

(Aus dem physiologischen Institut in Göttingen.)

Untersuchungen über den Lungenvagus.

Von

Dr. Heinr. Boruttau,
Assistenten und Privatdozenten.

(Hierzu Tafel I, II und III.)

Die Erscheinungen, welche für die Beziehungen des N. vagus zur Athmung in Betracht kommen, sind, wie schon lange bekannt, bei verschiedenen Thierarten nicht vollständig die gleichen. Während die meisten, in den letzten Jahren fast alle, hierhergehörigen Untersuchungen an Kaninchen angestellt worden sind und die Ergebnisse derselben grossentheils als feststehend betrachtet werden können, sind bei weitem abweichende und zum Theil einander widersprechende Erscheinungen sowohl bezüglich der Vagusreizung wie bezüglich der beiderseitigen Vagusdurchschneidung beim Hunde erhalten worden. Diese waren es, welche den Ausgangspunkt zahlreicher Versuche bildeten, die ich, grösstentheils in Gemeinschaft mit Herrn cand. med. Fricke im Winter 1894/95 an Hunden, Katzen und Kaninchen, sowie einer Ziege angestellt habe. Die Ergebnisse derselben enthielten manche theils neue, theils die weniger bekannten Versuchsergebnisse anderer Autoren bestätigende Thatsachen und ergaben eine so klare Einsicht in die den in Rede stehenden Thierarten gemeinsame Bedeutung des Lungenvagus, dass trotz der bereits so grossen Menge der Veröffentlichungen auf diesem Gebiete es sich rechtfertigen lassen dürfte, dieselben im Folgenden mitzutheilen. Es sollen dabei erst die durch Vagusreizung zu erzielenden Wirkungen auf die Athmung besprochen werden, sodann die durch die beiderseitige Vagusdurchschneidung erzeugten Ausfallserscheinungen und Lungenveränderungen. Da eine vollständige Zusammenstellung der neueren hierhergehörigen Literatur fehlt und ich durch die vorliegenden Untersuchungen veranlasst wurde, eine solche vorzunehmen, so gebe ich dieselbe am Schlusse wieder, mit dem Bemerkten, dass ich nach Möglichkeit

alle Arbeiten berücksichtigt habe, welche die Beziehungen des N. vagus zur Athmung entweder selbst behandeln oder näher damit zusammenhängen, während diejenigen Veröffentlichungen nicht aufgezählt werden konnten, in welchen diese Beziehungen nur beiläufig erwähnt sind.

I.

Die widersprechenden Resultate der fast ausschliesslich an Kaninchen angestellten elektrischen Reizversuche an den centripetalen, reflektorisch die Athmung beeinflussenden Vagusfasern führten bekanntlich zur Berücksichtigung bestimmter, bei diesen Versuchen möglicher Fehlerquellen — Stromschleifen und unipolare Abgleichungen auf den N. laryngeus superior (Rosenthal) und phrenicus (Gad), — sowie zur Aufsuchung von zunächst in den Versuchsthieren selbst gelegenen Faktoren, welche für die Art des Reizeffektes (ob inspiratorisch bzw. beschleunigend oder expiratorisch bzw. verlangsamend) maassgebend sein sollten: Thierart, Geschlecht, veränderlicher, insbesondere durch Narkotika verschieden beeinflusster Zustand der Centralorgane. Dem gegenüber gebührt Grützner¹⁾ und Langendorff²⁾ das Verdienst, zuerst auf die wichtige Bedeutung der Art des Reizes für den auf die Athmung zu erzielenden Effekt hingewiesen und in dieser Richtung Untersuchungen angestellt zu haben, welche sich auf Anwendung mechanischer, thermischer und chemischer Einwirkungen, sowie konstanter Kettenströme, statt der bis dahin allein angewendeten Induktionsströme bezogen. Bevor ich dazu übergehe, die im Anschluss hieran von uns angestellten Versuche und aus denselben zu entwickelnden Vorstellungen zu besprechen, bemerke ich hinsichtlich der vorher erwähnten, in den Versuchsthieren selbst zu suchenden Faktoren, dass wir unbeschadet der Bedeutung der Art des Reizes, die Mitwirkung dieser Faktoren grossentheils haben bestätigen können, indem je nach der Art und dem Zustand des Thieres bald die inspiratorischen, bald die expiratorischen Effekte leichter und ausgesprochener erhalten wurden, jedesmal bei

1) Pflüger's Arch. XVII, S. 250. LVII, S. 98.

2) Mittheilungen aus dem Königsb. physiolog. Labor., S. 50—55. Pflüger's Arch. LIX, S. 201.

Anwendung derjenigen, weiter unten zu erörternden Art der Reizung, die als solche ausschliesslich inspiratorisch bezw. expiratorisch wirkt.

Während z. B. bei den meisten Kaninchen die inspiratorische Beschleunigung oder der Stillstand der Athemmuskeln in Inspirationsstellung leichter zu erhalten ist, als die expiratorische Wirkung, fanden wir einzelne Exemplare, bei welchen die inspiratorische Wirkung nur schwer, fast stets dagegen expiratorische Wirkung erhalten wurde; auch beobachtete ich, wie Meltzer¹⁾, dass die inspiratorischen Wirkungen bei männlichen, die expiratorischen bei weiblichen Kaninchen besser ausgesprochen sind. Bei Katzen ist die expiratorische Wirkung regelmässig die leichter zu erzielende, ebenso wie beim Hund, was ausser den Ergebnissen älterer Arbeiten (Arloing und Tripier, P. Bert) auch den ganz neuerdings gemachten Angaben von Kauders²⁾ entspricht. Auch wechselte die überwiegende Wirkung bei demselben Thiere im Laufe der Versuche, eine Erscheinung, die wohl mit Recht Veranlassung gegeben hat, die in Rede stehenden Unterschiede auf den Zustand der Nervencentra, nicht der Vagusfasern zurückzuführen; für diese Anschauung spricht aber vor allem der Einfluss narkotischer Gifte, besonders des Chlorals. Die Begünstigung der expiratorischen Wirkungen durch tiefe Chloralnarkose fand ich, wie früher Fredericq³⁾, Christiani⁴⁾ und Langendorff⁵⁾, sehr ausgesprochen. Dieser Umstand veranlasste uns, die Reizversuche meist an nicht narkotisirten Thieren anzustellen, um die Bedeutung der Art des Reizes möglichst von den andern Faktoren zu sondern⁶⁾. Zur sichern Erkenntniss dieser Bedeutung ist

1) Centralbl. f. d. med. Wiss. 1882, S. 497.

2) Pflügers Arch. LVII, S. 333.

3) Bull. de l'acad. de Belgique (2) 47, p. 24.

4) Monatsber. d. Berl. Ak., 1881, S. 222.

5) du Bois' Arch., 1881, S. 526.

6) In diesem Sinne äussern sich mit Recht Pawlow und Schumowa in einer erst ganz kürzlich erschienenen Arbeit (s. weiter unten S. 113. Anm.) dahin, dass durch die heute allgemein übliche übermässige Anwendung der narkotischen Gifte die zu beobachtenden physiologischen Erscheinungen durchweg stark entstellt werden. Ich schliesse mich dem vollständig an und darf auch bemerken, dass im hiesigen Institut die zur Untersuchung und Demon-

ferner eine Versuchsmethodik nothwendig, welche die Art der Wirkung möglichst klar vor Augen führt.

Hierzu sind — wenn man von der direkten Inspektion ganz absieht — die verschiedenen gebräuchlichen Methoden graphischer Aufzeichnung der Athembewegungen in sehr verschiedenem Maasse geeignet, ein Umstand, dem bisher anscheinend nicht immer die nöthige Beachtung geschenkt wurde.

Diejenigen Methoden, bei welchen die Bewegungen eines bestimmten Muskels oder einer Muskelgruppe aufgezeichnet werden, z. B. des Zwerchfells oder der Thoraxmuskulatur, können kein vollständiges Bild des auf reflektorischem Wege durch die Vagusreizung erzielten Effektes geben, weil Bewegungen der einen Muskeln nicht gleichzeitig mit Bewegungen der anderen stattzufinden brauchen, ja die inspiratorische Wirkung der einen Muskelgruppe selbst durch gleichzeitige Aktivität der antagonistischen Expirationsmuskeln ganz oder theilweise kompensirt werden kann¹). Der Gesamteffekt aller in jedem Augenblicke auf den Thorax wirkenden bewegenden Kräfte lässt sich nur veranschaulichen durch Verbindung der Athemwege mit einer, die pulmonalen Volum- oder Druckschwankungen registrirenden Vorrichtung.

In dieser Hinsicht ist am gebräuchlichsten die Marey'sche Schreibkapsel, welche unter Einschaltung eines Luftreservoirs (Bert'sche oder Hering'sche Flasche) mit der Luftröhre des Versuchsthieres verbunden wird. Von dieser Methode haben auch wir gelegentlich Gebrauch gemacht; in der überwiegenden Zahl der an Kaninchen und Katzen angestellten Versuche benutzten wir dagegen den Athemvolumschreiber von Gad. Bei Hunden, für welche ein Volumschreiber von genügenden Dimensionen nicht zur Verfügung stand, registrirten wir entweder die pulmonalen Druckschwankungen, wie erwähnt, mit der Marey'schen

stration der wichtigen Funktionen bestimmten Thierversuche von jeher, wenn irgend möglich, ohne Narkose angestellt werden.

1) Vergl. übrigens hierüber Rosenthal (du Bois' Arch. 1880, Suppl.-Bd., 49).

Hier sei auch an die Versuche Marckwalds (Zeitschr. f. Biol., XXIII.) erinnert, bei welchen nach Durchschneidung beider Phrenici passive, von der Brustmuskulatur mitgetheilte Zwerchfellbewegungen registriert wurden, deren Richtung in Bezug auf In- und Expiration den aktiven Zwerchfellbewegungen entgegengesetzt war.

Kapsel, oder die Exkursionen der Thoraxwand durch einen in der Gegend der unteren Apertur um den Thorax gegürteten flachen Beutel aus weichem Kautschuk, der in bekannter Weise mit der Marey'schen Kapsel verbunden war¹⁾. Mehrfach nahmen wir mit zwei dieser Methoden gleichzeitig Kurven auf; so zeigt Fig. 4 c auf Tafel I ein Beispiel der gleichzeitig registrirten Athemvolumschwankungen und Thoraxbewegungen beim Kaninchen, Fig. 4 b die Registrirung der pulmonalen Volumschwankungen gleichzeitig mit den Zwerchfellbewegungen. Die Bedeutung der Bewegungsrichtung ist hierbei in den beiden Kurven die entgegengesetzte, indem je in der Druck- resp. Volumkurve der absteigende Schenkel Inspiration und der aufsteigende Expiration bedeutet, dagegen in der Thorax- resp. Zwerchfellkurve umgekehrt der aufsteigende Schenkel inspiratorischen, und der absteigende expiratorischen Sinn hat. Von der durch die Autoren viel benutzten Registrirung der Zwerchfellbewegungen haben wir nur bei einem Versuchsthier Gebrauch gemacht²⁾, sonst aber deshalb nicht, weil wir die dazu nothwendige, wenn auch kleine Bauchwunde als komplizirenden Eingriff vermeiden wollten, besonders mit Rücksicht auf die Erhaltung und weitere Beobachtung der Thiere nach Durchschneidung beider Vagi.

Bei der Beschreibung der Reizversuche beginnen wir aus Gründen, die sich im Folgenden von selbst ergeben werden, mit der Anwendung der nicht elektrischen Einwirkungen. Hinsichtlich des Erfolges sämtlicher Arten derselben, der mechanischen, thermischen und chemischen, geben Grützner³⁾, Langendorff⁴⁾ und Gad⁵⁾ übereinstimmend an, stets nur expiratorische, die Athmung verlangsamende oder ganz hemmende Wirkungen beobachtet zu haben. Wir können diese Angaben bestätigen hinsichtlich der chemischen Reizung, die wir mit Glycerin, konzentrirter Kochsalzlösung und Alkalilaugen vornahmen, sowie bezüglich der thermischen Einwirkungen: Applikation sehr heisser

1) Zuerst von Knoll angegebene Vorrichtung: Prager med. Woch., 1879.

2) Sie erfolgte hier durch Luftübertragung der Bewegungen eines improvisirten Zwerchfellhebels.

3) a. a. O.

4) Mittheilungen a. d. Königsb. Labor., S. 50—55.

5) du Bois' Arch., 1880, S. 11.

Flüssigkeit oder glühenden Metalls (Thermokauter). Dagegen fand ich die Angaben bezüglich ausschliesslich expiratorischen Erfolges mechanischer Einwirkungen nicht bestätigt, ebensowenig wie die gegentheilige Angabe von Knoll¹⁾, dass „der primäre Effekt mechanischer Reizung stets inspiratorisch sei“, indem unsere Versuche unzweideutig ein Resultat hatten derart, wie es früher bereits von Traube²⁾ erhalten wurde, indem dieser beobachtete, dass „ein kurzer inspiratorischer Stillstand oder vielmehr eine tiefe Inspiration“ eintritt, „wenn man den N. vagus mit der Scheere schnell durchschneidet“ (und zwar zunächst den einen Vagus bei erhaltener Kontinuität des andern). Gerade in diesem Fall, bei präziser Durchschneidung mit scharfer Scheere, beobachten auch wir öfters vertiefte Inspiration oder Beschleunigung in Inspirationsstellung — wovon Figur 2^a ein Beispiel an der Katze, Fig. 3 am Kaninehen giebt —, während Durchtrennung mit einem stumpfen Instrument, sowie Durchschneidung im Gegentheil, wie noch genauer erörtert werden wird, expiratorischen Stillstand der Athmung herbeiführte. Dass bei der inspiratorischen Wirkung des Schnittes es sich um eine Täuschung durch elektrische Reizung infolge Ungleichartigkeit der Scheerenblätter gehandelt habe, wird höchst unwahrscheinlich durch das Ergebniss von Versuchen mit einem, mit Elfenbeinhammer versehenen, elektromagnetisch angetriebenen mechanischen Tetanomotor³⁾. Die Wirkung der frequenten äusserst kurzen Schläge dieses Instruments auf den undurchschnittenen oder durchschnittenen Vagus war in den meisten Fällen, im Gegensatz zu den Angaben Langendorff's, evidente inspiratorische Beschleunigung, wovon in Fig. 1 ein Beispiel, herührend von einer Katze, gegeben ist⁴⁾. Selbstverständlich wurde durch Kontrollversuche ausgeschlossen, dass eine derart ausgesprochene Athemveränderung lediglich auf psychische Erregung des Thieres durch den Lärm des spielenden Instruments zurückzuführen gewesen wäre.

1) Berichte der Wien. Akad., math.-nat. Kl., LXXXVI, 3. Abth., S. 58.

2) Gesamm. Beitr. z. Pathol. u. Physiol., 1871, Bd. I, S. 188.

3) Das gleiche gilt für die Täuschung durch die noch zu besprechenden Ausfallerscheinungen.

4) Das gleiche beobachtete Knoll (a. a. O.), als er den Vagus mit einer schwingenden Darmsaite berührte.

Gegenüber diesen Wirkungen sehr schnell verlaufender mechanischer Einwirkungen fand ich den ausschliesslich expiratorischen Effekt bestätigt für die Durchschnürung — wovon Fig. 2^b ein Beispiel giebt, welches sich bezieht auf Durchschnürung des centralen Stumpfes desselben Vagus, dessen schnelle Durchschneidung vorher die Kurve Fig. 2^a geliefert hatte —, sowie für dauernde Quetschung oder Zerrung, wie sie bei unvorsichtiger Präparation oder zu gewaltsamem Herausholen aus der Wunde vorkommen kann¹⁾.

Indem ich diesen Arten mechanischer Einwirkung die chemischen und thermischen Applikationen als kontinuierliche oder Dauer-Einwirkungen²⁾ zur Seite stelle, glaube ich deshalb für den Erfolg nicht elektrischer Applikationen auf den Vagus aus unseren Versuchsergebnissen den Satz folgern zu dürfen, dass momentane Einwirkungen, einmalig (Schnitt) oder öfter wiederholt (Tetanomotor) inspiratorische, dagegen dauernde Einwirkungen expiratorischen Erfolg haben.

Durch eine hiermit übereinstimmende Vorstellung erhalten wir auch eine ungezwungene Deutung der Resultate elektrischer Vagusreizung, welche bei der Unsicherheit der Wirkung der fast ausschliesslich angewendeten Induktionsströme bis vor Kurzem von Vielen als jeder Erklärung unzugänglich angesehen wurden. Nachdem bereits vor einer Reihe von Jahren Grützner³⁾ gefunden hatte, dass ein durch den centralen Stumpf des durchschnittenen Vagus in aufsteigender Richtung geleiteter konstanter Kettenstrom regelmässig bei seiner Schliessung und während seiner Dauer expiratorischen Athmungsstillstand hervorruft, und dass die Oeffnung eines absteigenden Stroms ebenso wirkt, haben ganz neuerdings Langendorff und Oldag⁴⁾ „das Verhalten der die Athmung beeinflussenden Vagusfasern gegen Ketten-

1) Die Betheiligung des Längsquerschnittstromes des Nerven bei diesen Wirkungen wird weiter unten noch zu besprechen sein.

2) Ich vermeide hier absichtlich den Ausdruck „Reizung“, da nach den herrschenden Ansichten demselben das Moment des Diskontinuuirlichen, der Intensitätsschwankung, innewohnt.

3) Pflügers Arch., XVII, S. 248—49.

4) *ibid.*, LIX, S. 201 ff.

ströme“ zum Gegenstand einer ausführlichen Untersuchung gemacht, welche erschien, als wir unsere Versuche bereits begonnen hatten und deren Resultate wir durch ausführliche Nachprüfung und Erweiterung, soweit als die Thatsachen in Betracht kommen, vollständig bestätigt fanden.

Zur Zuleitung der Ströme benutzten wir d'Arsonval'sche Chlorsilberelektroden in Hakenform; übrigens ist bei der mässigen Stärke der zu verwendenden Ströme Unpolarisirbarkeit der Zuleitungselektroden nicht unbedingtes Erforderniss, wogegen sehr viel darauf ankommt, dass dieselben sammt dem aufliegenden Nervenstumpf mit der Wunde in keinerlei Berührung stehen; insbesondere sind bei diesen Versuchen tiefliegende Elektroden in Hartgummihülle durchaus zu vermeiden, indem sonst die noch näher zu besprechenden Alterationen der Reizwirkungen durch Stromschleifen eintreten. Zur Erzielung der für die Kettenströme charakteristischen Wirkungen genügen mässige Stromstärken, welche wir, wie Langendorff durch 2 bis 6 Chromsäure-Elemente unter Einschaltung eines Stöpselrheostaten in Nebenschliessung hervorbrachten.

Wird ein derartiger konstanter Strom in aufsteigender Richtung durch das centrale Vagusende geleitet, so erfolgt beträchtliche Verlangsamung der Athmung bis zum Stillstand in Expirationsstellung, welcher während der ganzen Durchströmungs-Dauer anhält. Wir konnten dies Verhalten an sämtlichen von uns benutzten Thierarten konstatiren und wird solches durch Figg. 4, 5 und 6 für Kaninchen, Hund und Katze verdeutlicht¹⁾.

1) Die expiratorischen Effekte bei allen elektrischen und nicht elektrischen Einwirkungen bestehen ausschliesslich in Hemmung der Thätigkeit der inspiratorischen Muskeln; aktive Expiration ist sehr selten, sofern Stromschleifen vermieden werden, und mit Ausnahme des Hundes. Die Häufigkeit der aktiven Expiration bei dieser Thierart wird bei den Ausfallserscheinungen noch näher erörtert werden.

Einen besondern Fall der Wirkung aufsteigender Durchströmung bilden die expiratorischen Effekte durch Nebenschliessung des Längs- querschnittsstromes („Demarkationsstromes“) des durchschnittenen Vagus durch die feuchten Gewebe, auf welche Knoll (a. a. O.) durch ausführliche Versuche mit Recht die Aufmerksamkeit gelenkt hat. Dieselben können die inspiratorische Wirkung der Durchschneidung verdecken, wenn der Stumpf in die Wunde fällt. (Vergl. Gad, Lehrb., S. 411).

Durchströmung des centralen Vagusstumpfes durch einen absteigenden Strom ist oft ohne Wirkung; tritt eine solche ein, so besteht sie in einer vertieften, bez. verlängerten Inspiration im Augenblicke der Schliessung, die noch einigemal sich wiederholen kann, nicht aber während der ganzen Durchströmungsdauer (Fig. 7). Die Oeffnung (bez. Ablendung durch Kurzschluss) des aufsteigenden Stromes erzeugt oft inspiratorische (Fig. 8, 9, 10) und diejenige des absteigenden Stromes regelmässig expiratorische Wirkung (Fig. 7), die sich durch das nunmehr alleinige Bestehen des polarisatorischen Nachstroms am einfachsten erklärt, welcher bekanntlich im Nerven, wie in jedem zersetzbaren Leiter dem polarisirenden Strome entgegengesetzt gerichtet ist.

Im Anschluss an die Wirkungen des konstanten Stromes angestellte Versuche mit unterbrochenen Kettenströmen hatten Langendorff und Oldag das Ergebniss geliefert, dass absteigend gerichteten unterbrochenen Kettenströmen unter allen Umständen inspiratorische Wirkung zukommt, dass aber dasselbe auch bei aufsteigenden unterbrochenen Strömen der Fall ist, wenn dieselben frequent und von kurzer Schliessungsdauer sind, sowie wenn das Versuchsthier (Kaninchen) nicht oder nur schwach (mit Chloralhydrat) narkotisirt ist. Dagegen erhielten sie expiratorische Wirkung, wenn die Frequenz der Unterbrechung des aufsteigenden Stromes sehr gering und die Schliessungsdauer im Verhältniss zur Unterbrechungsdauer gross war, sowie bei tiefer Chloralnarkose. Von diesem letzten Punkte, der zu den anfangs besprochenen Faktoren gehört, ganz abgesehen, ersieht man leicht, dass diese Thatsachen, die wir vollständig bestätigt fanden — s. Fig. 11—14 — darauf hinausgehen, dass Stromstösse inspiratorisch, dauernde Durchströmung bei aufsteigender Richtung expiratorisch wirken, worin sofort die Analogie zu den Effekten der nichtelektrischen Einwirkungen sich zeigt. Zur beliebig frequenten Unterbrechung der Kettenströme dienten uns die schon bei einer anderen Gelegenheit¹⁾ erwähnten, als automatische Wippen bezeichneten

1) Pflüger's Archiv, LVIII, S. 15.

Apparate, welche bei gekreuzter Drahtverbindung uns auch zu den weiter unten zu besprechenden Versuchen mit Wechselströmen dienten, und von denen der eine durch vertikale Verstellbarkeit der Quecksilbernäpfe die Möglichkeit bot, das Verhältniss der Schliessungs- zur Unterbrechungszeit beliebig zu verändern.

Indem Langendorff seine Versuchsergebnisse so deutet, dass, gleichgültig ob konstant oder unterbrochen, aufsteigende Ströme expiratorisch und absteigende inspiratorisch wirken sollen, ist er genöthigt, unter der gleichzeitigen Annahme, dass beide Wirkungen von derselben Elektrode, nämlich der Kathode ausgehen, „der dem Centralorgan näheren Elektrode eine hemmende Wirkung, der entfernteren ein tetanisirendes Element“ zuzuschreiben, wofür ein Analogon in der ganzen Muskel- und Nervenphysiologie nicht vorliegt. Ueberdies sprechen seine Versuche mit gleichzeitiger und entgegengesetzt gerichteter Durchströmung beider centraler Vagusstümpfe vielmehr für die von uns oben angedeutete Erklärung, indem er in denselben bei konstantem Strom stets expiratorische, bei unterbrochenem Strom stets inspiratorische Wirkung erhielt.

Unsere Vorstellung liess zunächst nur die eine Frage offen, warum beim aufsteigenden konstanten Strom dessen Dauer, beim absteigenden nur der Moment der Schliessung wirkt. Das nächstliegende war, da die Versuche Langendorff's und die, eine Wiederholung derselben bildenden unserigen am durchschnittenen Vagus angestellt waren, an eine Wirkung des Querschnitts zu denken. Reizversuche, welche wir nach übrigens gleicher Methode am undurchschnittenen Nerven ausführten, hatten nun das bemerkenswerth erscheinende Ergebniss, dass die Bedeutung der Stromrichtung für den Reizerfolg genau die umgekehrte wurde, wie bei Durchströmung des centralen Stumpfes. Vgl. Fig. 15—17.

Die Erklärung hierfür ergab sich indessen bald aus der von Rosenthal¹⁾ betonten Fehlerquelle, die beim undurchschnittenen, central und peripherisch mit dem Versuchsthier zusammenhängenden Nerven darin liegt, dass der durch zwei Elektroden zugeführte Strom entsprechend den Kirchhoff'schen Gesetzen sich verzweigt, indem ein Antheil die intrapolare Strecke durch-

1) du Bois' Arch., 1881, S. 62 ff.

läuft, ein anderer Zweig aber durch die extrapolaren Nervenstrecken und den Körper des Thieres seinen Weg nimmt, also für den Nerven in entgegengesetzter Richtung, wie der intrapolare Zweig. Ist nun die extrapolare Streckenlänge im Verhältniss zur intrapolaren nicht besonders gross, wie es bei Versuchen an kleineren Thieren meistens der Fall ist, berücksichtigt man ausserdem, dass der „fehlerhafte Stromzweig“ in dem Thierkörper auch das Centralorgan durchfliesst, so ist die verkehrte Wirkung ohne weiteres verständlich. Die Richtigkeit dieses Sachverhalts ergab sich übrigens noch durch Versuche, in welchen der Nerv erst undurchschnitten gereizt wurde (Fig. 18), dann peripherisch von den Elektroden durchschnitten und wieder gereizt wurde (Fig. 19 *a* bis *c*), wobei die Wirkung sich umkehrte, und endlich der über der peripherischen Elektrode herabhängende Stumpf wieder in leitende Berührung mit der Wunde gebracht wurde: jedesmal, wenn während der Dauer dieser Berührung der Reizstrom appliziert wurde, zeigte sich die Wirkung (Fig. 20) der von Rosenthal so bezeichneten „falschen Nervenreizung“, zu welcher übrigens noch Vermischung der Wirkung mit Schmerzäusserungen trat, wie denn endlich zur Mitreizung anderer Nerven in diesem Falle Gelegenheit gegeben ist. Es beweisen diese Versuche jedenfalls a fortiori, dass dem aufsteigenden Strom als solchen die expiratorisch-hemmende Dauerwirkung und dem absteigenden die inspiratorisch-erregende Schliessungswirkung zukommt. Zur Erklärung suchten wir nun diese Thatsache mit bekannten Sätzen der allgemeinen Nervenphysiologie, sowie mit den von mir anlässlich der Untersuchungen über das galvanische Erregungsphänomen des Nerven gemachten Erfahrungen in Verbindung zu bringen, indem wir uns fragten, von welcher Elektrode die Wirkungen ausgehen, und auf welchen in der allgemeinen Natur der Nervenfasern begründeten Thatsachen sie beruhen.

Die Ausdehnung der auf Grund gewisser Thatsachen der allgemeinen Muskelphysiologie von einigen Autoren gemachten Annahme, dass entsprechend der von der Kathode ausgehenden Erregungswirkung von der Anode aus eine Hemmungswirkung in erregbaren Geweben sich ausbreite, die Ausdehnung dieser Annahme auf den uns vorliegenden Fall erschien aus mehreren Gründen unthunlich: einmal, weil es sich hier um reflektorisch durch die uns unbekanntem Vorgänge im Centralorgan vermittelte

Wirkungen handelt, hauptsächlich aber, weil bei dem, eben gerade expiratorisch wirkenden aufsteigenden Strom die Anode die vom Centralorgan entferntere Elektrode ist, beim absteigenden Strom dagegen, wo die Anode dem Centralorgan zunächst liegt, während der Durchströmung keine Hemmungswirkungen auftreten. Diese Thatsachen weisen vielmehr darauf hin, dass, wie auch Langendorff annimmt, beide Arten der Wirkung von demselben Pole, nämlich der Kathode, ausgehen. Die Richtigkeit dieser Vorstellung noch besonders zu beweisen gelang uns mit Hilfe der sonst im allgemeinen wegen ihrer Fehlerquellen in der Physiologie zu vermeidenden Methode, welche darin besteht, dass nur eine Elektrode dem undurchschnittenen Nerven angelegt wird, während der andere Pol der Kette durch eine plattenförmige Elektrode von grosser Oberfläche mit der wohlbefeuchteten Haut des Thieres verbunden wird: da, dem kleinen Querschnitt entsprechend, die Stromdichte an der einen, dem Nerven anliegenden Elektrode unvergleichlich grösser ist, als an der anderen, der Körperoberfläche anliegenden, so kommt fast nur die Wirkung der ersteren in Betracht, die deshalb in der Elektrotherapie auch als „differente“ Elektrode im Gegensatz zu der „indifferenten“ Plattenelektrode bezeichnet wird. Es zeigte sich nun eine deutliche expiratorische Wirkung der andauernden Durchströmung nur dann, wenn die differente Elektrode Kathode war, während jede Wirkung fehlte, wenn sie zur Anode gemacht wurde (Beispiel s. Fig. 21 *a, b*). Wurde der Nerv peripherisch von der „differenten“ Elektrode durchschnitten, so trat sofort das umgekehrte ein, indem eben im ersten Fall der centrale Nervenstumpf absteigend, im zweiten Fall aufsteigend durchströmt war¹). (Fig. 22.) Versuche, die Bedeutung der beiden Elektroden durch wirklich „unipolare“ Applikation festzustellen, indem der eine Pol der Kette dem Nerven des durch Hartkautschukunterlage vollständig isolirten Thieres angelegt, der andere Pol mit der Erde verbunden wurde, blieben bei der von uns benutzten Anzahl der galvanischen Elemente ohne jedes Ergebniss.

Nachdem immerhin die Bedeutung der Kathode als aus-

1) Nach dieser Methode führten Langendorff und Oldag einen Theil ihrer Versuche aus. (a. a. O., S. 205).

schiesslich wirksamer Pol ausser jeden Zweifel gestellt ist, lassen die in Rede stehenden Thatsachen nur die eine Deutung zu, dass die während der ganzen Dauer der Durchströmung von der Kathode ausgehenden Wirkungen es sind, welche, bis zum Centralorgan reichend, die expiratorischen Effekte veranlassen, dass dagegen der im Augenblicke des Stromschlusses von der Kathode ausgehende wellenförmige elektrische Vorgang es ist, welcher die inspiratorische Wirkung hervorbringt. Mit anderen Worten: die beim „Entstehen des Katelektrotonus“ auftretende katelektrotonische Welle oder „Negativitätswelle“ wirkt inspiratorisch¹⁾, der während der Dauer der Durchströmung sich extrapolar ausbreitende „katelektrotonische Strom“ expiratorisch.

So wird es erklärlich, warum einigermaassen frequent unterbrochene und kurz dauernde aufsteigende Ströme inspiratorisch wirken; zur Erklärung der gleichen Wirkung der unterbrochenen absteigenden Ströme, sowie der Schliessung des konstanten absteigenden Stromes sei daran erinnert, dass, wie ich gezeigt habe²⁾, die von der Kathode ausgehende Negativitätswelle sich schneller fortpflanzt bzw. früher entsteht, als die von der Anode ausgehenden extrapolaren Wirkungen; es wird somit bei den absteigenden unterbrochenen Strömen, dieser, inspiratorisch wirkende Vorgang jedesmal vor Entstehen des Anelektrotonus „unter der Anode durchgehen“, wie ich mich ausdrückte, und auf das Centralorgan wirken. Beim absteigenden constanten Strom ist es nur eine von der Kathode ausgehende Negativitätswelle, die im Moment der Schliessung unter der Anode weg nach dem Centrum läuft. Dass aufsteigende unterbrochene Ströme auch expiratorisch wirken können, besonders wenn die jedesmalige Schliessungsdauer relativ lang ist, leuchtet ein, indem das Moment der katelektrotonischen „festen Polarisation“ über dasjenige der „Negativitätswellen“ die Oberhand gewinnt. Dass

1) Wir können anschliessend an das von Langendorff der vom Centralorgan entfernten Elektrode zugeschriebene „tetanisirende Element“ sagen: sie wirkt „reflektorisch tetanisirend“.

2) a. a. O. S. 45.

ceteris paribus in diesem Falle bei verschiedenen Thieren und in verschiedenem Zustande derselben (Narkose) bald die eine, bald die andere Wirkung erhalten werden kann, erklärt sich ebenfalls leicht aus dem Zusammenwirken der beiden in Rede stehenden Momente mit den in Art und Zustand des Thieres gegebenen Faktoren, welche bald dem einen, bald dem andern Moment zum Ueberwiegèn verhelfen. Genau das gleiche gilt endlich für den in bekannter Weise wechselnden Erfolg der induzirten Wechselströme, wozu, wenn dieselben durch ein Schlitteninduktorium mit Wagner'schem Hammer erzeugt werden, noch ihre Inkongruenz und unbeherrschbare Ungleichmässigkeit kommt. Die kongruenten Wechselströme des Sinusinduktors, sowie kurze, frequente, durch Vermittlung der „automatischen Wippe“ die Richtung wechselnde Kettenströme ergaben mir durchgehends inspiratorische Wirkungen, wovon Fig. 23 und 24 am Kaninchen gewonnene Beispiele zeigen. Für gleichgerichtete Induktionsströme gilt, wie selbstverständlich, dasselbe, wie für kurze frequente Kettenströme der entsprechenden Richtung¹⁾. Einzelne Induktionsschläge ergaben bei mässigen Stärken, wie auch Langendorff angiebt, gar keine, oder aber kurzdauernd inspiratorische Wirkung. Die Angaben von Wedenski²⁾, welcher mit solchen einzelnen Induktionsschlägen reizte, über die Bedeutung der Phase der natürlichen Athmung für den Reizerfolg konnte ich nicht bestätigen.

Die Bedeutung unserer Versuchsergebnisse scheint mir darin zu liegen, dass sie einerseits durch die Analogie der Effekte elektrischer und nicht elektrischer Reizung die allgemeine Anschauung zu stützen geeignet sind, dass das Wesen der Nerventhätigkeit in den aus der Struktur der Nerven als Kernleiter erklärbaren elektrischen Erscheinungen beruht, und dass sie andererseits aus allgemein nervenphysiologischen Gesichtspunkten die anscheinend so vieldeutigen Effekte der Vagusreizung auf die Athmung zu erklären vermögen, und zwar ohne die Nothwendigkeit, zwei verschiedene Faserkategorien für die inspiratorischen und die exspi-

1) Knoll (a. a. O.) betonte bereits die Bedeutung der Richtung gleichgerichteter Induktionsströme unter Hinweis auf Grützner's Mittheilungen, aber ohne selbst etwas über die Bedeutung der Richtung für die Art des Reizesfolges auszusagen.

1) Pflüger's Archiv, XXVII, S. 1—21.

ratorischen Wirkungen anzunehmen. Auf die Vorstellungen, welche über die, diesen Erscheinungen zu Grunde liegenden Vorgänge in den Centralorganen gebildet werden können, verzichteten wir einzugehen, indem hieraus die Nothwendigkeit erwachsen würde, auf die so zahlreichen Arbeiten über die Athemcentren literarisch und experimentell zurückzugreifen, was die Grenzen unserer Aufgabe zu sehr überschreiten würde. Zu dieser Beschränkung glaubten wir um so mehr berechtigt zu sein, als auf Grund der von uns gebildeten Vorstellung auch die Untersuchung der bei der normalen Respiration stattfindenden Funktionen des Vagus genügend ermöglicht erschien.

In dieser Beziehung sei erinnert an die bekannten Versuche von Hering und Breuer¹⁾, welche zu dem Ergebniss führten, das Aufblasung der Lunge expiratorisch, Zusammenfallen derselben inspiratorisch wirkt, so lange die Nn. vagi erhalten sind, worauf diese Autoren ihre Theorie von der sog. Selbststeuerung der Athmung durch den N. vagus begründeten. Wir dürfen nunmehr wohl um so eher mit Hering und Breuer die Dehnung der Vagusfasern bei der künstlichen Lungenaufblasung und der natürlichen Inspiration als ein expiratorisch wirkendes Moment auffassen, als wir diesen expiratorischen Effect allgemein den mechanischen Dauer-Einwirkungen auf den Vagusstamm (Dehnung, dauernde Kompression) folgen sahen, an welche die Dehnung der in der Lunge sich verzweigenden Vagusfasern sich doch eben anschliesst.

Wir hatten oft Gelegenheit, die expiratorische Wirkung, resp. Athempause nach Aufblasung der Lunge oder blosser Verschluss der eingelegten Trachealkanüle auf der Höhe der Inspiration selbst zu bestätigen, ebenso auch die inspiratorische Wirkung des Zusammenfallens der Lungen bei Eröffnung der Pleurahöhlen. Worin in diesem Falle das inspirationserregende, „tetanisirende“ Moment zu suchen sei, darüber lässt sich wohl kaum schon etwas Bestimmtes aussagen; dagegen müssen wir auf Grund der jetzt zu besprechenden Versuche mit beiderseitiger Vagusdurchtrennung behaupten, dass beide Momente, das expiratorisch-hemmende der Lungendehnung und das inspiratorisch wirkende

1) Ber. der Wien. Akad., math.-nat. Kl., Bd. LVII, 2. Ath., S. 672 ff., Bd. LVIII, 2. Abth., S. 909 ff., 1868.

der Lungenschrumpfung im Sinne der Hering-Breuer'schen Theorie regulirend, „steuernd“, bei der normalen Athmung betheiligte sind, wobei wiederum je nach Art und Zustand des Thieres das eine oder das andere Moment überwiegen kann, indem je nach diesen Faktoren das Gesamtbild der Erscheinungen nach Ausschaltung beider Vagi verschieden ist. Diese Anschauung stimmt überein mit den ganz neuerdings von Schiff¹⁾ entwickelten Vorstellungen.

II.

Wie schon früher Breuer²⁾ und Gad³⁾, und neuerdings wieder Schiff⁴⁾ hervorgehoben haben, ist zur Erkenntniss der Bedeutung des Vagus für die normale Athmung die Ergänzung der Reizversuche durch die Erforschung der bei Vaguslähmung zu beobachtenden Ausfallserscheinungen unbedingt nothwendig, und zwar unter Ausschliessung komplizirender Nebenumstände, zu welchen vor allen die Reizung durch den Akt der Durchtrennung selbst gehört. Die Annahme von Kohls und Tiegel⁵⁾, dass die, besonders beim Hunde schon lange bekannte, auf doppelte Vagusdurchschneidung eintretende starke Verlangsamung der Athmung, verbunden mit mehr oder weniger ausgesprochenen Athempausen, ausschliesslich durch den mit der Durchtrennung verbundenen Reiz verursacht sei, erscheint schon desshalb unberechtigt, weil, wie wir sahen, die Durchtrennung, als Schnittraseh und präzise ausgeführt, inspiratorisch wirkt. An eine dauernde Reizung durch den Längsquerschnittstrom des in der Wunde liegenden Nerven ist darum nicht zu denken, weil der durchschnitene Nerv diese elektromotorische Eigenschaft jedenfalls in kürzerer Zeit verliert, als der bisher beobachteten Dauer der verlangsamten Athmung bei lange am Leben erhaltenen, beiderseitig vagotomirten Hunden entspricht. Auf die Angaben, dass in diesen

1) Gesamm. Beitr. zur Physiologie, Bd. I, S. 74.

2) a. a. O., S. 672.

3) du Bois' Archiv, 1880, S. 9.

4) a. a. O., S. 99.

5) Pflüger's Archiv, XIII, S. 87—93.

Fällen bisweilen die Athmung wieder normale Frequenz erreicht habe, werde ich weiter unten zurückkommen.

Zur Ausschliessung nun aller Reizerscheinungen bei der Durchtrennung hat Gad¹⁾ sich der Aufhebung der Leitung in den Nn. vagi durch Abkühlung derselben unter dem Gefrierpunkt bedient. Dass dabei in der That keine Reizung stattfindet, ist sowohl durch Gad selbst, wie auch durch Knoll²⁾ bewiesen, welche die Applikation von Kälte auf den centralen Vagusstumpf ohne jede Wirkung auf die Athmung bleiben sahen. Dass die Ausschaltung der normalen Funktionen des Vagus auf die Athmung eine vollständige ist, erhellt daraus, dass Durchschneidung der Vagi peripher von der abgekühlten Stelle nichts weiter an der Athmungskurve ändert. Dieses letztere ist nun aber nach unseren Erfahrungen bereits dann der Fall, wenn die Abkühlung des Nerven bei weitem nicht den Gefrierpunkt erreicht; eine Thatsache, welche, und zwar auch speziell für den Vagus, neuerdings schon von Howell³⁾ gefunden wurde, und mit der älteren Angabe Grützner's⁴⁾ übereinstimmt, dass ganz allgemein sowohl die centrifugalen wie centripetalen Warmblüternerven bereits zwischen 0 und + 6° keinen Reizeffekt an ihren Erfolgsorganen mehr hervorrufen. Dieser Umstand ist aber noch in einer anderen Beziehung bedeutungsvoll, insofern nämlich die Wiederherstellung der Leitung durch Wiedererwärmen des Nerven um so schwieriger und unsicherer gelingt, je stärker der Nerv abgekühlt war. Während diese Wiederherstellung der Leitung durch Aufthauen beim hartgefrorenen Nerven bisweilen misslang, vermochten wir die Regulirung der Athmung durch die Vagi mittelst mässiger Abkühlung bei allen drei Thierarten, Hunden, Kaninchen und Katzen drei bis viermal hintereinander auszuschalten und wiederherzustellen⁵⁾. Auf die Grundlagen dieser Erscheinungen näher einzugehen verzichte ich hier, wir sind mit weiteren Untersuchungen darüber beschäftigt.

1) a. a. O., S. 12 ff.

2) Wien. Acad.-Ber., LXXXVI, 3. Abth., S. 62.

3) Journ. of. Physiol., XVI, 298—318.

4) a. a. O., S. 237.

5) Marckwald (a. a. O., S. 168), welcher die Gad'sche Methodik auf die Ausschaltung des (motorischen) Phrenicus übertrug, giebt an, dass die Wiederherstellung der Leitung nur dann gelang, wenn dieser Nerv nicht stärker als -2° abgekühlt war.

Die Veränderungen der Athmung nun, welche auf die reizlose Ausschaltung beider Vagi nach der in Rede stehenden Methode folgen, sind bisher nur am Kaninchen genauer beobachtet, indem Gad darüber folgendes angiebt: Unmittelbar nach dem Auflegen des zweiten Vagus auf den abgekühlten Draht ist die nächste Einathmung stark verlängert und vertieft; und das gleiche gilt von allen weiteren Inspirationen, so dass entweder geradezu Stillstand in Inspirationsstellung, oder Verlängerung der inspiratorischen Phase bei jedem Athemzuge an der Athem-Volumkurve zu erkennen ist¹⁾, wobei die nach unten gerichteten inspiratorischen „Thäler“ tiefer liegen als vor dem Eingriff; dagegen erreichen die inspiratorischen, nach oben gerichteten Zacken nach Angabe Gad's nicht mehr das frühere Niveau, wobei auch die Dauer der expiratorischen Phase verkürzt sein kann. Es findet also eine Verschiebung der ganzen Athemvolumkurve nach unten, somit eine „Verschiebung der respiratorischen Mittellage des Thorax im inspiratorischen Sinne“ statt.²⁾ Gad deutet diese Erscheinung dahin, dass durch die Ausschaltung beider Vagi nur der hemmende Einfluss, den die Lungendehnung bei jeder normalen Inspiration durch Vermittlung der Vagi ausübe, in Fortfall komme, so dass jede Inspiration so lange dauere, bis sie durch, nicht näher angegebene, in den Centren selbst entstandene Einflüsse unterbrochen werde. Diese Unterbrechung sei aber nur von kurzer Dauer, und werde früher, als in der Norm durch den Erregungszustand des Inspirationscentrums überwunden, wie aus der Kurve zu ersehen sei. Dagegen leugnet Gad auf Grund derselben, dass bei der normalen Athmung inspirationserregende Wirkungen den Centren durch die Vagi übermittelt werden, da sonst nach Fortfall derselben die expiratorischen Phasen verlängert, statt verkürzt sein, und die expiratorischen Gipfel das normale Niveau erreichen müssten.

Wir fanden in unseren zunächst an Kaninchen unter

1) „absolute“ oder „relative inspiratorische Athempause“ nach Gad's Bezeichnungsweise.

2) Schiff (a. a. O.) bezeichnet zweckmässig den Vorgang als „Vergrösserung des Werthes Residualluft + Reserveluft“.

genauer Einhaltung der Gad'schen Methodik ausgeführten Versuchen (siehe Fig. 25—27), die Vertiefung und Verlängerung der Einathmungen vollkommen bestätigt; dagegen sahen wir die expiratorischen Phasen nur kurze Zeit nach der Durchfrierung gegen die Norm verflacht und verkürzt; vielmehr erreichten die nach oben gerichteten expiratorischen Zacken früher oder später stets die gleiche Höhe, wie vor der Durchfrierung der Vagi, und die Dauer der expiratorischen Phasen war die gleiche wie vorher, oder selbst noch grösser, so dass expiratorische Pausen zu erkennen waren¹). Obgleich wir also die „Verschiebung der respiratorischen Mittellage im inspiratorischen Sinne“ bestätigen können, so müssen wir doch, gegenüber Gad, aus unseren Kurven schliessen, dass bei der normalen Athmung sowohl die Thätigkeit der Inspirationsmuskeln hemmende als auch inspirationserregende Einflüsse dem (inspiratorischen) Athmencentrum durch die Nn. vagi zugeleitet werden, aus deren Fortfall nach der „reizlosen Ausschaltung“ sich das gleichzeitige Auftreten verlängerter Inspirationen und expiratorischer Pausen erklärt. Immerhin ist die Thatsache höchst bemerkenswerth, dass je nach der Individualität die Kurve bei Vagusausschaltung sich bei verschiedenen Thieren derselben Art nicht völlig gleich gestaltet, woraus folgt, dass auch bei der normalen Athmung die dem Inspirationscentrum durch die Vagi zugeleiteten, einerseits hemmenden und andererseits anregenden Wirkungen schon bei verschiedenen Individuen derselben Thierart (Kaninchen) in verschiedenem Zustande und verschiedenem Maasse überwiegen²). In noch höherem Grade zeigt sich diese Verschiedenheit bei ver-

1) Dabei hatten wir Reizung durch Zerrung u. s. w. aufs sorgfältigste ausgeschlossen. Durchschneidung der Vagi peripher von den abgekühlten Stellen änderte auch nicht das geringste an der Kurve, gleichgültig ob die Abkühlung unter 0° erfolgt war oder nicht.

2) Hierdurch möchte ich auch den Unterschied zwischen Gad's und meinen Beobachtungen erklären, zwischen denen diejenigen von Lindhagen (Skand. Arch. f. Physiol. IV) in der Mitte stehen. Ohne Zweifel spielen auch bei der Gestaltung der Ausfallserscheinungen etwa angewendete Narkotika eine Rolle, so das Chloralhydrat, welches schon beim nicht vagotomirten Kaninchen expiratorische Pausen macht (Gad a. a. O. S. 6).

schiedenen Thierarten, wie aus den nunmehr zu beschreibenden, von uns an Katzen und Hunden bei „reizloser Vagusausschaltung“ erhaltenen Ergebnissen folgt.

Hierbei ist indessen noch ein wichtiger, bereits weiter oben angedeuteter Umstand zu beachten, welcher bis jetzt vielleicht nirgends genügend berücksichtigt wurde. Es ist dies die aktive Betheiligung der expiratorischen Muskeln an der Phase der Ausathmung; welche wir in Uebereinstimmung mit mehreren Autoren auf die Thätigkeit eines vom inspiratorischen Athemcentrum besonders zu unterscheidenden Expirationscentrums zurückführen möchten.

Das Auftreten „aktiver Expirationen“, welches in der Kurve hauptsächlich daran kennflich ist, dass die expiratorischen Zacken das normale Niveau (und zwar bedeutend) übersteigen, ist von Sigmund Mayer¹⁾ als bezeichnend für den Athmungstypus nach bilateraler Vagotomie hingestellt worden. Nach unseren, sowohl aus der Betrachtung der Kurven, wie auch aus sorgfältiger Inspektion der Thiere und Berücksichtigung des Athemgeräusches geschöpften Erfahrungen, müssen wir das Auftreten aktiver Betheiligung der Expirationsmuskeln, nach wie vor bilateraler Vagusausschaltung, als seltenes Vorkommniß bezeichnen beim Kaninchen, dagegen als fast regelmässiges bei dem, später zu besprechenden Hunde, endlich als ziemlich häufiges bei der Katze.

Bei diesem Thier ergab die, wie beim Kaninchen durch Auflegen auf abgekühlte Drähte bewirkte reizlose Ausschaltung der Vagi eine sofortige und bleibende Vertiefung und mässige Verlängerung der inspiratorischen Phasen; wirkliche inspiratorische Pausen habe ich bei der Katze nur selten gesehen, öfters aber expiratorische. Die expiratorischen Kurvengipfel blieben, wie beim Kaninchen, nur kurze Zeit unter dem normalen Niveau, um dasselbe bald zu erreichen und öfters zu übersteigen (Figg. 28 und 29).

In diesen Fällen war denn auch die aktive Betheiligung der Expirationsmuskeln bei Inspektion der Athembewegungen evident. Der Athemtypus nach beiderseitiger Vagusausschaltung besteht somit bei der Katze in einer

1) Hermann's Handb. II, 1, S. 271.

Verlangsamung der Athmung durch Verlängerung beider Phasen, was auf den Ausfall in der Norm stattfindender, sowohl erregender, als hemmender Einflüsse auf das Inspirationencentrum hindeutet. Dabei wird die gegen die Norm verspätete Ausathmung unterstützt und verstärkt durch aktive Betheiligung der Expirationmuskeln.

Noch regelmässiger findet diese statt, und noch etwas anders als bei Kaninchen und Katze gestalten sich die Ausfallserscheinungen nach beiderseitiger Vagusduretrennung beim Hund. In den meisten an diesem Thiere angestellten Versuchen isolirten wir vor der Duretrennung jeden Vagus von dem mit ihm in gemeinschaftlicher Scheide verlaufenden Sympathicus nach Eröffnung derselben und vermieden durch diese meist leicht gelingende Maassregel vollständig die durch Sympathicusduretscheidung bewirkten Erscheinungen ¹⁾.

In einer Versuchsreihe nun, bei welcher wir an Hunden beide Vagi, besonders zum Studium der Lungenveränderungen, einfach mit der Scheere durchschnitten hatten, sahen wir, nach Vorübergehen der Reizsymptome, die Athemfrequenz bis nahe zur Hälfte vermindert, die Inspirationsdauer verlängert, die Expirationen aktiv und zwischen den einzelnen Athemzügen oft sehr lange Athempausen, in denen die inspiratorische Athemmuskulatur anscheinend ganz in Ruhe ist. Die graphische Aufnahme nach dem Bert'schen Verfahren (das genauere siehe weiter unten), ja schon die genauere Untersuchung durch Inspektion und Palpation ergiebt indessen, dass nur der Anfang der Pausen rein expiratorischer Natur ist, indem ganz allmählich und langsam, erst unmerklich, dann immer kräftiger und deutlicher, die inspiratorischen

1) Bisweilen verläuft der Vagus eine Strecke weit getrennt vom Sympathicus. Einem derart isolirten Verlauf nur eines Theils der Vagusfasern sind wir nie begegnet und können somit die Angabe von Jolyet (Gaz. médicale de Paris, 1873, S. 37) nicht bestätigen, welcher neben dem linken Vagus einen besondern Faden fand, dessen Reizung auf die Athmung (speciell hustenerregend) wirkte. Uebrigens ist die Isolirung des Vagus vom Sympathicus nie ganz ohne Auftreten von Reizerscheinungen ausführbar. Diese veranlassten uns, auf Versuche über „Vagusspaltung“ nach Steiner (du Bois' Arch. 1878) ganz zu verzichten.

Muskeln in Thätigkeit gerathen, bis schliesslich eine Zusammenziehung der Rippenmuskeln sichtbar ist, welche länger dauert als in der Norm, und wie Timofeeff (s. unten) richtig beobachtet hat, wellenartig über den Thorax zu laufen scheint. Dass die Athempause bei vagotomirten Hunden und Katzen keine vollständige („absolute“) ist, sondern Druckänderungen in derselben stattfinden, gibt auch Schiff¹⁾ an; indessen fand er gegen Ende der Pause nicht eine allmähliche, durch die beginnende Inspiration veranlasste Druckverminderung, sondern im Gegentheil eine mehr oder weniger plötzliche expiratorische Drucksteigerung durch aktive Expiration. Einen derartigen (von Langendorff als zweizeitige, „sakkadirte“ Expiration bezeichneten) Typus haben auch wir in seltenen Fällen bei allen drei untersuchten Thierarten beobachtet. Das Gad'sche Verfahren reizloser Durchtrennung hat Schiff nicht angewendet, indem er bei der Ausführung desselben am Hunde besondere Schwierigkeiten erwarten zu müssen glaubte. Da bei der Dicke der Nerven dieses Thieres die abgekühlten Drähte, sowie auch von Kältemischung durchflossene Röhren mir in der That kein genügend präzises Resultat ergaben, so nahm ich die Abkühlung durch Auflegen der Nerven auf passend geformte Eisstückchen vor. Die Registrierung der Athmung erfolgte in diesen Versuchen durch eine mit der endständigen Trachealkanüle unter Einschaltung der Bert'schen Flasche verbundene Marey'sche Schreibkapsel, nachdem Vorversuche gezeigt hatten, dass dies, mangels eines Volumenschreibers von genügenden Dimensionen angewendete Verfahren bei den anderen Thieren die charakteristischen Athemveränderungen nach Vagusausschaltung genügend deutlich anzeigt. Die am Hunde mit denselben gewonnenen Kurven lassen den allmählichen Beginn und die tetanische Verlängerung der inspiratorischen Phase deutlich erkennen, während eine Vertiefung der Einathmung (also gleichzeitige verstärkte Thätigkeit der Einathmungsmuskeln) nicht immer ausgesprochen ist. Dagegen ist der expiratorische Schenkel der Kurve steil und die expiratorische Zacke übersteigt das normale Niveau — aktive Expiration —; auf dieselbe folgt dann die, gegen die Norm mehr oder weniger

1) a. a. O. S. 67.

verlängerte expiratorische Pause, welche ganz allmählich in die inspiratorische Phase übergeht (Fig. 30, *a—c*).

Der Vergleich mit der normalen Athemkurve, welcher zeigt, dass die Verlangsamung der Athmung durch Verspätung sowohl der Ausathmung, als auch der Einathmung zu Stande kommt, beweist hiermit, dass auch beim Hunde sowohl hemmende als anregende Einflüsse, welche bei der normalen Athmung betheilt sind, durch die Ausschaltung der Vagi in Wegfall kommen; dabei erfolgt die (verspätete) Ausathmung unter aktiver Mitwirkung der Expirationsmuskeln, welche hier regelmässig eintritt, während sie nach unsern Erfahrungen sowohl, wie nach den Angaben anderer Autoren¹⁾ auch bei normalen Hunden, besonders in Narkose, nicht selten ist; die Begünstigung derselben durch die beiderseitige Vagusdurchtrennung liesse sich auffassen als eine Art Ersatz für die ausgefallene Hemmung der Inspiration durch die Lungendehnung unter Vermittlung der Vagi, auch ohne über das Zustandekommen der aktiven Expiration etwas Bestimmtes aussagen zu können.

Was das Gesamtergebnis unserer Vagusausschaltungsversuche betrifft, so sehen wir, dass die beiden Effekte, welche wir durch die zwei Hauptarten künstlicher — elektrischer oder nicht elektrischer — Reizung, nämlich momentane und Dauer-Einwirkung, hervorrufen konnten — Anregung und Hemmung inspiratorischer Athembewegungen —, auch bei der Regulirung der normalen Athmung durch die Nn. vagi im Sinne der Hering-Breuer'schen Theorie betheilt sind, und zwar bei allen untersuchten Thierarten beide Momente nebeneinander; wie indessen je nach Art, Individualität und Zustand des Thieres bald der inspiratorische, bald der hemmende Effekt durch künstliche Einwirkungen leichter zu erzielen war, so sehen wir auch, dass je nach den genannten Umständen die Betheiligung dieser beiden Momente an der Regulirung der normalen Athmung eine verschiedene ist, und dass dasselbe für die Mitwirkung der aktiven Expiration gilt.

Auf die Frage, warum nach beiderseitiger Vagusausschaltung die Athmung noch rhythmisch bleibt, gehen wir darum nicht näher ein, weil, wie schon oben erwähnt, wir auf die Ausdehnung unserer

1) Wertheimer, Brown-Séguard.

Arbeit auf die Athemcentren verzichtet haben. Wir berühren diesen Punkt hier nur deshalb, weil zum Beweise dafür, dass die rhythmische Thätigkeit der Athemcentren reflektorisch und nicht automatisch erregt sei, Schiff¹⁾ angiebt, dass bei langer Lebensdauer beiderseitig vagotomirter Hunde die Respirationsfrequenz wieder ansteige, ja dass ihr Durchschnitt schliesslich die normale Mittelzahl wieder erreiche, was er dadurch erklärt, dass andere, für gewöhnlich an der Regulirung der Athmung nur nebenbei betheiligte centripetale Nerven, allmählich an Stelle der durchtrennten Vagi deren Funktion als Hauptregulirungsnerven der Athmung übernehmen.

Wochen- und monatelanges Ueberleben von Hunden nach beiderseitiger Vagusdurchschneidung, wie es früher vielfach (durch Nasse, Bidder und Löwinson, auch im hiesigen Institut) beobachtet worden ist, fand bei den erwähnten Versuchen niemals statt, indem die Thiere binnen vier Tagen der Lungenentzündung erlagen. Ich versuchte daher diejenige Abänderung des in Rede stehenden Experiments, auf welche sich jene Angabe von Schiff hauptsächlich bezieht, nämlich die von Reid zuerst vorgeschlagene, von Genzmer und Frey am Kaninchen ausgeführte, auf den Hund ausser von Schiff und Herzen noch von Timofeeff²⁾ angewendete Methode: Durchschneidung des rechten Vagus unterhalb der Abzweigung des N. laryngeus recurrens, und des linken Vagus oben am Halse. Zwischen beiden Operationen liessen wir, wie Schiff und Timofeeff, einige Tage verstreichen. Die Veränderungen der Athmung waren die gleichen wie bei beiderseitiger hoher Vagusdurchschneidung; und in den zwei bisher gelungenen Versuchen blieb die Lungenentzündung aus. Leider bewirkten indessen verschiedene Umstände (junge Thiere, strenger Winter, grosse Neigung zu Eiterungen trotz umfänglicher antiseptischer Maassnahmen), dass die Lebensdauer nicht die Länge erreichte, welche nach Schiff zur Wiederherstellung der normalen Frequenz nothwendig ist, nämlich 14 Tage bis 3 Wochen, ein Zeitraum, welcher, wie Schiff angiebt, und wie auch aus einer neueren Arbeit von Vanlair³⁾

1) a. a. O. S. 65, 69.

2) Botkins russ. klin. Wochschr. 1889.

3) Bullet. de l'ac. roy. de Belg. (3) XXV, S. 240.

folgt, allerdings die Regeneration der Nerven noch ausschliesst. Indessen müssen wir unser abschliessendes Urtheil in dieser Frage aufschieben, bis uns noch mehr, gelegentlich anzustellende Versuche der in Rede stehenden Art zu Gebote stehen.

Die bisher angestellten Versuche boten uns reichlich Gelegenheit zur Untersuchung der auf die beiderseitige Vagusdurchtrennung folgenden Lungenveränderungen, über deren Natur noch keine volle Uebereinstimmung unter den Autoren besteht. Gegenüber der Traube'schen, in neuerer Zeit besonders durch die ausführliche Arbeit von O. Frey¹⁾ bestätigten Annahme, dass die Lungenentzündung nach beiderseitiger Vagusdurchschneidung durch das Zusammenwirken der Kehlkopflähmung mit der Schlucklähmung zu Stande komme, indem Futtertheile, und auch bei fehlender Nahrungsaufnahme Mundflüssigkeit in die Lungen gelange und die Entzündung hervorrufe, hält Schiff²⁾ nach wie vor an seiner Ansicht fest, dass die Ursache aller pathologischen Lungenveränderungen nach bilateraler Vagotomie in dem Wegfall einer die Lungengefässe verengernden Funktion des Vagus zu suchen sei: „neuroparalytische Hyperämie“.

Die Traube'sche Theorie stützt sich vor allem auf die Ergebnisse von Versuchen, einerseits die Schädlichkeit der Mundflüssigkeit zu beweisen, andererseits die Lungenveränderungen zu verhindern durch Abhaltung dieser Schädlichkeit auf dem Wege der räumlichen Trennung des Schluckapparates und des übrigen Digestionstraktus von den Athmungswegen. So fanden Traube und Frey, dass Einlegung einer Trachealkanüle beim Kaninchen das Zustandekommen der Pneumonie verhindert, indem nur diejenigen Lungenveränderungen sich zeigen, welche auch das blosse Einlegen der (endständigen) Trachealkanüle allein, ohne Vagotomie hervorruft, ein Eingriff, welcher ja nach der von Billroth unter Traube's Leitung gemachten Beobachtung beim Kaninchen den Tod nach sich zieht. Bei Hunden geben die Anhänger Traube's an, nach beiderseitiger Vagusdurchtrennung und Absperrung des Digestions- vom Respirationstraktus gar keine oder „nur ganz geringfügige“ Veränderungen gefunden zu haben. Hierher gehört

1) Preisschrift, Leipzig, 1879.

2) a. a. O., S. 372 ff.

auch das Urtheil von Timofeeff¹⁾, welcher die erwähnte Methode: Durchschneidung des rechten Vagus unterhalb des Recurrensabganges und des linken oben am Halse, in Anwendung brachte und nach dem, nach 14 Tagen erfolgten Tode der Thiere die Lungen ohne pathologische Veränderungen gefunden haben will. Diesen Angaben steht diejenige von Schiff gegenüber, welche während vieler Jahre eine grosse Anzahl von Hunden nach diesem Plane operirt zu haben angiebt und bei dem, oft erst nach Monaten erfolgten Tode²⁾ derselben die Lungen 1. mehr oder weniger hyperämisch, 2. von grösserem Gewicht, als dem normalen Durchschnitt entsprechen hätte, 3. den zu ihrer Aufblasung nöthigen Druck nicht unbedeutend verstärkt fand.

Vergleichen wir mit den Angaben der Autoren, von denen ich nur die wesentlichsten Punkte in aller Kürze soeben darzustellen versucht habe, unsere Befunde, so finden wir, schon bei oberflächlicher makroskopischer Inspektion, dass die ausgesprochene Pneumonie, wie sie nach doppelseitiger Vagusdurchtrennung ohne weitere Maassregeln eintritt, bei den behufs Aufnahme der Atemvolum- resp. Druckkurven tracheotomirten und mit endständiger Luftröhrenkanüle versehenen Thieren meistens fehlte. Genauere Besichtigung, sowie anschliessende mikroskopische Untersuchung (Härtung in Alkohol, Paraffin-Durchtränkung und -Einbettung, Färbung der Schnitte mit Carmin oder Hämatoxylin) liess eine oft starke Hyperämie, sowie beträchtliches Randemphysem erkennen, während entzündliche Infiltrationen um die Bronchien herum meist vermisst wurden. Dass auch Ausnahmen hiervon vorkamen, in welchen die Pneumonie nach beiderseitiger Vagusdurchschneidung trotz Trachealkanüle eingetreten war, wird nach weiter unten zu erörternden Ueberlegungen verständlich erscheinen, und zwar um so mehr, als wir derartige Befunde zweimal auch nach Durchschneidung nur eines Vagus mit Einlegung der Trachealkanüle hatten, darunter das einmal eine vollständige lobäre Hepatisation der Oberlappen beider Lungen.

Bei den beiden Hunden, welche wir bis jetzt mit Erfolg nach

1) a. a. O.

2) Diejenigen, welche über 4 Monate lebten, wurden gelegentlich getödtet, a. a. O. S. 403.

der Angabe von Schiff und Timofeeff operirt haben, bei denen also die Kehlkopflähmung nur halbseitig war¹⁾, fanden wir bei der Eröffnung des Thorax nach dem Tode beide Lungen in ihrer ganzen Ausdehnung von geradezu normal erscheinender, ganz schwach röthlich-weisser Farbe. Die genauere Untersuchung ergab indessen, dass sie gleichfalls nicht vollkommen normal waren, wenigstens insofern reichlich emphysematische Stellen vorhanden waren. Auch erwies sich beim Einschneiden der Gehalt an Flüssigkeit als nicht unbeträchtlich, und dieselbe war blutig gefärbt. Indessen glauben wir mit der Diagnose auf „Hyperämie“, besonders mit Rücksicht auf die Möglichkeit postmortaler Entstehung der Veränderung, vorsichtig sein zu müssen.

Dass übrigens nach beiderseitiger Vagusdurchtrennung unter Absonderung der Athmungs- von den Verdauungswegen auch beim Hunde die Lunge etwas, wenn auch nicht stark hyperämisch gefunden wird, giebt auch Frey selbst²⁾ zu. Eine andere Frage ist diejenige, wie diese Hyperämie mit der Vaguslähmung zusammenhängt. Dass es sich dabei in der That um Gefässlähmung handele, wollte Michaelson³⁾ ausser durch anderes auch durch die mit Hilfe eingestochener Thermonadeln gemachte Beobachtung bewiesen haben, dass nämlich sofort nach der Durchschneidung des zweiten Vagus die Temperatur der Lungen steige. Einige von uns zur Prüfung dieser Angabe mittelst der d'Arsonval'schen Thermonadeln und eines sehr empfindlichen Multiplikators gemachte Versuche hatten kein eindeutiges Ergebniss.

Soviel erscheint indessen sicher, dass die eigentliche Lungenentzündung nach doppelseitiger Vagusdurchschneidung nur dann entstehen kann, wenn die offenstehende Stimmritze das Eindringen von „Fremdkörpern“ erleichtert. Dabei können immerhin die Angaben der Gegner der Traube'schen Ansicht, dass durch absichtliche Einführung von Mundflüssigkeit, Futtertheilen u. s. w. in die Athmungswege nicht vagotomirter Thiere nur schwierig Pneumonie erzeugt werde, dahin gedeutet werden, dass durch die Lähmung

1) Die Thiere konnten sogar (wenn auch heisere) Laute von sich geben, nachdem die erste Operation allein (Durchschneidung des rechten Vagus unterhalb des Recurrens) gar keinen Einfluss auf die Stimme gehabt hatte.

2) a. a. O., S. 135.

3) Mittheilungen aus dem Königsb. physiolog. Labor., S. 85—119.

der Lungenvagi, sei es nun auf dem Wege der Bronchialmuskellähmung, oder durch „neuroparalytische Hyperämie“, oder endlich durch Ausfall trophischer Funktionen¹⁾, ein Faktor gebildet werde, welcher das Entstehen der Entzündung begünstigt.

In dieser Hinsicht möchte ich daran erinnern, dass die Streitfrage über die Ursache der sogenannten Vaguspnemonie zu einer Zeit aufkam, und auch relativ neuere Arbeiten über diesen Gegenstand ihr noch angehören, wo die Bedeutung der Mikroorganismen als Krankheitserreger noch unbekannt war. Dass die Funktionsstörung des Lungenvagus, und wäre es auch nur durch die veränderte Athemform, die Resistenzfähigkeit der Lunge gegen Infektion vermindern könnte, ist wahrscheinlich; dass die Mundflüssigkeit, sowie Futterstoffe entzündungserregende Mikroorganismen enthalten können, ist heutzutage bewiesen; auf diese Weise erscheint die Lungenentzündung nach doppelseitiger Vagusdurchschneidung wesentlich als Produkt zweier Faktoren und der Streit über ihre „Ursache“ als ziemlich gegenstandslos²⁾.

Durch das Zusammenwirken mechanischer und thermischer Läsion (Verletzung und Erkältung) einerseits und bakterieller Infektion andererseits dürften auch die Fälle von Pneumonie bei Kaninchen mit Trachealkanüle, aber ohne doppelseitige Vagotomie, genügend erklärt sein.

Endlich glaube ich hinsichtlich der Ursache des Todes nach beiderseitiger Vagusdurchschneidung ebenso wie Sigm. Mayer³⁾, dass man in denjenigen Fällen, wo die Lungenentzündung ausbleibt, nicht nöthig hat, mit O. Frey die Todesursache in einem „uns noch unbekanntem, dunkeln Moment“ zu suchen. Ausser der von Eichhorst (Vogel), Michaelson und andern angenommenen Degeneration des Herzmuskels, der Ueberanstrengung (Gad) der Athemmuskulatur, welche zu deren Paralyse führen könnte, ist vor allem an die Ernährungsstörung zu

1) Vergl. hierüber Durdufi, Centralbl. f. allg. Pathol. und path. An., V, Nr. 12.

2) Eine bakteriologische Untersuchung von Lungen mit Vaguspnemonie ist neuerdings durch Lustig (Morgagni 1888) und Piccinino (Annali di neurologia XI, 1894) vorgenommen worden. Wir haben auf eine solche zunächst verzichtet.

3) Hermann's Handb. II, 1, S. 273.

denken, welche sehr tiefgreifend sein muss, da der Vagusstamm ausser den Athmungsorganen, dem Herzen und der Speiseröhre noch Magen¹⁾, Leber, Pankreas u. s. w. mit Zweigen versieht. Wie T i m o f e e f f, welcher den Tod seiner Versuchsthiere lediglich auf Inanition zurückführt, sahen auch wir unsere nach seiner Methode operirten Thiere beständig erbrechen und äusserst stark abmagern. Auch konnten wir die Abnahme der Körpertemperatur konstatiren; so betrug diese bei dem in Rede stehenden Thiere, im Rectum gemessen, unmittelbar nach der zweiten Operation 40,0°, am sechsten Tage, ungefähr 24 Stunden vor dem Tode 35,2°. Eine durch besondere Versuche zu stützende Erklärung dieser Erscheinung fehlt noch. Ebenso wäre angesichts einer neuerdings gemachten Angabe von Morat und Dufourt²⁾, dass Reizung des Vagus die Zuckerbildung in der Leber hemmen kann, eine interessante, noch zu lösende Aufgabe, genau zu untersuchen, ob vagotomirte Thiere diabetisch werden.

Jedenfalls möchte ich mich der Ansicht von Sigm. Mayer anschliessen, dass bei der grossen Zahl und Wichtigkeit der physiologischen Funktionen des Vagus es eher merkwürdig wäre, wenn seine beiderseitige Durchtrennung nicht tödtlich wäre.

1) Nach vollständigem Abschluss dieser Arbeit erschien die Veröffentlichung von Pawlow und Schumowa (du Bois' Arch., 1895, S. 53 ff.) über die Abhängigkeit der Magensaftsecretion vom Vagus. Das von ihnen beobachtete Verhalten der rechts tief, links hoch vagotomirten Hunde stimmt mit unsern Beobachtungen gut überein.

2) Archives de physiologie (5) VI, p. 693 ff.

Erläuterung der Curven auf Tafel I, II und III.

Alle diejenigen Versuche, bei welchen über Narkose nichts besonders bemerkt ist, beziehen sich auf nicht narkotisirte Thiere.

Fig. 1, 2a, 2b. Junge Katze, Registrirung der Athmung mit dem Volumschreiber. Linker Vagus intakt.

Fig. 1: Rechter Vagus undurchschnitten mechanisch tetanisirt. (Der Versuch wurde mit gleichem Erfolge an einer andern, weiter centralwärts gelegenen Stelle des Nerven wiederholt.)

Fig. 2a. Derselbe Nerv weiter centralwärts mit scharfer Scheere rasch und präzis durchschnitten.

Der centrale Stumpf wird in eine Schlinge gefasst und dieselbe — Fig. 2b — fest angezogen.

Fig. 3. Kaninchen, Athemvolumschreiber. Rechter Vagus intakt; linker Vagus präzis durchschnitten.

Fig. 4a. Kaninchen, Athemvolumschreiber. Linker Vagus intakt; rechter durchschnitten, centraler Stumpf desselben durchströmt mit konstantem Strom aufsteigend (\uparrow) 2 Grenet-Elemente, 2000 Ω in Nebenschliessung.

Fig. 4b. Anderes Kaninchen, oben Zwerchfell-, unten Athemvolumkurve, sonst die gleiche Versuchsanordnung, wie Fig. 4a.

Fig. 4c. Kaninchen, beiderseits vagotomirt; oben Thorax-, unten Volumkurve; rechter centr. Stumpf aufsteigend konstant durchströmt. 2 Grenet, 3000 Ω N.-S.

Fig. 5. Hund, Morphinumarkose, Registrirung der Athmung durch endständige Trachealkanüle, Bert'sche Flasche und Marey'sche Kapsel. Rechter Vagus intakt; linker aufst. konstant durchströmt. 6 Grenet, 3000 Ω N.-Schl.

Fig. 6. Katze, oben Thorax-, unten Volumkurve. Linker Vagus intakt, rechter centraler Stumpf aufsteigend konstant durchströmt, 6 Grenet, 3000 Ω N.-Schl.

Fig. 7. Derselbe Strom absteigend appliziert (\downarrow).

Fig. 8. Kaninchen, beiderseits vagotomirt, rechter centraler Stumpf aufsteigend konst. durchströmt. 4 Grenet, 10000 Ω N.-Schl.

Fig. 9. Katze, Athemvolumschreiber, linker Vagus intakt, rechter centraler Stumpf aufsteigend konstant durchströmt. 4 Grenet, 5000 Ω N.-Schl.

Fig. 10. Kaninchen von 4c; gleiche Versuchsanordnung wie dort. Fig. 7 bis 10 demonstriren die entgegengesetzten Nachwirkungen.

Fig. 11a und 11b. Dasselbe, doppelt vagotomirte Kaninchen wie 4c und 10; am rechten centralen Stumpf schnell unterbrochene Kettenströme, in Fig. 11a absteigend, in Fig. 11b aufsteigend gerichtet. 6 Grenet, 5000 Ω Nebenschliessung.

- Fig. 12. Kaninchen von 4a. Centraler Stumpf des rechten Vagus mit schnell unterbrochenen Strömen gereizt, erst auf-, dann absteigend. 2 Grenet, 2000 Ω N.-S.
- Fig. 13. Anderes Kaninchen, linker Vagus intakt; centraler Stumpf des rechten mit schnell unterbrochenen Kettenströmen (60 in der Sekunde) gereizt. 6 Grenet, 2000 Ω N.-S. Volumschreiber.
- Fig. 14. Anderes Kaninchen. Volumschreiber. Beide Vagi durchschnitten. Am centralen Stumpf des rechten aufsteigend, mässig schnell unterbrochene (10 in der Sekunde) Ströme mit langer Schliessungsdauer. 6 Grenet, 2000 Ω .
- Fig. 15a und b. Anderes Kaninchen. Volumschreiber. Rechter Vagus durchschnitten, linker undurchschnitten absteigend durchströmt, in Fig. 15a konstant, 15b langsam unterbrochen. 6 Grenet, 10000 Ω Nebenschliessung.
- Fig. 15c und 16. Anderes Kaninchen. Volumschreiber. Beide Vagi intakt. Rechter in Fig. 15c absteigend langsam unterbrochen, in Fig. 16 aufsteigend konstant durchströmt. 6 Grenet, 3000 Ω N.-Schl.
- Fig. 17. Kaninchen von 15a u. b, aufsteigend langsam unterbrochene Durchströmung des intakten linken Vagus.
- Fig. 18 bis 20. Katze. Volumschreiber. Beide Vagi intakt. Fig. 18 absteigend konstante Durchströmung (2 Grenet, 3000 Ω N.-Schl.) des rechten. Hierauf Durchschneidung peripher von den Elektroden und Durchströmung des centralen Stumpfes: Fig. 19a aufsteigend konstant, Fig. 19b aufsteigend langsam unterbrochen und Fig. 19c absteigend langsam unterbrochen. Danach wird das periphere über die Elektroden herabhängende Ende in leitende Berührung mit der Wunde gebracht, welche durch einen Tropfen physiologischer Kochsalzlösung gesichert wird. Fig. 20 wieder absteigend langsam unterbrochene Durchströmung.
- Fig. 21 bis 22. Kaninchen von Fig. 4b. Oben Zwerchfell- unten Volumkurve. Sog. „Unipolare“ Reizung mit „differentere“ Elektrode. 21a und b am noch intakten rechten Vagus: 21a Kathode, 21b Anode, 22 am durchschnittenen Nerven, Anode, also aufsteigende Durchströmung des centralen Stumpfes. 2 Grenet, 2000 Ω .
- Fig. 23a. Dasselbe Kaninchen, wie 4b und 21 bis 22. Reizung des noch intakten Nerven durch die Ströme des Sinusinduktors (100 Touren).
- Fig. 23b und 24. Kaninchen von Fig. 4a. Volumschreiber. Linker Vagus intakt, am centralen Stumpf des rechten in 23b Ströme des Sinusinduktors, in 24 frequent wechselnde (60 per Sek.) Kettenströme. 2 Grenet, 2000 Ω Nebenschl.
- Fig. 25. Kaninchen. Volumschreiber. Rechter Vagus durchschnitten. Bei + wird der linke Vagus auf einen stark abgekühlten Draht (Gad'sche Thermode) gelegt.

- Fig. 26. Anderes Kaninchen. Rechter undurchschnittener Vagus liegt auf der einen, stark abgekühlten Thermode. Bei + wird der linke, gleichfalls undurchschnittene Vagus auf die andere, stark abgekühlte Thermode gelegt.
- Fig. 27. Anderes Kaninchen. Volumschreiber. Rechter Vagus abgekühlt. Bei + in *a* wird auch der linke abgekühlt. Nach einiger Zeit wird der letztere (bei *o* in *b*) von der Thermode wieder abgenommen. Dasselbe wurde 4mal mit gleichem Erfolge wiederholt.
- Eig. 28. Katze. Volumschreiber. Rechter Vagus abgekühlt. Bei + wird auch der linke auf die Thermode gelegt.
- Fig. 29. Andere Katze. Dieselbe Versuchsanordnung.
- Fig. 30*a* bis 30*c*. Hund in ganz schwacher Morphiumnarkose. Registrierung der Athmung durch Bert'sche Flasche und Marey'sche Kapsel. Linker Vagus auf Eis. Bei + in *a* wird der rechte gleichfalls auf ein Eisstück gelegt. Nach Entfernung desselben erfolgte Wiedereintritt der vorherigen Athemform (etwas gegen die Norm bei schleunigt). In *b* und *c* unten Druckkurve nach dem Bert'schen Verfahren, oben Thoraxkurve. Bei ++ in *b* wurde der rechte Vagus von neuem auf Eis gelegt, bei *o* das Eis wieder entfernt. Das gleiche Verfahren wurde noch zweimal wiederholt, zuletzt beide Vagi peripher von den Eisstücken durchschnitten. Nach einer halben Stunde Kurve *c*.

Literatur-Uebersicht 1873—1894.

1873.

- S. Arloing et L. Tripier, Contribution à la physiologie des nerfs vagues; Archives de physiol., IV, p. 411—426; 588—601; 732—742. V, p. 157—175.
- A. Genzmer, Gründe für die patholog. Lungenveränderungen nach doppelseitiger Vagusdurchschneidung; Pflüger's Arch. VIII, S. 101—121.
- P. h. Knoll, Ueber Reflexe auf die Athmung bei Zufuhr einiger flüchtiger Substanzen zu den unterhalb des Kehlkopfs gelegenen Luftwegen. Ber. der Wiener Akad., math.-naturw. Kl., 3. Abth., LXVIII, S. 245—273.

1874.

- Sigm. Mayer, Experimenteller Beitrag zur Lehre von den Athembewegungen. Ber. der Wiener Akad., math.-naturw. Kl., 3. Abth., LXIX, S. 111—122.

1875.

- J. Rosenthal, Bemerkungen über die Thätigkeit der automatischen Nervencentra, insbes. über die Athembewegungen; Gratulationsschrift für Gerlach; Erlangen, Besold, 1875.

1876.

- J. Dreschfeld, Experimental researches on the pathology of pneumonia. *Lancet* 1876, I, Nr. 2.
- O. Frey, Die pathologischen Lungenveränderungen nach Lähmung der Nervi vagi; Preisschrift (Zürich); Leipzig, Engelmann, 1876.
- L. Gerlach, Ueber die Beziehungen der Nn. vagi zu den glatten Muskel Fasern der Lunge; *Pflügers Arch.* XIII, S. 491—508.
- Th. H. Mac Gillavry, De invloed van bronchialkramp op de ademhaling; *Nederl. Tijdschr. v. Geneesk.*, 1876.
- P. Guttman, Zur Lehre von den Athembewegungen; *du Bois' Archiv* 1875, S. 500—525.

1877.

- F. Falk, Zur experimentellen Pathologie des X. Gehirnnerven; *Archiv f. exp. Path. und Pharmakol.*, VII, S. 183—192.
- François-Frank, Étude sur quelques arrêts respiratoires; apnée, phénomène de Cheyne-Stokes, arrêts réflexes d'origine cardiaque; *Journ. de l'Anat. et de la physiol.*, 1877, S. 545—570.
- H. Köhler, Ueber die Kompensation mechanischer Respirationsstörungen und die physiologische Bedeutung der Dyspnoe; *Arch. f. experim. Path. und Pharm.*, VII, S. 1—44.
- F. Lussana e F. Ciotto, Risultanze ottenute dal taglio dei due nervi vaghi in un cane sopravissuto per diciassette giorni; *Sperimentale* XL, p. 419; *Gazz. med. ital.*, 1877, giugno.
- O. Rosenbach, Studien über den N. vagus; ein Beitrag zur Lehre von den automatischen Nervencentren und den Hemmungsnerven. Berlin, Hirschwald 1877.

1878.

- R. Burkard, Studien über die automatische Thätigkeit des Athemcentrums und über die Beziehungen desselben zum N. vagus und anderen Athemnerven; *Pflügers Arch.*, XVI, S. 427—501.
- Th. H. Mac Gillavry, L'influence du spasme bronchique sur la respiration; *Arch. néerland. d. sc. ex. et nat.* XII, p. 445—456.
- P. Grützner, Ueber verschiedene Arten der Nervenregung: I. Ueber die Einwirkung von Wärme und Kälte auf Nerven, mit Kamm und Plotke; II. Ueber die Einwirkung konstanter elektrischer Ströme auf Nerven, und III. Ueber die chemische Reizung von Nerven, mit Alexander; *Pflüger's Arch.*, XVII, S. 215—254

- O. Langendorff, Der Einfluss des N. vagus und der sensibeln Nerven auf die Athmung; v. Wittich's Mittheilungen aus dem Königsb. physiolog. Labor., S. 33—67.
- Michaelson, Beiträge zur Untersuchung des Einflusses beiderseitiger Vaguslähmung auf die Lungen; *ibid.*, S. 85—119.
- O. Rosenbach, Notiz über den Einfluss der Vagusreizung auf die Athmung; Pflüger's Arch., XVI, S. 502—503.
- J. Steiner, Ueber partielle Nervendurchschneidung und die Ursachen der Lungenaffektion nach beiderseitiger Vagustrennung am Halse; du Bois' Arch., 1878, S. 218—245.

1879.

- v. Anrep, Die Ursache des Todes nach Vagusdurchschneidung bei Vögeln; Verhandl. der Würzb. med.-physik. Ges., XIV, S. 35—43.
- H. Eichhorst, Die Veränderungen der quergestreiften Muskeln bei Vögeln in Folge der Inanition; Centralbl. f. d. med. Wiss., 1879, Nr. 10.
- Derselbe, Die trophischen Beziehungen der Nn. vagi zum Herzmuskel; Berlin, Hirschwald, 1879.
- L. Fredericq, Sur la théorie de l'innervation respiratoire, Brux.; Hayez, 1879, und Bull. de l'acad. roy. de Belgique (2) XLVII, Nr. 4.
- Derselbe, Sur l'innervation respiratoire chez le poulpe, Compt. Rend., LXXXVIII, p. 346—47.
- O. Langendorff, Ueber d. Selbststeuerung der Athembewegungen; du Bois' Arch., 1879, Suppl.-Bd., S. 48—53.
- R. Zander, Folgen der Vagusdurchschneidung bei Vögeln. Preisschrift (Königsberg); Pflüger's Arch. XIX, S. 263—335.

1880.

- A. Bókai, Der N. vagus und die glatten Muskelzellen der Lunge; * Orvosi. Hetilap, Nr. 25.
- Christiani, Ueber Athmungsnerve und Athmungscentren; Verhandl. der Berl. physiolog. Ges. in du Bois' Arch., 1880, S. 295—96.
- J. Gad, Die Regulirung der normalen Athmung; du Bois' Arch., 1880, S. 1—32.
- Ph. Knoll, Ueber Myokarditis und die übrigen Folgen der Vagussektion bei Tauben; Prager Ztschr. f. Heilk., 1880, I.
- M. Marckwald und H. Kronecker, Ueber die Auslösung der Athembewegungen; Verh. der Berl. physiolog. Ges. du Bois' Arch., 1880, S. 441—446.
- J. Rosenthal, Neue Studien über Athembewegungen, 1. Die Wirkung der elektrischen Vagusreizung auf die Athembewegungen I; du Bois' Arch., 1880, Suppl.-Bd., S. 34—49.
- J. Wagner, Beiträge zur Kenntniss der respiratorischen Leistungen des N. vagus; Ber. der Wiener Akad., math.-nat. Kl., LXXX, 3. Abth., S. 177—187; Jahrb. der Gesellsch. d. Aerzte, 1880, S. 239 ff.

1881.

- A. Christiani, Ueber Athmungscentren und centripetale Athmungsnerven; Monatsberichte der Berl. Akad., 1881, S. 213—223.
- J. Gad, Ueber die Abhängigkeit der Athemanstrengung vom N. vagus; du Bois' Arch., 1881, S. 538—552.
- M. Kandarazki, Ueber den Husten nebst einigen Bemerkungen über den Einfluss des Chloroforms auf die Athmung der Thiere; Pflüger's Arch., XXVI, S. 470—479.
- J. Rosenthal, Neue Studien über Athembewegungen. 2. Ueber die Wirkung der elektr. Reizung des N. vagus II; du Bois' Arch., 1881, S. 39—60.
- N. Wedenskii, Ueber den Einfluss elektrischer Vagusreizung auf die Athembewegungen bei Säugethieren; Pflüger's Arch., XXVII, S. 1—22.

1882.

- M. Ellenberger, Die Folgen der einseitigen und doppelseitigen Lähmung des N. vagus bei Wiederkäuern; Arch. für Thierheilkunde, IX, S. 128—147.
- F. Henrijean, Sur les effets respiratoires de l'excitation du pneumogastrique; Archives de biologie, III, p. 229—234.
- Ph. Knoll, Beiträge zur Lehre von der Athmungsinervation, 1—3. Mittheilung; Ber. der Wiener Akad., math.-nat. Kl., 3. Abth., LXXXV, S. 282—306, LXXXVI, S. 48—65, 101—120.
- S. Meltzer, Geschlecht und Lungenvagus; Centralbl. f. d. med. Wiss., 1882, S. 497—98.

1883.

- L. Fredericq, Expériences sur l'innervation respiratoire; du Bois' Arch., 1883, Suppl.-Bd., S. 51—88.
- Ph. Knoll, Beiträge zur Lehre von der Athmungsinervation, 4. Mittheilung; Sitzungsber. der Wiener Akad., math.-nat. Kl., 3. Abth., LXXXVIII, S. 479—512.
- Laffont, Recherches sur l'innervation respiratoire; modifications des mouvements respiratoires sous l'influence de l'anesthésie; Comptes Rend., XCVII, S. 578—81.

1884.

- W. v. Anrep und N. Cybulski, Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Athmung u. s. w., I; Petersburg 1884.

1885.

- L. Fredericq, Excitation du pneumogastrique chez le lapin empoisonné par CO₂; Archives de biologie, V, p. 573—580.
- R. Massalongo, Contribution à l'étude expérimentale de la pneumonie et de la bronchopneumonie. Arch. de physiol. (4) II, p. 526—552.

C. S. Roy and Gr. Brown, On bronchial contraction; Journ. of physiology, VI, proceedings phys. soc., p. XXI—XXV.

1886.

Ph. Knoll, Ueber die Athmungsinervation; Verhandl. des Kongr. f. inn. Medicin, 1886, S. 210—227.

M. Marckwald, Die Athembewegungen und deren Innervation beim Kaninchen; Zeitschr. f. Biologie, XXIII, S. 149—284.

1887.

A. Loewy, Ueber das Athmungscentrum in der Medulla oblongata und die Bedingungen seiner Thätigkeit; du Bois' Arch., 1887, S. 472 (Verhandl. d. Berl. physiol. Ges.).

1888.

A. Loewy, Ueber den Tonus des Lungenvagus; Pflüger's Arch., XLII, S. 273—281.

A. Lustig, Importanza dei microorganismi nella pneumonite per vagotomia, Morgagni 1888, I, p. 392.

A. Stefani e E. Sighicelli, In qual modo il vago polmonare modifica il ritmo del respiro quando aumenta e quando diminuisce la pressione nella cavità del polmone; Sperimentale 1888, und En quelle manière etc.; Arch. italiennes de biol., XI, p. 143—163.

1889.

E. Couvreur, Influence de l'excitation du pneumogastrique sur la circulation pulmonaire de la grenouille; Comptes Rend., CIX, p. 823, Sur l'innervation vasomotrice du poumon; C. R. Soc. de biol., 1889, p. 731.

H. Head, On the regulation of respiration; Journ. of physiol., X, p. 1—70 279—290.

G. Heinrichus, Ueber die Bedeutung der Lungenvagi bei Neugeborenen; Zeitschrift für Biologie, XXVI, S. 137—185.

Laulanié, Sur les effets respiratoires et les troubles mortels amenés par les excitations centrifuges du nerf vague; C. R. Soc. de Biol., 1889, p. 94.

A. Timofeëff, Ueber chronische Veränderungen der Athmung nach Durchschneidung beider Nn. vagi; Botkin's klin. Wochenschr., 1889, Nr. 26, 27.

1890.

Arthaud et Butte, Action vasomotrice du nerf pneumogastrique sur le poumon; C. R. Soc. de Biol., 1890, p. 12.

W. Cowl, The factors of the respiratory rhythm and the regulation of respiration; New-York medical Journ., 1890, 6 sept.

J. Gad, Ueber Athemreflexe von den Hauptbronchien, nach Versuchen von Zagari; Verh. d. Berl. physiol. Ges. in du Bois' Arch. 1890, S. 588—92.

- S. J. Meltzer, On regulation of respiration; New-York medical Journ. 1890, 18. jan. Some remarks etc., *ibid.* 22. nov.
- G. Sandmann, Zur Physiologie der Bronchialmuskulatur; *du Bois' Arch.*, 1890, S. 252—59.
- Cather. Schipiloff, Recherches sur l'influence de la sensibilité générale sur quelques fonctions de l'organisme; *Arch. des sc. phys. et nat.* (3) XXIV, p. 149—175, 266—284.

1891.

- Consiglio, Sur l'excitation du moignon central du vague à la suite de l'arrachement du nerf spinal; *Archives ital. de biol.*, 1891, XVI, p. IX.
- G. Corin, Contribution à l'étude des fonctions respiratoires du nerf vague; *Bull. de l'ac. roy. de Belg.* (3) XXII, 516—520.
- W. Einthoven, Ueber die Wirkung der Bronchialmuskeln, nach einer neuen Methode untersucht, und über Asthma nervosum; *Pflüger's Arch.*, LI, S. 367—445.
- J. Lazarus, Ueber Reflexe von der Nasenschleimhaut auf die Bronchiallumina; *du Bois' Arch.*, 1891, S. 19—36.
- Fr. Spalitta, Influenza del vago e del simpatico sopra i movimenti della respirazione; *Sicilia med.*, febr. 1891; und Influence etc., *Archives ital. de biol.*, XV, p. 376—387.
- J. Zagari, Wirkung des Chloroforms u. s. w.; *du Bois' Arch.*, 1891, S. 37—53;

1892.

- Th. Beer, Ueber den Einfluss der peripheren Vagusreizung auf die Lunge. *Centralbl. f. Physiologie* V, S. 782—784; *du Bois' Arch.*, 1892, Suppl.-Bd., S. 101—216.
- M. Consiglio; Sur les fibres d'arrêt de la respiration dans le tronc du vague. *Arch. ital. de biol.*, XVII, p. 49—54.
- L. Krehl, Ueber die Folgen der Vagusdurchschneidung; *du Bois' Arch.*, 1892, Suppl.-Bd., S. 278—290.
- E. Lindhagen, Ueber den Einfluss der Ausschaltung der Nn. vagi auf die Athmung beim Kaninchen; *Skand. Arch. f. Physiol.*, IV, S. 296—330.
- S. J. Meltzer, Die athemhemmenden und -anregenden Nervenfasern innerhalb des Vagus in ihren Beziehungen zu einander und zum Athemmechanismus; *du Bois' Arch.*, 1892, S. 340—408.
- Fr. Tauszk, Ueber den Einfluss der Lungenvagusfasern auf den Mechanismus der Athmung. *Ungar. Arch. f. Med.*, I, S. 397—404.

1893.

- M. Doyon, Contribution à l'étude des effets circulatoires et respiratoires des excitations centrifuges du nerf vague. *Archives de physiol.* (5) V, p. 93.
- Herzen, Des effets de la paralysie des nerfs vagues; (*Soc. helvét.*) *Archives des sc. phys. et nat.* (3) XXX, p. 626—629.

C. Vanlair, *Survie après la section des deux nerfs vagues*; *Comptes Rend.*, CXVI, p. 330—331; *Survie après la division successive des deux vagues*; *Bullet. de l'ac. roy. de Belgique* (3) XXV, p. 240—260.

1894.

R. Arnheim, *Beiträge zur Theorie der Athmung*; *du Bois' Arch.*, 1894, S. 1 ff.

Biscons et Mouret, *Note sur les effets de l'excitation du bout central du vague après arrachement du spinal*; *C. R. Soc. de biologie*, 1894, p. 771.

F. Kauders, *Ueber den Einfluss der elektrischen Reizung der Nn. vagi auf die Athmung*; *Pflüger's Arch.* LVII, S. 333—374.

O. Langendorff und R. Oldag, *Untersuchungen über das Verhalten der die Athmung beeinflussenden Vagusfasern gegen Kettenströme*; *Pflüger's Arch.* LIX, S. 201—224.

E. Meyer, *Sur l'innervation respiratoire et l'excitation des nerfs et des muscles chez le nouveau-né*; *Archives de physiol.* (5) VI, p. 472.

F. Piccinino, *Sulla genesi della cosiddetta pneumonite del vago*; *Ann. di neurol.* XI; *Neurol. Centralbl.* XIII, S. 556.
