(Aus dem thierphysiologischen Laboratorium der kgl. landwirthsch. Hochschule zu Berlin.)

Ueber die Bestimmung der Grösse des „schädlichen Luftraumes“ im Thorax und der alveolaren Sauerstoffspannung.

Von

Dr. A. Loewy

in Berlin.

Die in der vorstehenden Mittheilung erörterten Thatsachen lassen es nicht nur als wünschenswerth, sondern als für manche Verhältnisse direkt nothwendig erscheinen, von der Höhe der Sauerstoffspannung in den Alveolen Kenntniss zu haben. Die in den Alveolen herrschende Sauerstoffspannung ist naturgemäss niedriger als die in der Expirationsluft, da in letzterer nicht nur Alveolarluft enthalten ist, sondern auch ein aus den nicht direkt am Respirationsprozess betheiligten Luftwegen, d. h. aus der Mundhöhle, dem Larynx, der Trachea, den grösseren und kleineren Bronchien stammender Antheil, der im wesentlichen mit demselben Sauerstoffgehalt exspirirt werden müsste, mit dem er inhalirt wurde.

Um die Sauerstoffspannung des alveolaren Antheils der Expirationsluft zu ermitteln, muss die Grösse des sog. „schädlichen Raumes“, d. h. der Kubikinhalte der oben genannten Luftwege von der Mundöffnung bis zu den Bronchiolen bekannt sein und ihre Kenntniss wird um so wichtiger sein, je kleiner der Athemzug, je kleiner demnach die in die Alveolen gelangende Luftmenge im Verhältniss zum extraalveolaren Antheil ist. Je kleiner der Athemzug, um so mehr wird die alveolare Sauerstoffspannung von der der Expirationsluft abweichen.

Ueber die Grösse des schädlichen Raumes ist nun aber nichts Sicheres bekannt und ihrer Bestimmung stellen sich vielfache Schwierigkeiten in den Weg.

Ueber ihre einigermaassen exakte anatomische Bestimmung konnte ich in der mir zugänglichen Literatur nichts finden und auch eine Umfrage bei Fachanatomern bestätigte mir, dass diesbezügliche Data nicht vorlägen. Dagegen theilte mir Herr Professor Zuntz mit, dass er vor langen Jahren einmal durch Ausgiessung

den Inhalt des Bronchialbaumes und der oberen Luftwege zu bestimmen gesucht habe und einen Werth von ca. 140 ccm gefunden habe.

Auch ich selbst versuchte durch Ausgiessung mit Gips mir ein Bild davon zu verschaffen. Mit Hilfe des in solchen Arbeiten sehr bewanderten Präparators an der Anatomie, Herrn Wickersheimer, wurde an der Leichenlunge eines Mannes, der in seiner Constitution meinem Versuchsmanne entsprach, eine Gipsausgiessung vorgenommen und ergab — durch vorherige und nachherige Wägung der Lunge und Bestimmung des specifischen Gewichtes des Gipses — einen mit der eben genannten Zahl auffallend übereinstimmenden Werth, nämlich 144 ccm.

Es ist natürlich nicht angängig, diese Zahl meinen Berechnungen zu Grunde zu legen, denn einmal sind die individuellen Differenzen wohl nicht eben gering, sodann aber ist es wohl nahezu unmöglich, den Gips überall bis in die feinsten Bronchien zu inciren. Der Erfahrung des Herrn Wickersheimer in der Wahl des Consistenz des Gipsbreies gelang es, wie die Section der Lunge ergab, dass in die Alveolen nichts hineingedrungen war und dass alle mit blossen Auge sichtbaren Bronchialstämmchen gefüllt waren.

Was man aus der Zahl: 144 ccm schliessen kann, ist das, dass sie jedenfalls nicht zu hoch ist und wenn zu niedrig, nicht viel unter der wirklichen Grösse liegen kann.

Dieser Schluss ist jedoch vorläufig nur vom anatomischen Standpunkte aus berechtigt; durch die Vorgänge beim Athmungsprozess treten so eigenthümliche Complicationen auf, dass man für physiologische Zwecke diese Zahl nicht ohne Weiteres auch nur als annähernd richtig annehmen darf.

Nun existiren weiter auch physiologische Methoden zur Ausmittlung des in Betracht kommenden schädlichen Raumes, aber die Erfahrungen, die ich in dieser Beziehung bis jetzt machen konnte, zeigten mir, dass auch diese, soweit ich mich bisher ihrer bediente, keine verwertbaren Resultate geben.

Die eine Methode ist die von D a v y angegebene, später von Gr é h a n t verwertete, die darauf beruht, dass man eine gemessene Quantität Wasserstoff inspiriren, eine gemessene Menge Gas sogleich aus der Lunge expiriren lässt und die darin befindliche Wasserstoffmenge ermittelt. Aeusserer Gründe hinderten mich bisher

nach dieser Methode vorzugehen und so kann ich vorläufig nicht sagen, was sie leistet. Sobald die Umstände es gestatten, werde ich jedoch eine Reihe derartiger Versuche ausführen. Einfacher kann man so verfahren, dass man eine grössere oder geringere Menge atmosphärischer Luft einathmen und sogleich ruhig eine grössere oder kleinere, aber in ihrem Umfange bestimmte Expiration thun lässt. Untersucht man das expirirte Luftquantum auf Kohlensäure, so sollte man meinen, müsste man innerhalb enger Grenzen den schädlichen Raum, d. h. den, in welchem keine oder nur ganz geringe Kohlensäuremengen enthalten sind, bestimmen können.

Aber es verhält sich nicht so; es tritt eine so schnelle und starke Durchmischung der Expirationsluft ein, dass schon die ersten Antheile derselben meist erhebliche Kohlensäuremengen mit sich führen. Diese Durchmischung macht also die Resultate für exakte Bestimmungen unverwerthbar. Ich habe mit verschiedenen Modificationen eine grosse Reihe von Versuchen über die Kohlensäurevertheilung in der Expirationsluft angestellt, deren Resultate ich zum Beweise des eben Angegebenen kurz mittheilen will.

In der einen Gruppe der Versuche verfuhr ich so, dass ich nach Verschluss der Nase eine Expiration in eine Röhrenleitung thun liess, die aus einer Anzahl kürzerer oder längerer, in ihrem Volum genau bekannter Röhrenenden bestand, welche durch dickwandige und so kurze Schlauchstücke mit einander verbunden waren, dass gerade ein Quetschhahn Platz fand. Jedes Röhrenende trug zwei Stutzen, durch welche eine Entnahme der in ihm enthaltenen Luft unabhängig von der übrigen ermöglicht wurde. Das ganze System war mit saurem Wasser gefüllt und geneigt aufgestellt, sodass das dem Munde zugewendete Ende am höchsten, das entgegengesetzte am tiefsten stand. Beim Durchathmen floss das Wasser ab, die Expirationsluft drang nach. War das System bis zu einem bestimmten Punkte mit Expirationsluft gefüllt, so wurden unter Assistenz sämmtliche Hähne auf einmal geschlossen und die Luft der einzelnen Abschnitte dann, sei es nach Bunsen-Geppert, sei es nach Hempel analysirt. Man kann bei diesem Vorgehen die verschiedenen Antheile der durch eine Expiration entleerten Luftmengen gesondert untersuchen, die ersten, die letzten, ferner verschiedene mittlere Antheile.

Drei nach Bunsen-Geppert ausgeführte Analysen ergaben Folgendes:

1. Expirationsgrösse 290 ccm. Untersucht wurden die zuerst ausgeathmeten 100 ccm, die sich in drei aufeinander folgenden, durch die erwähnten Quetschhähne geschiedenen, je ca. 33 ccm fassenden Rohrab schnitten befinden. Es fanden sich: 3,306%, 3,575%, 3,827% CO_2 in ihnen.

2. In einem ebenso angestellten Versuch finden sich: 3,25%, 3,46%, 3,429%.

3. Ein dritter, ebenso ausgeführter Versuch ergibt: 3,074%, 3,432%, 3,56%. — Der mittlere Prozentgehalt der Gesamt-Expirationsluft des Mannes beträgt: berechnet aus einer sehr grossen Reihe von Analysen ca. 3,5%.

Die weiteren mit — bis auf eine Variation — derselben Versuchsanordnung durchgeführten Versuche wurden nach Hempel analysirt. Die Veränderung bestand darin, dass das Rohr, das die Expirationsluft aufnahm, überall gleich weit war, während es in den eben mitgetheilten engere und weitere Abschnitte aufwies. Ich gebe die Resultate tabellarisch. Die Zahlen der zweiten Columne bezeichnen die Antheile, die zur Untersuchung gelangten, gerechnet vom Munde der Röhre. Die niedrigeren Zahlen entsprechen sonach den aus den tiefen Lungenabschnitten stammenden Portionen, die höheren den aus den oberen Luftwegen kommenden.

Tabelle I.

Inspirationsgrösse in allen Fällen, wo nichts anderes bemerkt, 490 ccm.

Grösse der Expiration ccm	Untersucht werden ccm von bis	%-Gehalt an CO_2
1) 505	270—370	2,71
	370—460	1,91
	460—505	0,5
2) 500	270—305	2,33
	300—400	1,30 (?)
	400—500	2,06
3) 520	300—400	3,94
	400—500	2,73
4) 460	270—300	3,8
	300—400	2,54
	400—460	2,02
5) 470	270—400	2,09
	400—470	1,23
6) 460	300—400	?
	400—460	1,2

Grösse der Expiration ccm		Untersucht werden ccm von bis	%-Gehalt an CO ₂ •
7)	490	300—400	0,89
		400—460	0,84
		460—490	?
8)	505	300—400	2,34
		400—460	1,9
		460—490	?
9)	490	300—400	1,75
		400—490	1,55
10)	465	300—365	1,93
		400—465	1,39
11)	460	270—300	2,51
		400—460	1,91
12)	480	270—300	3,45
		400—450	0,89
13)	460	270—300	2,55
		300—400	2,11
		400—450	1,25

Die Zahlen in den nach Bunsen-Geppert ausgeführten Versuchen zeigen eine fast vollkommene Ausgleichung des Kohlensäuregehaltes an, und ich glaube dafür nicht mit Unrecht die mehrfachen Caliberschwankungen des Rohres verantwortlich machen zu sollen, die eine gute Durchmischung begünstigten. In den in der Tabelle I vereinigten Werthen war die Möglichkeit der Durchmischung nicht in der Weise geboten und hier finden sich deutliche Differenzen in den verschiedenen Portionen. Diese Differenzen müssen natürlich nach der Art der Expiration, ob rascher und mehr stossweise oder langsamer und gewissermaassen mehr schleichend — schwanken, wenn auch im allgemeinen auf die Ausführung der letzteren Art der Athmung mein Augenmerk gerichtet war.

Auch aus diesen Versuchen ergibt sich jedoch, dass auch die zuerst expirirten, den obersten Luftwegen angehörenden Antheile eines Athemzuges schon beträchtliche Kohlensäuremengen aufweisen.

Bei der in den oben mitgetheilten Versuchen gegebenen Anordnung konnte die Wasserfüllung der Röhre Bedenken erregen. Sie complicirte die Ausathmung etwas, sie setzte dem Expirationsluftstrom ein gewisses Hinderniss entgegen und konnte dadurch

verändernd auf die Zusammensetzung der verschiedenen Portionen der Expirationsluft wirken. Deshalb wurde in einer zweiten Gruppe von Versuchen in anderer Weise vorgegangen.

In diesen wurde — ebenfalls nach Verschluss der Nase — mittels eines Mundstücks aus einem sehr leicht spielenden, genau äquilibrirten und geachteten kleinen Gasometer inspirirt und in ein ebenso solches expirirt. Das Expirationsgasometer und die Leitung zu demselben enthielt einen ziemlich grossen, mit atmosphärischer Luft gefüllten „schädlichen Raum“ (139 ccm), der also zu dem schädlichen Raum der Athemwege sich addirte. Trotzdem vermochten selbst schwache Expirationen, wie die folgenden Versuche ergeben, der Gasometerluft nicht unbeträchtliche Kohlensäuremengen mitzuthemen.

Tabelle II.

Grösse der		Gesamtgas- menge im Expir.-Gas.ccm	Gesamt- CO ₂ -menge ccm	%o-Gehalt der Expir.-Luft an CO ₂
Inspir. ccm	Exspir. ccm			
1) 267,72	201,45	340,45	5,38	2,6
2) 169,078	137,735	276,35	5,27	2,63
3) 297,24	160,55	299,55	5,3	3,31
4) ?	165,958	304,9	5,89	3,54

Endlich verfuhr ich noch auf eine ganz einfache Weise. Ich liess das Versuchsindividuum in einen calibrirten, sich in ein enges Rohr verjüngenden Cylinder blasen, der in einem grösseren Cylinder mit saurem Wasser sich befand und selbst ganz mit solchen gefüllt war. Ein schädlicher Raum war in dem Apparate nicht vorhanden; der Mund wurde nach einer tieferen oder flacheren Inspiration aus der Atmosphäre an das Rohr angesetzt und unter Hebung des Cylinders in denselben expirirt. Die Expiration geschah schnell, aber nicht stossweise und war an Umfang wechselnd. Auch so ergab sich, dass nur extrem kleine Expirationen ein Gas lieferten, welches kohlensäurearm oder kohlensäurefrei war.

Tabelle III.

a) Bei normaler Inspiration.

Grösse der Exspir. ccm	CO ₂ -Menge ccm	%-Gehalt an CO ₂
130,00	2,91	2,24
74,91	0,21	0,273
93,4	0,9	0,96
143,81	4,79	3,32
79,22	0,72	0,91

b) Bei tiefer Inspiration.

57,2	0,00	—
177,6	3,05	1,7
122,2	1,0	0,82
72,0	0,33	0,46
90,5	0,4	0,44
164,1	3,2	1,94

Alle mitgetheilten Versuche zeigen, dass mit Expirationen über 100 ccm doch schon erhebliche Kohlensäuremengen entleert werden. Dabei macht natürlich die Tiefe der vorausgegangenen Inspiration einen Unterschied: war sie gering, wie in den Versuchen unter a, wo sie der normalen Inspirationstiefe entsprach, dann liegt die Grenze der nur minimale Kohlensäuremengen liefernden Expirationen unterhalb 75 ccm. Ging eine abnorme tiefe Inspiration voraus, so liegt sie etwas höher.

Natürlich geben diese Zahlen nur einen ungefähren Anhalt; aber auch bei einer nur oberflächlichen Schätzung des schädlichen Luftraumes ist es klar, dass sie viel zu kleine Werthe darstellen und würde man sie einer weiteren Berechnung zu Grunde legen, so würde man zu zu hohen alveolaren Sauerstoffspannungswerten kommen.

Die vergleichende Betrachtung aller bisher mitgetheilten Versuche muss zu der Anschauung führen, dass auf dem hier eingeschlagenen Wege der Untersuchung der Athemluft auf ein exaktes Resultat nicht zu hoffen ist. Je nach der Art der Expiration und je nach der Auffangung der Expirationsluft ist entweder — unter ungünstigen Bedingungen — eine vollkommene oder fast vollkommene Ausgleichung der Kohlensäure durch die ganze Masse

der letzteren zu Stande gekommen; oder der Kohlensäuregehalt nimmt progredient bis zu den ersten Antheilen hin ab, oder unter besonders günstigen Bedingungen sind die ersten Antheile noch frei von Kohlensäure.

Dieses Verhalten deutet darauf hin, dass die Hauptrolle dabei die mechanische Durchmischung der verschiedenen Luftschichten spielt, sowohl beim Auffangen der Proben, wie auch schon im Thoraxraum selbst beim Beginn des Expirationsstosses. Dass letzteres angenommen werden muss, geht aus den Versuchen der Tab. II in Verbindung mit den im folgenden mitzutheilenden Berechnungen hervor.

Die sonst noch für den Kohlensäuregehalt des aus dem Bronchialbaum stammenden Gases etwa in Betracht kommenden Ausgleichsvorgänge zwischen dem in der Schleimhaut circulirenden Blute und der Bronchialluft, oder die Diffusionsvorgänge zwischen der Alveolarluft und den oberen Schichten können meiner Ansicht nach nur eine unterstützende Rolle spielen.

Ich möchte übrigens den Hinweis nicht unterlassen, dass die Durchmischung der im Thoraxraume befindlichen Luft eine gewisse physiologische Bedeutung hat. Den Luftwirbeln, welche kohlensäurehaltige Antheile aus der Tiefe nach oben führen, stehen solche gegenüber, welche sauerstoffreichere Luft den unteren Partien zuführen. Dadurch ist ein Hilfsmittel gegeben das Absinken der Sauerstoffspannung der Lungenluft während der Expiration zu beschränken, die Lungenluft, unabhängig von einer Inspiration etwas sauerstoffreicher zu machen.

Da ich auf Grund der mitgetheilten Versuche darauf verzichten musste, die alveolare Sauerstoffspannung mit Hilfe der experimentellen Feststellung des schädlichen Raumes der Lunge direkt zu bestimmen, versuchte ich auf einem Umwege seine Grösse zu ermitteln und das der vorstehenden Mittheilung zu Grunde liegende Zahlenmaterial bot eine ausreichende Grundlage dazu.

Bis auf einen Cubikcentimeter genau kann man allerdings auch so denselben nicht berechnen, aber man kann eine obere und untere Grenze mit ziemlicher Genauigkeit angeben und, was die Hauptsache ist mit Rücksicht auf die Frage, derentwegen mir die Bestimmung der alveolaren Sauerstoffspannung wünschenswerth erschien, die Frage nämlich, bis zu welcher untersten Grenze der Sauerstoffspannung das Lungencapillarblut den für die Lebens-

prozesse nothwendigen Sauerstoff der Alveolarluft noch zu entnehmen vermag — man kann diese Grenze bis auf wenige mm *Hg* exakt angeben.

Zunächst die obere mögliche Grenze des sog. „schädlichen Raumes“. Sie kann bestimmt werden, aus denjenigen Versuchen, in denen infolge sehr flacher Athmung und niedrigen Barometerdruckes am wenigsten Sauerstoff zu den Alveolen drang. — Wie gross kann in ihnen der schädliche Raum sein, damit die *O*-Zufuhr noch genüge? Die obere Grenze, die er in ihnen haben kann, ist damit für mein Individuum überhaupt festgestellt.

Zu verwerthen sind hier folgende meiner Versuche:

1. Athemtiefe = 242 ccm; Sauerstoffverbrauch = 5,53%; Barometerdruck = 569,07 mm *Hg*.

2. Athemtiefe = 292,6 ccm; Sauerstoffverbrauch = 6,73%; Barometerdruck = 441,2 mm *Hg*.

3. Athemtiefe = 227,6 ccm; Sauerstoffverbrauch = 5,81%; Barometerdruck = 579,89 mm *Hg*.

4. Athemtiefe = 274,5 ccm; Sauerstoffverbrauch = 6,84%; Barometerdruck = 437,85 mm *Hg*.

Nehmen wir einen Cubikinhalte des schädlichen Raumes von 200 ccm an, so würde in Versuch 1 und 2 die alveolare Sauerstoffspannung negativ werden¹⁾. Diese Zahl ist also unmöglich.

Ebenso unmöglich ist der Werth von 180 ccm. In Versuch 1 würde auch bei dieser Annahme die Spannung negativ sein; in Versuch 2 würde sie ca. 14 mm *Hg* betragen; in Versuch 3 und 4 wiederum negativ ausfallen.

Nehmen wir 160 ccm an. — In Versuch 2 würde sich ein Spannungswerth von ca. 26 mm ergeben, in 3 von ca. 8 mm, in 4 von ca. 19 mm. Auch dieser Werth ist demnach nicht zulässig.

Bei einem Inhalte des schädlichen Raumes von 150 ccm ergibt Versuch 1 ca. 37 mm Spannung, Versuch 3 ca. 21 mm, Versuch 4 ca. 25 mm.

Die alveolare Sauerstoffspannung liegt demnach bei letzterer Annahme in Versuch 3 unter der durch Wolffberg festgestellten des venösen Blutes, in Versuch 4 an deren unterer Grenze.

Endlich bei 140 ccm schädlichen Raumes ist die Sauerstoff-

1) Vergl. Anm. am Schluss.

spannung in den Alveolen in Versuch 1 = 57,69; in Versuch 2 = 41,32; in Versuch 3 = 52,80; in Versuch 4 = 34,19 mm Hg.

Wir werden sonach schliessen müssen: Vom physiologischen Standpunkte aus liegt die obere mögliche Grenze des schädlichen Raumes zwischen 140 und 150 ccm.

Wir kommen zur Bestimmung der unteren Grenze. — Zu dem Zweck gehen wir von der Betrachtung derjenigen Versuche aus, in denen eine möglichst sauerstoffarme Luft bei möglichst tiefer Athmung inspirirt, und in denen nach dem Verhalten des respiratorischen Quotienten die Sauerstoffaufnahme noch genügend war.

Hier kommen folgende zwei Versuche in Betracht:

1. Athemtiefe = 809,2 ccm; Sauerstoffverbrauch = 1,757 %; Prozentgehalt der Inspirationsluft an O = 8,25 %.

2. Athemtiefe = 972,0 ccm; Sauerstoffverbrauch = 1,01 %; Prozentgehalt der Inspirationsluft an O = 7,32 %.

Im ersteren lag die alveolare Sauerstoffspannung für einen Sauerstoffgehalt der Inspirationsluft von 8,25 % und einer Athemtiefe von 809 ccm bei 42 mm Hg = 5,53 % Atmosphärendruck. Im zweiten war die Alveolarsauerstoffspannung 43,41 mm Hg = 5,72 %, der Sauerstoffgehalt der inspirirten Luft = 7,32 %, die Athemtiefe = 972 ccm. Der schädliche Raum ist zu 140 ccm angenommen.

Bei der kolossalen Athemtiefe in diesen Versuchen macht es relativ wenig aus, ob wir die Grösse des schädlichen Raumes zu 140 ccm annehmen, oder nur zu 100 oder 70 ccm oder sie gar gleich Null setzen. Machen wir die letztere, ungünstigste und sicher falsche Annahme, dass nämlich ein eigentlicher schädlicher Raum nicht existirt, mit anderen Worten, dass die alveolare Sauerstoffspannung gleich der der Expirationsluft ist, so würde sie in Versuch 1: 52 mm betragen, statt der oben berechneten 42 mm, und in Versuch 2: 47 mm anstatt 43 mm Hg.

Bei 70 ccm schädlichen Raumes, einem auch noch zu niedrigen Werth, liegt die alveolare Sauerstoffspannung in Versuch 50 bei 48 mm, in Versuch 55 bei 44 mm Hg. Bei 100 ccm, einer der wahren Grösse des schädlichen Raumes schon nahe kommenden Zahl, berechnet sich die Sauerstoffspannung zu 47 mm und 43 mm.

Andererseits erhält man, wenn man 160 ccm, eine Grösse welche nach dem Ergebniss der oben mitgetheilten Versuche den

zulässigen Cubiceinhalt bereits überschreitet, als schädlichen Raum annimmt, in Versuch 1 immer noch eine Spannung von ca 46 mm, in Versuch 2 von ca 43 mm *Hg*.

Es geht aus diesen Zahlen hervor, dass die gesuchte Grösse der geringsten zu erreichenden Alveolarsauerstoffspannung bei Annahme jeder überhaupt noch möglichen Grösse des schädlichen Raumes in diesen Versuchen um nur wenige mm *Hg* differirt. Wir können auf Grund der eben mitgetheilten Zahlenwerthe diesen Minimalwerth mit ziemlicher Sicherheit berechnen, selbst ohne exakte Kenntniss von der Grösse des schädlichen Raumes zu haben.

Wir können sagen, dass bis zu einer Spannung des alveolaren Sauerstoffs von 40 bis 45 mm *Hg* das Blut bei Körperruhe noch den notwendigen Bedarf daran zu entnehmen vermag. Diese Zahl bleibt bestehen selbst bei ungünstigster Schätzung des schädlichen Raumes einmal auf 160 ccm, ein anderes mal auf nur 70 ccm.

Wenn aber in diesen Versuchen mit sehr tiefer Athmung das Blut sich bei ungefähr 45 mm *Hg* Sauerstoffdruck noch genügend mit Sauerstoff zu sättigen vermag, so muss es dies auch — ich sehe wenigstens keinen Faktor, der dem entgegenstände — in jenen Versuchen mit flacher Athmung im bis an die Grenze des Erträglichen luftverdünnten Raume thun, in jenen Versuchen, die ich oben zur Berechnung der oberen Grenze des schädlichen Raumes verworther habe.

Auch in diesen Versuchen, in denen die Sauerstoffaufnahme bereits unzureichend wurde, werden wir demnach eine höhere Spannung als 45 mm *Hg* nicht statuiren dürfen und können nun von dieser Zahl ausgehend berechnen, wie klein in ihnen der schädliche Raum werden darf, damit die alveolare Sauerstoffspannung die Höhe von 45 mm *Hg* nicht übersteigt.

Legen wir einen Werth von 70 ccm für den schädlichen Raum zu Grunde, so ist die alveolare Sauerstoffspannung in dem bereits oben für die Betrachtung verworther Versuch 2 ca. 53 mm, in Versuch 4 ca. 51 mm *Hg*.

Die Zahlen liegen noch abnorm hoch. Sie erniedrigen sich auf die Höhe des aus den vorigen Versuchen festgestellten Werthes, wenn man den schädlichen Raum = 100 ccm setzt. Dann beträgt

die Sauerstoffspannung in den Alveolen in Versuch 2 ca 47 mm, in Vers. 4 ca. 44 mm.

Der Schluss wird demnach berechtigt sein, dass die untere Grenze des schädlichen Raumes ungefähr bei 100 ccm gesetzt werden kann.

Der schädliche Raum liegt sonach bei meinem Versuchsindividuum oberhalb 100 ccm und unterhalb 150 ccm.

Ich habe meinen Berechnungen den Werth von 140 ccm zu Grunde gelegt. Die Werthe, die sich daraus berechneten, sind als Minimalwerthe zu betrachten, die aber speciell in den für die vorige Abhandlung wichtigsten Versuchen zur Ausmittlung der unteren Grenze der Alveolarsauerstoffspannung auch bei der Zugrundelegung von nur 100 ccm sich nicht wesentlich erhöhen würden.

Durch Combination verschiedener der vorstehenden Mittheilung zu Grunde liegender Versuche habe ich so erstens den physiologisch in Betracht kommenden schädlichen Raum innerhalb ziemlich enger Grenzen bestimmen, sodann aber unabhängig davon die für mein Versuchsindividuum zu erreichende niedrigste Alveolarsauerstoffspannung feststellen können.

Dieser letzte und für die in obiger Abhandlung ventilirten Fragen wichtigste Werth ist bis auf wenige mm genau bestimmt, während die Berechnung der übrigen Alveolarsauerstoffspannungen mit Hilfe der Grösse des schädlichen Raumes in etwas weiteren Grenzen schwankende Zahlen ergiebt.

Anm. Als Erläuterung für die Berechnung der Alveolarsauerstoffspannung gebe ich folgende zwei Beispiele.

In dem S. 424 sub 2 angeführten Versuche sei als schädlicher Raum angenommen:

1) 200 ccm. Dann gelangen in die Alveolen 92,6 ccm mit 19,38 ccm O. Dies reicht nicht aus um den Verbrauch von $\frac{292 \times 6,73}{100} = 19,68$ ccm zu decken. Die alveolare O-Spannung würde demnach negativ werden.

2) 160 ccm. Gebraucht wie ad 1: 19,68 ccm. — In die Alveolen gelangen $292 - 160 = 132 \times \frac{20,93}{100}$ ccm O, d. h. 27,63 ccm. Davon ab als Verbrauch 19,68 ccm, bleiben 7,95 ccm O in 132 ccm Alveolarluft, d. sind 6,0% O. — Die Barometerspannung ist: 441,2 mm Hg, also die Spannung dieser 6% = 26,46 mm Hg resp. 3,4% einer Atmosphäre.