



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

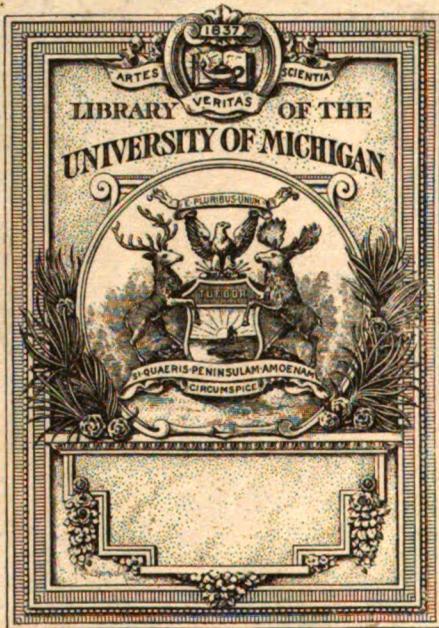
Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



Vierteljahrschrift

für die

113-902

PRAKTISCHE HEILKUNDE,

herausgegeben

von der

medizinischen Facultät in Prag.

**Red. : Dr. Jos. Halla, Prof. d. zweiten medicinischen Klinik.
Dr. J. v. Hasner, a. o. Prof. d. Augenheilkunde.**

Zwölfter Jahrgang 1855.

Erster Band

oder

Fünfundvierzigster Band der ganzen Folge.

(Mit 2 Kupfertafeln u. vielen Holzschnitten.)

PRAG.

Verlag von Karl André

Beiträge zur Physiologie des menschlichen Ohres.

Von A. Rinne, prakt. Arzt in Göttingen.

I. Vorbemerkungen.

§. 1. Der in den folgenden Blättern mitgetheilte kleine Beitrag zur Physiologie des menschlichen Ohres enthält mit Uebergang des äusseren Ohres, Untersuchungen über die Akustik des mittleren und inneren, weil gerade die Functionen dieser beiden Abtheilungen noch am meisten in Dunkel gehüllt sind, und ungeachtet mehrerer sehr verdienstlicher Bearbeitungen immer noch nicht das Interesse der Physiologen in dem Masse auf sich gezogen haben, wie sie es verdienen. Wenn ich daher bei der Schwierigkeit meiner Aufgabe nicht hoffen darf, über einen einzigen der von mir behandelten Punkte das letzte entscheidende Wort zu sprechen, so halte ich es für um so wünschenswerther, fähigere Bearbeiter zur lebendigen Fortsetzung der Discussion zu veranlassen, mag dieselbe nur zur Bestätigung meiner Ansichten führen, oder zu deren Widerlegung. Denn habe ich auch durch meine Untersuchungen eine Menge von Gesichtspuncten gewonnen, von denen aus wir hoffen dürfen, manche bisher für unlösbar gehaltene Probleme aufzuklären, so wird doch der Leser am Ende der Schrift finden, dass trotzdem unsere Kenntniss des Gegenstandes noch viel zu lückenhaft bleibt, um nur für annäherungsweise genügend gelten zu können. Ich selbst betrachte die vorliegende Schrift auch nur als eine Vorarbeit für spätere umfassendere Untersuchungen, und unternehme deren Veröffentlichung in ihrer aphoristischen Form nur deshalb schon jetzt, weil die Schwierigkeit des Gegenstandes es wünschenswerth macht, jedes neugewonnene Resultat sofort der Kritik der Fachgenossen zu unterwerfen. Die im Ohre vor sich gehenden acustischen Prozesse sind zu verwickelt, als dass ich nicht fürchten müsste, in manchen Puncten wichtige Umstände übersehen zu haben, und zu falschen Schlussfolgerungen geführt zu sein.

§. 2. Bei der Behandlung unseres Gegenstandes beabsichtige ich, vorzugsweise nur die Aufnahme und Fortleitung von Schallwellen zu berücksichtigen, welche unserem Ohre durch die Luft zugeführt werden, und auch diese nur, insofern dafür besondere künstliche Apparate, wie das Trommelfell, die Gehörknöchelchen u. s. w. vorgerichtet sind, ohne die etwaige

Theilnahme der Kopfknochen, die nach Vieler Ansicht beim Hören, auch der Lufttöne, eine nicht unwichtige Rolle spielen sollen, mehr zu berücksichtigen, als zur Beseitigung mancher übertriebenen Vorstellungen in dieser Beziehung durchaus nöthig ist.

Es lässt sich Nichts dagegen einwenden, wenn in Schriften über das Gehörorgan, in denen auch das der niederen Thiere behandelt wird, Viel auf die Schalleitung durch die Kopfknochen und das übrige Skelett gegeben wird. So geht allerdings eine Schallwelle aus dem Wasser mit ziemlicher Intensität auf das Skelett der Fische über, aber eben so gewiss ist es auch, dass Luftwellen auf Knochen und andere feste Theile der Thiere nur schwach übergehen, und wir haben es in der folgenden Abhandlung mit einem Luftthiere, dem Menschen, zu thun, der nur unter besonderen, gewöhnlich künstlich veranstalteten Umständen seinen Körper, und in specie die Schädelknochen, der Einwirkung von Schallwellen nicht luftförmiger Körper aussetzt. Bei ihm lässt sich mit ziemlicher Gewissheit voraussetzen, dass sein Gehörorgan nur für die Aufnahme von Luftwellen berechnet sei, und dass man die Schalleitung durch die Kopfknochen als ein nicht beabsichtigtes Accidens, das bei der Elasticität aller Körper nicht ganz vermieden werden konnte, zu betrachten habe.

Versuch I. Ein leicht anzustellender Versuch zeigt uns, in welchem Grade die Leitung durch die Schädelknochen, selbst für Töne, die durch Schwingungen eines festen Körpers entstehen und unmittelbar auf das Skelett übertragen werden, hinter der normalen Leitung durch Luft, Trommelfell, u. s. w. zurücksteht. Ich stemme eine durch Anschlagen zum Tönen gebrachte Stimmgabel gegen die oberen Schneidezähne, und lasse sie in dieser Lage bis zu dem Momente, wo der im Anfange sehr klare Ton für mich unhörbar wird. Jetzt bringe ich die Stimmgabel vor das äussere Ohr, und höre aufs Neue den Ton mit grosser Intensität. Erst nach geraumer Zeit verklingt derselbe auch hier. Bei allen Personen mit gesundem Ohre, bei denen ich diesen Versuch wiederholte, war der Erfolg derselbe. Gegen die unteren Schneidezähne gesetzt, wird die Stimmgabel etwas länger gehört, aber auch hier merklich kürzere Zeit, als wenn wir sie dem äusseren Gehörgange gegenüber abklingen lassen. Diese bei dem Durchgange der Schallwellen durch das Unterkiefergelenk bemerkenswerthe Thatsache erklärt sich durch die stabförmige Bildung des Unterkiefers und die Lage des Gelenkes in der Nähe des Ohrs. (Vgl. Anmerk.).

Versuch II. Nähere ich eine tönende Stimmgabel gleich von Anfang an meinem äussern Ohre, während ich den Gehörgang der andern Seite abwechselnd mit dem Finger verstopfe und wieder öffne, so nehme ich keine dieser Manipulation entsprechende Verstärkung und Schwächung des Tones wahr.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass die durch die Kopfknochen unseren Gehörnerven zugeführten Schallwellen — wirklich oder scheinbar — verstärkt werden, wenn wir den äusseren Gehörgang verstopfen. Nähmen also unsere Kopfknochen die Luftwellen bei dem letzten Versuche in so beträchtlichem Masse auf, um auf das Ohr der entgegengesetzten Seite, wenn auch nur schwach wahrnehmbare Schallwellen zu übertragen, so müsste die dadurch bedingte Empfindung nothwendig durch die erwähnte Procedur abwechselnd verstärkt und geschwächt werden. Dass das nicht der Fall ist, beweist uns, dass die Schwingungen der Kopfknochen beim gewöhnlichen Hören keinen irgend merkbaren Effect hervorzubringen vermögen.

Damit scheint ein Versuch von Harless *) in Widerspruch zu stehen. Derselbe liess Schallwellen durch ein Hörrohr oder durch Näherung der Stimmgabel auf das Ohr eines Menschen wirken, und war im Stande, auf der andern Seite des Kopfes, besonders über dem Ohre dieser Seite, den Ton deutlich mittelst des Stethoscops zu vernehmen. Das beweist allerdings mit Sicherheit, dass Luftwellen entweder unmittelbar oder durch Vermittlung des Trommelfells auf die Kopfknochen übergehen; aber mein Versuch soll das auch gar nicht widerlegen, sondern nur nachweisen, dass die Leitung durch die Kopfknochen im Verhältniss zu der durch Trommelfell, Gehörknöchelchen u. s. w. so schwach ist, dass sie für die *eigene* Wahrnehmung bei übrigens gesunden Ohren vollkommen verschwindet.

Anmerkung. Es lässt sich dieser Versuch auch zur Sicherung der Diagnose bei nervöser Schwerhörigkeit anwenden. Denn hat derselbe bei Schwerhörigen ungeachtet ihrer Krankheit denselben Erfolg, wie bei Gesunden, so schliessen wir mit Recht, dass das Verhältniss der Leitungsfähigkeit der Kopfknochen und der complicirten acustischen Apparate das normale ist, also der Hörnerv krank sein muss. Hört dagegen der Patient den durch die Kopfknochen zugeleiteten Ton eben so lange oder gar länger, als den auf dem normalen Wege zugeführten, so schliessen wir auf eine Krankheit eines der leitenden Apparate, bis zur Membrana fenestrae ovalis einschliesslich, die freilich auch durch ein Leiden eines Nerven, aber eines motorischen, bedingt sein kann. Denn Krämpfe der beiden Spannmuskel des mittleren Ohres können ebensowohl, insofern sie die Beweglichkeit der Gehörknöchelchen beeinträchtigen, Schwerhörigkeit verursachen, wie Parese des Hörnerven. Freilich wird dieser, wie so viele

*) Wagner's Handwbt. d. Physiol. IV, 861.

andere Versuche, bei denen es auf Selbstbeobachtung des Kranken ankommt, nur bei den intelligenteren derselben Aufschluss geben können.

II. Natur der Trommelfellschwingungen.

§. 3. Wenden wir uns nun, um zunächst die Theile des mittleren Ohres möglichst in der Reihenfolge ihrer acustischen Action abzuhandeln, zuerst zum Trommelfell, so ist die für dessen Theorie bei weitem wichtigste Frage die, ob seine durch die Schallwellen der Luft erzeugten Schwingungen primäre oder secundäre sind.

In welche von beiden Arten ein Körper durch einen auf ihn wirkenden Stoss versetzt werde, lässt sich der Natur der Sache nach sowohl durch Experimente, als durch Schlussfolgerungen aus der Beschaffenheit des Stosses und des gestossenen Körpers entscheiden, nur dass der concrete Fall manchmal den einen dieser Wege als vorzugsweise anwendbar erscheinen lässt. Beide sind in Bezug auf unsere Frage eingeschlagen worden.

Savart*) hat durch directe Versuche dieselbe zu entscheiden gesucht, aber wie sich bei der besonderen Beschaffenheit des Objectes nicht anders erwarten liess, ohne genügendes Resultat. Denn das Abwerfen des aufgestreuten Sandes in seinen Versuchen lässt sich gleich gut durch beide Arten von Wellenbewegungen erklären.

Den zweiten, bei der Kleinheit des Objectes sicher zweckmässigeren Weg hat J. Müller eingeschlagen. Er hat nämlich aus der Beschaffenheit des Trommelfells einerseits, und aus der Natur der primären und secundären Wellenbewegungen andererseits a priori die Frage zu beantworten gesucht. Freilich ist er dabei in Folge ganz unstatthafter Voraussetzungen zu einer Ansicht gelangt, der ich mich nicht anschliessen kann. Nach ihm sind die Schwingungen, mit denen wir zu thun haben, dann secundäre, wenn ihre Excursionen grösser sind, als die Dicke des Trommelfells, wenn sie kleiner sind, so sollen es primäre, und zwar normale sein. (Vergl. Anmerk.) Ich weiss nicht, ob wir, ausser bei Müller und seinen wohl zu wenig kritisch verfahrenen Nachfolgern, noch irgendwo dieselbe Unterscheidung zwischen primären und secundären Schwingungen finden. In E. H. und W. Webers Wellenlehre, wor-

*) Vgl. Müller's *Physiol. d. M.* II. 480.

auf sich doch Müller in vielen anderen Punkten bezieht, finde ich eine solche Unterscheidung nicht. Um das Irrthümliche derselben auch für die oberflächlichste Betrachtung nachzuweisen, erinnere ich nur daran, dass z. B. die Stimmgabel nach ihm bei weiten Excursionen secundäre Schwingungen, beim Abklingen primäre ausführen müsste, und das ohne eine entsprechende Veränderung ihrer Tonhöhe. Und doch sollen primäre Schwingungen bei gleichem Material und gleichen Dimensionen der schwingenden Körper viel höhere Töne hervorbringen, als die in gleicher Richtung ablaufenden secundären Schwingungen derselben.

Anmerkung. Es scheint hier am Orte zu sein, eine bei Gelegenheit seiner Deduction von Müller gemachte Angabe zu berichtigen, die später in mehrere Abhandlungen über unsern Gegenstand übergegangen ist. Müller *) sagt: „Wäre die Bahn der schwingenden Theilchen in unmittelbarer Nähe des stossenden oder tönenden Körpers ein Zoll gewesen, so würde die Bahn derselben bei 2 Fuss $\frac{1}{2}$, Zoll, bei 3 Fuss $\frac{1}{3}$, bei 4 Fuss $\frac{1}{4}$, bei 10 Fuss $\frac{1}{10}$ Zoll, oder weniger, als die Dicke des Trommelfells sein“. Dieser Ausspruch gründet sich auf eine ungenaue Anwendung des ebenfalls ungenau ausgedrückten Gesetzes, dass die Elongation der schwingenden Theilchen in einer allseitig ungehindert fortschreitenden Schallwelle sich umgekehrt verhält, wie die Quadrate der Entfernungen von dem Ursprunge der Welle. Hätte Müller gesagt: „Wäre die Bahn der schwingenden Theilchen in 1 Fuss Entfernung vom stossenden oder tönenden Körper u. s. w.“ so würde er das Gesetz wenigstens in seiner ungenauen Fassung richtig angewandt haben. Aber die Sache verhält sich ganz anders. Das Gesetz muss sagen, dass die Elongation der schwingenden Theilchen in einer kugelförmig fortschreitenden Schallwelle sich umgekehrt verhält, wie die Quadrate der Entfernungen dieser Theilchen *vom Mittelpunkte der Kugel*, und auch das nur *exceptis excipiendis*.

§. 4. In dem schon genannten Werke der Brüder Weber **) finden wir eine Definition beider Wellenarten. Danach sind secundäre Wellen nur eine dem fortgepflanzten Stosse nachfolgende Wirkung, primäre dagegen ein und dasselbe mit dem fortgepflanzten Stosse selbst. So genügend nun diese Definition als solche immerhin ist, so reicht sie doch nicht aus, um in concreto beide Wellenarten von einander zu unterscheiden. Wir müssen es also unternehmen, in dieselbe, uns an die bekanntesten Thatsachen anlehnd, noch weitere Merkmale einzufügen, und sollte auch das für unsern Zweck nicht genügen, so müssen wir die Mechanismen aufsuchen, durch deren

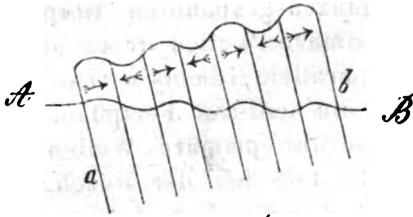
*) A. a. O. 431.

**) Wellenlehre. 442.

Vermittlung diese Merkmale zu Eigenthümlichkeiten der einen oder andern Wellenart werden, also Mechanismen, durch welche wir im concreten Falle dieselben realisiren. Die beiden wesentlichsten Eigenthümlichkeiten, welche nach meinem Dafürhalten aus der obigen Definition sich ableiten lassen, sind folgende: In einer primären Welle befindet sich jedes Molecül in jedem Momente in einer Lage, welche allein durch sein momentanes Verhältniss zu der Welle, in der es sich gerade befindet, und seine Elasticität bestimmt wird; in einer secundären Welle dagegen wird diese Lage ausser diesem Momente durch Molecüle, mit denen es seitlich durch Adhäsion verbunden ist, bestimmt. Sind nämlich seitlich liegende Molecüle schwächer oder gar nicht vom Impulse der Welle getroffen, oder setzen sie durch ihre Masse dem gleichen Impulse grösseren Widerstand entgegen, so bedingen sie, indem sie den retardirenden Einfluss ihrer Trägheit in abnehmender Progression seitlich von Molecül zu Molecül mittheilen, bei durch Spannung elastischen Körpern eine Krümmung derselben, welche für deren auf diese Art modificirte Wellen den Namen der Beugungswellen veranlasst hat. Zum Zweck der Einwirkung der Trägheit seitlich liegender Molecüle ist die *feste* Adhäsion bei den secundären Wellen nothwendig, daher finden wir solche Wellen nicht in tropfbar flüssigen und gasförmigen Körpern. Bei ihrer weitern Betrachtung trennen wir zweckmässig durch Spannung elastische Körper von steif elastischen, und verweisen die letzteren auf einen späteren Abschnitt. Als seitlich durch ihre Trägheit wirkende Körper finden wir bei Saiten deren Fixationspunkte, beim Trommelfell und andern allseitig gespannten Membranen den Ring, in dem sie ausgespannt sind. Wir müssen für die beiden letzteren Arten elastischer Körper zwei Fälle unterscheiden. Sie können von einem Stosse in ihrer ganzen Ausdehnung gleichzeitig und gleich stark getroffen werden; für diesen Fall liegt schon die genügende Erklärung in der obigen Angabe des Unterschiedes zwischen beiden Wellenarten. Oder sie werden nicht in ihrer ganzen Ausdehnung gleichzeitig von einem gleich starken Stosse getroffen. Hier fragt es sich, ob nicht neben dem oben namhaft gemachten Einflusse der Trägheit auf die Form der Bewegung auch primäre Wellen, etwa longitudinirte mit normaler oder schräger Richtung der Molecularbewegung ins Spiel kommen, wie man sie unter Umständen für Stäbe statuirt. Gewiss ist, dass die seitliche Fortpflanzung der ursprünglichen durch den Stoss

bewirkten Ausbeugung längs des ganzen gespannten Körpers sich sehr wohl ohne Supposition primärer Wellen durch alleinige Hülfe der in Form des Kräfteparallelogramms wirksamen Adhäsion erklären lässt. Auch ist die seitliche Fortpflanzung der Bewegung wohl zu langsam, um ihr primäre Wellen zu Grunde zu legen. Indessen ist trotz dem bei der durchgängigen Elasticität aller Körper sehr wahrscheinlich, dass neben den sichtbaren secundären Wellen sich auch als unmittelbare Fortpflanzung des Stosses nicht sichtbare primäre finden werden; denn beide Arten schliessen sich in keiner Weise aus. Nach dem Obigen statuire ich also für das menschliche Trommelfell, welches wohl nie gleichzeitig in seiner ganzen Ausdehnung und gleich stark, sondern vermöge seiner im Verhältniss zur Axe des äusseren Gehörganges schrägen Lage in verschiedenen Punkten nach einander von Luftwellen getroffen wird, secundäre und primäre Wellen gleichzeitig, natürlich bei leisen, wie bei starken Tönen. Dass es vorzugsweise die Trägheit des Trommelfellringes ist, was die Beugung der Membran bewirkt, und nicht die Verschiedenheit der Elasticität beider, wird uns durch die folgende Erfahrung bewiesen. Befestigen wir ein kleines Stückchen Wachs an einer secundär schwingenden Saite, so nimmt es an den Saitenschwingungen Theil, ohne deren Form merklich zu verändern. Das geschieht aber, erst nur merklich, nachher in so hohem Grade, dass an dem Punkte, wo das Wachsstückchen befestigt ist, sich ein Knotenpunkt bildet, wenn wir dasselbe mehr und mehr vergrössern. Und doch ist seine Elasticität nicht verändert, wohl aber seine Schwere, und mit ihr die Einwirkung seiner Trägheit.

Dass das Verhältniss der Schwingungsweite zur Dicke des schwingenden Körpers ohne Bedeutung ist, haben wir schon an der Stimmgabel gesehen. Wie wir bei ihr secundäre Schwingungen finden, deren Weite geringer ist, als die Dicke ihrer Schenkel, so sind auch primäre Schwingungen denkbar, deren Weite grösser ist, als die Dicke des schwingenden Körpers in der Richtung seiner Molecularbewegung. Ebenso wenig ist es die Beugung eines in Wellenbewegung begriffenen Körpers, welche seine Wellen zu secundären macht. Denn denken wir uns einen dünnen, nicht schweren, frei schwebenden



Faden A B in Art der Fig. 1 von der Wellenreihe a b, welche das den Faden umgebende Medium durchläuft, getroffen, so wird er in Beugungswellen versetzt, die von A nach B fortschreiten. Jeder Punkt

des Fadens wird aber in jedem Momente eine Lage einnehmen, die allein durch sein Verhältniss zu der ihn umfassenden Schallwelle bedingt wird, also als unmittelbare, nicht modificirte Folge des Stosses zu betrachten ist. Denken wir uns dagegen den Faden schwer und gespannt, so tritt schon die modificirende Einwirkung seitlich liegender Molecüle und ihrer Trägheit auf die Lage jedes Molecüls ein und wir haben eine Combination primärer und secundärer Wellen. — Jede Art der das Trommelfell durchsetzenden Wellen wird natürlich thun, was sie nicht lassen kann, und jeden elastischen Körper, auf den sie trifft, also auch den Hammer in der Richtung ihrer Molecularbewegung in Mitschwingung versetzen. Es ist also überflüssig, zu untersuchen, welche Art der Schwingungen auf den Hammer bewegend einwirkt, besonders, da wir nicht mit Eigentönen des Trommelfells zu thun haben. Nur möchte ich nach Analogie der gespannten Violsaite, bei welcher die secundären Schwingungen stark genug auf den Steg und Resonanzboden übergehen, um die Tonhöhe unabhängig von den primären zu bestimmen, die Vermuthung aussprechen, dass auch beim menschlichen Ohre vorzüglich die ersteren die Uebertragung des Schalles auf die tiefer liegenden Theile vermitteln.

III. Resonanz des Trommelfells.

§. 5. Eine Frage, die wir mehr durch Schlussfolgerungen, als durch directe Versuche entscheiden müssen, ist die, ob das Trommelfell die Lufttöne, von denen es getroffen wird, durch Resonanz verstärkt, oder nicht. Wir haben als Anhaltspunkte zwei bekannte Thatsachen. Zuerst die Erfahrung Müller's, wonach er bei starker Anspannung des Trommelfells in Folge geschehenen Einpressens von Luft in die Trommelhöhle durch die Tuba Eustachii für tiefe Töne taub wurde, während er hohe Töne noch deutlich vernahm. Diesen Versuch kann jeder leicht mit demselben Erfolge wiederholen. Eine zweite Erfahrung, die sich ohne besondere Bemühung uns in jedem Augenblicke auf-

drängt, ist die, dass in einem gesunden Ohre niemals ein Nachhall des zuletzt gehörten Tones sich findet, den wir etwa einer verlängerten Resonanz zuschreiben könnten. Das oft stundenlang anhaltende Klingen in einem Ohre gehört nicht hierher, da es mit dem ziemlich raschen Abklingen einer tönenden Membran nicht die mindeste Aehnlichkeit hat. — Die beiden Erfahrungen führen uns zu entgegengesetzten Schlüssen, und es lässt sich vermuthen, dass eine derselben falsch gedeutet wird. Müller und die, welche seiner Ansicht folgen, deduciren aus der ersten Erfahrung das Stattfinden einer Resonanz, weil jeder Körper vorzugsweise nur auf Töne resonirt, die mit seinem Eigentone zusammenfallen, oder ihm doch sehr nahe liegen. Ist nun durch die Tuba Luft in die Trommelhöhle gepresst, so ist das Trommelfell stark gespannt, ohne dass Contraction oder Abspannung des Hammermuskels darin Etwas zu ändern im Stande ist. Weil wir nun in diesem Zustande nur hohe Töne vernehmen, während tiefe Töne unhörbar werden, so scheint die Müller'sche Schlussfolgerung auf den ersten Blick vollkommen richtig zu sein. Indessen steht die Sache doch nicht so ganz fest. Zuerst ist es eine missliche Sache, beim Vergleich von zwei Tönen, die in der Scala weit auseinander liegen, zu behaupten, dass ihre Intensität die gleiche sei, was doch vorausgesetzt werden muss, wenn nicht die ganze Schlussfolgerung in sich zusammenfallen soll. Aber auch die Richtigkeit dieser Behauptung vorausgesetzt, ist doch neben einer etwaigen geringen Resonanz ein anderer Umstand nicht zu übersehen. Es ist nämlich bekannt, dass jeder irgend wie afficirte Nerv nach Aufhören des Reizes nicht momentan zur Norm zurückkehrt, sondern einer bald längeren, bald kürzeren Zeit bedarf, um durch Hülfe des Stoffwechsels die ihm aufgedrungene Veränderung auszugleichen, eine Eigenschaft, die ich als Trägheit des Nerven bezeichnen möchte. Daher z. B. die Erscheinung eines feurigen Kreises, wenn eine glühende Kohle rasch vor unseren Augen im Kreise bewegt wird. Auch für den Tastsinn lassen sich ähnliche Erscheinungen nachweisen. Nun ist es sicher im höchsten Grade wahrscheinlich, dass auch der Gehörnerve in ähnlicher Weise die durch eine Schallwelle in ihm bewirkte Veränderung für eine kurze Zeitdauer conservirt, dass er sogar jede solche Veränderung über die Dauer des äussern Eindruckes hinaus in sich conserviren muss, um überhaupt das Vernehmen eines Tones, d. h. eines Lautes von bestimmter

Höhe in der Scala, möglich zu machen. Dauert die durch eine Welle in ihm bewirkte Veränderung nicht lange genug, um sich mit dem Beginn der nächstfolgenden zu summiren, so hören wir nicht einen Ton, sondern, wie bei manchen Versuchen mit der Syrene, ein Schnarren. Dauert die Veränderung lange genug, um die erwähnte Summirung möglich zu machen, so hören wir einen Ton, summirt sie sich auch mit der dritten, so wird der Ton verstärkt, u. s. w. Je höher nun der Ton ist, um so schneller folgen sich die einzelnen Impulse der Tonwellen, und um so stärker müssen bei übrigens gleicher Grösse der Impulse, also bei gleicher Tonstärke, die Summen derselben werden. Daher kommt es auch, dass es vorzugsweise hohe Töne sind, die durch ihre Stärke unserm Ohre lästig werden. Wir nennen dann solche Töne durchdringend, schneidend, u. s. w., Bezeichnungen, die wir auf tiefe Töne niemals anwenden. Es findet also, wenn ich mich so ausdrücken darf, für hohe Töne eine Resonanz im Hörnerven Statt, durch welche Müller's Versuch wenigstens zum Theil erklärt wird, so dass wir nicht nöthig haben, eine bedeutende Resonanz im Trommelfell vorauszusetzen. Indessen ist die letztere damit noch nicht widerlegt. Auch die von mir im Anfange dieses §. angeführte Erfahrung beweist nur, dass eine etwaige Resonanz nicht stark genug ist, um sich zum Nachhall zu verlängern, aber nicht, dass dieselbe ganz fehlt. Es bleibt uns also nur übrig, durch Raisonement aus ferner liegenden Thatfachen das zu erläutern, was der directen Beobachtung nicht zugänglich ist.

§. 6. Wenden wir uns zur Betrachtung einer gespannten Saite, so ist von ihr bekannt, dass sie sehr leicht auf einen Ton resonirt, welcher in seiner Höhe der Tonhöhe der ganzen Saite oder eines grösseren Bruchtheiles derselben entspricht. (Flageoletton). Es tritt in diesen Fällen, was wesentlich ist für den Begriff der Resonanz, eine Verstärkung des Tones ein, vermittelt durch eine Summirung der Bewegungsmomente. Es würde nämlich die Saite nach erfolgtem Stosse durch die erste Schallwelle auch ohne einen nachfolgenden Stoss durch ihre eigene Elasticität in infinitum fortvibriren, wenn nicht durch Abgabe an die Luft und ihre beiden Fixationspunkte bei jeder Schwingung ihr ein aliquoter Theil ihrer Bewegung entzogen würde. Sie beginnt die zweite Doppelschwingung in dem Momente, wo sie von einer zweiten Luftwelle getroffen wird. Es erfolgt also diese zweite Doppelschwingung mit

einer Stärke, die wir uns zusammengesetzt denken müssen aus dem von der zweiten Luftwelle mitgetheiltes Kraftmomente, und dem nach Abzug des Verlustes durch die Reibung zurückbleibenden Reste ihrer schon früher erworbenen Bewegung. So geht es weiter bei der dritten, vierten u. s. w. Doppelschwingung, und es steigt bei gleichbleibender Stärke der Luftstösse die Stärke der Oscillationen so lange, bis der mit der verstärkten Bewegung gleichzeitig gesteigerte Verlust durch die Reibung gleich ist der von jedem Luftstosse mitgetheilten Verstärkung.

Ist nun dieselbe Saite der Einwirkung eines Lufttones ausgesetzt, der von dem Grundtone und den Flageolettönen der Saite mehr oder weniger abweicht, so kann begreiflicher Weise von der eben geschilderten Summirung nicht die Rede sein. Man pflegt in diesem Falle, wie sie das gewöhnlich auch dem Auge zu sein scheint, die Saite als unbewegt zu betrachten. Das kann sie indessen nicht sein, da für die ruhende, also im vollkommensten Gleichgewichte stehende Saite die Einwirkung eines Minimum von Kraft nach der einen oder andern Richtung hinreicht, um das Gleichgewicht aufzuheben und sie dadurch in Bewegung zu setzen. Da jedoch nicht, wie im ersten Falle das Maximum der Verdünnung und Verdichtung der Luftwellen mit dem ihm entsprechenden Maximum der Saitenexcursionen zusammentrifft, so kömmt niemals eine so grosse Summe der Bewegung zu Stande, wie im ersten Falle, sondern eine Summe $= M + m - x$, wo M die durch jeden Luftstoss neu mitgetheilte Bewegung in ihrem Maximum m die der Saite nach Abzug des Verlustes durch die Reibung bleibende Bewegung, gleichfalls in ihrem Maximum, und x eine Grösse bedeutet, welche bei beinahe gleicher Dauer der Saiten- und Luftschwingung sehr klein ist, bei steigender Differenz wächst, und in dem Falle, wo die zweite doppelt so gross ist, als die erste, $= 2m$ ist. In diesem letzten Falle haben wir also $M + m - x = M + m - 2m = M - m$.

• Ich bin schon in einem früheren §. zur Erläuterung der Trommelfellschwingungen von der Betrachtung analoger Vorgänge in gespannten Saiten ausgegangen, und es dürfte an der Zeit sein, die diesem Verfahren zu Grunde liegende Anschauungsweise des Weiteren auseinanderzusetzen. Danach betrachte ich eine runde, durch allseitige Spannung elastische Membran als aus einer Menge von gleich grossen, schmalen

Streifen, die sich ja verhalten, wie Saiten, zusammengesetzt, deren Länge gleich dem Halbmesser, deren Dicke = der Dicke der Membran, und deren Breite am peripherischen Ende = dem Umfange der Membran, dividirt durch die Anzahl der Streifen, am centralen Ende = 0 ist. Die seitliche Verschmelzung dieser supponirten Streifen modificirt allerdings wesentlich ihr Verhalten bei allseitiger Spannung, und lässt das für Saiten und gewöhnliche Streifen gültige Gesetz als auf sie nicht ganz anwendbar erscheinen, wo es sich um die Höhe der Eigentöne bei verschiedenen Spannungen handelt; ebenso werden die mit gewissen Flageolettönen verbundenen Knotenlinien sich wegen der eigenthümlich wechselnden Dimensionen der Querschnitte und ihrer seitlichen Verschmelzung bei ihnen anders verhalten, als bei Saiten und parallelseitigen Streifen. Abgesehen von diesen Ausnahmen ist jedoch kein Grund vorhanden, wesshalb wir auf sie in allen Untersuchungen nicht dieselben Gesetze anwenden sollten, welche für die letzteren gültig sind.

§. 7. Müssen wir nach dem Obigen die Möglichkeit einer Resonanz im Trommelfell für gewisse mit der verschiedenen Spannung wechselnde Töne zugeben, so können wir doch bei weiterer Untersuchung nicht verkennen, dass in der Form und Lagerung der Theile sehr wirksame Mechanismen angeordnet sind, um diese Resonanz auf ein Minimum zu beschränken, und namentlich deren excessives Hervortreten in der Form des Nachklingens zu verhüten.

Zunächst hat die Natur in der flächenförmigen Ausbreitung des Trommelfells ein sehr zweckmässiges Mittel zur Realisirung dieses zum präzisen Hören nothwendigen Requisites gefunden. Wie nämlich unseren Erfahrungen nach eine gespannte Membran sehr leicht durch anschlagende Tonwellen in Schwingung versetzt wird, so ist sie auch vorzugsweise geeignet, dieselben auf das umgebende Medium zu übertragen. Da jeder Körper in demselben Masse an Bewegung verlieren muss, als er anderen davon mittheilt, so wird ein durch Spannung elastischer Körper in demselben Verhältniss schneller zur Ruhe kommen, als er bei Anfangs gleich weiten Oscillationen lauter tönt. Um uns davon zu überzeugen, dürfen wir nur eine tönende Membran gleichzeitig mit einer tönenden Saite abklingen zu lassen. Es wird also, um uns wieder der früheren Formel zu bedienen, selbst im günstigsten Falle m in Folge des grossen Verlustes durch die Reibung sehr klein ausfallen,

und die Summe $M + m$ nur wenig grösser sein, als die Differenz $M - m$.

Ein zweites sehr wichtiges Mittel zur Minderung der Resonanz und zur Verhütung jedes Nachklingens liegt in der Lagerung des Manubrium mallei, welches vom oberen Rande des Trommelfells aus bis etwas über die Mitte herabsteigend das letztere in zwei beinahe gleich grosse Portionen theilt.

Versuch III. Ich theilte eine gespannte Saite durch einen untergeschobenen Steg in zwei Hälften von ziemlich gleicher Tonhöhe. Als ich eine dieser Hälften durch Zupfen in Schwingung versetzte, wobei natürlich auch die andere Hälfte, wie bei Flageolett-Tönen in Bewegung gerieth, da verklang jede von ihnen nicht wie eine isolirt schwingende Saite mit gleichmässiger Abnahme der Excursionsweite, sondern die letztere verkleinerte sich zweimal sehr rasch bis fast auf Null, und wurde zweimal dem entsprechend vergrössert. Als ich den Steg um ein Geringes verschob, und so den einen Seitentheil auf Kosten des andern verlängerte, wurde die genannte Erscheinung in einem viel stärkeren Masse, als ich bei dem unklaren Begriffe, den ich noch von dem ganzen Vorgange hatte, nach der Grösse der Verschiebung erwarten zu müssen glaubte, öfter wiederholt; sie verschwand bei einigermaßen beträchtlicher Verkürzung des mitschwingenden Saitentheiles, etwa um $\frac{1}{4}$ seiner Länge, ganz, wie denn überhaupt bei diesem Verhältnisse der Längen der beiden Saitenabtheilungen das Mitschwingen auf ein Minimum herabsank.

Ich hatte hier offenbar den sichtbaren Ausdruck eines den bekannten Scheiblerschen Stössen *) analogen Vorganges vor Augen. Der Hergang war nach dem Obigen folgender: Wenn zwei oder mehrere gleich grosse Abtheilungen derselben Saite in Art der Flageolettöne mit zwischenliegenden Knotenpunkten in Schwingung gerathen, so sind die Richtungen der letzteren in je zwei neben einander liegenden Theilen einander entgegengesetzt und von vollkommen gleicher Dauer. Es wird in diesem Falle die Stärke jeder Oscillation eines Theiles nicht allein durch die Elasticität und Dimensionen dieses Theiles, sondern auch durch die Schwingungen der zunächst liegenden Theile bestimmt; wir können jeden derselben als gleichzeitig selbsttönend und resonirend betrachten. Bestimmen wir nun die Saite durch Unterlegen eines Steges, sich in Abtheilungen von nur beinahe gleicher Länge zu theilen, so wird allerdings auch in diesem Falle jede Oscillation jedes Theiles die Bewegung des Nachbartheiles in dem Masse verstärken, als er mit demselben gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung oscillirt

*) Vergl. Lindseis Acustik, S. 620.

da aber die verschiedene Länge der Saitentheile eine verschiedene Dauer ihrer Oscillationen bedingt, so wird diese wechselseitige Verstärkung immer geringer werden, bis zu dem Momente, wo beide Theile gleichzeitig in derselben Richtung schwingen. In diesem Momente wird die Excursionsweite jedes Theiles durch die Einwirkung des Nachbartheiles um ebensoviele vermindert, als sie während der ersten Oscillation vermehrt wurde, u. s. w. — Konnte ich nun die Schwingungen der beiden Saitenhälften in einer Weise erregen, dass bei gleicher Tonhöhe derselben ihre Oscillationen von Anfang an gleichzeitig in gleicher Richtung stattfanden, so musste der Effect der sein, dass die beiderseitigen Schwingungen von Anfang an einander nicht nur nicht verstärkten, sondern durch Interferenz in dem Masse abschwächte, dass nur die erste Oscillation mit der dem angebrachten Stosse entsprechenden vollen Kraft geschah, während jede folgende von dem ihr durch die Reibung nicht entzogenen Bewegungsreste ebensoviele verlor, als sie bei der gewöhnlichen Erregungsweise durch Mittheilung von der Bewegung der benachbarten Saitenhälfte gewonnen haben würde. Mit anderen Worten, die Resonanz musste in Folge einer solchen Erregungsweise sehr geschwächt, und das Nachklingen in seiner Dauer merklich abgekürzt werden. Auch für den Fall, dass beide Saitentheile nur beinahe gleiche Tonhöhe hatten, mussten die Oscillationen sich wenigstens im Anfange bedeutend abschwächen.

Versuch IV. Es wurde der Apparat des vorigen Versuches benützt. Statt aber durch zwei Stösse in gleicher Richtung, die schwerlich ganz gleichzeitig erfolgt sein würden, jeden Saitentheil besonders in Bewegung zu setzen, hob ich die ganze Saite vom Stege ab, und liess sie zurückschnellen. Hier zeigte es sich dann, dass nur ganz im Anfange und kaum sichtbar, also wohl nur für die Dauer der ersten Oscillation, eine bedeutende Excursionsweite, die einermassen der Excursionsweite eines mit gleicher Kraft gestossenen isolirten Saitentheiles entsprechen mochte, zu Stande kam, dass dieselbe aber viel geschwinder, als bei Flageolett-Tönen und isolirten Saiten, auf ein sehr Geringes reducirt wurde, und dass der Ton früher, als sonst, aufhörte vernehmbar zu sein.

§. 8. Im Trommelfell haben wir nun einen Körper, der freilich nicht so vollständig, wie die Saite der beiden letzten Versuche, in zwei mehr oder weniger gleich grosse Abtheilungen getheilt, aber doch wenigstens zum grossen Theil zu beiden Seiten des Manubrium mallei so gelagert ist, dass die einander gegenüber liegenden Theile je nach den Umständen wechselseitig ihre Schwingungen verstärken oder schwächen

müssen. Bei der Kleinheit des Trommelfelles muss jede Luftwelle dasselbe ungeachtet seiner schrägen Lage in beiden Portionen fast gleichzeitig treffen, und in Folge davon müssen beide, wie die Saitenhälften im letzten Versuche, gleichzeitig ihre Excursionen in derselben Richtung beginnen. Nun sind zwei Fälle denkbar. Entweder nämlich gehören die anschlagenden Luftwellen einem Tone an, der mit dem Eigetone des Trommelfelles bei dessen augenblicklich gegebener Spannung gleiche Höhe hat, sind also im Stande, letzteres zur Production resonirender Schwingungen zu veranlassen. In diesem Falle muss der jeder Trommelfellportion bleibende Rest von Bewegung, welcher sich mit dem durch die zweite Luftwelle neu zugeführten Bewegungsmomente zu einer verstärkten Bewegung summirt, durch die Einwirkung der gleichmässig verstärkten Bewegung der Nachbarportion um ein Beträchtliches reducirt, und so Resonanz und Nachklang auf das erforderliche Mass vermindert werden. Oder der Eigeton des Trommelfelles bei gegebener Spannung entspricht nicht dem durch die Luft zugeführten Tone; in diesem Falle kann die viel schwächere Schwingung jedes Trommelfellsegments auch nur im Verhältniss ihrer eigenen Stärke den Bewegungen des Nachbarsegments interferiren. Wenn nun nach meiner Deduction im vorigen §. $M + m$ fast $=$ war $M - m$, so gilt das, wie eine kurze Ueberlegung lehrt, noch viel mehr von $M + m - \frac{M + m}{\pi}$ und $M - m - \frac{M - m}{\pi}$. M und m haben hier dieselbe

Bedeutung, wie früher, π ist die Zahl, welche das Verhältniss der Schwingungen einer Trommelfellportion zu deren Effect auf die Nachbarportion bezeichnet. Können wir schon den Zeichen M und m keine wirklichen Zahlen substituiren, so gilt das noch mehr von π , welches eine wahrscheinlich je nach der Stärke der Contraction des Hammermuskels variable Grösse bezeichnet. Ueber die Art dieser Veränderlichkeit, deren genaue Kenntniss ohne Zweifel für uns vom höchsten Interesse sein würde, ist es mir leider unmöglich, mit den mir zu Gebote stehenden Mitteln genaue Untersuchungen anzustellen, und ich gebe die folgenden Sätze nur als Hypothesen, deren Bestätigung oder Widerlegung wir von späteren Bearbeitungen unseres Gegenstandes zu erwarten haben. Wie die im folgenden Abschnitte noch mitzutheilenden Untersuchungen zeigen werden, steigt und fällt die Empfänglichkeit des Hammers für die Trommelfellschwingungen mit der Span-

nung des Hammermuskels. Da nun die beiden Trommelfell-segmente ihre wechselseitige interferirende Einwirkung vermittelst des zwischen ihnen liegenden Hammerhandgriffes ausüben, so ist es wahrscheinlich, dass diese Einwirkung im gleichen Verhältnisse steigt und fällt. $\frac{M + m}{\pi}$ und $\frac{M - m}{\pi}$

würden sich also direct verhalten, wie die Anspannung des Muskels, π also umgekehrt, wie diese Spannung. Würde nun in Folge einer Vergrösserung der letzteren die eigentliche Excursionsweite des Trommelfells (die Wirkung der Interferenz abgerechnet), also $M + m$ und $M - m$ geringer, so würde gleichzeitig wegen der Verkleinerung von π die interferirende Einwirkung jedes Segmentes auf das Nachbarsegment, also $\frac{M + m}{\pi}$ und $\frac{M - m}{\pi}$ grösser werden. Das Resultat würde dann

sein, dass die Verkleinerung der Excursionsweite des Trommelfelles und damit der zum Schneckfenster fortgeleiteten Luftwellen durch die Interferenz bedeutender ausfiele, als das sonst der Fall sein würde. Die weiteren Folgerungen aus diesen Daten würden in einem späteren Abschnitte, in dem von dem Ablauf der Schallwellen im Labyrinth die Rede sein wird, ihre Erledigung finden, wenn uns nicht die Menge der auf den letzteren Gegenstand bezüglichen Thatsachen, deren Wirkung wir wohl im Ganzen und Grossen angeben, aber nicht zum Zweck einer präcisen Berechnung verwerthen können, in einen solchen Embarras de richesse versetzte, dass es mir wünschenswerth erschiene, dort alle nicht für die Begründung meiner Theorie durchaus unentbehrlichen Untersuchungen bei Seite zu lassen.

§. 9. Kehren wir zu meiner früheren Behauptung zurück, dass in Folge der besonderen Lagerung des Hammerhandgriffes eine jedenfalls bedeutende Beschränkung der Resonanz im Trommelfell stattfinden muss, so ist es leider aus Gründen, die Jedem, der den Versuch macht, bald klar werden, nicht thunlich, die hier deducirte Ansicht auch an einer gespannten Membran nachzuweisen. Bei dem Versuch mit einer gespannten Saite gelang der Nachweis vorzüglich mit Hilfe des Gesichtsinnes, bei der gespannten Membran sind wir auf das Gehör beschränkt und das giebt uns zu wenig sichere Auskunft. Nichts desto weniger muss ich bei meiner Annahme, der keine Erscheinung am gesunden Ohre widerspricht, beharren, bis ein Gegner derselben eine Eigenschaft des Trommelfells nachweist,

welche den physicalischen Process, den ich zu schildern versucht habe, unmöglich macht. Neben den beiden aufgeführten Momenten, welche die Resonanz da, wo sie vorkommen kann, auf ein sehr geringes Mass zu reduciren bestimmt sind, ist ein drittes, schon mehrfach angedeutetes, nicht zu übersehen, welches dieselbe für eine grosse Abtheilung sämmtlicher in der Natur vorkommender Töne ganz unmöglich macht. Ich erinnere an die bekannte Regel, dass ein elastischer Körper nur solche Töne durch Resonanz verstärkt, deren Höhe der seines Eigentones gleich oder sehr nahe steht. Nun ist aber der Grundton des Trommelfelles auch bei der schwächsten Spannung, wie wir uns an möglichst frischen Leichen leicht überzeugen können, zu hoch, um der grösseren Menge von Tönen, die wir vernehmen, zu entsprechen. Und doch sind wir sehr wohl im Stande, auch auf die tiefsten Töne, mit Ausschluss gleichzeitiger höherer, willkürlich unsere Aufmerksamkeit zu richten, und sie dadurch deutlicher zu vernehmen. Ich glaube also wohl berechtigt zu sein, die vielfach vertheidigte Annahme, wonach die Seele in der verschiedenen Anspannung des Trommelfells ein Mittel zur deutlicheren Wahrnehmung eines besonderen Tones besitzen soll, vorläufig zu bezweifeln. Indessen setze ich das Endurtheil über diesen Punct noch bis zu einem späteren Theile dieser Schrift aus, da die stärkere und schwächere Spannung des Trommelfells neben ihrem Einfluss auf Resonanzfähigkeit noch andere sehr wichtige Modificationen des acustischen Processes bedingt, welche für die Beantwortung der Frage nicht minder entscheidend sind.

IV. Uebergang der Schallwellen auf das Manubrium mallei.

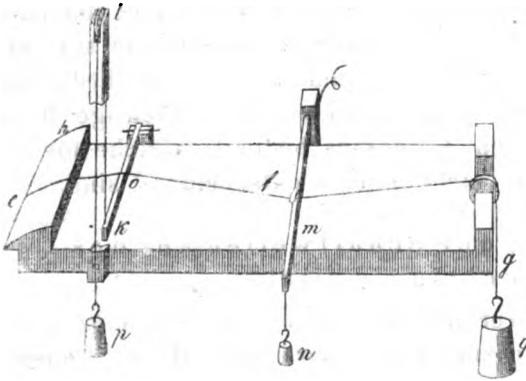
§. 10. Neben der Vermittlung einer zur Resonanz tauglichen Spannung des Trommelfelles wird dem Hammermuskel ziemlich allgemein eine andere Function zugeschrieben. Er soll nämlich durch seine Contraction jede zu heftige Einwirkung der Schallwellen auf das Ohr hindern. Dieser scheinbar erwiesene Satz dürfte indessen, wie wir sehen werden, mehr als zweifelhaft sein. Keinenfalls kann der Versuch genügen, mit welchem Müller denselben zu beweisen glaubte.

Müller *) spannte über ein Hörrohr eine elastische Membran, und bemerkte, dass bei stärkerer Spannung derselben

*) A. a. O. 485.

durch einen den Hammer vertretenden Hebel das mit dem Rohre in Verbindung gesetzte Ohr, die die Membran treffenden Töne schlechter hörte, als bei geringerer. Bei diesem Versuche, der nur für die Luftleitung beweisend sein kann, wurde nicht berücksichtigt, dass dieselbe doch jedenfalls hinter der durch die Gehörknöchelchen vermittelten an Stärke zurücksteht. Der Hammer war wohl am künstlichen Trommelfell vorhanden, aber Ambos und Steigbügel, und besonders deren unmittelbare Verbindung mit dem Labyrinthwasser, die gerade Ursache des intensiven Ueberganges der Schallwellen auf das letztere ist, waren durch keine Vorrichtung vertreten. Wenn Müller nun gleich durch seinen Versuch erwiesen hat, dass das stark gespannte Trommelfell gleich intensive Luftwellen schlechter auf die Luft der Trommelhöhle überträgt, als ein schwach gespanntes, — seine Excursionen, welche die Uebertragung vermitteln, werden ja kleiner, — so folgt daraus noch gar nicht, dass auch die Einwirkung auf den Hammer bei starker Spannung geringer ausfallen muss. — Bei den Untersuchungen, die ich hierüber anstellte, ging ich von der Betrachtung der gespannten Saite aus.

Versuch V. Ich benutzte den in Fig. 2 dargestellten Apparat. Die



Grundlage des Ganzen bildet ein dickes, möglichst wenig elastisches Brett; die Saite efg ist am festen Stege h fixirt, über eine Rolle geführt, und durch das Gewicht q gespannt. Ein beweglicher Steg k, der dem Hammerhandgriffe entspricht, wird durch ein mittelst eines Fadens und der Rolle l auf ihn einwirkendes Gewicht p

unter der Saite gedrückt. In Schwingungen versetzte ich die letztere dadurch, dass ich das mit verschiedenen grossen Gewichten belastete Stäbchen m rasch zurückzog; es gab hierbei die Grösse des Gewichtes n die Verhältnisszahl ab für die Stärke des einwirkenden Stosses. Mit dem Stege k setzte ich zuletzt ein in der Figur nicht vorhandenes Blättchen Papier in Verbindung, auf welches ich Samen *lycopodii* streute, um durch dessen Bewegungen mich von dem Grade der Erschütterung zu überzeugen, in den der Steg durch die Schwingungen der Saite versetzt wurde. Da die Grösse des Winkels, den die Saite in o bildete, durch das Verhältniss der Gewichte p und q, dagegen ihre Spannung allein durch q bestimmt wurde, so bot mir dieser Apparat bei all seiner Unvollkommenheit den Vortheil,

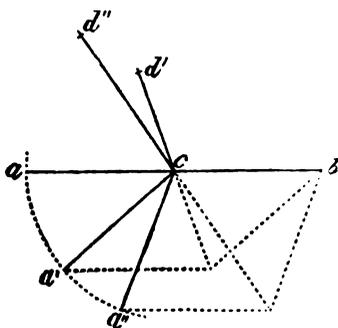
dass ich die Wirkung der stärkeren Spannung von der der stärkeren Saitenkrümmung in α trennen konnte, einen Vortheil, den mir spätere Versuche mit dem künstlichen Trommelfell nicht boten. Aus mehreren im Wesentlichen übereinstimmenden Versuchsreihen wähle ich zwei, und theile deren Durchschnittsresultat in tabellarischer Ordnung mit. Die oberste Horizontalreihe der Tabelle enthält die Grösse von p in Drachmen, die erste Vertikalreihe zur Linken die Grösse von q in Unzen. Die übrigen Reihen enthalten die Verhältnisszahlen der beim Wechseln der Grösse von p und q zum Abwerfen des Samen *lycopodii* nöthigen Grösse von n .

	2	4	6	8	10	12	14	16
16	3,30	4,15	5,10	6,10	7,30			
18	2,45	3,80	5,25	6,40				
20	2,40	3,65	5,30	6,30	4,90	5,05	5,40	5,45
22	2,40	3,60	4,85	6,25	7,40	7,70		
24	2,20	3,10	3,95	5,65	5,65			
26	2,10	3,75	3,80	4,80	5,00	5,35	5,70	5,90
28	2,00	3,75	3,40	4,15	4,35	4,70	4,95	5,20
30	1,85	2,45	3,10	3,20	4,45	4,70	4,95	5,00
32	1,85	2,45	2,90	3,05	3,45	3,90	4,30	4,50
34	1,50	2,45	2,50	2,55	3,10	3,55	3,60	3,75
36	1,50	2,50	2,55	2,65	2,70	3,20	3,30	3,35
38	1,20	1,50	2,55	2,70	2,95	3,40	3,50	3,65
40	1,20	2,30	2,35	2,90	3,00	3,00	3,15	3,50
42	1,25	1,80	1,90	1,95	2,65	2,65	2,95	3,15

Zwei Quellen von Irrthümern, wodurch der Genauigkeit meiner Versuche Abbruch geschieht, hat der Leser sicher schon bei der Betrachtung des oben beschriebenen Apparates entdeckt. Der eine liegt in der Benützung des Bärappsamens zur Sichtbarmachung der Schwingungen des Steges k . Jeder, der ähnliche Versuche gemacht hat, weiss, dass ein gleich starker Stoss das aufgestreute Pulver nicht immer mit gleicher Leichtigkeit abwirft, indem die grössere oder geringere Menge des Pulvers, seine Vertheilung auf der erschütterten Fläche, und manche andere Umstände auf die grössere oder geringere Beweglichkeit desselben von wesentlichem Einflusse sind. Der andere Irrthumsquell liegt in der Art, wie ich die Saite in Schwingung versetzte. Die Stärke des Stosses muss auch bei gleicher Grösse des Gewichtes n dennoch schwanken wegen der unvollkommenen Glätte des Vorspranges, vermittelst dessen das Stäbchen die Saite niederdrückt, sowie wegen der wechselnden Geschwindigkeit, mit der dasselbe weggezogen wird. Da ich indessen mehrere Versuchsreihen mit ganz ähnlichem Erfolge anstellte, so glaube ich annehmen zu dürfen, dass ungeachtet der in der Tabelle sich zeigenden Unregelmässigkeiten das Ergebniss doch bis zu einem gewissen Punkte vollkommen sichere Schlussfolgerungen zulässt. Folgendes scheint festzustehen: 1. Vergrösserung von p bei gleichbleibender Grösse von q , also bei Verkleinerung des von der Saite in α gebildeten Winkels setzt die Empfänglichkeit des Steges für die Saitenschwingungen herab. — 2. Vergrösserung von q bei gleichbleibender Grösse von p , also mit Vergrösserung des Winkels α erhöht die Empfänglichkeit des Steges. — 3. Gleichzeitige Vergrösserung von p und q bewirkt bald Erhöhung bald Verminderung seiner Empfänglichkeit, jenach-

dem das Verhältniss beider zu einander eine Vergrößerung oder Verkleinerung des Winkels α bedingt. Doch schien die Empfänglichkeit nicht schlechthin durch die Grösse dieses Winkels bestimmt zu werden, vielmehr bei übrigens gleicher Grösse desselben etwas zu steigen, wenn die Saite stärker gespannt wurde. Stellen wir z. B. n für die Fälle zusammen, wo $p = 4, 6, \text{ und } 8$ und $9 = 16, 24$ und 32 war, so finden wir drei Gewichtsverhältnisse, welche nothwendig für die Saite einen gleichen Krümmungswinkel bedingten. Denn $4:16 = 6:24 = 8:32$. Die Grösse von n war aber für diese drei Fälle nicht dieselbe, sondern, wie die Tabelle zeigt $= 4,16, 3,95$ und $3,05$. Von dem bedenklichen Einwand gegen die frühere Theorie, welchen uns dieses Resultat an die Hand gibt, werden wir noch weiter unten zu reden Gelegenheit haben.

§. 11. Berücksichtigen wir zunächst nur den Einfluss des Winkels α auf die Grösse von n und die zu ihr im umgekehrten Verhältniss stehende Receptivität des Steges, so bezeichne (Fig. 3) $cb = ac = a'c = a''c$ die Stärke der Spannung unserer Saite; für die durch den Steg bewirkte winkelförmige Krümmung derselben $a'cb$ und $a''cb$ finden wir nach dem Gesetze des Kräfteparallelogramms Richtung und Stärke der Spannung des Steges in den Linien $d'c$ und $d''c$. Wird c allein durch den beiderseitigen Zug der Saitenhälften nach a und b , also ohne Mitwirkung einer dritten Kraft fixirt, so ist seine Empfänglichkeit für



die Schwingungen der Saite am bedeutendsten. Denn die ihm mitgetheilten Bewegungen geschehen senkrecht auf die Richtung der spannenden Kräfte, also in einer Richtung, in der die ruhende Saitenhälfte — sowohl wegen ihrer auch bei stärkeren Excursionen des Steges nur geringen Verlängerung, als auch in Folge des ungünstigen Winkels, unter dem sie ihre Wirkung ausüben muss — dieselben nur wenig beschränken kann. Wird aber die Kraft von ac durch die gleichzeitig wirkende von $a'c$ und $d'c$ oder $a''c$ und $d''c$ ersetzt, so muss deren Einfluss auf c nothwendig in dem Masse wachsen, als diese Kräfte eine zum Geltendmachen ihrer Wirksamkeit günstigere Richtung haben. Auf das Minimum würden bei übrigens gleich starker Einwirkung der Schwingungen von cb die von c reducirt werden, wenn es möglich wäre, den Zug von $d'c$ und $a'c$ parallel mit der Bahn von c'' , also senkrecht auf cb , wirken zu lassen. Wir sehen also, dass die Grösse der

Beweglichkeit von c wesentlich durch die Grösse der Winkel bedingt ist, welche $a'c$ und $a''c$ einerseits und $d'c$ und $d''c$ andererseits mit der Schwingungsbahn des Steges bilden. Sie steigt und fällt mit diesen Winkeln; doch lässt sich aus unserer Tabelle bei deren vielfachen Unregelmässigkeiten nicht genau die Function der beiden Winkel angeben, welche *ceteris paribus* für die Grösse der Beweglichkeit massgebend ist.

Weniger leicht ist unsere zweite Erfahrung zu erklären, der zu Folge bei gleichbleibender Grösse des Krümmungswinkels die Receptivität des Steges mit Zunahme der Saitenspannung steigt. Dieser Umstand könnte, wenn nicht ein späterer Versuch dagegen spräche, als alleinige Folge der mit der stärkeren Spannung der Saite gleichzeitig veränderten Tonhöhe betrachtet werden. Denn angenommen, die Schwingungen des Steges blieben bei gleicher Grösse des Winkels α gleich beschränkt, oder würden selbst kleiner, so müssten sie doch auf das aufgestreute Pulver stärker bewegend einwirken, weil jede einzelne einen gleichen oder auch etwas kleineren Raum in viel kürzerer Zeit zu durchmessen hat, als bei geringerer Spannung. Diese mittelbare Wirkung einer stärkeren Spannung liess sich in unserem Versuche von einer etwaigen andern, und wahrscheinlich mehr unmittelbaren, Wirkung der vergrösserten Elasticität der Saite auf den Steg nicht trennen. Doch geschah diese Trennung in einem späteren Versuche mit dem künstlichen Trommelfell, dessen Spannung erhöht wurde ohne gleichzeitige Veränderung des auf dasselbe einwirkenden Tones, und wenn ich daher in unserem letzten Versuche die Wirksamkeit der Tonerhöhung nicht ablängnen kann, so steht doch auch fest, dass neben ihr die gesteigerte Elasticität der Saite ohne Rücksicht auf die Tonhöhe die Receptivität des Steges erhöhte. Eine sichere Erklärung dieses Vorganges ist mir gegenwärtig nicht möglich; ich beschränke mich daher auf Anerkennung der Thatsache, und versuche, die Consequenzen derselben für unsern concreten Fall zu erläutern.

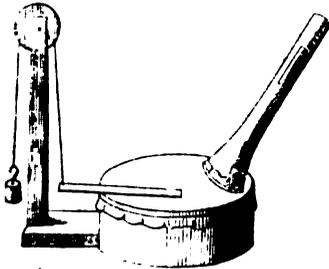
§. 12. Denken wir uns eine Saite, welche nicht, wie die unseres Versuches, durch ein über eine Rolle geleitetes Gewicht, sondern etwa vermittelt eines feststehenden Wirbels gespannt ist, so wird ihre Krümmung am Stege in einem gewissen Verhältnisse zu ihrer Spannung stehen müssen. Mit stärkerer Anspannung des Steges nämlich wird nicht allein die Krümmung der Saite stärker, sondern gleichzeitig auch ihre Spannung, die letztere jedoch in einem Verhältnisse, das von

dem Anwachsen der Krümmung sehr verschieden ist. Entfernt sich der die Grösse der letzteren bestimmende Winkel noch wenig von $2 R$, so kann er durch Einwirkung auf den Steg sehr beträchtlich verkleinert werden, ohne eine verhältnissmässig sehr merkliche Erhöhung der Saitenspannung. Je spitzer er wird, um so mehr dreht sich das Verhältniss um, und denken wir uns die ideale Grenze dieser Verkleinerung des Winkels, oder den Punct, wo beide Saitenhälften parallel neben einander liegen, so wird keine, auch nicht die stärkste Spannung eine weitere entsprechende Verkleinerung des Winkels bewirken können. Es wird also eine Anspannung des Steges, so lange sie einen Winkel bedingt, der nur wenig kleiner ist als $2 R$, immer seine Receptivität mindern: wird der Winkel allmählig kleiner, so tritt ein Punct ein, wo sich die Wirksamkeit der Saitenspannung und des Winkels das Gleichgewicht halten, und über diesen Punct hinaus gewinnt die erstere im immer steigenden Verhältnisse das Uebergewicht, und jede weitere Spannung des Steges erhöht seine Receptivität. Wo dieser Punct eintritt, das hängt wesentlich von der Elasticität der Saite ab, und zwar in der Art, dass er um so später eintritt, je stärker bei gleichem Querschnitte ihre Verlängerung durch ein bestimmtes Gewicht ist. Bei unserer Saite würde er sich ungefähr berechnen lassen, nicht so aber beim Trommelfell. Denn abgesehen davon, dass dessen Dimensionen eine Messung seiner Elasticität sehr erschweren und ungenau machen müssten, ist auch noch besonders zu berücksichtigen, dass es nicht nach zwei Seiten, sondern allseitig flächenförmig ausgespannt ist, was einen sehr merklichen Einfluss auf die Grösse seiner Dehnung durch spannende Kräfte voraussetzen lässt.

§. 13. Nichts desto weniger glaube ich mit einiger Wahrscheinlichkeit annehmen zu dürfen, dass jede Spannung des Hammermuskels eine Erhöhung der Receptivität des Hammers bedingt. Den Grund dafür finde ich in der ziemlich beträchtlichen Concavität des Trommelfelles am Manubrium mallei. Sollte der Muskel das Ohr in der Art vor intensiven Schallwellen sicher stellen, wie die Kreisfasern der Regenbogenhaut das Auge vor zu starkem Lichte schützen, so müsste derselbe, um diesen Zweck mit möglichst geringem Kraftaufwande zu realisiren, im Zustande der Ruhe lang genug sein, um dem Trommelfell die Herstellung einer ganz ebenen Fläche ohne alle Concavität möglich zu machen. Eines weiteren

Nachweises der Richtigkeit meiner Behauptung bedarf es wohl nach dem im vorigen §. Gesagten nicht.

Versuch VI. Auch mit einem künstlichen Trommelfell habe ich Versuche über die vorliegende Frage angestellt. Die Membran des in bestehender Fig. 4. dargestellten Apparates



war von Kautschuck und liess, da diese Substanz jedenfalls eine ganz andere Elasticität besitzt, als die elastischen Fasern des Trommelfelles, keinen durchaus gültigen Schluss für das letztere zu. Dennoch waren diese Versuche insofern von grossem Interesse, als sie mit Sicherheit nachweisen, dass bei einer dem Trommelfell in seiner Verbindung mit dem Hammer ähnlichen

Vorrichtung eine Erhöhung der Receptivität des letzteren durch stärkere Spannung wirklich stattfinden kann. Dass es sich so verhält, zeigte sich sehr deutlich an den Bewegungen des feinen Sandes, womit ich den auf die Membran geklebten Stab unmittelbar bestreut hatte. Man darf zur Tonerregung natürlich nur solche Instrumente wählen, bei deren Anwendung nicht neben den Tonwellen noch ein störender Luftstrom auf das Trommelfell einwirkt. Der letztere würde den aufgestreuten Sand fortblasen und gleichzeitig das Trommelfell stärker spannen, was der Richtigkeit der Beobachtung grossen Eintrag thun müsste. Ich benutze die in der Fig. dargestellte, unten mit einem gespannten Kautschuckhäutchen luftdicht geschlossene Zungenpfeife mit seitlich liegender stabförmiger Zunge. Dass ich die Zungenpfeife immer in möglichst gleicher Lage zum Trommelfell hielt, und mit möglichst gleich starken Tönen operirte, bedarf wohl keiner Erinnerung. Das Resultat meines Versuches war für mich um so überraschender, als ich bis dahin Müller's Ansicht, so wenig sie auch von ihm erwiesen sein mochte, für die richtige gehalten und den letztvorhergehenden Versuch bei nur oberflächlicher Betrachtung seines Ergebnisses für einen Beweis zu Gunsten jener Ansicht angesehen hatte.

V. Schwingungen der Gehörknöchelchen.

§. 14. Dass es vorzugsweise die Gehörknöchelchen sind, welche die Erzitterungen des Trommelfelles auf das Labyrinthwasser übertragen, und dass in einem nur geringen Grade die Luft der Trommelhöhle an dieser Function theilnimmt, ist so ziemlich allgemein anerkannt. Auch über die Form ihrer Bewegungen scheint die Ansicht seit Müller's Untersuchungen *) festzustehen, obgleich die Lagerung dieser Theile eine wesentlich andere ist, als sich in dem von Müller zur Demonstration seiner Ansicht benutzten Apparate findet. Abgesehen von dieser Verschiedenheit, welche die Annahme eines ganz verschiedenen

*) A. a. O. 483.

Verhaltens sehr nahe legt, war es meine abweichende Ansicht über den Unterschied zwischen primären und secundären Schwingungen, die mich veranlasste, die Untersuchung über diesen Punct aufzunehmen. Die wesentlich anderen Resultate, welche ich erhielt, theile ich im Folgenden mit.

Versuch VII. Zunächst suchte ich mich durch die sinnliche Anschauung von dem Mechanismus der Bewegungen des Hammers in Kenntniss zu setzen. Da ich am menschlichen Ohre wegen seiner Kleinheit diese Anschauung nicht gewinnen konnte, so benutzte ich zu meinem Versuche das in Fig. 5. dargestellte künstliche Trommelfell, eine über einen runden hölzernen Rahmen gespannte Kautschuckplatte von ungefähr drei Zoll Durchmesser. Das darauf festgeklebte Stäbchen ab war in der Art gekrümmt, dass es, wie der Hammer im menschlichen Ohre (abgesehen von dessen Dornfortsatze) nur mit beweglichen Theilen in Berührung war, und ebenso vor jeder Hemmung seiner Bewegungen durch den Rand des Rahmens sichergestellt wurde, als der Hammer vor jeder Berührung mit der knöchernen Wand der Paukenhöhle. Erregte ich nun Ersitterungen dieses Stäbchens durch Luftwellen, die ich auf die Kautschuckplatte wirken liess, so war leicht zu sehen, dass dessen beide Enden in sehr starke Oscillationen versetzt wurden, während ein zwischen beiden bald a bald b näher liegender Theil verhältnissmässig in Ruhe blieb.



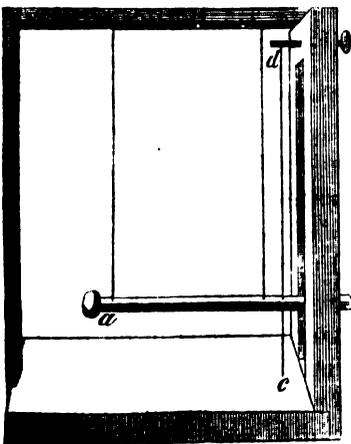
Ich hatte hier also Bewegungen eines zweiarmigen Hebels vor mir. Die Lage des Drehpunktes wurde zum Theil durch die Excursionsweite der verschiedenen Portionen der Kautschuckplatte, zum Theil durch die Massenvertheilung im Stäbchen bestimmt; mit der Verrückung des Bewegungsmaximums der Kautschuckplatte musste daher nothwendig auch der Drehpunct verrückt werden, so dass es mir nicht möglich war, seine Lage durch aufgestreuten Bärlappsamen nachzuweisen. Auch das menschliche Trommelfell kann, so klein es ist, und so sehr der äussere Gehörgang die Richtung der einfallenden Schallstrahlen bestimmt, bald an diesem, bald an jenem Puncte vorzugsweise stark erschüttert werden, und es müsste nothwendig auch der Drehpunct des Hammers auf das Vielfachste schwanken, wenn sich nicht Vorrichtungen fänden, welche ein solches für unsere Schätzung der Schallintensität sehr nachtheiliges Schwanken unmöglich machten. Denn es wird in jedem Falle die Einwirkung des Hammers auf den Ambos um so stärker sein, je weiter der Drehpunct des ersteren von seiner Gelenkfläche entfernt liegt, um so schwächer, je mehr er sich derselben nähert. Dass sich eine Compensation dieses Uebelstandes in der Anordnung und dem Bau der Theile finden muss, ist sicher, da wir alle unser Ohr treffenden Laute

mit einer ihrer wirklichen Intensität proportionalen Stärke vernennen. Um über die Art dieser Compensation ins Klare zu kommen, stellte ich Versuche an, deren Resultat im Folgenden vorliegt.

Versuch VIII. Ich hing einen $1\frac{1}{2}$ Fuss langen, gleichmässig dicken hölzernen Stab an zwei gleich langen, oben convergirenden Fäden auf, so dass ihm die möglichste Beweglichkeit um seinen Schwerpunkt in der Horizontalebene gesichert war. Den so schwebenden Stab versetzte ich in langsamere und schnellere horizontale Oscillationen durch Stösse, welche abwechselnd beide Saiten seines einen Endes trafen. Er führte ähnliche Hebelbewegungen aus, wie das gekrümmte Stäbchen ab im vorigen Versuche. Der Drehpunkt lag dem Schwerpunkte des Stabes um so näher, je langsamer, und um so ferner, je geschwinder die Stösse erfolgten, fiel jedoch immer, wie die folgenden Versuche noch weiter zeigen werden, vom gestossenen Punkte aus gesehen, jenseits des Schwerpunktes.

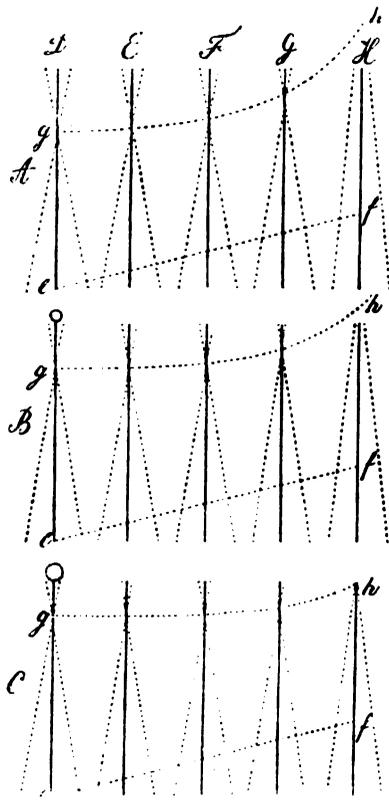
Versuch IX. Ich setzte mit Hülfe des unter dem nächsten Versuche noch näher zu beschreibenden Apparates einen, an zwei oben convergirenden Fäden aufgehängten, Stab an seinem einen Ende mit einer tönenden Saite so in Verbindung, dass deren Oscillationen dem Stabe mitgetheilt wurden. Es handelt sich darum, zu ermitteln, ob auch bei der Einwirkung von Stössen mit der Geschwindigkeit von Tonwellen die Schwere des Stabes noch wirksam genug wäre, um den durch die Trägheit (ich setze hier *anticipando* eine Annahme als richtig voraus, die erst unten bewiesen werden muss) bedingten Drehpunkt merklich zu verrücken. In diesem Falle musste der Drehpunkt bei tieferen Tönen dem Schwerpunkte näher liegen als bei höheren. Ich stimmte die Saite in D, D und F. Der Stab hatte eine Länge von 11 Zoll. und in allen drei Fällen war die Entfernung des durch aufgestreuten Sand sichtbar gemachten Drehpunktes vom freien Ende des Stabes dieselbe, nämlich $3\frac{1}{4}$ Zoll.

Versuch X. Ich benutzte zu diesem Versuche den in Fig. 6. dargestellten



Apparat, dessen Zusammensetzung deutlich genug ist, um nur wenige erklärende Worte nöthig zu machen. An zwei hier nicht nach oben convergirenden, sondern der bequemeren Manipulation wegen senkrechten Fäden ist der 11 Par. Zoll lange, überall gleich dicke hölzerne Stab ab aufgehängt, an dessen Ende a nach den Umständen eine Kugel von grösserem oder geringerem Gewichte befestigt werden kann. Am Ende b oder nach Befinden der Umstände mehr oder weniger von demselben entfernt ist der Stab mit der durch einen Wirbel gespannten Saite cd so fest verbunden, dass deren Oscillationen als Stösse auf ihn einwirken,

und ihn in derselben Weise in Bewegung setzen, wie die Oscillationen des Trommelfelles den Hammer. Die in Fig. 7. zeigt die Form der Be-



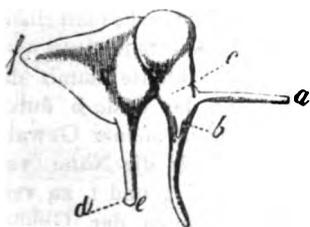
wegungen des Stabes in drei Horizontalreihen. Die oberste Reihe zeigt die Oscillationen des am Ende a nicht beschwerten Stabes; in der Reihe B ist dieses Ende mit einer kleineren, in der Reihe C mit einer grösseren Wachskugel fest verbunden. In allen drei Reihen bezeichnen die schwarzen Verticallinien die Ruhelage des Stabes, die punktirten, schräg nach oben convergirenden und zum Theil sich durchkreuzenden dessen je nach der Belastung des obern Endes und nach der Lage des mit der Saite verbundenen Punktes verschiedene Bewegungsformen. Der Wirkungspunkt der Saite ist vom unteren Stabende (b in der vorigen Fig.) um 0, 1, 2, 3 oder 4 Par. Zoll entfernt und fällt mit den Punkten zusammen, in denen sich die Verticalen und die Punctlinien ef durchschneiden. Die Lage des Drehpunktes des Stabes finden wir in den drei Horizontalreihen durch die Curve gh bezeichnet. Die Form dieser Curve wird bestimmt durch die verschiedene Lage der Angriffspunkte der Saite, und durch die ganz fehlende oder geringere oder grössere Belastung des

oberen Stabendes (a der vorigen Fig.) und deren Verhältniss zur Schwere des Stabes. Der Drehpunkt wird, wie die Figur zeigt, um so weiter nach oben verrückt, je weiter sich der Angriffspunkt der Saite vom unteren Ende entfernt, und zwar in einem Grade, dass er unter Umständen über das obere Stabende hinausfällt. So besonders in der Horizontalreihe A, Verticalreihe H. Die am Stabe befestigten Kugeln haben den Erfolg, die Verschiebung des Drehpunktes in beiden Richtungen, sowohl nach unten, als nach oben zu beschränken, wie der Vergleich der Curven gh in den drei Horizontalreihen zeigt.

Finden wir nun am *Hammer* eine bedeutende Massenvermehrung des vom Trommelfell entferntesten Endes, so können wir das wohl mit Recht für ein sehr wichtiges Mittel halten, einmal, um unregelmässige Verrückungen von dessen Drehpunkte zu vermeiden, dann auch, um zu heftige Einwirkung von Schallwellen, die den Hammer treffen, zu hindern. Eine solche Massenvermehrung finden wir nun in der That im Kopfe des Hammers, besonders in dessen Verbindung mit dem massenhaften Ambos, einer Verbindung, die eng genug ist, um letzteren in Beziehung auf die erwähnte Compensation als

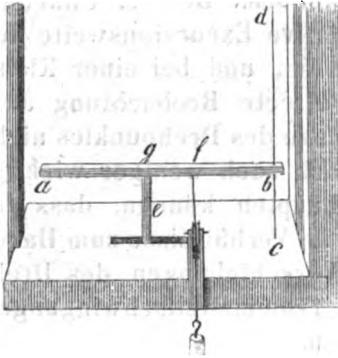
Theil des ersteren betrachten zu können. Bei der Unkenntniss, in der wir uns über die relative Excursionsweite der einzelnen Trommelfelltheilchen befinden, und bei einer Kleinheit des ganzen Organs, die jede directe Beobachtung ausschliesst, können wir natürlich die Lage des Drehpunktes nicht genau bestimmen. Es ist dies jedoch auch weniger wichtig, da wir immerhin mit Sicherheit behaupten können, dass die Masse des Hammerkopfes jedenfalls im Verhältnisse zum Handgriff beträchtlich genug sei, um Verschiebungen des Drehpunktes in Folge unregelmässiger Trommelfellschwingungen in sehr enge Gränzen einzuschliessen.

§. 15. Indessen finden wir zwei andere Theile im Ohre, welche den Drehpunct des Hammers durch ihre combinirte Wirksamkeit, aber nicht unregelmässig und darum störend, sondern in stetig und gleichmässig wachsendem Grade zu verrücken bestimmt scheinen. Es sind dieses der Dornfortsatz und der Hammermuskel, welche beide sich an den Hammer anfügen unterhalb des Ortes, wo wir der Configuration der Theile nach den Drehpunct vermuthen müssen. In Fig. 8 ist



c der vermuthliche Drehpunct, a der Dornfortsatz, b der Insertionspunct des Muskels. Die beiden letzteren werden durch ihren innigen Zusammenhang mit den festen Wänden der Paukenhöhle zu Körpern, die weniger beweglich als die übrigen Theile des Hammers, auf diesen dieselbe Wirkung auszuüben geeignet sind, wie ein mit einer secundär schwingenden Saite in Berührung gebrachter fester Körper, der, wie wir wissen, an der Berührungsstelle sogleich das Entstehen eines Schwingungsknotens bedingt. Auch am oscillirenden Stabe unseres letzten Versuches lässt sich dieser Effect eines weniger beweglichen Körpers sehr deutlich nachweisen.

Versuch XI. Ich wurde zur Anstellung dieses Versuches durch die oben erwähnte Bemerkung von dem Einflusse der Schwerkraft auf die Lage des Drehpunktes bei sehr langsamen Bewegungen veranlasst. Es war nämlich zu vermuthen, dass der Processus spinosus, der nicht mit dem durch die Massenvertheilung bedingten Drehpunkte zusammenfällt, ähnlich wirken würde, wie die Schwerkraft. Das fand sich denn auch bestätigt. Benutzte ich den Apparat des vorigen Versuches und befestigte den Stab a b auf einem senkrechten e von elastischem Holze, (Fig. 9.) fest genug,



dass der erstere horizontale Hebelbewegungen nicht ohne Torsion des letzteren ausführen konnte, so fiel der Drehpunkt aller langsamen Bewegungen mit der Axe des torquirten Stabes zusammen, gerade wie im Versuche VIII mit dem Schwerpunkte; je schneller aber die Bewegungen wurden, um so mehr entfernte sich der Drehpunkt von c, und näherte sich in der Art des Versuches X dem Ende a. Wurde zuletzt der Stab durch eine gespannte Saite cd in Oscillationen versetzt, so fiel der Drehpunkt immer auf dieselbe Stelle in der Nähe

von a, ohne dass die verschiedene Tonhöhe der Saite, soviel ich beobachten konnte, darin einen Unterschied bewirkte.

Da der Dornfortsatz so ziemlich von der Mitte des Hammers ausgeht, und der Kopf des letzteren im Vergleich zum Handgriffe sehr dick und schwer ist, so muss der Drehpunkt mit Nothwendigkeit oberhalb des Ursprunges des ersteren liegen, und er muss ebenso, wie der verticale Stab unseres Versuches, bei jeder Schwingung eine Beugung erleiden, die übrigens durch die Einwirkung des Hammermuskels sehr beschränkt werden kann.

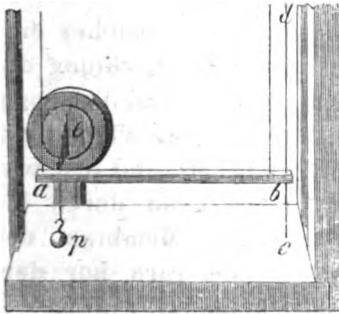
Versuch XII. Ich verband den Apparat des vorigen Versuches mit einem Kautschuckfaden, den ich an dem horizontalen Stabe in f befestigte und, über eine Rolle geleitet, durch Gewichte spannte. Ich ahmte damit die Einwirkung des Hammermuskels nach. Wurde nun das Ende b durch die Saite in Schwingung versetzt, so hatte ich es ganz in meiner Gewalt, durch Nachlassen des Kautschuckbandes den Drehpunkt in die Nähe von a, oder durch stärkere Anspannung desselben näher nach g und f, zu verlegen. Es ist hierbei noch, was für die Gelenkbewegungen der Gehörknöchelchen von Wichtigkeit ist, zu bemerken, dass mit der Annäherung des Kautschuckfadens an b und gleichzeitiger Anspannung desselben die Torsion des vertikalen Stabes stieg mit gleichzeitiger Abnahme seiner Beugung, mit seiner Annäherung an g dagegen die Torsion schwächer wurde mit gleichzeitig vermehrter Beugung.

§. 16. Was den *Ambos* anbelangt, so ist die Art seiner Massenvertheilung für die Regelmässigkeit seiner Bewegungen nur von geringerem Belange. In der That bedarf er auch keines Apparates zur Regulirung unregelmässiger Stösse, wie ihn der Hammer besitzt, da alle, auch die unregelmässigten, ehe sie zu ihm gelangen, bereits diesen durchlaufen haben, und von ihm regulirt worden sind. Es versteht sich, dass auch seine Bewegungen hebelartige Drehungen um einen zwischen seinem oberen und unteren Ende liegenden Drehpunkt sind, wie ich durch den folgenden Versuch noch des Weiteren nachzuweisen hoffe. Von sehr grossem Einflusse auf die Lage dieses

Drehpunctes ist dagegen der Steigbügel, der, unähnlich dem Amboskörper, welcher eine Verschiebung des Hammerdrehpunctes erschwert, vielmehr vermöge seiner Verbindung mit der Membran des ovalen Fensters und dem Steigbügelmuskel den Drehpunct des Amboses innerhalb ziemlich weiter Gränzen zu verrücken geeignet scheint.

Versuch XIII. Ich benutzte hiezu den in Fig. 6 dargestellten Apparat, modificirte aber den Versuch in der Weise, dass ich den Stab an demselben Ende belastete, an dem er von den Stössen getroffen wurde. Ich suchte hierdurch die möglichste Aehnlichkeit meines Versuches mit den wirklich gegebenen Verhältnissen zu erreichen. Denn auch der Ambosist sehr merklich stärker und schwerer an seinem oberen Ende, wo er von dem Hammer gestossen wird. Hier fand ich nun bei allen Graden der Belastung, dass der Drehpunct bei schnellen Stössen an dieselbe Stelle fiel, wie bei dem nicht belasteten Stabe.

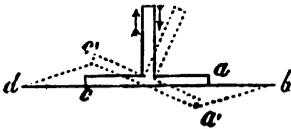
Versuch XIV. Der wie früher aufgehängte Stab a b (Fig. 10) wurde in b in der gewöhnlichen Weise mit der gespannten Saite cd verbunden. So lange der Stab in a frei blieb, war sein Drehpunct deutlich an dem Orte zu erkennen, wo er sich in früheren ähnlichen Versuchen fand. Um jedoch nicht bei dem Bekannten stehen zu bleiben verband ich ihn in a durch ein bewegliches Gelenk mit dem nach Analogie des Steigbügels auf einer Kautschuckmembran befestigten Hölzchen e. Das am letzteren angebrachte Gewichtstück



p ahmte den Steigbügelmuskel nach und spannte hebel förmig die Kautschuckmembran. Der Faden, der in a den Stab hielt, musste natürlich immer genau die Länge haben, um a mit e in genauer Berührung zu halten ohne das Hölzchen noch mehr, als es schon durch p geschah, durch die Schwere des Stabes niederziehen zu lassen. Wurde nun die Saite in Schwingung versetzt bei geringster Grösse von p, so übertrug der Stab die empfangene Bewegung sehr kräftig auf das Hölzchen e; mit steigender Grösse von p wurde die Bewegung von e immer schwächer, bis sie zuletzt gar nicht mehr wahrzunehmen war. Uebrigens war ich bei diesem Versuche ebenso wenig, als im Versuche VII, im Stande, die Lage des Drehpunctes sichtbar zu machen, konnte vielmehr auf dieselbe nur aus der relativen Excursionsweite der beiden Stabenden schliessen.

Diese Versuche zeigen uns, das wir auch beim Ambos es mit Hebelbewegungen eines zweiarmigen Hebels zu thun haben. Dass im letzten Versuche der Drehpunct nicht sichtbar gemacht werden konnte, macht die Sache nicht im Geringsten zweifelhaft. Denn sollte er jenseits des unteren Endes des Amboses liegen, so müsste die vom Stosse getroffene Gelenk-

fläche nicht an seinem oberen Ende, sondern seiner Mitte nahe liegen. Findet das nicht gestossene Ende des der Untersuchung unterworfenen Körpers ein Hinderniss seiner Bewegung, sei es durch Belastung oder Spannung eines elastischen Widerstandes, so rückt freilich der Drehpunct diesem Hinderniss näher, aber erreicht oder überschreitet es nie, so lange nicht die aus dem Versuche X bekannte sehr bedeutende Verlegung des Stosses stattfindet. — Der Stab unseres Versuches, wie der Ambos, finden dieses Hinderniss in einer festeren oder weniger festen Fixirung des künstlichen und natürlichen Steigbügels. Je stärker beide angezogen werden mit gleichzeitiger Spannung ihrer Membranen, um so unbeweglicher werden sie, und zwar wohl aus demselben Grunde, der in einem der früheren Versuche die Empfänglichkeit des Steges für die Schwingungen der über ihn gespannten Saite minderte. Denn begreiflicher Weise haben die Membran des ovalen Fensters und die Kautschukmembran unseres Versuches eine günstigere Lage zur Beschränkung der in der Richtung der beigezeichneten Pfeile (Fig. 11) stattfindenden Oscillationen,



wenn sie in der Richtung $a'b$ und $c'd$, als in der Richtung ab und cd wirken. Dieser Erfolg kann durch die Verschmälnerung der Membran des ovalen Fensters nach vorn nur dem

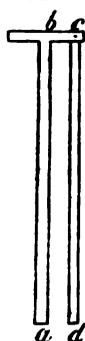
Grade nach, nicht aber in seinem Wesen geändert werden.

So sicher wir nun überzeugt sein dürfen, dass die Schwingungen des Ambos gerade so, wie die des Hammers in Form von Hebelbewegungen geschehen, so wenig ist es doch möglich, die Lage des Drehpunktes auch nur mit einiger Sicherheit zu bezeichnen. Wir kennen keines der Verhältnisse, die diese Lage bestimmen, nicht die Elasticität der Membrana fenestrae ovalis, und besonders wissen wir nicht, wie stark sich im Leben unter Umständen der Steigbügelmuskel contrahiren kann. Nur das können wir nach dem Obigen mit Gewissheit behaupten, dass Contraction des Muskels den Drehpunct nach unten, seine Erschlaffung ihn nach oben verrückt.

§. 17. Indessen würden wir im Irrthum sein, wenn wir die hier mitgetheilten Untersuchungen über die Schallbewegungen der beiden Knöchelchen getrennt, wie sie vorliegen, für erschöpfend halten wollten. Wir haben schon gesehen, wie der Steigbügel auf den Ambos zurückwirkt; in ähnlicher Weise, wenn auch nicht so merklich, sind die Bewegungen

des Hammers an den Widerstand des Steigbügels geknüpft. Ein vollkommen klares Bild von der Bewegung jedes Einzelnen erhalten wir nur, wenn wir sie in ihrem Zusammenwirken betrachten.

Versuch XV. Mit Hilfe des aus den letzten Versuchen schon bekannten Apparates hing ich die beiden Stäbe ab und dc (Fig. 12.) in gleicher



Höhe horizontal neben einander auf. Der Stab dc war in c durch ein bewegliches Gelenk mit dem an a b unbeweglich angefügten Querholzchen verbunden. Auf das Ende a wirkte in bekannter Weise die Saite, und nöthigte durch ihre Oscillationen zunächst das Stäbchen ab zu Bewegungen um einen Drehpunkt, und durch seine Vermittlung auch dc. Diesen Drehpunkt bezeichnete ich mir in beiden, und befestigte darauf an das Stäbende d eine Wachskugel. Durch ihre Einwirkung wurde sehr merklich nach Analogie früherer Versuche der Drehpunkt von dc nach d verückt, aber in einem geringen Grade auch der Drehpunkt von ab nach b. Die Wachskugel entsprach in ihrer Wirkung einer Contraction des *Musc. stapedius*. Dass sie auch auf die Lage des Drehpunktes von ab zurückwirkte, war genau genommen nicht befremdlich, da sie durch Gewichts- und somit Trägheitsvermehrung des Stabes dc nothwendig auch die Bewegungen eines Körpers beschränken musste, welcher jenem irgend welche Bewegung mittheilen sollte. Diese Bewegungsbeschränkung spricht sich eben durch Annäherung des Drehpunktes an das Hebelende aus, auf welches die Beschränkung oder die Last zunächst einwirkt.

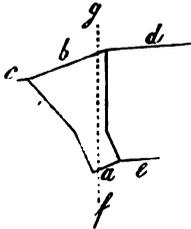


Es finden also die fast gleichzeitigen Bewegungen der beiden Enden jedes der beiden grösseren Gehörknöchelchen während einer einfachen Schwingung nicht, wie Müller will, in derselben Richtung Statt, sondern in der Art der Fig. 13, die übrigens nach allem Gesagten keine Erläuterung bedarf.

§. 18. Weniger leicht ist am *Steigbügel* zu ermitteln, ob seine Schwingungen primäre sind, oder durch Hebelbewegungen zu Stande kommen. Seine Lage zu beiden Seiten der Directionslinie der Schallstrahlen vom Ambos aus gerechnet, die nur durch Contraction des Muskels etwas geändert wird, lässt uns das erstere vermuthen. Aber die Verschmälerung seines Saumes nach vorn lässt uns auf der andern Seite vermuthen, dass derselbe am vorderen Rande der Basis, wie für die später zu erörternden grösseren Bewegungen, so auch für die Schallbewegungen des Steigbügels ein Hypomochlion bilden, durch dessen Widerstand die Bewegung zu einer für verschiedene

Theile der Basis ungleich weiten, also zu einer secundären werde. Der darüber angestellte Versuch war indessen dieser Vermuthung nicht günstig.

Versuch XVI. Ich spannte das steigbügelförmige Brettchen ab (Fig. 14) zwischen den Saiten c, d und e dergestalt ein, dass es von demselben in horizontaler Lage gehalten wurde. c versah dabei die Function des vorderen schmälern Theils des Steigbügelsaumes, d die des hinteren breiten Theils desselben und e die des Steigbügelmuskels. Auf das Ende a liess ich in einer mit fg parallelen Richtung die Schwingungen einer senkrecht gespannten Saite wirken. Auf das Brettchen aufgestreuter Sand wurde dadurch sehr lebhaft hin- und hergetrieben, und zwar parallel mit fg.



In der Stärke der Bewegung des Sandes war aber an keinem Punkte des Brettchens der geringste Unterschied wahrnehmbar; ebenso zeigt eine genaue Beobachtung der Basis des letzteren durchaus keinen Unterschied in ihrer Excursionsweite. Verkürzte ich c aufs Aeusserste, so blieb das Resultat dasselbe. Dies änderte sich erst, wenn ich mit dem Brettchen statt der Saite c einen festen Stab in Berührung brachte, welcher am Berührungspunkte einen Schwingungsknoten und für die ganze Basis die Bildung secundärer Schwingungen veranlasste.

So entmuthigend dieses negative Resultat auf den ersten Blick erscheint, so halte ich es doch nicht für einen genügenden Grund, meine Ansicht ganz aufzugeben. Es wird allerdings dadurch bewiesen, dass der Unterschied in der Excursionsweite der beiden Enden der Basis unseres Brettchens zu gering ist, um mit den gebräuchlichen Mitteln sichtbar gemacht zu werden. Lässt sich indessen am Steigbügel eine Vorrichtung nachweisen, deren Vorhandensein uns das Stroben der Natur zeigt, einen ähnlichen durch die verschiedene Breite des häutigen Saumes bedingten Unterschied zu compensiren, so können wir daraus mit grosser Wahrscheinlichkeit einen Schluss zu Gunsten meiner Ansicht ziehen.

Ich finde diese Vorrichtung in der verschiedenen Form der beiden Schenkel des Steigbügels. Die vordere (Fig. 15) ist gerade, und muss den Antheil von Schallwellen, der ihm vom Capitulum übertragen wird, ziemlich ungeschwächt der Basis überliefern; der hintere ist gekrümmt, und muss einen durch die Stärke seiner Krümmung bestimmten Bruchtheil der empfangenen Wellen an die Luft der Trommelhöhle abgeben. Es ist dies keine Hypothese, sondern für andere gekrümmte Schalleiter schon längst erwiesen. Ebensoviele also, als das vordere Ende der Basis durch Verschmälerung des Saumes an Schwingungsweite ver-



liert, wird sehr wahrscheinlich deren hinterem Ende von vorn herein weniger mitgetheilt. Die Bewegungen der Basis bleiben dem zu Folge primäre, wenn auch nicht ihrer Entstehung, doch ihrer äusseren Form nach. Die beiden Vorrichtungen bedingen einander wechselseitig, so dass eine ohne die andere nicht fehlen darf (vgl. Anmerk.); die erste aber, welche gleichzeitig bei Contraction des M. stapedii die Spannung der Membrana tympani secundarii ändert, findet wahrscheinlich ihre endliche Erklärung in dem besondern Ablauf der Schallwellen im Labyrinthwasser, wovon unten ein Mehreres. — Wie sich das nun aber auch verhalten möge, immer wird jeder Schenkel eine gewisse Bewegung auf die Basis übertragen. Was die von Harless *) hervorgehobene Kreuzung beider Wellentheile in der letzteren betrifft, so kann man diese freilich nicht in Abrede stellen; indessen finde ich hierin keine wirkliche, sondern nur eine scheinbare Verstärkung der Schallwellen; denn jeder Schenkel erhält auf seinen Antheil nur die Hälfte der übertragbaren Bewegung; führte jeder diese Hälfte nun auch unvermindert an den Ort ihrer Bestimmung, so würde doch die durch Kreuzung gebildete Summe beider Hälften nie mehr betragen können, als das ursprüngliche Ganze, als die Schallbewegung des Capitulum.

Anmerkung. Welchen Einfluss auf unsere Tonwahrnehmung die oft genug vorkommenden Regelwidrigkeiten in der Form des Steigbügels — wir finden beide Schenkel desselben gerade, beide gleich stark gekrümmt u. s. w. — haben können, ist nach dem Stande unserer Kenntnisse wohl kaum anzugeben. Ein sehr bedeutender Einfluss derselben ist nicht wohl anzunehmen, denn eine vorwiegende Excursionsweite der Basis des Steigbügels nach der Seite der Schnecke oder der Bogengänge kann doch höchstens die Folge haben, dass die entsprechenden Theile von überwiegend starken Schallwellen getroffen werden.

§. 19. Ich habe, um mir den Vorgang recht deutlich sichtbar zu machen, bei mehreren Versuchen sehr langsame Bewegungen der Tonschwingungen substituirt. Es bedarf das wohl einer Erläuterung, die mit wenigen Worten gegeben ist. Beide unterscheiden sich nur durch die Geschwindigkeit ihrer Aufeinanderfolge, während sie sich in Beziehung auf das Verhalten der Molecüle bei jedem Stosse ganz gleich stehen. Das widerspricht einigermassen der gewöhnlichen Anschauungs-

*) Wagner's Hdwb. d. Physiol. IV, 371.

weise. Nach ihr wird die Erschütterung eines Körpers bei allen Arten von Schallschwingungen auf eine gewisse Entfernung in einer Zeit übertragen, welche im umgekehrten Verhältnisse dieser Entfernung und im geraden der Elasticität wächst und abnimmt, während man bei sehr langsamen, und in specie bei den gewöhnlichen Hebelbewegungen den Stoss und den ihm entsprechenden Effect auf jeden Theil des gestossenen Körpers als gleichzeitig betrachtet. So soll bei einem zweiarmigen Hebel die Last in demselben Momente ihre Bewegung beginnen, wo die Kraft auf den entgegengesetzten Hebelarm einzuwirken anfängt. Diese Anschauungsweise findet aber nur darin ihre Rechtfertigung, dass der Zeittheil, innerhalb dessen der gegebene Anstoss auf entferntere Theile übertragen wird, im Vergleich zu der Dauer der erzielten Totalbewegung verschwindend klein ist, während seine Grösse bei der Hervorbringung von Tönen in Rechnung gebracht wird. In der That aber ist Anstoss und Effect bei keiner der beiden Arten von Bewegung *gleichzeitig*, sondern hier wie dort durch einen Zeitraum getrennt, der durch Entfernung und Elasticität bestimmt wird. Wir können jedoch die Zeit, welche die Molecüle eines Gehörknöchelchens gebrauchen, um einen empfangenen Eindruck bis zum Ende desselben fortzupflanzen, hier ganz ebenso, wie bei langsamen Hebelbewegungen unberücksichtigt lassen, da es sich um Bewegungen handelt, auf deren Form und Dauer die Elasticität der bewegten Körper ohne wesentlichen Einfluss ist. Wie lange nach Einwirkung des Stosses auf den Hammer derselbe auf den Ambos, den Steigbügel und das Labyrinthwasser übertragen wird, das wird allerdings durch die Elasticität und Grösse der Knöchelchen bestimmt, und muss insofern auf die Grösse ihrer mit den Hauptbewegungen gleichzeitigen Beugungen von Einfluss sein, kann aber den Charakter dieser Hauptbewegungen selbst darum nicht ändern. In Beziehung auf diese letzteren betrachten wir daher die fraglichen Theile als unelastisch, starr, und erkennen für sie als formbestimmend nur ein Moment an, nämlich den Drehpunkt, dessen Lage durch den Angriffspunkt der einwirkenden Kraft, durch Verwachsung mit weniger beweglichen Theilen und durch die Trägheit gegeben ist.

§. 20. An Gründen für meine Behauptung fehlt es nicht. Knüpfen wir wieder an die Grundlage unserer Untersuchungen, den von der Saite in Schwingung versetzten Stab, an, so dürften die folgenden die wichtigsten sein :

1. Die Bewegungsform unseres Stabes ändert sich nicht mit der grösseren oder geringeren Spannung der Saite, wenn deren Bewegungen nur schnell genug sind, um den Einfluss der gleichzeitig einwirkenden Schwerkraft auf die Lage des Drehpunktes unmerklich zu machen.

2. Ebenso wenig wird seine Bewegungsform durch Aenderung seiner Länge an Elasticität geändert. Eine scheinbare Ausnahme machen die Fälle, wo der Drehpunkt durch Anheftung eines Gewichtes an einem Ende des Stabes diesem genähert wird. Aber das Gewicht ist von gleich grosser Wirksamkeit, mag es wenig elastisch, etwa von Wachs, oder von Metall sein, wenn es nur in beiderlei Material die gleiche Schwere hat.

Wenn die Elasticität des Stabes die Ursache der Bewegungsform wäre, so müssten beiderlei Abänderungen, sowohl veränderte Spannung der Saite, wie Verlängerung oder Verkürzung des Stabes, eine Veränderung der relativen Längen beider Hebelarme zur Folge haben. Denn es würde ein Theil der in den Stab eingetretenen Wellen von dessen Ende reflectirt werden, und sich, wie bei resonirenden Luftscalen ein oder mehrere Knotenpunkte bilden, welche mit der Länge des Stabes und der Tonhöhe auf das Vielfachste ihre Lage veränderten. Es bleibt uns zur Erklärung der gefundenen That-sachen nur die Trägheit der von den Saitenbewegungen nicht unmittelbar getroffenen Molecüle, welche diesseits und jenseits des Drehpunktes, je nach ihrer Entfernung von denselben kräftiger oder schwächer einander entgegenwirkend, in ihm ihren Indifferenzpunkt findet. — Damit ist übrigens, wie schon oben angegeben, das gleichzeitige Vorhandensein von primären Schwingungen, als unmittelbarer Fortpflanzung des Stosses, nicht ausgeschlossen. Dieselben müssen auch ihre eigenthümlichen, mit dem Drehpunkte gewöhnlich nicht zusammenfallenden Schwingungsknoten bedingen, welche aber wegen der überwiegend starken secundären Schwingungen nicht sichtbar gemacht werden können. Man könnte nun glauben, dass bei der jedenfalls geringen Weite der secundären Schwingungen in den grösseren Gehörknöchelchen die primären viel mehr in den Vordergrund treten müssten. Das ist eben aus dem Grunde nicht anzunehmen, weil diese secundären Schwingungen nur wegen der Kleinheit derer des Trommelfells so klein ausfallen, und von der Grösse der letzteren ebenfalls die Grösse der primären abhängig ist.

Es könnte hiermit die Frage nach der alle geschilderten Erscheinungen bedingenden Grundkraft als erledigt betrachtet werden, wenn sich dem nicht eine gewichtige Autorität widersetzte, wichtig genug, um uns zu einer weiteren Untersuchung zu veranlassen.

§. 21. Savart hat an einerseits eingeklemmten, andererseits mit einer oscillirenden Saite verbundenen Brettchen durch Darstellung der Knotenlinien mittelst aufgestreuten Sandes Bewegungen nachgewiesen, welche zum Theil mit denen unseres Stabes grosse Aehnlichkeit zeigen. E. H. und W. Weber *) halten dieselben für primäre, und ich sehe mich durch diese meiner Behauptung widersprechende Annahme zu einer vergleichenden Zusammenstellung der fraglichen, wenn auch etwas modificirten Versuche mit den meinigen veranlasst.

Versuch XVII. Ich benutzte meinen Stab, A und B (Fig. 16.) 11 Zoll lang, 3 Lin. breit und dick, ein Brettchen, C, $8\frac{3}{4}$ Zoll lang, $\frac{3}{8}$ " dick und 3 Zoll breit, und ein zweites Brettchen, D, E, F und G, $5\frac{1}{2}$ Zoll lang, $1\frac{1}{8}$ Zoll breit, $\frac{1}{2}$ Zoll dick. Der Stab war in der Weise meiner früheren Versuche mit der vertikal gespannten Saite verbunden. Versetzte ich dieselbe durch Streichen mit dem Violinbogen in

Schwingung, so erhielt ich mittelst aufgestreuten Sandes eine der Länge nach laufende Knotenlinie wie in A, durch Zupfen einen Knotenpunkt, wie in B. Das grössere Brettchen, mit der vertical gespannten Saite verbunden, zeigte eine Klangfigur, wie in C, durch eine in Savarts Weise dagegen horizontal gespannte Saite in Schwingung versetzt, warf es von seiner oberen wie unteren Fläche allen Sand ab. Das kleinere Brettchen, mit der vertikalen Saite in Verbindung gesetzt, producirte, mochte ich die letztere durch Streichen mit dem Violinbogen oder durch Zupfen in Bewegung setzen, eine Klangfigur, wie in G. In D, E und F haben wir Klangfiguren, welche auf demselben Brettchen durch Schwingungen einer horizontal gespannten Saite erzeugt wurden, und zwar bei D und E, wie die Striche a andeuten, vermittelt Streichens in horizontaler Richtung.

*) Wellenlehre, S. 546, fgg.

Die Klangfiguren waren verschieden, je nachdem eine solche auf der mit der Saite unmittelbar verbundenen Fläche, wie in D, oder auf der entgegengesetzten, wie in E, gebildet wurde. Wurde die Saite senkrecht gestrichen, so erhielt ich eine Klangfigur, wie in F. In D, E und F war das der oscillirenden Saite entgegengesetzte Ende des Brettchens durch zwei andere über den Steg b geleitete Saiten fixirt, so dass diesem Ende noch eine mässige Beweglichkeit blieb. Schob ich den Steg unter dieses Ende selbst, so wurde bei meinem Versuche, unähnlich den Versuchen Savarts, keine Klangfigur gebildet, sondern aller Sand abgeworfen, oder derselbe häufte sich höchstens senkrecht über dem Stege etwas an.

Wie wir sehen, schliessen sich die Versuche mit den beiden Brettchen unseren früheren Versuchen mit dem Stabe so eng an, dass wir entweder die Annahme hebelförmig secundärer Bewegungen vom Stabe auch auf die Brettchen ausdehnen, oder sie für unseren Stab und somit für die Gehörknöchelchen aufgeben müssen. — „Sämmtliche in der Figur dargestellte Klangfiguren lassen sich sehr leicht auf Bewegungen des Stabes und der Brettchen reduciren, welche durch bestimmte Drehungsaxen und deren räumliches Verhältniss zu diesen Körpern bestimmt sind. Die erste derselben. *Axe I*, liegt etwas unterhalb derselben, parallel mit ihrer Längsaxe. Sie tritt überall da in Wirksamkeit, wo die Hölzchen mit der vertical gespannten Saite verbunden sind. Ihre Lage wird nicht allein durch die Trägheit der Hölzchen bedingt, sondern zum Theil durch das Verhältniss der Excursionsweiten der Saite, da wo sie von unten in das Hölzchen eintritt, und wo sie oben wieder austritt. Diese Excursionsweite muss nämlich wegen der Lage der Hölzchen in der Nähe des unteren Fixationspunctes an der unteren Fläche geringer sein, als an der oberen. Diese *Axe* bedingt die Bildung eines die Hölzchen der Länge nach in der Mitte bedeckenden schmalen Streifens. Die zweite, *Axe II*, liegt innerhalb der Masse der Hölzchen gleichfalls parallel mit deren Längsaxe. Sie findet sich nur dann, wenn die Hölzchen mit der horizontal gespannten Saite verbunden und diese horizontal gestrichen wird. Ihre Lage wird durch die Trägheit bestimmt, und findet sich, vom Befestigungspuncte der Saite aus gerechnet, jenseits der Längsaxe. Die durch sie bedingte Klangfigur gleicht der bei *Axe I*. Die Drehungsaxe *III*, geht senkrecht durch die Hölzchen, schneidet also die vorige rechtwinklig. Sie bestimmt die Bewegung in allen Fällen, wo ein Hölzchen mit der vertical gespannten, oder mit der horizontal gespannten und horizontal gestrichenen Saite verbunden ist, wird in ihrer Lage durch

die Trägheit der Hölzchen bestimmt, und lässt dieselbe durch die Bildung einer punctförmigen, grösseren oder kleineren Klangfigur erkennen. Axe IV endlich durchschneidet den Kreuzungspunct der beiden vorigen in einer auf beide senkrechten Richtung, liegt also quer horizontal, wird, wie schon ihre Lage zeigt, durch die Trägheit der Hölzchen bestimmt, und bedingt ihrerseits die Bildung eines parallel und senkrecht über ihr liegenden, also theilweise mit der oben erwähnten punctförmigen Klangfigur zusammenfallenden Sandstreifens. Sie bestimmt die Bewegung der Hölzchen, wo die mit ihnen verbundene Saite horizontal gespannt und senkrecht gestrichen wird.

§. 22. So rein, wie hier beschrieben, werden jedoch die Klangfiguren nur in den wenigsten Fällen producirt. Die Ursachen davon sind verschieden. Zunächst wird ein Hölzchen, welches durch die Stösse der vertical gespannten Saite in Bewegung gesetzt wird, zur *regelmässigen* Drehung um die Axe I, nur durch ihre *genaue* Befestigung an die Saite genöthigt. Sollen die beiden längeren Ränder von C und G abwechselnd auf und ab oscilliren, so wird die Präcision dieser Bewegung wesentlich durch das Verhältniss ihrer Breite zu ihrer Dicke bedingt, weil die Länge des Hebelarmes, auf den die Kraft einwirkt, durch die Dicke, die Länge des für die Last bestimmten Hebelarmes durch die halbe Breite gemessen wird. Der Längsstreifen in G ist vollkommener ausgebildet, als in C, weil jenes im Verhältniss zur Breite dicker ist, als dieses. Am vollkommensten finden wir den durch die Axe I gebildeten Längsstreifen in A, wo Breite und Dicke gleich sind. Eine unregelmässige Schwankung neben der Drehung um die Axe II finden wir in E, und eine ähnliche Schwankung neben der Drehung um die Axe IV in F. In beiden Fällen gehen die gestrichene Saite, wie die beiden zur Fixirung dienenden von der unteren Fläche des Hölzchens aus, und erhalten dasselbe, wenn der Ausdruck hier gestattet ist, in einem mehr labilen, als stabilen Gleichgewichte. Ein Uebelstand, der, wie es in einem Theile des letzten Versuches vorkam, die Bildung einer Drehungsaxe ganz hindert, ist das Missverhältniss zwischen dem Gewichte des Hölzchens und der Spannung der Saite zum Nachtheil des ersteren, natürlich nur dann, wenn, wie in D, E und F, das erstere durch seine Befestigung an der Saite die Spannung derselben vermittelt, mit ihr gleichsam *ein* gespanntes Continuum bildet. Das Hölzchen muss schwer genug

sein, um die Bildung einer Knotenlinie vermöge seiner Trägheit zu erzwingen. Ist es leichter, so wird es in die Schwingungen der Saite mit hineingezogen und oscillirt überall, wenn auch nicht gleich weit, doch in gleicher Richtung mit derselben.

Diese alle sind regelwidrige Störungen des Experimentes. Andere Störungen sind regelmässig und durch die Combination von Drehungen um mehrere Axen bedingt. Ueberwiegt freilich eine derselben die andere um ein Bedeutendes, so wird eine unvermischte Klangfigur, und zwar eine der überwiegenden Bewegung entsprechende, hervorgebracht. Im Folgenden nenne ich die Axen, welche die zur Bildung der bezeichneten Klangfiguren nöthigen Bewegungen regulirt haben und jedesmal zuerst die Axe, welche vorzugsweise sich geltend gemacht hat. In A erkennen wir die Axen I und III, in B III und I, in C I und III, in D II, in E II und III, in F IV und in G I und III.

Wenn, wie wir oben gesehen haben, primäre Schwingungen mit dem fortgesetzten Stosse identisch sind, so ist leicht zu sehen, dass die hier beschriebenen keine primären sein können, und es bedarf das keines weiteren Nachweises. Freilich zeigten sich in Savart's Versuchen noch andere Klangfiguren, welche sich schwerlich durch Drehung um eine durch die Trägheit bestimmte Axe erklären lassen. Sie nehme ich natürlich von meiner Behauptung aus; ihre Erläuterung ist übrigens für unseren Zweck ohne Interesse. Nur das sei mir erlaubt beizufügen, dass in Savart's Versuchen das von der oscillirenden Saite entfernteste Ende der Brettchen eingeklemmt war. Dadurch konnten wohl die secundären Bewegungen, aber nicht so die primären beschränkt werden; es war also die Möglichkeit gegeben, dass die letzteren das Uebergewicht erhielten, und vor den ersteren sichtbar hervortraten.

§. 23. Wenden wir uns wieder zur speciellen Betrachtung unseres Stabes, so finden wir eine vollkommen zutreffende Analogie seiner Bewegungen mit Pendelschwingungen. Der Drehpunct des Stabes entspricht dem Drehpuncte eines natürlichen Pendels, der Punct, auf den die Saite wirkt, dem Schwingungspuncte. Ein scheinbarer Unterschied liegt darin, dass bei dem Pendel der Drehpunct und dessen Verhältnisse zur Masse und Conformation des Pendels den Schwingungspunct bestimmt, während in unseren Versuchen das Verhält-

niss umgekehrt ist. Bedenken wir indessen, dass bei jedem natürlichen Pendel, und namentlich beim Reversionspendel, beide Punkte ohne Veränderung der Schwingungsdauer mit einander verwechselt werden können, so fällt diese scheinbare Abweichung weg. Die Fig. 17 mit dem nebenstehenden Schema erläu-

	Schwingungspunct.	Drehpunct.		Einer Lagerung
c'				der beiden Punkte,
b'	1,	a	— —	a'
a'	2,	b	— —	b'
d	3,	c	— —	c'
c'	4,	d	— —	—
b	5,	a'	— —	a
a	6,	b'	— —	b
	7,	c'	— —	c
	8,	—	— —	d

läutert die Sache. Die Lagerung der beiden Punkte, wie 1 bis 4, würde beim Reversionspendel vice versa die Lagerung 5—8 entsprechen. Die Lagerung von c und c' in 3 und 7 setzt voraus, dass wir uns den natürlichen, also schweren Stab b'a durch den mathematischen, also nicht schweren Fortsatz c' b' verlängert denken; fällt die Lagerung des Drehpunctes mit c', der Schwingungspunct mit c zusammen, so oscillirt dagegen der Stab um den Drehpunct c, als wenn der Schwingungspunct in c' läge. Fällt einer der beiden Punkte mit d, der Mitte des Stabes, zusammen, so hört die Pendelbewegung im früheren Sinne auf, und die Bewegungen des Stabes werden parallele; so in 4 und 8. Um für den Vergleich dieser parallelen Bewegungen mit der früheren das Tertium comparationis zu finden, nehmen wir eine Verlängerung des natürlichen Stabes durch einen unendlich langen mathematischen Fortsatz an. Die Verbindung des einen Stabendes mit einem schweren Körper, oder seiner Mitte mit Körpern, die durch ihre Elasticität schweren Körpern analog wirken, modificirt die Sache nur in sofern, als dadurch der Drehpunct, und respective Schwingungspunct, näher nach der Gegend verschoben wird, die mit dem schweren oder elastischen Körper unmittelbar verbunden ist, und zwar auch in den Fällen, wo der fragliche Punct im Bereich des angefügten mathematischen Fortsatzes liegt. Am schon erwähnten Reversionspendel können wir ähnliche Erfahrungen machen.

Die verschiedene Spannung der schwingenden Saite konnte bei unseren Versuchen ebenso wenig die Lage des Drehpunctes ändern, wie der Schwingungspunct eines Pendels durch Ver-

mindering der Schwere auf hohen Bergen oder durch Vergrößerung derselben in der Nähe der Erdpole geändert wird.

VI. Gelenkbewegungen der Gehörknöchelchen.

§. 24. Ich habe schon mehrfach Gelegenheit gehabt, auf die akustische Bedeutung der beiden Spannmuskeln des mittleren Ohres hinzuweisen, ohne jedoch bislang angeben zu können, in welcher Weise die Thätigkeit beider combinirt gedacht werden muss. Wollen wir daraus, dass beide die Function haben die Excursionen der betreffenden Theile zu dämpfen, was ohnehin nur einen Theil ihrer Bestimmung ausmacht, schliessen, dass sie einander unterstützen müssen, so sprechen wir damit allerdings nur eine gegenwärtig allgemein angenommene Behauptung aus, deren Richtigkeit jedoch trotz der gewichtigen ihr zur Seite stehenden Gründe und Autoritäten sehr zu bezweifeln ist. Wenn ich es im Folgenden unternehme das Gegentheil zu behaupten und sie als Antagonisten hinzustellen, so kann natürlich von einer Begründung dieser Ansicht durch directe Beobachtung gar nicht die Rede sein. Indessen sind es gerade directe Beobachtungen, in denen die gangbare Meinung ihre Stütze findet. Mir ist es bei möglichst frischen Präparaten nicht gelungen, durch Anziehen der Sehne des Hammermuskels gleichzeitig das untere Ende des Amboses nach hinten zu drücken oder durch Anziehen des Steigbügelmuskels das Trommelfell zu spannen. Was indessen mir nicht gelang, kann recht wohl Anderen gelungen sein, und ich bin weit entfernt, die Wahrheit der betreffenden Behauptungen zu bezweifeln; aber die daraus hergeleiteten Folgerungen muss ich in Abrede stellen. Wir haben bei ihrer Würdigung zunächst zu berücksichtigen, dass auch in den Muskeln möglichst frischer Präparate die Todtenstarre oder eine weiter gehende Zersetzung Platz gegriffen hat, und dass in ihnen keinesfalls das feine Spiel stattfinden kann, das wir bei lebendigen Antagonisten finden. Im Leben braucht ein Muskel seinen Antagonisten weniger zu überwinden, als vielmehr der letztere schon durch vermindernten Nerveneinfluss erschlafft wird. Ich will es übrigens dahin gestellt sein lassen, in wie weit es selbst dem vorsichtigsten Experimentator gelingen wird, die fraglichen Muskeln mit der Zartheit anzuziehen, wie sie sich selbst in Folge des Nerveneinflusses contrahiren. Ich glaube annehmen zu dürfen, dass directe Beobachtung für die Entscheidung unserer Frage durchaus Nichts leistet, und stütze mich zur Begründung meiner

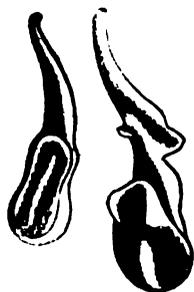
Ansicht auf Schlussfolgerungen aus der Form der Gelenke und auf das Gesetz, dass deren Bewegung und Form einander unwidersprechlich bedingen und zwar mit einer Sicherheit, dass wir überall, wo eines von beiden bekannt ist, das andere daraus construiren können.

§. 25. Das für uns hier besonders wichtige Gelenk ist das Hammer-Ambos-Gelenk; es muss, unterstützt von einer richtigen Würdigung der Configuration der übrigen Theile, uns mit vollständigster Sicherheit unsere Frage beantworten.

Betrachten wir zunächst die übrigen Theile. Was zuerst den Hammer betrifft, so kann er nach innen bewegt werden durch seinen Spannmuskel, nach aussen durch Wirkung des Trommelfells. Die Bewegung nach innen ist mit einer geringen Torsion und einer Krümmung des Dornfortsatzes verbunden. Die erstere ermöglicht eine stärkere Einwärtskehrung des Handgriffes, und ist vorzugsweise für die Schalleitung unmittelbar wichtig, die zweite nur mittelbar, aber um so wichtiger für die Gelenkbewegung, indem sie den Theil der Hammergelenkfläche, der früher mehr nach aussen lag, nach hinten dem Körper des Amboses entgegendreht. Eine Bewegung des Hammers von vorn nach hinten und zurück, sowie nach oben oder unten wird durch seine Verbindungen unmöglich gemacht.

Die Bewegungen des Amboses (Fig. 8, vgl. S. 97) werden vorzugsweise durch den Zug des Steigbügelmuskels von e nach d und die Lage der Gelenkfläche f bedingt, welche ihn mit dem Boden der Paukenhöhle verbindet. Die Form der ihr entsprechenden, dem Boden der Paukenhöhle angehörigen Gelenkfläche ist quer länglich, so dass sie keine Verrückung des horizontalen Fortsatzes nach oben oder unten, wohl aber nach vorn gestattet. Diese letztere kann nach Lage der Dinge nur dann vorkommen, wenn der Hammerkopf in Folge einer Beugung des Dornfortsatzes eine Dislocation nach innen und zugleich um ein Weniges nach vorn erleidet, ohne dass der Steigbügelmuskel etwas dazu beizutragen vermag. Dieser ist nur im Stande, entweder die Gelenkfläche f nach oben, oder, da das nicht angeht, den Körper des Amboses und dessen Gelenkfläche nach unten zu drehen.

Das Hammer-Ambos-Gelenk, welches uns noch übrig bleibt, hat eine länglich nierenförmige Gestalt (Fig. 18 und 19), deren längster Durchmesser schräg von unten und innen nach oben und aussen gerichtet ist, und zwar ist die dem Hammer angehörige Gelenksfläche, dessen leichter Längsaxendrehung beim Zuge des Hammermuskels entsprechend, in der Richtung dieses längsten Durchmessers stark convex. Dieser Convexität entspricht an der Gelenksfläche des Amboses



eine verhältnissmässige Concavität. Beides, Umriss und Krümmung der Gelenksflächen könnten uns immerhin noch über ihre Bewegungen in Zweifel lassen ohne eine schmale Längserhöhung der Ambos-Gelenksfläche, und ihr entsprechend eine schmale Längsrinne auf der Hammer-Gelenksfläche, beide in der Richtung des Längsdurchmessers derselben. Ich muss diese beiden Theile für wesentlich halten, da ich sie bei allen von mir untersuchten Knöchelchen vorgefunden habe. So lange nun der Hammermuskel unthätig ist, wird der Längserhöhung der Ambosgelenksfläche vorzugsweise die untere Hälfte der Längsrinne zugewandt, bei Contraction des Muskels dagegen, je nach der Stärke der damit verbundenen Drehung des Hammers, deren mittlerer oder oberer Theil. Das muss nothwendig, da, wie oben gezeigt, der Hammer sich nicht senken kann, eine Hebung des Amboskörpers zur Folge haben, und diese wieder eine Drehung des Processus longus nach vorn und damit eine Erschlaffung des Steigbügelmuskels. Wenn wir überhaupt jemals einer Gelenksform Bedeutung zuschreiben können, so steht unser Satz fest. *Sollten beide Muskeln sich gleichzeitig contrahiren können, so müsste der Längsdurchmesser der Gelenksflächen und deren Längserhöhung und Längsrinne nicht von unten und innen nach oben und aussen, sondern von unten und aussen nach oben und innen gerichtet sein.* Bei weiterer Ueberlegung wird übrigens der Antagonismus der Muskeln weniger sonderbar erscheinen, wenn wir bedenken, dass sie eine ihrer wichtigsten Functionen, die Verstärkung der Schallwahrnehmung, nur als Antagonisten leisten können.

VII. Die Trommelhöhle und ihre Anhänge.

§. 26. Wie vielfach man für die Luft der Trommelhöhle und ihre Anhänge die Function in Anspruch genommen hat,

durch Resonanz die Töne zu verstärken, ist bekannt. Ehe ich mich zur Besprechung dieser Ansicht wende, sehe ich mich veranlasst, eine Thatsache zu berühren, die den äusseren Gehörgang betrifft, also genau genommen ausserhalb der Grenzen der mir gestellten Aufgabe liegt. Da jedoch diese Thatsache auf dem Wege der Analogie, indem man sie mit dem allgemeinen Begriffe der Resonanz zu erklären meint, immerhin als Stütze für die präsumtive Resonanz der Trommelhöhle gelten könnte, so kann ich sie nicht ganz übergehen. — Jeden Laut, der dem Ohre durch die Kopfknochen zugeführt wird, so die eigene Stimme, den Ton einer mit den Zähnen in Berührung gebrachten Stimmgabel hören wir jedesmal, wenn wir den äusseren Gehörgang eines Ohres verstopfen, am deutlichsten mit dem verstopften Ohre. Hier liegt es nahe, eine stärkere Resonanz der im äusseren Gehörgange eingeschlossenen Luftmasse zu vermuthen. Harless*) hält, worin ich ihm nur beistimmen kann, alle bisherigen Erklärungen für unzulässig und nimmt hypothetisch an, dass diese stärkere Wahrnehmung des Tones vermittelt des verschlossenen Ohres nur scheinbar sei, indem wir, an das Hören von Lufttönen gewöhnt, die Gesetze desselben unbewusst auch auf die anwenden, welche dem Ohre durch die Kopfknochen zugeführt werden, und diejenigen für die intensivsten halten, die auch mit dem verschlossenen Ohre, also scheinbar durch hindernde Medien hindurch dennoch eben so deutlich gehört werden, wie mit dem offenen Ohre. So annehmbar diese Erklärung scheinen mag, so lässt sich doch nicht verkennen, dass sie, als eine Hypothese hingestellt, die genau genommen nur in dem Fehlen einer zuverlässigeren Erklärung ihre Stütze findet, wenig geeignet ist, uns zu befriedigen, und die Mittheilung des folgenden sehr einfachen Versuches über die angeregte Frage dürfte hier ganz an ihrem Orte sein.

Versuch XVIII. Ich setze die oscillirende Stimmgabel gegen die oberen Schneidezähne, und lasse sie abklingen, bis ich mit beiden nicht verschlossenen Ohren den Ton nicht mehr höre. Im Momente, wo die Tonempfindung aufhört, oder auch mehrere Secunden später, lege ich die Hand lose, also ohne das Ohr luftdicht zu schliessen, auf dasselbe, und der unhörbar gewordene Ton wird wieder sehr deutlich von mir vernommen. Dasselbe ist der Fall, wenn ich das Ohr luftdicht durch Niederdrücken des Tragus verschliesse. Dabei ist es vom höchsten Interesse, dass ich in diesem Falle den Ton am lautesten höre, wenn durch die Verschliessung die Luft des

*) Wagner's Handwb. IV, 329.

Gehörorgans möglichst wenig comprimirt wird. Findet durch stärkeres Niederdrücken des Tragus eine stärkere Compression der Luft Statt, so wird der Ton wieder gedämpft, ohne aber plötzlich wieder unhörbar zu werden.

Nach diesem Versuche muss ich mich gegen die Ansicht von Harless entscheiden. Die Verstärkung des Tones ist eine wirkliche. Denn um einem Tone die Qualität einer grösseren oder geringeren Stärke beizulegen, ist es vor allen Dingen erforderlich, uns seines Vorhandenseins bewusst zu werden. Wir werden uns also in unserem Versuche der Existenz eines Tones bewusst, den wir vorher beendigt glaubten. Um aber diese neue Empfindung uns zu verschaffen, dazu genügt doch sicher nicht die Selbsttäuschung. Es müsste sonst der Ton auch wieder hörbar werden, wenn wir im Momente, wo wir den äusseren Gehörgang verschliessen, die Schwingungen der Stimmgabel durch Berührung ihrer Schenkel dämpften; das geschieht aber nicht. Freilich kann ich wegen der invariablen und dabei geringen Grösse des äusseren Gehörganges keine gleich starke Resonanz von dessen Luftmasse für alle möglichen Töne statuiren, aber wohl eine vermehrte Zuleitung von Schallwellen durch die festen Theile, oder auch eine vermehrte Resonanz der letzteren. Zunächst nimmt die aufgelegte Hand die Schallwellen der Kopfknochen in sich auf, und vergrössert somit die resonirende Oberfläche. Ein Theil dieser Fläche, die Innenfläche der Hand, ist dem Ohre zugewandt, und muss auf dasselbe ähnlich wirken, wie eine nahe vorgehaltene Stimmgabel. Wird das Ohr durch Druck auf den Tragus luftdicht verschlossen, so wird das sowohl die Resonanz des letzteren verstärken, indem derselbe in seinem ganzen Umfange mit schwingenden Theilen in Berührung kommt, als auch eine Zuleitung der von ihm und den Wänden des Gehörganges auf die Luft übertragenen Schallwellen zum Trommelfell ohne Abschwächung vermitteln. Denn ist die Oeffnung des Gehörganges nicht geschlossen, so pflanzen sich die von sämmtlichen festen Theilen ausgehenden Schallwellen nicht allein auf das Trommelfell fort, sondern ein Theil derselben wendet sich nach aussen, und mindert die Wirksamkeit der übrigen noch durch die besondere Art seiner Reflexion an der offenen Mündung. Bei dieser Reflexion werden nach einem bekannten Gesetze Verdichtungswellen von Verdünnungswellen, und diese von jenen ausgelöst. Es laufen so in jedem Momente je zwei Wellen entgegengesetzter Dichtigkeitsgrade

in gleicher Richtung zum Trommelfell und mindern wechselseitig ihre Wirksamkeit durch Interferenz. Dieser Uebelstand fällt bei Verschluss des äusseren Gehörganges weg. Uebrigens treten, was wohl noch wichtiger ist, in Form und Spannung des Trommelfelles Veränderungen ein, die besonders zur Erklärung des schwächeren Gehörs bei starkem Druck auf den Tragus von Wichtigkeit sind. Doch wird die Betrachtung dieser Modificationen passender auf den §. verschoben, wo von der Tuba Eustachii gehandelt wird.

§. 27. Was die Behauptung einer Resonanz in der Trommelhöhle anbetriift, so würde ich sehr geneigt sein, dieselbe als ganz haltlos mit Stillschweigen zu übergehen, wenn nicht überall, wo die Acustik des menschlichen Ohres abgehandelt wird, von der Resonanz dieser und anderer Theile desselben, als höchst wichtig für das Gehör, noch die Rede wäre. Wenn man von einer Resonanz der Trommelhöhle spricht, so kann nur die zweite, von den Brüdern Weber*) statuirte, Art derselben gemeint sein, nämlich die, bei welcher ein begränkter Körper durch einen tönenden in so heftige Schwingungen versetzt wird, als er auch bei der vollkommensten Mittheilung, wenn er unbegränzt wäre, nicht vollbringen könnte. Das Mittel hierzu ist nach Angabe der genannten Forscher, dass die Schallwellen, die dem begränzten Körper mitgetheilt werden, von dessen Rändern oder Gränzen zurückgeworfen, sich mit einander und mit den von dem tönenden Körper fortwährend ausgehenden Schallwellen durchkreuzen. Nun ist es freilich unzweifelhaft, dass die vom Trommelfell ausgehenden Luftwellen nicht ohne Weiteres, wenn sie die knöchernen Wände der Paukenhöhle treffen, absorbirt werden, denn feste Körper nehmen Luftwellen nur in geringem Masse auf. Es wird daher geschehen, was sich nicht ändern lässt, die Luftwellen werden fast ungeschwächt zurückgeworfen werden. Aber damit sind noch nicht alle Bedingungen der Resonanz erfüllt. Die Wellen müssen mit einer solchen Regelmässigkeit zurückgeworfen werden, dass in Folge ihrer Durchkreuzung mit den neu anlangenden Wellen eine merklich grössere Verdichtung oder respective Verdünnung an den Kreuzungspuncten sich bildet, als ohne die Reflexion stattfinden würde. Das geschieht nun im stärksten Masse, wenn die Gränzen des resonirenden

*) Wellenlehre, S. 535 fgg.

Körpers eine regelmässige Form besitzen, die geeignet ist, entweder die zurückgeworfenen Wellen auf bestimmte Punkte zu concentriren, oder wenigstens ihre Zerstreuung zu hindern. Keine von beiden Bedingungen findet sich in den Grenzen der Paukenhöhle, in ihren knöchernen Wänden realisirt. Die oberflächlichste Betrachtung dieser Wände zeigt uns im Gegentheil, dass keiner ihrer Theile zur regelmässigen Reflexion geeignet ist, dass vielmehr von jedem Punkte aus sich Zerstreuungswellen bilden, deren einzelne Theile, in den verschiedensten Richtungen ablaufend, wenigstens der Hauptsache nach ohne Wirkung bleiben müssen.

Ueberhaupt würde eine solche Verstärkung der Schallwellen nur an zwei Punkten von Bedeutung sein können. Zunächst am Trommelfelle. Aber die Trommelhöhle hat im Verhältniss zur Länge der Luftwellen so geringe Dimensionen, dass diese Art der Verstärkung den Schwingungen des Trommelfells mehr hinderlich als förderlich sein würde. Denn sollen die letzteren durch reflectirte Luftwellen verstärkt werden, so müssen sie im Augenblicke, wo sie nach innen gerichtet, also durch eine von aussen kommende Verdichtungswelle bedingt sind, von einem reflectirten Wellentheile unterstützt werden, bei dem gleichfalls nach innen gerichtete Bewegung der Molecüle sich findet, also von einer Verdünnungswelle. Mutatis mutandis verhält es sich ähnlich bei Schwingungen des Trommelfells, welche einer von aussen einfallenden Verdünnungswelle entsprechen, also nach aussen gerichtet sind. Denn das Maximum der möglichen Bewegung eines schwingenden Körpers findet sich bei entgegengesetzter Richtung der Wellen nur da, wo eine Verdünnungs- und eine Verdichtungswelle einander treffen. Welche Dimensionen der Trommelhöhle zur Realisirung dieses Erfordernisses bei verschiedenen Tönen nöthig sein würden, lässt sich leicht berechnen.

Der zweite Punct, an dem eine Verstärkung durch Resonanz von Werth sein könnte, ist die Aussenfläche der Membrana tympani secundaria. Diese wird nur an einer Seite von Luftwellen getroffen, und es wäre daher auch eine Resonanz durch Summirung zweier Verdichtungs- oder zweier Verdünnungswellen wohl denkbar. Berücksichtigen wir aber, dass die fragliche Membran so versteckt gelagert ist, dass selbst ursprünglich vom Trommelfell ausgehende Luftwellen dieselbe nur auf einem Umwege treffen können, so werden wir von vorn herein geneigt sein, von jeder Resonanz in der ihm

zunächst liegenden Luftschicht zu abstrahiren. Ziehen wir noch die mehrfach erwähnte Erfahrung von der proportionalen Wahrnehmung der Intensität aller Laute im gesunden Ohre herzu, so sehen wir uns in die Alternative versetzt, entweder die Resonanz in der Trommelhöhle ganz aufzugeben, oder einen Mechanismus nachzuweisen, durch welchen die durch dieselbe bedingte Unregelmässigkeit in der Wahrnehmung der Schallintensität compensirt wird. Ich ziehe nach Massgabe der vorhergehenden Erörterung das erstere vor. Dass nach dem Obigen auch nicht von einer Resonanz durch die Cellulae mastoideae die Rede sein kann, begreift sich leicht. Ich betrachte dieselben nur als indirectes Hilfsorgan des Ohres, indem sie durch Vergrösserung der Luftmasse des Cavum tympani eine excessive Verdünnung oder Verdichtung derselben, und damit eine zu starke Einwärts- oder Auswärtsbeugung des Trommelfelles bei Verschluss der Eustachischen Röhre verhüten. Im Uebrigen sind die Zellen ein Mittel, das nach Art vieler anderen Aushöhlungen gewisser Knochen das Skelett möglichst leicht machen soll, ohne doch seine Festigkeit zu beeinträchtigen.

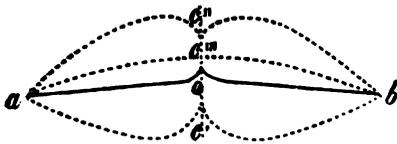
§. 28. Von den hypothetischen Functionen der vielbesprochenen Tuba Eustachii kann ich als acustisch wichtig nur eine anerkennen, nämlich die Vermittelung des für die Functionen des Ohres nöthigen Gleichheit des Luftdruckes auf beiden Seiten des Trommelfelles. Es ist dieser Nutzen unseres Organes durch leicht zu wiederholende Versuche so ausser Frage gestellt, dass ich ihn ganz übergehen würde, wenn mir der Mechanismus der fraglichen Leistung so einfach und unbedenklich erschiene, wie er gewöhnlich betrachtet wird.

Versuch XIX. Meine beiden Eustachischen Röhren sind in der Art verschieden gebaut, dass ich mit jedem Ohre nur einen der bekannten Versuche machen kann; eine starke Expiration bei geschlossener Mund- und Nasenöffnung comprimirt nur die Luft der rechten Trommelhöhle, eine starke Inspirationsbewegung verdünnt nur die Luftmasse im linken Ohr. Beide Procedures sind mit sehr hörbarem Zischen in dem gerade in Anspruch genommenen Ohre verbunden, und lassen in der Regel längere Zeit ein Gefühl von Spannung in demselben zurück. Ich schliesse, dass wenigstens bei mir sich Hyrtl's Behauptung bestätigt, wenn er sagt, dass die Tuben gewöhnlich geschlossen sind. Da jedoch dieser Verschluss unter gewöhnlichen Umständen nur durch ein loses Aneinanderliegen der Wandungen bedingt sein mag, so bewirkt er keine merkliche Schwerhörigkeit. Diese stellt sich erst in Folge der erwähnten Ex- und Inspirationsbewegungen ein, und zwar vorzugsweise auf dem rechten Ohre, also dem, dessen Luftgehalt bei dem Experimente verdichtet wird, weniger merklich auf

dem linken. Am letzteren beobachtete ich sogar in einem Falle beim Anstellen des Versuches eine geringe, aber merkliche Steigerung des Gehörs.

Versuch XX. Setze ich die tönende Stimmgabel gegen die oberen Schneidezähne, und presse, während sie allmählig verklingt, mittelst einer Expirationsbewegung bei geschlossener Nasenöffnung und herabgezogenem Gaumensegel Luft ins rechte Cavum tympani, so scheint es mir allerdings zuweilen, als hörte ich auf diesem Ohre den Ton der Stimmgabel weniger intensiv. In anderen Fällen dagegen bemerke ich gar keinen Unterschied. Verklingt der Ton, ehe die Luft aus dem Ohre wieder ausgetrieben wurde, und halte ich nun das noch oscillirende, aber durch Vermittlung der Zähne und Kopfknochen nicht mehr hörbare Instrument, in der Weise, wie bei einem früheren Versuche, gegen das äussere Ohr, so vernehme ich zwar den Ton aufs Neue, wie ich es früher für ein Symptom der nervösen Schwerhörigkeit in Anspruch genommen habe. Aber diese Tonwahrnehmung ist nicht so intensiv und dauert merklich kürzere Zeit, als in dem Versuche I. und zeigt uns damit, dass die augenblickliche Schwerhörigkeit, wenigstens zum grossen Theile, in einem abnormen Zustande der leitenden Medien mit Ausschluss des Labyrinthwassers ihren Grund haben muss.

Nichts ist leichter, als die Erklärung der beiden letzten Versuche, wenn man mit Müller von jeder stärkeren Spannung des Trommelfells pure Schwächung der Hörfähigkeit erwartet. Nach der von mir vertretenen Ansicht ist die Erklärung nicht so leicht, und mit Sicherheit überhaupt nicht zu geben. Nur Vermuthungen kann ich aussprechen. Zunächst bedingt Luftverdichtung und Verdünnung im mittleren Ohre stets eine stärkere Spannung des Trommelfells, und sollte somit jedesmal das Gehör schärfen. Aber diese stärkere Spannung verbindet sich nicht mit der normalen Convergenz der Trommelfellfasern am Manubrium mallei. Bei Luftverdichtung ist der Winkel dieser Convergenz sehr wahrscheinlich bedeutend kleiner, als wenn er das Resultat einer Muskelcontraction wäre (Fig. 20, a c' b).



Ist das wirklich der Fall, so muss Schwerhörigkeit die Folge sein. Dürfen wir ferner auch annehmen, dass Luftverdichtung

durch die passive Anspannung des *Musc. mallei*, von der sie begleitet wird, recht wohl auch eine Verlegung des Hammerdrehpunktes nach unten bedingen kann, so ist doch zu bedenken, dass diese Verlegung nicht so bedeutend sein wird, wie bei activer Contraction des Muskels. Denn sie ist in der Norm nicht allein von der Stärke des Muskelzuges abhängig, sondern eben so sehr von dem Grade der Beugung und Torsion

des Dornfortsatzes, welche beide bei passiver Spannung des Muskels jedenfalls wegfallen. Ob durch Luftverdichtung der Hammer jemals so weit nach aussen gedrückt werden kann, dass sein Kopf durch unmittelbaren Contact mit dem Trommelfellringe in seinen Oscillationen gehindert wird, dürfen wir wohl bezweifeln. Bei Einwärtsbeugung des Trommelfells durch äusseren Luftdruck ist die auch hier constante stärkere Spannung seiner Fasern allerdings nie von einer sehr spitzwinkligen Convergenz begleitet ($a c'' b$ der Fig.), ja manchmal scheint der Convergenzwinkel sogar abnorm gross zu werden ($a c'' b$ der Fig.). Daher nur geringe Schwerhörigkeit in den meisten Fällen, in einem sogar ein abnorm scharfes Gehör. Aber die Verlegung des Hammerdrehpunktes wird bedeutend eingeschränkt werden müssen durch die Reduction der Spannung des *M. tensor tympani* auf ein Minimum. Als letztes, aber sicher nicht am wenigsten wichtiges Moment dürfen wir auch den Zustand des Steigbügelmuskels nicht übersehen. Es ist mir sehr wahrscheinlich, dass er keinen durch die Luftverdichtung oder Verdünnung bedingten Spannungsgrad des Hammermuskels mit einem dessen jedesmaliger Länge entsprechenden Spannungsgrade begleitet, wie er für dessen durch Nerveneinfluss bedingte Torsion in dem Bau der Centralorgane des Nervensystems begründet ist. Denn der Antagonismus beider Muskeln dürfte nur im Verhältnisse ihrer Nerven seinen Grund haben, und somit die Thätigkeit des einen mit der relativen Unthätigkeit der Nerven des andern in untrennbarer Verbindung stehen. Das Verhalten anderer Antagonisten bei analogen Vorgängen darf uns nicht verleiten, die von mir supponirte Regelwidrigkeit für unmöglich zu halten. Freilich werden die Flexoren der Hand auch verlängert, wenn dieselbe durch äussere Gewalt und nicht durch die Thätigkeit der Extensoren gestreckt wird. Das ist durch den Bau des Handgelenkes mit Nothwendigkeit bedingt. Dass aber der Bau des Hammer-Ambos-Gelenkes nicht mit gleich zwingender Gewalt für alle Fälle ein ähnliches Verhalten fordert, wird wohl am besten dadurch erwiesen, dass die Nothwendigkeit eines Antagonismus zwischen den beiden Spannmuskeln so lange übersehen werden konnte.

In einem geringen Grade wird die hier verhandelte Schwerhörigkeit möglicher Weise auch durch den abnorm verstärkten oder verminderten Luftdruck, unter dem bei den beiden letzten Versuchen das Labyrinthwasser und durch dessen Ver-

mittlung der Hörnerv steht, bedingt sein. Das Ergebniss des Versuches XX war nicht klar genug, um über diesen Punkt entscheiden zu können.

Von der oben erwähnten normalen Verschlüssung der Tuben ist sowohl wegen der Art ihres Zustandekommens, als wegen ihrer acustischen Wirkungen, die pathologische, durch Schleimpfröpfe bewirkte wohl zu unterscheiden. Da dieselbe in den gewöhnlichen Fällen durch capillare Ansaugung des Schleimes zu Stande kommt, so ist sie mit Luftverdichtung in der Trommelhöhle und in Folge davon mit bedeutender Schwerhörigkeit verbunden. Die gleichfalls sehr oft damit compli- cirt abnorm verstärkte Wahrnehmung aller die Fauces durchlaufenden Geräusche bedarf bei der gleichzeitigen Schwerhörigkeit für äussere Töne ihres besonderen Erklärungsgrundes. Ich finde denselben einmal in der Bildung vieler, sonst gar nicht vorhandenen Geräusche durch Anstossen des Luftstromes an Schleimmassen, die in der Norm sich nicht vorfinden, dann aber auch in der Anfüllung der sonst geschlossenen Tuben mit einer für die Schalleitung wohlgeeigneten Masse.

VIII. Gesammteffect der bisher untersuchten Prozesse.

§. 20. Ein späterer Theil dieser Abhandlung wird es uns wahrscheinlich machen, was der aufmerksame Leser wohl schon aus dem Früheren geschlossen hat, dass ein grosser Theil der bis jetzt betrachteten Vorgänge nur im acustischen Verhalten des Labyrinthes seine genügende Erklärung finden kann. Ebenso aber kann eine Theorie des letzteren nur mit Zugrundelegung der richtig zusammengestellten Resultate der früheren Untersuchungen aufgebaut und gewürdigt werden. Der leichtern Uebersicht wegen fasse ich daher im Folgenden die Veränderungen in der Lagerung und Function der einzelnen Theile unsers Organes zusammen, welche durch die wechselnde Contraction der *Mm. tensor tympani* und *stapedius* bedingt werden. Construiren wir uns zuerst den nächsten Erfolg der Thätigkeit der beiden Spannungsmuskeln, so wird eine Contraction des Steigbügelmuskels mit gleichzeitiger Abspannung des Hammermuskels die Lagerung der beweglichen Theile und damit die Bedingungen ihrer schalleitenden Thätigkeit folgendermassen gestalten: der Handgriff des Hammers ist nicht weiter nach innen gezogen, als es durch die Torsionselasticität des Dornfortsatzes und den Antagonismus des Trommelfells gegen

dieselbe bedingt wird; die Fasern des letztern sind möglichst wenig gespannt und convergiren möglichst stumpfwinklig; der Dornfortsatz ist nicht nach innen gekrümmt, und daher der untere innere Theil der Hammergelenksfläche der entsprechenden Gelenksfläche des Amboses zugekehrt. Der lange Fortsatz des letzteren ist nach hinten gezogen und sein Körper nimmt im Verhältniss zum Hammerkopfe den tiefsten Stand ein; der Steigbügel ist mit dem hinteren Ende seiner Basis in den Vorhof, und in Folge davon die Membrana tympani secundaria nach aussen gedrückt. Der Drehpunkt des Hammers steht bei dieser Anordnung dem Kopfe desselben, der Drehpunkt des Amboses dem Steigbügel möglichst nahe. Contraction des Hammermuskels mit Abspannung des Steigbügelmuskels hat folgende Anordnung zur Folge: neben der grössern Spannung des Trommelfelles und einer mehr spitzwinkligen Convergenz seiner Fasern an dem nach innen gezogenen Manubrium mallei, finden wir die stärkste Torsion und Einwärtsbeugung des Dornfortsatzes. Dadurch wird der obere äussere Theil der Hammergelenksfläche dem Ambos zugewandt, und damit zugleich der Ausgangspunkt seiner Wirksamkeit am meisten nach oben verlegt. Der lange Fortsatz des Amboses ist durch die Elasticität der Membrana fenestrae ovalis nach vorn und sein Körper dem entsprechend durch die in Art einer Schraube wirkende Hammergelenksfläche nach oben bewegt. Die Membrana tympani secundaria ist durch Luftdruck nach innen gepresst und die Basis des Steigbügels nach aussen gewichen. Der Drehpunkt des Hammers ist der Insertion seines Spannmuskels, der des Amboses dessen Körper möglichst nahe gerückt.

Was die Stärke der Uebertragung der Schallwellen vom Manubrium mallei auf dessen Capitulum und den Amboskörper, und von da auf den Steigbügel und das Labyrinthwasser betrifft, so ist diese für jeden einzelnen Fall in der Lage der Drehpunkte und den dadurch bedingten Längenverhältnissen der Hebelarme nicht gegeben, aber doch angedeutet. Es werden also die Schallwellen des Trommelfells bei stärkster Contraction des Hammermuskels und schwächster des Steigbügelmuskels mit dem geringsten Intensitätsverluste auf den Hammer übertragen, und durch ihn auf die übrigen Knöchelchen fortgeleitet, weil in diesem Falle die Drehpunkte der Mitte der entsprechenden Knöchelchen am nächsten liegen; der Verlust an Schallintensität wird dagegen am grössten sein bei

Reihen von Mitteln, positiv und negativ wirkende auf. Zu den positiv wirkenden zählt R.: 1. erhöhte Temperatur, 2. zweckmässige Ernährung, 3. angemessene Ruhe, 4. selbst zweckmässig angewandte Reizung; zu den negativ wirkenden: 1. Beseitigung jeder schädlichen Reizung, 2. Vermeidung jeder abnormen Injection der Nachbartheile, 3. Wegschaffung der örtlichen und allgemeinen Anämie, 4. Belebung eines zu schlaffen Geschwürsbodens, 5. Beseitigung der Infiltration der Nachbartheile, 6. Abtragung lebloser abgestorbener Theile, so wie 7. Tilgung der Einwirkung deletärer Stoffe, 8. Berücksichtigung des Secretes, 9. Näherung der Geschwürsränder, 10. Beachtung der Constitutions-Anomalie, 11. der Dauer und sonstiger Beschwerden der Geschwüre. Mit steter Rücksichtnahme auf diese allgemeinen Indicationen entwickelt nun Verf. die Behandlung der einzelnen vorerst aufgestellten Geschwürsformen, und schliesst mit einem Anhang der Therapie des Erysipels und des Hospitalbrandes.

Aus diesen allgemeinen Umrissen ergibt sich, dass Verf. bemüht war, die umfangreiche Lehre von Geschwüren auf eine sichere Basis zurückzuführen, eine Basis, deren Grundpfeiler die Anatomie und Physiologie bilden. Verf. hat dabei alles, was die Neuzeit in dieser Richtung geliefert, sorgfältig benützt und dadurch Einfachheit wie Vollständigkeit erzielt. Welches Verdienst sich Verf. erworben, wird jeder beurtheilen, der die Verwirrung, welche in diesem noch weniger cultivirten Theile der Chirurgie herrschte, kennt.

Zur Vollständigkeit des Ganzen bliebe nur eine genaue Angabe der benützten Quellen und wenigstens ein kurzer Ueberblick der Literatur zu wünschen übrig.

E n t g e g n u n g .

So eben kommt mir die von Dr. Straeter „*ingesandte Berichtigung*“ im 43. Bande dieser Zeitschrift (Misc.) zu Gesicht, die mich beschuldigt, seine Knie-Streckmaschine unter anderer Form als eigene Erfindung usurpirt zu haben. Da ich aber die fragliche Maschine *nie als eine eigene Erfindung* ausgegeben habe, wie jeder Unbefangene beim Durchlesen meines klinischen Berichtes sich überzeugen wird, und zudem dieselbe seit dem Jahre 1838 (also vier Jahre vor der Naturforscher-Versammlung in Mainz 1842) in hiesiger Klinik (von Prof. Schwoerer angegeben) öfters angewandt wird, so reducirt sich mein Vergehen darauf, die Streckmaschine des Herrn Dr. Straeter nicht erwähnt zu haben; dass dies in meinem klinischen Berichte nicht geschehen ist, wird keiner Entschuldigung bedürfen.

Freiburg im December 1854.

Hecker.

Vierteljahrschrift

für die

PRAKTISCHE HEILKUNDE,

herausgegeben

von der

medizinischen Facultät in Prag.

Red.: **Dr. Jos. Halla**, Prof. d. zweiten medicinischen Klinik.
Dr. J. v. Hasner, a. o. Prof. d. Augenheilkunde.

Zwölfter Jahrgang 1855.

Zweiter Band

oder

Sechsendvierzigster Band der ganzen Folge.

(Mit 2 Kupfertafeln u. mehreren Holzschnitten.)

PRAG.

Verlag von Karl André.

Beiträge zur Physiologie des menschlichen Ohres.

Von Dr. A. Rinne in Göttingen.

(Schluss vom vor. Bande).

IX. Die Membranen des Labyrinthes.

§. 30. Dass die Schallwellen aus einem Körper in einen zweiten von niederer Elasticität und Dichte jedesmal nur theilweise übergehen, indem ein Theil derselben an der Gränze reflektirt wird, ist eine bekannte Sache. Dasselbe muss natürlich auch stattfinden bei Wellen, welche einerseits aus den Gehörknöchelchen, andererseits aus der Luft der Trommelhöhle auf das Labyrinthwasser übergehen. Doch hat Müller darzuthun gesucht, dass die bei diesem Uebergange stattfindende Minderung die Schallintensität in Folge gewisser Vorkehrungen, die im menschlichen Ohre getroffen sind, geringer ausfällt als sie ohne dieselben ausfallen würde. — Für die Schwingungen der Gehörknöchelchen bei ihrem Uebergange auf das Labyrinthwasser findet sich eine solche Vorkehrung in dem häutigen Saume des Steigbügels; dass derselbe durch Vergrößerung der schwingenden Fläche die Stärke der Wasserwellen im Labyrinth erhöhen muss, bedarf keiner Erläuterung, und ebensowenig, dass diese Verstärkung bei der sehr geringen Breite des Saumes höchst unbedeutend sein muss. Weniger leicht verständlich ist es aber, wie der Uebergang der Luftwellen der Trommelhöhle auf das Labyrinthwasser durch die zweite Vorkehrung, die Membrana tympani secundaria, erleichtert werden kann. Zum Nachweise dieser Thatsache haben Müller *) und Harless **) Versuche mitgetheilt, die, wie es mir scheint, allerdings die Möglichkeit einer Erleichterung des Ueberganges von Luftwellen auf Wasser durch Membranen unter gewissen Bedingungen nachweisen, nicht aber, dass diese Bedingungen sich bei der Membrana tympani secundaria finden. Die Kenntniss dieser Versuche setze ich vorläufig bei meinen Lesern voraus, und wende mich, ohne deren neue beizufügen, sogleich zu ihrer Deutung, in welcher ich keinem von beiden Autoren folgen zu dürfen glaube. Gleichzeitig füge ich die Deutung der Versuche bei, bei denen

*) A. a. O. S. 420—24.

**) A. a. O. S. 339 und 359.

ein dünnes Brettchen, oder eine gespannte oder nicht gespannte Membran den Uebergang der Schallwellen nicht von der Luft zum Wasser, sondern von Wasser zu Wasser vermittelt.

§. 31. Was zunächst die Erklärung betrifft, welche Müller von seinen Versuchen gibt, so soll die eigenthümliche Wirkung der Membranen von der Verschiedenheit und Elasticität ihrer Theilchen abhängen; von ihrem ausdehnungsfähigen Zustande soll es abhängen, dass sie die Luftwellen leicht aufnehmen, als wären sie selbst Luft, und leicht an das Wasser abgeben, als wären sie Wasser. Soll damit gesagt sein, dass Membranen sich sehr leicht den verschiedensten Schwingungen accommodiren, so müssen wir das allerdings nach den Erfahrungen, die wir z. B. an Zungenpfeifen mit membranösen Zungen gemacht haben, einräumen, insofern die so verschiedenen Schwingungen nicht gleichzeitig stattfinden. Aber eine Membran mit den von Müller behaupteten Vorzügen müsste *gleichzeitig* Elasticität und Dichte der Luft und Elasticität und Dichte des Wassers besitzen, was ein Widerspruch in sich selbst sein würde. Ist aber mit der Verschiedenheit und Elasticität der Membrantheilchen irgend eine noch nicht genauer definirbare Eigenschaft der Membran gemeint, so entzieht sich diese freilich vorläufig aller Kritik, kann aber auch bis zur genaueren Erläuterung des Sachverhaltes nicht als genügende Erklärung gelten. — Können wir Müller's Deutung als unverständlich nicht benützen, so müssen wir die von Harless versuchte ohne Weiteres, insofern sie sich auf eine unmögliche Prämisse beruft, definitiv verwerfen. Es ist dies die Annahme, dass durch die in Folge der Adhäsion zwischen Membran und Wasser bedingte Verdichtung des letzteren ein allmäliger Uebergang von dem dichteren Körper, der Membran, zu dem weniger dichten, Wasser hergestellt, und somit die durch Aenderung der Elasticität und Dichte veranlasste Reflexion eines Theiles der durchgehenden Schallwellen vermieden werde. Die Analyse des Herganges einer solchen Reflexion zeigt uns, dass es eines plötzlichen Sprunges von einem Elasticitäts- und Dichtigkeitsgrade zum andern gar nicht bedarf, um dieselbe zu ermöglichen, dass vielmehr schon das Minimum einer Verschiedenheit in Elasticität und Dichte eine der Grösse dieser Verschiedenheit proportionale Reflexion bedingt. Wird an der Gränze zwischen Membran und Wasser nur ein Minimum der durchgehenden Welle reflectirt, so findet schon in unendlich geringer Entfernung von der Membran die Reflexion eines ~~zweiten~~ Minimum Statt

u. s. f. Ist die Welle aber zu einem Punkte fortgeschritten, wo das Wasser in Besitz seiner normalen von der Einwirkung der Membran unabhängigen Elasticität und Dichte ist, so muss sich durch Summirung der nach einander reflectirten Minima dieselbe Abschwächung derselben herausstellen, welche beim plötzlichen Uebergange von der dichten Membran zum nicht comprimirt Wasser auf einmal eingetreten sein würde. In welche Entfernung von der Membran die Compression des Wassers reicht, lehren uns die Gesetze der Capillarität. Diese Entfernung ist nicht gross genug, um voraussetzen zu können, dass der mit dem Ohre des Experimentirenden verbundene Conductor die ihm zugeführten Schallwellen unmittelbar aus verdichtetem Wasser aufnehme, sondern diese Schallwellen werden ihn in den meisten Versuchen erst nach vollendeter Abschwächung durch allmälige Reflexion treffen. Nur in dem Falle, wo die den Conductor und die Membran begränzenden verdichteten Wasserschichten unmittelbar in einander übergingen, würde sich ein Unterschied zu Gunsten der wahrgenommenen Schallintensität herausstellen; aber dieser Unterschied würde bei der geringen Zusammendrückbarkeit des Wassers voraussichtlich zu gering sein, um durch die bisher gebräuchlichen Versuche nachgewiesen zu werden. Einer, der von Harless mitgetheilten und von mir oben citirten Versuche hat den Zweck, die Richtigkeit der im Obigen widerlegten Erklärung nachzuweisen. Es ist das eine Modification des Müllerschen Fundamentexperimentes mit der Pfeife ohne Seitenlöcher, welche Harless am unteren Ende, statt mit gewöhnlicher Wasser, mit einer in Oel abgeriebenen Membran verschloss. Wurde die Pfeife so auf die Oberfläche des Wassers gesetzt und angeblasen, so leitete der Conductor einen ebenso schwachen Ton zum Ohre, als wenn die Pfeife nicht durch eine Membran verschlossen gewesen wäre. Das Resultat war dasselbe, wenn Harless eine mit Wasser befeuchtete Membran zum Verschluss der Pfeife anwandte, und dieselbe auf eine $\frac{1}{2}$ Zoll dicke Oelschicht aufsetzte, die sich auf dem Wasser im Becken befand. Blieb die Stellung der Pfeife zum Conductor und ihre gegenseitige Entfernung, sowie die Stärke des Anblasens der Pfeife, auch ganz gleich, so wurde der Ton doch jedesmal stärker vernommen, wenn die Membran und der Conductor ins Wasser, als wenn sie ins Oel gebracht waren. Das Fehlen der Adhäsion zwischen Oel und Wasser soll nach Harless den Erfolg erklären. — Es ist zu verwundern, wie Harless bei diesem

Versuche gerade den wichtigsten und auf den Erfolg einflussreichsten Umstand übersehen konnte. Es ist das die Verschiedenheit in der Menge der Uebergänge aus einem Medium ins andere bei den verschiedenen Versuchen. Bei Müller's Versuchen gingen die Schallwellen aus der Luft der Pfeife auf die Membran, von da auf Wasser, und von diesem auf den Conductor über, also durch drei Gränzen, an denen jede der Wellen einen Theil ihrer Intensität verloren; beim Versuche von Harless einmal durch Membran, Oel, Wasser und Conductor, also durch vier Gränzen, einmal sogar durch deren sechs, Membran, Wasser, Oel, Wasser, Oel und Conductor.

§. 32. Die nach meinem Dafürhalten den gemachten Versuchen nach Massgabe bekannter Gesetze am meisten entsprechende Erklärung ist folgende: Beim Müller'schen Fundamentalexperimente haben wir die Membran gar nicht als einen schalleitenden Körper, sondern als einen selbsttönenden, als Theil eines Klangsystems zu betrachten. Ein jeder Körper, der einen Theil eines solchen Klangsystems bildet, ist, insofern er durch seine Dimensionen und Elasticität die Tonhöhe bestimmt, als selbsttönend, und insofern er von einem andern mit ihm verbundenen Körper in Mitschwingung versetzt wird, als resonirend zu betrachten. Beide Arten der acustischen Action, das Selbsttönen wie die Resonanz, unterscheiden sich von der Schallleitung sehr wesentlich durch die Bildung stehender Schwingungen, und diese sind es, deren Zustandekommen in der Membrane des Müller'schen Versuches die bedeutende Verstärkung des Tones bedingt. Es wird dadurch in einer schon in §. 6 beschriebenen Weise eine Summirung verschiedener Bewegungsgrössen ermöglicht, der Bewegung, welche der Membran nach Abgabe eines Theiles derselben an das Wasser bleibt, und der Bewegung, welche mit jeder Oscillation der angränzenden Luftschicht ihr neu mitgetheilt wird. — Ob indessen in der hier angedeuteten Weise die Membrana tympani secundaria eine verstoffte Uebertragung der Schallwellen der Trommelhöhle auf das Labyrinthwasser vermittelt, scheint mir, nach den meiner Erklärung zu Grunde liegenden Voraussetzungen, mehr als zweifelhaft zu sein. Unsere Membran bildet mit der Luft der Trommelhöhle kein Klangsystem, da keines von beiden Medien durch seine Dimensionen und Elasticität die Höhe der Töne, von welchen sie durchlaufen werden, bestimmt. Denkbar würde es noch sein, dass unsere Membran in ihrer Spannung durch die verschiedenen

/ar

Thätigkeitsgrade des *M. stapedius* solche Modificationen erlitte, um zur Verstärkung der durchgehenden Schallwellen befähigt zu werden, auch ohne Theil eines Klangsystems zu sein, etwa in der Art, wie man dem Trommelfelle diese Function vindicirt hat. Das ist indessen eine Hypothese, die mir weder erweislich noch wahrscheinlich vorkömmt, und die ich deshalb hier nicht weiter ausführe.

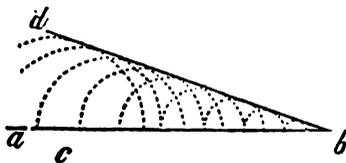
E. Harless und Weber *) leugnen die Möglichkeit einer solchen allmäligen Verstärkung resonirender Schwingungen. Diese Möglichkeit soll nach ihnen einen der wesentlichen Unterschiede zwischen selbsttönenden und resonirenden Körpern begründen, und nur den ersteren zukommen. Aber der Resonanzboden des Claviers kann nicht während der Dauer einer Schwingung seine ganze Bewegung an die Luft abgeben, weil diese an Dichte und Elasticität von ihm verschieden ist. Bleibt ihm aber von jeder Schwingung ein Rest, so muss sich dieser auch mit der von der Claviersaite ihm neu mitgetheilten Bewegung summiren, es muss also die Bewegungssumme grösser werden. Oder kann dieser Bewegungsrest ohne Effect und spurlos verloren gehen? Wollten wir den genannten Forschern in diesem Punkte folgen, so würde der so vielfach verhandelte Streit über Resonanz oder Nichtresonanz des Trommelfells, wie eine leichte Ueberlegung zeigt, ohne allen Sinn sein.

§. 33. Durch einen acustischen Process, den ich als Mittelglied zwischen Resonanz und Schallleitung betrachten möchte, kömmt die Verstärkung des Tones in einigen Versuchen Müller's zu Stande, in denen eine gespannte oder ungespannte Membran, oder an ihrer Stelle ein dünnes elastisches Brettchen nicht die Gränze zwischen Luft und Wasser bildet, sondern beiderseits von Wasser umgeben ist. Von den oben citirten Versuchen Müller's gehören hierher die Versuche IV, VI und VIII. — Im Versuche IV tauchte Müller die mit der Membran geschlossene Pfeife mit dem verschlossenen Ende ins Wasser, und blies sie an. Der gleichzeitig ins Wasser getauchte und mit dem verstopften Ohre verbundene Conductor liess, der Membran gegenüber gebracht, den Ton der Pfeife sehr hell vernehmen. Wurde ein Brettchen zwischen Membran und Conductor gebracht, ohne letzteren zu berühren,

*) A. a. O. S. 538.

Orig. Aufs. Bd. XLVI.

so wurde die Wahrnehmung des Tones, obgleich derselbe zum Theil vom Brettchen reflectirt werden musste, nur wenig oder gar nicht geschwächt. Wurde der Conductor nicht der Membran gegenüber, sondern seitlich zur Direction der Schallstrahlen ins Wasser getaucht, so wurde der Ton durch das zwischengeschobene Brettchen sogar verstärkt. Auch in der Nähe der Wände des Wasserbehälters, wenn er von Holz war, zeigte sich eine merkliche Tonverstärkung. Müller erklärt alle diese Erscheinungen für Effecte der Resonanz. Wie es mir jedoch scheint, hat er zwei ganz verschiedene Prozesse zusammengeworfen. Durch Resonanz ist die Verstärkung des Tones an den Wänden des Wasserbehälters zu erklären. Diese Resonanz kömmt immer durch Reflexion der Schallwellen an der Gränze zwischen Gefässwandung und Wasser, oft auch durch Bildung stehender Wellen in der Substanz des Gefässes zu Stande. Dieselben beiden Momente sind auch bei der Tonverstärkung auf der der Pfeife zugewandten Seite des Brettchens wirksam. Auf der entgegengesetzten Seite desselben kann dagegen von der ersten Art der Resonanz nicht die Rede sein, sondern nur etwa von der zweiten. Den ohne Zweifel wichtigsten Process, welcher bei unserem Versuche von höchster Bedeutung ist, hat Müller ganz übersehen. Derselbe besteht in einer Modification der Schallleitung durch deren Contraction und überwiegende Geschwindigkeit im Brettchen. Diese Modification leistet Alles, was die Resonanz leisten könnte, obgleich sie ihrem Wesen nach mit derselben nicht durchaus zusammenfällt. — Es sei beispielsweise in Fig. 21 c

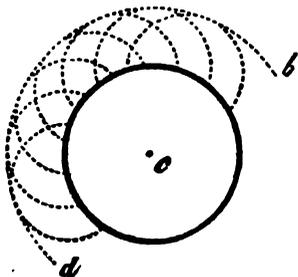


der Mittelpunkt der im Wasser erregten kugelförmigen Schallwellen. Trifft deren Verbreitung in keiner Richtung auf ein Hinderniss, so verhält sich ihre Intensität bekanntlich an verschiedenen Punkten des zu durchlaufenden Raumes umgekehrt, wie die Quadrate der Entfernungen von c. Wird aber das Fortschreiten der Wellen in a durch das dünne elastische Brettchen ab gehindert, so findet eine doppelte Reflexion in den beiden Oberflächen des Brettchens Statt. Daher, wenn die Reflexion bedeutend genug ist, die von Müller bemerkte Schwächung des Tones der Pfeifenöffnung gegenüber. Der dem Brettchen bleibende Bewegungsrest wird sich in dessen Substanz nach b fortpflanzen, wie in einer geschlossenen Röhre, also unterwegs in einem viel geringeren Masse ge-

schwächt werden, als bei allseitig ungehinderter Verbreitung. Während dieses Fortschreitens wird die Welle, wenn das Brettchen gross genug ist, an einen Punkt kommen, wo sie ungeachtet der in a geschehenen Abschwächung dieselbe Intensität besitzt, wie eine zu demselben Punkte fortgeschrittene, durch Reflexion nicht geschwächte, aber im umgekehrten Verhältnisse der Quadrate der Entfernungen abnehmende Welle von ursprünglich gleicher Stärke. Jenseits dieses Punktes muss sich sogar ein Unterschied in der Intensität zu Gunsten der Leitung durch das Brettchen herausstellen. Es lässt sich dabei recht wohl denken, dass das Brettchen lang genug ist, dass die Schallwelle während ihres Ablaufes bis zu seinem Ende, so sehr sie auch von ihm concentrirt werden mag, bis auf einen unmerklichen Rest auf das Wasser übergegangen ist. In diesem Falle kann am Ende des Brettchens Nichts reflectirt werden, es bilden sich also keine stehende Wellen, also auch keine Resonanz, ohne dass dadurch der Effect des von mir beschriebenen Processes aufgehoben würde. Ist das Brettchen zu kurz, um von seinem Ende die ganze aufgenommene Bewegung abzugeben, so tritt Reflexion ein, und damit eine Combination der concentrirten Schalleitung mit der Resonanz. Der hier geschilderte Process ist es ohne Zweifel, durch welchen die häutigen Säckchen des Vorhofes, sowie deren Fortsetzungen in den halbzirkelförmigen Canälen und die Lamina spiralis membranacea der Schnecke ihre hohe Bedeutung für unsere Gehörwahrnehmungen bekommen.

Ohne Wichtigkeit für das Gehörorgan, wohl aber von Interesse für die Erklärung unseres Versuches, ist das Verhalten des auf dem Wege von a nach b continuirlich abgegebenen geringen Theiles der Hauptwelle. Setzen wir annähernd die Geschwindigkeit des Schalles im Brettchen auf das Dreifache der im Wasser, berücksichtigen wir dabei, dass jeder Punkt der Oberfläche eines in Wellenbewegung befindlichen Körpers, wenn er an ein benachbartes Medium einen Theil seiner Bewegung abgibt, als Mittelpunkt einer besondern kugelförmigen Welle betrachtet werden muss, so wird in dem Augenblicke, wo die Welle im Brettchen bis b fortgeschritten ist, durch die Gesamtwirkung der einzelnen kugelförmigen Wellen eine grosse Welle gebildet sein, deren vordere Gränze mit der Linie db zusammenfällt, und welche während ihres auf db senkrechten Fortschreitens in der bei grösseren tönenden

Flächen bekannter Weise auf eine, je nach der Grösse der tönenden Fläche grössere oder geringere Entfernung ihre Intensität fast unvermindert beibehält. Beide, die Concentration und die überwiegende Geschwindigkeit der Schallleitung im Brettchen mit ihren Consequenzen, genügen für die Erklärung des Versuches IV von Müller. Auch die Versuche VI und VIII werden dadurch erklärt, wobei wir freilich voraussetzen müssen, dass die von Müller angewandten Membranen, ebenso wie das Holz, den Schall geschwinder leiten, als Wasser. Auf das Evidenteste wird die Richtigkeit meiner Erklärung durch einen von Harless *) mitgetheilten Versuch dargethan. Derselbe modificirte den Versuch VIII von Müller in der Weise, dass er die bei demselben angewandte Blase nicht in die Mitte zwischen Schallquelle und Conductor brachte, wodurch in oben angeedeuteter Weise Müller eine Verstärkung des Tones erzielte, sondern die Schallquelle in den Mittelpunkt der Blase selbst verlegte, während er mit dem ausserhalb der Blase befindlichen Conductor die Intensität des Schalles prüfte. Es fand sich, dass der letztere geschwächt wurde. In diesem Falle traf der Schall nicht, wie in den Versuchen VI und VIII von Müller, einen Theil der Membrane vorzugsweise, sondern gleichzeitig die ganze Fläche derselben; es konnte also von einer Concentration und Beschleunigung der Schallleitung in einer andern, als der ursprünglichen Richtung nicht die Rede sein. Allerdings müssen wir auch in diesem Versuche jeden Punkt der Membran, welcher seine Bewegung auf das Wasser überträgt, als Mittelpunkt einer besondern kugelförmigen Welle betrachten, aber durch die Gesamtwirkung aller dieser Wellen wird keine zur Tonverstärkung in einer bestimmten Rich-



tung geeignete Form der Hauptwelle gebildet, sondern (Fig. 22) genau dieselbe Kugelform, als wenn die Membran gar nicht vorhanden wäre. Jede Welle aber ist, insofern sie sich kugelförmig ausbreitet, der Abnahme ihrer Intensität in dem bekannten Verhältnisse unterworfen.

*) A. a. O. S. 339.

X. Die Schalleitung im Labyrinthwasser.

§. 34. Wenn ich mich bei den bisher abgehandelten Gegenständen vielfach genöthigt sah, mich für die Begründung meiner Ansichten weniger auf directe Versuche, als auf Raisonement zu stützen, so ist das in dem jetzt folgenden Abschnitte in noch viel höherem Grade der Fall. Insofern die Grundgesetze, von denen ich bei meinen Schlussfolgerungen ausgehen muss, im Allgemeinen wohl unbestritten feststehen, würde das Fehlen directer Versuche wohl eher als Vorzug, denn als Fehler meiner Arbeit gelten müssen. Aber es ist durch viele Arbeiten, namentlich über die Physiologie des Ohrs, so sehr Gebrauch geworden, Versuche auf Versuche zu häufen, und zwar in Fragen, zu deren Beantwortung es der Versuche gar nicht bedurft hätte, dass es immerhin für misslich zu halten ist, einmal einen neuen Weg einzuschlagen, und ich würde mich ohne Zweifel dem herrschenden Gebrauche fügen, da derselbe jedenfalls unschädlich ist, wenn nicht der Ablauf der Schallwellen im Labyrinth der Art wäre, dass er wohl aus einigen wenigen bekannten Grundgesetzen demonstrirt, aber nicht leicht durch Versuche sinnlich erkennbar dargestellt werden kann. Wenden wir uns zunächst zur Betrachtung der Function der halbzirkelförmigen Canäle, so müssen wir zugestehen, dass die Ausbeute, welche wir bisher aus allgemeinen acustischen, wie speciell sie betreffenden Untersuchungen gewonnen haben, sehr gering ist. Dass gewichtige Autoritäten dabei die Ergebnisse der vergleichenden Anatomie ignorirt oder wenigstens sehr gezwungen gedeutet, und ihre Function der Schnecke zugeschrieben haben, will ich nicht tadeln, da es sehr wohl denkbar ist, dass ein Organ je nach der Entwicklungsstufe des Organismus, dem es angehört, einen sehr verschiedenen Werth haben kann, und zwar in der Art, dass es in einem niedern Organismus einer gewissen Function genügend vorsteht, in einem höheren, durch ein nach den veränderten Umständen zweckmässiger gebautes unterstützt, oder auch ganz verdrängt wird. Auch ich denke diese Ergebnisse nicht zur Unterstützung meiner Ansicht heranzuziehen, da, wie ich glaube, die bekannten Gesetze der Acustik dazu vollkommen genügen.

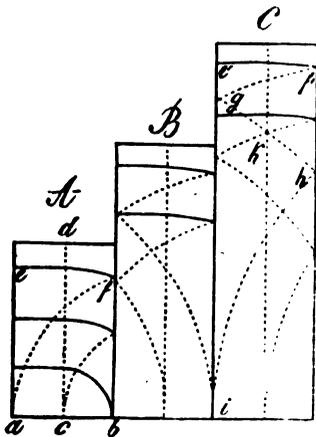
§. 35. Was in den früheren Schriften über unsern Gegenstand als unzweifelhaft anerkannt ist, genügt wohl kaum, um uns den unwandelbar regelmässigen Bau der Canäle oder auch nur ihr Vorhandensein zu erklären. Es ist das die Thatsache, dass die in ihnen enthaltene Flüssigkeit Schallwellen sowohl

aus der Vorhofsflüssigkeit, als aus der umgebenden Knochenmasse aufnimmt, und vorzugsweise in der Richtung ihrer Axen dem Vorhofs zuführt. Auch ist es unzweifelhaft, dass die wie immer aufgenommenen Wellen beim Durchgange durch die Canäle einen Theil ihrer Bewegung den häutigen Canälen und durch ihre Vermittlung den Hörbläschen des Vorhofes mittheilen. Dass die aus den Kopfknochen aufgenommenen Schallwellen, dadurch, dass sie grösseren Spielraum finden auf die gut leitenden Membranen einzuwirken, deutlicher wahrgenommen werden, ist sehr wahrscheinlich, weniger glaublich schon, dass auch die aus dem Vorhofs aufgenommenen durch dasselbe Mittel wahrnehmbarer werden, als sie es sein würden, wenn sie ohne weitere Umwege direct von den Wandungen des Vorhofes auf die Hörbläschen reflectirt würden. Mag beides nun geschehen, oder nicht, keinesfalls lässt es sich durch Raisonement oder Versuche entscheiden. Wie ich glaube, muss jedem, der sich mit dem Bau des Labyrinthes beschäftigt hat, die eigenthümliche Lagerung der halbzirkelförmigen Canäle nach den drei Dimensionen des Raumes auffallen. Eine Erklärung dafür finde ich freilich nicht in der längst widerlegten Annahme, dass die Richtung der Canäle dazu dienen solle, die Richtung eines vernommenen Schalles zu erkennen: meine Vermuthung geht vielmehr dahin, dass dieselben vorzugsweise zur Aufnahme von Schallwellen der Kopfknochen bestimmt, und durch ihre besondere Lagerung befähigt sind, diese Schallwellen, aus welcher Richtung sie auch kommen mögen, immer mit möglichster Stärke aufzunehmen.

Um meine Vermuthung zu rechtfertigen, erinnere ich zunächst an eine rein mathematische Consequenz der Form unserer Canäle. Das ist der Umstand, dass bei übrigens gleicher Breite einer durchsetzenden Welle (senkrecht auf die Richtung des Schallstrahls) ein halbzirkelförmiger Canal einen um so grösseren Theil derselben in sich aufzunehmen im Stande ist, als die mit der Axe des Canals zusammenfallende ebene kreisförmige Fläche möglichst rechtwinklig von ihr durchsetzt wird. Fällt dagegen die Richtung des Schallstrahles mit einem der Radien der genannten Fläche zusammen, so verhält sich im günstigsten Falle der Wellentheil, welcher die Grenzen des Canals durchschneidet, zu dem Theile, welcher im ersten Falle durch den Canal hindurch geht, wie der Durchmesser eines Kreises zu dessen halbem Umfange. Abgesehen von diesem mathematischen Verhältnisse, ist die Lage der

Canäle auch in rein acustischer Beziehung wichtig. Denn eine Schallwelle geht *ceteris paribus* um so vollständiger aus einem Medium in das andere über, je rechtwinkliger sie auf der Gränze zwischen beiden trifft. Wie auch ein solcher, mehr oder weniger rechtwinkliger Uebergang auf das Labyrinthwasser jeder durch die Kopfknochen durchsetzenden Schallwelle durch die Lage bald dieses bald jenes der Canäle gesichert ist, zeigt schon die oberflächliche Betrachtung. Den hier erörterten Vortheil, die möglichst rechtwinklige Aufnahme der Schallwellen in möglichster Breite, würde ohne Zweifel noch viel vollkommener ein mit Wasser gefüllter cubischer Anhang des Vorhofes, oder ein in Art der Schwimmblase vieler Fische mit dem Vorhofe zusammenhängendes Organ geboten haben. Aber ebenso unzweifelhaft würde, namentlich in einem cubischen Anhang, der grösste Theil der aufgenommenen Bewegung wegen Fehlens der concentrirten Fortleitung in einer bestimmten Richtung für den Vorhof und seine Nerven verloren gegangen sein. Es scheinen daher die halbzirkelförmigen Canäle Alles zu leisten, was bei dem beschränkten Raume möglicherweise geleistet werden kann. Es kann übrigens nicht meine Absicht sein zu behaupten, dass allein die halbzirkelförmigen Canäle Schallwellen aus den Kopfknochen aufnehmen. Alle Theile des Labyrinthes werden ohne Zweifel thun, was sie nach physikalischen Gesetzen nicht lassen können. So bietet namentlich der Bau der Schnecke für die Erreichung desselben Zweckes noch Vorthteile, welche wir in den Canälen vergeblich suchen. Da sich in ihrem Bau jedoch ausserdem noch ganz besondere Vorrichtungen zur Erreichung anderer Zwecke erkennen lassen, welche bedeutend wichtiger sein dürfen, als die Aufnahme von Schallwellen aus den Kopfknochen, so glaube ich der Annahme *C. H. Weber's* in dieser Beziehung entgegenzutreten zu müssen. Doch davon später mehr. Uebrigens hat uns einer der im Anfange dieser Schrift mitgetheilten Versuche gezeigt, wie sehr die Schallleitung durch die Kopfknochen beim Menschen hinter der durch das Trommelfell u. s. w. zurücksteht, und nach Massgabe dieses Versuches bin ich sehr geneigt, die halbzirkelförmigen Canäle, so wichtig ihre Function für im Wasser lebende Thiere sein mag, beim Menschen mehr für eine Reminiscenz an niedere Entwicklungsstufen zu halten, welche ohne merklichen Schaden für das Gehör sehr wohl fehlen könnte.

§. 36. Es bleibt mir, da die Säckchen des Vorhofes in einem früheren Abschnitte Berücksichtigung gefunden haben, und die Function der Otolithen von früheren Bearbeitern genügend erklärt zu sein scheint, noch die Untersuchung der Schnecke und des runden Fensters. Was die erstere anbelangt, so bildet sie, wie bekannt, einen spirallig aufgerollten, von Knochenmasse eingeschlossenen Canal, der an einem Ende gleichfalls durch Knochenmasse fest verschlossen ist, und am andern Ende durch eine freie Oeffnung mit dem Vorhofe, durch eine andere, mit einer dünnen Membran bedeckte, mit der Trommelhöhle in Verbindung steht. Diesen beiden Oeffnungen entsprechen zwei bis zum geschlossenen Ende neben einander verlaufende Abtheilungen des Canals, die Scala vestibuli und die Scala tympani, welche nur unvollkommen durch eine theils knöcherne, theils häutige Scheidewand, die Lamina spiralis, getrennt sind und an ihrem Ende frei mit einander communiciren. Die Scheidewand, soweit sie häutig ist, können wir als für die Form der Ausbreitung der Schallwellen ganz gleichgiltig betrachten. Sie interessirt uns nur, insofern sie in Folge ihrer Lage von gewissen Theilen der Schallwellen durchsetzt wird, und geeignet ist, den von diesen empfangenen Impuls auf die Nerven zu übertragen. Den Schnecken canal betrachte ich vorläufig, um mir die Darstellung zu erleichtern, als gerade gestreckt; die geringen Modificationen, welche die Schallleitung in Folge seiner Krümmung erfährt, werden weiter unten Berücksichtigung finden. Verfolgen wir zunächst einen beliebigen Abschnitt einer Verdichtungswelle, welche aus dem



in A verzeichnet finden,

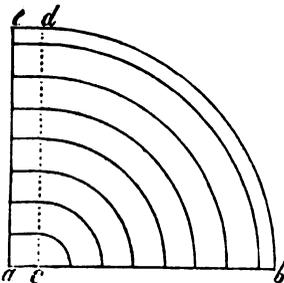
und die wir, obgleich nicht ganz pas- Vorhofe bei a c (Fig. 23) in die Scala vestibuli eintritt, so wird dieser in sieben auf einander folgenden Momenten die in der Figur bezeichneten Formen annehmen. Zunächst wird er sich in Folge des allseitig gleichen Druckes, den jedes in seinem Bereiche befindliche Molecül auf die Nachbarmolecüle ausübt, seitlich soweit ausbreiten, bis der durch diese Ausbreitung gebildete Bogen aufs Neue eine Begränzung findet. Durch diese seitliche Ausbreitung erhält der Wellenabschnitt eine Form, wie wir sie

send, als Wirbel bezeichnen wollen. Ueberall, wo eine Welle ungehindert nach allen Seiten sich ausbreitet, finden wir in Folge der dadurch gebildeten Kugelform eine Abnahme ihrer Intensität im bekannten Verhältnisse; die Dichte der Welle im Bereich des Wirbels muss ebenfalls in diesem Verhältnisse abnehmen. Da indessen der geradlinig fortgepflanzte Wellentheil an der Seite, wo er in den Wirbel übergeht, einen beim weiteren Fortschreiten immer geringeren Gegendruck findet, so muss sich die Intensitätsabnahme des Wirbels in einem etwas geringeren Masse auch auf ihn erstrecken, indem er einen Theil seiner Dichte seitlich auf denselben überträgt. In Folge davon findet eine ununterbrochene, aber auch continuirlich abnehmende Einwirkung des fraglichen Wellentheils, auf die in unserer Figur durch eine gerade Punktlinie angedeutete membranöse Scheidewand, die *Lamina spiralis membranacea*, Statt. (Vgl. Anmerk.) Die kugelförmige Ausbreitung des Wirbels dauert fort, bis derselbe von der gegenüberliegenden äusseren Wand der *Scala tympani* nach bekannten Gesetzen reflectirt wird. Wenn die durch *ac* eingetretene Welle bis *e* in *A* fortgeschritten ist, so hat sie, wie *A* zeigt, die Form *efa*. In Folge des zum Theil geradlinigen, zum Theil durch Reflexion gebrochenen Fortschreitens hat sie im siebenten Momente die Form *e'f'ghi* in *C*, wobei die vollen Linien die nicht reflectirte Welle, die punktirten, deren Form nach ein- und zweimaliger, und die gestrichelten dieselbe nach dreimaliger Reflexion bezeichnen. Die weiteren Formänderungen in Folge vier- und mehrmaliger Reflexion habe ich nicht bezeichnet, weil sie einmal unsere Figur zu complicirt machen würden, dann aber auch, weil sich voraussetzen lässt, dass der von dreimaliger Reflexion bleibende Bewegungsrest zu unbedeutend ist, um berücksichtigt werden zu müssen.

Anmerkung. Die hier und im Folgenden vorgetragene Ansicht findet auch in den anatomischen Verhältnissen der *Lamina spiralis* ihre Bestätigung. Im unteren Theile reichen die Nerven nicht bis in die Membran. Ohne Zweifel sind die hier von derselben aus dem Labyrinthwasser aufgenommenen Bewegungen noch zu stark, um unmittelbar auf die Nerven übertragen zu werden; sie müssen erst durch ihren Durchgang durch Knochensubstanz geschwächt werden. Jemehr in Folge der Ausbreitung die Intensität der Welle abnimmt, um so näher rücken dagegen die Nervenendigungen der Membran, bis sie in der Nähe der *Cupula* den bis dort vordringenden Bewegungsrest unmittelbar von der Membran in Empfang nehmen. Weshalb dieses allmälige Vorrücken der Nervenfibrillen, wenn sie dazu bestimmt sind, Schallwellen aus den Kopfknochen auf-

zunehmen? Auch die kunstvollen mikroskopischen Bildungen auf der Fläche der Lamina spiralis membranacea scheinen mit meiner Ansicht sehr wohl vereinbar. Es bedurfte einer zwischen Schale und Kern der Schnecke ausgespannten Membran, um die richtige Quantität von Bewegung auf die Nerven zu übertragen; es musste aber gleichzeitig eine für die Bestimmung der Schnecke störende Eigenschaft jeder membranösen Bildung, nämlich die Fähigkeit, Schallwellen ziemlich ungeschwächt auf entfernt liegende Theile, und zwar mit einer, die Schalleitung im Wasser wahrscheinlich überwiegenden Geschwindigkeit zu übertragen, in der Richtung nach der Cupula zu unschädlich gemacht werden. Denn die der Cupula näher liegenden Theile der Schnecke sollten nur einen beim weitem Fortschreiten immer sich mindernden Rest der Schallbewegung erhalten. Es sollte die Reflexion am Ende der Schnecke ganz oder doch der Hauptsache nach beseitigt werden, und zwar nicht allein im Schneckenwasser, sondern noch viel mehr in der mit den Nerven unmittelbar verbundenen Lamina spiralis membranacea. Dieser Zweck nun wird durch die von Corti *) und Harless **) beschriebenen Bildungen erreicht, indem sie nach acustischen Gesetzen einerseits durch Vergrößerung der Berührungsfäche die Aufnahme von Schallwellen aus dem Wasser der Membran erleichtern, dann aber auch durch dasselbe Mittel die Zurückgabe der aufgenommenen Schallwellen an das Wasser beschleunigen, und somit eine vom Labyrinthwasser unabhängige Fortleitung derselben bis zur Cupula erschweren. Der auffallenden Regelmässigkeit der beschriebenen Bildungen eine besondere acustische Bedeutung beizulegen, dürfte zum Mindesten verfrüht sein.

§. 37. Legen wir unsern Wellenabschnitt in die Form auseinander, welche ihm ohne die wiederholte Reflexion in sieben auf einander folgenden Momenten zukommen würde, so



finden wir diese in Fig. 24. Wir sehen darin in gewisser Beziehung das Ideal der Schalleitung in der Schnecke vor uns. Die im Ohre wirklich vorhandene Schnecke bietet uns diese Schalleitung nur annähernd. Durch ihre Beschränkung auf zwei enge Canälchen, und ihre Krümmung wird das Bild, welches der Hörnerv von der Form der Welle erhalten soll, in Etwas getrübt, wobei

freilich für die Oekonomie des ganzen Gehörorgans durch Raumersparung nicht minder bedeutend gewonnen wird. Wäre die Schnecke gebaut, wie in unserer Figur, worin *a c e d* die Scala vestibuli, *c d* die Lamina spiralis membranacea, *e d b* die

*) Kölliker und Siebold's Zeitschrift für wissenschaftl. Zool. III, 109. ffg.

**) A. a. O S. 441. ffg.

Cupula, und *c b* die *Membrana tympani secundaria* bedeutet, so würde jede einzelne in der Reihe der von *c* nach *d* nebeneinander liegenden Fibrillen des Hörnerven mit nach *d* abnehmender Intensität ein vollkommen proportionales Bild jeder bei *a c* eintretenden Schallwelle, ihrer Länge, ihrer Dichte, und der Art der Zu- und Abnahme dieser Dichte erhalten. Das ist beim Ablauf der Schallwellen nach der vorigen Figur nicht ganz der Fall. So wird z. B. der zweimal reflectirte Wellentheil *g h* in *l'* die Wirkung des nachfolgenden, einmal reflectirten Wellentheils, der mit ihm gleichzeitig die in *k* liegende Nervenfibrille trifft, in einer der eigentlichen Wellenform nicht entsprechenden Weise verstärken, oder, wenn der nachfolgende Wellentheil schon einer Verdünnungswelle angehört, schwächen. Freilich wird diese Störung der Wellenform bei der im Vergleich zur Weite der *Scalen* bedeutenden Länge aller Schallwellen im Wasser nur sehr gering ausfallen. Bestätigt sich nun die Vermuthung, dass die Verschiedenheit des *Timbres* nur in dem verschieden schnellen Anwachsen und Abnehmen der Verdichtung und Verdünnung der Wellen im Verhältniss zu ihrer Länge ihren Grund hat, so muss offenbar eine Schnecke, wie unsere letzte Figur sie darstellt, vor der wirklichen einige Vorzüge in Beziehung auf Unterscheidung des *Timbre* besitzen.

Dass die Intensität der unser Organ durchlaufenden Schallwellen in Folge der Enge des *Canals*, und besonders wegen dessen Krümmung, welche eine fortdauernde Reflexion und damit Schwächung derselben an der convexen Seite dieser Krümmung veranlasst, noch geschwinder abnehmen muss, als in Folge der allseitigen Ausbreitung allein in unserer idealen Schnecke geschehen würde, ist wohl unzweifelhaft. Ob aber jede Schallwelle vor ihrer Ankunft in der *Cupula* in einem Grade abgeschwächt wird, wie es sowohl die Rücksicht auf die Vermehrung des *Timbre*, als die Zartheit der Nervenfibrillen zu fordern scheint, ist weder durch Versuche noch durch Schlussfolgerungen mit Sicherheit zu entscheiden. Zu den letzteren fehlen uns durchaus alle *Data*, so namentlich die Kenntniss der *Excursionsweite* der *Steigbügelplatte*, der Empfänglichkeit des *Labyrinthwassers* für Schwingungen fester Theile, sowie umgekehrt der *Kopfknochen* für die Schwingungen des *Labyrinthwassers*. Nur das können wir mit Sicherheit behaupten, dass in der *Cupula* keinesfalls eine sehr bedeutende Verdichtung oder Verdünnung durch Reflexion stattfinden kann.

Uebrigens bedarf es wohl keines besondern Nachweises, dass die Schnecke für die von der Membrana fenestrae rotundae ausgehenden Schallwellen mutatis mutandis ganz dasselbe leistet, was hier in Betreff der aus dem Vorhofe aufgenommenen behauptet worden ist. Nur ist diese Leistung für den ersten bei ihrer geringen Intensität nicht so wichtig, wie für die letzteren.

§. 38. Nachdem wir den Ablauf der Schallwellen bis zur Cupula verfolgt, und deren allmälige Abschwächung zum Schutze der Nerven und zur Sicherung der Perception des Timbre wahrscheinlich zu machen versucht haben, bleibt uns der Nachweis zu liefern, dass auch die in Folge der Wirbelbildung nach der Fenestra rotunda zu ablaufenden Wellentheile durch irgend einen Mechanismus für den in den höheren Theilen der Schnecke vor sich gehenden Process unschädlich gemacht werden. Es ist klar, dass jede Art der Reflexion an der Membrana tympani secundaria die Gefahr in sich schliesst, dass zu der oben beschriebenen Trübung des Bildes, welches dem Sensorium über die relative Stärke der aufeinander folgenden Wellentheile zugeführt werden soll, noch eine neue Trübung, entweder durch Verstärkung einzelner Wellentheile, oder durch Schwächung derselben hinzukömmt. Gelangt eine in einem Körper durchlaufende Schallwelle an dessen Gränze, so geht ein Theil derselben in das jenseits der Gränze liegende neue Medium über, ein Theil wird reflectirt. Je nach dem Verhältniss der Dichte und Zusammendrückbarkeit beider Körper kann diese Reflexion auf zwei sehr verschiedene Arten zu Stande kommen. Ist im angränzenden Medium die Dichte grösser und die Zusammendrückbarkeit geringer, als im eben durchlaufenen, so geschieht die Reflexion in der Art, dass anschlagende und reflectirte Welle gleichzeitig Verdichtungs- oder gleichzeitig Verdünnungswellen sind, und es bildet sich an der Gränze eine Knotenfläche. Findet das Gegentheil Statt, so wird jede Welle bei der Reflexion von einer Welle entgegengesetzter Natur, also eine Verdichtungswelle von einer Verdünnungswelle u. s. w. ausgelöst, und die Gränzschrift bildet keine Knotenfläche, sondern liegt dem Maximum der Bewegung um so näher, je mehr Dichte und Zusammendrückbarkeit beider Medien von einander verschieden sind.

Erwiesen ist hier das angezogene Gesetz für feste Stäbe, nach deren Analogie ich dasselbe als auch für das Labyrinth-

wasser gültig voraussetze. Die von der Membrana tympani secundaria berührte Gränzschrift desselben würde beim Durchgange einer Verdichtungswelle einfach eine Bewegung von gleicher Weite ausführen, wie die ihr zunächst liegende Flüssigkeitsschicht vor ihr auszuführen angefangen hat, wenn jenseits der fraglichen Membran in der Trommelhöhle sich wieder eine gleiche Flüssigkeit vorfände, welche in einen gleich engen Canal eingeschlossen wäre. Dünne gespannte, wie ungespannte Membranen sind nach Müller's Versuchen nicht sonderlich geeignet, Schallwellen im Wasser stark zu reflectiren. Die Bewegung dieser Gränzschrift aber, und die ihr entsprechende der Membran, werden durch eine Bewegung der unmittelbar angränzenden Luftschicht ausgelöst, eines Körpers, welcher zusammendrückbarer und weniger dicht, als Wasser, dem Anstoss desselben einen viel geringeren Druck entgegengesetzt, als die Gränzschrift durch die ihr zunächst liegende Wasserschicht erfährt. In Folge davon muss die Gränzschrift, unähnlich den pendelförmig schwingenden Molecülen in Theilen des Labyrinthwassers, die nicht Gränzschriften sind, eine Bewegung ausführen, die um ein durch die Differenz zwischen dem Druck a tergo und dem Gegendruck a facie bestimmtes Mass die Bewegung der übrigen Theile des Labyrinthwassers überwiegt. Damit ist die Bildung einer die ursprüngliche Verdichtungswelle auslösenden Verdünnungswelle gegeben, welche entgegengesetzt den in ihr enthaltenen Molecülen rückwärts läuft, ganz wie es bei der in einer beiderseits ungedeckten Labialpfeife enthaltenen Luftsäule der Fall ist, Ebenso werden Verdünnungswellen in der Gränzschrift von rückwärts laufenden Verdichtungswellen ausgelöst. Die Differenz zwischen der Dichte der an die Membran anschlagenden und der von ihr zurücklaufenden Wellen wird nach dem Obigen um so grösser sein, je schwächer die Membran gespannt ist, jemehr sie also in ihrer Beweglichkeit der Luft nahe kömmt. — Für die Wellentheile, welche sich durch Wirbelbildung von den von der Membrana fenestrae rotundae ausgehenden Schallwellen in der Richtung des Vorhofes abgezweigt haben, gilt ein ähnliches Verhalten, nur dass die bei der Einmündung in den letzteren reflectirten Wellen wahrscheinlich so schwach sein werden, dass wir sie nicht weiter zu berücksichtigen brauchen. Der Grund dafür liegt in der Gleichheit der Flüssigkeit im ganzen Labyrinth, sowie in der doch immer sehr beschränkten Ausdehnung des Vorhofes, welche nicht gestattet, eine Refle-

xion von der Stärke zu erwarten, wie etwa an der Mündung einer unten offenen Labialpfeife.

§. 39. Die von der Membrana tympani secundaria reflectirte Welle nun verläuft in gleicher Richtung mit der vom Vorhof ausgehenden directen Welle zur Cupula. Bei der Kürze des Weges, den der abgezweigte Wellentheil bis zur Reflexion zu durchlaufen hatte, im Vergleich zu der Länge aller Wellen im Labyrinthwasser, können wir ohne grossen Fehler annehmen, dass beide Wellentheile, der directe und reflectirte, einander vollkommen decken, d. h. dass der Anfang und ebenso das Ende beider genau gleichzeitig dieselben Theile des Schnecken canals passiren. Hier konnte ich die schon vielfach herbeigezogene Annahme von der Entstehung des Timbre benutzen, um zu zeigen, in welcher Art die Form einer directen Welle durch eine reflectirte gestört werden kann; da indessen jene Annahme, soviel sie für sich haben mag, immer nur auf Vermuthungen gegründet ist, so möge es genügen, auf die Denkbarkeit einer solchen Störung hingewiesen zu haben. Ich beschränke mich auf die Behauptung, dass die reflectirte Welle die directe durch Interferenz schwächen muss.

Dass ungleichartige Wellentheile, die gleichzeitig in derselben Richtung ablaufen, einander aufheben oder wenigstens gegenseitig ihre Wirksamkeit schwächen, ist für die langsamen Beugungswellen auf der Oberfläche von Flüssigkeiten, wie für die Schallwellen der Luft *) längst nachgewiesen. Da die Bedingungen, durch welche das Zustandekommen dieser Interferenz bewirkt wird, sich auch bei den ungleichartigen Tonwellen finden, welche gleichzeitig in gleicher Richtung die Schnecke durchlaufen, so ist die Richtigkeit meiner Annahme, obgleich sie für letztere, soviel mir bekannt, noch nicht direct erwiesen ist, wohl nicht zu bezweifeln. Es lässt sich, da diese Interferenz jede Welle betrifft, nicht behaupten, dass durch dieselbe eine Störung in der Perception der Schallintensität bedingt werden müsse. Denn die Bewegungen des Labyrinthwassers, von denen der Hörnerv betroffen wird, müssen in allen Fällen von viel geringerer Elongation sein, als die Bewegungen des tönenden Körpers oder des tonleitenden Mediums; zur richtigen Perception der Schallintensität bedürfen wir nur proportionaler, wenn auch vergleichsweise kleiner Bewegungen des ersteren, in

*) Vgl. Pouillet-Müller Lehrb. d. Phys. I, 316

Verbindung mit einer solchen Empfindlichkeit des Sinnesnerven, welche ihn geeignet macht, unserm Sensorium alle die Schalleindrücke zuzuführen, die wir in *natura rerum* vornehmen. Die Grösse dieser Empfindlichkeit nun ist uns gänzlich unbekannt, und wir können nicht *a priori* behaupten, sie sei zu gering, um für uns aus den durch Interferenz geschwächten Schallwellen der Schnecke so scharfe Wahrnehmungen zu vermitteln, wie sie es wirklich thut. Nur *a posteriori* können wir eine solche Schlussfolgerung bilden, weil sich in der That ein Mechanismus vorfindet, welcher jene Interferenz durch eine zweite Interferenz mehr oder weniger zu beseitigen bestimmt scheint. Diesen Mechanismus nun finde ich in der Combination der Luftleitung durch die Trommelhöhle bis zur Fenestra rotunda, mit der durch die Gehörknöchelchen und das Labyrinthwasser.

Dass bei der im Verhältniss zur Luftleitung überwiegend raschen Fortleitung des Schalles durch feste Körper und Wasser der Anfang jeder Welle auf beiden Wegen wenigstens beinahe gleichzeitig zur Membran des runden Fensters gelangen muss, um einerseits von derselben aufgenommen, andererseits von ihr reflectirt zu werden, bedarf keines Beweises. Ebenso klar ist es, dass die Luftwellen nur etwas geschwächt durchgehen, die Wasserwellen dagegen nicht allein geschwächt, sondern gleichzeitig in der oben beschriebenen Art modificirt werden, dass Verdichtungswellen sich in Verdünnungswellen verwandeln u. s. w. In Folge dieses Umstandes combiniren sich schon in der *Membrana fenestrae rotundae* Verdichtungs- und Verdünnungswellen, und verlaufen in gleicher Richtung mit einander. Sie heben einander durch Interferenz auf, und es wird jede störende Einwirkung der reflectirten Wellen auf den Ablauf der directen von vorn herein unmöglich gemacht. Es wird, mit einem Worte, der in §. 36 dargestellte Process der kugelförmigen Wellenausbreitung in seiner vollen Integrität hergestellt.

§. 40. Diese doppelte Function unserer Membran, die Reflexion der Wasserwellen und die Aufnahme von Luftwellen wird von ihr nicht immer mit gleicher Stärke ausgeführt. Für die ersteren bildet sie eine Gränzsicht, die einen je nach ihrer Spannung sehr verschiedenen Grad von Beweglichkeit besitzt. Je geringer ihre Spannung, also je grösser ihre Beweglichkeit ist, um so mehr entsprechen die Bewegungen der ihr zunächst liegenden Wasserschicht den Bewegungen eines

Theil der Flüssigkeitssäule, welche in der Mitte zwischen zwei Knochenflächen, also im Maximum der Bewegung liegt, um so dichter sind daher die zurücklaufenden Verdichtungs-, um so weniger dicht die zurücklaufenden Verdünnungswellen. Diesen Modificationen entsprechend, aber wohl nicht im vollkommen gleichen Verhältnisse, wie ihre Beweglichkeit bei Impulsen von Wasserwellen, steigt und fällt die Receptivität der Membran für die Luftwellen der Trommelhöhle mit ihrer Spannung, so dass sich jedesmal mit der stärker verdichteten reflectirten Welle die dünnere aus der Luft aufgenommene Welle, mit der stärker verdünnten die dichtere combinirt. — Wahrscheinlich ist es, dass der Grad der Spannung der Membran einen stärkeren Einfluss ausübt, auf den Grad der Verdichtung und Verdünnung der reflectirten Wasserwellen, als auf die Grösse des Bruchtheils, welcher von den Luftwellen auf das Labyrinthwasser übertragen wird. Denn die Luft der Trommelhöhle besitzt, im Verhältniss zum Labyrinthwasser, einen so hohen Grad der Zusammendrückbarkeit und eine so geringe Dichte, dass wir ihren Widerstand gegen die Bewegungen des letzteren fast gleich Null setzen können. Es ist also die Grösse der Bewegungen des letzteren fast allein von der Beweglichkeit der Membran abhängig, und muss daher in ziemlich gleichem Verhältnisse wachsen und abnehmen, wie diese Andererseits lässt uns die geringe Zusammendrückbarkeit und grosse Dichte des Labyrinthwassers im Verhältniss zur Luft einen Widerstand des ersteren gegen die Bewegungen der letzteren voraussetzen, welcher neben dem Widerstande der Membran nothwendig in Rechnung gebracht werden muss. Und Dichte wie Zusammendrückbarkeit des Wassers werden ebenso wenig, wie die der Luft, mit der Spannung der Membran geändert. Setzen wir den Widerstand der Luft gegen Bewegungen des Labyrinthwassers = r , den Widerstand des Wassers gegen Bewegungen der Luft = R und die Spannung und damit den Widerstand der Membran = t , so verhält sich die Beweglichkeit der Gränzsicht des Wassers für Impulse von Wasserwellen zu der Beweglichkeit derselben Gränzsicht für

Impulse von Luftwellen = $\frac{1}{t+r} : \frac{1}{t+R}$. Lassen wir r , als

ehr klein, aus der Rechnung, so bekommen wir $\frac{1}{t} : \frac{1}{t+R}$ und finden so, dass die Stärke der reflectirten Wellen allein durch die variable Spannung der Membran, die Stärke des

aufgenommenen Bruchtheiles der Luftwellen dagegen durch die Spannung der Membran und die Beweglichkeit des Labyrinthwassers bestimmt wird.

§. 41. Die Richtigkeit der obigen Deduction vorausgesetzt, ist es unmöglich, dass jeder Spannungsgrad der Membran des runden Fensters dem von mir supponirten Zwecke gleich vollständig genüge. Um für die hierüber anzustellenden Untersuchungen zunächst eine feste Grundlage zu gewinnen, wollen wir annehmen, dass die Luftwellen der Trommelhöhle und die Wasserwellen, welche aus dem Vorhofe in die Schnecke eintreten, unter allen Umständen unverändert im gleichen Verhältnisse der Intensität zu einander stehen. Vorausgesetzt nun, dass bei stärkster Spannung der Membran die reflectirten Wasserwellen und die aufgenommenen Luftwellen einander vollkommen interferiren, müssen bei schwächerer und schwächster Spannung der Membran die reflectirten Wasserwellen das Uebergewicht bekommen; andererseits dagegen müssen, wenn durch die schwächste Spannung vollkommen Interferenz beider Wellenarten erzielt wird, die oben erläuterten Störungen in der Wahrnehmung des Schalles bei stärkerer Spannung durch die aufgenommenen Luftwellen veranlasst werden. Da uns die Kenntniss der nothwendigsten Voraussetzungen fehlt, so können wir nicht angeben, welche von beiden Arten der Störung möglicher Weise zu fürchten ist. Indessen können wir vielleicht eine Vermuthung darüber aussprechen, wenn wir Mechanismen ausfindig machen, welche vorzugsweise geeignet scheinen, die eine oder die andere Art möglichst unschädlich zu machen, oder wenn wir in Ermangelung solcher Mechanismen nachweisen können, welche von beiden Störungen die Brauchbarkeit unseres Organes am wenigsten beeinträchtigt.

In dieser Beziehung haben wir vor allen Dingen die Frage zu beantworten, welche Mittel zur Anwendung kommen, um die Membran zu erschaffen, und welche, um sie zu spannen. Dass sich die Function des *M. stapedius* zum grossen Theile auf die Membran bezieht, hat Harless *) angegeben; nur kann ich ihm nicht beistimmen, wenn er sie durch Contraction des Muskels gespannt werden lässt. Senega **) hat nachgewiesen, dass unsere Membran nicht in Form einer ebe-

*) A. a. O. S. 379.

**) Vgl. Lincke, *Handb. d. Ohrenheilk.* I, 115.

Orig. Aufg. Bd. XLVI.

nen Fläche ausgespannt ist, sondern convex in die Schnecke hineinragt. Ist also der Muskel erschlafft, und somit das hintere Ende der Steigbügelplatte nicht in den Vorhof gedrückt, so wird die Membran durch atmosphärischen Druck ins Labyrinth getrieben und erreicht den höchsten Grad ihrer möglichen Spannung; zieht sich der Muskel zusammen, so wird durch den Druck des Wassers ihre nach innen convexe Oberfläche abgeplattet, also ihre Spannung vermindert. Der Muskel ist somit nicht ein Tensor, sondern ein *Laxator membranæ tympani secundariae*. In jedem Falle ist seine Function eine solche, welche er nur bei der wirklich gegebenen Grösse der Membran erfüllen kann, nicht aber, um beiläufig auf einen schon verhandelten Punkt zurückzukommen, bei einer Form der Schnecke, welche wir in einer andern Beziehung als ideale bezeichnet haben. (Fig. 24.)

Hier ist es am Orte, einen schon früher verhandelten Gegenstand wieder aufzunehmen. Wir haben gesehen, dass in Folge der Anspannung des *M. stapedius* und der damit verbundenen stärkeren Spannung des häutigen Saumes der Steigbügelplatte der Drehpunkt des Amboses in der Richtung des *Capitulum stapedis* verrückt wird. Es ist dabei ganz unentschieden geblieben, wie weit die Grenzen sein mögen, innerhalb deren die Verrückung stattfindet; auch konnte Nichts darüber beigebracht werden, weil eben nur der Widerstand des häutigen Saumes in Anschlag gebracht wurde. Es muss aber noch ein anderes Moment wohl berücksichtigt werden. Das ist, wie bei dem Uebergange der Luftwellen auf die *Scala tympani*, der Widerstand des Labyrinthwassers. Wir haben also wieder, wie dort, als Momente, welche die Intensität der Schallwellen mindern, ein veränderliches und ein unveränderliches, und zwar ist das letztere, durch den Grad der Dichte und Zusammendrückbarkeit des Wassers bedingt, ziemlich bedeutend. Auch hier fehlen uns die genaueren Data; gewiss ist nur, dass in Folge der Einwirkung des unveränderlichen Momentes die Grenzen, innerhalb deren der Drehpunkt des Amboses verrückt werden kann, viel näher zusammengedrücken, als wenn ihre Lage allein durch die wechselnde Spannung des Steigbügelsaumes bedingt wäre. Es ist also wohl anzunehmen, dass die einmal vom Ambos aufgenommenen Schallwellen in einer nur wenig veränderlichen Proportion auf das Labyrinthwasser übertragen werden. Aber ein anderes Moment ist wohl zu berücksichtigen. Es ist dem Leser erinnerlich,

dass jede Contraction des Steigbügelmuskels mit Abspannung des Hammermuskels verbunden vorkömmt. Ist nun die Wirksamkeit des ersteren in Beziehung auf Verminderung der Schallintensität nur gering, so ist dafür die Erschlaffung des letzteren in derselben Beziehung von um so grösserem Einflusse. Wie wir oben gesehen haben, treten als nächste Folgen der Erschlaffung des Trommelfellspanners verminderte Receptivität des Manubrium mallei für die Schwingungen des Trommelfells und Verrückung des Hammerdrehpunktes nach oben, also auch verminderte Uebertragung der vom Hammer aufgenommenen Bewegung auf den Ambos, ein.

Es wird also jedenfalls in Folge beider Muskelwirkungen der Gesamteffect der Steigbügelschwingungen auf das Labyrinthwasser nicht unbeträchtlich vermindert. Ob aber durch die Drehung der Steigbügelplatte nach der Seite der Schnecke dieser letzteren, im Gegensatze zu dem übrigen Theilen des Labyrinthes, ein grösserer Antheil der disponibeln Bewegung zugewandt wird, ist wohl zu bezweifeln. Denn diese Drehung ist jedenfalls bei der Länge der Steigbügelplatte und der geringen Breite ihres häutigen Saumes so unbedeutend, dass ein stärkeres Eindringen der Schallwellen in die Scala vestibuli, deren Lage ohnehin mehr für die Aufnahme von solchen, die von den Wandungen des Vorhofes reflectirt sind, als von directen, geeignet zu sein scheint, sich nicht erwarten lässt.

§. 42. Als Facit unserer Betrachtungen über die Gesamteffecte der verschiedenen Spannungsgrade der beiden Muskeln können wir demnach Folgendes angeben;

A. Abspannung des M. mallei internus mit Abspannung des M. stapedius.

1. Das Manubrium mallei wird empfänglicher für die Schwingungen des Trommelfells.

2. Der Drehpunkt des Hammers rückt nach unten, seine Einwirkung auf den Ambos wird dadurch verstärkt.

3. Der Drehpunkt des Amboses rückt nach oben; dadurch verstärkte Einwirkung auf den Steigbügel.

B. Abspannung des M. mallei internus mit Anspannung des M. stapedius.

Die Empfänglichkeit des Manubrium mallei wird geringer.

Die Einwirkung der Schwingungen des Hammers auf den Ambos wird vermindert.

Die Einwirkung der Amboschwingungen auf den Steigbügel wird vermindert.

4. Die Membrana fenestrae rotundae ist gespannt; daher nur geringe Verdichtung und Verdünnung der reflectirten Wellen der Scala tympani, und dem entsprechend, Uebergang eines nur geringen Bruchtheiles der Luftwellen der Trommelhöhle auf die letztern.

5. Die Luftwellen selbst besitzen wegen geringer Excursionsweite des Trommelfells nur geringe Intensität.

Wir finden, um zunächst zu der oben, §. 41 aufgeworfenen Frage zurückzukommen, unter 4 der eben mitgetheilten Zusammenstellung die Thatsache, deren umständlichere Erörterung an jenem Orte mich zu der Frage veranlasste. Ich habe oben nachgewiesen, dass, wenn bei stärkster Spannung der Membrana fenestrae rotundae die reflectirten Wasserwellen und die aufgenommenen Luftwellen einander vollkommen interferirten, bei schwächerer und schwächster Spannung der Membran die reflectirten Wasserwellen das Uebergewicht bekommen müssten u. s. w. Es galt jedoch dieser Nachweis nur unter der Voraussetzung, dass Luft- und directe Wasserwellen unter allen Umständen unverändert im gleichen Verhältnisse der Intensität zu einander stünden. Das ist nun aber nicht der Fall; wir finden im Gegentheil unter 5 den Mechanismus, welcher jene Inconvenienz wahrscheinlich vollständig hebt, zum mindesten sehr verringert. Eine Zusammenstellung der mit der stärksten Spannung der Membrana tympani secundaria einerseits, mit geringer Spannung derselben andererseits verbundenen Modificationen der Schalleitung wird die Sache erläutern.

A. Starke Spannung der Membran.

1. Die direct vom Steigbügel ausgehenden Wellen besitzen ceteris paribus die grösste Stärke.

2. Der von der Hauptwelle abgezweigte Wellentheil wird von der Membran nur schwach reflectirt.

Die Membrana fenestrae rotundae ist erschlafft, daher starke Verdichtung und Verdünnung der reflectirten Wellen und Uebergang eines grösseren Bruchtheiles der Luftwellen auf das Labyrinthwasser.

Das Trommelfell ist erschlafft, daher möglichste Intensität der Luftwellen.

B. Schwache Spannung derselben.

Die Wellen des Labyrinthwassers, die direct vom Steigbügel ausgehen, sind von geringer Intensität.

Der abgezweigte Wellentheil wird stark reflectirt.

3. Die aus der Trommelhöhle aufgenommenen Luftwellen gehen nur zum geringen Theile auf das Labyrinthwasser über.

4. Von den von der Membran ausgehenden einander zum Theil oder ganz interferirenden Wellen haben, unter Voraussetzung einer für alle Fälle constanten Weite der Trommelfellschwingungen, die aus der Luft aufgenommenen das Uebergewicht.

5. Aber die Trommelfellschwingungen sind nur von geringer Weite; die Interferenz der in der Schnecke ablaufenden, von der Membrana fenestrae rotundae ausgehenden Wellen ist möglichst vollkommen.

Die Luftwellen gehen mit grosser Stärke auf das Labyrinthwasser über.

Von den genannten Wellen haben unter gleicher Voraussetzung die von der Membran reflectirten das Uebergewicht.

Die Elongation der Trommelfellschwingungen ist möglichst gross; also die Interferenz möglichst vollständig.

Es war das Bedürfniss einer wechselseitigen Compensation zwischen dem Einflusse der Trommelfellschwingungen und der schallaufnehmenden und reflectirenden Wirksamkeit der Membrana fenestrae rotundae, welches mich bei meinen Untersuchungen a priori an der Ansicht von Harless zweifeln liess, und wenn irgend Etwas mich von der Richtigkeit meiner Theorie überzeugt hat, so ist es diese Construction anatomischer Verhältnisse, die mir vorher so unbekannt waren, wie den meisten übrigen Bearbeitern unseres Gegenstandes, aus der Nothwendigkeit eines der wirklichen Leistung unseres Gehörorganes entsprechenden acustischen Processes. Uebrigens habe ich mich später durch eigene Untersuchung von der Richtigkeit der Scarpa'schen Angabe überzeugt.

XI. Schlussbemerkungen.

§. 43. Es bleiben mir, nach Beendigung meiner Untersuchungen, noch einige Worte beizufügen über mehrere Punkte, deren Erläuterung durch das Frühere genau genommen überflüssig geworden sein würde, wenn nicht einige vielfach vertheidigte Ansichten von einem besondern Verhalten des Ohres

gegen starke und leise, sowie gegen hohe und tiefe Töne wenigstens Erwähnung verdienten. Die Geltung der Annahme, dass eine der jedesmaligen Höhe eines Tones entsprechende Spannung des Trommelfells uns die Wahrnehmung desselben, und gar die anhaltende Verfolgung eines Instrumentes in einem Orchester durch eine ganze Melodie hindurch erleichtern sollte, ist wohl durch das, was ich oben über die Hindernisse der Resonanz gesagt habe, wenn nicht ganz beseitigt, so doch auf ein sehr geringes Mass reducirt. Mir ist die Aufmerksamkeit auf ein bestimmtes einzelnes Instrument unter mehreren gleichzeitig tönenden ein vorzugsweise psychischer Act, der durch andere acustische Vorrichtungen im Gehörgang, als etwa durch die, welche sich möglicher Weise auf die genaue Wahrnehmung des Timbre beziehen, wahrscheinlich nicht unterstützt wird.

Schwieriger ist die Entscheidung über die Frage, ob einer der beschriebenen Mechanismen dazu dient, das innere Ohr und in specie den Hörnerven gegen die Einwirkung eines zu intensiven Schalles zu schützen. Mit Sicherheit ist nach meinen Untersuchungen ein solcher Mechanismus nur im Ablaufe der Schallwellen in der Schnecke zu statuiren. Dass aber, als Folge eines zu starken Schalls durch Reflex, Erschlaffung des Hammer- und Contraction des Steigbügelmuskels bewirkt werde, wodurch ja die Einwirkung der Schallwellen auf den Sinnesnerven geschwächt werden musste, lässt sich nicht so ohne Weiteres behaupten. Allerdings scheint der noch mitzutheilende Versuch zu zeigen, dass durch die anatomische Verbindung der Nerven des Gehörganges mit den Nerven des Hammermuskels eine Reflexthätigkeit des letzteren auf jede Berührung der häutigen Auskleidung des Gehörganges bewirkt wird; es scheint diese Thätigkeit aber hinter der durch Spannung der Aufmerksamkeit bedingten sehr bedeutend zurückzustehen. Am wahrscheinlichsten ist es mir, dass Contraction des Hammer- und Erschlaffung des Steigbügelmuskels das Mittel sind, wodurch dem Hörnerven auch noch solche Schallwellen deutlich wahrnehmbar zugeführt werden, welche sonst unhörbar sein würden. Es würde demnach der Seele im Ohre wirklich ein acustischer Mechanismus zur willkürlichen Erleichterung der Schallwahrnehmungen zu Gebote stehen, der aber freilich, wie leicht zu sehen, mit der Perception eines bestimmten Lautes nur wenig zu thun hätte, und mit der geringen, im dritten Abschnitte

erläuterten Einschränkung allen das Ohr gleichzeitig treffenden Schallwellen im gleichen Grade zu Gute käme.

Wie wir sehen, ist die hier vertretene Ansicht nur eine Modification der vorher zurückgewiesenen. Beide stimmen insofern mit einander überein, als sie in Folge starker Schalleinwirkung den Hammermuskel erschlafft werden, in Folge schwacher Impulse denselben sich contrahiren lassen, beides natürlich mit der entsprechenden Veränderung im Spannungsgrade des Steigbügelmuskels. Nur legt meine Annahme ein vorzügliches Gewicht auf die, bei *leisen* Tönen gesteigerte Aufmerksamkeit und deren Einwirkung auf den Hammermuskel, statuirt also eine willkürliche Thätigkeit desselben, während die entgegenstehende Ansicht die Veränderungen in den Spannungsgraden unsere Muskeln mehr auf einen von jeder Seelenthätigkeit unabhängigen und vorzugsweise durch *starke* Schalleinwirkung hervorgerufenen Reflex bezieht. Ich kann übrigens für meine Vermuthung nur Wahrscheinlichkeitsgründe beibringen. Einen solchen finde ich vorzugsweise in dem Umstande, dass es uns, soviel sich beobachten lässt, so wenig gelingt, schneidende, übermässig laute Töne von unserer Wahrnehmung auszuschliessen, oder ihre Einwirkung auch nur etwas zu schwächen; dass es uns dagegen leicht wird, leise Töne, die wir für gewöhnlich nicht vernehmen, durch Hülfe der besonders auf das Ohr gerichteten Aufmerksamkeit noch deutlich zu hören. Freilich hatte ein auf diese Sache bezüglicher Versuch keinen Erfolg. Da indessen selbst misslungene Versuche insofern von Interesse sind, als sie uns zum Nachdenken über die Ursachen des Mislingens auffordern, so theile ich ihn hier mit.

Versuch XXI. Ich setzte eine beiderseits offene, mit einem Tropfen gefärbter Flüssigkeit gefüllte Thermometerröhre mit meinem äusseren Gehörgange durch ein luftdicht an beide sich anschliessendes Rohr von Gutta-Percha in Verbindung. Es musste also die gefärbte Flüssigkeit den durch die Thätigkeit des Hammermuskels bewirkten Bewegungen des Trommelfells folgen. Nach dieser Vorbereitung beobachtete ich das Verhalten der Flüssigkeit, während ich bald leise, bald stark die höchsten und tiefsten Töne eines Claviers abwechselnd anschlug. Die Flüssigkeit behauptete unverändert ihren Platz.

Im Laufe dieses ganzen Versuches waren beide Momente, welche möglicherweise auf die Spannung der beiden Muskeln influiren können, in ununterbrochener Thätigkeit. Die durch die Berührung gereizten Nerven des äusseren Gehörganges konnten durch ihre Verbindung mit dem Nerven des Hammer-

muskels im dritten Ast des N. trigeminus eine continuirliche, durch grössere oder geringere Aufmerksamkeit nicht weiter veränderliche Spannung des Hammermuskels veranlassen, und die während des ganzen Versuches auf das äussere Ohr gerichtete Aufmerksamkeit die Thätigkeit beider Spannmuskeln anregen. Ob eines von beiden der Fall war, wird durch den Versuch nicht entschieden. Wenn es möglich wäre, einen Versuch anzustellen, bei dem jede Berührung des Gehörganges vermieden und die Aufmerksamkeit nur im Momente des Einwirkens eines Tones in Anspruch genommen würde, so müsste derselbe für unsere Frage eine entscheidende Antwort liefern. Wie freilich dieser Versuch, ohne welchen unsere Untersuchungen nie einen genügenden Abschluss gewinnen werden, angestellt werden kann, bin ich nicht im Stande anzugeben.
