(Aus dem Institut für allgem. u. experim. Pathologie der Universität Wien.
Prof. Dr. Paltauf.)

Über die Bedeutung des Vagus für die Atmung.

Von

Dr. **Heinrich Wolf**, Wien.

(Mit 48 Textfiguren.)

Hering-Breuer haben im Jahre 1869 die Bedeutung des Vagus für die Atmung bewiesen. Ihren Beobachtungen konnte erst Gad im Jahre 1880 eine neue wichtige Tatsache hinzufügen, als er durch seine Versuche mit reizloser Vagusdurchschneidung zeigen konnte, dass im Vagus einatmungshemmende Erregungen zum Centrum verlaufen. Später hat dann Loewy darauf hingewiesen, dass diese Erregungen tatsächlich durch die Ausdehnung der Lunge bedingt sind, da ein einseitiger Pneumothorax und die Vagusdurchschneidung auf der anderen Seite die gleichen Folgen haben wie die beiderseitige Durchschneidung des Vagus. Weiterhin hat Lewandowsky einen deutlichen Aktionsstrom im peripheren Vagusstumpfe beobachten können, wenn er die Lunge kräftig aufblähte, während das Zusammenfallen der Lunge keinen Ausschlag am Elektrometer hervorrief. Es muss also tatsächlich eine centripetale, durch die Ausdehnung der Lunge ausgelöste Erregung im Vagus zum Centrum verlaufen.

Diese Erregung hängt jedoch nicht von der Schnelligkeit der Volumsschwankungen in der Lunge ab, sondern die Vaguswirkung ist stets der Lungenausdehnung entsprechend, wie insbesondere Head gezeigt hat.

Erwähnen will ich noch, dass Beer und Kreidl den Weg der Respirationsfasern des Vagus zum Centrum im vorobersten Bündel der Vaguswurzel nachweisen konnten.

Ausser diesen feststehenden Tatsachen gibt es noch zahlreiche Fragen auf diesem Gebiete, welche noch einem lebhaften Meinungsaustausch unterliegen. Von diesen habe ich folgende einer neuerlichen Prüfung unterzogen:

1. ob ausser den einatmungshemmenden Erregungen bei der normalen Atmung auch einatmungsauslösende im Vagus geleitet werden;
2. wie die bei den künstlichen Reizungen verwendeten Reize wirken.

Bei der Beantwortung dieser Fragen habe ich mich auf die Untersuchungen der Wirkung der Kettenströme und der faradischen Ströme beschränkt.

Versuchsordnung.

Die Versuche wurden stets nur an Kaninchen angestellt; denn nur bei diesen Tieren kann man ohne Betäubung arbeiten. Durch eine Betäubung werden aber, wie schon bekannt, die Versuchsergebnisse in sehr starkem Masse beeinflusst. Unbetäubte Kaninchen sind nach meiner Erfahrung nie so unruhig, dass diese Unruhe den Versuch stören würde. Dies kommt selbst bei starken Strömen nur selten vor, die Verwendung solcher Ströme ist aber gewöhnlich überflüssig. Eine Beeinflussung durch Vorgänge in der Umgebung habe ich nicht beobachtet.

Gewöhnlich wurde das Kaninchen nur einseitig vagotomiert und der Vagus gereizt.

Langendorf-Oldag haben das Verfahren der einseitigen Vagusdurchschneidung abgelehnt. Es hat seine Vor- und Nachteile. Es kommt bei einseitiger Durchschneidung nie zu jener starken Veränderung der Atmung, zu den schweren Störungen in der Lunge, wie sie die beiderseitige Vagusdurchschneidung im Gefolge hat. Ich habe nach doppelseitiger Durchschneidung oft schnell Lungenödem auftreten sehen, einmal ging das Tier gleich nach der Operation zugrunde. Weiterhin lassen sich manche Reizwirkungen bei der hochgradigen Verlangsamung der Atmung nicht deutlich beobachten.

Andererseits ist die Wirkung künstlicher Reize bei einseitiger Durchschneidung doch nicht ganz eindeutig, weil die künstliche Erregung mit der natürlichen interferieren könnte, was jedoch nur für gewisse Fälle (siehe unten phasische Reizung) von Bedeutung zu sein scheint.

Das Tier atmete in einen Knoll'schen Atmungskasten, der in kurzen Zwischenräumen gelüftet wurde. Der Kasten war durch einen Schlauch mit einer Marey'schen Trommel verbunden, die auf einem Hering'schen Kymographion schrieb.

In dieser Schreibung liegen freilich viele Fehler, weil sich insbesondere die dauernde Verschiebung der Atemlage nicht darstellen lässt. Eine andere Vorrichtung stand mir jedoch nicht zur Verfügung.

Versuche mit Kettenströmen.

Grützner war der erste, der den Vagus mit Kettenströmen reizte. Er beobachtete expiratorische Wirkungen bei der Schliessung des aufsteigenden und bei der Öffnung des absteigenden Stromes. Die Öffnung des aufsteigenden und die Schliessung des absteigenden Stromes beeinflusste die Atmung nicht. Bemerkenswert ist noch seine Ansicht, dass der Kettenstrom eine elektive Wirkung auf die Nerven habe, obwohl er dies nicht ausdrücklich auf den Vagus anwendet.

Langendorf-Oldag haben seine Ergebnisse für die Schliessung des aufsteigenden und Öffnung des absteigenden Stromes nicht bestätigen können.

Sie betonen insbesondere, dass gerade die Dauerdurchströmung mit dem aufsteigenden Strome im Sinne der Ausatmung wirke und nicht die Schliessung allein, ja die Stärke der Wirkung hängt vor allem von der Dauer der Durchströmung ab. Diese expiratorische Wirkung bei der Schliessung und Durchströmung mit dem aufwärts gerichteten Strome wurde allgemein bestätigt.

Nicht die gleiche Übereinstimmung herrscht jedoch in der Frage der Art und der Ursache der Wirkung beim Öffnen des absteigenden Stromes. Die Mehrzahl der Forscher zeigt, dass dabei expiratorische Wirkungen auftreten.

Boruttan sieht darin die Folge der Reizung durch den polarisatorischen Nachstrom. Lewandowsky betrachtet sie nur als eine Folge der Durchströmung, nicht als neuen Reiz.

Einzelne haben keinerlei Wirkung bei dieser Reizung beobachtet.

Bei den Versuchen mit Kettenströmen beobachteten Langendorf-Oldag im Gegensatz zu Grützner auch eine Wirkung der Öffnung des aufsteigenden und der Schliessung des absteigenden

Stromes¹⁾ und zwar beidemal im Sinne der Einatmung. Dasselbe wird auch von Boruttau angegeben. Lewandowsky führt aber die inspiratorische Wirkung der Schliessung des absteigenden Stromes auf Versuchsfehler, auf Stromschleifen zum N. phrenicus zurück; der Einfluss der Öffnung des aufsteigenden Stromes sei nach ihm nichts anderes als die Folge des Ausfalles der expiratorischen Wirkung. Vergleichend verweist er auf die Ansicht, dass die inspiratorische Wirkung des Lungenkollapses nicht durch Reizung besonderer Fasern bedingt, sondern nur eine Folge des Ausfalles einatmungshemmender Fasern des Vagus sei.

Eigene Versuche.

Ich verwendete als Reizstrom entweder einen Akkumulator von 2 Volt Spannung oder drei Leclanché-Elemente. In den Reizstrom

Fig. 1. Versuch vom 5. Dezember. Die galvan. aufsteigende Durchströmung.

war ein Stöpsel-Rheostat eingeschaltet. Mit der Schliessung dieses Stromkreises wurde auch ein zweiter geschlossen, in den eine elektromagnetische Zeichenvorrichtung eingeschaltet war. Gereizt wurde mit unpolarisierbaren Pinselelektroden, einigemal auch mit Platin-elektroden.

1) Die Durchströmung in absteigender Richtung schien schmerzhafter zu sein als die in aufsteigender.

Bei der Schliessung des aufsteigenden Stromes beobachtete ich stets eine starke Beeinflussung der Atmung im Sinne der Ausatmung. (Fig. 1.) Die Einatmung wurde sofort beim Eintritt des Stromes

Fig. 2. Versuch vom 28. November 1903. Linker Vagus durchschnitten und gereizt. Durchströmung mit Kettenstrom. Allmähliche Verstärkung der hemmenden Wirkung. Inspirator. Wirkung der Öffnung.

unterbrochen. Der Brustkorb kehrte in Ausatemungsstellung zurück, und es trat ein Stillstand in dieser Lage auf; aber die Ausatmung war bedeutend verlängert

Die Art der Stromschwankung war von gar keiner Bedeutung. Dies zeigte sich darin, dass die Atmung in gleicher Weise auch beim Einschleichen des Stromes verändert wurde (Langendorf), weiterhin aber ganz besonders in jenen Fällen, wo die Beeinflussung der Atmung im Sinne der Ausatmung immer mehr und mehr während der Durchströmung zutage trat. Die Ausatemungsstillstände wurden immer länger und länger (Fig. 1, 2).

Fig. 3. Versuch vom 27. November 1903. Durchströmung mit $\uparrow$ Kettenstrom. Exspirat. Nachwirkung (?).

Die Öffnung des aufsteigenden Stromes gab sehr häufig eine deutliche Wirkung im Sinne der Einatmung. Wurde der Strom während eines Ausatemungsstillstandes geöffnet, so trat sofort eine tiefe Einatmung auf, welche mitunter noch tiefer war als vor der Schliessung des Stromes. Dabei waren auch noch die nächsten Atmungen unter diesem Einfluss und fanden in einer deutlichen Einatemungsstellung statt (Fig. 2, 4).

Ich halte diese Erscheinung jedoch nicht für ein Zeichen einer sogenannten inspiratorischen Wirkung der Reizung, sondern sehe darin ebenso wie Lewandowsky den gleichen Vorgang wie bei der reizlosen Vagusdurchschneidung. Der Beweis für die Richtigkeit meiner Ansicht werde ich erst später geben und will hier darauf nur hinweisen. Bei der Schliessung der absteigenden Ströme sah ich im allgemeinen gar keine Wirkung. Manchmal beobachtete ich

jedoch eine Veränderung der Atmung, die man als inspiratorisch ansehen kann. Die Ausatmung war nämlich verkürzt. Dieser Einfluss dauerte jedoch nur sehr kurze Zeit und erstreckte sich nur sehr selten auf mehr als einen Atemzug.

Auffallend war mir noch, dass die Tiere bei dieser Stromrichtung häufiger Unruhe zeigten als sonst, — eine Beobachtung, die schon Langendorf gemacht hat.

Fig 4. Versuch vom 15. Dezember 1903. Durchströmung mit ↑ Kettenstrom Inspirator. Nachwirkung.

Bei der Öffnung des absteigenden Stromes beobachtete ich häufig gar keine Wirkung (Fig. 5). Häufiger aber trat eine mehr oder weniger starke Veränderung der Atmung auf, die darin bestand, dass die Ausatmung etwas verlängert, die Einatmung verkürzt war (Fig. 6, 11). Die Stärke und Dauer der Wirkung zeigte sich bis zu einem gewissen Grade abhängig von der Dauer und der Stärke der Durchströmung. Sie zeigte sich bei kurzen Reizen nur bei der nächsten Einatmung, bei längeren erstreckte sie sich über drei bis vier Atemzüge, wobei sie allmählich abnahm (Fig. 6).

Diese Beobachtung, die ja, wie oben erwähnt, nicht neu ist, scheint mir eine besondere Bedeutung insofern zu haben, dass sie uns das Wesen der Wirkung der absteigenden Ströme verstehen lässt. Der Kettenstrom bedingt im Nerven einen polarisatorischen Vorgang. Wird nun der Strom unterbrochen, so geht im Nerven nun ein Strom in entgegengesetzter, also aufsteigender Richtung, der so lange dauert, bis die Veränderungen ausgeglichen sind, also um so länger, je stärker der Reizstrom war und je länger er einwirkte.

Dieser Nachstrom bildet den neuen Reiz für den Nerven. Es kommt jedoch nicht immer zu einem Einfluss auf die Atmung, da ja das Zentrum bei verschiedenen Tieren verschieden empfindlich ist, der Nerv eine verschiedene Leitungsfähigkeit und Erregbarkeit hat.

Fig. 5. Versuch vom 29. Dezember 1903. Ein Vagus durchschnitten und gereizt Reizung mit $\uparrow$ und $\downarrow$ Kettenströmen. Öffnung des $\downarrow$ ohne Wirkung.

Fig. 6. Versuch vom 5. Dezember 1903. Durchströmung mit $\downarrow$ Kettenstrom. Abhängigkeit der Öffnungswirkung von der Dauer der Durchströmung.

Zusammenfassend muss ich sagen:

Die Durchströmung des zentralen Vagusstumpfes in aufsteigender Richtung wirkt im Sinne der Ausatmung.

Die Wirkung hängt nur ab von der Stärke des Stromes und der Dauer der Durchströmung und nicht von der Art der Stromschwankung. Diese Tatsache gewinnt ihre besondere Bedeutung mit

Rücksicht darauf, dass auch die normale Vaguserregung nur eine Dauererregung sein kann.

Die Öffnung des aufsteigenden Stromes wirkt nicht als neuer Reiz. Die scheinbare Beeinflussung im Sinne der Einatmung beruht nur auf dem Ausfall der die Einatmung hemmenden Durchströmung.

Die Schliessung des absteigenden Stromes ruft manchmal eine kurze inspiratorische Wirkung hervor, die sich nicht mehr als auf einen Atemzug erstreckt.

Die Öffnung des absteigenden Stromes wirkt je nach der Erregbarkeit des Nervensystems (Nerv oder Zentrum) gar nicht oder im Sinne der Ausatmung. Die Stärke des Einflusses auf die Atmung steht in Beziehung zur Dauer der Durchströmung und hängt wahrscheinlich mit einem polarisatorischen Vorgang zusammen.

Versuche mit unterbrochenen Kettenströmen.

Langendorf-Oldag haben zuerst die Wirkung der unterbrochenen Kettenströme auf den Vagus untersucht. Die absteigenden Kettenströme bewirken schon bei schwachen Strömen eine Verkleinerung der Atmung mit Beschleunigung, bei Erhöhung der Stromstärke eine „inspiratorische Beschleunigung bis zum inspiratorischen Stillstand“. Häufig sieht man auch eine inspiratorische Nachwirkung.

Für das Auftreten des inspiratorischen Erfolges ist die Häufigkeit der Unterbrechung ohne merklichen Einfluss, ebenso beim schnellsten Gang des unterbrechenden Motors wie bei sechs bis sieben Reizungen in der Sekunde. Es kommt auch nicht auf die Dauer der Durchströmung an, die Chloralnarkose darf aber nicht zu tief sein.

Aufsteigende unterbrochene Kettenströme wirken expiratorisch. Diese expiratorischen Erfolge sind nur dann sicher zu erreichen, wenn das Tier gut betäubt ist. Bei ungenügender Narkose verhält sich die Atmung wie bei absteigenden Strömen, und es kommt zu einem Einatmungsstillstand. Es ist dies auf eine besondere Empfindlichkeit gegen den tetanisierenden, durch Summation inspiratorisch wirksamen Reiz zurückzuführen.

Es ist aber auch bei ungenügender Betäubung möglich, expiratorische Stillstände zu erzeugen, wenn man nur die Unterbrechung gering (6—12 in der Sekunde) und die Kontaktdauer länger (mindestens 0,05 Sekunde) macht. Es reicht offenbar die Unterbrechungszahl aus, die Summation zustande kommen zu lassen. Auch sieht man nach diesen expiratorischen Wirkungen häufig inspiratorische Nachwirkungen als Zeichen, dass der Reizung neben dem hemmenden auch eine erregende Wirkung zukommt (s. u.).

Die inspiratorische Wirksamkeit der absteigenden Ströme ist immer kräftiger als die expiratorische der aufsteigenden. Das erkennt man dann, wenn man beide Vagi gleichzeitig mit einem Strom, also den einen absteigend, den anderen aufsteigend, reizt. Während der Dauerstrom immer im Sinne der Ausatmung wirkt, also expiratorischen Stillstand erzeugt, tritt bei dem unterbrochenen immer inspiratorischer Stillstand auf.

Nach Lewandowsky besteht ein Gegensatz zwischen absteigenden und aufsteigenden unterbrochenen Kettenströmen nicht.

Es wirkt der absteigende nicht immer inspiratorisch, und wählt man den Strom schwach, die Unterbrechung langsam genug, so kann man dieselbe Stufenfolge wie bei den Induktionsströmen erzielen. Dort, wo sich überhaupt nur expiratorische Erfolge zeigen, wird die Atmung ausgesprochen im Sinne der Ausatmung beeinflusst, selbst bei Anwendung schneller Unterbrechung und beliebiger Stärke des Stromes.

Lewandowsky beurteilt in zutreffender Weise die Versuche von Langendorf-Oldag bei der Besprechung der Wirkung aufsteigender Kettenströme. Langendorf-Oldag erhielten die expiratorischen Wirkungen nur bei gut betäubten Tieren. Nun ist es bekannt, dass bei einem gewissen Grade von Betäubung jeder Reiz expiratorisch wirkt. Bei nicht betäubten Tieren wirken absteigende geradeso wie aufsteigende Kettenströme, aber bei gleicher Stärke und gleicher Unterbrechungszahl wirken die absteigenden stärker inspiratorisch als die aufsteigenden. Das hängt mit der expiratorischen Wirkung der Dauerströme zusammen. Deshalb wird auch die expiratorische Wirkung befördert, wenn die Unterbrechungszahl gering, die jedesmalige Schliessungsdauer lang ist.

Die inspiratorische Wirkung der unterbrochenen Ströme ist eine Summationserscheinung, das eine Mal der Schliessungen der aufsteigenden, das andere Mal der Öffnungen der absteigenden Ströme.

Skizze I.

Lewandowsky kommt zu dem Schlusse, dass unterbrochene gleichgerichtete Ströme aufsteigender und absteigender Richtung prinzipiell nicht voneinander verschieden sind. Beide wirken nicht anders als die Wechselströme des Induktionsapparates.

Eigene Versuche.

Die Versuchsanordnung war folgende: In den primären Stromkreis eines faradischen Apparates (F) war eine elektromagnetische Zeichenvorrichtung (Z) und ein Relais (R) eingeschaltet. Mittels dieses Relais wurde ein Kettenstrom so oft geschlossen wie der primäre Strom des Induktionsapparates. Die Anzahl der Schliessungen und ihre Dauer wurde durch die Zeichenvorrichtung geschrieben. Wenn die Anzahl der Reize eine geringe sein sollte, so wurde der Neef'sche Hammer des Induktionsapparates mit der Hand bewegt. Je nach der Anzahl der Reize wurde der Gang der Trommel beschleunigt, so dass man die Anzahl der Reize bequem zählen konnte.

Der galvanische Reizstrom sowie der sekundäre des faradischen Apparates wurde in eine Pohl'sche (P) Wippe derart geschaltet, dass durch ein Umlegen des Bügels je nach dem Versuch der galvanische oder der faradische Strom zur Reizung verwendet werden konnte. Die Anzahl der Reize war natürlich gleich. (Skizze 1.)

Im primären Stromkreis des faradischen Apparates waren Akkumulatoren (4—6 Volt) eingeschaltet. Der Widerstand des

Fig. 7. Versuch vom 25. Januar 1904. Reizung mit $\uparrow$ unterbrochenen Kettenstrom. Dann Dauerreizung.

Relais und Elektromagneten betrug 7 Ohm. Der galvanische Reizstrom war der gleiche wie bei den oben angeführten Versuchen.

Aufsteigende unterbrochene Kettenströme können sowohl im Sinne der Einatmung (Fig. 7, 8) wie der Ausatmung (Fig. 9 a)

Fig. 8. Versuch vom 28. Januar 1904. Beide Vagi durchschnitten. Linker Vagus gereizt mit $\uparrow$ Kettenstrom (25 Unterbrechungen in fünf Sekunden). Inspirator. Wirkung.

Fig. 9. Versuch vom 8. Januar 1904. Linker Vagus durchschnitten. Reizung mit $\uparrow$ und $\downarrow$ unterbrochenen Kettenströmen.

wirken. Der Effekt hängt von der Anzahl der Reize in der Zeiteinheit ab, vor allem aber von der Dauer der einzelnen Durchströmungen. Dies ist in der Atemkurve (Fig. 9 b) deutlich zu sehen.

Wir sehen, dass hier die bei einer etwas längeren Dauer der Durchströmung auftretende expiratorische Wirkung in eine inspiratorische umschlägt, wenn die Stromdauer verkürzt wird.

Es genügen schon vier bis sechs Reizungen in der Sekunde, um die Einatmung zu befördern. Die Wirkung steigt mit der Anzahl der Unterbrechungen in der Zeiteinheit.

Einzelreize, d. h. kurzdauernde aufsteigende Durchströmung, sind wirkungslos (Fig. 10).

Fig. 10. Versuch vom 29. Januar 1904. Reizung mit $\uparrow$ unterbrochenem Kettenstrom und Einzelreize kurzer Dauer.

Fig. 11. Versuch vom 29. Januar 1904. Reizung mit $\downarrow$ unterbrochenem Kettenstrom, dann Dauerreizung.

Fig. 12. Versuch vom 28. Januar 1904. Reizung mit $\downarrow$ unterbrochenen Kettenströmen. 25 Reizungen in fünf Sekunden.

Für alle diese Reizungen scheint die verschiedene Erregbarkeit der Tiere von Einfluss zu sein.

Die absteigenden unterbrochenen Kettenströme wirken bei geringer Stärke einatmungshemmend (nicht regelmässig) (Fig. 9 c), schon bei mässiger Stärke tritt eine deutliche Wirkung im Sinne der Einatmung auf (Fig. 11, 12). Dies hängt hauptsächlich von der Anzahl der Reizungen in der Zeiteinheit ab, und es ist hier deutlich eine Art Latenz zu beobachten, indem sich die volle Wirkung erst nach einigen Reizen zeigt (Fig. 13).

Fig. 13. Versuch vom 29. Januar 1904. Reizung mit unterbrochenem $\downarrow$ Kettenstrom und kurzen Einzelreizen.

Deshalb wirken auch Einzelreize viel schwächer, manchmal gar nicht (Fig. 13).

Übrigens scheint auch bei dieser Reizungsart der Erfolg in hohem Grade von der Beschaffenheit des Versuchstieres, von seiner Erregbarkeit abzuhängen.

Versuche mit faradischen Strömen.

Durch Umlegen der Wippe konnte der faradische Strom zur Reizung verwendet werden. Die primäre Spirale hatte 432 Windungen, 0,9 mm dicken Drahtes, die sekundäre 6500 Windungen und bot einen Widerstand von 1000 Ohm.

Da sich die Versuchsergebnisse der verschiedenen Forscher in diesem Punkte sehr nahestehen, so will ich nur ganz kurz meine Ergebnisse anführen.

Reizung mit schwächsten Strömen (R.-A. 60—40 cm) hatte regelmässig¹⁾ eine die Einatmung hemmende Wirkung, die jedoch nur zwei bis vier Atemzüge anhält.

Wenn man die Stärke des Reizes vermehrt, so tritt eine Verkürzung der Ausatmung auf. Dabei kann die Einatmung gleichfalls verkürzt sein, so dass die Atmung um eine Mittellage herumpendelt. Dies ist gewöhnlich bei schwächeren Strömen der Fall. Je stärker der Reiz wird, desto ausgesprochener wird die Verkürzung der Ausatmung, während die Einatmung gleich bleibt oder sich vertieft. Schliesslich tritt bei weiterer Steigerung der Stromstärke Stillstand in der Einatmungslage auf.

Bei dieser Reizstärke, ich ging selten weiter als 15 cm Rollenabstand, zeigte sich manchmal aktive Ausatmung, Husten. Dabei sind gewöhnlich Unruhe und andere Schmerzäusserungen zu beobachten.

Fig. 14. Versuch v. 8. Mai 1904.
Farad. Reizung. R.-A. 15 cm.

In einigen Fällen beobachtete ich bei nicht betäubten Tieren, wie ich besonders betonen möchte, nach ganz kurzer Atmung in Einatmungslage Übergang in Ausatmungsstellung. Diese inspiratorische Anfangswirkung war manchmal nur angedeutet oder fehlte ganz (Fig. 14).

Der Einfluss der Reizung auf die Atmung ist auch von der Dauer des Reizes abhängig. Wie ich schon oben erwähnt habe, dauert die expiratorische Wirkung schwächster Ströme nur kurze Zeit. Wird bei stärkeren Strömen die Ausatmung verkürzt, so sieht man bei längerer Reizung, dass sie sich wieder vertieft, bis schliesslich die frühere Atemgrösse wieder erreicht wird.

1) Ich möchte hier betonen, dass die Behauptung von Kauders, dass man den Erfolg der Vagusreizung nicht voraussagen könne, nicht zu Recht besteht. Kauders machte seine Versuche, die ihn zu diesem Schlusse führten, an Hunden, die er mit verschiedenen Mitteln betäubt hatte. Aus den Versuchen über die Wirkung der Betäubungsmittel ist ersichtlich, dass diese je nach der Empfindlichkeit des Tieres für das Gift, die Atmung und die Reizwirkung in verschiedener Richtung und in hohem Grade beeinflussen können. Die Verschiedenheit seiner Ergebnisse ist also durchaus nicht massgebend für die Art der Reizwirkung.

Bei Atemstillstand in Einatmungslage treten nach einer gewissen Zeit, die von der Stärke des Reizes abhängt, kleine Atmungen auf, die sich allmählich gegen die Ausatmung hin vertiefen.

Es kann sich aber auch die ganze Atemlage im Sinne der Ausatmung verschieben. Setzt man die Reizung aus, wenn die Atmung ungefähr die Grösse erreicht hat, die sie vor der Reizung hatte, und reizt nach einigen Sekunden wieder, so ist die Wirkung trotz dem gleichen Reize eine viel schwächere als beim ersten (Fig. 15). Wird aber nach einer längeren Pause gereizt, so ist die Wirkung wieder die gleiche wie das erste Mal. Es liegt nahe, dies auf eine Ermüdung des Zentrums zurückzuführen. Es wäre jedoch auch möglich, dass durch die lange Atempause Dyspnoë entsteht, bei welcher bekanntlich Atemstillstand schwer zu erreichen ist. Die letztere Erklärung scheint aber nicht sehr wahrscheinlich, weil ja am Ende der Reizung die Atmung ziemlich tief war.

Fig. 15. Versuch vom 23. November. Beide Vagi durchschnitten. Reizung rechts. Farad. Reizung, R.-A. 35, andauernd. Abschwächung der Wirkung, Ermüdung des Zentrums.

Reizung beider Vagi.

Solche Versuche wurden mit faradischen Strömen von Birukoff angestellt.

Schon Knoll hatte gefunden, dass die oben erwähnte hemmende Wirkung schwächster Ströme sich manchmal nicht von beiden Vagi hervorrufen lasse, sondern einer wirkt hemmend, der andere erregend. Das wird von Birukoff bestätigt. Wenn dieser Forscher aber beide Vagi gleichzeitig reizte, so überwog immer die Einatmung erregende Wirkung. Er nimmt dies als Beweis dafür an, dass es nur einerlei Fasern gibt, aber zweierlei Zentren. Das eine wirkt bei schwachen Strömen hemmend; durch stärkere wird es gelähmt und verliert seine Einwirkung auf das Inspirationszentrum, das nun seine volle Wirksamkeit entfaltet.

Ich habe bei meinen Versuchen die Anordnung so getroffen, dass ich die Vagi gleichzeitig mit einem Strome, also den einen aufsteigend, den anderen absteigend, reizte oder jeden Vagus besonders gleichzeitig mit derselben Reizstärke.

Ich konnte bei meinen Versuchen einen Unterschied gegen die Ergebnisse bei der Reizung eines Vagus allein nur in dem Sinne finden, dass die Wirkung stärker war bei doppelseitiger Reizung. Ich kann weiter die Versuchsergebnisse von Birukoff bestätigen, dass stets die inspiratorische Wirkung für den Erfolg massgebend ist.

Ebensowenig konnte ich einen besonderen wesentlichen Unterschied feststellen, wenn ich den Vagus auf die eine Elektrode legte, die andere mit dem Körper in Verbindung brachte. Die Ergebnisse waren nicht streng gleichartig. Gewöhnlich war die Wirkung schwächer, als wenn beide Elektroden am Vagus lagen. Der Unterschied war ein quantitativer.

Einfluss der Richtung des Stromes.

Wenn ich beide Vagi mit einem Strom reizte, so lag es in der Versuchsanordnung, dass die Nerven in verschiedener Richtung durchströmt wurden. Ich habe dann im Anschluss daran die Bedeutung der Richtung der faradischen Ströme untersucht.

Dass die Richtung des faradischen Stromes für die Reizwirkung von Bedeutung ist, haben schon Hering, Knoll, Engelmann (mit dem Polyrheotom) als allgemein gültig nachgewiesen.

Der faradische Strom ist ein Wechselstrom. Schliessungs- und Öffnungsströme haben verschiedene Richtung. Nach dem Gesetze

von Lenz hat der Schliessungsstrom die entgegengesetzte wie der primäre; der Öffnungsstrom ist mit diesem gleich gerichtet. Das Auftreten des Extrastromes hat zur Folge, dass der Öffnungsstrom stärker ist als der Schliessungsstrom. Die Öffnungsströme sind des-

Skizze 2.

halb schon bei geringerem Rollenabstand wirksam. Die Richtung des Öffnungsstromes ist daher bei den schwächsten faradischen Strömen die Richtung des Reizstromes.

Da mir ein Differentialrheotom nicht zur Verfügung stand, stellte ich mir eine einfache Vorrichtung her zur Abblendung der Schliessungsschläge, um auch mit dem Öffnungsstrom allein reizen zu können.

Die Vorrichtung (Zeichnung 4) bestand aus einem doppelarmigen Hebel aus Messing, der auf der einen Seite ein Eisenstück trug, gerade über einem isolierten Elektromagneten; auf der anderen Seite war eine Spiralfeder. An beiden Enden des Hebels waren Metallstifte befestigt, die in Quecksilbernäpfchen eintauchen konnten, wenn der Hebel nach einer Seite gesenkt wurde.

Der primäre Strom eines Induktionsapparates, der von einem Akkumulator geliefert wurde, ging durch den Elektromagneten dieser Vorrichtung (Skizze 2). Wenn der primäre Strom geschlossen wurde, wurde der Hebel an den Elektromagneten angezogen, und das Stäbchen tauchte in das Quecksilbernäpfchen. Es bestand also in dieser Stellung eine Leitung, und diese Leitung wurde in den sekundären Stromkreis eines Induktionsapparates eingeschaltet. Wenn der primäre Strom geöffnet wurde, so fand der Öffnungsinduktionsstrom noch seinen Weg durch die obige Leitung, weil diese nicht sofort unterbrochen wird.

Im Augenblicke der Schliessung des Stromes ist die Leitung noch unterbrochen, und so kann der Schliessungsstrom nicht zur Wirkung gelangen. Die Anzahl der Öffnungsschläge ist also die gleiche wie beim Wechselstrom, bei den gleichen Verhältnissen am Induktorium. Die Richtung der Öffnungsströme wurde dann durch Vergleich mit Kettenströmen mittelst Galvanometers bestimmt.

Durch Schaltung auf die andere Seite des Hebels konnte man lediglich die Schliessungsinduktionsströme verwenden.

Die Versuchsanordnung war derart, dass ich unmittelbar nacheinander mit auf- oder absteigenden Öffnungs- und Wechselströmen reizen konnte. Die Wendung wurde durch eine in den primären Stromkreis eingeschaltete Vorrichtung bewirkt.

Die Zeichenvorrichtung war so eingeschaltet, dass bei Öffnungsströmen ein anderes Zeichen gemacht wurde ( ) als bei Wechselströmen ( ) .

Die Versuchsergebnisse waren folgende: Öffnungsströme unterscheiden sich von den Wechselströmen nur durch eine schwächere

Wirkung. Die Art der Wirkung ist gleich. Unter sonst gleichen Umständen haben die Öffnungsströme die gleiche Wirkung wie Wechselströme bei etwas grösserem Rollenabstand (Fig. 16). Sie erzeugen Hemmung der Einatmung, während die Wechselströme

schon im Sinne der Einatmung wirken. Das scheint ein Widerspruch mit der Behauptung zu sein, dass bei den schwächsten Strömen ohnedies nur die Öffnungsströme wirksam sind. Es wäre aber doch möglich, dass die Schliessungsströme unter diesen Verhältnissen auch in Wirksamkeit treten. Wahrscheinlich ist es, dass durch die Versuchsanordnung die Stärke des Stromes beeinflusst wird. Leider stand mir keine bessere Vorrichtung

Fig. 16. Versuch vom 6. Mai 1903. Farad. Reizung.

Fig. 17. Versuch vom 29. Januar 1904. Farad. Einzelreize. R.-A. 13.

zur Verfügung, um mir über diesen Punkt Klarheit zu verschaffen.

Ich habe diese Versuchsanordnung getroffen, um über den Einfluss der Richtung Klarheit zu gewinnen. Es zeigte sich nun, dass in den meisten Fällen (nicht immer) die absteigenden Ströme wirksamer waren als die aufsteigenden. Dies ist bei den Öffnungsschlägen allein ebenso wie bei den Wechselströmen.

Diese Tatsache gewinnt ihr besonderes Interesse dadurch, dass auch die absteigenden unterbrochenen Kettenströme stärker im Sinne der Einatmung wirken als die aufsteigenden. Die Reihenfolge der Reizung ist ohne Einfluss auf den Erfolg.

Fig. 18. Versuch vom 25. Januar 1904. Farad. Einzelreize. R.-A. 25.

Fig. 19. Versuch vom 25. Januar 1904. Farad. Reizung. R.-A. 20. Verschiedene Reizfrequenz.

Gerade so wie bei den unterbrochenen Kettenströmen ist auch bei den faradischen die Anzahl der Einzelreize von Bedeutung.

Einzelreize sind wirksam, wenn sie stark genug sind, und zwar sieht man stets nur eine Veränderung der Atmung im Sinne der Einatmung (Fig. 17, 18). Die Grösse der Veränderung steht im geraden Verhältnis zur Stärke des Stromes.

Wird der Vagus einigemal hintereinander mit Einzelschlägen gereizt, so steht die Wirkung ebenfalls im geraden Verhältnis zur Stärke der Einzelreize und der Anzahl in der Zeiteinheit (Fig. 19). So wird durch Vermehrung der Reize bei gleichem Rollenabstand statt einer Verkürzung der Ausatmung ein Stillstand in Einatmungslage erzeugt (Fig. 19).

Fig. 20. Versuch vom 28. Januar 1904. Farad. Reize. R.-A. 10. Verschiedene Reizfrequenz.

Bei starken Strömen, welche bei geringer Anzahl der Unterbrechungen eine stark verkleinerte Atmung in Einatmungsstellung erzeugen, tritt bei Vermehrung der Reize ein Stillstand in Ausatmungsstellung auf (Fig. 20).

Wie bei den unterbrochenen Kettenströmen sieht man auch hier, dass sich bei schwachen und mittelstarken Strömen die Wirkung allmählich verstärkt (Fig. 19).

Die Anzahl der Atemzüge wird von den Reizen aller Art in verschiedener Weise beeinflusst. Als Regel lässt sich nur angeben, dass mittelstarke Reize die Atmung beschleunigen, während schwache durch ihre einatmungshemmende, die starken durch ihren Einatmungsstillstand bedingende Wirkung die Atemzahl verringern.

Zusammenfassung.

Faradische Ströme wirken bei sehr geringer Stärke im Sinne der Ausatmung, bei Verstärkung im Sinne der Einatmung; die

stärksten wirken wieder im Sinne der Ausatmung. Einzelreize wirken nur quantitativ verschieden von den häufiger in der Zeiteinheit angewendeten, und zwar wirkt die Reizung um so stärker, je mehr Reize in der Zeiteinheit durch den Nerven geschickt werden. Bei schwachen, langsam aufeinanderfolgenden Reizen ist eine Art Latenz zu beobachten.

Die absteigenden Öffnungsschläge wirken in gleicher Weise, aber stärker als die aufsteigenden.

Durch andauernde Reizung wird das Zentrum ermüdet und braucht dann ein gewisse Zeit zur Erholung.

Doppelseitige Reizung wirkt nur quantitativ verschieden von der einseitigen.

Vergleicht man die Wirkung der unterbrochenen Kettenströme und der faradischen, so ist, wie schon Lewandowsky erwähnt hat, ein wesentlicher Unterschied zwischen diesen Reizungsarten nicht zu beobachten. Bemerkenswert ist nur, dass die faradischen Einzelreize schon bei mässiger Stärke stets wirksam sind, während die kurzen Reize mit aufsteigendem Kettenstrom gewöhnlich gar nicht, die mit absteigendem nur wenig wirksam sind.

Gleichzeitige Reizung mit faradischen und galvanischen Strömen.

Ich habe die Veränderungen der Atmung studiert, welche auftraten, wenn der eine Vagus mit aufsteigenden Kettenströmen, der andere mit faradischen gereizt wurde.

Wenn der faradische allein im Sinne der Ausatmung wirkte, so wurde durch gleichzeitige Reizung mit galvanischem Strome diese Wirkung erhöht, ob man nun zuerst mit dem faradischen oder galvanischen reizte (Fig. 21, 22).

Wurde die Atmung durch den faradischen Strom im Sinne der Einatmung beeinflusst, so überwog stets diese Wirkung (Fig. 23).

Wird während der faradischen Reizung der galvanische Reizstrom geschlossen, so sieht man deutlich eine Veränderung der Atmung im Sinne der Ausatmung, die sich aber trotz der Fortdauer beider Reize wieder verliert, so dass nur die Wirkung des faradischen Stromes zu sehen ist (Fig. 24).

Versuche dieser Art sind bisher noch nicht angestellt worden. Langendorf-Oldag haben jedoch bei ihren Untersuchungen mit der Wirkung unterbrochener Kettenströme Beobachtungen gemacht,

Fig. 21. Versuch vom 3. Dezember 1903. Rechte Vagusreizung farad. R.-A. 25. Bei. + zugleich linker Vagus galv. (4000 Ohm W.), dann beide Vagi galv. (4000 Ohm W.)

die ich hier deshalb erwähne, weil sich ihre Ergebnisse mit den eben angeführten von mir decken, und weil sie für meine Auffassung des Wesens der künstlichen Vagusreizung von Bedeutung sind.

Ich habe ihre Versuche schon erwähnt. Auch diese Autoren betonen das Überwiegen der inspiratorischen Wirkung, wenn sie beide Vagi gleichzeitig, den einen absteigend, den anderen aufsteigend, mit unterbrochenen Kettenströmen reizen.

Auch die schon erwähnten Befunde von Birukoff gehören hierher. Wenn ein Nerv bei entsprechender Stromstärke des faradischen Stromes inspiratorische und der andere ex-

Fig. 22. Versuch vom 5. Dezember 1903. Reizung mit ↑ Kettenstrom links, dann gleichzeitig farad. Strom, R.-A. 35, rechts.

Fig. 23. Reizung mit $\uparrow$ Kettenstrom links, farad. rechts, von *I-II* galvan. Durchströmung, von *a-b* und *c-d* farad. Reizung. R.-A. 30.

spiratorische Wirkung erzeugt, so treten bei beiderseitiger, gleichzeitiger Reizung nur spiratorische Wirkungen auf, beide gleichzeitig gereizt inspiratorische Wirkung.

Man hat vielfach versucht, durch verschiedene Annahmen das Wesen der verschiedenen Wirkung der faradischen und galvanischen Ströme zu erklären.

Ich will auf diese Ansichten erst später eingehen und hier nur jene Versuche mitteilen, von denen ich eine Aufklärung für diese Frage erwartete.

Wir haben gesehen, wie der scheinbar fundamentale Gegensatz der galvanischen und faradischen Ströme verschwindet, wenn man die galvanischen Reize entsprechend häufig in der Zeiteinheit einwirken lässt und wir erkennen, dass der scheinbar qualitative Unterschied sich in einen quantitativen verwandelt, wenn wir nur den galvanischen Strom entsprechend kurze Zeit und als Einzelreize wirken lassen.

Um diesen Unterschied zwischen der Wirkung der Einzelreize aufzuklären, habe ich folgende Versuche angestellt.

Der galvanische Strom unterscheidet sich bekanntlich vom faradischen dadurch, dass er bei seiner üblichen Anwendung eine längere Dauer hat, dass seine Spannung geringer ist. Seine Stromstärke ist grösser, und er ist immer gleich gerichtet.

Ich habe insbesondere die Bedeutung der Spannung des Stromes für die Reizwirkung in Betracht gezogen,

Die Spannung des induzierten Stromes ist abhängig von der Anzahl der Kraftlinien, welche die Windungen der sekundären Rolle

Fig. 24. Versuch vom 13. November 1903. Beide Vagi durchschnitten. Linker Vagus farad. und rechter galv. gereizt. Von *a—b* farad., von *c—d* galv. Expirator. Wirkung im Anfang der Durchströmung.

in der Zeiteinheit schneiden. Sie hängt daher unter sonst gleichen Umständen von der Schnelligkeit des Stromschlusses und der Stromöffnung und insbesondere von der Anzahl der Windungen ab.

Diese letztere Bedingung ist auch die, welche am leichtesten eine Änderung gestattet. Ich liess mir daher eine sekundäre Rolle von 100 Windungen 0,9 mm dicken Kupferdrahtes anfertigen.

Der in dieser Spule entstehende Strom sollte eine verminderte Spannung, aber eine vermehrte Intensität haben.

Ich untersuchte die Spannung mit einem Quadrantenelektrometer und fand, dass tatsächlich die Spannung eine bedeutend geringere war, wobei ich auch diesmal die Beobachtung machen konnte, dass Ströme physiologisch wirksam sind, die viel zu schwach sind, um mit dem Quadrantenelektrometer gemessen zu werden.

Ich konnte dann weiterhin bei meinen Versuchen sehen, dass diese zweite Spule erst dann eine Reizwirkung hatte, wenn sie viel näher an die erste herangerückt wurde, und zwar war das Verhältnis der physiologisch wirksamen Ströme zu den am Quadranten noch ablesbaren bei beiden Spulen ungefähr gleich.

Es scheint also tatsächlich die Spannung für die Wirkung der Ströme von Bedeutung zu sein, und es wäre damit meine Vermutung bestätigt, dass der Unterschied zwischen der Wirkung der faradischen und galvanischen Einzelreize in der grösseren Spannung der faradischen liege.

Ich habe weiterhin die Stromstärke der in diesen Spulen induzierten Ströme gemessen.

Gegen meine Erwartung fand ich, dass auch die gemessene Stromstärke der Spule mit wenig Windungen geringer war als bei der anderen.

Die Erklärung liegt wohl in dem verhältnismässig zu grossen Widerstand in der Messvorrichtung. Das Elektrometer hatte ungefähr 200 Ohm Widerstand; die eine Spule hatte 1000 Ohm, die andere unter 1 Ohm Widerstand.

Während der Widerstand in dem einen Stromkreis nur ungefähr 4mal so gross war als im anderen, war die Spannung 65mal so gross. Dies scheint mir den unerwarteten Befund am Elektrometer zu erklären.

Bei der Reizung mit der Spule (II) habe ich bei entsprechender Annäherung stets die gleichen Ergebnisse erhalten wie mit Spule (I).

Ich bin mir wohl bewusst, dass diese Versuche nur mangelhaft, nicht einwandsfrei sind. Da mir Vorrichtungen zur Verwendung von Kondensatorentladungen nicht zur Verfügung standen, so verwendete ich eine Holtz'sche Influenzmaschine, um auf diese Weise Ströme von hoher Spannung zu gewinnen.

Da aber diese Versuche, sollten sie nur einigermaßen exakt ausfallen, ausserordentlich umständlich sind, da ich vor allem im Sinne hatte, mir darüber klar zu werden, wie der Vagus auf das

Zeichnung A.

Zentrum wirke, und nicht, warum er so wirke, so habe ich diese für die allgemeine Nervenphysiologie sehr wichtigen Untersuchungen vorläufig aufgegeben.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, dem Vorstand des physikalischen Universitätsinstituts Herrn Hofrat Dr. V. v. Lang für die

freundliche Erlaubnis zu danken, diese Messversuche in seinem Institut machen zu dürfen; dem Assistenten Herrn Prof. Dr. Lampa danke ich für seine liebenswürdige Unterstützung bei diesen Untersuchungen.

Ich gehe nun zu einem sehr wichtigen und interessanten Teil meiner Untersuchungen über, zu den Versuchen über die phasische Reizung der Vagi.

Diese Versuchsanordnung wurde zuerst von Wedensky getroffen. Er reizte den Vagus mit Induktionsströmen, was ich besonders betonen möchte. Er stellte den Versuch in der Art an, dass er den Reizstrom in der Einatmung oder Ausatmung allein wirken liess, wobei die Schliessung und Öffnung des Stromes mit der Hand ausgeführt wurde. Er kam zu folgenden Ergebnissen:

A. Bei der Reizung während der Einatmung:

1. Die schwächsten wirksamen Ströme verringern die Tiefe der beginnenden, manchmal auch der folgenden Inspiration. Die Expiration ist ungeändert. Die Nachwirkung ist bei längerer Reizung stärker durch Summation mehrerer aufeinanderfolgender Reizungen.

2. Stärkere Ströme wirken auf die Ein- und Ausatmung. Letztere ist manchmal stärker verkürzt als die Einatmung. (Von Änderung der Atmungsfrequenz sagt er nichts.)

B. Reizung während der Ausatmung.

Die wirksamen Ströme sind stärker als bei der Einatmung. Die erste Wirkung ist eine Verkleinerung der Ausatmung, dann der nächsten Einatmung bei verlangsamter Atmung. Desgleichen ist der Ablauf der Ausatmung verlangsamt.

In ähnlicher Weise wie die flüchtige wirkt die dauernde Reizung. Die Abkürzung der Ausatmung ist manchmal sehr stark, so dass man schon von einer künstlichen Einatmung sprechen kann. Eine Nachwirkung lässt sich ebenfalls beobachten.

Die flüchtige Reizung der Vagi kann also je nach der Atmungsphase die Kraft zur Einatmung beeinträchtigen oder begünstigen.

Da die Wirkung vom Zeitpunkt des Reizes abhängt, kann sie nicht vom Nerven, sondern nur vom Zentrum abhängen. Wedensky zieht hier die Untersuchungen von Bubnoff-Heidenhain herbei, welche zeigten, dass die Erregbarkeit der motorischen Rindenfelder, wenn sie in Tätigkeit sind, durch Hautreize herabgesetzt wird, und dass die Erregbarkeit während der Ruhe durch dieselben Reize erhöht wird.

In gleicher Weise wechseln bei der Atmung Tätigkeit und Untätigkeit der Zentren ab, da ja die Ausatmung passiv vor sich geht, und so muss während der Tätigkeit des Zentrums die Wirkung der Vagusreizung periodisch ihren Sinn ändern.

Bei jeder Phase ruft die Erregung des Vagus eine Gegenwirkung hervor. Je stärker die Gegenwirkung, desto kürzer die Phase, desto beschleunigter die Atmung. Dieselbe Reizung setzt während der Einatmung die Erregbarkeit des Zentrums herab, steigert sie in der Ausatmung. Die hemmende Wirkung tritt früher auf als die steigernde. Langendorf-Oldag, Boruttau, Lewandowsky haben die Angaben Wedensky's nachgeprüft, konnten sie aber nicht bestätigen. Eine ausführliche Bearbeitung dieser Frage habe ich jedoch nirgends gefunden. Es werden nur die negativen Ergebnisse berichtet.

Lewandowsky hat jedoch in der Verfolgung dieser Frage eine besondere Versuchsanordnung getroffen, durch die er die Ein- bzw. Ausatmung bedeutend verlängerte, und konnte unter diesen Umständen eine refraktäre Phase und eine auffällige Verschiedenheit der Wirkung des Reizes in der Ein- und Ausatmung finden.

Lewandowsky nimmt ein Zentrum für die Hemmung der Einatmung, das wie die Vagi wirkt, in den hinteren Vierhügeln an. Werden diese von der Medulla (mit dem Atemzentrum) abgetrennt, die Vagi durchschnitten, so kommt es zu einer Atmung mit sehr langen inspiratorischen, aber auch expiratorischen Pausen. Bei Reizen mit schwachen Strömen in der expiratorischen Pause kann, wenn am Beginn der Ausatmungspause gereizt wurde, keine oder nur kurze Zusammenziehung des Zwerchfells hervorgerufen werden. Die Einatmung wird um so stärker, je weiter man gegen Ende der Ausatmungspause kommt. Diese künstlich herbeigeführte Einatmung dauert nie so lange wie eine auf automatischem Wege entstandene. Steigert man den Strom, so werden die inspiratorischen Wirkungen geringer.

Es kann also im Beginn der Ausatmung ein schwacher Strom eine Einatmung herbeiführen, ein starker gar nicht, ganz starke im Sinne der Ausatmung wirken.

Unterbricht man den Reiz noch während der Einatmung, so bleibt diese bestehen, so dass kein Unterschied gegen die Atmung vorher war; dauert der Reiz an, so kommt es zu einer Ausatmung.

Wird beim Übergang zur Ausatmung unterbrochen, so tritt gewöhnlich ein längerer Einatmungsstillstand auf.

Wird während der Einatmung gereizt, so gelingt es, diese zu hemmen. Die Latenzzeit sinkt mit dem Fortschreiten der Einatmung und mit der Stärke des Reizes. Die stärksten Reize rufen sofort eine Hemmung hervor. Lewandowsky führt diese grossen Latenzzeiten — bis zu $2\frac{1}{4}$ Sekunden — auf Vorgänge im Zentrum zurück. Die verschiedene Dauer der Latenz erklärt er damit, dass der Reiz erst im Sinne der Einatmung wirkt und dann erst hemmend wie bei der Ausatmung, oder dass das inspiratorisch tätige Atemzentrum der künstlichen Hemmung einen gewissen Widerstand entgegengesetzt, der mit der Dauer der Einatmung abnimmt. Lewandowsky kommt zum Schlusse, dass die inspiratorische Wirkung gleichstarker Reize mit der Zeit wächst, welche seit der Beendigung der letzten Einatmung bis zum Augenblicke des Reizes verflossen ist, anderseits, dass die Latenzzeit von gleichstarken während der Einatmung angebrachten, die Einatmung hemmenden Reizen sinkt mit der Zeit, die seit Beginn der Einatmung bis zum Augenblicke des Reizes verflossen ist, dass die inspiratorische Energie des Zentrums während der Ausatmung zunimmt und während der Einatmung abnimmt.

Ich bin so ausführlich auf die Versuche Lewandowsky's eingegangen, wiewohl ich in meinen eigenen Untersuchungen nur an nicht betäubten Tieren arbeitete, deren Vagus ein- oder beiderseitig durchschnitten war. Ich hatte nicht die Absicht, an Tieren zu arbeiten, die vorher einem so schweren Eingriff, wie es die „Isolierung des Atemzentrums“ ist, unterworfen wurden. Meine Versuche haben demgemäss nur einzelne Berührungspunkte mit denen von Lewandowsky.

Ich habe diesen Teil der Versuche anfangs auf Anregung und gemeinsam mit dem Herrn Dozenten Dr. H. Winterberg angestellt, der aber später aus äusseren Gründen von der weiteren Durchführung der Versuche abstand.

Ich stellte mir eine Vorrichtung her, die es ermöglichte, den Vagus phasisch, und zwar automatisch und stets in der gleichen Höhe der Atmung zu reizen.

Die Vorrichtung besteht, wie das Bild (Zeichnung *B*) zeigt, aus einer Marey'schen Trommel (*T*), die mit einem zweiarmligen Hebel aus Magnalium (*M*) verbunden ist. Auf beiden Seiten des Hebels ist seitwärts ein metallisches Stäbchen eingefügt, das in den Ausschnitt

eines zweiarmigen Hebels (*H*) aus Hartgummi eingreift. Dieser Hebel dreht sich mit Reibung auf derselben Axe wie der Metallhebel

und wird bei der Bewegung desselben mitgenommen, ohne von selbst in seine frühere Stellung zurückkehren zu können. In dem unteren

Zahn des Ausschnittes des Hartgummihebels ist beiderseits ein Platinstab (P) eingefügt, auf den bei der Abwärtsbewegung des Metall-

Fig. 25. Versuch vom 11. November 1903. Galv. Reizung beider Vagi während der Einatmung. [a — b Dauerreizung

hebels der seitliche metallische Ansatz desselben zu liegen kommt, und der so eine Leitung herstellt. Die Platinstäbe tauchen nun je nach der Phase der Atmung auf der einen oder der anderen Seite in ein Quecksilbernäpfchen (Q) und bilden so eine geschlossene Leitung. Im Augenblicke, wenn die betreffende Atemphase beendet ist, schnellt durch die Elastizität der Trommelfolien der Metallhebel in die Höhe und hebt sich von dem Platinstab ab. Die Leitung ist unterbrochen, trotzdem der Platinstab noch ins Quecksilber eintaucht.

In diese Leitung ist ein Relais eingeschaltet und eine elektromagnetische Zeichenvorrichtung. Ist die Leitung geschlossen, so wird mit Hilfe des Relais der Reizstrom ebenfalls geschlossen (Skizze 2).

So kann der Strom nur während der Ein- oder Ausatmung einwirken. Die Dauer des Reizes kann man durch Heben bzw. Senken

des Quecksilbernäpfchens nach Belieben verändern. Da der Reizstrom durch den Relais geschlossen wird, so kann man ihn beliebig wählen.

Die Marey'sche Trommel der Vorrichtung war mit dem Knoll'schen Atmungskasten verbunden, so dass die Reizung durch die eigenen Atembewegungen des Tieres herbeigeführt wurde.

Versuche mit phasischer Reizung durch galvanische Ströme.

Reizung während der Einatmung.

Wird die Vorrichtung so geschaltet, dass gegen Ende der Einatmung und zwar nur während derselben eine Reizung des Vagus stattfindet, so sieht man, dass bei Verwendung aufsteigender Ströme eine Hemmung der Einatmung auftritt. Die folgende Ausatmung ist aber ebenfalls bedeutend verkürzt (Fig. 25, 26, 27, 28). Dies tritt ganz besonders in jenen Fällen hervor, wo nach doppelseitiger Vagusdurchschneidung eine sehr verlangsamte Atmung mit stark verlängerter, saccadierter Ausatmung (Langendorf) auftritt (Fig. 29, 30). Dabei ist die Ausatmung nicht vertieft, sondern die höchsten Erhebungen der Kurve liegen gewöhnlich in derselben Höhe wie vor der Reizung. Bei reizbaren Tieren kommt es manchmal zu einer beschleunigten verkleinerten Atmung in der Mittellage. Die Einatmung allein ist bei jedem Atemzuge abgeflacht, bleibt dann während der Reizung gewöhnlich in der gleichen Lage.

Durch die bedeutende Verkürzung der Ein- und Ausatmung wird die Atmung sehr erheblich beschleunigt. Sie ist dabei vollständig regelmässig, wielange auch die phasische Reizung fortgesetzt wird.

Die Verkleinerung der Atmung kann selbst mehr als die Hälfte der früheren betragen. Die Beschleunigung ist oft ganz ausserordentlich, z. B. von vier Atmungen in fünf Sekunden auf neun in der gleichen Zeit¹⁾.

Wird die phasische Reizung ausgesetzt, so ist schon die nächste Einatmung mehr oder weniger vertieft. Einen Einatmungsstillstand habe ich nie beobachtet. Die nächste Ausatmung ist wieder verlängert. Es zeigt sich aber ganz deutlich eine Nachwirkung der

Ähnliche Kurven hat einigemal auch Langendorf bei der Reizung mit aufsteigenden, unterbrochenen Kettenströmen erhalten. Er konnte diese Erscheinung nicht willkürlich hervorrufen und hat auch keinerlei Schlüsse daraus gezogen.

Fig. 26. Versuch vom 26. Oktober 1903. Galvan. Reizung beider Vagi während der Einatmung. Stromrichtung aufsteigend.

Fig. 27. Versuch vom 13. Februar 1904. Reizung beider Vagi mit aufsteigendem galvan. Strom während der Einatmung.

Fig. 28. Versuch vom 11. November 1903. Reizung beider Vagi mit galvan. aufsteigendem Strom. *a*—*b* Dauerreiz. Dann Reizung nur während der Einatmung.

Fig. 29. Versuch vom 11. Februar 1904. Reizung beider Vagi während der Einatmung. (Saccadiertes Atmen.)

Fig. 30 a. Versuch vom 11. Februar 1904.⁷ Reizung beider Vagi während der Einatmung (4000 Ohm W.) (Saccadiertes Amen.

Fig. 30 b. Bei a Dauerreizung mit gleicher Stromstärke.

Durchströmung, indem die Atmung gewöhnlich erst nach einigen Atemzügen die Form annimmt, die sie vor der Reizung hatte.

Man kann diese Beobachtungen in dem Satze zusammenfassen, dass die Unterbrechung der phasischen Reizung wie die reizlose Vagusdurchschneidung wirkt.

Diese Tatsachen sind ein strenger Beweis dafür, dass die Öffnung des aufsteigenden Stromes nicht, wie Langendorf-Oldag es meinen, eine inspiratorische Reizwirkung hat, denn es vertieft sich nicht die Einatmung im Anschluss an die Öffnung des Stromes, sondern erst die nächste Einatmung. Man müsste daher eine sehr lange Latenz des Reizes annehmen, die bei der dauernden Reizung niemals beobachtet wurde.

Ich erwähne, dass diese Erscheinungen in gleicher Weise bei einseitiger Vagusdurchschneidung zu beobachten sind wie bei doppelseitiger. Es ist jedoch vorteilhafter, beiderseits den Vagus zu durchschneiden und beiderseits zu reizen, weil hier die Atmung stärker verlangsamt und die Wirkung ganz besonders auffallend ist. Der Unterschied ist nur ein quantitativer.

Um aber sicher diese Beeinflussung der Atmung beobachten zu können, muss man sich streng an gewisse Bedingungen halten.

1. Der Reizstrom muss so stark sein, dass er bei Dauerreizung deutliche, die Einatmung hemmende Wirkungen hervorruft.

Auf diese Bedingung muss ich ganz besonders hinweisen. Es kommt bei der Reizung mit galvanischen Strömen manchmal vor, dass durch irgend welchen Umstand bedingt eine deutliche expiratorische Wirkung nicht auftritt. Es kann z. B. der Widerstand der Elektroden für das Element zu gross sein, so dass die Stärke des aufsteigenden Stromes zu gering ist. Dann tritt die eben geschilderte Veränderung der Vagusatmung gar nicht auf, oder es zeigt sich eine Beeinflussung der Atmung im Sinne der Einatmung, wie ich es einmal gesehen habe.

2. Der Strom darf nicht so lange einwirken und nicht so stark sein, dass die Nachwirkung eine zu starke ist. Es kann dann bei der inspiratorischen Reizung zu einer Verlängerung der nächsten Ausatmung kommen.

3. Am schönsten sieht man die Wirkung, wenn beide Vagi durchschnitten sind, so dass die Atmung sehr stark verlangsamt ist, und wenn dann beide Vagi mit aufsteigenden Strömen gleichzeitig gereizt werden.

Wenn man den Vagus oder beide inspiratorisch mit absteigenden Strömen reizt, so ist die Erscheinung der Verkürzung der Ein- und Ausatmung in ganz anderer Form vorhanden, wenn ein Einfluss überhaupt zu sehen ist. Die Atmung ist nämlich im Sinne der Einatmung verschoben. Das zeigt sich in jenen Fällen deutlich, wo die Schliessung des absteigenden Stromes eine deutliche Wirkung im Sinne der Einatmung zeigt.

Reizung während der Ausatmung.

Wird die Vorrichtung so geschaltet, dass der Vagus nur während der Ausatmung gereizt wird, so sieht man, dass die Ausatmung stark verlängert ist. Der Grund liegt offenbar in folgendem Umstand. Der Kettenstrom beeinflusst die Atmung im Sinne der Ausatmung. Da die Reizung automatisch ausgeführt wird und von der Länge der Ausatmung abhängt, so wird dadurch die Dauer der Reizung verlängert, und es treten die Wirkungen auf, die bei der Dauerreizung zu sehen sind.

Wird durch entsprechende Stellung des Hartgummihebels eine lange Dauer der Reizung verhindert, so sieht man Wirkungen, ähnlich denen bei der Reizung während der Einatmung.

Man muss eben bedenken, dass die Reizung mit Kettenströmen eine Veränderung des Nerven erzeugt, die länger andauert, als die Reizung besteht, weiterhin ist auch zu berücksichtigen, dass ganz kurz dauernde Kettenströme, auch wenn sie aufsteigend sind, in einem geringen Grade erregend wirken.

Jedenfalls aber haben Ströme, die man während der Einatmung einwirken lässt, bei gleich langer Dauer eine ganz andere Wirkung auf die Atmung als die während der Ausatmung.

Meine Versuche geben mir nicht das Recht zu behaupten, dass ein besonderer Unterschied zwischen der Reizung während der Ein- oder Ausatmung statthat.

Ich habe aber mit meinen Versuchen gezeigt, dass ein während der Einatmung am Vagus angebrachter phasischer Reiz, der bei Dauerreizung Ausatemungsstillstand erzeugt, also hemmend wirkt, die Atmung, selbst wenn sie ausserordentlich verlangsamt ist, so in der Lage und Atmungszahl beeinflusst, dass sie den Eindruck einer normalen Atmung macht.

Ich habe weiter gezeigt, dass das Aussetzen des Reizes im gleichen Sinne wirkt wie die reizlose Vagusdurchschneidung.

Dadurch ist meines Erachtens der Ring geschlossen, der den Beweis für die Art der Wirkung des Vagus auf die normale Atmung bildet.

Gad hat durch seine Versuche mit der reizlosen Vagusdurchschneidung bewiesen, dass im Vagus Erregungen verlaufen, welche die Einatmung hemmen. Lewandowsky hat durch die Untersuchung des Aktionsstromes bewiesen, dass diese Erregung höchstwahrscheinlich nur während der Einatmung zum Zentrum geht. Ich habe durch meine ebengeschilderten Versuche gezeigt, dass man durch einen hemmenden Reizstrom, den man während der Einatmung wirken lässt, die durch die doppelseitige Vagotomie hochgradig veränderte Atmung so verwandeln kann, dass sie der normalen Atmung sowohl

Fig. 31. Versuch vom 26. Oktober 1903. Reizung mit $\uparrow$ galvan. Strom während der Ausatmung, die Reizdauer wechselnd.

in bezug auf die Lage wie die Häufigkeit vollkommen ähnlich ist, und dass das Aussetzen dieser Erregung wie eine neuerliche reizlose Durchschneidung wirkt.

Von verschiedenen Forschern wurden auch Versuche über den Einfluss der mechanischen, thermischen und chemischen Reizung angestellt.

Es liegt nicht im Plane meiner Arbeit, mich damit zu beschäftigen, und ich möchte nur auf die Befunde hinweisen, die ich nebenher gemacht habe.

Ich habe in meinen Versuchen immer so operiert, dass ich den Vagus, ohne ihn zu berühren, freilegte und auf einen Faden legte, den Faden knüpfte.

Ich habe dabei am häufigsten inspiratorische (Fig. 32) Wirkungen gesehen, seltener sah ich die reinen Ausfallerscheinungen, noch seltener expiratorische Beeinflussung der Atmung (Fig. 35).

Ganz die gleichen Befunde hatte auch Gad und sagt deshalb: „Das Ergebnis der Durchschneidung lässt sich nicht voraussagen. Ich schliesse mich auch Knoll an, der behauptet, dass der primäre Effekt der Durchschneidung inspiratorisch sei.“

Boruttau sah die inspiratorischen Wirkungen nur bei schneller Durchschneidung, nicht bei der Durchschnürung des vorher durch-

Fig. 32 a. Versuch vom 13. Februar 1904. Galvan. Reizung während der Ausatmung. Von $a \rightarrow b$ Dauerreizung

Fig. 32 b. Versuch vom 13. Februar 1904. Galvan. Reizung beider Vagi während der Ausatmung.

schnittenen Nerven oder bei Zerrung, Quetschung, gewaltsamem Herausholen des Vagus. Das alles deutet darauf hin, dass bei seinen Versuchen ein anderer Umstand mitgespielt hat, der, wie ich mich überzeugt habe, schwer zu verhüten ist, nämlich die Wirkung des Heraushebens des Nerven.

Schon Knoll hat gezeigt, dass das Herausheben des Nerven aus der Wunde stark expiratorisch wirken kann. Ich kann dies vollständig bestätigen, wenn es auch nicht bei jedem Tier und in

gleicher Stärke zu sehen ist. Dass es sich hier um einen chemischen Reiz handelt, beweist wohl die lange Dauer der Wirkung, die im übrigen manchmal ganz der mit sehr schwachen faradischen oder den galvanischen Strömen gleicht.

Einfluss der Narkose.

Die Versuche, über die ich bisher berichtet habe, waren an nicht betäubten Tieren angestellt. Ich will nun zeigen, dass diese Versuchsanordnung notwendig war, weil sich die Ergebnisse bei demselben Tier und derselben Reizstärke mit der Narkose ändern. Lewandowsky spricht es geradezu aus, dass die Narkose die Reizergebnisse auf den Kopf stellt.

Gad, Knoll, Kanders, Boruttau u. a. sahen bei Vergiftung mit Chloralhydrat nur inspirationshemmende Wirkung. Aber schon Wagner konnte bei kleinen Dosen die Atmung nur inspiratorisch beeinflussen, während grosse Dosen expiratorisch wirkten. Ähnlich sind die Befunde bei Frédericque und Lewandowsky. Der letztere erklärt die inspiratorische Chloralwirkung mit dem erregenden Einfluss kleiner Chloraldosen, aber er sah bei mitteltiefer Narkose durch starke Ströme inspiratorischen Stillstand und ebensolche Nachwirkung auftreten. Trieb er die Narkose noch weiter, so hörten alle inspiratorischen Wirkungen auf und verwandelten sich in expiratorische. Interessant ist es, dass in jenen Fällen, bei welchen anfangs nur ein Vagus durchschnitten und die Narkose so tief

Fig. 33. Reizung während der Ausatmung. Reizdauer durch Stellung des Hebels nur ganz kurz möglich.

war, dass sich nur expiratorische Wirkungen zeigten, neuerlich inspiratorische auftraten, wenn der zweite durchschnitten wurde. Es mussten neue Dosen gegeben werden, um sie wieder zum Verschwinden zu bringen. „Wir können eben,“ sagt er, „bei unseren Reizversuchen des Vagus keine reine Reizung des Atemzentrums ausführen. Es handelt sich immer um Interferenzversuche, durch welche wir die Erregung der zentralen Atemzellen steigern und vermindern können.“

Fig. 34. Versuch vom 26. Februar 1904.
Vagusdurchschneidung.

Auch Langendorf kennt den Einfluss des Grades der Narkose; denn er konnte die inspiratorische Wirkung der $\uparrow$ unterbrochenen Kettenströme nur dann erhalten, wenn das Tier nicht zu tief narkotisiert war.

Ich will mich vorläufig auf meine Versuche, die mit Chloralhydrat angestellt wurden, beschränken. Ich verwendete es

in wässriger 10 %iger Lösung, die intravenös eingespritzt wurde.

Ich begann mit der Dosis von 0,02 g. Es zeigte sich vor allem ein grosser Unterschied, je nachdem die Vagi unversehrt oder durchschnitten waren.

Bei erhaltenen Vagus beschleunigte sich einige Sekunden nach der Einspritzung die Atmung, die Lage verschob sich gegen die Einatmungsstellung, oft zeigten sich sogar Einatmungsstillstände.

Mit der Steigerung der Dosis wurde die inspiratorische Wirkung allmählich schwächer, bis dem Tier 0,06—0,1 g eingespritzt worden

Fig. 35. Versuch vom 28. Dezember 1903. Vagusdurchschneidung.

war. Ging ich weiter mit Einspritzung, so trat nur am Beginn eine kurzdauernde inspiratorische Wirkung ein, um dann in eine expiratorische überzugehen, bis schliesslich weitere Dosen einen Stillstand in Ausatemungsstellung erzeugten, der mehr oder weniger lange dauerte. Die Atmung, die nach einer solchen Einspritzung auftritt, ist verlangsamt, die Ausatmung ist verlängert, die Einatmung abgeflacht.

Ist aber die Vagotomie doppelseitig gemacht worden, dann traten die starken inspiratorischen Wirkungen bei schwachen Gaben überhaupt nicht ein, die Atmung verändert sich nicht. Bei stärkeren Dosen tritt häufig nach kurzer inspiratorischer eine expiratorische Wirkung auf, bei noch grösseren nur eine expiratorische.

Der Vergleich beider scheint darauf hinzudeuten, dass die primäre inspiratorische Wirkung durch die Herzäste des Vagus vermittelt werde. Um dies festzustellen, wurde einem Kaninchen von 900 g, dessen Vagi unberührt waren, 0,02 Chloral intravenös eingespritzt. Es zeigte sich eine deutliche, starke Beeinflussung im Sinne der Einatmung. Nun wurden 2 mg Atropin intravenös gegeben. Eine neuerliche Einspritzung von 0,02 Chloral wirkte in gleicher Weise wie vor der Atropineinspritzung, ja selbst nach einer zweiten Dosis von 2 mg Atropin. Es scheinen also die Herzäste des Vagus mit den eben erwähnten Veränderungen der Atmung nicht in Beziehung zu stehen. Dafür spricht auch die oft längere Latenz der Wirkung.

Dagegen ist man berechtigt anzunehmen, dass diese einatmungserregende Wirkung auf unmittelbare Reizung der Lungenäste des Vagus zu beziehen ist. Es gibt verschiedene Forscher, welche behaupten, dass die Narkotika die Vagusäste in der Lunge erregen.

Head (Journ. of physiol. vol. 10 pag. 27) behauptet auf Grund seiner Versuche das Gegenteil, d. h. dass die Endigungen des Vagus in der Lunge durch Äther oder Chloroform gelähmt bzw. betäubt werden. „If the lungs of a normal animal are inflated with either chloroform or ether vapour an expiratory pause is produced as usual. But this pause is rapidly broken by a strong and long inspiration resembling that seen when the vagi are divided. Although the lungs remain dilated the muscular steps of the diaphragm trace curves closely resembling those seen after dividing the vagi. As soon as the trachea is opened the breathing gradually reassumes the normal type. It would seem from this experiment that the

chloroform or ether vapour tended rather to paralyse than to stimulate the ends of the vagi in the lungs."

Es ist jedoch nicht immer möglich, diesen Erfolg zu erreichen.

Der Atropinversuch zeigt, dass diese Erscheinung durch Reizung der Lungenäste und nicht der Herzäste des Vagus bedingt ist. Die Möglichkeit, durch aufeinanderfolgende Einspritzungen von Chloral immer wieder eine Wirkung im Sinne der Einatmung zu bekommen, spricht wohl entschieden dafür, dass die Lungenäste nicht gelähmt sind. Aber selbst die Tatsache, dass durch grosse Gaben schliesslich nur die Einatmung gehemmt, Ausatmungsstillstand erzeugt wird, spricht wohl

Fig. 36 a. Reizung vor der Einspritzung.

Fig. 36 b. Wirkung der Einspritzung.

Fig. 36 c. Reizung drei Minuten nach der Einspritzung.

Fig. 36 d. Reizung 10 Minuten nach der Einspritzung. Linker Vagus durchschnitten.

Fig. 36 a—d. Farad. Reizung, R.-A. 30, 35 vor und nach Chloral einspritzung 0,02 g, Reflexe sehr lebhaft.

auch nicht für eine Lähmung der Lungenäste, sondern nur für eine Veränderung des Zentrums. Es ist wahrscheinlich, dass das Chloral bei Einspritzung in die Vene an die Vagi gerade so erregend wirkt wie ein faradischer Strom.

Wird der Vagus eines einseitig oder beiderseitig operierten Tieres, das nur 0,02 Chloral bekommen hat, mit faradischen Strömen gereizt, so sieht man, dass die Reizschwelle um 10—15 cm sinkt, dass Ströme, die vorher gar nicht wirksam waren, stark expiratorisch wirken, dass Ströme, die vorher expiratorisch die Atmung beein-

flussten, nun stark inspiratorisch wirken, und Reize, die früher nur eine Beschleunigung und Verkleinerung der Atmung bewirkten, Stillstand in Einatmungslage erzeugen. Kurz, man sieht eine be-

deutend erhöhte Wirkung im Sinne der erhöhten Erregbarkeit. (Fig. 36—38.)

Wird die Chloralgabe erhöht, so ändert sich das Bild. Die inspiratorischen Wirkungen treten zurück, die schwachen Ströme verlieren ihre Wirksamkeit, und eine Beeinflussung im Sinne der Ausatmung tritt auf.

Es kommt nun zu einem Zwischenstadium, in dem mittelstarke Ströme

Fig. 37. Versuch vom 19. Dezember 1903.
Chloral 0,05. Farad. Reizung, R.-A. 35.

noch inspiratorisch wirken, starke aber nur expiratorisch (Fig. 39), bis schliesslich Ströme jeder Art nur expiratorische Effekte erzeugen.

Fig. 38. Versuch vom 19. Dezember 1903. Im ganzen Chloral 0,05 + 0,05.
10 Minuten nach Fig. 37.

Ich habe somit gezeigt, dass man gesetzmässig inspiratorische Wirkungen in expiratorische umwandeln kann und umgekehrt. Besser ist es vielleicht zu sagen, dass sich die ganze Stufenleiter der Wirkungen im Sinne der erhöhten Erregbarkeit verschiebt. Auf

die Bedeutung des oben erwähnten Zwischenstadiums werde ich noch später hinweisen.

Das alles spricht deutlich für die vorwiegende, wenn nicht alleinige Bedeutung des Zentrums für die Erfolge der Vagusreizung. Schon Wagner und andere halten dies für wahrscheinlicher als eine Wirkung auf die peripheren Nerven.

Aus all dem ist ersichtlich, dass es nicht angeht, ohne Berücksichtigung dieser Ergebnisse aus den Versuchen an betäubten Tieren Schlüsse auf die Art der Vaguswirkung für die Atmung zu ziehen.

Wenn ich nun am Schlusse meiner Versuche auf jene Punkte zurückkomme, deren Klärung noch aussteht, so möchte ich glauben, auf die Frage: Wie wirken die verschiedenen Reize auf den Vagus? eine befriedigende Antwort geben zu können. Ich habe, wieschon andere vor mir, wiederum gezeigt, dass zahlreiche Umstände auf die Wirkung von Einfluss sind, so dass diese manchmal scheinbar regellos zutage treten. Es ist jedoch sicher, dass wir diese Umstände zum Teil so gut kennen, dass wir den Erfolg eines Reizes mit grosser Sicherheit voraussagen können.

Wenn wir die mannigfachen Ergebnisse dieser Versuche überblicken, so müssen wir uns vor allem zwei Fragen stellen: Wie müssen wir uns das Wesen der künstlichen Vagusreizung denken,

Fig. 39. Versuch vom 8. Januar 1904. Im ganzen 0,12 g Chloral, inspirator. Wirkung bei R.-A. 25 und 20, expirator. bei R.-A. 15 (paradoxes Stadium).

um diese verschiedenen Beobachtungen unter einem Gesichtspunkte zusammenfassen zu können? und weiter: Wie verhält sich die normale Vaguserrregung zur künstlichen?

Man kann beinahe sagen, dass es so viele Theorien über das Wesen der künstlichen Vagusreizung gibt, als sich Forscher damit beschäftigt haben; aber keiner ist es bisher gelungen, sich allgemeine Anerkennung zu gewinnen, und es blieb auch für jede ein unverständlicher Rest. Ich will hier nur auf einige eingehen.

Boruttau sieht in den Erscheinungen den Ausdruck der Tatsache, dass Stromstöße inspiratorisch, dauernde Durchströmung bei aufsteigender Richtung expiratorisch wirke.

Es stellte sich auch heraus, dass die Wirkung stets von der Kathode ausgeht; daher ist „nur die eine Deutung möglich, dass die während der ganzen Dauer der Durchströmung von der Kathode ausgehenden Wirkungen es sind, welche, bis zum Zentralorgan 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, d. h. die beim Entstehen des Katelektrotonus auftretende katelektrotonische Welle oder ‚Negativitätswelle‘ wirkt inspiratorisch, der während der Dauer der Durchströmung sich extrapolar ausbreitende ‚katelektrotonische Strom‘ expiratorisch.“

Die unterbrochenen absteigenden Ströme wirken ebenso wie die Schliessung des absteigenden Stromes im Sinne der Einatmung, weil sich die Negativitätswelle schneller fortpflanzt, also gewissermassen unter der Anode durchgeht.

Lewandowsky lehnt Boruttau's Auffassung ab, weil ja dadurch die Erklärung hinausgeschoben werde. Die normale Atemerrregung ist ein Tetanus, zu dem mindestens 20 Erregungen in der Sekunde nötig sind. Wenn man die natürliche Erregung künstlich nachahmen will, so muss man eine Reihe von Erregungen zuführen. Der aufsteigende konstante Strom erzeugt jedoch einen gleichmässig ablaufenden Vorgang, der, wie wir uns vorstellen können, den Ablauf der natürlichen Erregung schwächen oder hindern kann.

Die einatmungserrregende Wirkung der faradischen Ströme ist also eine Summationserscheinung, die hemmende des konstanten eine Interferenzerscheinung.

Dass schwache faradische Ströme ebenfalls hemmend wirken, ist für ihn kein Widerspruch. Die Theorie von Birukoff habe ich

schon erwähnt. Er nimmt ein besonderes Zentrum für die Ein- und Ausatmung an.

Die Annahme zweierlei Fasern, welche die Atmung im Sinne der Einbeziehungsweise der Ausatmung beeinflussen, wurde bis in die neueste Zeit allgemein abgelehnt.

Ich will auf diese Frage nicht weiter eingehen, muss jedoch eine Arbeit besprechen, welche diese Ansicht wieder, wenn auch in einer eingeschränkten Form, ausspricht und zu stützen versucht.

In der letzten Zeit hat nämlich Schenk (Pflüger's Archiv Bd. 100 S. 337. 1903) die Annahme von in- und expiratorischen Fasern neuerlich zu vertreten gesucht.

Er fasst seine Meinung in folgenden Sätzen zusammen:

„Bei der gewöhnlichen Expiration werden nicht nur inspiratorisch wirksame Lungenfasern nicht erregt, sondern es hört noch nicht einmal die Erregung der expiratorisch wirksamen ganz auf.“

„Es gibt inspiratorisch wirksame Lungenvagusfasern, die allerdings erst bei starkem Lungenkollaps erregt werden.“

Auf die erste Behauptung will ich hier nicht eingehen, weil sie sich wenigstens in ihren Grundlagen, auf die sie sich stützt, mit den Ansichten anderer in Übereinstimmung bringen lässt.

Die zweite halte ich für unrichtig, weil die Versuche, auf welche sie begründet ist, sich weit besser anders verstehen lassen. Schenk saugt die Luft aus den Lungen eines Kaninchens an und zwingt das Tier, in dieser Ausatemungslage zu atmen. Wird in dieser Atemlage der Vagus reizlos ausgeschaltet (nach Gad oder nach Schenk), so vertieft sich die Expiration, d. h. es wurden inspiratorische Fasern im Vagus ausgeschaltet, die normalerweise nur bei tiefer Expiration in Tätigkeit treten.

Ein Blick auf die Kurve, die Berücksichtigung des Atmungsmechanismus, und der bekannte Einfluss der Vagusausschaltung lehrt uns, dass seine Schlüsse nicht berechtigt sind. Wir sehen sofort nach der Ausschaltung der Vagi eine stark verlängerte und vertiefte Atmung eintreten. Durch die Absperrung der Luft wird die Ausdehnung des Thorax ausserordentlich erschwert, der negative Druck im Thorax erhöht. Wenn der Vagus ausgeschaltet wird, steigt nach Gad die Erregbarkeit des Zentrums, aber es wird auch leichter erschöpft (Lewandowsky). Wir sehen also in diesem Falle die Inspiration verlängert. Infolge der vermehrten Arbeit wird das Zentrum erschöpft, und unter dem Einfluss der vergrösserten Druck-

differenz zwischen Aussenluft und Brustraum sinkt der Thorax tiefer ein als vorher. Dazu kommt noch, dass es infolge der Erschöpfung des Atemzentrums länger dauert, bevor dieses wieder so weit erregbar ist, um die hier nötige, d. h. vermehrte Arbeit der Inspiration zu leisten.

Zu einem Schluss auf inspiratorische Fasern sind wir keineswegs berechtigt.

Lewandowsky macht gegen die Auffassung von Boruttau den treffenden Einwand geltend, dass dadurch die Erklärung nur hinausgeschoben werde. Übrigens ist es gewiss nicht ohne weiteres gestattet anzunehmen, dass die expiratorische Wirkung schwächster faradischer Ströme deshalb in Erscheinung trete, weil die Momentanreize (Reizwellen) und Dauerreize (Elektrotonus) miteinander konkurrieren, und dass bei den stärkeren die Reizwellen, bei den schwachen die letzteren überwiegen.

Lewandowsky selbst sucht die hemmende Wirkung schwächster faradischer Ströme gar nicht zu erklären. Er scheint aber auch die Bedeutung der Summation für die Erregung der Einatmung zu verkennen, wenn er die Versuche von Markwald heranzieht. Denn dann wären ja die inspiratorischen Wirkungen der Einzelschläge nicht zu verstehen.

Ich kann mich auch nicht mit seiner Annahme befreunden, dass die faradischen Ströme die inspiratorische Energie des Zentrums vermehren. Diese Vorstellung ist offenbar identisch mit der, welche schon S. Mayer hatte, als er die Annahme machte, dass zwischen dem Atemzentrum und dem peripherischen gefässbewegenden Apparat ein Zentrum eingeschaltet sei, das die vom Atemzentrum ausgehenden Impulse sammle.

Bethe, der sich dieser Annahme ebenfalls anschliesst, nennt sie die Anfüllungshypothese.

Klarer wird die Vorstellung durch diese Annahme nicht.

Was die Zweifasertheorie anbelangt, so glaube ich, dass sie durch die Versuchsergebnisse völlig widerlegt ist. Das gleiche gilt wohl für die Annahme, welche einen wesentlichen Unterschied zwischen den die Einatmung hemmenden und auslösenden Vorgängen annimmt. Wie wäre denn z. B. zu erklären, dass wie in Fig. 20 durch eine Beschleunigung der Reizfolge die inspiratorische Wirkung der faradischen Reize in eine expiratorische verwandelt wird, trotzdem die Reizstärke die gleiche ist?

Wenn ich nun zu meiner eigenen Annahme¹⁾ übergehe, so bin ich mir hier dessen wohl bewusst, dass das, was ich behaupte, nur eine Hilfsvorstellung ist, ein Versuch, die Erscheinungen bei der künstlichen Vagusreizung untereinander und mit der normalen Vaguserregung in Beziehung bringen zu können, ein Versuch, für den ich mich deshalb entschieden habe, weil er mit den geringsten Mitteln und im Einklang mit anderen anerkannten Annahmen möglichst viele Tatsachen unter einem Gesichtspunkt verstehen lässt.

Das Atemzentrum, also jener Ort des Zentralnervensystems, von dem aus die rhythmischen Anregungen zur Atemmuskulatur ausgehen, steht unter dem Einfluss zweier Erregungen, die sich gegenseitig beeinflussen. Das ist die durch die Blutbeschaffenheit bedingte Atmungs-erregung und die durch die Lungenausdehnung oder durch künstliche Reize bedingte Vaguserregung.

Ich sage nun, dass jede durch den Vagus fortgeleitete Erregung der durch den Blutreiz erzeugten hemmend entgegenwirkt. Das Ergebnis muss nun selbstverständlich ein verschiedenes sein, je nach Art und Stärke der Reize. Wird im Vagus nur eine schwache Erregung gesetzt, so ist sie nur imstande, die durch den Blutreiz ausgelöste zu schwächen oder zu hemmen. Es wird dann z. B. beim Kaninchen der Brustkorb infolge der elastischen Kräfte zur Ruhelage, das ist die Ausatmungslage, zurückkehren und darin verharren. Wir sagen dann: „Die Einatmung ist gehemmt.“ Wird der Vagusreiz aber gesteigert, so hebt er zwar ebenfalls die vom Blutreiz bedingte Erregung auf, aber die im Vagus fortgeleitete ist nun so stark, dass sie für das Atemzentrum einen neuen wirksamen Reiz darstellt, der vielleicht infolge der spezifischen Energie und der dem Zentrum innewohnenden Möglichkeit in eine rhythmische Erregung der Muskeln umgesetzt wird. Darin liegt der Kern meiner Auffassung, wodurch ich mich in meiner Ansicht von den anderen unterscheide. Lewandowsky hat die inspiratorische Wirkung der faradischen Ströme zu erklären versucht durch den Hinweis auf die von Markwald gefundene Tatsache, dass die Bewegung des Zwerchfells nicht eine einfache Zuckung darstellt, sondern dass ungefähr zwanzig

1) Ich sage absichtlich Annahme, nicht so sehr aus Gründen der Sprachreinigung, die ja in der Medizin Boden genug fände, sondern um dem in der neuesten Zeit wieder mächtig aufgehenden Streite über das Wesen und den Unterschied der Begriffe, Hypothese — Theorie, auszuweichen.

Erregungen in der Sekunde vom Atemzentrum zum Zwerchfell gehen. Daher müssten die Einzelschläge wirkungslos sein.

Nach meiner Auffassung entscheidet nur die Stärke des Stromes, die ein Vordringen zum Atemzentrum ermöglicht. Auch Einzelschläge sind wirksam, wenn sie stark genug sind, schwache Ströme nur dann, wenn sie sich summieren, d. h. wenn die Ströme so schnell aufeinanderfolgen, dass der dem ersten folgende Reiz die gesetzten Veränderungen nur vergrössert u. s. w. So habe ich auch tatsächlich gefunden, dass die eine einatmungs-auslösende Anzahl der Einzelschläge um so grösser sein muss, je schwächer der Strom ist. Ich brauche darauf nicht näher einzugehen, denn das Gesetz der Summation ist eine Annahme, die durch die verschiedensten Versuche auf allen Gebieten als berechtigt erwiesen wurde.

Die Summation der Reize ist also nicht in der Richtung wirksam, dass dem Atemzentrum mehr Reize in der Zeiteinheit zugeführt werden, sondern sie ermöglicht nur ein Vordringen schwacher Reize zum Zentrum. Der erste Teil meiner Annahme enthält nichts grundsätzlich Neues. Er lehnt sich an die Theorie der Hemmung an, wie sie von der Goltz'schen Schule vertreten wird. Reflexe werden gehemmt, wenn gleichzeitig mit dem ersten Reiz auf anderen Bahnen ein zweiter Reiz in das Zentrum einbricht. Ich erinnere diesbezüglich an das Beispiel, welches Goltz¹⁾ in seiner Arbeit: „Der Hund ohne Grosshirn“, erwähnt. „Fasst man den Hund am Vorderkörper und lässt seine Hinterbeine frei herabhängen, so machen diese in ähnlicher Weise Hebungen und Senkungen wie bei einem Hunde mit durchschnittenem Rückenmark. Durch leisen Druck auf den Schwanz kann man diese rhythmischen Bewegungen der Hinterbeine hemmen.“

Kohnstamm, der dieser Annahme zustimmt, schlägt eine andere „weniger präjudizierende“ Fassung vor. „Der energetische Wert der Glieder einer Erregungskette wird durch irgendeine anderweitige im Nervensystem neu auftretende Erregungskette im allgemeinen herabgesetzt.“²⁾

Dass diese Vorstellung tatsächlich auch für den Menschen zutrifft, scheint mir die bekannte Erscheinung zu beweisen, dass man durch starken Druck auf die Gegend des Foramen incisivum den

1) Goltz, Hund ohne Grosshirn. Pflüger's Arch. Bd. 51 S. 57. 1892.

2) Kohnstamm, Annalen für Naturphilosophie Bd. 2 S. 439.

Niesreflex hemmen kann. Hierbei ist zu bedenken, dass ja ein Ast des Trigeminus durch das Foramen auf den harten Gaumen übergeht.

Es ist nicht meine Absicht, auf die Theorie der Reflexe einzugehen. Ich kann jedoch nicht umhin, darauf hinzuweisen, dass die Theorie, nach welcher eine Hemmung in der Innervation der Antagonisten besteht [siehe z. B. Schlösser¹⁾], die gewiss in vielen Fällen richtig ist, für die Atmung nicht zutrifft.

Es ist bei der Form der Ausatmung, bei der sogenannten Einatmungshemmung und der Einatmungsauslösung nicht möglich, an eine Erregung der Antagonisten zu denken. Ich will aber deshalb keineswegs behaupten, dass diese Annahme auch im allgemeinen falsch sei. Im Gegenteil.

Meines Erachtens liegt der Grund der verschiedenen Auffassung über das Wesen der Hemmung in dem zu weiten Umfang dieses Begriffes. Hemmung heisst nichts anderes, als dass aus irgendeinem Grunde etwas nicht geschieht, was ohne diesen geschehen wäre.

Wie aber ein Hebel in Ruhe bleiben kann, indem man die Achse feststellt, oder beiderseits ein gleiches Gewicht anbringt, oder an derselben Seite nach oben wie nach unten gleich stark zieht, so kann auch im organischen Leben ein Vorgang gehemmt werden, indem man die Erregung aufhebt oder auch die Antagonisten erregt. Die zweite Möglichkeit ist durch zahlreiche Beobachtungen und Versuche erwiesen. Für die erste sprechen wohl zahlreiche Gründe, und sie ist für unsere Frage wohl allein denkbar. Wir müssen wohl annehmen, dass das Wesen der Atmungshemmung in einer Aufhebung der Wirksamkeit des Blutreizes auf das Atemzentrum darstellt.

Es liegt nun die Frage nahe, wie denn überhaupt der Vorgang der Hemmung vorzustellen sei.

Cyon hat nach Analogie physikalischer Vorgänge eine echte Interferenz angenommen und zahlreiche Zustimmung erfahren. Für die vorliegende Frage nimmt auch Lewandowsky diese Vorstellung als zutreffend an.

Es bestehen jedoch mannigfache Bedenken gegen diese Auffassung. So sagt Wedensky: „Wenn man mit dem Worte Interferenz auch nur annähernd eine von den Physikern übernommene Vorstellung verbindet, so lässt sich der hemmende Effekt keineswegs auf diese Weise erklären. Das Herz z. B. kann durch Reize von

1) Schlösser, Du Bois' Arch. 1880 S. 303.

verschiedenem Rhythmus und verschiedener Intensität zum Stillstand gebracht werden. Es ist unmöglich anzunehmen, dass hierbei die vom N. vagus zugeleiteten Erregungswellen sich immer derartig mit den im Herzen entstehenden kombinieren, dass ihr Effekt stets eine dauernde und absolute Null ist. Um aber die Hemmungseffekte auf diesem Wege zu erklären, erfordert dies ja gerade der Begriff der Hemmung.“

Dieser Einwand gilt wohl auch für die Frage der Hemmung der Einatmung.

Gerade in diesem Falle aber könnte die Interferenzhypothese eine Stütze darin finden, dass die schwächsten faradischen Ströme einatmungshemmend, die mittelstarken einatmungsauslösend wirken, dass aber manchmal starke Ströme wieder ähnlich wirken wie die schwächsten. Diese Wirkung wird zwar von vielen Forschern geleugnet oder auf Versuchsfehler, Stromschleifen auf den N. Laryngeus zurückgeführt, meine eigenen Beobachtungen ergeben aber, wenn auch selten, eine Beeinflussung der Atmung durch starke faradische Ströme im Sinne der Ausatmung, wobei die Atemkurve nicht die Form einer aktiven Ausatmung zeigt. Bei Versuchen an betäubten Tieren hat auch Lewandowsky diese drei Formen der Reizwirkung beobachtet.

Darüber kann kein Zweifel bestehen, dass die Vorstellung von echten Interferenzen als Ursache von Hemmung und Erregung sehr gewagt ist, weil sie sich nur auf Analogien, aber so gut wie auf keine einzige Beobachtung stützen kann.

Damit soll aber nicht gesagt sein, dass sie auf diesem Gebiete nicht ebenso anwendbar sein könnte wie auf anderen.

Wäre von den physikalischen Vorgängen, bei welchen wir Interferenzen beobachten, unserer Prüfung nur die Grösse einer halben Wellenlänge zugänglich, so hätte man das Interferenzgesetz wohl kaum aufstellen können.

In einer ähnlichen Lage könnten wir uns bei unseren physiologischen Versuchen befinden.

Eine weitere Schwierigkeit für diese Annahme liegt in der Beobachtung, dass bei der normalen oder künstlichen phasischen Vaguswirkung der Zustand der Hemmung die Dauer des hemmenden Reizes überdauert.

Es wäre also dann notwendig anzunehmen, dass die Hemmung zwar nur kurze Zeit, d. h. während der Lungenausdehnung erzeugt

werde, dass aber damit, wie ich schon oben bemerkt habe, Stoffwechselvorgänge verbunden sind, welche im Sinne einer besseren Ökonomie des Atemzentrums wirken, wie z. B. auch kurz dauernde elektrische Vorgänge bleibende chemische Veränderungen setzen.

Es ist also nicht zu leugnen, dass die Interferenzhypothese für die Frage der Hemmung auf sehr schwachen Füßen steht.

Als Hilfsvorstellung vermag sie aber gute Dienste zu leisten.

Ich komme nun zu dem zweiten Punkte meiner Annahme, dass starke Vagusreize sich bis zum Zentrum fortpflanzen und dort selbst eine Erregung des Atemzentrums setzen können, die in rhythmische Atmung umgesetzt wird.

Ich muss dabei auf eine Arbeit näher eingehen, weil sie auf einem anderen Gebiete ähnliche Ergebnisse meldet. Bubnoff und Heidenhain haben im Jahre 1881 in ihren Versuchen über Hemmung und Erregung beobachtet, dass eine durch eine Reizung des motorischen Rindenfeldes bedingte Dauerzusammenziehung des entsprechenden Muskels zu verringern oder aufzuheben ist, wenn diese Gegend oder auch eine andere des Gehirnes oder der Nervus ischiadicus mit schwachen Strömen gereizt wird. Werden die Ströme aber verstärkt, so wird diese Zusammenziehung wieder stärker.

Für die Erklärung dieses Wechsels von Hemmung und Erregung stellen sie verschiedene Annahmen auf. „Es könnten“, so heisst es auf Seite 183 der Arbeit, „1. motorische und hemmende Ganglienzellen vorhanden sein, deren Wirksamkeit getrennt in den Vordergrund tritt; 2. durch Reize verschiedener Intensität Vorgänge verschiedener Art ausgelöst werden.“

Sie stellen die Hypothese auf, dass die molekulare Bewegung der Ganglienzellen eine gewisse Stärke haben müsse, um zur Erregung zu werden. Je näher sie diesem Zustande sei, desto grösser sei die Erregbarkeit. Die hemmenden Reize seien solche, welche diese lebendige Kraft schwächen, indem sie vielleicht Bewegung in entgegengesetzter Richtung hervorrufen, die erregenden solche, welche diese lebendige Kraft vermehren.

„Schwache Impulse,“ so heisst es dort, „welche auf der Bahn sensibler Fasern den Zentren zugeleitet werden, sind nicht imstande, die lebendige Kraft der die Erregung herstellenden Molekularbewegung, welche ja bereits hohe Werte hat, zu steigern, dagegen die schwach entwickelten hemmenden Vorgänge so weit in die Höhe zu treiben, dass die Erregung herabgesetzt oder aufgehoben wird.

Sensible Reize verstärken in der ruhenden Ganglienzelle die der Erregung, in der tätigen die der Hemmung zugrunde liegenden Prozesse.“

Die schwache Seite dieser Annahme liegt klar zutage.

Die Analogie zu unseren Beobachtungen bei der künstlichen Vagusreizung ist fast vollkommen. Ist es nicht, so frage ich, besonders auffällig, dass es in beiden Fällen die stärkeren Induktionsströme sind, welche die Erregung steigern, jene Ströme, welche ihrer hohen Spannung wegen auch schon bei mässiger Stärke so stark empfunden werden, weil eben der Widerstand, den sie vorfinden, von geringer Bedeutung ist?

So kann man auch wohl mit Recht bei den von Bubnoff und Heidenhain beobachteten Erscheinungen annehmen, dass durch den neuen Reiz jede Erregung gehemmt wird, dass aber bei entsprechender Stärke dieser Reiz selbst eine neue Erregung setzt. Der Einwand, warum denn gerade immer die beobachtete, d. h. vorher gereizte Bahn beeinflusst werde, ist mit dem Hinweis auf jene Vorgänge, die Exner Bahnung nennt, völlig erledigt.

Ich habe auf diese Arbeit deshalb hingewiesen, weil sie zeigen kann, dass meine Annahme nicht nur nicht aus der Luft gegriffen ist, sondern sich mit verschiedenen anderen Beobachtungen und Versuchen in Einklang bringen lässt.

Mit dieser Annahme lassen sich auch die Versuchsergebnisse an betäubten Tieren sehr gut in Einklang bringen. Nach Wedensky ist die Narkose selbst nichts anderes als eine Art Erregung. Wir können also, wie es auch Wedensky tut, eine Art Summation dieser zwei künstlichen Erregungen annehmen. Dass Chloral in kleinen Dosen selbst erregend auf das Atemzentrum wirkt, hat ja die Beobachtung der Atmung bei Chloraleinspritzung ergeben, wenn auch vorwiegend durch die Lungenäste.

Durch diese Summation verschiebt sich die Wirkung der künstlichen Reize im Sinne der erhöhten Erregbarkeit.

Ist die Narkose bereits tief, so wird aber der parabiotische Zustand durch stärkere Ströme so stark vertieft, dass nur eine Hemmung der Atmung auftritt, während schwache Ströme noch immer einfach einatmungserregend wirken, eine Erscheinung, die dem paradoxen Stadium der Narkose (Wedensky) entspricht.

Dieser Punkt bedarf jedoch noch genauerer Untersuchung.

Die Verwertung der Ergebnisse der künstlichen Reizungen für das Verständnis des normalen Erregungsvorganges ist immer eine

missliche Sache. Diese Ergebnisse sind ja im allgemeinen nur mehr oder weniger unsichere Brücken, die uns von gewissen verhältnismässig sicheren Punkten über das Unbekannte auf den Böden der Tatsachen hinüberhelfen sollen. In dieser Hinsicht konnten die bisherigen Versuche über die künstliche Vagusreizung nicht als genügend angesehen werden.

Wir wissen wohl, dass im Vagus zentripetale, die Einatmung hemmende Erregungen verlaufen, und dass diese Erregungen durch die Ausdehnung der Lunge hervorgerufen werden; denn das Entstehen eines Pneumothorax hat die gleiche Wirkung wie die Vagusdurchschneidung. Ein Umstand aber ist es, der immer wieder verschiedene Forscher zu der Ansicht geführt hat, dass auch einatmungsauslösende Erregungen im Vagus fortgeleitet werden, und das sind die Spätfolgen der Vagusdurchschneidung. Die Versuche mit künstlicher Reizung des Vagus haben keinen Anhaltspunkt ergeben, um eine Vorstellung für das Wesen dieser Erscheinung zu gewinnen.

Auffallend ist es gewiss, dass sich die Atmung nach der beiderseitigen Vagusdurchschneidung so hochgradig verändern kann, dass das saccadierte Atmen (Langendorf) mit so hochgradig verlängerter Ausatmung auftritt, und man versuchte es folgendermassen zu erklären: Durch die Ausschaltung des Vagus wird die Einatmung vertieft, die Atemarbeit wird ausserordentlich vermehrt (Gad), die Ermüdbarkeit hochgradig gesteigert (Lewandowsky). Den Beweis, dass diese Vorstellung dem wirklichen Vorgang ähnlich oder Entsprechend ist, haben die bisherigen Versuche mit künstlicher Reizung nicht zu liefern vermocht; den habe erst ich durch meine Versuche gegeben.

Nicht die Tatsache, dass durch Einführung einer phasischen, die Einatmung hemmenden künstlichen Erregung selbst eine ausserordentlich veränderte Atmung der normalen ähnlich gemacht werden kann, ist von solcher Bedeutung, sondern der Umstand, dass sich eine deutliche Nachwirkung erkennen lässt, indem die Atmung bei dem Aussetzen der Reizung nicht gleich wieder den Charakter, den sie vor der Reizung gehabt hat, wiedergewinnt, sondern erst nach einiger Zeit. Wir sehen also hier ganz den analogen Vorgang wie bei der reizlosen Vagusdurchschneidung. Jetzt erst sind wir berechtigt zu sagen, dass die Spätfolgen der Vagusdurchschneidung kein Grund sind, neben den die Einatmung hemmenden auch auslösende Erregungen anzunehmen.

Jetzt können wir erst Stellung nehmen zu den eben erwähnten Annahmen von Gad und Lewandowsky. Ich möchte mich diesen beiden Forschern anschliessen. Wir können wohl annehmen, dass durch die hemmende Erregung das Gleichgewicht zwischen Einnahmen und Ausgaben hergestellt, das Verhältnis zwischen Assimilation und Dissimilation geregelt wird. Die Hemmung der Einatmung ist ein für die Ökonomie des zentralen Atemorganes überaus wichtiger Vorgang. Mit der Einführung des phasischen, hemmenden Reizes wird die übergrosse Inanspruchnahme des Zentrums verhindert, und es verschwinden alle Folgen, welche die Vagusausschaltung bedingt hat.

Aus meinen Versuchen ergibt sich auch als wahrscheinlich, dass nur während der Einatmung eine Erregung zum Zentrum geht. Es wäre unnötig, eine Erregung während der Ausatmung anzunehmen, da ja schon die in der Einatmung zur Herstellung der normalen Atmung genügt. Weiterhin müsste diese Erregung ganz anderer Art sein als die durch die Einatmung erzeugte, weil sonst die Ausatmung sehr verlängert würde.

Ich erlaube mir an dieser Stelle dem verehrten Institutsvorstand Herrn Prof. Dr. Paltauf für die Freundlichkeit, mit der er mir die Mittel des Institutes zur Verfügung stellte, dem Herrn Professor Dr. Biedl für seine vielfache Unterstützung bestens zu danken.