

anatomischen Beziehung der Sehnerven und einiger von mir in letzterer Zeit erhaltener Daten voraussetzen kann) mit der Function des Sehorgans und der Bewegung der Augäpfel in Verbindung; endlich der soeben besprochene Knoten grauer Substanz — die Olive — ist wahrscheinlich, wie durch anatomische Beziehungen nahegelegt wird, mit dem Tastorgan verbunden.

Ueber die Grösse des negativen Drucks im Thorax beim ruhigen Athmen.

Von

A. Heynsius.

Hierzu Tafel III.

Es gehört zu Donders grossen Verdiensten, dass er die Bedeutung der Elasticität des Lungengewebes für die venöse Blutbewegung zuerst deutlich klar gelegt hat¹⁾.

Er führte beim Leichnam einen Manometer in die Trachea und öffnete darauf den Thorax. Der Manometer zeigte in diesem Falle positiven Druck, woraus Donders schloss, dass die Höhe des Manometers unter diesen Umständen die Grösse des negativen Drucks im Thorax oder die Saugkraft desselben in der Expirationsperiode angibt. Denn wenn jegliche Muskelwirkung ausgeschlossen ist, so muss der Druck auf die Pleurafläche der Lungen, und auf die ausserhalb der Lungen im Thorax liegenden Organe, soviel kleiner sein als der atmosphärische Druck, wie die elastische Kraft der Lungen beträgt; und die Grösse desselben entspricht der Höhe, auf welche der Manometer bei Oeffnung des Thorax steigt.

Er fand für diesen Manometerdruck beim Menschen 30 bis 70 mm Wasser, aber bei den elf Leichen, an welchen er diese

1) Bijdrage tot het mechanisme van ademhaling en bloedsomloop, Ned. Lancet, 2. serie, 5. Jaarg., 1849—50. Die deutsche Uebersetzung erschien erst 1853 in der Zeitschr. f. rationelle Medicin, Bd. III, S. 287.

Versuche anstellte, waren die Lungen sämmtlich mehr oder weniger krankhaft afficirt (Adhäsionen u. s. w.), und er setzte demnach voraus, dass bei gesunden Lungen der Werth des Manometerdrucks das von ihm ermittelte Maximum noch überschreiten würde. „Vorläufig“, schliesst er, „glaube ich die Elasticität gesunder Lungen, nach gewöhnlicher Ausathmung, auf 80 mm Wasser stellen zu dürfen.“

Dieser Werth steigert sich erheblich, sobald die Lungen durch Inspiration ausgedehnt und demzufolge die elastischen Fasern stärker gespannt werden. Dies zu beweisen, führte Donders in die Trachea einer Leiche ein T-Stück ein. An einen Arm desselben befestigte er einen Manometer, an den andern eine doppelte Weiss'sche Magenpumpe. Jenachdem er mehr Luft einpumpte, stieg der Manometer, und durch starkes Aufblähen der Lunge liess sich der Niveauunterschied im Manometer beim Menschen bis auf 10 mm Quecksilber, 240 mm Wasser entsprechend, und beim Kaninchen sogar bis auf 21 mm Quecksilber steigern.

Der damals herrschenden Auffassung gemäss glaubte Donders, dass die Kraft, womit die Lungen die Luft auszuhauchen streben, im Leben zufolge des Tonus noch grösser sein würde, als nach dem Tode. „Zu den von einer physikalischen Eigenschaft der elastischen Fasern bedingten Elasticität“, so schreibt Donders, „gesellt sich dann der Tonus, der auf dem gespannten Zustande contractiler Fasern (organischen Muskelgewebes) unter dem Einfluss des Nervensystems beruht.“

Kann man den Tonus, wie die Elasticität, messen? Direct beim Menschen war dies nicht möglich. Donders benutzte hierzu Kaninchen, Katzen und Schafe. Beim lebenden Thiere wurde der Manometer in der Trachea befestigt, so dass weiter keine Luft ein- oder austreten konnte. Bei der drohenden Erstickung wurden die Versuche zu athmen anfänglich immer stärker, und bei der stärksten Bestrebung einzuathmen, sah er einen negativen Druck von 40 bis 60 mm Quecksilber, einzelne Male höher, auftreten. Bald hört die Respiration auf. Das Quecksilber steht nun meist an beiden Seiten gleich hoch. Wurde nun sofort der Thorax geöffnet, so zeigte der Manometer einen positiven Druck von 5—9 mm Quecksilber — beim Schafe höher als beim Kaninchen. Doch kaum verfloss eine Viertelstunde, so war das Quecksilber ungefähr um $\frac{1}{4}$ gefallen.

Dieses Fallen um $\frac{1}{4}$ schrieb Donders dem Schwinden des Tonus zu; und auch die Erscheinung, dass die Lungen nach Oeffnung des Thorax beim lebenden Thierte auf ein kleineres Volum zusammenfallen, als nach dem Tode, hielt er für eine Folge des Tonus. Jedoch will er diesem $\frac{1}{4}$ keinen zu grossen Werth zuerkannt wissen, denn die Ergebnisse der auf verschiedene Weise angestellten Versuche (nach Ersticken, nach Verbluten, nach Durchschneidung der medulla oblongata) wichen nicht unbedeutend von einander ab.

Auf Grund dieser Versuche setzte Donders für die Grösse der Saugkraft des Thorax bei ruhigem Ein- und Ausathmen für die Expiration $7\frac{1}{2}$ mm Hg, und für die Inspiration 9 mm an. „Zählen wir“, so schreibt er a. a. O. p. 342, „zu den 80 mm Wasser, welche wir für den Widerstand der elastischen menschlichen Lunge angesetzt haben, Ein Viertel, d. i. 20 mm für den Tonus, so erhalten wir 100 mm Wasser, d. i. fast $7\frac{1}{2}$ mm Quecksilber für den Widerstand der lebenden Lunge nach vollbrachter gewöhnlicher Expiration. Bei gewöhnlicher Inspiration wird dieser Widerstand wohl schon bis 9 mm steigen, und erreicht zweifellos wenigstens 30 mm Hg bei tiefmöglichem Einathmen.“

Seit Donders' Untersuchung sind mehr als dreissig Jahre verflossen, welches bei der Beurtheilung seiner Versuche zu berücksichtigen ist. Vom gegenwärtigen Standpunkt betrachtet, lassen die quantitativen Bestimmungen zu wünschen übrig, und dieser Mangel fällt um so mehr auf, wenn man auf Einzelheiten eingeht, da man nachgerade seinen Bestimmungen in quantitativem Sinne mehr Werth beigemessen hat, als Donders selbst anfänglich beabsichtigt hat. Aus den verschiedenen Handbüchern über Physiologie erhält man den Eindruck, dass die Werthe $7\frac{1}{2}$ mm Hg für die Expiration, und 9 mm Hg für die Inspiration in der That auf genügenden Bestimmungen beruhen, und dass der Unterschied von $1\frac{1}{2}$ mm Hg für normales Ein- und Ausathmen so gut wie sicher gestellt ist.

Wie aus Obigem hervorgeht, ist dies keinesweg der Fall. Abgesehen von dem Tonus der organischen Muskelfasern, die, wie u. A. Gerlach gezeigt, keinen nennenswerthen Einfluss auf das Lungenvolum ausübt, findet sich nirgends in Donders' Abhandlung eine Bestimmung, auf welche der Werth von 9 mm für die normale Inspiration sich gründete. Donders blähte die Lunge

mittelst einer doppelten Weiss'schen Magenpumpe, welche beim Auf- und Abgehen des Kolbens gerade 100 ccm Luft verdrängte. Vermuthlich hat Donders den Werth von 9 mm ermittelt, nachdem er ein Luftvolum eingeblasen, das nach seiner Schätzung der normalen Athmungsgrösse entsprach. Aus seiner Abhandlung aber ergibt sich in Bezug darauf nichts.

Ueber die Grösse des bei gewöhnlichem, ruhigem Athemholen verdrängten Luftquantums, gingen im Jahre 1850 die Meinungen sehr auseinander. Nirgends findet sich bei Donders eine Andeutung des Werthes, welchen er für dieses Luftvolum angesetzt, und es lässt sich also nicht einmal muthmassen, wieviel Luft ungefähr eingeblasen war, wenn sich als Mittelwerth für die Elasticität der Lungen 9 mm Hg ergab.

Irre ich nicht, so ist an erster Stelle die Unsicherheit, worin man sich 1850 über die normale Athmungsgrösse befand, als Ursache zu nennen, warum in Donders' Arbeit keine Werthe vorkommen, woraus die durchschnittliche Grösse des negativen Drucks bei der Inspiration zu berechnen wäre; zweitens aber müssen Donders' Bestimmungen der Elasticität der Lungen bei verschiedenen Expansionen wegen der von ihm befolgten Methode — Einführung von Luft in die Trachea durch positiven Druck — ziemlich weit auseinander gehende Resultate ergeben haben; und auch aus diesem Grunde wird er den von ihm für die Saugkraft bei normaler In- und Expiration angegebenen Zahlen wohl keinen grossen Werth beigemessen haben. Er selbst hielt sie nicht für genügend: „vorläufig glaubt er aber daraus schliessen zu dürfen, dass bei normaler Inspiration die Elasticität wohl auf 9 mm, also um $1\frac{1}{2}$ mm Hg, steigen würde.“

Für das Prinzip, welches Donders klarzustellen wünschte, die Lehre von der Saugkraft des Thorax, war die scharfe Bestimmung des Unterschieds in elastischer Kraft bei normaler In- und Expiration kein Erforderniss; und so sind denn im Grunde die von Donders aus seinen Versuchen gefolgerten Schlüsse auch jetzt noch gültig. Er schloss mit Recht: 1) dass bei normaler, ruhiger Respiration, wobei das Ausathmen passiv, ohne Muskelwirkung, durch die Elasticität der Lunge geschieht, die Pleuralfläche der Lunge und alle ausserhalb der Lunge im Thorax liegenden Organe unter einem Druck stehen, der um so viel kleiner ist als der atmosphärische, wie die Elasticität der Lungen beträgt;

2) dass bei ruhiger Respiration das Blut also fortwährend in den Thorax aufgesogen wird und diese Saugkraft besonders der venösen Blutbewegung zu Gute kommt; 3) dass die elastische Kraft der Lungen während der Inspiration zunimmt, und demnach die Saugkraft der Lungen während der Inspiration grösser ist, als während der Expiration.

Sobald man aber in concreto den Einfluss dieser Saugkraft auf bestimmte Erscheinungen anwenden will, macht sich das Bedürfniss genauerer Bestimmungen, besonders der Druckdifferenz während der In- und Expiration fühlbar. Bei den von Dr. de Jager im physiologischen Laboratorium zu Leiden angestellten Untersuchungen über die Blutbewegung in den Lungen¹⁾, wurde mir dies deutlicher als zuvor. Die Stromgeschwindigkeit des Blutes ergab sich während der Entfaltung der Lungen, wenn diese durch verminderten Druck auf die Pleurafläche, durch Saugung also, erzeugt war, als grösser als im collabirten Zustande. Die Grösse der Saugkraft aber, wodurch die Expansion der Lungen hervorgerufen wurde, war bei den Versuchen von De Jager öfters mehr als $1\frac{1}{2}$ mm. Darf man die Erscheinungen, die beim todtten Organismus bei diesem grössern negativen Druck auftreten, auf die Verhältnisse des lebenden anwenden? Die genaue Kenntniss der quantitativen Verhältnisse während des Lebens ist, wie man sieht, zur Beantwortung dieser Frage unumgänglich.

Anfangs glaubte ich, dass die Frage sich ziemlich leicht befriedigend lösen liesse: es schien, dass Donders' Untersuchung einfach in so weit zu vervollständigen sei, dass die nöthigen Bestimmungen der Grösse der Elasticitätskraft der Lungen bei verschiedenen Expansionen gemacht würden. Im Verband mit der normalen Athmungsgrösse schien sich daraus die Druckdifferenz bei normaler In- und Expiration sofort zu ergeben. In Bezug auf die normale Athmungsgrösse ist man seit dem Erscheinen von Donders' Untersuchung darüber so ziemlich einig geworden, dass sie für den Menschen von mittlerer Grösse ungefähr 500 ccm beträgt, und ebenso hat sich, wie schon bemerkt, ergeben, dass der Tonus keinen nennenswerthen Einfluss auf das in den Lungen enthaltene Luftvolum hat.

Es schien also nur nöthig, bei gesunden Lungen einer mensch-

1) Siehe dieses Archiv, Bd. XX, S. 426, 1879.

lichen Leiche luftdicht mit der Trachea ein T-Stück zu verbinden, in dessen einem Arm ein Manometer befestigt war. Wenn dann der andere Arm dieses T-Stückes geschlossen wurde, und man nun den Thorax öffnete, würde der Stand des Manometers die Saugkraft des Thorax bei der Expiration anzeigen, während der Stand des Manometers nach Einblasung der normalen Respirationsluft (500 ccm) durch den andern Arm des T-Stückes die Saugkraft bei Inspiration anzeigen würde. Man braucht aber diesen Versuch nur einmal zu machen, um sich zu überzeugen, dass die erzielten Resultate durchaus unbrauchbar sind. Die Elasticität der todten Lungen ist sehr schwankend. Jedesmal erhält man andere und sogar sehr verschiedene Zahlen, wenn man die Lungen mit derselben Luftmenge füllt; und dies kann uns nicht Wunder nehmen. Wenn auch die elastische Kraft der Lungen wesentlich von dem darin enthaltenen elastischen Gewebe bedingt wird, so üben doch auch die anderen Gewebe (organisches Muskelgewebe, Bindegewebe, Blutgefäße u. s. w.) einen gewissen Einfluss aus. Die todten Lungen collabiren viel weniger als die lebenden, und ihre Elasticität ist viel unvollkommener. Nachdem die ausdehnende Kraft zu wirken aufgehört hat, kehren die Gewebetheile der todten Lunge nicht mehr zu ihrer ursprünglichen Gestalt (Länge) zurück. Nach jeder Aufblähung hat man gleichsam mit andern Lungen zu thun, und es kann also nicht auffallen, dass die erhaltenen Werthe für die elastische Kraft der Lungen bei denselben Expansionen nicht übereinstimmen.

Man muss also entweder mit lebenden Lungen experimentiren, oder mit Lungen gleich nach dem Tode, und die Bestimmung der Lungenelasticität des Menschen ist aus diesem Grunde nicht, oder doch nur ausnahmsweise vorzunehmen. Hutchinson hat zwei Versuche mitgetheilt, in welchen er die Elasticität gesunder menschlicher Lungen sofort nach dem Tode bei verschiedener Expansion bestimmte¹⁾. Er führte beim Leichnam sofort nach dem Tode, während die Körpertemperatur noch 97,5° bis 98,5° F. betrug, einen Manometer in die Trachea und bestimmte, wie Donders, die Lungenelasticität nach Thoraxöffnung bei unverändertem

1) Todd, Encyclopaedia of Anat. and Physiol., Art. Thorax, p. 1059, 1849—1852. Hutchinson's Bestimmungen sind in englischen Maassen und Gewichten angegeben. Ich habe dieselben ins metrische System übertragen.

Luftvolum und nach Einblasung von verschiedenen Luftmengen. Ein Versuch wurde an den Lungen einer Frau von 28 Jahren, von 1,75 m Länge, angestellt. Leider war bei diesem Versuch der Manometer nicht gut in der Trachea befestigt worden, so dass beim Oeffnen des Thorax Luft entwich. Die Bestimmung der Elasticität bei unverändertem Luftvolum ($14,7 \text{ mm Wasser} = 1 \text{ mm Hg.}$ ungefähr) hat also bei diesem Versuch keinen Werth. Nach Einblasung von 1640 ccm Luft stieg sie auf 137,5 mm Wasser oder 10 mm Quecksilber; nach weiterer Einblasung von 1640 ccm auf 254 mm Wasser oder 18,8 mm Quecksilber; und nachdem noch 1476 ccm Luft eingeblasen waren, fand er für die elastische Kraft 508 mm Wasser oder 37,6 mm Quecksilber. Der zweite Versuch betraf die Lungen eines Mannes von 29 Jahren, 1,75 m Länge und 56 kgr Körpergewicht. Aus diesem Versuch Hutchinson's könnten wir alle verlangten quantitativen Verhältnisse herleiten, wenn er beim Einblasen der Luft systematischer verfahren wäre. Die elastische Kraft der Lungen vor dem Einblasen von Luft, bei dem Expansionsgrade, welchen sie im Leichnam besaßen, betrug hier 61 mm Wasser oder 4,5 mm Quecksilber, während nach aufeinanderfolgender Einblasung von 1476, 328 und 2870 ccm Luft sich je eine elastische Kraft von 182, 207 und 431 mm Wasser oder 13,4, 15,3 und 31,9 mm Quecksilber ergab.

Hutchinson glaubte, dass beim Tode die sogenannte reserve air (die Luftmenge, welche nach der gewöhnlichen passiven Expiration noch durch Muskelwirkung ausgeathmet werden kann) aus den Lungen hinausgetrieben werde, und im Leichnam nur die sogenannte residual air in den Lungen zurückbleibe; daher blies er erst 1476 ccm Luft ein, wodurch seiner Meinung nach die Lungen auf das Volum ausgedehnt würden, dass sie am Ende der normalen Expiration besaßen. Dies war ein Irrthum Hutchinson's, in welchen er nicht gerathen wäre, wenn er Donders Arbeit gekannt hätte. Unter normalen Umständen ist die reserve air noch in den Lungen des Leichnams anwesend¹⁾, und Hutchinson schloss also mit Unrecht aus diesen Versuchen,

1) Die Schwankungen, denen die Menge „reserve air“ im Leichnam unterliegt, in Folge des veränderten Verhältnisses der Baueingeweide zum Diaphragma beim Uebergang aus dem verticalen Stand in den horizontalen beim Menschen und Rückenlage bei den Thieren, lasse ich hier unberücksichtigt.

dass die Elasticität der menschlichen Lunge beim Ausathmen einen Werth von 182 mm Wasser oder 13,4 mm Quecksilber habe. Aus seinen Angaben folgt, wie wir schon sahen, dass dieser Werth in seinem Versuch nur 61 mm Wasser oder 4,5 mm Hg betrug.

Wie wünschenswerth es auch gewesen wäre, dass Hutchinson beim Austreiben der Luft systematischer verfahren wäre, so lässt sich doch aus seinen Angaben mit grosser Wahrscheinlichkeit der Werth der Elasticitätskraft der Lungen berechnen, den er nach der von ihm befolgten Methode bei der menschlichen Lunge gefunden haben würde, wenn er das Normalvolum der Respirationsluft, 500 ccm, eingeblasen hätte. Die Zunahme der elastischen Kraft von 61 mm Wasser bis 182 mm nach Einblasung von 1476 ccm Luft, und von 182 bis 207 mm nach weiterer Einblasung von 328 ccm ist so gleichmässig, dass wir keinen grossen Fehler machen können, wenn wir daraus die Zunahme der elastischen Kraft berechnen, welche durch die Einblasung von 500 ccm Luft erzeugt worden wäre. Aus dieser Berechnung erhellt, dass diese Zunahme der elastischen Kraft für 500 ccm fast 41 mm Wasser oder 3 mm Quecksilber betragen hätte, demnach das Doppelte von Donders' Ansatz. Dass dies nicht früher aufgefallen ist, mag, abgesehen von der ziemlich systemlosen Einblasung von Luft, wohl hauptsächlich dem Umstande zuzuschreiben sein, dass Hutchinson's Bestimmungen in den englischen Maassen und Gewichten ausgedrückt sind.

Wie sehr ich auch wünschte, den Versuch am Menschen (mit gesunder Lunge, also bei mors subitanea) sofort nach dem Tode anstellen zu können, kann ich kaum erwarten, dass mir selbst Gelegenheit dazu geboten würde. Ich sehe mich also auf die Untersuchung der quantitativen Verhältnisse bei Thieren angewiesen, um aus dem, was sich hierbei ergibt, per analogiam auf die Verhältnisse beim Menschen zu schliessen. Es versteht sich, dass bei dieser Uebertragung, hier wie überall, die eigenthümlichen Unterschiede zu berücksichtigen sind, welche zwischen den verschiedenen Thierarten untereinander und im Bezug auf den Menschen hinsichtlich der Respiration obwalten mögen.

Der kürzeste Weg, welcher sofort zum Ziele führen würde, wäre natürlich, dass man die Grösse des negativen Drucks bei normaler In- und Expiration am lebenden Thiere bestimmte, durch einen mit der Pleurahöhle verbundenen Manometer; aber diese

directe Methode hat den grossen Uebelstand, dass man wenig Aussicht hat, auf diese Weise die Verhältnisse bei normaler, ruhiger Respiration kennen zu lernen, da dieselbe durch Oeffnung des Thorax und Einführung einer Canüle beträchtlich gestört wird. Es ist also leicht erklärlich, dass man die Grösse des negativen Drucks in der Brusthöhle des lebenden Thieres auf einem Umwege zu ermitteln gesucht hat.

Adamkiewicz und Jacobson ¹⁾ haben zu diesem Zweck eine luftdicht schliessende Canüle in das Pericardium eingeführt, und den negativen Druck in demselben bei Schafen, Hunden und Kaninchen bestimmt. Ein Trocart, dessen Stilet eine kurze, runde Spitze hatte, wurde durch den vierten Intercostalraum in das Pericardium eingeführt. An diesem Trocart war eine seitliche, mit einem Hahn versehene Röhre befestigt, mit welcher der Manometer verbunden wurde. Das luftdicht schliessende Stilet wird bis an dieses Seitenrohr zurückgezogen. Dadurch entsteht natürlich ein luftleerer Raum, und Adamkiewicz und Jacobson glauben, dass diese einem Druck von ungefähr 1,5 mm Quecksilber entsprechende Adspiration von den von ihnen ermittelten Werthen für den negativen Druck abzuziehen ist. So fanden sie bei diesen Thieren einen negativen Druck von 3 bis 5 mm Quecksilber, und sahen sie bei ruhigem Athemholen diese Zahlen nicht überschreiten.

Auch Heger und Spehl ²⁾ geben drei Bestimmungen von der Druckdifferenz, welche sie während der In- und Expiration im Pericardium des Kaninchens mit ihrer „fistule péricardique“ constatirten. Bei ihren Versuchen handelte es sich darum, den Blutgehalt der Lungen während der In- und Expiration kennen zu lernen; dazu führten sie ein U-förmiges Röhrchen in das Pericardium, worauf die zu- und abführenden Blutgefässe des Herzens plötzlich zugebunden werden konnten. An einen Arm dieses U-förmigen Röhrchens wurde ein Manometer befestigt, und nachdem das Röhrchen luftdicht in dem Pericardium befestigt war, wurde mit dem andern Arm ein Adspirator verbunden und dadurch eine Luftverdünnung von 4 bis 10 mm Quecksilber erzeugt. So beobachteten sie im Pericardium in drei Versuchen eine Druckdifferenz von 5,

1) Centralblatt für die med. Wissensch., 1873, S. 483.

2) Recherches sur la fistule péricardique chez le lapin. Archives de biologie, T. 2, p. 153, 1881.

2 und 4 mm, durchschnittlich also 3,6 mm Hg während der In- und Expiration.

Nach Luciani und Rosenthal¹⁾ gibt es einen viel bequemen und einfacheren Weg, die Schwankungen des Druckes in der Brusthöhle kennen zu lernen. Man braucht dazu nur eine Sonde in den Oesophagus einzuführen. Wenn man mit derselben einen Manometer verbindet, so sieht man diesen bei jeder Inspiration sinken, bei jeder Expiration steigen, dem Wechsel des intrathoracalen Drucks bei Vergrößerung und Verkleinerung des Lungenvolums entsprechend. Benutzt man anstatt des Manometers Marey's Cardiographen, so hat man nach Rosenthal, — Luciani's Arbeit habe ich nicht zu Rathe ziehen können — eine der besten Methoden, um die Perioden und die Stärke der Respirationsbewegungen zu registriren. Führt man die Sonde während der Respirationspause in den Oesophagus, so sind die Ausschläge ein directer Maassstab der Erweiterung, resp. Verengerung, die der Thorax erleidet. Aber auch die absolute Grösse des negativen Drucks liesse sich nach Rosenthal so bestimmen, wenn man die Sonde mit einem Hahn versähe, und also geschlossen in den Oesophagus einführt, wie Adamkiewicz und Jacobson ihren Trocart in das Pericardium brachten²⁾. Oeffnet man nun den Hahn erst dann, wenn das offene Ende der Sonde in den vom Mediastrium umgebenen Theil des Oesophagus durchgedrungen ist, so zeigt der Manometer nach Rosenthal die wirkliche absolute Grösse des negativen Drucks in der Brusthöhle an. So findet er denn auch dieselben Werthe wie Adamkiewicz und Jacobson. Bei Kaninchen ergab sich höchstens ein Werth von 40 mm Wasser = 3 mm Hg für den negativen Druck. Bei Hunden und Katzen ergeben sich ungefähr dieselben Zahlen, jedoch ist der negative Druck nach Rosenthal „bei Hunden zuweilen etwas grösser, bis zu 50 mm Wasser, und die Athembewegungen sind bei ihnen bedeutender als beim Kaninchen“. Auch beim Menschen hat er im Verein mit Leube derartige Bestimmungen gemacht und er theilt deren Resultate in den folgenden Worten mit: „Der negative Druck belief sich auf 40—60 mm Wasser, also auf einen wenig höheren

1) Archiv für Physiologie von du Bois-Reymond, 1880, Suppl.-Bd., S. 34 und Hermann's Handbuch der Physiologie, Bd. 4, 2. Abth., S. 226.

2) Ueber den intrathoracalen Druck, Archiv für Physiologie von du Bois-Reymond, 1882, S. 152.

Werth wie bei Kaninchen; die gewöhnlichen Athembewegungen bewirken nur Schwankungen von einigen mm. Wenn man aber tief einathmen lässt, so erhebt sich der Druck auf -100 bis -120 mm.“

Sowohl Adamkiewicz und Jacobson, wie Rosenthal gehen, wie aus ihrer Schlussfolgerung erhellt, von dem Satze aus, dass im Pericardium und im Brusttheil des Oesophagus derselbe Druck herrscht wie in der Pleurahöhle. Nehmen wir diesen Satz vorläufig als richtig an, so haben wir also zu untersuchen, welche Veränderung eintritt, wenn in diese Theile ein Manometer eingeführt wird, welcher eine gewisse Anzahl ccm Luft, die unter dem atmosphärischen Druck stehen, enthält. Sobald die Verbindung mit der Pericardialhöhle, resp. dem Oesophagus hergestellt ist, wird diese Luft soviel ausgedehnt werden, dass ihre Spannung dem Druck im Pericardium, resp. Oesophagus das Gleichgewicht hält. In wie weit hierdurch die Verhältnisse eine Veränderung erleiden, hängt von dem veränderten Raum im Verbindungsarme des Manometers und von der Volumvergrößerung der darin enthaltenen Luft ab. Der Raum in dem geschlossenen Arm des Manometers bis an das Pericardium wird vergrößert durch das Zurückziehen des Stilets in dem Trocart, verkleinert durch das Steigen der Flüssigkeitssäule in dem geschlossenen Arm zufolge des niederen Drucks. Wenn diese beiden Raumveränderungen sich gerade aufheben, so bleibt das normale Verhältniss von Herz und Pericardium unverändert, und die Spannung des Pericardiums normal (also auch der Widerstand, den es dem Luftdruck entgegensetzt). Wird die Luft im Verbindungsrohr mehr ausgedehnt, so gelangt eine gewisse Luftmenge in das Pericardium, wodurch dies ausgedehnt, und der für die Lungen im Brustkasten vorhandene Raum verengert wird. Die Lungen werden dann ebensoviel weniger ausgedehnt, als das Pericardium mehr Raum einnimmt. Wenn die Dehnung des Pericardiums unter diesen Umständen wenig vom normalen Zustand abweicht, so wird der Druck in der Pericardialhöhle wenig wechseln, weil der Widerstand des Pericardiums (dessen Elasticitätscoefficient) nur geringe Veränderung erleidet. Ist die aus dem Verbindungsrohr des Manometers in das Pericardium übertretende Luftmenge gross, so wird dadurch die Spannung des Pericardiums bedeutend zunehmen können, und also auch der Druck in der Pericardialhöhle geändert werden ¹⁾.

1) Dies beweisen die Versuche von Heger und Spehl. Sie öffneten

Da nun bei Adamkiewicz und Jacobson's Versuchen wohl nicht viel Luft in die Pericardialhöhle gedrungen sein wird, so glaube ich annehmen zu dürfen, dass der darin vorgefundene Druck nicht erheblich von dem normalen abwich.

Nun ist der Widerstand des Pericardiums und demzufolge auch die Druckdifferenz der Pericardial- und Pleural-Höhle gewiss gering. Aus diesem Grunde glaube ich gerne, dass die von A. und J. für den in der Pericardialhöhle herrschenden negativen Druck gefundenen Werthe ziemlich mit denen der Pleurahöhle übereinstimmen werden; aber die durch das Zurückziehen des Stilets erzeugte Abnahme um 1,5 mm Hg., ist nicht, wie A. und J. gethan, von den ermittelten Zahlen zu subtrahiren, und es muss also zu dem von ihnen angegebenen Werth 1,5 mm Hg. addirt werden, um den wirklichen negativen Druck im Pericardium zu erhalten.

Weit wichtigere Bedenken habe ich gegen die Anwendung dieses Satzes auf den Oesophagus. Dass auch das Mediastinum posterius und der darin liegende Oesophagus den Einfluss des in der Pleurahöhle herrschenden negativen Drucks erleidet, will ich natürlich nicht in Abrede stellen, aber dass der negative Druck im Brusttheile des Oesophagus dem der Pleurahöhle gleich wäre, ist von vornherein unwahrscheinlich. Der Widerstand der Oesophaguswand und des Mediastinums müsste in diesem Falle = 0 sein. Sobald er einen gewissen Werth hat, muss die in dem abgeschlossenen Oesophagus befindliche Luft unter einem Druck stehen, der höher ist als der der Pleurahöhle, und zwar um soviel als dieser Widerstand beträgt. Alles was oben anlässlich A. und J.'s Untersuchung des Pericardiums und seiner Höhle gesagt ist,

das Pericardium, so dass die Luft freien Zutritt hatte, und dessen ungeachtet collabirten die Lungen nicht. „Malgré l'ouverture du médiastin“, so schreiben sie, „la respiration d'effectue régulièrement et le jeu du diaphragme provoque une expansion pulmonaire qui permet de conserver l'animal vivant pendant des heures. Parfois il arrive cependant que dans les premières minutes, qui suivent l'incision sternale, la respiration est anxieuse, saccadée, entrecoupée de spasmes tétaniques, qui font craindre l'asphyxie; si la plèvre est intacte, cette gêne ne sera que momentanée et après quelques convulsions le calme se rétablira et toute menace d'asphyxie disparaît“. Unter diesen Umständen wird also das Pericardium soweit ausgedehnt und dadurch gespannt, dass es dem atmosphärischen Druck widersteht.

gilt mutatis mutandis auch hier. Aber der Widerstand der Oesophaguswand mit ihrer Muskelschicht und Umgebung von Bindegewebe ist zweifelsohne viel grösser, und steigt natürlich bedeutend, sobald die Muskelwand in Spannung versetzt wird. Wenn die Sonde offen in den Oesophagus eingeführt wird, und die atmosphärische Luft demnach frei eintritt, so wird die Oesophaguswand bald so ausgedehnt werden, dass sie den ganzen Druck der Atmosphäre trägt, wie das Pericardium bei den Versuchen von Heger und Spehl, und dass diese Ausdehnung nicht bedeutend sein kann, beweist die Thatsache, dass beim Einführen einer offenen Oesophagussonde keine erhebliche Respirationsstörung eintritt. Die Oesophaguswand und das sie umgebende Bindegewebe des Mediastinums üben also einen gewissen Widerstand, und so viel dieser Widerstand beträgt, um soviel geringer muss auch der negative Druck sein, welcher mit geschlossener Oesophagussonde in demselben gefunden wird.

Es ist schade, dass Rosenthal seine Theorie nicht einmal experimentell geprüft hat. Er hätte dann sofort eingesehen, dass mit der Oesophagussonde, wie sich von vorneherein erwarten liess, nur ein Theil des in der Pleurahöhle herrschenden Drucks gemessen wird, und dass daraus die niedrigen Werthe, welche er für den negativen Druck überhaupt und für die Differenzen bei ruhigem Ein- und Ausathmen gefunden, leicht zu erklären sind.

Späterhin, bei der Mittheilung meiner Versuche, werde ich noch in Kurzem auf Rosenthal's Theorie zurückkommen. Aus den dort mitzutheilenden Experimenten wird sich, wie ich glaube, überzeugend ergeben, dass die absolute Grösse des negativen Drucks in der Pleurahöhle bei Thieren und auch beim Menschen auf diese Weise nicht zu ermitteln ist.

Direct in der Pleurahöhle haben d'Arsonval¹⁾ und Frédéricq²⁾ den negativen Druck bestimmt. D'Arsonval führte anfangs einen stumpfen Trocart in die rechte Pleurahöhle, da aber dabei die Lunge manchmal lädirt wurde, präparirte er später die Pleura costalis bloß, machte in derselben ein kleines Loch, und führte dann eine mit Seitenöffnungen versehene incompressible Canüle in

1) Recherches théoriques et expérimentales sur le rôle de l'élasticité du poulmon dans les phénomènes de la circulation, Paris 1877.

2) Archives de Biologie, T. 3, 1882, p. 55.

die Pleurahöhle. Mit dem aus dem Thorax hervorragenden Theil dieser Canüle war ein Stückchen Kautschukröhre verbunden. Dasselbe dient dazu, die in den Thorax eingedrungene Luft wieder heraus zu saugen, und wurde darauf mit einer Kneifpincette geschlossen. So konnte die Communication der Canüle mit dem Manometer oder mit dem Cardiographen hergestellt werden. Wenn das Thier nun frei athmete, so fand d'Arsonval bei normaler Respiration des Hundes in der Pleurahöhle einen negativen Druck von 200—220 mm Wasser beim Einathmen, und von 150 mm beim Ausathmen, demnach eine Druckdifferenz von 60 mm Wasser, oder 4,4 mm Quecksilber.

D'Arsonval theilt nur diesen einzigen Versuch mit, und fügt weiter nichts hinzu. Die absolute Grösse des negativen Drucks, die er bei seinen Versuchen in der Muskelhöhle vorfand, ist, wie man sieht, sehr beträchtlich; sie scheint aber d'Arsonval nicht aufgefallen zu sein.

Frédéricq führt ein Glasröhrchen mit stumpfer Spitze, das mit dem Manometer verbunden ist, und eine seitliche Oeffnung hat, durch die Intercostalmuskeln in die Pleurahöhle. Dies geschieht, ohne dass Luft hineindringt. Der Manometer ist mit Quecksilber und Wasser, oder nur mit Wasser gefüllt, und zwar bis an das in die Pleurahöhle eingeführte Glasröhrchen. So findet Frédéricq, dass der intrathoracale Druck nur sehr kleine Schwankungen zeigt. Zahlenwerthe jedoch giebt Frédéricq nicht, weder von der absoluten Grösse des negativen Drucks, noch von der Druckdifferenz ¹⁾.

Wie wichtig nun auch die Bestimmung des negativen Drucks am lebenden Thier sein möge, es schien mir unmöglich, auf diese Weise die normalen Verhältnisse kennen zu lernen, und ich kehrte aus diesem Grunde bald wieder zu der von Donders und Hutchinson angewandten indirecten Methode zurück, den negativen Druck im Thorax aus der Elasticität des Lungengewebes bei verschiedenen Expansionsgraden zu ermitteln.

1) Während der Correctur dieser Zeilen erhalte ich von Dr. Weil eine Monographie „Zur Lehre vom Pneumathorax“, in welcher einige Bestimmungen des negativen Drucks im Thorax beim Kaninchen und Hunde vorkommen. Ich werde auf diese Bestimmungen Weil's zurückkommen, nachdem ich meine Resultate mitgetheilt habe.

Sofort nach dem Tode des Thieres, der bei den folgenden Versuchen stets durch Verblutung in Folge Durchschneidung der Bauchaaorta herbeigeführt wurde, wobei gewöhnlich die Nervi vagi und sympathici am Halse durchgeschnitten wurden, wurde in die Trachea ein T-Stück eingebunden, das an beiden Armen mit einem Hahn versehen war. Der eine Arm communicirte mit einem Manometer, der andere mit einem graduirten, mit Luft gefüllten Rohre, mittelst dessen durch Wasserdruck die erforderliche Luftmenge in die Lunge eingepumpt werden konnte. Die an dem in die Trachea eingebundenen T-Stück angebrachten Hähne ermöglichen es, die Lungen aus dem Thorax herauszunehmen, ohne die „residual air“ auszutreiben.

Ebensowenig wie bei den todtten Lungen ergaben diese Bestimmungen das erwünschte Resultat. Auch jetzt waren die erhaltenen Zahlenwerthe so verschieden, dass der Werth der Lungenelasticität bei verschiedenen Expansionsgraden daraus nicht einmal annähernd zu bestimmen war.

Dies Ergebniss ist leicht erklärlich. Die Lungen werden, wie Hermann und Keller ¹⁾ gezeigt haben, beim Oeffnen des Thorax nach dem Tode nicht atelectatisch, sondern enthalten immer noch einige Luft, da die Bronchioli unter diesen Umständen an ihrer engsten Stelle, beim Uebergang in das Infundibulum, zusammenfallen, wodurch die in den Alveolen befindliche Luft nicht weiter entweichen kann ²⁾. Sobald also die Lungen collabirt sind, ist demzufolge der Luft der Zutritt zu den Alveolen an vielen Stellen abgeschnitten. Sobald man nun Luft einbläst, kommt demnach keine gleichmässige Entfaltung zu Stande. Bei den successiven Einblasungen werden fortwährend Bronchioli geöffnet, die bei einem vorigen Versuch geschlossen waren, und umgekehrt. Man hat hier also jedesmal gleichsam mit anderen Lungen zu thun. Aber auch wenn die Lungen nicht ganz collabirt waren, kommt bei Aufblähung derselben aus der Trachea keine gleichmässige Entfaltung zu Stande. Der Zutritt der Luft zu den Lungenalveolen ist nicht überall gleich leicht; an einer Stelle dringt sie eher in dieselben ein, als an der anderen, und wenn auch die Lungen

1) Dies. Archiv, Bd. XX, p. 365, 1879.

2) Wenn das Leben fort dauert, so wird diese Luft allmählich vom Blute absorbirt, und tritt unter diesen Umständen wirkliche Atelectase ein.

nicht ganz collabirt waren, sondern nur soweit sie es bei gewöhnlicher Expiration sind, so erzeugt dennoch erhöhter Druck in der Trachea keine gleichmässige Entfaltung.

Will man brauchbare Resultate erzielen, so muss man die Lungen nicht durch positiven Druck von Seiten der Trachea, sondern durch Druckverminderung auf der Pleurafläche entfalten, wie dies beim Leben geschieht. Schon Hutchinson war zu derselben Ueberzeugung gelangt, wie ich später bemerkte. „The lungs“, schreibt er p. 1059, „are very delicate organs and can resist but little artificial force; for if once inflated to the ordinary state of either the breathing volume or vital capacity volume, they do not appear able to collapse again to their original size: — probably intralobular emphysema is produced.

In our experiments we forced air into the lungs; they were expanded because we inflated them. Now we think it would be better to inflate them by expanding them (removing the external atmospheric pressure) and allow the air to drop into the air vesicles by its own gravitation (as in living respiration), when they would in all probability collapse freely to their original position.“

In der That sind die Lungen sehr zarte Organe, die gegen schädliche Einflüsse wenig Widerstandsfähigkeit besitzen. Sogar der geringste Druck beeinflusst sofort ihre Elasticität. Wie vorsichtig man auch verfahren mag, wenn man die Lungen aus dem Thorax herausnimmt, werden sie dabei leicht hier oder dort gedrückt. Viel sicherer erschien es mir also, die Lungen einfach in situ zu lassen und ihre Entfaltung durch den negativen Druck herbeizuführen, der das Herunterziehen des Diaphragma's verursacht.

Ich benutzte den in Fig. 1 abgebildeten Apparat. Zwei communicirende Röhren A und B, von ungefähr 500 ccm Inhalt, von denen die eine, B, in ccm eingetheilt ist, stehen durch ein dickwandiges Kautschukrohr mit einem T-Stück in Verbindung, dessen offenes Ende *h* in die Trachea des Thieres durch verschiedene Ligaturen von dicker Seide luftdicht eingebunden wird. Der andere Arm führt nach dem Manometer. Die Hähne *e*, *f* und *g* ermöglichen es, den Contact mit der Luft und mit dem Manometer abzuschliessen oder herzustellen. Nachdem bei geöffneter Bauchhöhle die Trachea mit dem Apparat verbunden war, wurde von einem Gehülften das Diaphragma gleichzeitig heruntergezogen, bis

die erforderliche Luftmenge in die Lungen eingesogen war. Je nachdem durch Saugung mehr Luft in die Lungen aufgenommen wurde, floss Wasser aus dem Behälter ebenso regelmässig zu, bis am Ende wieder ein gleicher Niveaustand in beiden Röhren hergestellt war, und die Luft in den Lungen also unter dem atmosphärischen Druck stand. Nun wurde der Hahn *f* geschlossen, die Hand aus der Bauchhöhle entfernt, der Hahn *e* geöffnet, und die elastische Kraft der Lungen unter diesen Umständen am Manometer abgelesen. Der auf diese Weise erlangte Werth für die Elasticität der Lungen ist natürlich zu klein, da, auch wenn die Trachea abgeschlossen ist, die Lungen einigermassen collabiren, zufolge der Compression, welche die in ihnen enthaltene Luft durch diese Elasticität selbst erleidet. Man bestimmt also eigentlich nicht die elastische Kraft, welche die Lungen besitzen, wenn sie durch das angegebene Luftvolum ausgedehnt sind, sondern die Elasticität, welche sie, bei einem soviel kleineren Luftvolum, als diese Compression beträgt, besitzen. Dieser Fehler wird natürlich grösser werden, je nachdem der Raum zwischen den Lungen und dem Manometer grösser ist. Man muss die Canüle also möglichst tief in die Trachea einbinden, und auch den schädlichen Raum *h*, *f* und *e* bis an die Flüssigkeitssäule in dem Manometer möglichst klein machen. Besonders bei Versuchen an kleinen Thieren ist der Einfluss desselben bedeutend. Bei meinen Versuchen an kleinen Thieren betrug er nur 3 ccm. Bei den Versuchen an grösseren Thieren war er anfänglich 9—12 ccm; später habe ich ihn auch für diese Thiere bis auf 6 ccm verkleinert; ich habe aber zu meiner Freude bemerkt, indem ich beide Manometer nach einander mit denselben Lungen bei demselben Expansionsgrade verglich, dass dieser schädliche Raum bei meinen ersten Versuchen an Hunden keinen erheblichen Einfluss auf die erhaltenen Werthe ausgeübt hat.

Es hat sich allmählich ergeben, dass nach dieser Methode vollkommen übereinstimmende Werthe für die Lungenelasticität erzielt werden, wenn den folgenden Bedingungen entsprochen wird:

1. Beim Aufsaugen müssen die Luftvolumina sehr genau gemessen werden, und die Tension der Luft also stets genau die der Atmosphäre sein.

2. Diesen Zweck zu erreichen, muss die Entfaltung der Lunge gleichmässig und also langsam bewerkstelligt werden, und

ebenso gleichmässig muss das Wasser in der Röhre A zufließen, sodass während des Aufsaugens keine erhebliche positive oder negative Druckdifferenz entsteht und die Flüssigkeit nach beendeter Aufsaugung in den Röhren A und B vollkommen gleich steht. Auch das Collabiren der Lungen nach der Expansion muss nicht zu schnell stattfinden.

3. Der Versuch muss nicht lang fortgesetzt worden. Sobald die Temperatur der Lungen bedeutend herabgesunken ist, muss er eingestellt werden. Setzt man ihn dann noch fort, so werden die bei demselben Expansionsgrade erhaltenen Zahlenwerthe allmählich höher. Im Verband mit den sub 2 aufgeführten Bedingungen ist der Versuch bei grösseren Thieren mit mehr Schwierigkeiten verknüpft, weil bei diesen grössere Luftmengen ins Spiel treten, und demzufolge jede Bestimmung mehr Zeit erfordert.

4. Der erste Werth, den man erzielt, fällt gewöhnlich zu niedrig aus, und ist folglich zu vernachlässigen. Vor Allem ist dies der Fall, wenn bei der ersten Entfaltung nur eine kleine Luftmenge aufgesogen wurde. Man kann sich dann direct überzeugen, dass nach der Entfaltung mehr Luft in den Lungen zurückbleibt, als dieselben vorher enthielten. Lässt man nämlich aus dem Hahn *i* des Apparats soviel Wasser ab, dass das Niveau in der Röhre A wieder seinen ursprünglichen Stand erreicht, so müsste, wenn das in den Lungen enthaltene Luftvolum unverändert geblieben wäre, das Wasserniveau in den beiden Röhren A und B gleich stehen. Dies ist nicht der Fall; im Rohre B steht es nunmehr höher, woraus erhellt, dass die Lungen jetzt mehr Luft enthalten, und also nach der Entfaltung weniger collabirt sind, als zuvor¹⁾.

1) Ich vermute, dass die Ursache davon hierin liegt, dass bei horizontaler Lage des Thieres auf dem Rücken nach Oeffnung der Bauchhöhle das Diaphragma sich etwas stärker nach oben wölbt, als bei der gewöhnlichen Exspiration, und die Lungen demzufolge auch im geschlossenen Thorax bei Rückenlage etwas stärker collabiren, als bei normaler Exspiration bei aufrechter Stellung. Dann wird auch hier sich die Erscheinung zeigen müssen, worauf Hermann und Keller aufmerksam gemacht haben. Es verstreicht eine gewisse Zeit nach dem Tode des Thieres, ehe der Manometer in die Trachea befestigt ist, und in dieser Zeit mag noch wohl etwas Sauerstoff absorbirt werden. Die Bronchioli und Alveolengänge müssen nun erst wieder geöffnet und die Alveolen selbst mit neuer Luft gefüllt werden, ehe die normalen Verhältnisse wieder hergestellt sind.

Zum Beweise, dass, bei Beachtung aller Vorsichtsmassregeln, die Zahlen, welche sich für die Lungenelasticität bei verschiedenen Expansionsgraden ergeben, nichts zu wünschen übrig lassen, will ich hier einige Versuche vollständig mittheilen.

Quantität der eingethmeten Luft in cem.		Pos. Druck in der Trachea in mm Wasser.						
1)	146	44	50	53	56			
	155			57	57			
	200			67	66			
	250			81	79			
	300			92	91			
	320			99	94			
2)	50	40	42	42	44	47	44	43
	100		74	76	76	80	76	
	120		84	84		88	84	
	140			91		99	96	
3)	50	31	39	39	39			
	105		69	71				
	120		79	81				
	137		84	88				
4)	50	37	41	41				
	100		67	69				
	115		77	77				
	125		81	81				
5)	10	28	29	29				
	12		34	34				
	18,5	50	46	46	46			
	25,5	65	65	65	65			

Die vier ersten Reihen beziehen sich auf den Hund, die fünfte auf das Kaninchen.

Nicht immer waren natürlich die Zahlen so vollkommen gleich, wie bei den hier aufgeführten Versuchen, welche ich am Ende meiner Untersuchung anstellte, als ich allmählich alle Umstände hatte kennen lernen, die verkehrte Resultate veranlassen können, aber auch schon bei meinen ersten Versuchen waren die Ergebnisse dergestalt, dass die Brauchbarkeit der Methode mir genügend gesichert schien.

Um einen Maassstab zur Vergleichung zu erlangen, bestimmte ich zunächst beim Hund und beim Kaninchen die Elasticität der Lungen bei dem Expansionsgrade, welcher erzielt wird, wenn ein Luftvolum, das in einem bestimmten Verhältniss zum Körpergewicht steht, aufgesogen wird. Für den Menschen mittlerer Grösse, bei einem Körpergewicht von 72 kgr nimmt man allgemein für die normale Athmungsgrösse 500 ccm an. Ich setzte vorläufig voraus, dass beim Hunde und Kaninchen das Verhältniss von Körpergewicht und Athmungsgrösse dasselbe sein würde, wie beim Menschen.

Nach Beendigung des Versuches, wenn die Lungen wieder collabirt waren, öffnete ich den Thorax und bestimmte so die Lungenelasticität bei Expiration.

So fand ich bei Hunden:

	Körper- gewicht in Kilogr.	Be- rechnete Ath- mungs- luft in ccm.	Ein- geathm. Luft- volum in ccm.	Pos. Druck in der Trachea in mm Wasser.	Negativer Druck im Thorax bei				Druck- differenz bei In- und Expiration in			
					Inspiration in		Expiration in		bei In- und Expiration in			
					mm Wass.	mm Hg.	mm Wass.	mm Hg.	mm Wass.	mm Hg.	mm Wass.	mm Hg.
1	5,7	—	—	—	—	—	53	3,9	—	—	—	—
2	6,7	47	47	43	98	7,2	55	4,0	43	3,2	—	—
3	6,8	47	47	39	96	7,1	57	4,2	39	2,9	—	—
4	7,0	50	50	43	96	7,1	53	3,9	43	3,2	—	—
5	7,2	50	50	39	94	7,0	55	4,0	39	2,9	—	—
6	7,5	52	50	39	91	6,7	52	3,9	39	2,9	—	—
7	8,2	57	60	47	103	7,6	56	4,1	47	3,5	—	—
8	8,5	59	60	42	95	7,0	53	3,9	42	3,1	—	—
9	8,8	61	60	52	—	—	—	—	52	3,8	—	—
10	12,3	86	86	43	95	7,0	52	3,8	43	3,2	—	—
11	14,0	97	100	52	118	8,7	66	4,8	52	3,8	—	—
12	14,6	101	100	40	91	6,7	51	3,7	40	3,0	—	—
13	15,5	108	110	45	100	7,4	55	4,0	45	3,3	—	—
14	21,0	146	146	54	115	8,5	61	4,5	54	4,0	—	—
15	22,1	153	155	53	110	8,1	57	4,2	53	4,0	—	—
16	24,5	170	—	—	—	—	52	3,8	—	—	—	—
17	26,5	184	180	55	103	7,6	48	3,5	55	4,0	—	—
18	33,0	230	230	34	85	6,3	51	3,7	34	2,5	—	—

Wie ich schon erwähnt, fangen die für die Elasticität erhaltenen Werthe an zu steigen, wenn man den Versuch zu lange fortsetzt. Aus diesem Grunde wurde im Versuch 1 und 16 der Thorax sofort geöffnet, um die Werthe für die Elasticität bei Expiration,

die sonst natürlich erst am Ende des Versuchs zu erhalten sind, zu controliren. Bei Versuch 9 ging die Bestimmung der elastischen Kraft bei Expiration verloren, weil irrthümlich versäumt war den Hahn in der Trachealröhre zu schliessen.

Aus den mitgetheilten Zahlen ergibt sich, dass für Hunde von weniger als 10 kgr der negative Druck im Thorax bei Inspiration im Mittel 7,1, bei Expiration im Mittel 4, und die Druckdifferenz also 3,1 mm Hg beträgt; für Hunde über 10 ergab sich bei Inspiration im Mittel 7,5, bei Expiration 4,0, und für die Druckdifferenz also im Mittel 3,5 mm Hg.

Die Zahlen zeigen, wie man sieht, bei den kleineren Thieren grosse Uebereinstimmung, bei den grösseren Thieren gehen sie, sowohl in Bezug auf die absolute Grösse des negativen Drucks, als auf die Druckdifferenz bei In- und Expiration, mehr auseinander. Neben höheren Werthen kommen hier niedrigere vor, und nur dadurch weicht der Durchschnittswerth so wenig von dem der kleineren Thiere ab. Woher dies kommen mag, wage ich nicht zu entscheiden. Ich möchte geneigt sein, dem Alter Einfluss zuzuschreiben. Bei Versuch 14 war der Hund ohne Zweifel jung, bei Versuch 17 und 18 ohne Zweifel alt; in Bezug auf die andern Thiere aber weiss ich davon nichts.

Bei den Versuchen an Kaninchen erheischt es mehr Sorgfalt richtige Zahlen zu erlangen, als bei Hunden, und dies ist leicht erklärlich. Erstens sind die Luftvolumina soviel kleiner, und kleine Ungenauigkeiten in der Bestimmung der aufgesogenen Luftvolumina erzeugen sofort in den für den Druck ermittelten Zahlenwerthen bedeutende Steigung oder Abnahme. Man muss also sehr genau messen. Zweitens aber muss man sehr regelmässig und langsam die erforderliche Luftmenge aufsaugen und nach der Expansion die Lungen auch wieder langsam collabiren lassen. Sobald man dies versäumt, gehen die bei denselben Expansionsgraden nach und nach für die elastische Kraft erhaltenen Zahlenwerthe bedeutend auseinander. Ich vermurthe, dass bei der Lunge des Kaninchens einzelne Bronchioli und Alveolengänge sehr schnell collabiren, sobald der Druck etwas stark negativ wird und dadurch unregelmässige Entfaltung der Lungen erzeugt wird.

Ausserdem ist noch ein Umstand zu berücksichtigen. Man muss die Canüle so in der Trachea befestigen, dass die normale Lage derselben nicht beeinträchtigt wird. Achtet man nicht da-

rauf, so kann es leicht geschehen, dass die Trachea beim Aufbinden auf die Canüle zu weit heraus gezogen wird. In diesem Falle können die Lungen sich nicht normal entfalten und müssen demnach auch die Zahlen abnormal werden.

Werden alle diese Umstände berücksichtigt, so ergeben sich auch beim Kaninchen sehr übereinstimmende Zahlen, wie wir vorhin schon gesehen.

So fand ich bei Kaninchen:

	Körpergewicht in Kilogr.	Berechnete Athmungs- luft in ccm.	Ein- geathm. Luft- volum in ccm.	Pos. Druck in der Trachea in mm Wasser.	Negativer Druck im Thorax bei				Druck- differenz bei In- und Expiration in	
					Inspiration in		Expiration in			
					mm Wass.	mm Hg.	mm Wass.	mm Hg.	mm Wass.	mm Hg.
1	3,69	25,6	25,5	65	97	7,1	32	2,3	65	4,8
2	2,60	18,0	18,0	70	101	7,5	31	2,3	70	5,1
3	2,37	16,5	16,5	69	105	7,7	36	2,6	69	5,1
4	2,08	15,0	15,0	70	105	7,7	35	2,6	70	5,1
5	2,05	15,0	15,0	75	111	8,1	36	2,6	75	5,5
6	1,98	13,7	14,0	70	106	7,8	36	2,6	70	5,1
7	1,90	13,2	14,0	72	—	—	—	—	72	5,3

Nach diesen Bestimmungen betrüge bei Kaninchen der negative Druck bei Inspiration im Mittel 7,6, bei Expiration im Mittel 2,5 mm Hg, und die Druckdifferenz im Mittel 5,1 mm Hg, das ist ungefähr 2 mm Hg. mehr als bei den Hunden gefunden wurde.

Es leuchtet aber sofort ein, dass hier ein Umstand zu berücksichtigen ist. Magen und Dickdarm sind bei den Kaninchen mit einer grossen Menge Pflanzenstoffe gefüllt, und um das wahre Körpergewicht zu kennen, ist das Gewicht derselben von dem Körpergewicht zu subtrahiren.

Bei den 4 ersten Versuchen obiger Reihe ist dies geschehen und aus dem so rectificirten Körpergewicht die Respirationsmenge in demselben Verhältniss ermittelt.

So ergab sich:

	Recti- ficirtes Körper- gewicht in Kilogr.	Be- rechnete Ath- mungs- luft in ccm.	Ein- geathm. Luft- volum in ccm.	Pos. Druck in der Trachea in mm Wasser.	Negativer Druck im Thorax bei				Druck- differenz bei In- und Expiration	
					Inspiration		Expiration		in	
					mm Wass.	mm Hg.	mm Wass.	mm Hg.	mm Wass.	mm Hg.
1*	2,66	18,5	18,5	46	78	5,7	32	2,3	46	3,4
2*	2,05	15,0	15,0	55	86	6,3	31	2,3	55	4,0
3*	1,88	12,5	12,5	54	90	6,6	36	2,6	54	4,0
4*	1,77	12,0	12,0	55	91	6,7	36	2,6	55	4,0

So beträgt der negative Druck bei Inspiration im Mittel 6,3, bei Expiration im Mittel 2,4, und die mittlere Druckdifferenz also 3,9 mm Hg, m. a. W. die absolute Grösse des negativen Drucks wäre, wenn die obige Annahme richtig, sowohl bei In- als bei Expiration für Kaninchen kleiner als für Hunde, die Druckdifferenz dagegen etwas grösser.

Es entstände also zunächst die Frage, ob die erhaltenen Zahlen wohl allein die elastische Kraft der Lungen ausdrücken und nicht zu hoch ausgefallen sind, weil auch die Rippen aufgehoben und bei Loslassen des Diaphragmas die Lungen activ comprimirt werden. Erstens muss ich hierzu bemerken, dass der Respirationstypus beim Hunde und Kaninchen ausgeprägt abdominal ist, und man, bei Erweiterung des Thorax durch Herunterziehen des Diaphragmas, überhaupt keine Aufhebung der Rippen bemerkt. Bei der relativ geringen Volumveränderung, die der Thorax beim Aufsaugen der aus dem Körpergewicht ermittelten Respirationsmenge erleidet, ist keine Spur von Ausdehnung ersichtlich. Es dürfte also unwahrscheinlich sein, dass der Thorax selbst Einfluss haben sollte. Dennoch aber habe ich es nicht unterlassen, mich experimentell davon zu überzeugen, und dazu die elastische Kraft der Lungen ausserhalb des Thorax bestimmt. Ich benutzte dazu den in Fig. 2 abgebildeten Apparat. Dieselben communicirenden Röhren A und B, wie in Fig. 1, sind mit einer Luftglocke *k* verbunden, in der durch eine Bunsen'sche Pumpe die Luft verdünnt werden kann. Vor Oeffnung des Thorax wird in die Trachea ein Glasrohr eingebunden und der Hahn *g* geschlossen. Darauf werden die Lungen vorsichtig aus dem Thorax genommen und mög-

lichst schnell in die Glocke *k* gebracht. In diese werden nun bestimmte Luftmengen durch Adspiration unter normalem atmosphärischem Druck eingeführt. Sobald die erforderliche Menge aufgesogen und das Niveau in den Röhren A und B durch Zufluss aus D wieder ausgeglichen ist, wird der Hahn *h* umgedreht, und die Saugpumpe von dem künstlichen Thorax abgeschlossen. Dieser Hahn *h* ist so eingerichtet, dass nicht nur die künstliche Brusthöhle mit der Bunsen'schen Pumpe nach Belieben in Contact gestellt, sondern auch die äussere Luft entweder abgeschlossen oder mit dem Inneren der Glocke in Verbindung gesetzt werden kann. Sobald sich nun beim Abschluss der Bunsen'schen Pumpe zeigt, dass gerade die erforderliche Luftmenge bei normalem atmosphärischem Druck in die Lungen aufgenommen ist, wird der Hahn *f* geschlossen, die äussere Luft mit der Glocke in Contact gesetzt und der Hahn *e* geöffnet. Der Raum *g*, *e*, *f* sammt dem des in die Trachea eingebundenen Rohres ist möglichst klein genommen, und beträgt nur 3 ccm.

In die Trachea eines Kaninchens wurde eine mit einem Hahn *g* versehene Röhre eingebunden und die elastische Kraft der Lungen bei Expiration durch Oeffnung der Pleurae mit dem vorigen Apparat (Fig. 1) bestimmt. Darauf wurde der Hahn *g* geschlossen, die Lungen vorsichtig aus dem Thorax genommen und in die Luftglocke *k* eingebracht. Nachdem die Verbindung mit dem Manometer und den communicirenden Röhren A und B hergestellt war, wurde der Hahn *g* geöffnet, und nun, wie früher, bestimmte Luftmengen aus dem Rohre B aufgesogen, während durch Zufluss von Wasser in das Rohr A die Spannung dieser Luftvolumina der der Atmosphäre gleich gemacht wurde. So ergab sich:

	Körpergewicht in Kilogr.	Berechnete Athmungs- luft in ccm.	Ein- geathm. Luft- volum in ccm.	Pos. Druck in der Trachea in mm Wasser.	Negativer Druck im Thorax bei				Druck- differenz bei In- und Expiration	
					Inspiration in		Expiration in		in	
					mm Wass.	mm Hg.	mm Wass.	mm Hg.	mm Wass.	mm Hg.
1	2,26	15,8	16	68	68	5,0	39	2,8	29	2,1
2	2,13	14,8	15	67	67	5,0	36	2,6	31	2,2

Die Ergebnisse sind, wie man sieht, unter sich übereinstimmend, aber viel niedriger, als die durch Expansion der Lungen im Thorax erhaltenen. Im Mittel betrug dort der Druck bei Inspiration 7,6, und die Druckdifferenz 5,1 mm Hg, und hier 5 und reichlich 2 mm Hg.

Oberflächlich betrachtet scheint dieses Resultat sehr stark dafür zu sprechen, dass die Thoraxwand in den ersten Versuchen Einfluss und zwar sehr grossen Einfluss auf die Werthe für die elastische Kraft ausgeübt hat. Dennoch würde man sehr irren, wenn man aus jenen Resultaten diese Schlussfolgerung zöge.

Wenn man die elastische Kraft der Lungen durch Oeffnen des Thorax bestimmt, darauf den Hahn schliesst, die Lungen aus dem Thorax entfernt und in die Luftglocke bringt, so nimmt in zwischen die Tension der Luft in den Lungen bedeutend ab: 1. durch Abkühlung, 2. durch Absorption von Sauerstoff, wahrscheinlich, wie wir schon sahen, aber 3., weil die Lungen nun an der Trachea hängen und die Verlängerung derselben nicht unbedeutliche Raumvergrösserung bedingt.

Schon im Thorax ist dies auch der Fall. Wenn man die zwei Pleurasäcke, nach einander öffnet, so erhält man für die elastische Kraft der Lungen einen gewissen Werth, welcher noch zunimmt, wenn man die Verbindung des parietalen Blattes, des Pericardiums mit dem Sternum durchschneidet. So ergab sich für die elastische Kraft bei Expiration:

	1.	2.
Rechte Pleura geöffnet	29	30
Linke " "	31	35
Pericardium durchgeschnitten	39	38.

Diese Steigerung der elastischen Kraft nach Durchschneidung des Pericardiums dürfte wohl grossentheils auf Raumverkleinerung der Trachea beruhen, wobei der geringe Druck des Herzens auf die Lungen vielleicht auch noch im Spiele ist. Wenn man die Lungen in dem künstlichen Thorax suspendirt, so tritt entschieden Raumvergrösserung ein, in Folge deren die Tension in den Lungen nicht unerheblich abnimmt. Unter diesen Umständen kann also die Adspiration gleicher Luftmengen, wie im wirklichen Thorax, nicht dieselbe Steigerung der elastischen Kraft erzeugen.

Wenn man mit Gewissheit entscheiden will, ob die Erhöhung

des positiven Drucks in der Trachea, die man nach Adspiration eines gewissen Luftvolums beobachtet, ganz von der Erhöhung der elastischen Kraft der Lungen, oder auch theilweise von der Ausdehnung und Aufhebung der Brustwand bedingt wird, muss man vor allem mit denselben Lungen experimentiren, und bei der Vergleichung der im natürlichen und künstlichen Thorax bei Adspiration gleicher Luftvolumina erhaltenen Tension selbstverständlich sorgen, dass man in beiden Fällen von demselben Expansionsgrade ausgeht.

Zur Erreichung dieses Zweckes genügt es nicht, dass man die elastische Kraft der Lungen im natürlichen Thorax misst und nun, nachdem der Hahn *g* geschlossen ist, die Lungen in die Glocke *k* bringt. Man muss sich nun erst noch überzeugen, dass die Luft, nach Suspension der Lungen im künstlichen Thorax, in denselben noch die nämliche Tension besitzt, die sie im natürlichen Thorax hatte, m. a. W.: die Lungen müssen in beiden Fällen denselben Expansionsgrad besitzen. Dies war in den soeben erwähnten Versuchen nicht der Fall gewesen und demzufolge ergaben sich viel niedrigere Werthe. Wenn nach einander mit denselben Lungen der Versuch auf diese Weise angestellt wird, kann die Frage, ob bei unsern Versuchen ausser der elastischen Kraft der Lungen auch die Thoraxwand im Spiele gewesen, mit Gewissheit entschieden werden.

Nachdem also zunächst auf die früher beschriebene Weise durch vorsichtiges Herunterziehen des Diaphragmas die elastische Kraft der Lungen bei bestimmten Expansionsgraden bestimmt worden, wurde durch Oeffnen des Thorax die elastische Kraft der Lungen bei Expiration ermittelt. Nach Schliessung des Hahns *g* wurden die Lungen schnell in den künstlichen Thorax gebracht und durch Luftverdünnung in der Glocke *k* soweit entfaltet, dass sie wieder dieselbe elastische Kraft besaßen, wie im normalen Thorax in der Periode der Expiration, wie am Manometer abzulesen war. Nun wurden gleiche Luftvolumina adspirirt, und bei den entsprechenden Expansionsgraden die elastische Kraft bei denselben Lungen im künstlichen Thorax bestimmt. Die Uebereinstimmung zwischen beiden Zahlen ist vollkommen, und zwar nicht nur bei dem bis jetzt besprochenen Expansionsgrade, sondern sogar wenn die doppelte Luftmenge und mehr adspirirt wird, ist durchaus kein Einfluss der Thoraxwand zu spüren.

So ergab sich beim Kaninchen:

Körpergewicht in Kilogr.	Berechnete Athmungsluft in ccm.	Eingeathmetes Luftvolum in ccm.	Pos. Druck in der Trachea nach Inspiration in mm Wasser.	Pos. Druck in d. Trachea bei Oeffnung des Thorax bei Expiration in mm Wass.	Ganzer neg. Druck im Thorax bei Inspiration in mm Wasser.
2,08	15	15	70	35	105
—	—	20	94	—	129

Wenn nun die Lungen in den künstlichen Thorax eingehängt und entfaltet wurden, bis ihre elastische Kraft wieder 35 mm Wasser betrug, ergab sich:

	15		99
	20		127

Das Resultat beweist, dass die Thoraxwand durchaus nicht ins Spiel tritt. Sogar bei Adspiration einer um 5 ccm grösseren Luftmenge beträgt der Unterschied zwischen den auf beide Weise bei denselben Lungen erhaltenen Werthen nur 2 mm Wasser.

Bei Hunden war das Ergebniss nicht weniger entscheidend:

8,2	57	60	47	56	103
—	—	100	79	—	135
—	—	115	87	—	143
—	—	id.	83	—	139
—	—	id.	84	—	140

Wenn nun die Lungen in den künstlichen Thorax eingehängt und entfaltet werden, bis ihre elastische Kraft wieder 56 mm Wasser betrug, so ergab sich:

	60		101
	id.		103
	100		129
	id.		133
	115		139
	id.		143
	id.		137

Zwischen jeder dieser Bestimmungen wurden die Lungen nach dem Collabiren wieder soweit entfaltet, dass ihre elastische Kraft 56 mm Wasser betrug.

Die Uebereinstimmung dieser Zahlen ist, wie man sieht, vollständig, und es bedarf nach Mittheilung derselben wohl keiner weiteren Argumente zum Beweise der Behauptung, dass bei Expansion der Lungen in meinen ersten Versuchen durch den Manometer in der Trachea die elastische Kraft der Lungen und nur diese bestimmt ist. Sogar bei Expansion der Lungen durch ein Luftvolum, dass zweimal grösser ist als die aus dem Körpergewicht ermittelte Athmungsgrösse, ist von einer Aufhebung der Rippen beim Hunde nichts zu merken. Die Uebereinstimmung der Zahlen zeigt ferner, dass beim Herunterziehen des Diaphragmas die Entfaltung der Lungen auf natürliche Weise zu Stande kommt. Dass während des Lebens besonders der musculöse Theil des Diaphragmas Gestalt und Lage ändert, und man diesen Vorgang mit der Hand natürlich nicht nachahmen kann, mag der Grund sein, warum die Lungen bei meinen Versuchen einigermaßen abnormal ausgedehnt wurden. Wenn sie aber ausser dem Thorax ganz frei suspendirt sind und sich also regelmässig entfalten können, ergeben sich dieselben Zahlen.

Der beim Loslassen des Diaphragmas beobachtete positive Druck in der Trachea drückt also innerhalb der angegebenen Grenzen rein und ausschliesslich die elastische Kraft der Lungen aus, und gewährt demnach einen reinen Maassstab des in den Pleurahöhlen herrschenden negativen Drucks, m. a. W. der Saugkraft des Thorax.

Gegen die Anwendung meiner Bestimmungen auf die Verhältnisse im Leben liesse sich noch ein Bedenken anführen. Ich denke dabei nicht an den Tonus der in den Lungen enthaltenen organischen Muskelfasern. Dass diese ohne Einfluss sind, hat u. A. Leo Gerlach¹⁾ scharf dargethan und auch mein Befund stimmt damit überein. Nur nimmt man am Manometer einige Stunden nach dem Tode, beim Eintritt der Leichenstarre, gewöhnlich einige Steigerung des Manometers wahr, die auf eine von der Verkürzung der organischen Muskelfasern bedingte Raumverminderung in den Lungen während dieser Periode hinweist.

Den Einfluss des Tonus können wir also unberücksichtigt lassen, aber ist dies auch mit der Füllung der Blutgefässe der Fall? Während des Lebens befindet sich in dem reichen Blutge-

1) Dies. Archiv, Bd. XXIII, 1876, S. 491.

fässnetz der Lungen Blut unter einem gewissen Druck und bei unseren Versuchen sind diese Blutgefässe fast blutleer, jedenfalls blutarm, sodass alle Tension darin fehlt. D'Arsonval misst der Füllung der Blutgefässe in den Lungen grosse Bedeutung für die Elasticität des Lungengewebes bei. Um den Einfluss derselben kennen zu lernen, habe ich das Thier mit Curare vergiftet, bis alle willkürliche Respirationsbewegung aufgehoben war. Die künstliche Respiration wurde nun nicht, wie gewöhnlich, durch Einblasung der Luft in die Trachea, sondern auch hier beim lebenden Thiere, wie bei den Versuchen an den Lungen des eben getödteten, durch Bewegung des Diaphragmas unterhalten. In die Trachea wurde das offene Ende *h* eingebunden und der Hahn *f* entfernt. Ein Manometer wurde in die linke Carotis (also in die Aorta) befestigt und der Blutdruck registriert. Die vago-sympathici waren durchschnitten. Während der Blutdruck sich normal verhielt, wurde die Hand aus der Bauchhöhle entfernt und der Thorax somit in den gewöhnlichen Expirationszustand versetzt. Nun wurde, wie beim todtten Thiere, eine bestimmte Luftmenge aus den communicirenden Röhren A und B adspirirt und die elastische Kraft der entfalteten Lungen, wie früher, durch Messung des positiven Drucks in der Trachea bestimmt. Die Hunde, an welchen der Versuch gemacht wurde, hatten ein Körpergewicht von 14,65 und 26,5 kgr. Die daraus berechnete Athmungsgrösse beträgt 101 resp. 180 ccm. Bei Expansion der Lungen mit den angegebenen Luftmengen ergaben sich die folgenden Zahlen für die elastische Kraft. Sogleich nach Beendigung des Versuchs wurde das Diaphragma geöffnet.

Versuch.	Körpergewicht in Kilogr.	Eingeathmetes Luftvolum in ccm.	Blutdruck in mm Hg.	Elastische Kraft der Lungen in mm Wasser.	Druckdifferenz in	
					mm Wass.	mm Hg.
12	14,6	100	148	40}	40	3,0
		id.	162	40}		
		200	152	76}	73	5,4
		id.	154	70}		
		100	156	36		
		0 (Thorax geöffnet.)	164	51		
17	26,5	180	178	55	55	4,0
		0 (Thorax geöffnet.)		48		

Bei dem zweiten Versuch stand das Herz nach der ersten Bestimmung still. Die sofort darauf vorgenommene Bestimmung an dem eben gestorbenen Thiere ergab genau dieselbe Zahl. Die beim ersten Versuch für die elastische Kraft der Lungen am lebenden Thiere ermittelten Zahlen stimmen, wie man sieht, genau mit denjenigen, welche man sofort nach dem Tode bei denselben Expansionsgraden erhält. Auch der Blutdruck in den Lungengefässen übt also keinen Einfluss aus. Aus der elastischen Kraft sofort nach dem Tode darf also auf den Zustand während des Lebens, den negativen Druck oder die Saugkraft des Thorax, geschlossen werden.

Wie man sich erinnern wird, ging ich, um einen Maassstab zur Vergleichung zu haben, vorläufig von der Ausnahme aus, dass die Athmungsgrösse des Hundes und Kaninchens bei ruhigem Ein- und Ausathmen in ungefähr demselben Verhältniss zum Körpergewicht stehe, wie bei Menschen. Ist diese Annahme richtig? Nur durch Bestimmung der ein- oder ausgeathmeten Luftvolumina lässt sich natürlich diese Frage beantworten.

Diese Bestimmung ist mit einigen Schwierigkeiten verknüpft, da die Athmungsgrösse sehr veränderlich ist; sobald das Thier sich unter abnormalen Verhältnissen befindet, ist die normale Grösse nicht zu bestimmen. Es muss ruhig und still sein. Aber auch dann nur wird normal geathmet, wenn die Zu- und Abfuhr der Luft ungehemmt ist. Sobald bei der Respiration irgend ein Widerstand, entweder beim Ein- oder Ausathmen, auftritt, weichen die Luftvolumina bedeutend von den normalen Verhältnissen ab. Jedes Hemmniss bei Zu- oder Abfuhr zu beseitigen, ist natürlich unmöglich, wenn man das Luftvolum messen will; aber man muss danach streben, dieses Ideal so nahe wie möglich zu erreichen.

Bei den Versuchen, die ich mittheilen will, athmeten die Thiere durch Lovén'sche Ventile in einem bei jedem Stande genau aequilibrirten Spirometer.

Die Ventile sind auf einem Mundstück, das gut anschliessend an den Kopf des Thieres befestigt werden kann, angebracht und je nachdem das Thier grösser ist, muss auch das zu benutzende Mundstück und verhältnissmässig auch die Ventile und Verbindungsröhren grösser genommen werden.

Das sich bei der Expiration öffnende Ventil führt in ein

Rohr, das mit dem Spirometer verbunden ist. Da die Lufttrommel des Spirometers schwerer wird, je mehr sie sich aus dem Wasser erhebt, muss ein Mittel ausfindig gemacht werden, um diese Gewichtszunahme der Lufttrommel durch ein Gegengewicht auszugleichen. Dies lässt sich durch eine sogenannte Schnecke Fig. 3 erreichen, an welcher das Gewicht p hängt, und die selbst an dem grossen Rad unbeweglich befestigt ist. Jenachdem die Trommel steigt, wird der Hebelarm, welcher den Druck des Gewichtes p auf dieses Rad überträgt, infolge der Excentricität der Schnecke grösser, wodurch vollständige Compensation des Gewichtes der Lufttrommel in jedem Stande derselben erreicht wird ¹⁾.

Mit jedem Hunde wurden nun einige Serien von Bestimmungen gemacht, und zwar um so mehr, je mehr die Zahlen von einander abwichen. Aus diesen Serien wurde ein Mittelwerth für die normale Respirationsmenge berechnet, während zugleich die Maxima und Minima aus den verschiedenen Serien zusammengenommen wurden, um daraus die mittleren Maximal- und Minimalwerthe herzuleiten. Ein Beispiel stehe hier zur Erläuterung. Bei einem Hunde von 6,8 kgr wurde die normale Respirationsmenge folgendermassen bestimmt:

Die erste Serie, aus 15 Reihen, jede von 10 in ccm ausgedrückten Respirationen bestehend, ergab folgende Zahlen:

1200	1350	1100	1250	1200	1000	1150	1300	1250	1200	1300
1250	1150	1150	1150	= 18000 getheilt durch 15 ist 1200 ccm oder						
120 ccm als mittlerer Werth für die Athmungsgrösse,										
135	"	"	maximaler	"	"	"	"	"	"	"
100	"	"	minimaler	"	"	"	"	"	"	"

Die 2. Serie lieferte:

113,3 ccm als mittlerer Werth für die Athmungsgrösse,										
120,0	"	"	maximaler	"	"	"	"	"	"	"
95,0	"	"	minimaler	"	"	"	"	"	"	"

Die 3. Serie lieferte:

110 ccm als mittlerer Werth für die Athmungsgrösse,										
120	"	"	maximaler	"	"	"	"	"	"	"
90	"	"	minimaler	"	"	"	"	"	"	"

1) Auf ganz dieselbe Weise hat Panum schon im Jahre 1868 die normale Athmungsgrösse des Menschen zu bestimmen versucht. S. dies. Archiv, Bd. I, S. 125.

Auch hier, wie bei den früher erwähnten Versuchen an Hunden, gehen die Zahlen bei den Thieren, deren Körpergewicht 10 kgr übersteigt, mehr auseinander als bei den kleineren Thieren. Ich messe den bei den kleineren Hunden für den negativen Druck erhaltenen Zahlen, sowohl hier wie dort grösseren Werth bei, weil die Entfaltung der Lungen bei den grösseren Thieren mit meinem Apparat nicht so langsam und gleichmässig zu bewirken war, wie bei den kleineren Thieren, da die Oeffnungen der verschiedenen Hähne dazu zu klein waren. Bei der Adspiration so grosser Luftvolumina durch diese kleinen Oeffnungen wurde der Druck gar leicht etwas stark negativ, und konnte also einer der Bedingungen, welche, wie oben erwähnt, zur Erlangung genauer Zahlen erforderlich sind, nicht durchaus entsprochen werden. In Bezug auf die jetzt angeführten Zahlen ist noch ein zweiter Grund, warum ich den bei kleineren Thieren gewonnenen Zahlen mehr Werth beilege. Auch die Bestimmung der normalen Respirationsgrösse ist nämlich bei grösseren Thieren nicht so genau, weil dazu die Ventile etwas klein waren, und auch der Widerstand der Ventile zunimmt, wenn grössere Luftvolumina ins Spiel treten. — Aus beiden Gründen lasse ich bei der weiteren Besprechung meiner Resultate die zwei letzten Bestimmungen unberücksichtigt.

Aus den übrigen 7 Versuchen erhellt, dass der ganze negative Druck im Thorax bei Adspiration einer Luftmenge, welche sich als Mittelwerth für die normale Respirationsgrösse herausgestellt hatte, durchschnittlich 136 mm Wasser oder 10 mm Hg betrug. — Ich nehme nun an, dass der in meinen Versuchen für die Respirationsgrösse erhaltene Mittelwerth noch etwas zu gross ist, weil bei der Respiration durch die Ventile immer noch ein gewisser Widerstand zu besiegen war, und dass also der von mir ermittelte Minimalwerth für die normale Respirationsgrösse in Anschlag zu bringen ist. In diesem Falle betrüge demnach beim Hunde die Grösse des negativen Drucks am Ende der Inspiration 127 mm Wasser oder 9,4 mm Hg, und die Druckdifferenz beim In- und Expirationsstand also ungefähr 5,5 mm Hg.

Beim Kaninchen ist es schwieriger zur Kenntniss der normalen Respirationsgrösse zu gelangen. Die betreffenden Luftvolumina sind so klein, dass deren Bestimmung auf die beim Hunde

beschriebene Weise mir bedenklich vorkam. Ueberdies scheint sie sogar unter normalen Umständen bedeutenden Schwankungen zu unterliegen. Gad hat 1879 ¹⁾ einen auf demselben Princip beruhenden Pneumatographen beschrieben, welcher an der leichten beweglichen Trommel, die natürlich auch in jedem Stande äquilibrirt ist, einen Schreibstift führt, mittels dessen die Luftvolumina registrirt werden. Aus der Höhe der mit diesem Apparat erzielten Curve lässt sich die Menge der ein- und ausgeathmeten Luftvolumina ermitteln. In der von Gad dabei abgebildeten Respirationscurve eines Kaninchens von 1,95 kgr entspricht die Höhe der Curve ungefähr 20 cem Luft. — Auf meine an Gad gestellte Frage, ob er aus seiner weiteren Untersuchung mit diesem Pneumatographen bei einem Kaninchen von ± 2 kgr für die Respirationsgrösse einen Mittelwerth von 20 cem gefunden habe, war er so freundlich, mir mitzutheilen, dass ein Luftvolum von 20 cem an der oberen Grenze der von ihm bei ruhiger Respiration gefundenen Respirationsgrösse liegt. „Die am häufigsten vorkommenden Werthe scheinen um 12 cem herum zu liegen, aber auch diese Zahl ist bei der Grösse der Schwankungen mit Vorsicht zu benutzen“, so schreibt er mir.

Wie die Sache also liegt, wird es natürlich schwierig, in Bezug auf den Mittelwerth des negativen Drucks bei ruhiger Respiration zu einer Schlussfolgerung zu gelangen. Dennoch glaube ich wohl annehmen zu dürfen, dass in den auf S. 287 angeführten Versuchen, worin die Respirationsgrösse aus dem rectificirten Körpergewicht ermittelt wurde, dieselbe zu hoch angesetzt ist. Ich habe bei denselben Thieren noch Bestimmungen der elastischen Kraft bei geringeren Expansionsgraden vorgenommen, und will die Resultate hier aufführen.

1) Archiv f. Physiol. von du Bois-Reymond, 1879, S. 181. Die Beschreibung des Apparates wolle man im Original nachsehen; ohne Abbildungen ist sie schwerlich zu geben.

	Recti- ficirtes Körper- gewicht in Kilogr.	Be- rechnete Ath- mungs- grösse in ccm.	Ein- geathm. Luft- volum in ccm.	Pos. Druck in der Trachea in mm Wasser.	Negativer Druck im Thorax bei				Druck- differenz bei In- und Expiration	
					Inspiration in		Expiration in		in	
					mm Wass.	mm Hg.	mm Wass.	mm Hg.	mm Wass.	mm Hg.
1**	2,66	18,5	10	28	60	4,5	32	2,3	28	2,0
			12	34	66	4,9			34	2,5
2**	2,05	15,0	10	36	67	5,0	31	2,3	36	2,6
3**	1,81	12,5	10	39	75	5,5	36	2,6	39	2,9
4**	1,77	12,0	10	44	80	5,9	36	2,6	44	3,2

Für das Kaninchen lässt sich, wie man sieht, aus den mitgetheilten Bestimmungen der Werth des bei ruhiger In- und Expiration im Thorax herrschenden negativen Drucks nicht berechnen, wie dies beim Hunde der Fall war. Dennoch glaube ich, dass wir nicht weit von der Wahrheit bleiben werden, wenn wir für das Kaninchen am Schluss der Inspiration einen negativen Druck von 70 mm Wasser oder 4,5 mm Hg, und am Schluss der Expiration einen negativen Druck von 30 à 40 mm Wasser oder 2,5 mm Hg als Mittelwerthe annehmen.

Aus den mitgetheilten Versuchen erhellt, dass, wenigstens in Bezug auf den Hund, die absolute Grösse des negativen Drucks am Ende der Inspiration und die Druckdifferenz am Ende der In- und Expiration viel grösser sind, als man gewöhnlich annahm. Behält man dabei im Auge, dass während der Respirationsbewegung die Druckdifferenz noch beträchtlicher sein muss, so folgt hieraus, dass die Differenz der Saugkraft bei In- und Expiration sehr bedeutende Schwankungen in der Blutbewegung, sowohl des grossen wie des kleinen Blutumlaufs, hervorrufen muss, wie u. A. Dr. de Jager's Untersuchungen dargethan haben.

Mit diesem Resultate sind sowohl die auf indirectem Wege erhaltenen Zahlen von Adamkiewicz, Jacobson und Rosenthal, wie die directen Bestimmungen von Frédéricq in entschiedenem Widerstreit, und zwar gilt dies sowohl für die absolute Grösse des negativen Drucks, wie für die Druckdifferenz bei In- und Expiration. Wie sind die niedrigen Werthe, welche diese Forscher erhalten, zu erklären?

Zunächst bemerken wir hier, dass sowohl die Angaben von Adamkiewicz und Jacobson, wie die von Rosenthal und Frédéricq uns von vornherein unbefriedigt lassen, weil sie theils so allgemein gehalten, theils so unbestimmt sind. Adamkiewicz und Jacobson sagen nur: „Bei Schafen, Hunden und Kaninchen fanden wir ausnahmslos einen negativen Druck im Herzbeutel, wenn das Experiment gelungen war, d. h. wenn die Section ergab, dass das Pericardium perforirt, der Herzmuskel unversehrt oder nur gestreift und weder Lungen noch Gefässe verletzt waren. Unter einer grossen Zahl von Versuchen sind uns nur wenige ungünstige Zufälle begegnet. Der negative Druck schwankte zwischen -3 und -5 mm Hg. Bei ruhiger Respiration sahen wir ihn nicht diese Grenzen überschreiten, wohl aber in einem Falle, in dem ein Kaninchen künstlich in heftige Dyspnoe versetzt wurde.“ Frédéricq schreibt: „Les graphiques obtenus montrent, que même dans la respiration profonde, tant qu'elle n'est pas forcée, la pression intrathoracique ne varie que de quelques millimètres de mercure ou d'un petit nombre de centimètres d'eau. J'ai cru inutile de reproduire ici ces graphiques pour ne pas multiplier la nombre des bois.“ Und weiter: „Tant que la respiration s'effectue d'une façon paisible et naturelle, les variations de la pression intrathoracique atteignent à peine quelques millimètres de mercure“. Warum hat Frédéricq nicht lieber einfach die von ihm erhaltenen Zahlenwerthe, entweder in mm Hg oder in cm Wasser, angegeben?

Derselbe Fehler haftet auch einigermaassen, wenn auch in geringerem Grade, an Rosenthal's Angaben. Von Kaninchen heisst es, dass der negative Druck höchstens 3 mm Hg betrage, aber der bei ruhiger In- und Expiration auftretende Wechsel wird nicht erwähnt. Von dem Hunde heisst es: „Zuweilen ist der Druck etwas grösser, bis zu -50 mm Wasser und die Athmungsschwankungen sind bei ihm bedeutender als beim Kaninchen“, und von dem Menschen: „der negative Druck belief sich auf 40—60 mm Wasser, also auf einen wenig höheren Werth wie bei Kaninchen; die gewöhnlichen Athembewegungen bewirken nur Schwankungen von einigen Millimetern.“

Was nun Adamkiewicz und Jacobson's Bestimmungen des intrapericardialen Drucks betrifft, habe ich nur die Verhältnisse bei Kaninchen und Hunden beobachten können. Beim Ka-

ninchen weichen ihre Angaben nicht erheblich von den Werthen ab, zu welchen ich auf Grund meiner Bestimmungen gelangt bin; aber für den Hund sind ihre Zahlen, sowohl was die absolute Grösse des negativen Drucks, als was die Druckdifferenz betrifft, viel niedriger als die von mir ermittelten Werthe. Mit Hunden haben sie jedoch wahrscheinlich nicht viele Versuche angestellt, denn sonst würde es ihnen gewiss nicht entgangen sein, dass die Bestimmung des intrapericardialen Drucks bei dieser Thierart unmöglich ist. Das parietale Blatt des Pericardiums liegt beim Hunde verhältnissmässig weit von der Innenfläche des Sternum, und die Parietalblätter der Pleurae liegen unmittelbar hinter dem Sternum hart aneinander, so dass es unmöglich ist, zwischen beiden Blättern hindurch in das Pericardium zu gelangen. Auch von der Seite des Diaphragmas kann man nicht in das Pericardium dringen, denn das Pericardium parietale ist beim Hunde nicht mit dem Diaphragma verwachsen; zwischen dem Pericardium parietale und den beiden Pleurasäcken bleibt beim Hunde bei geöffnetem Thorax ein beträchtlicher Raum frei, in dem die einige Centimeter lange Vena cava inferior verläuft, die rechts an der Pleura parietalis festgewachsen ist.

Adamkiewicz und Jacobson haben also beim Hunde den intrapericardialen Druck nicht messen können, und in Bezug auf das Kaninchen stimmen ihre Werthe ziemlich mit meinen Resultaten überein. Wenn wenig Luft in das Pericardium dringt, wie bei ihren Versuchen mehr als wahrscheinlich der Fall war, wird der intrapericardiale Druck ziemlich mit dem intrapleuralem übereinstimmen, da das Pericardium sehr dehnbar ist, und in normalem Zustande, wenn es nicht gespannt ist, der darauf einwirkenden Druck- oder Saugkraft wenig Widerstand bietet. Dies lässt sich indirect durch den folgenden Versuch nachweisen. Während die Brusthöhle noch geschlossen ist, wurde ein Manometer in die Trachea befestigt. Unmittelbar neben dem Sternum wurde, ohne Verwundung der Pleura, das Pericardium geöffnet. Die starke Ausdehnung dieser Haut war an der untern Seite des Diaphragma's deutlich zu sehen; darauf wurde die linke und endlich die rechte Pleura geöffnet. So ergab sich für den positiven Druck in der Trachea in mm Wasser:

Pericardium geöffnet	32
Linke Pleura „	42
Rechte „ „	46 ¹⁾ .

Dies anatomische Verhalten des Pericardiums erklärt auch, warum beim Kaninchen der in der Trachea beobachtete positive Druck immer noch um einige Millimeter steigt, wenn man die Pleurae nacheinander öffnet und darauf die Verbindung des Pericardiums mit dem Sternum durchschneidet, wie die folgenden Zahlen zeigen:

	1.	2.	3.
Rechte Pleura geöffnet	30	29	30
Linke „ „	34	31	35
Pericardium durchgeschnitten	38	39	38.

Beim Hunde erzeugt die Trennung der Verbindung des Pericardiums mit dem Sternum keine erhebliche Steigerung des in der Trachea befestigten Manometers, und sind demnach auch die Differenzen im positiven Druck, welche bei Oeffnung beider Pleuraltaschen nacheinander in der Trachea auftreten, weniger bedeutend, da der lange Streif, welcher das Pericardium mit dem Sternum verbindet, hier eine grössere seitliche Verschiebung des Mediastinum anterius ermöglicht. Beim Hunde ergaben sich folgende Zahlen in mm Wasserdruck:

	1.	2.	3.	4.	5.
Rechte Pleura geöffnet	51	52	49	61	60
Linke „ „	57	55	51	66	67
Linke Pleura geöffnet	54	49	49		
Rechte „ „	56	52	50.		

Dass Rosenthal's Bestimmungen mit der Oesophagussonde zu niedrig ausfallen würden, liess sich von vornherein erwarten, wie ich schon bemerkt habe. Bei einem Hunde wurden die beiden

1) Der Endwerth von 46 mm Wasser für die elastische Kraft der Kaninchenlungen beim Oeffnen des Thorax ist, wie man sieht, hier grösser, als wenn die Pleurae allein geöffnet wurden. Durch das vorhergehende Oeffnen des Pericardiums und die bedeutende Ausdehnung desselben unter dem Einfluss des atmosphärischen Drucks waren die Lungen comprimirt worden, und musste sich also ein höherer Werth für ihre elastische Kraft ergeben.

vago-sympathici durchschnitten, und nun gleichzeitig der Druck in der Trachea und im Oesophagus bestimmt, während die Lungen durch Adspiration verschiedener Luftvolumina entfaltet wurden. Die Sonde wurde luftdicht in dem Oesophagus befestigt, und dieser selbst an der Cardia zugebunden. Am Schlusse des Versuchs wurde die elastische Kraft der Lungen im Expirationsstande durch Oeffnung des Thorax bestimmt und auf diese Weise der gesammte negative Druck ermittelt. So ergab sich:

Eingeathmetes Luftvolum in cem.	Negativer Druck in mm Wasser							
	im Oesophagus				im Thorax			
	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.
0	12	10	30	30	67	67	67	67
60	67	65	83	75	132	144	137	135
100	67	101	92	93	179	180	174	179
120	—	103	91	83	—	191	188	187

Beim Oeffnen des Thorax zeigte das Manometer in der Trachea einen positiven Druck von 67 mm Wasser an, während es im Oesophagus einen positiven Druck von 39 mm Wasser zeigte.

Ich könnte neben diesen Zahlen noch viele andere Reihen anführen, will aber den Leser damit nicht weiter behelligen. Obige Zahlen genügen zum Beweise, dass man die absolute Grösse des negativen Drucks im Thorax auch nach dem Tode mit der Oesophagussonde nicht bestimmen kann, sondern dafür viel zu niedrige Zahlen erhält. Ueberdiess sind die Zahlen, welche sich bei demselben Expansionsgrade der Lungen ergeben, sogar nicht gleich, sondern von der Dehnung abhängig, welche die Oesophaguswand zuvor erlitten hat. Je stärker die Oesophaguswand durch Erzeugung eines starken negativen Drucks im Thorax ausgedehnt wird, desto mehr steigen die Zahlen bei aufeinanderfolgenden geringen Expansionsgraden der Lungen. Nach dem Tode können sie also nicht einmal als relativer Maassstab gelten, und dies wird wahrscheinlich auch während des Lebens der Fall sein. Das Einführen eines fremden Körpers in den Oesophagus wird wohl auf die Innervation Einfluss ausüben und dadurch nicht nur die mit der Oesophagussonde erhaltenen Zahlen noch niedriger ausfallen lassen, sondern auch, da dieser Reflextonus wohl nicht immer gleich sein wird, bewirken, dass auch das relative Verhältniss durch die Oesophagussonde nicht rein angezeigt wird.

Jedenfalls ist es klar, dass die Oesophagussonde auch während des Lebens weder die absolute Grösse des Drucks, noch die bei ruhiger In- und Expiration auftretende Druckdifferenz genau angeben kann. Die ermittelten Werthe müssen zu niedrig ausfallen. Ich brauche mich nicht länger dabei aufzuhalten, sondern will nur noch die Zahlen anführen, die ich mit der Oesophagussonde beim Menschen erhielt. Der Freundlichkeit meines Collegen v. Iterson verdanke ich die Gelegenheit, diese Bestimmungen vorzunehmen.

Die Oesophagussonde wurde zunächst in den Magen eingeführt, und so wurden die folgenden Schwankungen bei In- und Expiration in Millimeter wahrgenommen. Der Druck war positiv und zwar bei:

Inspiration	Expiration
28	25
35	24
42	24
49	35
52	37
67	27

Nun wurde die Sonde bis in den Oesophagus heraufgezogen und ergaben sich die folgenden Zahlen in mm Wasser:

—72	—60
—133	—122
—140	—120

Auf dieser Zahl blieb der Manometer stehen. Der Hahn wurde nun geöffnet und der Contact mit der Luft hergestellt. Nun ergab sich:

—72	+8
—80	+16
—60	+120
—80*	—16*
—76*	—16*
—100	—24
—86	+40

Annähernd drücken diese Zahlen die Druckschwankungen aus, die während der In- und Expirationsbewegung im Oesophagus auftraten. Ich konnte den Patienten nicht bereden, dass

er einige Augenblicke in In- oder Expiration ruhig stehen blieb, und die aufgeführten Zahlen gewähren also durchaus keinen Maassstab für den Druck, welcher sich unter diesen Umständen ergeben hätte. Wohl habe ich beobachtet, dass während der kurzen Augenblicke, wenn er im Inspirationszustande verharrte, der negative Druck im Oesophagus viel geringer wurde.

Bei den mit * angedeuteten Ziffern wurde sehr ruhig geathmet.

So bleiben denn noch allein Frédéricq's directe Bestimmungen übrig. Sind sie mit meinen Bestimmungen im Widerspruch oder nicht? Mehr als „einige Millimeter“ Quecksilber und eine „kleine Zahl Centimeter“ Wasser fand auch ich nicht für die absolute Grösse des negativen Drucks und die Druckdifferenz D'Arsonval erhielt überdies bei seiner directen Bestimmung für die Druckdifferenz bei In- und Expiration ungefähr denselben Werth, den ich eingesetzt habe. Ich wäre berechtigt, diesem Resultate D'Arsonval's grossen Werth beizulegen, wenn seine Angaben der absoluten Grösse nicht zu hoch wären. Wie D'Arsonval dafür einen Werth von 150 à 220 mm Wasser gefunden hat, ist mir ein Räthsel, und ich darf deshalb dem von ihm angegebenen Werth der Druckdifferenz, wenngleich derselbe meinen Resultaten entspricht, keine zwingende Beweiskraft zuerkennen. — Aus Frédéricq's Aeusserungen glaube ich schliessen zu müssen, dass er niedrigere Zahlen sowohl für den absoluten Druck wie für die Druckdifferenz annimmt. Obschon er die Frage, ob mit der Oesophagussonde die absolute Grösse des negativen Drucks zu bestimmen ist, nicht berührt, registrirte er doch die Respiration mittels der Oesophagussonde und gibt er davon sogar Tracés. Seine Schlussfolgerungen stimmen auch damit überein.

Wie ich schon Eingangs bemerkt habe, glaube ich nicht, dass es möglich ist, direct zu bestimmen, wie gross der negative Druck im Thorax bei ruhiger In- und Expiration ist. Ich selbst habe Anfangs einige Versuche am lebendigen Thiere gemacht, bin aber in der Folge davon abgestanden, weil die Respiration zu sehr gestört wurde. Ausserdem ist noch eine Schwierigkeit zu berücksichtigen. Der Hund athmet in hohem Grade abdominal, wie oben erwähnt; folglich kann am Brustkorb die Grösse des negativen Drucks nicht rein gemessen werden, weil die Lunge selbst die Cantile ver-

schliesst. Man müsste ein Rohr mit Seitenöffnungen an der Brustwand und dem Diaphragma entlang führen, um gewiss zu sein, dass man den negativen Druck im Thorax rein bestimmt. Auch diesem Umstande schreibe ich es zu, dass Adamkiewicz und Jacobson, die beim Hunde, wie wir sahen, nicht den intrapericardialen, sondern den intrapleuralen Druck gemessen haben, so niedrige Zahlen gefunden. Dass dies wenigstens öfters geschieht, davon habe ich mich am todten Thiere überzeugt, als ich, um zu entscheiden, ob die Aufhebung der Rippen auch zur Erhöhung meiner Zahlen beitrage, — ehe ich die Ursache der anfänglich wahrgenommenen Differenz bei scheinbar gleichen Expansionsgraden im natürlichen und künstlichen Thorax erkannt hatte — gleichzeitig den positiven Druck in der Trachea und den negativen Druck in der Pleurahöhle bestimmte. Oft stimmten die Zahlen genau überein, oft aber auch wieder nicht, da die Canüle bald durch die Lunge verschlossen wurde, bald nicht.

Da nun das Einführen einer Canüle auf solche Weise, dass wirklich dadurch die Grösse des negativen Drucks bestimmt würde, mir kaum thunlich erschien, und überdiess so wenig Aussicht da ist, dass das Thier ruhig, normal athmen wird, so habe ich mich weiterer Versuche, den negativen Druck direct im Thorax zu bestimmen, begeben. Die von mir befolgte indirecte Methode schien mir in jeder Hinsicht verlässlicher zu sein.

In dieser Ueberzeugung bin ich verstärkt worden durch die Resultate von Weil, dessen Monographie über den Pneumothorax ich, wie ich auf S. 278 in einer Note mitgetheilt, von ihm erhielt, nachdem dieser Beitrag schon abgeschlossen und theilweise gedruckt war¹⁾.

Weil hat es einigermaassen anders angefasst, um den negativen Druck im Thorax zu bestimmen. Eine conische Glascanüle wird, nachdem die Haut geschlitzt ist, durch Muskeln und Pleura hindurchgestossen. Wenn die Oeffnung dieser Canüle dünnwandig und nicht zu klein ist (1 à 2 mm Durchmesser), gelingt es, in die Pleuratasche zu gelangen, ohne dass die Canüle verstopft wird, und ohne dass seitwärts von der Canüle Luft in die Pleura dringt. Auf dieser Canüle befinden sich auf 1—2 cm Entfernung von der Spitze einige ringförmige Einschnitte. Einige Fäden werden nun

1) A. Weil, Zur Lehre vom Pneumothorax, insbesondere vom Pneumothorax bei Lungenschwindsucht, 1882.

in der Haut des Thieres befestigt und in diese ringförmigen Einschnitte eingebunden. Dadurch wird die Canüle fixirt. Das andere Ende der Canüle steht durch ein Kautschukrohr mit einem T-Stück in Verbindung, dessen einer Arm zu einem Manometer führt, während der andere Arm abgeschlossen oder mit einem Reservoir in Contact gesetzt werden kann, um die verschiedenen Formen von Pneumothorax — geschlossenen Ventil- und offenen Pneumothorax — darzustellen. Zur Bestimmung des negativen Drucks im Thorax unter normalen Umständen wird dieser zweite Arm abgeschlossen. Es dringt nun natürlich etwas Luft in die Pleurahöhle, aber die Menge derselben ist gering. Diese Methode gewährt den Vorthail, dass die Lunge die ganze Pleuratasche nicht mehr anfüllt, und also die Oeffnung der Canäle nicht abschliessen kann, bedingt aber zugleich natürlich den Nachtheil, dass die Verhältnisse nicht mehr ganz normal sind. So findet Weil bei Kaninchen in mm Wasser:

Versuch.	Körpergewicht in Kilogr.	Operirte Seite.	Negativer Druck bei		Druck- differenz.
			Inspiration.	Expiration.	
1	1,39	Rechts.	90	—	—
2	1,53	"	120	10	110
3	1,55	"	40	30	10
4	1,67	"	50	10	40
5	1,68	Links.	60	10	50
6	1,82	Rechts.	70	20	50
7	—	"	60	10	50
8	—	"	50	20	30

Bei Hunden wurde der Versuch auf dieselbe Weise gemacht. Die Thiere mussten durch Morphinum narcotisirt werden, sonst war es durchaus unmöglich, die Respiration zu registriren und den Druck zu bestimmen. So ergab sich in mm Wasser:

1	4,60	Rechts.	90	—	—
2	4,80	"	120	—	—
3	8,0	"	70	20	50
4	12,80	"	85	65	20
5	12,85	"	110	80	30
6	43,0	"	140	110	30

Weil fasst diese Resultate folgendermaassen zusammen. Für das Kaninchen ist der Mittelwerth aus obigen 8 Versuchen für den

negativen Druck bei Inspiration 67 mm, bei Expiration 16 mm und die Druckdifferenz 49 mm Wasser. Für den Hund sind diese Mittelwerthe aus obigen 6 Versuchen, bei Inspiration 102 mm, bei Expiration 46 mm und die Druckdifferenz 32 mm Wasser.

Es ist mir aus Weil's Beschreibung nicht recht klar geworden, welche Bedeutung obige Zahlen haben, nämlich ob sie die mittleren Werthe von jedem Versuche angeben. Angenommen jedoch, dass dem so ist, so erhellt genügend aus den grossen Differenzen zwischen den verschiedenen Bestimmungen, dass daraus für unseren Zweck wenigstens keine Mittelwerthe herzuleiten sind, und die von mir befolgte indirecte Methode vorzuziehen ist.

Wie ist es nun beim Menschen mit der absoluten Grösse des negativen Drucks und der Druckdifferenz bei ruhiger In- und Expiration? Ich getraue mich nicht, diese Frage bestimmt zu beantworten; nur durch directe Bestimmungen am Menschen kann sie mit Gewissheit entschieden werden. Dennoch glaube ich wohl annähernd angeben zu können, welche Grösse diese Werthe wahrscheinlich haben werden.

Es ist meinen Lesern ohne Zweifel wie mir aufgefallen, dass die gefundenen Werthe beim Hunde sehr gleich sind, trotzdem das Körpergewicht beträchtlich verschieden ist. Es scheint, als ob die Grösse des Thieres gar wenig Einfluss ausübt. Aus den Versuchen am Hunde lässt sich aber kein Schluss ziehen, denn Alter und Lebensumstände dieser Thiere mögen sehr verschieden gewesen sein, und es liegen sogar Gründe vor, anzunehmen, dass die grösseren Thiere nicht nur älter waren, sondern als Ziehunde viel und angestrengt gearbeitet hatten. Bei dem Hunde in Versuch 11 nur war es bekannt, dass er nur ein Jahr alt war und nicht gearbeitet hatte, und bei diesem wurde der negative Druck bei Expiration höher als bei den anderen Thieren, nämlich gleich 66 mm Wasser gefunden. Auch in den zwei auf S. 302 sub 4 und 5 aufgeführten Versuchen waren die Thiere verhältnissmässig jung und der absolute Werth des negativen Drucks hoch, nämlich 66 und 67 mm Wasser. Das Alter scheint also in der That Einfluss zu haben.

Ob aber auch die Grösse! Um hierüber etwas in Erfahrung zu bringen, habe ich einer Kuh und einem Kalbe, die beide in denselben günstigen Lebensumständen gewesen waren, die Grösse des negativen Drucks im Expirationsstande bestimmt. Derartige

Bestimmungen hat schon 1819 Carson vorgenommen, aber auf mangelhafte Weise. An einen Glasballon von ungefähr 2 Liter Inhalt, der theilweise mit Wasser gefüllt war, wurde an der oberen Seite ein Rohr befestigt, das in die Trachea eingebunden wurde. An der unteren Seite des Ballons war ein Rohr angebracht, das vertical gestellt werden konnte, und das bis zu einer gewissen Höhe über dem Wasserniveau des Ballons mit Wasser gefüllt war. Wenn nun der Thorax geöffnet wurde, nahm Carson wahr, ob das Wasser in dem verticalen Rohr stieg oder fiel, woraus er annähernd die elastische Kraft der Lungen berechnete. Er fand enorm grosse Zahlen, 400 à 500 mm Wasser, für die elastische Kraft der Lungen, bei der Kuh und dem Kalbe sofort nach dem Tode. Aber auch bei einer Katze und einem Hunde, die Tags zuvor getödtet waren, fand er viel höhere Zahlen. Milne Edwards²⁾, der diese Versuche erwähnt, gibt an, dass er immer viel niedrigere Zahlen als Carson gefunden, und theilt daneben mit, dass Berard ähnliche Bestimmungen habe, ohne jedoch Zahlen anzuführen. Was Carson eigentlich bestimmt hat, ist aus seiner Abhandlung nicht wohl zu ersehen. Vielleicht ist die Ursache der von ihm gefundenen hohen Zahlen nur darin zu suchen, dass bei seinen Bestimmungen „the oxen were placed upon the back with the shoulder raised a little above the rest of the body“. Der enorme Pansen kann auf diese Weise das Diaphragma herunter gezogen haben, sodass Carson nicht den negativen Druck im Expirations-, sondern im Inspirationsstande bestimmt hat. Meine Bestimmungen wenigstens sind bedeutend niedriger. Nach dem Tode des Thieres wurde bei vollkommen horizontaler Lage auf dem Rücken der positive Druck in der Trachea bestimmt, zunächst beim Oeffnen der Bauchhöhle. Sodann wurde vom Metzger das Omentum abgelöst und der Magen herabgedrückt. Das Diaphragma wurde so ganz freigelegt, und nachdem der Manometer wieder auf 0 gebracht war, wurde das Diaphragma erst rechts und dann links oder umgekehrt geöffnet. Das Oeffnen der Bauchwand verursachte bald einen geringen negativen, bald wieder einen geringen positiven Druck in der Trachea, aber das Oeffnen des Diaphragmas

1) On the elasticity of the lungs, Physiological transactions, 1820, T. 1, p. 29.

2) Leçons sur le physiologie et l'anatomie comparée, T. 2, p. 426.

ergab sehr constante Zahlen für den negativen Druck im Thorax, sowohl bei der Kuh als beim Kalbe. Das Körpergewicht der Kuh schätzte der Metzger im Versuch 1 auf 520, im Versuch 2 auf 480 und im Versuch 3 auf 575 kgr, für das Kalb im Versuch 1 auf 115 und im Versuch 2 auf 92 kgr. Ich fand für den negativen Druck im Thorax im Expirationszustand in mm Wasser:

	Bei der Kuh.		Beim Kalbe.	
	1.	2.	1.	2.
Rechte Pleura geöffnet	109	90	67	66
Linke " "	122	108	84	82.
	3.			
Linke Pleura geöffnet	106			
Rechte " "	120.			

Bei dem Kalbe sind die Zahlen niedriger als bei der Kuh, und auch bei der weniger schweren Kuh in Versuch 2 ergab sich eine niedrigere Zahl. Darf man hieraus folgern, dass auch die Grösse des Körpers von Einfluss ist, oder sind andere Factoren dabei im Spiele? Ich getraue mich nicht, dies zu entscheiden.

Für den Menschen besitzen wir ausser Donder's Bestimmungen noch die von Per l's ¹⁾. Ersterer fand, wie wir sahen, bei Expirationsstand für die elastische Kraft der menschlichen Lungen als Maximalwerth 70 mm Wasser; letzterer 66 mm. Zwar waren bei Beider Bestimmungen die Lungen nicht ganz gesund, aber Hutschinson fand bei gesunden Lungen eines erwachsenen 29jährigen Mannes ungefähr denselben Werth, nämlich 61 mm Wasser oder 4,5 mm Quecksilber. So lange keine neuen Bestimmungen bekannt sind, ist, wie mich dünkt, Hutschinson's Zahl als Mittelwerth für den negativen Druck im Thorax bei Expiration anzunehmen ²⁾.

1) Ueber die Druckverhältnisse im Thorax bei verschiedenen Krankheiten. Deutsches Archiv f. klin. Med., Bd. 6, S. 1, 1869.

2) Wie ich auf S. 271 schon bemerkt, kommt es mir ziemlich wahrscheinlich vor, dass das Diaphragma während des Lebens bei ruhiger Expiration in stehender Haltung beim Menschen und Thiere nicht so hoch steigen wird, wie dies nach dem Tode bei Rückenlage und geöffneter Bauchhöhle der Fall ist. Der für die elastische Kraft der Lungen im Expirationsstande nach dem Tode gefundene Werth würde in diesem Falle zu niedrig sein. Besonders bei Herbivoren glaube ich, dass der Einfluss der Baueingeweide ziemlich bedeutend sein wird.

Bei Einblasung von 500 ccm Luft wäre dieser negative Druck in Hutschinson's Versuch wahrscheinlich auf 102 mm Wasser gestiegen, wie ich früher bemerkte, und hätte die Druckdifferenz also 41 mm Wasser oder 3 mm Hg betragen. Da aber die Steigerung der elastischen Kraft der Lungen bei der Entfaltung durch die ersten ccm Luft am grössten ist, ist diese Zahl wahrscheinlich ein wenig zu niedrig.

Ich hoffe, dass andere Forscher, die dazu in der Gelegenheit sind, die Bestimmung nach der von mir angegebenen Methode beim Menschen sofort nach dem Tode einmal vornehmen, und damit entscheiden werden, inwieweit die Hypothese richtig ist. In diesem Falle ersuche ich freundlich, vor Allem nicht die oben von mir angeführten Bedingungen aus den Augen zu verlieren, von denen der gute Erfolg, d. h. die Gewinnung richtiger Zahlenwerthe, abhängt.

Beiträge zur Kenntniss des Einflusses der Respiration auf die Circulation des Blutes.

Von

Prof. **S. Talma**

in Utrecht.

Hierzu Tafel IV.

Der Einfluss der Respiration auf die Circulation des Blutes war seit vielen Jahren oft das Thema von Untersuchungen. Es ist gewiss, dass wir der Lösung dieses, für die Pathologie sowie für die Physiologie, höchstwichtigen Problems viel näher gekommen sind. Niemand wird jedoch verkennen, dass sie noch nicht errungen ist. Es scheint fast, dass einzelne Autoren der letzten Zeit die Lösung gefunden zu haben glauben; wenn dies so sein möchte, wird aus den hier mitzutheilenden Versuchen die Unrichtigkeit dieser Vorstellung hervorgehen.

