem die Lunge durchströmenden Blute erhöht. Ein Vergleich der ersten Durchleitung von normalem und derjenigen von Milchsäurehaltigem Blute lässt in Versuch 1 und 2 dieses Verhältniss sofort erkennen; im 3. Versuche, wo eine Abweichung zu bestehen scheint, lehrt ein Blick auf die zweite Durchleitung von Normalblut, dass die Gasänderung überhaupt bei diesem Präparate in

einer relativ raschen Abnahme begriffen war. Es dürfte daher hier für den Vergleich richtiger das Mittel aus den Aenderungen der Gasgehalte während beider Durchleitungen von normalem Blute gewählt werden.

2. Das Verhältniss des Mehr-Verbrauches des O durch die Mehr-Bildung von CO_2 ist durchweg kleiner als 1. Es ist also gerade das entgegengesetzte wie das Verhältniss des O-Verbrauches durch die CO_2 -Bildung bei der Durchleitung von Normalblut und weicht soweit von der Einheit ab, dass es das Verhältniss des O-Verbrauches durch die CO_2 -Bildung bei der Durchleitung von Milchsäureblut ebenfalls umkehrt. Das genannte in dem letzten Stabe angedeutete Verhältniss wird für die Folge von um so bedeutenderer Tragweite, als es zu Gunsten des CO_2 ausfällt, also einen Ueberschuss in dem Theil anzeigt, der möglicherweise durch Diffusion noch eine kleine Verminderung erfahren hat.

3. In den beiden ersten Versuchen zeigt sich auch bei der zweiten Durchleitung von Normalblut noch ein deutlich ausgesprochenes Mehr in dem O-Verbrauch und der CO_2 -Bildung relativ zur ersten Durchleitung, und auch hier ist der Ueberschuss in der CO_2 -Bildung der grössere. Der dritte Versuch fällt aus schon angegebenen Gründen bei diesem Vergleiche weg; doch deutet auch hier die geringere Abnahme der CO_2 auf ein ähnliches Verhalten hin, das eben nur durch die Gesamtabnahme der Gasänderungen verdeckt wird.

Diese drei direct abgeleiteten Sätze werden nun die Grundlage für die weiteren Schlüsse hinsichtlich der Zerlegung des milchsauren Natrons unter dem Einflusse des Lungengewebes. Der erste von ihnen zeigt zunächst, dass das milchsaure Natron in der That während der Durchströmung eine Zerlegung erfährt. Das übereinstimmende Resultat der drei Versuche und ein Blick auf das Verhältniss der Zahlen in der fractionirten Durchleitung der Tabelle II lassen keinen Zweifel, dass das Mehr im O-Verbrauch und CO_2 -Bildung durch die Anwesenheit des milchsauren Natron bedingt ist; und dass es Folge einer Zerlegung des letzteren unter dem Einflusse des Gewebes ist, folgt weiter aus der Unveränderlichkeit des Gasgehaltes bei blosem Zusatz von milchsaurem Natron.

Hienach sind die Differenzen in dem O-Verbrauch und der CO_2 -Bildung bei der Durchleitung von Normal- und Milchsäure-

blut durch die Umsetzung des milchsauren Natron bedingt. Dann aber folgt aus dem zweiten, ihr Verhältniss ausdrückenden Satze, dass diese Zerlegung unmöglich eine Verbrennung sein kann. Nur in dem Falle, wo es = 4 wäre, könnte eine Verbrennung vorliegen; hier erscheinen aber auf 4 Vol. verbrauchten O 4—6 Vol. erzeugte CO₂. Die durch den Einfluss des Gewebes angeregte Zerlegung des milchsauren Natron kann also nur eine Zerspaltung sein.

Um anzudeuten, wie man sich diese Zerspaltung möglicherweise zu denken hat, will ich an die längst bekannte Zerspaltung der Milchsäure in Buttersäure, Kohlensäure und Wasserstoff erinnern. Diese erfolgt unter dem Einflusse thierischer Substanzen und das zur Verwandlung des H in Wasser geforderte O-Volum verhält sich zu dem gebildeten CO₂-Volum = 1:4. Diese Uebereinstimmung wird um so überraschender, als im Blute wirklich Buttersäure nachgewiesen ist. Nicht weniger würde das gleichzeitige Vorhandensein von Zucker, Milchsäure und Buttersäure in den Muskeln in sichtlichen Causalzusammenhang gebracht. Gleichwohl möchte ich ausdrücklich hervorheben, dass nichts berechtigt, diese Zerspaltung gerade als die vorhandene anzusehen.

Die Erhöhung der Gasänderungen, welche auch bei der zweiten Durchleitung von Normalblut noch in gleichem Sinne vorhanden ist, weist wohl darauf hin, dass während der Durchleitung des Milchsäureblutes eine gewisse Menge von dem milchsauren Natron in das Gewebe diffundirte und hier erst allmählig einer vollständigen Zerspaltung erlag. Sie zeigte sich auch in den Versuchen des Herrn *Scheremetjewski*.

Wenn auch die Zahl der angestellten Versuche mit Milchsäure eine sehr geringe ist, so ist ihr Resultat doch ein so evidentes, dass der Schluss auf die Natur der energischen Oxydationsvorgänge in den Geweben des Organismus als eines Zerspaltungsprocesses gestattet sein dürfte.¹⁾ Bei diesen Vorgängen sahen wir aber oben immer mehr O verschwinden als CO₂ erscheinen, eine Beobachtung, die freilich kein Widerspruch zu dieser Annahme ist, sondern nur auf einer vorzugsweise anderen Natur der sich zerspaltenden Körper beruhen mag. Ja man

1) Vergl. *Ludwig*, *Physiol.* II, 474. 472. 473.

könnte umgekehrt gerade das beim Muskel beobachtete entgegengesetzte Verhalten des genannten Quotienten als eine Bestätigung der Ansicht ansehen: hier ist der Zucker vorzugsweise angehäuft; schon Herr *Ludwig* weist in seiner Abhandlung über die Versuche des Herrn *Scheremetjewski* darauf hin, dass er höchst wahrscheinlich unter dem Einfluss des Muskelgewebes erst in Milchsäure zerlegt werden müsse, ehe eine weitere Zerlegung erfolge. Also müsste im Muskel vorzugsweise Milchsäure zur Zerspaltung kommen und die Umkehrung des $\frac{O}{CO_2}$

war zu erwarten. Im lebenden Organismus kommt der die Leistungsfähigkeit bedingende Vorgang übercompensirend hinzu.

Nach alle dem hat man sich einen Theil der unter dem Einflusse der Gewebe vor sich gehenden molecularen Umsetzungen als eine Zerspaltung zu denken, bei der eine zu der CO_2 -Bildung relativ variable O-Menge verbraucht wird. Ein Product dieser Zerspaltung wird immer eine einfachere, aber eigenthümliche neue Verbindung sein. Im *status nascens* dieser Moleculargruppe mag den noch nicht verbrauchten O-Moleculen Gelegenheit gegeben sein, sich eines Theiles derselben zu bemächtigen und so eine vollständige Verbrennung einzuleiten. Dies würde die Variation des Verhältnisses des O-Verbrauches zur CO_2 -Bildung in demselben Blute erklären. Es ist klar, dass 1) mit dem grösseren O-Gehalt des Blutes diese Verbrennung umfangreicher und daher diese Aenderung grösser werden muss, und dass 2) mit der Stromgeschwindigkeit die noch vorhandene O-Menge wächst. Darauf dürfte das oben

hervorgehobene Wachsen des Quotienten $\frac{O}{CO_2}$ mit der Stromgeschwindigkeit hinauslaufen.

Ein anderer Theil der durch die Gewebe angeregten molecularen Umsetzungen ist aber eine katalytische Zerspaltung ohne allen weiteren O-Verbrauch. Dies geht hervor aus der von den Herren *Ludwig* und *Schmidt* beobachteten CO_2 -Bildung im Erstickungsblut, das durch den Muskel geleitet wird. In der Niere ist zwar diese CO_2 -Bildung nicht nachgewiesen. Dafür hat Herr *Schmidt* hier die Bildung von Stoffen dargethan, welche den locker gebundenen O zu fixiren vermögen. Diese Stoffe dürften die bei der Zerspaltung sich bildenden neuen Verbindungen sein.

Geht man umgekehrt von den Erscheinungen dieser molecularen Umsetzungen im Gasgehalte des Blutes aus, so muss man sagen: Der O-Verbrauch kann immer nur auf eine gewisse Gruppe moleculärer Umsetzungen bezogen werden, bei der CO₂-Bildung kommen aber immer die beiden, wo die Zerspaltung unter oder ohne Gegenwart von O möglich ist, in Betracht. Je nach dem Gehalte des Blutes und Gewebes an der ersten Gruppe wird der O-Verbrauch sich gestalten, je nach ihrem Gehalt an der ersten und zweiten die CO₂-Bildung.

Nun hat sich bei der Lunge das Verhältniss des verbrauchten O durch die gebildete CO₂ als > 1 herausgestellt. Andererseits hat die Lunge die Fähigkeit, Gruppen zu zerlegen, wo mehr CO₂ gebildet als O verbraucht wird, dies geht aus den Milchsäureversuchen hervor. Daraus folgt, dass im defibrinirten Blute Moleculargruppen, die ohne Gegenwart von O zerspalten werden, in erheblichem Maasse nicht vorkommen. Wenn daher im Muskel mehr CO₂ gebildet als O verbraucht wird, so müssen diese Stoffe, die vorzugsweise CO₂ liefern, bei geringer O-Verzehrung eben im Muskel vorhanden sein oder erst gebildet werden; der Muskel versieht hier die Rolle, die oben der Experimentator im Zusetzen von Milchsäure spielt. Dies weist von Neuem auf die dem Muskel eigenthümliche Kraft, den Zucker zu zerlegen.

Hinsichtlich ihrer Bedeutung für den Organismus zerfallen die charakterisirten Vorgänge in drei Gruppen: 1) moleculare Umsetzungen, die zu den Lebenseigenschaften der Gewebe nichts beitragen: 2) solche, welche für die Erhaltung der Lebenseigenschaften dienen, 3) solche, welche die Function des Organes vermitteln.

Der Gasaustausch des Blutes, das ein Gewebe durchströmt, ist also 1) im functionirenden Organe die Resultante aller drei, 2) im nicht functionirenden, aber lebenden Organe die Resultante der zwei ersten Vorgänge. Sollte sich, anschliessend an die Beobachtung, dass ein Theil der Processe nichts zu den Lebenseigenschaften beiträgt, die weitere Frage: sind die Lebenseigenschaften die nothwendige Bedingung für das Zustandekommen dieser Zerspaltungen? verneinen, so wäre 3) der Gaswechsel im todten aber nicht faulenden Organe das Product der ersten Umsetzungen allein.

Die erste Gattung von Zerspaltungen nimmt eine neue und

fundamentale Stellung ein im ganzen Organismus. Ihre Wichtigkeit liegt in ihrer Abhängigkeit von der Stromgeschwindigkeit: dadurch werden sie recht eigentlich ein Selbstregulator für die Intensität des ganzen grossen Zerlegungsprocesses. Denn die Stromgeschwindigkeit bestimmt sich ja selber durch das Bedürfniss nach solchen Zerlegungen.

Da bei der Lunge die zweite Art von Vorgängen vermuthlich keine grosse Intensität erlangt, so mag der nachgewiesene Gaswechsel als vorzugsweise von der ersten Art von Vorgängen herrührend angesehen werden. Es bleibt durch genaue Vergleichung am lebenden und toten Organe der Gaswechsel, der durch die Lebenseigenschaften bedingt ist, festzustellen. Die dritte Reihe von Processen setzte eine Betheiligung des Lungengewebes an der Athmung nach Art einer Drüse voraus — eine Frage, die selber erst ihre Erledigung finden muss.

II. Ueber die äussere Athmung in der Lunge.

Die molecularen Umsetzungen, welche beim Durchströmen des Blutes in der nicht respirirenden Lunge stattfinden, müssen auch in der respirirenden erfolgen. Dort bedingen sie eine Aenderung des Gasgehaltes des Blutes, hier müssen sie die Ausscheidung der Gase mit bestimmen. Geht man also umgekehrt von den Endproducten dieser Ausscheidung aus, so sind sie immer aufzufassen als das combinirte Resultat der Ausscheidung, die ohne jene Processe stattgefunden hätte, und des Gaswechsels, der durch dieselben bedingt ist. Und fragt man sich weiter, ist das Lungengewebe am Athmungsprocesse betheiligt, so muss die Antwort bejahend ausfallen.

In der That, denken wir uns das venöse Blut strömen auf der einen Seite durch einen überall begrenzten, dem Lungenraume gleichen Luftraum, auf der andern Seite durch eine mit atmosphärischer Luft gefüllte, aber von der äussern Luft abgeschlossene Lunge. Im ersten wird es so lange CO_2 abgeben, bis das Verhältniss der CO_2 -Menge ausserhalb des Blutes zu derjenigen in ihm ein bestimmtes geworden ist; es wird ebenso O aufnehmen, bis ein analoges Verhältniss eingetreten ist. Die absoluten Mengen hängen, da der Raum unveränderlich sein soll, nur noch von den Eigenschaften des Blutes ab. In der Lunge aber sind diese absoluten Mengen durch die Eigen-

schaften des Blutes und die der Lunge bestimmt und das angedeutete Verhältniss mag zwar für die CO_2 nahe das nämliche sein wie beim Luftraume, für die O-Aufnahme, die keinen Diffusionsgesetzen folgt, muss es ein anderes werden. Die neugebildete CO_2 vermehrt die anfängliche Spannung der CO_2 des Blutes, es muss daher mehr abgeschieden werden, aller für die Oxydationen verbrauchte O trägt nichts zur Sättigung der Blutkörperchen bei, es muss daher eine ebenso grosse Menge O mehr aufgenommen werden. — Beide Modificationen sind Functionen der Stromgeschwindigkeit.

Aber die nachgewiesenen Zerspaltungen treten in eine nähere Beziehung zu der specielleren Frage, ob das Lungengewebe mit einer specifischen Fähigkeit die CO_2 ausscheide. Der überwiegende O-Verbrauch zeigt, dass bei denselben höher oxydirte Verbindungen zu Stande kommen. Wie nun, wenn dies Säuren wären, welche die Kohlensäure des Blutes aus ihren Verbindungen auszutreiben vermöchten?

Die Frage nach dem einer Drüse analogen, specifisch für die CO_2 -Ausscheidung eingerichteten Bau der Lungen hat von anderer Seite nicht weniger Wahrscheinlichkeit für sich. Dies gilt schon von dem seit *Darwin's* Lehre so lichtvollen Gesichtspuncte der Zweckmässigkeit, mehr aber von der Spannung der ausgeschiedenen CO_2 in der Lunge und der Schnelligkeit dieser Ausscheidung.

Das Maximum des CO_2 -Gehaltes der Alveolenluft nimmt man zu 7.57 an. Die im Peritonaeum in einem Luftraum sich ausscheidende CO_2 fiel in den Beobachtungen von Herrn *Sertoli*¹⁾ meist beträchtlich geringer aus. Die Secrete enthalten, wenn sie sauer sind, ebenfalls wenig CO_2 , nur bei alcalischer Reaction, wo der grösste Theil der CO_2 von Verbindungen chemisch angezogen wird, wird der Gehalt ein grosser; die Spannung der freien CO_2 ist aber auch in diesem Falle gering.²⁾

Die Diffusion erfolgt auch aus übersättigten Lösungen nur bei Bewegung und Reibung rasch.³⁾ Reibung ist nun allerdings im Gefässsysteme vorzugsweise gegeben: die Kleinheit der Lumina der Capillaren und die Suspension der Blutkörper-

1) *Sertoli*, *Hoppe-Seiler* med. chem. Unters. III, 350.

2) *Pflüger*, Gase der Secrete, *Archiv f. Phys.* II, 456.

3) *Schröter*, *Pogg. Ann.* 137. 76.

chen tragen in gleichem Maasse dazu bei und beiden Momenten mag auch in der That ein noch nicht genügend gewürdigter Einfluss auf die Diffusion der CO_2 zukommen. Aber auch in jenem Luftraume des Peritoneum erfolgte die Diffusion sehr langsam; ob der anatomische Bau der Lunge jene grosse Geschwindigkeit allein erklärt, bleibt eine willkürliche Frage.

Gleichwohl wollte es noch nicht gelingen, durch directe Beobachtung die CO_2 austreibende Eigenschaft der Lunge darzuthun. Zwar schienen die Versuche des Herrn *Holmgren* anfänglich zu ergeben, dass die CO_2 im Lungenraume eine grössere Spannung erreicht, als sie in einem Luftraume je erreichen kann; aber in späteren Versuchen erhob sich die Partialspannung im leeren Raume auf den Werth, den sie in der Lunge besitzt¹⁾

Ich habe daher eine neue Reihe von Versuchen zum Entscheide dieser Frage angestellt. Das Princip derselben liegt in der directen Vergleichung der CO_2 -Spannung, welche in der herausgeschnittenen Lunge und einem gegebenen Raume überhaupt erreichbar ist bei Durchleitung desselben venösen Blutes durch beide.

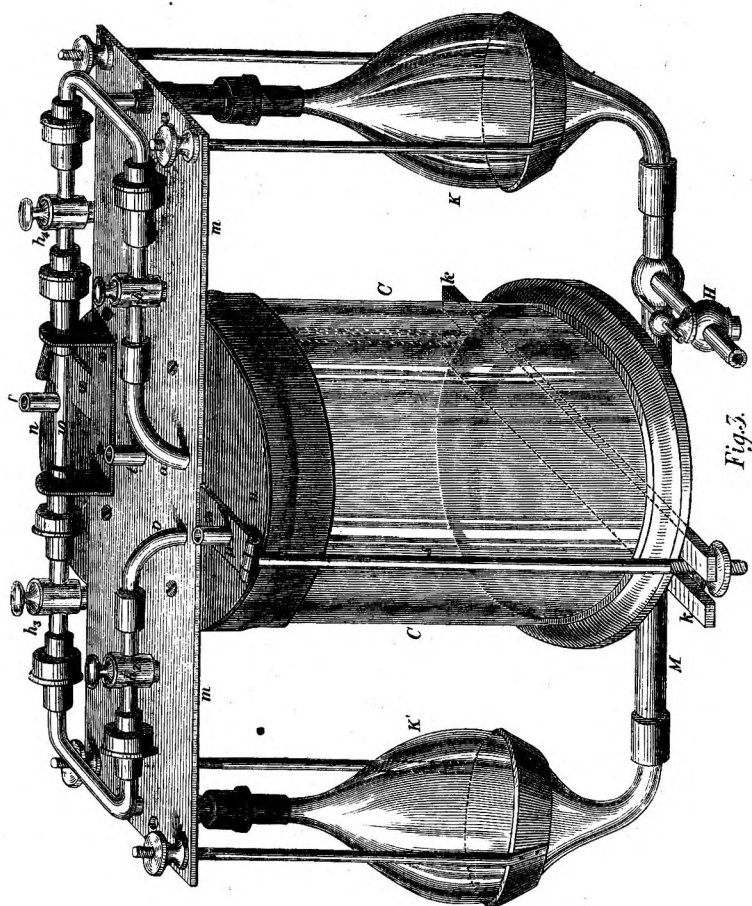
Um die Volumina der Gasräume unveränderlich zu haben, musste der Strombahn ein unveränderliches Volumen gegeben werden, was durch das *Regnault'sche* Princip, das auch Herr *Ludwig*²⁾ in seinem Respirationsapparate anwandte, möglich ist. Um die CO_2 -Spannung rein zu haben, musste eine O-Aufnahme und eine O-Abgabe vermieden sein. Jenes erreichte ich durch vielfach wiederholtes Füllen der Lunge mit N, dieses durch die Wahl von Erstickungsblut. Um endlich Temperaturgleichheit in beiden Räumen zu haben, wurde der gesamte Apparat in Wasser gestellt. Die Differenz der Spannungen wurde direct an einem Differentialmanometer abgelesen; hiezu musste ausser der Temperatur auch der anfängliche Druck in beiden Räumen derselbe sein. Den N-Raum wählte ich so klein, dass die zu seiner Sättigung nöthige CO_2 -Abgabe auf das Gesamtblut vertheilt, eine verschwindendkleine war, was eine sichtliche Vereinfachung des Versuches ist.

Der angewendete Apparat ist in Fig. 3 perspectivisch

1) *Ludwig*, Zusammenstellung der Unters. über Blutgase. 24.

2) Arbeiten II, 58.

und in Fig. 4 in einem durch die quere Symmetrielinie geführten Schnitte dargestellt. *C* ist ein starkes cylindrisches Glas, zur Aufnahme der Lunge bestimmt. Sein Verschluss



wird durch einen metallenen Deckel *n* gebildet, dessen Randvorsprung über das Glas hinunterragt und mit Hülfe eines Kautschukes, der durch Bindfaden an Deckel und Glas befestigt wird, einen luftdichten Abschluss gewährt. Der Deckel trägt

seitlich zwei in Charnieren bewegliche Stäbe *s*, welche ihn, unter *C* durch einen Horizontalstab *k* zusammengehalten, in feste Verbindung mit dem Glase bringen. Die Stäbe *s* tragen zwei horizontale, nur in Fig. 4 angedeutete Axen *l*, welche dem

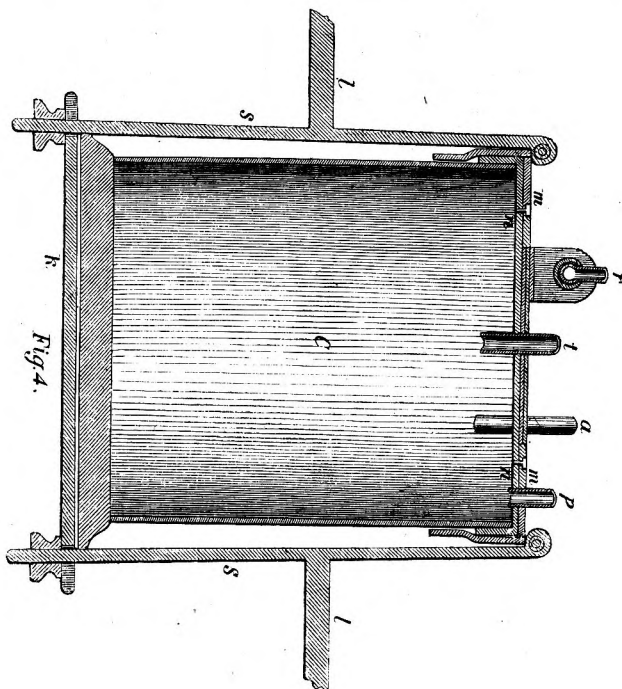


Fig. 4.

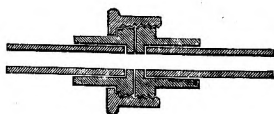


Fig. 5.

ganzen Apparate eine Drehung in einer verticalen Ebene gestatten. Die Befestigung der Lunge an dem Deckel wird ermöglicht durch eine Reihe ihn durchdringender Röhrchen, an welche Trachea und Gefäße angebunden werden. *t* bezeichnet das in die Trachea führende Röhrchen, *a* und *v* führen in

Arterie und linken Vorhof, *p* in den zwischen Lunge und Glas gebliebenen Raum.

Mit dem Deckel in fester Verbindung ist eine zweite metallene Platte *m*, welche den Durchleitungsapparat trägt. *K K'*, zwei birnförmige Glasgefäße werden in der aus der Fig. sofort ersichtlichen Weise von der Platte *m* gehalten. Sie sind unten durch eine metallene Röhre *M*, die nur einen Hahn *H* mit einem an ihm befestigten Kautschukrohr trägt, verbunden. Von ihren obern, die Platte *m* durchbohrenden Röhrenfortsätzen geht je ein gabelförmig sich theilendes Röhrensystem aus Glas aus, dessen eine auf derselben Seite gelegenen Zweige mittels der Glasröhre *w* in einander übergehen, während die anderen mit den metallenen Enden *a* und *v* umbiegen und den Deckel *n* durchdringen. Letztere führen in Lungenarterie und linken Vorhof; das Verbindungsstück *w* trägt ein seitliches Rohr *r*, das zu dem N-Raume führt. — In diese obere Leitung sind eine Reihe von Glashähnen *h*₁, *h*₂, *h*₃, *h*₄ eingefügt. Fig. 5 erläutert näher die Art, wie die luftdichte Vereinigung zweier Glasstücke erzielt ist. Die Enden der letzteren sind in zwei metallene, mit geschliffenen Rändern genau auf einander gepasste Hülsen eingekittet, die durch eine über sie gelegte Schraubenmutter zusammengehalten werden. Wo ein gläsernes Stück an ein metallenes grenzt, ist ersteres einfach in letzteres eingekittet. Immer aber ist sorgfältig darauf geachtet, dass das Lumen ein ganz stetiges ist. Die eine der Kugeln *K* ist mit *Hg*, die ganze übrige Röhrenleitung mit Blut gefüllt.

Mit *t* und *r* werden die beiden Schenkel des in Fig. 6 abgebildeten Differentialmanometers verbunden, *t* mit *t'*, *r'* mit *r*. Beide stehen unter sich durch eine Glasröhre, in die ein Hahn *d* eingeschaltet ist, in Verbindung. *r'* trägt ausserdem ein seitliches Glasröhrchen, ebenfalls mit Hahn (*g*). Alle Verbindungen

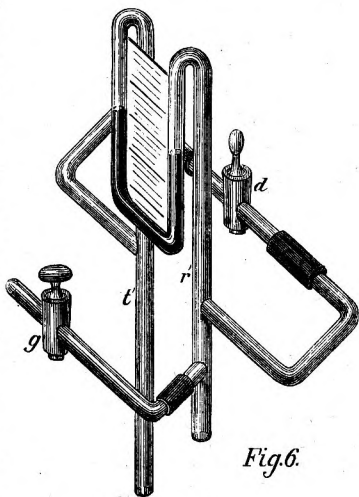


Fig. 6.

am Differentialmanometer sind durch Kautschuke mit darüber gelegten metallenen Hülsenstreifen vermittelt, die eine Ausdehnung jener verhindern. Der eine Schenkel r' des Manometers bildet zusammen mit der Röhre r den N-Raum, dessen CO_2 -Spannung mit der in der Lunge erreichten verglichen wird. Durch den Hahn d kann er mit dem Lungenraum in Verbindung gesetzt, oder davon abgeschlossen werden; der Hahn g führt zu einem Gasometer mit N . Mittelst der Axen l ruht der ganze Apparat auf einem hölzernen Lager in einem grossen cylindrischen Glasgefässe. Wenn ihm daher jetzt durch Schnüre, welche durch 2 Löcher in der Platte m gezogen sind, eine passende Drehung ertheilt wird, so kann leicht der Druck erzeugt werden, der zur Ueberführung des Blutes in die eine oder die andere Kugel K nöthig ist. Durch passendes Oeffnen der Hähne h_1 — h_4 kann die Durchleitung das eine Mal durch die Lunge das andere Mal durch die seitliche Bahn h_3 h_4 geschehen. Ist beispielsweise das Blut in K' , so wird man es durch die Bahn h_3 h_4 nach K und durch die Lunge nach K' zurückleiten.

Eine Veränderlichkeit der Strombahn ist offenbar nicht möglich, da alle Verbindungen starr sind. Die Kautschukverbindungen mit Metallhülsen am Manometer sichern ebenfalls eine hinreichende Unveränderlichkeit des Volumens der Gasräume. Damit der Apparat allen Forderungen genüge, mussten daher nur noch folgende Punkte geprüft werden:

1) die Luftdichte der Strombahn. Die Controle war leicht durch Einstellen des Apparates in Wasser und Einblasen in das Ansatzrohr r bei Verschluss von a und v und von H auszuführen. Durch Einfügen von Fett und Lakiren der Verbindungsstellen konnte ein luftdichter Verschluss strengte erzielt werden.

2) die Möglichkeit, die Luftblasen aus der Strombahn fortzuschaffen. Dies erwies sich dadurch erreichbar, dass der Apparat nach einer Seite stark geneigt und dann unter sehr hohem Drucke und mit einer grossen Geschwindigkeit ein kleiner Theil des Inhaltes (Blut oder Quecksilber) herausgetrieben wurde. Doch stellte sich auch dann noch in einigen Versuchen schliesslich auf der einen Seite ein Luftbläschen ein, das aber wegen seiner Kleinheit nicht störend wirken konnte.

3) die Luftdichte des cylindrischen Glases C . Sie war

durch sorgfältiges festes Anlegen von Bindfaden in wiederholten Touren um den Kautschuk vollkommen erreichbar.

Der etwas verwickelte Versuch erfordert die Beobachtung einer Reihe von Cautelen und mag daher etwas eingehender dargelegt werden.

Zunächst wird der ganze Apparat mit *Hg* gefüllt und in angedeuteter Weise von Luftblasen freigemacht. Dann führt man das in üblicher Weise von einem Hunde gewonnene defibrinirte Erstickungsblut mit denselben Vorrichtungen, die schon Herr *Schmidt* beschreibt, ¹⁾ durch das Rohr *r*, während durch das an *H* angefügte Kautschukrohr *Hg* ausfließt, ein bis zur Füllung beider Kugeln *K*. Nochmals werden etwa vorhandene Luftbläschen sorgfältig entfernt.

Nun werden nach Verblutung des Hundes, der sich unterdessen wieder etwas erholt hatte, die Lungen herausgeschnitten, Trachea, Arterie und Vorhof wie in den früheren Versuchen isolirt, mit Canülen versehen und mit Hülfe dieser an die Röhrchen *t*, *a* und *v* des Deckels *n* angebunden. Das letztere muss mit besonderer Sorgfalt geschehen. Nach der Einbindung der Trachea wird die arterielle Canüle mit Blut gefüllt, und andererseits durch *a* eine gewisse Quantität Blut herausgetrieben; jetzt erst kann die Vereinigung dieser Stücke erfolgen. An sie reiht sich die Durchleitung einer beträchtlichen Quantität Blut durch die Lungen, bis alle Luft aus den Venen vertrieben ist, der Ausfluss einer geringen Menge Blutes aus *v* und endlich die Vereinigung der venösen Canüle mit *v*. Diese vorläufige Blutdurchleitung geschieht wie das Ausfließen aus *a* und *v* in's Freie unter Eingiessen von *Hg* in den erhöhten, bis jetzt immer gefüllt gebliebenen Kautschuk an *H*.

Jetzt erfolgt die luftdichte Einsetzung des Gefäßes *C* und des Differentialmanometers. Vor dem letzteren ist in *r* das Niveau des Blutes genau auf die horizontale Strombahn reducirt worden. Sind noch an *p* und *g* längere Kautschuke angefügt, so kann der Apparat nun in das Wassergefäß bis zum vollständigen Eintauchen des Manometers eingesetzt werden. Durch Verbindung der genannten Kautschuke mit dem N-Gasometer wird abwechselnd der Lungenraum mit dem Manometer und der Raum zwischen Lunge und Glas wiederholt mit reinem N

1) Arbeiten II, 32. 402.

gefüllt und entleert. Bei aufgeblasener Lunge, wo ihre pleurale Fläche die innere Glaswand berührt, wird schliesslich, nachdem der Hahn *g* geschlossen, die Gleichheit der Niveaux in dem Manometer rasch controlirt, *d* ebenfalls geschlossen und gleichzeitig das an *p* gefügte Kautschukrohr möglichst nahe an *p* abgeklemt.

Die Durchleitung ist jetzt vorbereitet. Durch das vorläufige Austreiben des Blutes ist die der Arterie entsprechende Kugel *K* fast ganz mit *Hg* gefüllt worden, während die andere noch voll Blut ist. Dem entsprechend wird jetzt das Blut zuerst durch die seitliche Bahn, wo es also an dem N-Raume *r* vorbeistreicht, in die arterielle Kugel hinübergeführt. Aus der letzteren strömt es dann nach gewendeter Lage des Apparates durch die Lunge, um jetzt den Kreislauf zu wiederholen.

Es ist bemerkenswerth, dass jetzt, dem ausgedehnten Zustande der Lunge entsprechend, eine auch geringe Geschwindigkeit einen viel grösseren Druck erfordert als in den früheren Durchleitungen bei vollkommen zusammengefallener Lunge.¹⁾ Uebrigens zeigte sich auch hier dasselbe Steigen bei wachsender Versuchsdauer. Anfangs war der Druck 30—40 Mm., bei einer wiederholten Beobachtung stieg er auf 60—80 Mm. Während der oft wiederholten Durchleitung trat kein Tropfen Blut aus den Gefässen. Die Lunge hatte, was aus ihrer Berührung mit dem Glasgefässe erkannt wurde, ihr Volumen unverändert beibehalten. Nach dem Versuche contrahirte sich stets die Lunge in Eiswasser. — Ich bemerke, dass vor der schliesslichen Ablesung das Blut immer vielfach wiederholt nacheinander durch die Nebenleitung am N-Raume *r* vorbeigeleitet wurde, ohne dass eine Aenderung im Manometerstande eintrat.

Das Resultat des Versuches war stets eine Differenz des Druckes zu Gunsten der Lunge. Der absolute Werth derselben schwankte übrigens beträchtlich, in 5 Bestimmungen an drei verschiedenen Lungen von 4—30 Mm. *Hg*. Die Differenz erreichte Anfangs ziemlich rasch eine gewisse Grösse, um später nur wenig und langsam über diesen Werth zu steigen.

1) Ein analoges Resultat hatte sich auch bei einem der ersten vorläufigen Versuche gezeigt. Wurde die Lunge abwechselnd in Inspirations- und Expirationsstellung gebracht, der Druck aber unverändert gelassen, so wurde die Stromgeschwindigkeit dort langsamer hier schneller.

Es war von Interesse zu sehen, wie diese Differenz von der Zeit abhängt, während welcher die Lunge aus dem Organismus herausgeschnitten war. Deshalb wurde nach der ersten Ablesung von Neuem jenes abwechselnde Füllen und Entleeren der Lunge mit *N* vorgenommen und die Beobachtung in entsprechender Weise wiederholt. Die Differenz trat auch jetzt in gleichem Sinne ein, erreichte aber nicht mehr den ursprünglichen Werth. War beispielsweise die Differenz bei der ersten Ablesung 7 Mm., so betrug sie bei der zweiten nur 4 Mm.

Das beträchtliche Schwanken der beobachteten Druckdifferenzen mag ausser in den Eigenthümlichkeiten der Lungen und des Blutes noch darin seinen Grund haben, dass der Raum zwischen Glas und Lunge nicht immer verschwindend klein war und das angewandte Wasser nicht genau die Zimmertemperatur hatte. Zwar wird der eingeführte *N* in der Lunge und im *N*-Raume immer mit gleicher Temperatur ankommen und eine Aenderung dieser könnte, da sie sich auf beide gleichmässig erstreckt, keinen Einfluss haben. Allein es kommt die Aenderung der Temperatur des *N*-Gases in der Pleurahöhle in Betracht, wo der Druck des Gases kleiner ist als in der Lunge und daher eine geringere Aenderung erfährt. In den beiden extremen Fällen der obigen Werthe lag nun in der That die Lunge nicht am Glase an.

Beachtet man, was ich nochmals hervorheben will, dass in den Versuchen nicht die Geschwindigkeit der CO_2 -Ausscheidung, sondern die durch den Austritt überhaupt erreichbare CO_2 -Spannung bestimmt wurde, so ist eine wesentliche Betheiligung des Lungengewebes an der Ausscheidung der CO_2 als direct erwiesen anzusehen.

Nun stellte sich oben diese Betheiligung von zwei Gesichtspuncten aus dar: es tritt in der Lunge eine CO_2 -Bildung auf, und es erwies sich die Existenz eines CO_2 -austreibenden Körpers als wahrscheinlich. Daher entspringt jetzt die Frage. rührt die beobachtete Druckdifferenz nur etwa von dem Mehrgehalt des Blutes in der Lunge an CO_2 her, oder ist sie die Wirkung eines die CO_2 austreibenden Körpers? Es ist klar, dass nur dann, wenn die Differenz nachweisbar grösser erscheint als sie im ersten Falle sein müsste, die Existenz eines solchen Körpers und damit der specifische Bau der Lungen nachgewiesen ist.

Wäre nur jene CO_2 -Bildung in der Lunge vorhanden, so müsste die Druckdifferenz zunächst schon deshalb sehr klein werden, weil das mit dem grösseren CO_2 -Gehalt aus der Lunge strömende Blut ja wieder durch den N-Raum geleitet wird. Ausserdem ist bei der Anwendung von Erstickungsblut eine nur beschränkte CO_2 -Bildung möglich. Aber auch wenn man eine beträchtliche CO_2 -Bildung und ihre vollständige Ausscheidung in der Lunge zugibt, so ergibt bei wahrscheinlichen Annahmen über den Inhalt des Lungenraumes die Rechnung doch eine für jene Druckdifferenz nicht hinreichende CO_2 -Menge.

Hienach ist in der That die Lunge für die Austreibung der CO_2 specifisch eingerichtet. Nimmt man die in der Lunge ausgeschiedene CO_2 -Menge zu 40% an, so würde beispielsweise bei der beobachteten Differenz von 26 Mm. der Mehraustritt in der Lunge ca. $\frac{1}{3}$ des eigenen Werthes betragen. Unzweifelhaft ist diese Grösse eine Function der Temperatur.

Ob die die CO_2 austreibende Substanz wirklich ein bei den nachgewiesenen Zerspaltungen auftretender Körper sei, bleibt unentschieden; ebenso, ob ihre Bildung der Lunge eigenthümlich ist oder ob sie den Geweben überhaupt zukommt. Dürfte die erste Frage bejaht werden, so wäre zu erwarten, dass die Substanz in O-reichem Blute viel mächtiger gebildet und darum das Mehr der CO_2 -Ausscheidung viel grösser werde. Dann müsste auch die Menge jenes Körpers von der Geschwindigkeit des Blutstromes abhängen, womit die Regulirung der Athmung durch die Stromgeschwindigkeit in ein neues Licht treten würde.
