

Sollen wir diese Einrichtung in den Glomerulis vermuthen? Gerade beim Stauungsharn, wo man jetzt am meisten geneigt sein dürfte die Glomeruli allein für die Transsudation des Eiweisses verantwortlich zu machen, scheinen die Verhältnisse denen bei Transsudatbildung in der Bauchhöhle am ähnlichsten zu werden. Ich glaube daher nicht zu weiteren Schlüssen berechtigt zu sein, hier muss das Experiment eingreifen. Für die Nephritis acuta und chronica ist aber der Satz aufzustellen, dass bei leichteren Läsionen der Vorgang in seinen Resultaten dem der gewöhnlichen Diffusion durch Pergamentpapier nahesteht, je tiefer die Läsion der Nieren wird, um so ähnlicher wird er demjenigen, welchen wir bei der Bildung der Ascitesflüssigkeiten anzunehmen haben.

XVI.

Ueber den Einfluss mässiger Sauerstoffverarmung der Einathmungsluft auf den Sauerstoffverbrauch der Warmblüter.

Von Dr. G. Kempner, pract. Arzt in Berlin.

Als im Jahre 1849 Regnault und Reiset es unternahmen mit neuen Methoden der Forschung und neu construirten Apparaten an die Beantwortung einer Anzahl von Fragen aus der Physiologie der Respiration heranzutreten, so schenken sie auch dem Einfluss des Sauerstoffgehalts der Inspirationsluft auf den Sauerstoffverbrauch des thierischen Organismus ihre Beachtung. Wie in so vielen Punkten jene wahrhaft classischen Arbeiten noch heute maassgebend für unsere physiologischen Anschauungen sind, so wird auch noch heute als das „Regnault'sche Gesetz“ die Lehre citirt, dass der Partiardruck des Sauerstoffs in der Inspirationsluft für den Sauerstoffverbrauch des Thieres „innerhalb weiter Grenzen“ gleichgiltig sei. Dieser Satz scheint auch auf das Schönste zu harmoniren mit der so wohlbegründeten Lehre von der chemischen Bindung des Sauerstoffs im Blute, und es ist daher nicht zu verwundern, dass er im Kreise der Physiologen die allgemeinste Anerkennung ge-

funden hat. Alle die zahllosen Respirationsversuche, die nachher gemacht worden sind, beschäftigen sich vorzugsweise mit der Kohlensäure; die Bildung und Ausscheidung der Kohlensäure unter den verschiedensten normalen und abnormen Bedingungen ist vielfach auf das Sorgfältigste untersucht worden; die Frage des Sauerstoffverbrauches dagegen haben fast alle Forscher stiefmütterlich behandelt. Das hat einen doppelten Grund; einerseits bestand die heute wohl allgemein verlassene theoretische Anschauung, dass gerade die Kohlensäurebildung einen Maassstab für das Ganze des respiratorischen Gaswechsels darbiete, andererseits waren die Methoden zur Bestimmung der Kohlensäure weit einfacher und den Physiologen geläufiger als die bisher meist üblichen Methoden der Sauerstoffbestimmung. So kommt es, dass über das hier zu behandelnde Thema bisher in der Literatur sehr wenig Material vorliegt. Ja selbst die grosse Arbeit von Regnault und Reiset berührt diese Frage eigentlich nicht. Der oben angeführte Satz ist nemlich von jenen Forschern nur auf Grund von Versuchen aufgestellt worden, in welchen die Thiere eine abnorm sauerstoffreiche Luft athmeten. Sie konnten daher nur behaupten, dass ein höherer Procentgehalt an Sauerstoff als der in der atmosphärischen Luft vorhandene den Sauerstoffverbrauch nicht beeinflusse. Daraus geht aber durchaus noch nicht mit Nothwendigkeit hervor, dass auch bei mässiger Sauerstoffverarmung der Luft die Sauerstoffaufnahme unverändert bleibt. Denn man kann sich sehr wohl denken, dass bei dem Sauerstoffgehalt, der in der atmosphärischen Luft gegeben ist, ein durch Anpassung festgestelltes Optimum liegt; dass die Atmosphäre, in welcher die Thiere leben, eben die Zusammensetzung zeigt, bei der eine vollkommene Deckung ihres Sauerstoffbedarfs durch die normale Athmung erfolgen kann. Eine Vermehrung dieses Sauerstoffgehalts könnte dann natürlich keine Vermehrung der Sauerstoffaufnahme zur Folge haben, eine Verminderung desselben aber selbst im mässigsten Grade müsste eine Herabsetzung des Verbrauchs verursachen. Trotz dieser Bedenken ist gerade auf Grund der Arbeiten von Regnault und Reiset der Glaube an die Belanglosigkeit mässiger Sauerstoffverarmung der Luft entstanden, der auch in den neuesten Lehrbüchern und Handbüchern, soweit die Frage überhaupt berührt wird, seine Vertretung findet.

In W. Müller's berühmten „Beiträgen zur Theorie der Re-

spiration“¹⁾ finden sich einige Versuche, die hier erwähnt werden müssen. Müller suchte die Frage zu entscheiden, bis wie weit der Sauerstoffgehalt der Luft herabgedrückt werden kann, ohne das Leben zu gefährden. Aus den zu diesem Zwecke angestellten Versuchen schliesst er, dass ein merklicher Einfluss auf die Respiration erst eintritt, wenn der Sauerstoffgehalt auf ein Drittel des normalen gesunken ist. Müller hat die verbrauchte Sauerstoffmenge nicht gemessen, sondern einen Einfluss auf die Respiration erst angenommen, wenn er das Auftreten von Dyspnoe constatiren konnte. Bei den von ihm gewählten Versuchsbedingungen konnte dieses Kriterium sehr leicht irreführen; da ferner seine Versuche sich auf eine Zeitdauer von höchstens 15 Minuten erstrecken, so konnte die uns beschäftigende Frage durch dieselben nicht als endgültig erledigt gelten.

Im Jahre 1865 unternahm Dohmen unter Pflüger's Leitung eine Untersuchung „über den Einfluss, den die Blutgase auf die Athembewegung ausüben“²⁾. Er fand innerhalb der Grenzen von 750—120 mm Druck nur eine sehr geringe Beeinflussung der Athemmechanik, die aber in dem Sinne wirkt, als ob die grössere Dichte des Sauerstoffs seine Aufnahme begünstige. Erst gegen den Partiardruck von 75 mm (entsprechend einem Sauerstoffgehalt von 10,5 pCt.) tritt eine bedeutende Steigerung der Athembewegungen ein, und das Blut bekommt nur schwer den nöthigen Sauerstoff. Bei 37 mm (= 5 pCt. O) ist die Athmung anfangs verstärkt, sinkt aber bald, und das Thier geht zu Grunde. Pflüger³⁾ sieht in der Mechanik der Athembewegungen das feinste Reagens auf den Gasgehalt des Blutes. Es scheint ihm daher unbedenklich anzunehmen, wenn der Partiardruck des Sauerstoffs plötzlich sinkt ohne dass eine Aenderung in dem Modus der Respiration eintritt, dass auch im Gasgehalt des Blutes eine Aenderung nicht eingetreten ist. Pflüger sieht es für sicher an, dass die Aufnahme der nothwendigen Sauerstoffmenge in das Blut „innerhalb weiter Grenzen“ von dem Partiardruck unabhängig ist. Den Grund für diese Unabhängigkeit sieht Pflüger nicht, wie L. Meyer, in der chemischen Bindung des Sauerstoffs durch das Hämoglobin, sondern in dem

¹⁾ Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. 108.

²⁾ Untersuchungen aus dem physiol. Laborat. zu Bonn. 1865.

³⁾ Pflüger, Ueber die Diffusion des Sauerstoffs, den Ort und die Gesetze der Oxydationsprozesse im thierischen Organismus. Pflüger's Archiv Bd. VI. S. 58.

„dynamischen Gleichgewicht der Organe“. Das Bestimmende für den Sauerstoffverbrauch ist ihm nicht der Sauerstoffgehalt des Blutes, nicht das Verhalten der Respiration und Circulation, sondern nur der Sauerstoffbedarf der Gewebszelle. Wenn diese mehr Sauerstoff braucht, also den Sauerstoffdruck in sich herabsetzt, so ist das ein gewaltiger Anstoss für die Diffusion in den Lungen, und dass diese nur minimaler Kräfte bedarf ist gerade in dem citirten Aufsatz nachgewiesen. Dieser Anschauung gemäss könnte also eine Herabsetzung des Sauerstoffverbrauchs nur dann erfolgen, wenn alle etwa zur Ausgleichung dienenden Vorrichtungen des Organismus in ihrer Leistungsfähigkeit erschöpft sind.

Paul Bert berichtet über zwei Versuche, durch welche er die Identität der Wirkungen des Sauerstoffmangels und der mechanischen Luftverdünnung darzuthun suchte¹⁾, und welche für die vorliegende Frage von Interesse sind. Er liess zwei Hunde durch Kalilaugenventile Luft aus einem Kautschucksack von 130—150 Liter Inhalt athmen; während nun die Thiere eine durch ihre Athmung mehr und mehr an Sauerstoff verarmende Luft athmeten, bestimmte er an von Zeit zu Zeit entnommenen Proben den Gasgehalt des Blutes. Aus den mitgetheilten Zahlen ergibt sich, dass schon nach einer halben Stunde, bei einem Sauerstoffgehalt der Luft von 18,1 pCt. der Sauerstoffgehalt des Blutes um 2 pCt. niedriger ist als bei Beginn des Versuches; mit dem weiteren Sinken des Sauerstoffgehalts der Luft sinkt auch der Sauerstoffgehalt des Blutes. Berechnet man auf Grund der angeführten Werthe die absolute Grösse der Sauerstoffaufnahme während der ersten Perioden des Versuches, so ergibt sich, dass dieselbe bei Einathmung der nur mässig sauerstoffarmen Luft schon recht beträchtlich herabgesetzt ist.

Speck²⁾ führt in seinen Untersuchungen über die Wirkungen des veränderten Luftdrucks auf den Athmeprozess eine Reihe von Versuchen an, die er über die Sauerstoffaufnahme bei Einathmung einer Luft mit wechselndem Sauerstoffgehalt angestellt hat. Nach den Ergebnissen derselben spricht er den Satz aus, dass die Sauerstoffaufnahme den Gesetzen der Gasdiffusion unterworfen ist, und dass die Sauerstoffabsorption durch das Blut je nach dem Partiär-

¹⁾ P. Bert, *La pression barométrique*. Paris 1878. p. 671.

²⁾ Speck, *Kritische und experimentelle Untersuchungen über die Wirkung des veränderten Luftdrucks auf den Athmeprozess*. Cassel 1878.

druck des Sauerstoffs in der eingeathmeten Luft innerhalb viel weiterer Grenzen schwankt, als man bisher annahm. In der That variiren die von ihm gefundenen Werthe von einer Sauerstoffaufnahme von 2,06 pCt. bei 9,16 pCt. Sauerstoffgehalt der Inspirationsluft bis zu einer Aufnahme von 5,17 pCt. bei einem Sauerstoffgehalt von 63,48 pCt. Die Erklärung dieser Differenzen sieht Speck in Verschiedenheiten der Menge des im Plasma absorbirt enthaltenen Sauerstoffs.

Friedländer und Herter¹⁾ haben bei ihren Versuchen über die Einwirkung des Sauerstoffmangels beim Kaninchen eine constante Herabsetzung der procentischen Abnahme des Sauerstoffs in der Expirationsluft gegenüber dem Sauerstoffgehalt der Inspirationsluft gefunden. Bei mässiger Sauerstoffverarmung (12,7 pCt.) fanden sie aber diese procentische Herabminderung compensirt durch eine entsprechende Vermehrung der Athemgrösse, so dass sie in der Zeiteinheit keine Verringerung der Sauerstoffaufnahme constatiren konnten. Ihre Versuche währten höchstens 21 Minuten und wurden an tracheotomirten Thieren angestellt.

Aus dieser kurzen Uebersicht der vorhandenen Literatur ist ersichtlich, dass über die Sauerstoffaufnahme bei Einathmung einer sauerstoffarmen Luft bisher überhaupt wenig Untersuchungen existiren, und dass zwischen den Forschern, welche diese Frage bisher meist nur im Vorübergehen gestreift haben, eine Uebereinstimmung nicht existirt. Es erschien mir daher von Interesse dieses in practischer wie theoretischer Hinsicht interessante Thema einer genaueren Bearbeitung zu unterziehen. Ich begann mit Untersuchungen am Menschen. Die Unzulänglichkeit der mir zu Gebote stehenden Apparate gestattete mir nicht, am Menschen länger dauernde Versuche anzustellen. Ich musste mich begnügen durch eine grosse Anzahl von Versuchen festzustellen, dass für die Dauer von 80 Secunden die Sauerstoffaufnahme sich entschieden abhängig vom Partiardruck des Sauerstoffs in der Einathmungsluft erwies²⁾. Ob bei längerer Dauer der Versuche diese Wirkung anhalten, oder ob eine Ausgleichung zu Stande kommen würde, konnte ich nicht entscheiden. Ein fernerer Uebelstand bei jenen Versuchen war es,

¹⁾ Friedländer und Herter, Ueber die Wirkung des Sauerstoffmangels auf den thierischen Organismus. Zeitschr. f. physiol. Chemie. III. 19.

²⁾ Kempner, Ueber den Sauerstoffverbrauch des Menschen bei Einathmung sauerstoffarmer Luft. Zeitschr. f. klin. Medic. IV. 3.

dass bei der relativ geringen Gesamtmenge der zur Untersuchung gelangenden Expirationsluft (ca. 17500 ccm) die bei Beginn des Versuches in den Lungen vorhandene Residualluft für diejenigen Resultate, die nur eine geringe Abweichung von der Norm zeigten, eine Fehlerquelle abgeben und in der Deutung der Befunde irrführen konnte.

Um diese noch bestehenden Zweifel zu zerstreuen, habe ich nun eine Reihe von Untersuchungen angestellt, über welche ich im Folgenden berichten will. Mein Versuchsplan ging dahin, kleine Thiere in einem abgeschlossenen Luftraume, dessen Kohlensäure continuirlich absorhirt und dessen Sauerstoffgehalt während der Dauer eines jeden Versuches constant gehalten wurde, längere Zeit athmen zu lassen, und durch directe Messung des in der Zeiteinheit verbrauchten Sauerstoffquantums festzustellen, ob dasselbe geringer ist, wenn sich das Thier in sauerstoffarmer Luft, als wenn es sich in normaler Luft befindet. Der von mir benutzte Apparat beruhte auf den von Regnault und Reiset angegebenen Principien. Der Raum, in welchem das Thier sitzt, wird gebildet durch eine Glasglocke von ca. 7 Litern Inhalt, welche durch sorgfältiges Einfetten und Aufbinden luftdicht auf einer in einen Holzrahmen eingekitteten, durchbohrten, geschliffenen Glasplatte befestigt ist. Durch diese Durchbohrung führt ein luftdicht eingefügtes Messingrohr in das Innere der Glocke. Dieses Rohr steht in Verbindung mit dem Kohlensäureabsorptionsapparat. Derselbe besteht aus zwei mit Kalilauge beschickten hydraulischen Ventilen, welche unter einander und — vermittelt eines durch den Gummistopfen, der die Glocke oben verschliesst, hindurchgeführten Glasrohres — mit dem geschlossenen Luftraume in Verbindung stehen. Auf diese Weise ist eine doppelte Verbindung zwischen dem Luftraum der Glocke und dem Kohlensäureabsorptionsapparat hergestellt. Die oben erwähnte Verbindung der beiden Ventile unter einander geschieht vermittelt eines Handgebläses, wie es beim Spray gebräuchlich ist. Dasselbe wird von einem assistirenden Diener in ziemlich schneller, gleichmässiger Folge comprimirt. Bei jeder Compression wird durch die Glasröhre im Gummistopfen ein Quantum Luft ausgesaugt, und zugleich ein ebenso grosses Quantum, das die Kalilaugenventile bereits passirt hat, durch die Durchbohrung der Glasplatte eingepresst. Wiederholte nach Bunsen'scher Methode angestellte Untersuchungen haben gezeigt, dass es auf diese Weise gelingt bei Versuchen von mehr

als einer Stunde Dauer die Luft vollkommen kohlenstofffrei zu erhalten. Da ich während der ganzen Dauer des Versuches einen constanten Sauerstoffgehalt der in der Glocke befindlichen Luft und normalen barometrischen Druck erhalten wollte, so musste die Glocke wie in den Versuchen von Regnault und Reiset mit einem Raum in Verbindung gesetzt werden, aus welchem der verbrauchte Sauerstoff sich ersetzen konnte. Während aber Regnault und Reiset grosse Gefässe als Sauerstoffreservoirs benutzten, wandte ich eine von Hoppe-Seyler gebrauchte Modification ihres Verfahrens an, durch welche die Glocke immer nur mit kleinen gemessenen Quantitäten Sauerstoff in Verbindung gesetzt wird. Diese Anordnung gestattet es den zeitlichen Ablauf des Versuches in seinen einzelnen Phasen genauer zu verfolgen und etwa vorhandene Störungen frühzeitig zu erkennen. Ich verband einen mit Sauerstoff gefüllten Gasometer durch einen Kautschuckschlauch mit zwei communicirenden, beweglich mit einander verbundenen Glasröhren. Das eine derselben war mit einer Centimetereinheitung versehen und oben durch einen Glashahn verschliessbar; das andere, bedeutend weitere, war oben offen, so dass der Inhalt der Röhren immer unter barometrischem Druck stand. Ich bezeichne das engere graduirte Rohr als Messrohr, das weitere offene als Niveauröhr. In den Röhren befand sich concentrirte Chlorcalciumlösung. Vor Beginn des Versuches wurde jedesmal das Niveauröhr so befestigt, dass das Messrohr bis zu einer dicht unter dem Hahn befindlichen Marke von der Flüssigkeit erfüllt wurde. Wenn man nun den Hahn des Gasometers und den des Messrohrs öffnete, so strömte der im Gasometer unter Wasserdruck befindliche Sauerstoff in das Messrohr ein, indem er einen Theil der Chlorcalciumlösung in das Niveauröhr verdrängte. Die am Rohr befindliche Scala ermöglichte es jedesmal das gleiche Quantum Sauerstoff eintreten zu lassen und durch Drehung zweier Hähne abzusperren. — Das Messrohr stand nun aber auch durch einen Kautschuckschlauch mit der Glocke in Verbindung. Diese Schlauchverbindung war unterbrochen durch einen Glashahn, welcher natürlich geschlossen gehalten wurde, während der Sauerstoff in das Messrohr eingefüllt wurde. Sobald aber daselbst das gewünschte Quantum Sauerstoff abgeschlossen war, so wurde der Hahn des Messrohrs und dieser Unterbrechungshahn geöffnet; damit war die Glockenluft mit dem abgemessenen Sauerstoffquantum in Ver-

bindung gesetzt, aus dem sich nun der verbrauchte Sauerstoff continuirlich ersetzen musste. Damit war den Anforderungen genügt, die ich an die Leistungsfähigkeit meines Apparates zu stellen hatte. Die in der Beschreibung etwas complicirt aussehende Bedienung der verschiedenen Hähne ist in der That so einfach, dass die ganze Manipulation bei einiger Uebung in wenigen Secunden zu vollenden ist und keine Unterbrechung des Versuches veranlasst. — Aus dem Mitgetheilten ergibt sich, dass bei Beginn des Versuches der im Messrohr befindliche Sauerstoff und die damit in Verbindung stehende Glockenluft sich unter einem geringen, einigen Cubikcentimeter Chlorcalciumlösung entsprechenden Ueberdruck befindet. Dieser Ueberdruck gleicht sich während der Dauer des Versuches allmählich aus; während das abgemessene Sauerstoffvolumen in die Glocke eintritt, stellt sich der barometrische Druck in dem Apparat wieder her, indem der Flüssigkeitsspiegel im Niveauröhr und im Messrohr sich wieder in gleicher Höhe einstellt. Für die Zwecke der vorliegenden Untersuchung ist dieser Ueberdruck ohne jeden Belang; störend ist er nur bei der Ermittlung der absoluten Grösse des Sauerstoffverbrauchs. Den dadurch entstehenden Fehler habe ich eliminirt, indem ich durch Calibrirung den factischen Werth der zur Verwendung gelangten Volumina für 0° C. und 760 B. feststellte. —

Die sauerstoffarme Luft wurde in der Weise hergestellt, dass atmosphärische Luft durch eine mit Kupferspähnen gefüllte und im Verbrennungssofen erhitze Glasröhre hindurchgesaugt wurde. Indem das Kupfer sich oxydirt, entzieht es der Luft ihren Sauerstoff. Der auf diesem Wege gewonnene Stickstoff wurde dann mit beliebigen Mengen atmosphärischer Luft verdünnt, und der procentische Sauerstoffgehalt des Gemisches nach der Hempel'schen Methode¹⁾ in der Weise bestimmt, wie ich es in meiner Arbeit „über den Sauerstoffverbrauch des Menschen etc.“ ausführlich auseinandergesetzt habe. Wollte ich nun das Thier sauerstoffarme Luft athmen lassen, so musste die Glocke mit dem erwähnten, in einem Gasometer enthaltenen Gasgemisch gefüllt werden. Zu diesem Zweck war in das Verbindungsrohr zwischen dem einen Kalilaugenventil und der Durchbohrung der Glasplatte, auf welcher die Glocke stand, ein T-förmiges Glasrohr eingeschaltet, dessen verticaler Schenkel wiederum mit einem Kautschuckschlauch armirt war. Dieser Schlauch

¹⁾ Hempel, Neue Methoden der Analyse der Gase. Braunschweig 1880.

wurde mit dem Gasometer in Verbindung gesetzt. Wenn man nun den Gasometer sowie den zwischen Glocke und Messrohr befindlichen Unterbrechungshahn öffnete und den Hahn des Messrohres ganz entfernte, so musste das im Gasometer unter Wasserdruck stehende Gas entweichen und seinen Weg durch den Apparat nehmen, indem es die in demselben befindliche Luft verdrängte. War der Gasometer geleert, so wurde die zuletzt entweichende Gasportion in der Hempel'schen Gasbürette aufgefangen und in bekannter Weise der Analyse unterworfen. Dann wurde der in der Glocke jetzt herrschende Ueberdruck ausgeglichen und der Versuch begonnen. Wiederholte Controlversuche haben gezeigt, dass die in dem Gasometer enthaltene Gasmenge genügte, um unter dem angewandten Druck die in der Glocke befindliche Luft vollkommen zu verdrängen. Die zuletzt entweichende Luftportion zeigte dieselbe chemische Zusammensetzung wie die Luft im Gasometer. Ebenso wurde festgestellt, dass der Sauerstoffgehalt der Glockenluft während der Dauer des Versuches constant blieb. Hervorgehoben sei noch, dass während der Füllung des Apparates das Ventilationsgebläse regelmässig comprimirt wurde, um auch die Flaschen und Schläuche des Kohlensäureabsorptionsapparates mit der sauerstoffarmen Luft zu erfüllen.

Die Dauer eines einzelnen Versuches betrug immer annähernd eine Stunde. Vor Beginn und nach Beendigung eines jeden Versuches wurde die Temperatur und der barometrische Druck im Versuchszimmer notirt. Das in den Gasometern enthaltene Wasser und die Chlorcalciumlösung hatte immer Zimmertemperatur. Grössere Schwankungen kamen während der Dauer eines Versuches nicht vor. Das Mittel zwischen Anfangs- und Endtemperatur resp. Druck wurde den Berechnungen zu Grunde gelegt.

Ueber den normalen Sauerstoffverbrauch der meisten Thiere existiren noch so wenige Angaben, dass es nicht zulässig erschien sich auf die Athmungsversuche mit sauerstoffarmer Luft zu beschränken und diese einfach mit den bekannten Zahlen in Vergleich zu setzen. Es war vielmehr nothwendig, selbständig auf vergleichendem Wege vorzugehen und die Thiere an jedem einzelnen Versuchstage in zwei Parallelversuchen unter möglichst gleichen Bedingungen normale und sauerstoffarme Luft athmen zu lassen. Hierbei zeigte sich nun der Sauerstoffverbrauch bei demselben Thiere in hohem Maasse verschieden an verschiedenen Tagen. Einen grossen

Theil der Schuld daran mögen Verschiedenheiten der Ernährung tragen, die ich nicht gleichmässig geregelt hatte. Indessen stand im Allgemeinen den Thieren immer Futter in ihrem Käfig zu Gebote, so dass man wohl annehmen kann, dass sie sich meist im Zustande der Verdauung befanden. Verschiedenheiten in der Menge der Bewegungen mussten auch auf den Sauerstoffverbrauch einwirken; und in der That fällt dieses Moment für die lebhafteren unter den gewählten Versuchsthieren in's Gewicht. Ratte, Kaninchen und Taube verhielten sich ausserordentlich indifferent und gleichmässig. Während der Dauer des Doppelversuches erhielten die Thiere keinerlei Nahrung. Um den etwaigen Effect dieser Nahrungsenthaltung auszuschliessen, wurden die Versuche in wechselnder Reihenfolge angestellt; bald begann ich mit der Athmung normaler, bald mit der sauerstoffarmer Luft. Das Resultat wurde dadurch in keiner Weise beeinflusst. Zur Vergleichung wurden immer nur die an einem Tage angestellten Parallelversuche herangezogen.

Die Ergebnisse meiner Versuche stelle ich in folgender Tabelle zusammen:

Sauerstoffverbrauch in 1 Stunde pro Kilo Thier, berechnet auf 0° C. und 760 B.

Normale Luft,

Sauerstoffarme Luft.

I. Weisse Ratte (110 grm).

1)	3511 ccm	3151 ccm
2)	4072	3360
3)		2430
4)		2392
5)	3037	2297
6)	2819	1804
7)	3151	2392
8)	3225	2848
9)	3568	1973

II. Junges Kaninchen (408 grm).

10)	1073	962
11)	1115	1036
12)	907	875

III. Junger Hund (682 grm).

13)	1622	1125
14)	1658	1284
15)	1542	1523
16)	1436	1344

IV. Taube (156 grm).

17)	2569	2141
18)	2328	2141
19)	2328	2187

V. Canarienvogel I (19 grm).

20)	10604 ccm	. . . . .	7527 ccm
21)	10604	. . . . .	8571
22)	8791	. . . . .	8022
23)	8105	. . . . .	8105

VI. Canarienvogel II (21 grm).

24)	6959	. . . . .	6959
25)	6712	. . . . .	6115
26)	6016	. . . . .	6016.

Verglichen mit den Resultaten Regnault's und Reiset's bestätigen die Versuche mit Einathmung normaler Luft zunächst die von jenen Forschern aufgestellte Lehre, dass der relative Sauerstoffverbrauch eines Thieres im umgekehrten Verhältniss zur Grösse desselben steht. Die zum Theil wesentlich höheren Werthe, die ich gefunden habe, erklären sich daraus, dass ich wegen der Kleinheit meines Apparates nur mit kleinen Thieren arbeiten konnte. — In den Versuchen mit sauerstoffarmer Luft schwankte die Verdünnung zwischen 13 bis 17 pCt. Sauerstoffgehalt. Doch wurden diese Grenzwerte selten erreicht; meist handelte es sich um Verdünnungen auf 14—16 pCt. Innerhalb dieser engen Grenzen war eine Abhängigkeit des Sauerstoffverbrauches vom höheren oder niedrigeren Sauerstoffgehalt der Einathmungsluft nicht nachzuweisen. Und das ist durchaus nicht zu verwundern, da hier andere Factoren mitbestimmend wirken, die wohl geeignet sind den geringen Einfluss auszugleichen, den so kleine Verschiedenheiten in der chemischen Zusammensetzung der Einathmungsluft ausüben könnten. Desto unzweideutiger und schlagender ergibt sich aus den mitgetheilten vergleichenden Versuchen, dass eine mässige Herabsetzung des Sauerstoffgehalts der Einathmungsluft für die Sauerstoffaufnahme durchaus nicht gleichgültig ist. Schon bei mässiger Sauerstoffverarmung der Einathmungsluft sinkt die Sauerstoffaufnahme der Warmblüter beträchtlich.

Für den Säugethierorganismus ergibt sich dieses Resultat ausnahmslos aus allen mitgetheilten Versuchen; weder Ratte, noch Kaninchen, noch Hund erreichen jemals bei Einathmung chemisch verdünnter Luft den unmittelbar vorher oder nachher bei Einathmung normaler Luft gefundenen Werth. Nicht so ausnahmslos ergibt sich das gleiche Resultat für den Sauerstoffverbrauch der Vögel. In 3 von den mitgetheilten 10 Versuchen zeigte sich derselbe nicht

herabgesetzt durch die Herabsetzung des Sauerstoffgehalts der Einathmungsluft; in einer anderen Anzahl von Versuchen ist die Herabsetzung nur sehr gering. Offenbar sind die Vögel in höherem Maasse als die Säugethiere befähigt, die Wirkungen des relativen Sauerstoffmangels durch Aenderungen im Modus der Respiration zu compensiren. Ein Ausgleichungsbestreben liess sich allerdings sowohl bei Säugethieren als bei Vögeln erkennen. Erstere suchten durch Beschleunigung der Athmung eine Compensation zu erreichen; die erhöhte Frequenz war am deutlichsten zu constatiren bei der Ratte, weniger ausgesprochen beim Kaninchen und wurde vermisst beim Hunde. Indessen machte die Lebhaftigkeit und ängstliche Unruhe des kleinen Hundes die Beobachtung der Respirationsfrequenz sehr schwierig und liess ihren Werth sehr fraglich erscheinen; überhaupt erwies sich der Hund gegenüber der indifferenten Ratte und dem Kaninchen als ein für die in Rede stehenden Experimente sehr wenig geeignetes Versuchsthier. — Bei den Vögeln war bei Einathmung sauerstoffarmer Luft niemals eine Beschleunigung, häufig aber eine Verlangsamung, und daneben stets eine Vertiefung der Athmung zu constatiren. Sie erreichten auf diese Weise, wie oben bemerkt, eine vollkommenere Ausgleichung als die Säugethiere. Dieses Verhalten entspricht vollkommen der von Vierordt aufgestellten Lehre, dass eine Vermehrung des respiratorischen Gaswechsels in vollkommenerer Weise durch eine Vertiefung, als durch eine Vermehrung der Athemzüge erreicht wird. —

Ueberträgt man die für den Säugethierorganismus gefundenen Resultate auf den Menschen, so werden meine früheren durch Versuche am Menschen gewonnenen Ergebnisse dadurch in gewünschter Weise bestätigt und ergänzt. Zunächst ergibt sich, dass die Herabsetzung der Sauerstoffaufnahme nicht nur scheinbar ist, bedingt durch die veränderte Zusammensetzung der Residualluft; denn bei Versuchen von der Zeitdauer der vorstehend mitgetheilten ist der störende Einfluss der Residualluft ausgeschlossen. Ferner beweisen die Versuche, dass die Sauerstoffaufnahme nicht nur bei den ersten Respirationen herabgesetzt ist, dann aber durch Compensation wieder den normalen Werth erreicht; die Compensationsbestrebungen des Organismus erweisen sich vielmehr als unzureichend, resp. treten nur in sehr unvollkommener Weise in Wirksamkeit und die Herabsetzung dauert an, auch wenn man den Versuch auf mehr als eine

Stunde ausdehnt. — Endlich ist die Herabsetzung so beträchtlich, dass man sie nicht allein durch Verschiedenheiten der Menge des im Plasma absorbirten, also direct vom Druck abhängigen Sauerstoffs erklären kann. Vielmehr glaube ich die Erklärung derselben darin suchen zu müssen, dass in Folge der Verringerung des Sauerstoffsdrucks in der Lungenluft der Diffusionsstrom von der Luft zum Blut verlangsamt ist. —

Um ein Bild von dem zeitlichen Ablauf eines Versuches zu geben, will ich zum Schluss noch ein beliebig herausgegriffenes Versuchsprotocoll mittheilen. — Es wurden immer 25 ccm Sauerstoff — nach Ablesung am Messrohr — mit der Glocke in Verbindung gesetzt. Die Zahlen in der ersten Columne geben die Zeiten an, zu denen das Sauerstoffvolumen neu eingelassen wurde, die in der zweiten Columne die Anzahl Minuten, innerhalb deren dasselbe vom Thiere verbraucht wurde.

6. Jan. Versuchsthier: Ratte, 110 grm.

Normale Luft. T. 15,5. B. 755.		O-arme Luft. T. 16,5. B. 755.	
Beginn des Versuchs		(17 pCt. O.)	
12 Uhr	55 4	2 Uhr	33 6
-	59 3	-	39 4
1 Uhr	2 4	-	43 4
-	6 4	-	47 5
-	10 4	-	52 5
-	14 4	-	57 4
-	18 5	3 Uhr	1 5
-	23 4	-	6 5
-	27 4	-	11 4
-	31 4	-	15 5
-	35 5	-	20 4
-	40 4	-	24 5
-	44 4	-	29 5
-	48 4	-	34 5
-	52 5	T. 16,2 B. 755.	
-	57 5	Verbraucht in 61 M. 13 Vol. O.	
T. 16,5. B. 755.		Nach Anbringung aller Correcturen:	
Verbraucht in 62 Min. 15 Vol. O.		in 1 Std. pro kg Thier 2848 ccm.	
Nach Anbringung aller Correcturen:			
in 1 Std. pro kg Thier 3225 ccm.			

Die vorstehenden Versuche sind im Laboratorium des Herrn Privatdocenten Dr. Herter angestellt worden.

Ich sage Herrn Dr. Herter an dieser Stelle herzlichen Dank für die grosse Liebenswürdigkeit, mit welcher er mich bei dieser Arbeit unterstützt hat.