

XXVIII.**Zur Pathologie des Hydrothorax und Pneumothorax.**

Experimentelle Untersuchungen

von

Prof. A. Weil und Prof. R. Thoma.

(Hierzu Taf. XI.)

(Aus dem pathologischen Institut der Universität Heidelberg.)

Die Fragen, welche wir auf experimentellem Wege zu lösen versuchten, beziehen sich auf die Veränderungen, welche die Athmung nach der Einführung von Luft oder von indifferenten Flüssigkeiten in die Pleurahöhle gesunder Thiere erleidet. Wir hatten dabei zunächst im Auge, den mechanischen Effect kennen zu lernen, welchen ähnliche Vorkommnisse, die am Krankenbette unter den Formen des Hydro- und Pneumothorax zur Beobachtung gelangen, auf Athemfrequenz und Athemtiefe ausüben. Das Ergebniss des Thierversuchs wird man allerdings nicht ohne Weiteres auf die genannten Erkrankungen des Menschen übertragen dürfen. Denn bei diesen letzteren liegen in der Regel ausser der Ansammlung von Flüssigkeit oder Luft in der Pleurahöhle noch eine Reihe anderer localer und allgemeiner Störungen vor, die theils direct, theils durch Beeinflussung des Gesamtstoffwechsels verändernd in die Athemmechanik eingreifen und so den mechanischen Effect der Flüssigkeitsansammlung an sich in mannichfacher Weise compliciren. Die experimentelle Prüfung dagegen bringt den Erfolg der letzteren gewissermaassen isolirt zur Anschauung, und von diesem Gesichtspunkte aus darf ihr Ergebniss für die Beurtheilung des Hydro- und Pneumothorax beim Menschen Berücksichtigung finden. Eine ähnliche Bedeutung gewinnen die Experimente für die Pathologie des pleuritischen Exsudates.

Die klinische Untersuchung ist in der That bisher nicht im Stande gewesen, für diese Krankheitsformen genauere Erfahrungen über die quantitativen Verhältnisse der ein- und ausgeatmeten Luftvolumina und über die Grösse des Gasaustausches zu sammeln,

Darin lag wohl hauptsächlich der Grund, warum bereits mehrfach der Versuch gemacht wurde, diesen Störungen auf dem Wege des Thierexperimentes näher zu treten. In dieser Hinsicht verdienen namentlich die Untersuchungen von Guttmann¹⁾), sowie diejenigen von Leichtenstern²⁾ Erwähnung, welche die ersten Resultate zu Tage förderten. Die einfachen Methoden, deren sich diese Forscher bedienten, erweisen sich jedoch in mancher Beziehung einer Verbesserung fähig, insbesondere durch Verkleinerung der Hindernisse, die der Respirationsapparat den Athembewegungen entgegensezten. Diese Widerstände auf ihr geringstes Maass herabzusetzen, war vor Allem unsere Aufgabe, deren Lösung uns durch die vollständige Einrichtung des Institutes ermöglicht wurde; dadurch waren wir im Stande, eine Reihe von Beobachtungen anzustellen, welche die bisher gewonnenen Ergebnisse nach mehreren Richtungen erweitern.

Unser Hauptaugenmerk war bei diesen sämtlich an Kaninchen angestellten Versuchen auf die Änderungen der Athemfrequenz und Athemtiefe, und auf die aus diesen sich unmittelbar ergebenden Werthe gerichtet. Gleichzeitig haben wir jedoch die exhalirte Kohlensäure bestimmt, in der Absicht, dadurch eine erste Anschauung über den unmittelbaren Effect der pathologisch veränderten Athemmechanik zu erlangen. In wie weit und unter welchen Verhältnissen die Kohlensäurebestimmung diesen Zweck erreicht, werden wir bei Besprechung der einzelnen Versuchsreihen zu prüfen haben.

Von den Respirationsapparaten, welche bisher zur Bestimmung der während einer bestimmten Zeit respirirten Luftmenge und der Athemtiefe bei Thieren Verwendung gefunden haben, ist namentlich der von Leichtenstern benutzte zweckentsprechend: vermittelst einer Gasuhr werden die während längerer Perioden exspirirten Luftvolumina mit relativ grosser Genauigkeit gemessen, und auf diesem Wege bei gleichzeitiger Bestimmung der Athemfrequenz sehr gut verwendbare Werthe der mittleren Athemtiefe gewonnen. Die Widerstände, welche der Apparat dem Luftstrom entgegensezten, können durch die von uns angewendeten Hülfsmittel fast vollständig

¹⁾ P. Guttmann, Ein Beitrag zur Physiologie und Pathologie der Respiration. Dieses Archiv Bd. 39. 1867. S. 115 ff.

²⁾ Leichtenstern, Versuche über das Volumen der unter verschiedenen Umständen ausgeatmeten Luft. Zeitschrift für Biologie. Bd. VII. 1871. S. 197 ff.

aufgehoben werden und aus diesen Gründen schien er uns vorzugsweise geeignet. Wir haben nur in so fern eine Aenderung angebracht, als wir die Inspirationsluft, deren Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt genauer constant zu halten ist, durch die Gasuhr streichen liessen.

Die von uns gewählte Versuchsanordnung ist auf Taf. XI, Fig. 1 — 4 in übersichtlicher Weise abgebildet. Die Trachealcanüle wird bei Beginn des Versuches mit dem einen Schenkel a eines T-Rohres mittelst eines kurzen Kautschukschlauches verbunden. Die beiden anderen Schenkel b und c des T-Rohres führen zu den Voit'schen Quecksilberventilen (I und E in Fig. 1, 2 und 3), welche die Trennung der In- und Exspirationsluft besorgen. Sie bedingen in der That, wie Voit¹⁾ angiebt, gegenüber den Müller'schen Ventilen bei Weitem geringere Widerstände und wurden deshalb auch von Leichtenstern in Anwendung gezogen. An dem genannten T-Rohre war noch ein weiterer zu einem Wassermanometer M führender Ansatz angebracht; an diesem waren direct die Druckschwankungen abzulesen, welche die Athembewegungen des Versuchsthieres in der Trachealcanüle hervorriefen. — Zur Messung der während einer bestimmten Zeit inspirirten Luftmenge wurde eine Gasuhr verwendet. Pettenkofer hat zuerst auf die Brauchbarkeit der Gasuhr zu physiologischen Untersuchungen hingewiesen, und es sind seitdem eine Reihe von Verbesserungen an der Construction dieser Apparate angebracht worden, welche eine sorgfältige Aichung derselben möglich machen. Wir benützten eine von L. A. Riedinger in Augsburg bezogene „Gasuhr mit arbiträrer Theilung der Zifferblätter“, welche nach dem Clegg'schen System gebaut ist und kleine Volumina zu messen gestattet²⁾. Beim Ge-

¹⁾ C. Voit, Beschreibung eines Apparates zur Untersuchung der gasförmigen Ausscheidungen des Thierkörpers. Zeitschr. für Biologie. Bd. XI. 1875. S. 554.

²⁾ Dieselbe findet sich beschrieben bei Voit I. c. S. 562 und bei Winkler, Anleitung zur chemischen Untersuchung der Industriegase. II. Abtheilung. Quantitative Analyse. 1. Lieferung. Freiberg 1877. Von den beiden Zeigern der Uhr ist der die Unterabtheilungen angebende grössere mit der Trommel-axe unbeweglich verbunden. Ein Umgang dieses Zeigers entspricht etwa 2,5 Liter. Die auf dem Zifferblatt befindliche Kreistheilung, welche der Zeiger durchläuft, ist in 100 Theile getheilt, deren jeder etwa 25 Ccm. entspricht. Bruchtheile eines Theilstrichs lassen sich noch gut abschätzen, so dass man bis auf 10, selbst 5 Ccm. ablesen kann. Ein ganzer Umlauf des

brauche wurde die Uhr mittelst einer auf drei Schrauben stehenden Platte horizontal gestellt und mit Glycerin von 1,14 spec. Gew. durch die Füllschraube so lange gefüllt, bis die Flüssigkeit durch die Wasserstandsschraube ausfloss. — Die Aichung der Uhr haben wir nach den von Voit¹⁾) erörterten Grundsätzen ausgeführt. Ist die Aichung einmal in möglichst exakter Weise geschehen, so hat man beim jedesmaligen Gebrauche der Uhr nur dafür Sorge zu tragen, dass dieselbe horizontal gestellt wird und genau bis zu derselben Höhe, wie bei der Aichung, mit Glycerin gefüllt ist. Eine wiederholte Aichung ist nur in längeren Zwischenräumen nöthig. — Zwischen die Gasuhr U und das Inspirationsventil I wurde, um den Gang der Uhr zu einem möglichst gleichmässigen zu gestalten, ein etwa 15 Liter fassender mit einer Anzahl luftdicht schliessender Hähne armirter Gasometer G eingeschaltet (Fig. 1). Derselbe stand einerseits durch den Schlauch d mit dem Austrittshahn der Gasuhr, andererseits durch den Schlauch e mit dem Inspirationsventil in Verbindung. — Der Eintrittshahn der Gasuhr war durch den Schlauch f mit einem cylindrischen Blechgefäß BL verbunden, in dem verdichtete Luft erzeugt werden konnte. Der Blechcylinder BL steht in einem grösseren viereckigen Blechkasten K, welcher bis zur Mündung g des Ablaufrohres h mit Wasser gefüllt ist, und hat nahe seinem unteren Ende eine Anzahl kreisförmiger Oeffnungen. Die Decke des Cylinders ist dreifach tubulirt. Der eine Tubulus i communicirt, wie erwähnt, mit der Gasuhr, der mittlere m trägt eine Fischer'sche Wasserstrahlluftpumpe n, von welcher der Schlauch o zum Hahn der Wasserleitung führt; die dritte Oeffnung p steht durch einen Schlauch r mit einer unter dem Wasser der Flasche S mündenden Glasröhre t in Verbindung, welche als Druckregulator und Sicherheitsventil dient. Wird der Hahn der Wasserleitung geöffnet, so fliesst das Wasser durch die Wasserstrahlpumpe in den Blechcylinder und reisst dabei durch den Seitenansatz q der Pumpe Luft mit sich. Während das Wasser durch die kreisförmigen Oeffnungen des Cylinders in den grossen Blechkasten gelangt und durch das Ablaufröhr h abfliesst, wird die Luft in dem oberen Abschnitt des Cylinders verdichtet und entweicht je nach der Stel-

zweiten kleineren Zeigers, der sich auf einer zweiten gleichfalls 100 theiligen Scala bewegt, entspricht 100 Umgängen des ersten Zeigers, also etwa 250 Liter.

¹⁾ l. c. S. 563.

lung des Sicherheitsventiles t entweder durch dieses und u oder durch die Gasuhr. — Ist das Inspirationsventil I so eingestellt, dass der tiefere Schenkel eben abgesperrt ist, und taucht die Röhre t einige Centimeter unter die Sperrflüssigkeit, so entweicht, wenn der Hahn der Wasserleitung geöffnet wird, alle Luft durch die Gasuhr, den Gasometer, das Inspirationsventil und die Schenkel b und a des T-Rohres nach aussen. Nun wird t allmählich soweit aus dem Wasser gehoben, bis eben der Zeiger der Uhr stille steht, und alle Luft durch den Druckregulator bei t und u entweicht. Dabei taucht t nur wenige Millimeter in das Wasser ein. Dies ist die richtige Einstellung des Apparates. Wird jetzt bei a inspirirt, so öffnet sich der Weg bei I , und die Luft strömt durch den Gasometer und die Gasuhr nach; bei der Exspiration dagegen schliesst sich der Weg bei I , die Exspirationsluft entweicht durch E und die von der Pumpe geschöpfte Luft tritt alle durch t und u nach aussen. Um nun die Menge der eingeathmeten Luft zu bestimmen, hat man weiter nichts zu thun, als in dem Moment, in dem der Versuch einschlägt, ebenso am Ende desselben den Stand der Gasuhr zu notiren. Die Luft wird dabei bei der Temperatur und dem Druck gemessen, welche in der Gasuhr herrschen. Die Temperatur wird durch ein in der Gasuhr steckendes Thermometer angezeigt. Der Druck ist, wie uns die manometrische Messung lehrte, bei der von uns gewählten Versuchsanordnung nur um 1—2 Mm. Wasser grösser, als der atmosphärische, kann also füglich dem letzteren gleichgesetzt werden.

Während die vom Thier exspirirte Luft, wenn es sich nur um Messung der inspirirten Volumina handelt, frei durch E entweicht, muss dieselbe, wenn gleichzeitig die Menge der ausgeschiedenen Kohlensäure bestimmt werden soll, zuvor einen mit E in Verbindung stehenden zur Absorption der letzteren dienenden Apparat passiren (Fig. 2). Der wesentliche Theil desselben besteht aus 8 U-Röhren (Fig. 2, 1—8), welche in der aus der Zeichnung ersichtlichen Weise vermittelst Drahthäckchen an einem horizontal befestigten Glasstäbe aufgehängt sind. Jede der U-Röhren (Fig. 4) ist etwa 12 Cm. hoch; beide Schenkel derselben sind je 2 Cm. weit und durch luftdicht eingeschliffene Glasstopfen verschlossen, welche sich in rechtwinklig umgebogene, 6 Mm. im Lichten weite Glasröhren fortsetzen. Je zwei benachbarte U-Röhren sind durch

kurze Kautschukschläuche in der Weise luftdicht mit einander verbunden, dass sich die Glasröhren innerhalb des Kautschuks bis zur Berührung genähert sind. Die U-Röhren 1, 6 und 7 sind mit in concentrirter Schwefelsäure getränkten Bimssteinstückchen, die Röhren 2, 3, 4 und 5 mit eben solchen in starker Kalilauge getränkten voll gefüllt. Am Boden befindet sich nur soviel Flüssigkeit, dass die in den beiden Schenkeln einer Röhre befindlichen Luftsäulen nicht von einander abgesperrt sind. Da die U-Röhren aus möglichst leichtem Glase angefertigt sind, so beläuft sich ihr Gewicht bei möglichst vollständiger Füllung auf 65 — 80, durchschnittlich etwa auf 70 Grm. Zwischen die erste U-Röhre und das Exspirationsventil E ist die Flasche F eingeschaltet, ebenfalls mit in Schwefelsäure getränkten Bimssteinstücken gefüllt. Nachdem dann die Luft noch die 8., Barytwasser enthaltende U-Röhre passirt hat, tritt sie in den Gasometer G. Von diesem führt der Schlauch s zu dem einen Seitenansatz einer Fischer'schen Wasserstrahlluftpumpe n, deren zweiter Seitenansatz durch den Schlauch t mit dem Hahn der Wasserleitung verbunden ist. Oeffnet man den letzteren, so fliesst das Wasser durch die Pumpe ab und saugt dabei aus dem Gasometer, den U-Röhren, der Flasche F und dem Exspirationsventil E Luft an. Der Druck innerhalb dieses Röhrensystems muss nun so regulirt werden, dass in E annähernd Atmosphärendruck herrscht. Dies wird durch die Einstellung der Röhre w erreicht. Der Luftraum der in ihrem unteren Theil mit Wasser gefüllten und mit einem doppelt durchbohrten Kautschukstöpsel verschlossenen Flasche S steht durch das unmittelbar unter dem Stopfen mündende Glasrohr v und den Schlauch u mit dem Luftraum des Gasometers in Verbindung. Die zweite Bohrung des Korkes trägt das Glasrohr w, dessen oberes Ende frei mündet, während das untere in die Flüssigkeit eintaucht. Befindet sich das untere Ende von w mehrere Centimeter unter der Sperrflüssigkeit, so dringt, wenn die Pumpe saugt, gar keine Luft durch w, sondern alle durch die U-Röhren, die Flasche F und das Exspirationsventil E, das sich sofort eröffnet, in den Gasometer nach. Erhebt man nun w langsam aus dem Wasser, so kommt ein Moment, in dem das Quecksilber in E gerade absperrt, und alle Luft durch w und v eindringt. Dies ist die richtige Einstellung des Apparates, welche nach einigen Versuchen sich sehr rasch finden lässt, ohne dass mehr als einige

Luftblasen durch das Ventil in die U-Röhren eingesogen werden. Während der Inspiration schliesst dann das Ventil E und die Saugpumpe schöpft alle Luft durch w; während der Exspiration öffnet sich das Ventil E und die Exspirationsluft wird durch die U-Röhren und den Gasometer gesaugt, um schliesslich durch das untere Ende der Pumpe zu entweichen. Wenn somit Alles zum Versuche vorbereitet ist, schliessen die Ventile I und E und alle Luft strömt durch die Wasserventile SS. Sowie aber die Trachealcanüle mit dem Schenkel a des T-Rohres in Verbindung gesetzt wird, beginnt das Spiel der Quecksilberventile. Da in I und E annähernd Atmosphärendruck herrscht, so athmet bei richtiger Einstellung der Quecksilber- und Sicherheitsventile das Thier gerade so, als wenn es nur durch die Ventile I und E in die freie Luft respirirte. Dies geht namentlich aus den geringen Schwankungen des Manometers M hervor, welcher in der Trachealcanüle respiratorische Druckdifferenzen von durchschnittlich 2—4, häufig auch nur von 1 Cm. Wasser angab. Nicht minder zeugt die Respirationsfrequenz, welche keine merkliche Aenderung erkennen lässt, dafür, dass in der That der Apparat die Athmungswiderstände nicht erheblich beeinflusst. Die Lieferung der Luft durch die Gasuhr bis nach dem Inspirationsventil I, ebenso ihre Fortschaffung aus dem Ventil E durch den Absorptionsapparat wird durch die Druck- und Saugpumpen bewerkstelligt.

Die Bestimmung der Kohlensäure war der schwierigste und umständlichste Theil der zu lösenden Aufgabe. Es handelte sich um den Vergleich der Kohlensäuremengen, welche einerseits das Normalthier, andererseits dasselbe Thier mit Pneumo- oder Hydrothorax in einer bestimmten Zeit durch die Lungen ausschied. Da die gewöhnliche Beobachtungsdauer eine Viertelstunde betrug, so konnte man auf 0,5—0,8 Grm. CO² rechnen, welche aus einem Luftstrom von etwa 10—12 Litern — das Athemvolum des Kaninchens beträgt durchschnittlich 700—800 Cem. pro Minute — absorbiert werden sollten. Die Schwierigkeit lag nun darin, einen Apparat zu finden, welcher der mit verhältnissmässig grosser Geschwindigkeit strömenden Luft alle CO² entzog, und dabei doch eine genaue Bestimmung der CO² gestattete. Nach mannichfachen Ueberlegungen und Versuchen entschieden wir uns dafür, die CO₂ durch die Wage zu bestimmen und behielten die oben genau be-

schriebenen U-Röhren bei. Vier solcher Röhren (No. 2—5) zeigten sich jedesmal vollkommen ausreichend, um alle während einer Viertelstunde ausgeschiedene CO^2 zu binden; der Beweis dafür wurde durch das Klarbleiben der in der Röhre 8 befindlichen Barytlösung erbracht. Die vierte mit Kali gefüllte Röhre (No. 5) hatte in der Regel gar keine CO^2 mehr, oder nur einige Milligramm absorbiert. Ehe die Exspirationsluft in die zur Absorption der CO^2 bestimmten Röhren 2—5 trat, wurde sie in F und 1 durch concentrierte Schwefelsäure getrocknet. Die Röhre 1, die nie mehr als nur 1, höchstens 2 Milligramm zugenommen hatte, diente zur Controle, dass der Luft alles Wasser entzogen. Das Wasser, welches die getrocknete Luft der Kalilauge von Röhre 2—5 entzog, wurde an die concentrirte Schwefelsäure von Röhre 6 wieder abgegeben. War dies in der That der Fall, so durfte Röhre 7 keine Gewichtszunahme erleiden. Die Menge der während der Versuchsdauer aus dem exspiratorischen Luftstrom absorbierten CO^2 ergab sich somit aus der Gewichtszunahme, welche die Röhren 2—6 zusammen erfahren hatten. Ausser jeder einzelnen dieser 5 Röhren mussten auch die Controlröhren 1 und 7 vor und nach dem Versuche gewogen werden, denn nur dann konnte derselbe als gelungen betrachtet werden, wenn diese beiden Röhren ihr Gewicht nicht wesentlich verändert hatten. War beim Normalthiere die in 15 Minuten ausgeschiedene CO^2 absorbiert, so wurden die Röhren 1—8 ausgeschaltet und zur nachherigen Wägung bei Seite gestellt. An ihre Stelle wurde dann eine zweite Serie von 8 U-Röhren, von denen 1—7 gleichfalls zuvor einzeln gewogen waren, eingeschaltet, durch welche dann das pneumothoracische oder hydrothoracische Thier athmete. In manchen Doppelversuchen, wenn z. B. zuerst der Einfluss kleiner, dann der grosser Mengen in die Pleura injicirter Flüssigkeit an ein und demselben Thiere studirt wurde, stand noch eine 3. Serie von U-Röhren zu Gebote. Wenn nur 2 Serien zur Verwendung kamen, waren 14 Wägungen vor, 14 nach Anstellung des Versuches erforderlich; bei den Doppelversuchen sogar 21 vor und 21 nach dem Versuch. — Während der Wägung selbst war die Röhre in der aus Fig. 4 ersichtlichen Weise durch kleine Kautschukstöpsel verschlossen; nach derselben wurde sie sofort in die betreffende Serie eingeschaltet. Selbstverständlich waren alle Röhren von der ersten bis zur zweiten Wägung

sorgfältig verschlossen. Desgleichen blieben die Kaliröhren von den Schwefelsäureröhren und letztere von dem Barytwasser bis unmittelbar vor Beginn des Versuches abgesperrt, weil andernfalls die Schwefelsäure der Kalilauge und der Barytlösung Wasser entzogen hätte; aus demselben Grunde wurden sie sofort nach dem Versuche auf's Neue isolirt und verschlossen.

Prüft man die Genauigkeit, mit welcher in dieser Weise die Menge der in der Exspirationsluft enthaltenen CO² bestimmt werden konnte, so ergiebt sich Folgendes. Die Wägung der einzelnen Röhre konnte bis auf $\frac{1}{10}$ Milligramm genau gemacht werden; da nun für die Bestimmung der CO² in jeder Serie das Gewicht von 5 Röhren (No. 2—6) vor und nach dem Versuch in Betracht kam, so betrug der aus der Wägung resultirende mögliche Fehler im allerungünstigsten Fall höchstens ein Milligramm. Dass alle in der Exspirationsluft enthaltene CO² absorbiert wurde, darüber liess das Klarbleiben der Barytlösung in Röhre 8 keinen Zweifel aufkommen. Um auch noch die Kohlensäure zu bekommen, welche sich am Schlusse eines jeden Versuches in E und F befand, wurde nachträglich etwa ein Liter Luft ganz langsam durch E, F und die U-Röhren gesaugt. Das Ausbleiben einer Gewichtszunahme von 1 und 7 lieferte den Nachweis, dass einerseits der Lust, bevor sie in die Kaliröhren trat, alles Wasser entzogen worden war, dass sie andererseits das aus Röhre 2—5 entnommene Wasser vollständig an 6 wieder abgegeben hatte.

Auch die Dauer des Versuchs liess sich genau bestimmen; war der ganze Apparat richtig hergerichtet und namentlich die Einstellung der Ventile eine sorgfältige, so hatte man nur in der Secunde, in welcher der Versuch beginnen sollte, den zur Trachealcanüle führenden Schlauch mit dem Schenkel a des T-Rohres zu verbinden, am Ende des Versuches denselben zu entfernen.

Die aus der Gewichtszunahme von Röhre 2—6 gefundene CO² entsprach nun nicht der von dem Thiere während der Versuchszeit ausgeschiedenen CO², sondern, da das Thier atmosphärische Luft eingeathmet hatte, der vom Thiere ausgeschiedenen, plus der in der eingeathmeten Luft enthaltenen CO². Für spätere Versuche wird es gewiss wünschenswerth sein, auch die Inspirationsluft, ehe sie zur Athmung verwendet wird, von Kohlensäure zu befreien. Wir haben von dieser weiteren Complication des Apparates vor-

läufig abgesehen, da der durch den Kohlensäuregehalt der eingeschlossenen Luft bedingte Fehler unerheblich und bei der Verwerthung unserer Versuchsergebnisse mehr auf Änderungen der CO²-Ausgabe, als auf deren absoluten Werth Gewicht zu legen ist. Die Grösse des so eingeführten Fehlers ist annähernd zu schätzen. Nimmt man an, dass der CO²-Gehalt der Luft des gut ventilirten Beobachtungsraumes wie eine sorgfältige Bestimmung desselben ergab, zwischen $\frac{1}{2}$ und 1 pro Mille schwankt, so hat man, um den absoluten Werth der ausgeschiedenen CO² zu bekommen, von der durch Wägung gefundenen Grösse für jedes vom Versuchstier verbrauchte Liter Luft 0,001—0,002 Grm. in Abzug zu bringen. Durch diese für jeden Versuch angebrachte Correctur wird indessen das Resultat desselben kaum modifizirt.

Gehen wir nach diesen Vorbemerkungen über die von uns verwendeten Methoden zur Schilderung der einzelnen Versuche über. Dieselben zerfallen in zwei Reihen, je nachdem tropfbare Flüssigkeit oder Luft in die Pleurahöhle eingebracht, mit anderen Worten, je nachdem ein Hydro- oder Pneumothorax angelegt wurde.

I. Versuche über Hydrothorax.

Zur Erzeugung der dem Hydrothorax entsprechenden Verhältnisse bedienten wir uns der Cacaobutter. Dieselbe eignet sich zu derartigen Versuchen aus dem Grunde ganz besonders, weil ihr Schmelzpunkt eine solche Lage hat (30° C.), dass sie bei der Bluttemperatur eine leichtbewegliche Flüssigkeit darstellt, nach dem Tode des Thieres dagegen erstarrt. Man kann sich dann bei der Section des Thieres nicht nur über die Lagerung, welche die Flüssigkeit bei Lebzeiten eingenommen hatte, auf's Genaueste orientiren — eine Methode, deren sich Ferber¹⁾ zum Studium der Lagerungsverhältnisse pleuritischer Exsudate bei Hunden bediente — sondern man hat auch, und darauf kam es uns besonders an, in dem Gewichte der erstarrten Masse einen sicheren Maassstab für die Menge der wirklich in die Pleurahöhle injicirten Flüssigkeit. 0,90 Grm. der erstarrten Masse entsprechen 1 Ccm. injicirter Flüssigkeit. Die Injection selbst geschah in der Weise, dass man die geschmolzene und auf eine Temperatur von 38—40° erwärme Cacaobutter aus einem graduierten, in beliebiger Höhe festzustellenden Gefässen durch,

¹⁾ Die physikalischen Symptome der Pleuritis exsudativa. Marburg 1875.

einen Kautschukschlauch und eine feine in einen Intercostalraum eingestossene Glascanüle in die rechte Pleurahöhle einfließen liess.

In einer ersten Gruppe (A) von Versuchen über Hydrothorax wurde nur die Quantität der respirirten Luft, Frequenz und Tiefe der Atemzüge gemessen, in der zweiten (B) ausserdem die Menge der ausgeschiedenen Kohlensäure bestimmt.

A. Versuche über Hydrothorax mit Messung der respirirten Luftvolumina. (Versuch 1—6.)

Der Einzelversuch gestaltete sich in folgender Weise: Nach sorgfältiger Einstellung der Ventile wird der in Fig. 1 abgebildete Respirationsapparat in Gang gesetzt und der Stand der Gasuhr abgelesen und notirt. Mit der Secunde, in welcher der Versuch einschlagen soll, wird das zuvor tracheotomirte und in der Bauchlage aufgebundene Thier in den Apparat eingeschaltet, indem ein an der Trachealcanüle befestigter kurzer Kautschukschlauch über den Schenkel a des T-Rohres gestülpt wird. Sofort beginnt das Spiel der Ventile und des Manometers, und das Thier inspirirt durch den Apparat, während die Exspirationsluft durch E frei entweicht. Von Minute zu Minute wird die Atemfrequenz gezählt und der Stand der Gasuhr aufgeschrieben. Am Ende des Versuches — in der Regel nach 5—10 Minuten — wird das Thier aus dem Apparate entfernt. Aus dem Stande der Gasuhr zu Anfang und Ende des Versuchs wird die Menge der während der Versuchsdauer inspirirten Luft unmittelbar gefunden. Aus dieser Grösse lässt sich das durchschnittliche Minutenvolum (d. h. das Volum der während einer Minute inspirirten Luft), ebenso aus den einzelnen für die Atemfrequenz gefundenen Zahlen die mittlere Atemfrequenz pro Minute berechnen. Das Minutenvolum, dividirt durch die mittlere Atemfrequenz, ergibt die mittlere Atemtiefe, d. h. die Menge der durch einen einzigen Atemzug geschöpften Luft. Sind diese Werthe durch den ersten Versuch am Normalthier bestimmt, so wird demselben Thiere die gewünschte Menge von Flüssigkeit injicirt, und sofort ein zweiter, oder wenn die Wirkung verschieden grosser Ergüsse studirt werden soll, dritter und vierter Versuch genau in derselben Weise angestellt. Nach dem letzten Versuche wird das Thier getötet und bis zur Section in der Bauchlage belassen.

Wir geben die ausführliche Beschreibung eines Versuches nach dem Protocoll; die übrigen folgen in tabellarischer Zusammenstellung. (S. Tabelle I.)

1. Versuch.

Mittelgrosses Kaninchen, 1300 Gramm schwer. Das in der Gasuhr steckende Thermometer zeigt 20° C. Das Thier wird tracheotomirt und in der Bauchlage aufgebunden. Es athmet von 5 Uhr 30 Min. bis 5 Uhr 40 im Apparat:

Zeit.	Athemfrequenz.	Stand der Gasuhr in Theilstichen.
5 Uhr 30 Min.	—	34 03
5 - 31 -	76	34 31
5 - 32 -	72	34 61
5 - 33 -	70	34 91
5 - 34 -	—	35 16
5 - 35 -	70	35 44
5 - 36 -	72	35 75
5 - 37 -	—	36 06
5 - 38 -	72	36 31
5 - 39 -	72	36 61
5 - 40 -	70	36 90.

Die Athemfrequenz schwankte also zwischen 70 und 76, betrug durchschnittlich 72. Die in 10 Minuten verbrauchte Luftmenge entsprach 287 Theilstichen der Gasuhr = 7355 Cem., somit das Minutenvolum 735 Cem. Daraus ergiebt sich die durchschnittliche Athemtiefe = $\frac{735}{72} = 10,2$ Cem.

Nachdem 5 Cem. Cacaobutter (= $\frac{1}{288}$ des Körpergewichts) in die rechte Pleurahöhle injicirt waren, athmete das Thier von 6 Uhr 18 Min. bis 6 Uhr 28 Min. wiederum im Apparat:

Zeit.	Athemfrequenz.	Stand der Gasuhr.
6 Uhr 18 Min.	100	37 42
6 - 19 -	—	37 80
6 - 20 -	88	38 10
6 - 21 -	86	38 35
6 - 22 -	96	38 76
6 - 23 -	94	39 11
6 - 24 -	100	39 48
6 - 25 -	96	39 88
6 - 26 -	96	40 23
6 - 27 -	—	40 55
6 - 28 -	96	40 96.

Die Athemfrequenz schwankte somit zwischen 86 und 100, betrug im Mittel 95 (im Vergleich zum Normalthier Vermehrung um 23 = 31,9 pCt.). Luftmenge in 10 Minuten = 354 Theilstichen der Gasuhr, = 9034 Cem. Minutenvolum = 903 Cem. (Vermehrung um 168 Cem. = 22,8 pCt.). Durchschnitt-

liche Athemtiefe $= \frac{903}{95} = 9,5$ Ccm. (Verminderung um 0,7 Ccm. = 6,8 pCt.).

Nachdem weitere 5 Ccm. (im Ganzen 10 Ccm. = $\frac{1}{14}$ des Körpergewichts) in die rechte Pleurahöhle eingebracht waren, athmete das Thier von 6 Uhr 41 Min. bis 6 Uhr 51 Min. im Apparat:

Zeit.	Athemfrequenz.	Stand der Gasuhr.
6 Uhr 41 Min.	90	41 40
6 - 42 -	96	41 67
6 - 43 -	-	41 94
6 - 44 -	88	42 18
6 - 45 -	86	42 39
6 - 46 -	84	42 65
6 - 47 -	86	42 92
6 - 48 -	90	43 18
6 - 49 -	96	43 46
6 - 50 -	96	43 80
6 - 51 -	94	44 11.

Die Athemfrequenz schwankte zwischen 84 und 96, betrug im Mittel 91 (im Vergleich zum Normalthier Vermehrung um 19 = 26,3 pCt.) Luftmenge in 10 Minuten = 271 Theilstrichen = 6944 Ccm. Minutenvolum = 694 Ccm. (Verminderung um 41 Ccm. = 5,5 pCt.). Durchschnittliche Athemtiefe $= \frac{694}{91} = 7,6$ Ccm. (Verminderung um 2,6 Ccm. = 25,4 pCt.)

Bei der Section finden sich in der rechten Pleurahöhle 8 Gramm Cacao; die linke Pleurahöhle ist frei.

B. Versuche über Hydrothorax mit Messung der eingeaathmeten Luftvolumina und Bestimmung der ausgeaathmeten Kohlensäure.

(Versuch 7—11.)

Die Versuchsanordnung war genau dieselbe, wie bei A, nur dass ausserdem die Exspirationsluft durch den in Fig. 2 abgebildeten Apparat gesaugt, und die Kohlensäure in der ausführlich beschriebenen Weise bestimmt wurde.

Aus dem gefundenen Gewichte, welches der absoluten Menge der während der Versuchsdauer (15 Minuten) ausgeschiedenen CO² entsprach, wurde deren Volumen auf die Temperatur t des in der Gasuhr steckenden Thermometers und den beobachteten Barometerstand reducirt. Aus dem so reducierten Volumen der in 15 Minuten ausgeschiedenen CO², und dem von der Gasuhr direct abzulesenden Volumen der in derselben Zeit inspirirten Luft ergab sich das Volumen der auf 100 Ccm. inspirirter Luft ausgeschiedenen CO². Sofern man das Volumen der auf gleiche Temperatur und gleichen

Tabelle I. Versuche

Nr. des Ver- suchs.	Gewicht des Thieres in Gramm.	Menge der inji- cierten Flüssigkeit.	Dauer des Versuchs in Minuten.	Mittlere Atemfrequenz pro Minute		Minutenvolum.					
				Ccm.	$\frac{1}{n}$ des Körpergew.	absolut.	Zunahme derselben absolut.	in p.Ct.	Ccm.	Zunahme dieselben um Ccm.	p.Ct.
1 a	1300	0	15	72					735		
1 b		5	$\frac{1}{2\frac{5}{8}}$	95	+ 23	+ 31,9	903	+ 168	+ 22,8		
1 c		10	$\frac{1}{1\frac{4}{4}}$	91	+ 19	+ 26,3	694	- 41	- 5,5		
2 a	1400	0	10	149					1056		
2 b		10	$\frac{1}{1\frac{5}{5}}$	158	+ 9	+ 6,0	796	- 260	- 24,6		
3 a	1050	0	15	82					913		
3 b		6	$\frac{1}{1\frac{9}{4}}$	108	+ 26	+ 31,7	926	+ 13	+ 1,4		
3 c		16	$\frac{1}{7\frac{3}{3}}$	119	+ 37	+ 45,1	711	- 202	- 22,1		
4 a	1730	0	10	64					790		
4 b		12	$\frac{1}{1\frac{6}{0}}$	96	+ 32	+ 50,0	1178	+ 388	+ 49,1		
4 c		24	$\frac{3}{6}$	101	+ 37	+ 57,8	1020	+ 230	+ 29,1		
4 d		36	$\frac{3}{5\frac{3}{3}}$	102	+ 38	+ 59,3	945	+ 155	+ 19,6		
4 e		46	$\frac{1}{4\frac{1}{2}}$	85	+ 21	+ 32,8	861	+ 71	+ 9,0		
5 a	1170	0	10	111					832		
5 b		7	$\frac{1}{1\frac{8}{5}}$	114	+ 3	+ 2,7	935	+ 103	+ 12,3		
5 c		17	$\frac{1}{7\frac{1}{6}}$	116	+ 5	+ 4,5	744	- 88	- 10,5		
5 d		32	$\frac{1}{4\frac{1}{6}}$	107	- 4	- 3,6	536	- 296	- 35,5		
5 e		42	$\frac{1}{3\frac{1}{6}}$	86	- 25	- 22,5	366	- 466	- 56,0		
6 a	1314	0	10	73					713		
6 b		9	$\frac{1}{1\frac{6}{2}}$	102	+ 29	+ 39,7	835	+ 122	+ 17,1		
6 c		19	$\frac{1}{7\frac{7}{7}}$	101	+ 28	+ 38,6	906	+ 193	+ 27,0		
6 d		29	$\frac{1}{5\frac{6}{6}}$	77	+ 4	+ 5,4	454	- 259	- 36,3		
7 a	1253	0	15	126					830		
7 b		5	$\frac{1}{2\frac{7}{8}}$	138	+ 12	+ 9,5	1098	+ 268	+ 32,3		
8 a	1205	0	15	120					1071		
8 b		10	$\frac{1}{1\frac{3}{4}}$	154	+ 34	+ 28,3	994	- 77	- 7,1		
8 c		40	$\frac{1}{3\frac{1}{3}}$	152	+ 32	+ 26,6	304	- 767	- 71,6		
9 a	1616	0	15	152					730		
9 b		20	$\frac{1}{8\frac{1}{8}}$	118	- 34	- 22,3	597	- 133	- 18,2		
9 c		30	$\frac{1}{5\frac{1}{8}}$	84	- 68	- 44,7	267	- 463	- 63,4		
10 a	1480	0	15	134					1167		
10 b		6	$\frac{1}{2\frac{1}{4}}$	124	- 10	- 7,4	1200	+ 33	+ 2,8		
10 c		15	$\frac{1}{1\frac{6}{9}}$	126	- 8	- 5,9	1452	+ 285	+ 24,4		
11 a	1415	0	15	82					786		
11 b		7	$\frac{1}{2\frac{2}{4}}$	68	- 14	- 17,0	839	+ 53	+ 6,7		
11 c		16	$\frac{1}{9\frac{8}{8}}$	82	± 0	± 0	827	± 41	$\pm 5,2$		

über Hydrothorax.

A t h e m t i e f e. Ccm.	Zunahme derselben um Ccm. pCt.		Kohlensäureausscheidung. Absoluter Werth für 15 Minuten.			pCt.-Gehalt d. Exspirations- luft an CO ₂ . Vol. Zu- nahme pCt.	B e m e r k u n g e n.
	Grm.	Ccm.	Zu- nahme in pCt.				
10,2							
9,5	-0,7	- 6,8					
7,6	-2,6	-25,4					
7,0							
5,0	-2,0	-28,5					
11,1							
8,6	-2,5	-22,5					
6,0	-5,1	-45,9					
12,3							
12,3	+ 0	+ 0					
10,1	-2,2	-17,8					
9,3	-3,0	-24,3					
10,1	-2,2	-17,8					
7,5							
8,2	+0,7	+ 9,3					
6,4	-1,1	-14,6					
5,0	-2,5	-33,3					
4,2	-3,3	-44,0					
9,8							
8,2	-1,6	-16,3					
9,0	-0,8	- 8,1					
5,9	-3,9	-39,7					
6,6							
7,9	+1,3	+19,7	0,725	404		3,2	
8,9			0,700	390	- 3,4	2,4	-0,8
6,4	-2,5	-28,0	0,684	381		2,3	
2,0	-6,9	-77,5	0,668	372	- 2,3	2,5	+0,2
4,8			0,266	148	-61,1	3,2	+0,9
5,0	+0,2	+ 4,1	0,760	423		3,9	
3,2	-1,6	-33,3	0,361	201	-52,5	2,2	-1,7
8,7			0,093	52	-87,7	1,3	-2,6
9,7	+1,0	+11,5	0,755	419		2,4	
11,5	+2,8	+32,1	0,834	474	+13,1	2,6	+0,2
9,6			0,836	464	+10,7	2,1	-0,3
12,3	+2,7	+28,1	0,494	274		2,3	
10,1	+0,5	+ 5,2	0,656	364	+32,7	2,9	+0,6
			0,697	387	+41,0	3,1	+0,8

Bei der Section finden sich 8 Grm. Cacabutter in der rechten Pleurahöhle.

Herz nach links u. oben verschoben liegt ganz nach links v. d. Mittellinie. In d. vorderen (i. d. Bauchlage unteren) Abschnitt. der r. Pleurahöhle 15 Grm. d. Injectionsmasse. R. Lunge liegt luftleer neben der Wirbelsäule; auch die l. Lunge in ihren vorderen Abschnitten luftleer, comprimirt. Zwerchfell rechts tiefer, wie links, aber nach oben convex. Herz nach oben und links dislocirt. L. Lunge klein, aber noch lufthaltig. In der rechten Pleurahöhle finden sich die injicirten Massen zu einem 38 Grm. wiegenden Abguss erstarrt. Derselbe umgibt (in der Bauchlage) wie eine nach oben offene Kapsel die r. Lunge, deren hintere Abschnitte aus der Masse herausragen. R. Lunge selbst noch lufthaltig. Verhältniss im Wesentlichen, wie im vorigen Fall. Gewicht der erstarrten Masse = 36 Grm. Rechte Lunge völlig luftleer. Linke Lunge comprimirt, aber noch lufthaltig.

In der rechten Pleurahöhle 24 Grm. Cacao. Rechte Lunge völlig luftleer; linke Lunge durchaus lufthaltig.

Beide Lungen lufthaltig. In der rechten Pleurahöhle 4,5 Grm. Cacao. Gewicht der erstarrten Masse 34,5 Grm.

Während des Versuches c erstickte das Thier. — In der rechten Pleurahöhle 25 Grm. Cacao. Beide Lungen noch lufthaltig, die rechte weniger als die linke. In der rechten Pleurahöhle 13 Grm. Cacao.

In der rechten Pleurahöhle 15 Grm. Cacao. Rechte Lunge hyperämisch und fast völlig luftleer; linke Lunge lufthaltig. Herz nach links und oben verdrängt.

Druck und Feuchtigkeitsgehalt reduciren In- und Exspirationsluft als annähernd gleich betrachten darf, drückte diese Zahl gleichzeitig annähernd den relativen CO₂-gehalt der Exspirationsluft in Volumprozenten aus.

Die Körpertemperatur des Versuchsthiere, die von Zeit zu Zeit in *ano* gemessen wurde, schwankte während der Dauer eines ganzen Versuches höchstens um einige Zehntelgrade.

Die Betrachtung der Tab. I. lehrt zunächst, dass schon beim Normalthiere sämmtliche in Betracht kommenden Werthe, sowohl die Quantität der in der Minute respirirten Luft (Minutenvolum), als auch Frequenz und Tiefe der Athmung, desgleichen die absolute Menge der während der Versuchsdauer (15 Minuten) ausgeschiedenen CO₂, und der Kohlensäuregehalt der Exspirationsluft in Vol.-pCt. bedeutenden Schwankungen unterliegen. Die Einzelheiten lassen sich in übersichtlicher Weise an Tab. II. erkennen, in welcher ausser den absoluten Werthen, die bei den Normalthieren für Athemfrequenz, Athemtiefe, Minutenvolum und ausgeschiedene CO₂ wirklich gefunden wurden, für das Minutenvolum und die in der Viertelstunde exhalirte CO₂ auch die auf 1 Kilogramm Körpergewicht umgerechneten Werthe angegeben sind. Die Versuche sind nach dem Körpergewicht der Versuchstiere geordnet.

Tabelle II.

Nr. des Vers.	Gewicht des Thieres in Grm.	Minutenvolum in Ccm. gefunden. auf 1 Kilo berechn.	Athem- fre- quenz.	Athem- tiefe in Ccm.	Ausgeatmete CO ₂ pro 15 Minuten in Gramm. gefunden.	CO ₂ -Gehalt der Exspira- tionsluft in Vol.-pCt. auf 1 Kilo berechnet.
3	1050	913	869	82	11,1	
5	1170	832	711	111	7,5	
8	1205	1071	888	120	8,9	0,567
7	1253	830	662	126	6,6	0,578
1	1300	735	565	72	10,2	2,3
6	1314	713	542	73	9,8	3,2
2	1400	1056	754	149	7,0	
11	1415	786	555	82	9,6	0,349
10	1480	1167	788	134	8,7	0,510
9	1616	730	451	152	4,8	2,4
4	1730	790	456	64	12,3	0,470
						3,9

Das wirklich gefundene Minutenvolum schwankt scheinbar regellos zwischen 713 und 1167 Ccm., liegt in der Mehrzahl der Fälle zwischen 700 und 830; das auf 1000 Grm. Körpergewicht

reducirte Minutenvolum schwankt zwischen 451 und 888 Cem.; es scheint (mit Ausnahme der Versuche 2 und 10) mit zunehmendem Körpergewichte abzunehmen.

Auch die Athemfrequenz und die Tiefe des einzelnen Athemzugs bewegen sich innerhalb eines weiten Spielraums; erstere zwischen 64 und 152 pro Minute, letztere zwischen 4,8 und 12,3 Cem. Der grössten Frequenz entspricht die geringste Tiefe (Vers. 9) und umgekehrt der kleinsten Frequenz die grösste Tiefe (Vers. 4, 3, 1, 6). Dagegen liess sich eine bestimmte Beziehung der Frequenz oder Tiefe, der beiden das Minutenvolum bedingenden Grössen, zum Körpergewichte nicht nachweisen. Annähernd gleich grosse Minutenvolumina werden bald durch geringe Frequenz bei bedeutender Tiefe, bald durch zahlreiche aber oberflächliche Athemzüge gewonnen. (Vgl. Vers. 4 und 9.)

Der absolute Werth der in der Viertelstunde ausgeatmeten Kohlensäure liegt zwischen 0,494 und 0,760 Grm., er nimmt im allgemeinen mit zunehmendem Körpergewichte zu. Rechnet man die betreffenden Zahlen auf 1 Kilogramm Körpergewicht um, so liegen sie zwischen 0,349 und 0,578, und scheinen, wie das beim Minutenvolum der Fall war, mit zunehmendem Körpergewichte abzunehmen.

Der Procentgehalt der Exspirationsluft an CO² schwankt zwischen 2,3 und 3,9. Er steht in unseren Versuchen im umgekehrten Verhältniss zur Athemtiefe. Dem grössten Werthe 3,9 entspricht die geringste Athemtiefe (4,8 Cem.), dem kleinsten 2,3 die grösste Athemtiefe 8,9 und 9,6; dem Werthe 3,2 die Tiefe 6,6.

Die Aenderungen, welche alle diese Grössen nach Injection von verschiedenen Mengen von Flüssigkeit bei ein und demselben und bei verschiedenen Versuchstieren erleiden, lassen sich aus Tab. III. in bequemer Weise ersehen.

Den besten Ausgangspunkt der Betrachtung wird hierfür ebenso wie beim Normalthiere die Menge der in der Minute verbrauchten Luft bieten. Es ergab sich im Allgemeinen, dass diese Grösse bei mässigen Injectionen eine Zunahme, bei bedeutenden dagegen eine Abnahme erfuhr. Es spricht sich dieses Verhalten besonders klar in jedem einzelnen

Tabelle III.

Nr. des Ver- suchs.	Menge der injizierten Flüssigkeit in Ccm. Bruchtheilen d. Körpergew.	Z u - des Minu- tenvol. in pCt.	o d e r Fréquenz in pCt.	A b n a h m e der Tiefe ausgeschiede- nen CO ² in pCt.	d. CO ² -Gehal- tes d. Exspir.- Luft in pCt.
{ 4 b	12	$\frac{1}{6}0$	+ 49,1	+ 50,0	± 0
{ 4 c	24	$\frac{3}{5}0$	+ 29,3	+ 57,8	- 17,8
{ 4 d	36	$\frac{5}{3}3$	+ 19,6	+ 59,3	- 24,3
{ 4 e	46	$\frac{1}{4}2$	+ 9,0	+ 32,8	- 17,8
7 b	5	$\frac{1}{2}8$	+ 32,3	+ 9,5	+ 19,7
{ 10 b	6	$\frac{2}{7}4$	+ 2,8	- 7,4	+ 11,5
{ 10 c	15	$\frac{1}{10}9$	+ 24,4	- 5,9	+ 32,1
{ 11 b	7	$\frac{2}{1}4$	+ 6,7	- 17,0	+ 28,1
{ 11 c	16	$\frac{9}{5}5$	+ 5,2	+ 0,0	+ 5,2
2 b	10	$\frac{1}{5}5$	- 24,6	+ 6,0	- 28,5
{ 8 b	10	$\frac{1}{3}4$	- 7,1	+ 28,3	- 28,0
{ 8 c	40	$\frac{3}{3}3$	- 71,6	+ 26,6	- 77,5
{ 9 b	20	$\frac{1}{8}9$	- 18,2	- 22,3	+ 4,1
{ 9 c	30	$\frac{5}{9}9$	- 63,4	- 44,7	- 33,3
{ 1 b	5	$\frac{2}{8}8$	+ 22,8	+ 31,9	- 6,8
{ 1 c	10	$\frac{1}{4}4$	- 5,5	+ 26,3	- 25,4
{ 3 b	6	$\frac{1}{10}4$	+ 1,4	+ 31,7	- 22,5
{ 3 c	16	$\frac{1}{7}3$	- 22,1	+ 45,1	- 45,9
{ 5 b	7	$\frac{1}{18}5$	+ 12,3	+ 2,7	+ 9,3
{ 5 c	17	$\frac{1}{7}6$	- 10,5	+ 4,5	- 14,6
{ 5 d	32	$\frac{1}{4}6$	- 35,5	- 3,6	- 33,3
{ 5 e	42	$\frac{3}{6}6$	- 56,0	- 22,5	- 44,0
{ 6 b	9	$\frac{1}{18}8$	+ 17,1	+ 39,7	- 16,3
{ 6 c	19	$\frac{1}{7}7$	+ 27,0	+ 38,6	- 8,1
{ 6 d	29	$\frac{1}{5}6$	- 36,3	+ 5,4	- 39,7

der Versuche 1, 3, 5 und 6 aus, in denen es gelungen war, bei ein und demselben Thiere zuerst durch geringfügige Einspritzungen (5, 6, 7, 9 Ccm. resp. $\frac{1}{2}8$, $\frac{1}{10}9$, $\frac{1}{18}5$, $\frac{1}{18}2$ des Körpergewichtes) eine Steigerung, dann durch weitere Injectionen (10, 16, 17, 29 Ccm. = $\frac{1}{4}4$, $\frac{1}{3}3$, $\frac{1}{6}6$, $\frac{3}{6}6$ des Körpergewichtes) eine Verminderung des Minutenvolums zu erzielen; ferner aber auch, wenn man jene Versuche einander gegenüberstellt, in denen entweder nur Vermehrung, oder nur Verminderung des Minutenvolums beobachtet wurde. In der ersten Reihe der Fälle (4, 7, 10, 11) wurden (mit Ausnahme von 4) überhaupt nur müssige Mengen (5, 15, 16 Ccm. = $\frac{1}{2}8$, $\frac{1}{10}9$, $\frac{1}{8}8$) injizirt, in der zweiten dagegen (2, 8, 9) war gleich die erste Injection eine nicht unbeträchtliche, betrug 10, 10 und 20 Ccm., resp. $\frac{1}{5}5$, $\frac{1}{4}4$, $\frac{1}{8}8$ des Körpergewichtes. Diese Zahlen lehren, dass die Grenze, bei welcher die Verminderung anfängt, bei verschiedenen Thieren etwas verschieden liegt,

wenn man das Verhältniss des Gewichtes der injicirten Flüssigkeit zum Körpergewicht als Maassstab für die Grösse der Ansammlung benützt; im Allgemeinen aber bewirkten Injectionen, die weniger als $\frac{1}{10}$ des Körpergewichtes betrugten, eine Steigerung, solche die mehr betrugten, eine Herabsetzung des Minutenvolums. Doch kann ausnahmsweise, wie in Versuch 10, 11 und 4 selbst bei Injectionen von 15, 16 und 46 Ccm. ($\frac{1}{10}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{2}$ des Körpergewichtes), eine Steigerung beobachtet werden, während Ausnahmen nach der entgegengesetzten Richtung, so dass schon ganz kleine Ergüsse eine Verminderung erzielt hätten, niemals vorkamen. Der Werth, um welchen das Minutenvolum bei kleinsten und mässigen Injectionen zunahm, betrug 1,4—32 pCt., und wenn man Versuch 4 mit in Rechnung zieht, bis 49,1 pCt. Die Abnahme des Minutenvolums bei grösseren Injectionen betrug 5,5—71,6 pCt. Sie entsprach im Grossen und Ganzen der Menge der injicirten Flüssigkeit, ein Verhältniss, das namentlich in jenen Fällen klar in die Augen springt, in denen, wie in Versuch 5, 8 und 9 an ein und demselben Thiere mehrfache Injectionen gemacht wurden. In Versuch 5 z. B. hatte die Abnahme nach Einspritzung von 17, 32 und 42 Ccm. 10,5 pCt., 35,5 pCt. und 56 pCt. betragen.

Weniger constant, als die Veränderungen des Minutenvolums, waren diejenigen der Athemfrequenz und Athemtiefe. Zunahme des Minutenvolums (oder überhaupt der während der Zeiteinheit oder der Versuchsdauer verbrauchten Luftmenge) wurde bald durch Wachsen sowohl der Frequenz als Tiefe (7 b, 5 b), bald durch Zunahme der Frequenz bei gleichbleibender (4 b), oder abnehmender Tiefe (4 c, 4 d, 4 e, 1 b, 3 b, 6 b, 6 c), bald durch Zunahme der Tiefe bei gleichbleibender (11 c), oder abnehmender (10 b, 10 c, 11 b) Frequenz erreicht. In einem der zuletzt erwähnten Fälle (Vers. 10) bestand allerdings schon beim Normalthiere eine ungewöhnlich hohe Athemfrequenz. Verminderung des verbrauchten Luftvolums dagegen resultirte entweder aus Abnahme der Frequenz und Tiefe (9 c, 5 d, 5 e), oder aus abnehmender Frequenz bei zunehmender Tiefe (9 b), oder aus abnehmender Tiefe bei zunehmender Frequenz (2 b, 8 b, 8 c, 1 c, 3 c, 5 c, 6 d). Am häufigsten fiel also sowohl die bei kleineren Injectionen zu beobachtende Steigerung, als auch die

bei massenhafteren Ergüssen eintretende Abnahme des Minutenvolums mit Steigerung der Zahl, aber Abnahme der Tiefe der Athemzüge zusammen.

Die absolute Menge der ausgeschiedenen CO² erlitt bei grösseren Injectionen eine Herabsetzung (8c, 9b, 9c), entsprechend etwa der Verminderung des Minutenvolums; bei kleinen und mittelgrossen Einspritzungen dagegen erfuhr sie eine kaum nennenswerthe Abnahme (7 b, 8 b), oder selbst eine geringe (10 b, 10 c), in zwei Fällen (11 b, 11 c), eine nicht unbedeutende Steigerung.

Der Prozentgehalt der Exspirationsluft an CO² liess keine regelmässige Aenderung erkennen.

Mit diesen Resultaten stimmen die Ergebnisse, welche Guttmann (l. c.) bei Injection grösserer Mengen von Gummilösung in die Pleurahöhle von Kaninchen erzielte, insofern überein, als sich bei seinen beiden einschlägigen Versuchen das Minutenvolum in Folge dieses Eingriffes auf den 3.—5. Theil verminderte. Dabei erfuhr in dem einen Falle sowohl die Athemfrequenz als die Athemtiefe, in dem anderen nur die letztere eine deutliche Abnahme. Dagegen konnte Guttmann bei einem anderen Versuche schon nach Injection geringer Flüssigkeitsmengen (12 Ccm.) Verlangsamung der Respiration und Sinken des Minutenvolums auf den vierten Theil seines ursprünglichen Werthes nachweisen. Dieser letztere Versuch steht mit den unserigen im Widerspruche. Allein das abweichende Resultat Guttmann's findet sicherlich seine Erklärung in den grossen Widerständen, welche der von ihm nach dem Vorgange Rosenthal's benützte Respirationsapparat der Athmung entgegenseetzt. Er liess die Thiere durch Müller'sche Ventile athmen und verband das Inspirationsventil mit einem Spirometer. Guttmann selbst bezeichnet die Widerstände dieses Apparates als nicht unerhebliche; demgemäß zeigten bereits seine Normalthiere beträchtliche Verlangsamung der Respiration und geringe Minutenvolumina. Schon zur Ueberwindung der im Apparate gelegenen Hindernisse mussten sie den grössten Theil der für die Athmung zur Verfügung stehenden Hilfskräfte in Anspruch nehmen. Kam nun noch ein zweites, an sich unbedeutendes, die Athmung erschwerendes Moment hinzu, so war eine abermalige Steigerung der Muskelthätigkeit nur in beschränktem Umfange möglich; eine

Compensation wurde deshalb nicht erreicht, das Versuchsthier wurde vielmehr trotz geringfügiger Injection alsbald dyspnoisch und drohte zu ersticken. Dieser dritte Versuch Guttmann's kann somit unsere an zahlreichen Thieren in übereinstimmender Weise gefundenen Ergebnisse nicht beeinflussen, während seine beiden anderen Versuche mit den unserigen übereinstimmen.

Fasst man die Ergebnisse unserer auf Hydrothorax bezüglichen Experimente kurz zusammen, so verdient zunächst die Störung der Athemmechanik hervorgehoben zu werden. Neben der in der Regel eintretenden Vermehrung der Respirationsfrequenz und Abnahme der Athemtiefe ergibt sich als auffälliges Resultat eine Zunahme des Minutenvolums bei kleineren, eine Abnahme desselben bei grösseren Ergüssen.

Die Vermehrung des Minutenvolums bei kleinen Ergüssen liefert einen neuen Beweis für die Fähigkeit des thierischen Organismus, die Wirkung krankhafter Störungen durch angestrengte Thätigkeit der entsprechenden Apparate zu compensiren. Die in die Pleurahöhle gelangte Flüssigkeit wird als ein Athmungshinderniss aufgefasst werden müssen. Denn einerseits gestattet sie der Lunge sich in gewissem Grade zu retrahiren; andererseits verschiebt sie die Gleichgewichtslage, um welche der Thorax bei In- und Expiration oscillirt, wenn auch nur in geringem Grade, in der Richtung gegen die Inspirationsstellung hin. Die weitere Folge dieses Hindernisses ist eine verstärkte Thätigkeit der Athemmuskeln, welche, meistens unter Zunahme der Athemfrequenz, das Minutenvolum erhöht. Dabei kommen allerdings die Eigenschaften der in die Pleurahöhle eingeführten Flüssigkeit, ihre Incompressibilität und leichte Beweglichkeit, noch besonders in Betracht, weil durch diese die beschleunigten und zum Theil ausgiebigeren respiratorischen Excursionen der Wandungen der Brusthöhle ohne Verlust auf die Lungen übertragen werden, und gleich grosse Volumschwankungen derselben zur Folge haben. An welchem Punkte und in welcher Weise die compensatorisch erhöhte Leistung der Athemmusculatur ausgelöst wird, darüber können wir beim Mangel einschlägiger Versuche keine bestimmten Angaben machen. Mechanische Reizung der peripheren Verzweigungen des Vagus oder anderer sensibler Nerven, Erregung des Respirationscentrums durch eine geringe Zunahme der Kohlensäurespannung des Blutes wären die zunächst in's Auge zu fassenden Möglichkeiten.

Auch bei grossen Ergüssen, welche das Minutenvolum constant herabsetzen, wird eine erhöhte Thätigkeit der Athemmusculatur ausgelöst, die sich in frequenter und angestrengter Respiration zu erkennen giebt. Aber diese Muskelanstrengung ist in Bezug auf die ausgiebige Lüftung der Lungen eine vergebliche. Durch den im Vergleich zum Brustraume massenhaften Erguss wird nicht nur die Lunge stark comprimirt, sondern auch der Thorax dauernd in Inspirationsstellung fixirt, aus der ihn selbst die stärkste Action der Athemmusculatur nur sehr wenig zu verschieben vermag. Dazu kommt, dass in solchen Fällen durch starke Verdrängung des Mediastinums und Herzens nach der gesunden Seite auch die Function der anderen Lunge wesentlich beeinträchtigt wird.

Entsprechend der Veränderung der Athemmechanik fanden sich nun auch Änderungen der Kohlensäureausscheidung, gegenüber der Ausscheidung des Normalthieres. Bei kleineren Ergüssen konnte in der Regel eine Zunahme der pro 15 Minuten ausgeschiedenen Kohlensäure, bei grösseren Ergüssen regelmässig eine Abnahme derselben nachgewiesen werden.

Die bei kleineren Ergüssen in der Regel beobachtete Zunahme der Kohlensäureausscheidung lässt sich in verschiedener Weise deuten. Einerseits könnte die ausgiebige Ventilation der Lungen den Spannungsunterschied zwischen der CO_2 der Lungenluft und derjenigen des Blutes vergrössern und damit die Ausscheidung der angesammelten CO_2 begünstigen, andererseits die erhöhte Muskelthätigkeit eine gesteigerte Bildung der CO_2 zur Folge haben. Für die Verminderung der Kohlensäureabgabe bei grossen Ergüssen steht soviel jedenfalls fest, dass sie zum Theil auf einer durch die Störung der Athemmechanik bedingten Herabsetzung der Ausscheidung beruht. Ob auch die Kohlensäurebildung eine verminderde ist, darüber geben unsere Versuche, die vorläufig nur die Kohlensäureausscheidung in der auf die Anlegung des Hydrothorax unmittelbar folgenden Zeitperiode bestimmt haben, keinen Aufschluss. Diese Frage wird sich erst durch eine Reihe weiterer Versuche entscheiden lassen, welche festzustellen haben, ob die Verminderung der Kohlensäureabgabe bei grossen Flüssigkeitsansammlungen sich über längere Zeiträume erhält, ohne dass das Thier zu Grunde geht, oder ob die in Folge der gehinderten Ausscheidung erhöhte

Spannung der CO² im Blute in einer späteren Periode wieder eine Vermehrung der Kohlensäureabgabe herbeiführt.

II. Versuche über Pneumothorax.

In den ersten Versuchen, welche wir über Pneumothorax anstellten, wurde die eine Brusthöhle des Versuchstieres (Kaninchen) durch einen ausgiebigen Schnitt eröffnet. Derselbe verlief innerhalb eines Intercostalraumes und stellte eine etwa 1,5 Ctm. lange klaffende Wunde dar, durch welche die Luft mit schwachem zischendem Geräusche ein- und austreten konnte. Die betreffende Lunge retrahirte sich sofort; allein sie lag nicht vollständig bewegungslos der Wirbelsäule an; vielmehr fanden auch in der eröffneten Pleurahöhle Druckschwankungen statt, die gross genug waren, um an der retrahirten Lunge geringfügige respiratorische Volumenschwankungen hervorzurufen. Es sollen die so geschaffenen Bedingungen als „offener Pneumothorax“ bezeichnet werden. Späterhin wurde auch ein „geschlossener Pneumothorax“¹⁾ in der Weise erzeugt, dass zunächst eine feine Glascanüle, welche durch einen Kautschukschlauch mit einem Wassermanometer in Verbindung stand, schräg durch einen Intercostalraum eingestossen wurde. War die Canüle in die Pleurahöhle eingedrungen, so machte sich deren negativer Druck dadurch bemerkbar, dass die Flüssigkeit in dem mit der Canüle in Verbindung stehenden Schenkel des Manometers stieg. Liess man alsdann nach Ausschaltung des Manometers durch die Canüle Luft in die Pleurahöhle einstreichen, bis die Lunge retrahirt war, so hatte man, sobald die Canüle aus der Brustwand ausgezogen wurde, einen geschlossenen Pneumothorax, indem die feine Stichwunde sich sofort verschloss.

Die Anordnung der Einzelversuche gestaltete sich im Uebrigen genau ebenso, wie sie für die Versuche über Hydrothorax ausführlich erörtert wurde, mit dem einzigen Unterschiede, dass an Stelle der Injection von Flüssigkeit die Anlegung eines geschlossenen oder offenen Pneumothorax trat. Bei einer Anzahl von Versuchen wurde

¹⁾ Auf die Anlegung eines „offenen“ und „geschlossenen“ Pneumothorax wurde der eine von uns (W.) durch physikalische Betrachtungen und klinische Erfahrungen geführt, welche den Gegenstand einer besonderen Arbeit bilden sollen. Dort ist auch der Ort, auf die Verschiedenheit der klinischen Erscheinungen beim offenen und geschlossenen Pneumothorax näher einzugehen.

Tabelle IV. Versuche

Nr. des Ver- suchs.	Gewicht des Thieres in Grm.	Anordnung des Versuches.	Dauer desselben in Minuten.	Minutenvolum.		
				Ccm.	Zunahme um Ccm.	p.Ct.
12 a	?	Normalthier	25	648	-365	-56
12 b		Offener Pneumothorax	20	283		
13 a	?	Normalthier	15	626	-397	-63
13 b		Offener Pneumothorax	15	229		
14 a	?	Normalthier	15	592	-451	-76
14 b		Offener Pneumothorax	15	141		
15 a	1308	Normalthier	10	991	+285	+29
15 b		Geschlossener Pneumothorax	10	1276		
16 a	900	Normalthier	15	612	+ 42	+ 7
16 b		Geschlossener Pneumothorax	15	654	-376	-61
16 c		Offener Pneumothorax	7	236		
17 a	1104	Normalthier	10	868	+ 63	+ 7
17 b		Geschlossener Pneumothorax	15	931	-365	-42
17 c		Offener Pneumothorax	15	503		
18 a	1300	Normalthier	11	790	+ 27	+ 3
18 b		Geschlossener Pneumothorax	22	817	-354	-45
18 c		Offener Pneumothorax	10	436		
19 a	950	Normalthier	10	955	- 2	-0,2
19 b		Geschlossener Pneumothorax	16	953	-318	-33
19 c		Offener Pneumothorax	10	637		
20 a	995	Normalthier	15	905	+120	+14
20 b		Geschlossener Pneumothorax	15	1025	-272	-30
20 c		Offener Pneumothorax	15	633		
21 a	1010	Normalthier	10	957	-107	-11
21 b		Offener Pneumothorax mit kleiner Fistel	29	850		
21 c		Offener Pneumothorax mit grossem Schnitt	10	430	-527	-55
22 a	1505	Normalthier	15	849	-233	-27
22 b		Offener Pneumothorax	15	616		
23 a	1460	Normalthier	15	855	+154	+18
23 b		Geschlossener Pneumothorax	15	1009		
24 a	1255	Normalthier	15	884	- 10	-1,1
24 b		Geschlossener Pneumothorax	15	874		
25 a	1330	Normalthier	15	1085	+179	+16,5
25 b		Geschlossener Pneumothorax	15	1264	-497	-45,8
25 c		Offener Pneumothorax	15	588		
26 a	1710	Normalthier	15	1206	+270	+22,3
26 b		Geschlossener Pneumothorax	15	1476	-414	-34,3
26 c		Offener Pneumothorax	15	792		

Über Pneumothorax.

Mittlere Athemfrequenz pro Minute			Athemtiefe.			Kohlensäureausscheidung.			pCt.-Gehalt d. Exspirationsluft an CO ₂ .	
absolut.	Zunahme absolut.	in pCt.	Cem.	Zunahme um Cem.	pCt.	Absoluter Werth für 15 Minuten.	Cem.	Zunahme in pCt.	Vol.-pCt.	Zu-nahme.
87			7,4							
74	-13	-15	3,6	-3,8	-51					
68			9,2							
52	-16	-23	4,4	-4,8	-52					
50			11,8							
60	+10	+20	2,3	-9,5	-80					
88			11,2							
107	+19	+22	11,9	+0,7	+ 6					
82			7,5							
111	+29	+35	5,9	-1,6	-21					
36	-46	-56	6,5	-1,0	-13					
81			10,7							
86	+ 5	+ 6	10,8	+0,1	+0,9					
64	-17	-21	7,8	-2,9	-27					
65			12,2							
112	+47	+72	7,3	-4,9	-40					
61	- 4	- 6	7,1	-5,1	-42					
83			11,5							
118	+35	+42	8,0	-3,5	-30					
77	- 6	- 7	8,3	-3,2	-28					
92			9,8							
105	+13	+14	9,8	± 0	± 0					
105	+13	+14	5,7	-4,1	-42					
84			11,4							
119	+35	+41	7,1	-4,3	-38					
75	- 9	-11	5,7	-5,7	-50					
138			6,1							
62	-76	-55	9,9	+2,8	+45,9	0,526	294		2,3	
99			8,6			0,237	132	-54,9	1,4	-0,9
94	- 5	- 5	10,7	+2,1	+24,4	0,573	319		2,5	
75			11,8			0,703	391	+22,6	2,6	+0,1
82	+ 7	+9,3	10,7	-1,1	- 9,3	0,554	307		2,3	
88			12,3			0,649	360	+17,1	2,7	+0,4
95	+ 7	+7,9	13,3	+1,0	+ 8,1	0,581	321		1,9	
71	-17	-19,3	8,3	-4,0	-32,5	0,717	396	+23,4	2,0	+0,1
144			8,4			0,299	165	-48,5	1,8	-0,1
156	+12	+ 8,3	9,5	+1,1	+13,1	0,981	548		3,0	
98	-46	-31,9	8,1	-0,3	- 3,5	0,924	516	- 5,8	2,3	-0,7
						0,324	181	-66,9	1,5	-1,5

am gleichen Thiere zuerst ein geschlossener, dann ein offener Pneumothorax hergestellt, so dass eine directe Vergleichung dieser beiden Eingriffe an ein und demselben Thiere ermöglicht wurde. Die Bestimmung der ausgeatmeten Kohlensäure beschränkte sich indessen auch hier auf einen Theil der Experimente (Vers. 22—26); in anderen (Vers. 12—21) wurden nur Minutenvolum, Athemfrequenz und Athemtiefe berücksichtigt. Die Körpertemperatur der Thiere in *ano* gemessen, ergab zu Anfang der Versuche normale Werthe, und schwankte weiterhin nur um einige Zehntelgrade. Die Tabelle IV. (s. vorige Seite) giebt zunächst die gewonnenen Versuchsresultate wieder.

Aus der Betrachtung dieser Tabelle ergiebt sich, dass auch bei den zur Erzeugung eines Pneumothorax verwandten Thieren, bevor noch irgend ein Eingriff gemacht worden war, sämmtliche uns interessirenden Werthe erheblichen Schwankungen unterlagen. Zur besseren Veranschaulichung der letzteren sind in der folgenden Tabelle V. die für die Normalthiere der Versuche 12—26 gefundenen Werthe zusammengestellt. Die einzelnen Versuche sind nach dem Körpergewicht der Thiere angeordnet. Ausserdem wurden für das Minutenvolum und für die in der Viertelstunde ausgeschiedene Kohlensäure die auf 1 Kilogramm Körpergewicht reducirten Werthe beigefügt.

Tabelle V.

Nr. des Ver- suchs.	Körper- gewicht in Grm.	Minutenvolum in gefunden. Ccm. auf 1 Kilo berechn.	Athem- frequenz.	Athem- tiefe in Ccm.	Ausgeatmete CO ₂ pro 15 Min. in Grm. gefunden.	CO ₂ -Gehalt der Exspira- tionsluft in Vol.-pCt.
16	900	612	680	82	7,5	
19	950	955	1005	83	11,5	
20	995	905	909	92	9,8	
21	1010	957	947	84	11,4	
17	1104	868	786	81	10,7	
24	1255	884	704	75	11,8	0,441
18	1300	790	607	65	12,2	0,554
15	1308	991	757	88	11,2	
25	1330	1085	815	88	12,3	0,436
23	1460	855	585	99	8,6	0,573
22	1505	849	564	138	6,1	0,392
26	1710	1206	705	144	8,4	2,5
12	?	648		87	0,526	2,3
13	?	626		68	0,349	
14	?	592		50	0,981	3,0
				11,8	0,573	

Die hier gegebenen Werthe stimmen im Allgemeinen mit denjenigen überein, welche für Normalthiere gelegentlich der Versuche über Hydrothorax (s. Tab. II) beobachtet wurden. Sie unterliegen aber auch, wie jene, beträchtlichen Schwankungen, welche selbst dann nicht verschwinden, wenn dieselben auf ein Kilo Körpergewicht reducirt werden. Das wirklich gefundene Minutenvolum bewegt sich zwischen 592 und 1206 Ccm. und liegt in der Mehrzahl der Fälle zwischen 800 und 1000 Ccm. Auf ein Kilo Körpergewicht reducirt, beträgt es zwischen 564 und 1005 Ccm. und nimmt im Allgemeinen mit zunehmendem Körpergewicht ab. Ähnliche Differenzen ergaben sich bezüglich der Athemfrequenz und Athemtiefe. Erstere bewegt sich zwischen 50 und 144, in der Mehrzahl der Fälle zwischen 60 und 90, während die letztere verschiedene Werthe zwischen 6,1 und 12,3 Ccm. ergiebt. Geringer Frequenz entspricht bedeutende Tiefe, grösserer Frequenz geringere Tiefe der Athemzüge. Nicht minder beträchtliche Schwankungen bietet die Kohlensäureexhalation. Reducirt man die wirklich gefundenen, zwischen 0,526 und 0,981 Grm. liegenden Werthe auf ein Kilo Körpergewicht, so beläuft sich dieselbe auf 0,349 bis 0,573 Grm. pro Viertelstunde, wobei die Exspirationsluft 1,9 bis 3,0 pCt. CO² enthält.

Trotz dieser grossen Differenzen scheint es vielleicht nicht uninteressant, mit Benützung von Tabelle II und V die mittleren und extremen Werthe aus allen von uns an gesunden Thieren gemachten Beobachtungen kennen zu lernen. Dieselben finden sich in Tabelle VI zusammengestellt. Die Werthe für das Körpergewicht und Minutenvolum sind aus 23, diejenigen für Athemfrequenz und Athemtiefe aus 26, die die Kohlensäureausscheidung betreffenden Zahlen aus 10 Versuchen abgeleitet.

Tabelle VI. Mittlere und extreme Werthe aus den an gesunden Kaninchen angestellten Versuchen.

	Körpergewicht in Grm.	Minutenvolum in Cem. auf 1 Kilo Körpergewicht.	Athem-fre-quenz absolut. auf das mittlere Gew.	Athem-tiefe in Ccm.	Ausgeathm. CO ² pro 15 Min. in Grm. auf 1 Kilo Körpergewicht.	CO ² -Gehalt der Exspira-tionsluft in Vol.-pCt. auf das mittlere Gew.
Mittelwerth	1294	709	917	95	9,5	0,466
Maximum	1730	1005	1300	152	12,3	0,578
Minimum	900	451	583	50	4,8	0,349

Sehr charakteristisch sind die Veränderungen, welche die bei Normalthieren gefundenen Grössen nach Anlegung eines Pneumothorax erleiden. Dieselben sind in übersichtlicher Weise in Tabelle VII für den geschlossenen, in Tabelle VIII für den offenen Pneumothorax zusammengestellt.

Tabelle VII. Geschlossener Pneumothorax.

Nr. des Versuchs.	Zunahme des Minuten-volums in pCt.	Zunahme der Athem-frequenz in pCt.	Zunahme der Athemtiefe in pCt.	Zunahme der ausgeschie-denen CO ₂ in pCt.	Zunahme des CO ₂ -Gehaltes d. Exspirations-luft in pCt.
15 b	+29,0	+22,0	+ 6,0		
16 b	+ 7,0	+35,0	-21,0		
17 b	+ 7,0	+ 6,0	+ 0,9		
18 b	+ 3,0	+72,0	-40,0		
19 b	- 0,2	+42,0	-30,0		
20 b	+14,0	+14,0	+ 0		
23 b	+18,0	- 5,0	+24,4	+22,6	+ 4,0
24 b	- 1,1	+ 9,3	- 9,3	+17,1	+17,3
25 b	+16,5	+ 7,9	+ 8,1	+23,4	+ 5,2
26 b	+22,3	+ 8,3	+13,1	- 5,8	-23,3

Tabelle VIII. Offener Pneumothorax¹⁾.

Nr. des Versuchs.	Zunahme des Minuten-volums in pCt.	Zunahme der Athem-frequenz in pCt.	Zunahme der Athemtiefe in pCt.	Zunahme der ausgeschie-denen CO ₂ in pCt.	Zunahme des CO ₂ -Gehaltes d. Exspirations-luft in pCt.
12 b	-56,0	-15,0	-51,0		
13 b	-63,0	-23,0	-52,0		
14 b	-76,0	+20,0	-80,0		
16 c	-61,0	-56,0	-13,0		
17 c	-42,0	-21,0	-27,0		
18 c	-45,0	- 6,0	-42,0		
19 c	-33,0	- 7,0	-28,0		
20 c	-30,0	+14,0	-42,0		
22 b	-27,4	-55,0	+45,9	-54,9	-39,1
25 c	-45,8	-19,3	-32,5	-48,5	- 5,2
26 c	-34,3	-31,9	- 3,5	-66,9	-50,0
21 b	-11,0	+41,0	-38,0		
21 c	-55,0	-11,0	-50,0		

¹⁾ In allen Versuchen, mit Ausnahme von 21 b, wurde die Pleurahöhle mit grossem klaffendem Schnitt eröffnet; in Versuch 21 b dagegen wurde eine nur stecknadelkopfgrosse Öffnung in der Brustwand angelegt.

Für den geschlossenen Pneumothorax ergibt sich im Grossen und Ganzen eine Steigerung sämmtlicher Werthe. Das Minutenvolum erlitt nur in 19 b und 24 b eine kaum nennenswerthe Verminderung, in allen übrigen Fällen dagegen eine Steigerung von 3 pCt. bis 29 pCt., durchschnittlich von 14,6 pCt. Ebenso erlitt die Athemfrequenz mit Ausnahme eines einzigen Falles (23 b) eine Zunahme um 6 pCt. bis 72 pCt., im Mittel um 24 pCt. Meistens war diese Steigerung eine nur mässige, nur in drei Fällen (16 b, 19 b, und 18 b) eine sehr bedeutende. Auch die Athemtiefe nahm in der Regel zu (um 0,9 pCt. bis 24 pCt., im Mittel um 10,5 pCt.); nur bei excessiver Steigerung der Athemfrequenz hatte die Tiefe des einzelnen Athemzuges um 21 pCt., 30 pCt. und 40 pCt. abgenommen. — Am wenigsten übereinstimmende Resultate ergibt die Kohlensäureausscheidung. Sie zeigt in 3 Fällen eine Zunahme von 17,1 bis 23,4 pCt., während bei einem Thiere (26 b) ihre Ausscheidung um 5,8 pCt. sich vermindert. Dabei war der Procentgehalt der Exspirationsluft an CO₂ bei den 3 erstgenannten Thieren um 4 bis 17,3 pCt. erhöht, in dem Falle 26 b dagegen um 23,3 pCt. gesunken. Angesichts des, trotz der Verminderung um 5,8 pCt., noch ungewöhnlich grossen absoluten Werthes der Kohlensäureausscheidung, wie sich derselbe aus Tabelle IV ergiebt, wird man aus diesen Resultaten aber immerhin noch folgern dürfen, dass bei diesen abgeschlossenen Luftanhäufungen in der Pleurahöhle die veränderte Athemmechanik ohne Schwierigkeit im Stande ist, selbst eine abnorm grosse Kohlensäuremenge zur Ausscheidung zu bringen.

Sehr wesentlich von den geschilderten Resultaten abweichend sind diejenigen, welche nach Anlegung eines offenen Pneumothorax zur Beobachtung gelangen. Alle Factoren der Athmung, die näher bestimmt werden konnten, erfuhren eine oft sehr beträchtliche Herabsetzung. Das Minutenvolum nahm um 27,4 bis 76,0 pCt., durchschnittlich um 47,4 pCt. ab. Eine etwas geringere Herabsetzung, im Mittel um 38,3 pCt., erlitt die Athemtiefe, während die Athemfrequenz im Ganzen noch weniger, aber immerhin noch sehr beträchtlich (um 24,5 pCt. im Mittel), herabging und nur in zwei Fällen (14 b und 20 c) eine mässige Steigerung erfuhr. Die Kohlensäureausscheidung sank um mehr als die Hälfte (48,5 bis 66,9 pCt., im Mittel um 56,7 pCt.); da diese Abnahme eine noch hochgradigere war, als

diejenige des Minutenvolums, so erfuhr auch der relative Kohlensäuregehalt der Exspirationsluft eine Reduction, die zwischen 5,2 und 50 pCt., im Mittel 31,4 pCt. betrug.

Was die Aenderungen betrifft, welche die Kohlensäureausscheidung bei geschlossenem und offenem Pneumothorax erleidet, so liegen hier dieselben Möglichkeiten der Erklärung vor, die wir bei kleinen und grossen Flüssigkeitsansammlungen angedeutet haben. Auch hier muss die endgültige Entscheidung darüber, in wie weit die veränderte Kohlensäureabgabe durch Aenderungen der Ausscheidung, in wie weit durch solche der Bildung der Kohlensäure bedingt ist, eigens auf diesen Punkt gerichteten Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Während so der geschlossene Pneumothorax und der offene mit breiter Oeffnung hinsichtlich ihrer Wirkungen auf die Respiration einen schroffen Gegensatz bilden, nahm jener Versuch (21 b), in dem die Luft in der Pleurahöhle zwar nicht völlig abgeschlossen war, aber doch nur durch eine stecknadelkopfgrosse Oeffnung der Brustwand mit der äusseren Luft communicirte, eine Art von Mittelstellung ein. Die Herabsetzung des Minutenvolums (um 11 pCt.) war hier eine viel geringere, als bei weit klaffender Fistel, und die Zunahme der Respirationsfrequenz verhält sich ähnlich, wie bei geschlossenem Pneumothorax. — In sehr augenfälliger Weise lässt sich auch die verschiedene Wirkung des offenen und geschlossenen Pneumothorax demonstrieren, wenn man einen offenen Pneumothorax, bei welchem die Athmung verlangsamt und das Minutenvolum herabgesetzt ist, durch Ueberdecken eines Hautlappens oder durch Auflegen eines Fingers vorübergehend in einen geschlossenen verwandelt. Sofort wird die Athmung frequent, während zugleich das Minutenvolum erheblich steigt. Der Versuch lässt sich öfters an dem gleichen Thiere wiederholen, und so die Unabhängigkeit seines Erfolges von zufälligen Aenderungen der Athmung oder von sonstigen Fehlerquellen beweisen.

Die von uns nach Anlegung eines Pneumothorax constatirten Veränderungen der Athmung waren zum Theil schon früheren Beobachtern nicht entgangen. So berichtet Guttmann (l. c.) über zwei Versuche, in denen nach „Anstechung der rechten Thoraxhälfte“ starke Abnahme der Athemfrequenz und Sinken des Minutenvolums auf den 3. bis 4. Theil der ursprünglichen Grösse eintrat.

Doch wurden die pneumothoracischen Thiere, wenn sie zur Messung der respirirten Luftvolumina in dem von Guttmann benutzten Apparate athmen sollten, nach wenigen Minuten asphyctisch, so dass die Versuche ausgesetzt werden mussten. — Auch Leichtenstern (l. c.), der seine Thiere durch Voit'sche Ventile und eine Gasuhr athmen liess, fand in zwei Versuchen nach Anlegung eines offenen Pneumothorax Sinken des Minutenvolums um mehr als die Hälfte; die Athemfrequenz blieb im ersten Versuche unverändert; im zweiten stieg sie. Durch Verbindung der in die Brustwand eingebundenen Canüle mit zwei Voit'schen Ventilen, von denen das exspiratorische noch mit einer zweiten Gasuhr in Verbindung stand, konnte auch das Volum der die Pleurahöhle passirenden Luft bestimmt werden. Die Menge der Luft, welche nach Anlegung des Pneumothorax durch Luftröhre und Pleurahöhle zusammen hindurchging, war nur im einen Falle grösser, als die Quantität Luft, welche das Normalthier durch die Trachea allein bezogen hatte; bei dem anderen Thiere waren beide Grössen gleich; dies legt die Vermuthung nahe, dass für dieses Thier die im Apparate gelegenen Widerstände allein erheblich genug waren, um dasselbe zum Aufwand sämmtlicher für die Athmung zu Gebote stehenden Reservekräfte zu veranlassen. Auch die niedrige Athemfrequenz und das geringe Minutenvolum der Leichtenstern'schen Normalthiere scheint dafür zu sprechen, dass er die Widerstände seines Apparates doch wohl zu niedrig veranschlagt hat. Bei vorübergehendem Schluss der Pleuracanüle fand Leichtenstern gleichfalls Steigerung der Athemfrequenz und des Minutenvolums. — Die verschiedene Frequenz und Tiefe der Athemzüge bei geschlossenem und offenem Pneumothorax hatte zuvor schon Breuer¹⁾ erwähnt und durch Athmungscurven illustriert.

Vergleicht man die Ergebnisse der vorstehenden Versuche über Hydro- und Pneumothorax untereinander, so zeigt sich eine auffallende Aehnlichkeit in der Rückwirkung dieser beiden Störungen auf die Athemmechanik. Kleinere Ansammlungen leicht beweglicher Flüssigkeit in der Pleurahöhle und geschlossener Pneumothorax bewirken eine Steigerung des Mi-

¹⁾ Die Selbststeuerung der Athmung durch den Nervus vagus. Sitzungsbericht der k. Akademie der Wissenschaften. Bd. LVIII. II. Abth. 1868.

nutenvolums, der Athemfrequenz und soweit diese ersten Erfahrungen reichen, eine Vermehrung der Kohlensäureausscheidung. Dagegen bedingen massenhafte Ergüsse im Pleuraraume und offener Pneumothorax in übereinstimmender Weise ein beträchtliches Absinken des Minutenvolums und der Kohlensäureausscheidung. Nur die Athemfrequenz ist bei grossen Flüssigkeitsansammlungen nicht so constant vermindert, wie beim offenen Pneumothorax.

Die Steigerung des Minutenvolums bei geschlossenem Pneumothorax kann, ebenso wie dies für kleinere flüssige Ergüsse auseinander gesetzt wurde, als der Ausdruck einer compensatorisch erhöhten Leistung der Athemmusculatur aufgefasst werden. Die gesteigerte Thätigkeit der letzteren kommt, wie bei geringgradigem Hydrothorax, der Lungenventilation zu Gute, weil die respiratorischen Excursionen der Brustwand und des Zwerchfells in normaler oder gesteigerter Weite von Statten gehen und die damit verbundenen Druckschwankungen das Volumen der pneumothoracischen Luft nur wenig verändern, vielmehr als wesentlichen Effect respiratorische Volumenschwankungen der Lunge zur Folge haben. — In etwas abweichender Weise erklärt sich die Uebereinstimmung der Wirkung der höheren Grade des Hydrothorax mit derjenigen des offenen Pneumothorax. Bei grösseren Flüssigkeitsansammlungen nähert sich die Gleichgewichtslage der Brustwandlung der inspiratorischen Stellung; die Excursionen der Brustwand und des Zwerchfelles sind beschränkt, haben aber, soweit sie noch ausführbar sind, wegen der leichten Beweglichkeit der in ihrem Volumen unveränderlichen Flüssigkeit gleich grosse Volumenschwankungen der Lunge zur Folge. Bei dem offenen Pneumothorax mit breiter Fistel dagegen wird selbst die angestrengteste Respirationsbewegung für die retrahierte Lunge fast völlig illusorisch. Wohl vollführt der Thorax grosse Excursionen, allein die dadurch erzeugten Druckschwankungen sind für die Lunge der kranken Seite von verschwindender Wirkung, sie werden durch die zur Oeffnung der Brustwand ein- und ausströmende Luft ausgeglichen. Ausserdem beeinträchtigt die Verschiebbarkeit des Mediastinum die Function der Lunge der gesunden Seite, und so ergiebt sich eine Wirkung, wie sie auch die höheren Grade des Hydrothorax ausüben.

Erklärung der Abbildungen.

Tafel XI.

- Fig. 1. Inspiratorischer Theil des Respirationsapparates (etwa $\frac{1}{10}$ der natürlichen Grösse). a b e Schenkel des T-Rohres; a wird mit der Trachealcanüle in Verbindung gesetzt und communicirt außerdem mit dem Manometer M. I Inspiratorisches, E exspiratorisches Ventil. G Gasometer, durch e mit I, durch d mit der Gasuhr U verbunden. f Verbindung der Gasuhr mit dem Tubulus i des Blechzylinders BL; m p die beiden anderen Tubuli des letzteren. n Wasserstrahlpumpe mit dem Seitenansatz q. o Verbindung der Pumpe mit der Wasserleitung. r Verbindung von p mit der Glasmöhre t, welche nebst u und der Flasche S den Druckregulator bildet. K K Blechkästen. g Innere Mündung des Ablaufrohres h.
- Fig. 2. Exspiratorischer Theil des Respirationsapparates ($\frac{1}{10}$ der natürlichen Grösse). E Exspiratorisches Ventil. F Flasche mit in Schwefelsäure getränktem Bimsstein gefüllt. 1—8 U-Röhren. 1, 6, 7 enthalten mit Schwefelsäure, 2, 3, 4 und 5 mit Kalilauge getränkten Bimsstein, 8 Barytwasser. G Gasometer. u Verbindung desselben mit der Röhre v w S Druckregulator. n Wasserstrahlpumpe, durch s mit dem Gasometer, durch t mit der Wasserleitung verbunden.
- Fig. 3. Voit'sche Quecksilberventile (etwa $\frac{1}{4}$ der natürlichen Grösse). I Inspiratorisches, E exspiratorisches Ventil; a Schenkel des T-Rohres, welcher mit der Trachea verbunden wird.
- Fig. 4. Eine U-Röhre ($\frac{1}{4}$ der natürlichen Grösse).