

H ö r e n .

Allgemeine Bemerkungen.

Die Empfindung der Ruhe des Sinnesnerven, welche bei dem Gesichtssinn als dunkles Sehfeld für uns ebenso Gegenstand der Beobachtung wird, wie das Spiegelbild des erleuchteten und formenreichen Gesichtsfeldes, diese Empfindung der Ruhe als etwas Objectiven fehlt dem Gehörsinn. Wir hören etwas, oder wir hören überhaupt nicht. Von der Gegenwart eines Gehörsinnes überzeugt uns nichts als die Erregung seines empfindenden Nerven, während beim Auge das dunkle Sehfeld auch bei Abwesenheit des Lichtreizes »sein innerliches Fortleben«¹⁾ bekrundet. Diese Eigenschaft theilt der Acusticus mit sonst allen übrigen empfindenden Nerven, welche ihre fortwährende Metamorphose bei Mangel weiterer Reize durch nichts zu erkennen geben, als durch das allgemeine Wohlbefinden, welches mit der Statik in den Nerven verbunden ist. Die Bedingungen derselben sind eine gleichmäßige, gleichfortschreitende Regeneration der durch den Stoffwandel zerstörten Substanz. Darin besteht das innere Leben jedes Organs, und also auch das der Nerven; und dieses Leben hat überall die gleichen Ursachen, also auch die gleichen Wirkungen in Beziehung auf das, was in den gleichen Organen dabei vor sich geht. Liegt es nun in der Natur der centripetal leitenden Nervenbahnen, daß sie Perceptionen dieser ihrer Lebensprocesse zum Bewußtsein bringen, so ist schwer einzusehen, warum nicht alle die gleichen, oder alle einzelnen Gruppen verschiedene Eindrücke hervorrufen sollten. Das Sehen eines dunklen Feldes im Zustande der Ruhe scheint demnach bei der Retina noch von weiteren Ursachen als den allgemeinen Lebensbedingungen der Nervensubstanz abhängig.

Der Zustand des Acusticus in der Ruhe kommt uns nicht zum Bewußtsein, so wenig als der eines anderen nicht anderweitig erregten Empfindungsnerven.

Aus diesem Zustande der Ruhe kann der Acusticus durch die mannigfachen äußeren und inneren Ursachen gerissen werden, und besonders die letzteren sind geeignet, auch hier wieder zu zeigen, 1) daß die Sinnesempfindung etwas Subjectives ist, welches mit der Qualität der erregenden

¹⁾ Handwörterbuch Bd. III. p. 265.

Ursache nichts gemein hat, 2) daß die Perception des Sinnesindrucks nicht an die Gegenwart des Acusticus allein, sondern an dessen centralen Ursprung geknüpft ist; denn Congestionen so wenig als elektrische Ströme, welche beide die stärksten Gehörsempfindungen hervorrufen können, haben an sich etwas mit jenen Ursachen gemein, welche sonst von außen her die gleiche Sensation erregen. Das, was wir also als Ton empfinden, ist eine Molecularbewegung in der Nervensubstanz, und zwar wenigstens eben so gut als im Acusticus in den Centralorganen; denn Extravasate, Afterproducte u. dgl. rufen dort bei ihrem Entstehen Gehörphantasmen der verschiedensten Art hervor, wie viele Krankengeschichten beweisen.

Auch hier drängt sich wieder die Frage nach der specifischen Energie des Sinnesnerven auf; allein da dieselbe schon so mannigfach in diesem Werke besprochen worden, unterlassen wir es, noch einmal auf sie einzugehen, zumal bei der schweren Zugänglichkeit dieses Nerven von experimenteller Seite noch weniger eine Lösung der Frage herbeizuführen ist, als an irgend einem andern Sinnesnerven. So viel nur wollen wir in dieser Beziehung erwähnen, daß ein ähnliches Verhältniß der Tonempfindung zu der Erregung anderer Nerven stattfindet wie bei dem Opticus, oder dessen Centrum. So entsteht bei mir eine Gehörsempfindung beim leisen Streichen der Wange mit dem Finger (dasselbe hat auch Henle an sich beobachtet), oder beim Streichen der Schulter und des Nackens und der hinteren Fläche des Oberarmes; beides jedoch auf der rechten Seite deutlicher und häufiger, als auf der linken. Umgekehrt findet von den Fasern des Acusticus, durch das Centralorgan vermittelt, eine Uebertragung seines Reizes auf motorische Nerven statt, welche um so ausgedehnter ist, je intensiver der Eindruck auf den Sinnesnerv war. Ja selbst etwas Aehnliches, wie der Zusammenhang der Irisbewegung mit Lichteindrücken, findet sich bei dem Gehörorgan, wo ebenfalls gewisse Muskelcontractionen unwillkürlich durch Reizung des Acusticus oder seines Centrum hervorerufen werden. Von dem Einfluß des Lichtes auf andere Nerven als den Opticus kann man nur sagen: es könnte derselbe dort in gewissen Fällen wenigstens eine Unterscheidung von Hell und Dunkel vermitteln. Dagegen ist die Frage schwieriger zu lösen, ob andere Nerven als der Acusticus Schall- oder Tonempfindung vermitteln können, weil, wie wir später sehen werden, sich die Schallwellen durch die überall im Körper eingelagerten festen Substanzen leicht bis zu dem tonempfindenden Centrum fortpflanzen; dadurch kann dort eine Tonempfindung entstehen, während die mit dem tönenden Körper in Berührung gekommenen sensitiven Nerven nur die Erzitterung desselben fühlen.

Noch ist Einiges über das Verhältniß des Gehörorgans zu den übrigen Sinneswerkzeugen im Allgemeinen vorzubemerkeln. Alle Sinneswerkzeuge sollen uns die Natur der Dinge, unter welchen wir uns bewegen, erkennen helfen. Ist nun wohl stets die letzte Form eines sinnlichen Eindrucks aus dem Gebiet des Subjectiven hervorgegangen, so ist dieser Eindruck doch nicht ein bloß täuschendes Trugbild, welches aller Realität entbehrt, sondern, indem der Sinnesindruck ein Product ist, hervorgegangen aus der Dualität des äußeren Einflusses und der Dualität des dagegen reagirenden Nerven, so bleibt bei aller Subjectivität des letzten Productes die Realität des einen Factors stets in seiner vollsten Geltung, und aus der relativen Verschiedenheit des ersteren erlangen wir eine Einsicht in die absolute Verschiedenheit des letzteren.

Der gewöhnliche Sprachgebrauch abstrahirt daher auch von den wahren

Leistungen der Sinnesorgane, und nennt Eigenschaften der Körper ihre Wirkung auf die Nerven: die Form der Affection der letzteren durch die äußeren Einflüsse. Jedes einzelne Sinnesorgan ist an sich nur im Stande, die eine oder andere Art des Einflusses aufzufassen, und erst durch die Prüfung des Objects mittelst mehrerer Sinne kommen wir der eigentlichen Natur desselben etwas näher. Es entsteht also die Frage: für welche Einflüsse ist zunächst das Gehörorgan berechnet, und dann: was ist seine Hülfsleistung für die anderen Sinne?

Alle lebenden Wesen bewegen sich in einem Medium, durch welches Erschütterungen, die entweder unmittelbar in ihm selbst oder in anderen Körpern entstanden sind, nach gewissen Gesetzen fortgepflanzt werden. Diese Fortpflanzung ist in dem gleichen Medium eine nach allen Richtungen gleichmäßige. Die Form und Textur der Organisation dagegen, im Ganzen sowohl als im Einzelnen, eine sehr verschiedene. Dadurch würden die von außen gegen sie andringenden Erschütterungen an den verschiedenen Theilen des Körpers eine höchst verschiedene Wirkung hervorrufen, welche eine Confusion und Vermischung der Nervenregung in den einzelnen Partien der leitenden Bahnen schließlich im Centralorgan zur Folge hatte, aus welcher nimmermehr durch die weiteren physischen Akte eine Wahrnehmung dessen entstehen könnte, was in der Umgebung vor sich gegangen ist.

Wie also im Auge die Lichtstrahlen vermittelt der Sammelapparate in der gleichen Ordnung die empfindende Nervenfaser treffen, in welcher sie von dem leuchtenden Object ausgingen, eben so haben wir in dem Ohre einen Apparat, in welchem die Erzitterungen des umgebenden Medium in möglichst gleicher oder entsprechender Form auf den Sinnesnerv übertragen werden. So wenig aber die Lichtwellen als Wellen, sondern als Licht oder Farbe empfunden werden, so wenig werden die Schallwellen als Erzitterungen, sondern als Schall oder Ton von dem Gehörorgan percipirt. Wiederum kann nicht jede Erschütterung, die im umgebenden Medium sich bis zu dem Ohre fortpflanzt, eine Schall- oder Tonempfindung hervorrufen, sondern es sind gewisse weitere Bedingungen dabei gefordert, welche also nur bestimmte Bewegungen in dem umgebenden Medium zu Gehörerscheinungen werden lassen.

Bei dem Gesichtssinn kommt es auf eine Reproduction der räumlichen Verhältnisse der Außenwelt an, bei dem Gehör dagegen auf die Reproduction gewisser Bewegungen innerhalb des gestaltlosen Medium. Die Gränzen sind gegeben durch die Organisation des Gehörapparates, bei dessen Anordnung es entweder nicht möglich war, ohne andere Vortheile aufzugeben, die physikalischen Bedingungen zur Ueberschreitung dieser Gränzen herzustellen, oder wobei es vielleicht grade der Zweck ist, jene Gränzen einzuhalten und zu eliminiren, was jenseits derselben gelegen ist. Hierbei stoßen wir sogleich auf die Schwierigkeit jeder teleologischen Untersuchung, die in dem gegebenen Fall um so größer ist, als eine Reihe von Vorfragen noch unerledigt bleibt, ohne deren Lösung jene Untersuchung alles sicheren Bodens entbehren muß. Es ist nicht allein die Unkenntniß der Function, welche die einzelnen Theile des Gehörapparates in physikalischer Beziehung haben, sondern noch vielmehr die allgemeineren Verhältnisse der Nerven und ihr Zusammenhang mit den Centralorganen in physiologischer Beziehung, was Alles noch in einem tiefen Dunkel liegt.

Betrachten wir hier zunächst das Allgemeinere, und lassen die physikalischen Leistungen des akustischen Apparates noch außer Acht, nehmen an, daß die Schallwellen ebenso wie die Lichtwellen mit der berechnetesten Genauigkeit

durch den physikalischen Apparat des Sinnesorgans zu dem empfindenden Nerv fortgepflanzt sind: was kann zuletzt in diesem dadurch hervorgerufen werden? Die ganze Undulationstheorie des Lichtes setzt die Gegenwart eines allgemein verbreiteten Aethers voraus, dessen Wellen wohl von Bewegungen wägbarer Substanzen erregt werden können, die aber selbst nie in den letzteren die gleichen Bewegungen zu erzeugen im Stande sind. Mag nun dieser Aether alle Substanzen durchdringen, mag er in den Nerven und den Centralorganen ebenso verbreitet sein, wie sonst überall, seine Oscillationen werden niemals die Molecüle der Retina oder des Opticus in entsprechende Undulationen versetzen können. Betrachten wir die palpableren Schallwellen in der Atmosphäre: Mögen sie immer mit möglichster Wahrung ihrer Form, ihrer gegenseitigen Lage u. s. w. bis zu der Ausbreitung des Gehörnerven gebracht sein, in ihm werden die Oscillationen ganz andere werden. Ferner wissen wir, daß im Auge, wo es auf eine Reproduction der räumlichen Verhältnisse ankommt, wie die sorgsame, durch complicirte Mittel der lichtbrechenden Medien hergestellte Organisation glauben macht, die Lagerung der Fasern des Opticus in seinem weiteren Verlaufe eine ganz andere ist, als in der Retina, daß also das so mühsam hergestellte Netzhautbildchen hinterher wieder ganz zerstört wird¹⁾; wir wissen, daß es nicht möglich ist, die Schwingungen, in welche die Enden des Acusticus durch Schallwellen versetzt sind, sich fortgesetzt zu denken in seinem ganzen Verlaufe bis zu seiner Ursprungsstelle, so wenig als die chemischen Veränderungen der peripherischen Nervenendigungen durch Combustion in gleicher Weise bis zu den Centralorganen fortschreiten, sondern daß es überall nur darauf ankommt, an der Peripherie die Reaction des Nerven zu erzeugen, welche dann als bestimmte Empfindungsqualität ins Bewußtsein fällt. Was kann dann, so fragen wir weiter, für die Wahrnehmung aus der Erfüllung aller physikalischen Bedingungen zur vollkommenen Herstellung der Leitung äußerer Einflüsse nur bis vor die Thore der Sensation nützen, wenn dort mit einem Male die Brücke abgebrochen und es ganz gleichgültig ist, was den Nerv erregt, dessen Reaction mit der Natur des äußeren Einflusses an sich gar nichts zu schaffen hat?

Loze²⁾ hat hierauf schon so weit geantwortet, als es überhaupt möglich ist; er hat gezeigt, daß es durch die Apparate des Gesichtes- und Tastsinnes an sich ganz unmöglich ist, unmittelbar eine Raumanschauung sich erzeugt zu denken, und ist für die Fälle wenigstens, wo eine Combination von Sinnesindruck und Muskelgefühl zur Erklärung der Localisation der Empfindung unzureichend erscheint, auf die Kant'sche Annahme zurückgekommen, daß »der Raum nur als eine unserer Seele eigenthümlich angehörige Form der Anschauung zu betrachten sei.«

So viel oder so wenig aber hiermit für Gesichtes- und Tastsinn erklärt ist, so wird dadurch die Auffassung der Töne als etwas Unräumliches wieder unerklärlicher. Denn es ist wirklich eine Eigenthümlichkeit der Seele, gewisse Sinnesindrücke als Raumanschauungen aufzufassen; was hindert sie, diese ihre Eigenthümlichkeit nicht bei jedem Sinnesdrucke geltend zu machen? wer lehrt sie ihre Eigenthümlichkeit da aufgeben und dort behaupten? und dann: mit welchem Rechte entäußert sich die Seele derselben bei dem Gehörseindrucke? Sind die Schallwellen nicht ebenfalls Formen des Raumes, welchen die Atmosphäre erfüllt?

¹⁾ Loze, d. Handwörterbuch III. p. 179.

²⁾ Ebendaf. III. p. 179.

Diese Fragen führen uns auf folgende weitere Betrachtungen. Die Lichtwellen erfüllen wie die Tonwellen den Raum, welcher zwischen den Objecten, von denen sie ausgehen, und den Sinnesorganen, die von ihnen getroffen werden, liegt. Mit dem Sinne selbst nehmen wir weder die einen, noch die anderen wahr, sondern nur ihre Wirkung auf den empfindenden Nerven. Die Richtung, in welcher der Eindruck auf das Sinnesorgan geschieht, und über welche uns direct niemals dieses selbst, sondern stets die Abstraction mit Hülfe des Muskelgeföhles unterrichtet, beziehen wir auf den Raum außer uns, und wo wir überhaupt von Richtungen sprechen, setzen wir den Raum stillschweigend voraus. Es steht somit der Gehörsinn keineswegs ohne Zusammenhang mit der Raumanschauung, noch weniger ihr gleichsam entgegen als Zeitsinn, wie manche Philosophen gewollt haben, sondern das, was wir durch beide Sinne von dem Raume erfahren, ist nur von ungleichem Werth und ungleicher Schärfe. Durch beide Sinne werden uns auf der anderen Seite Eindrücke zugeführt, deren räumliche Verhältnisse uns ganz gleichgültig sind. Bei dem Ohre ist es der Ton, bei dem Auge die Farbe. Indem wir nun behaupten, daß für das Gehörorgan die Qualität der Nervenregung bei Weitem das Wesentlichste ist, begnügen wir uns vorläufig mit dieser später genauer zu besprechenden Andeutung, und erinnern schließlich nur noch vorübergehend an die Hülfsleistung, welche das Gehör anderen Sinneswahrnehmungen gewähren kann.

Die Materie mit ihren unendlich kleinen Theilen ist einer Menge von Veränderungen unterworfen, welche sich für das Auge und Gefühl nicht mehr zu erkennen geben; oder es umgibt uns ein dergestalt gleichartiges und leicht bewegliches Medium, daß kein anderer Sinn gewisse darin sich ereignende Vorgänge wahrzunehmen im Stande ist. Dahin gehören die Wellen, welche in der Luft auf unser Gefühl nicht den leisesten Eindruck machen, in unserem Ohre die stärkste Schallempfindung erzeugen. Ohne daß die Oberfläche eines Körpers sichtbar oder fühlbar sich verändert, gehen auf ihr sowohl als durch die ganze Masse desselben Veränderungen im Aggregatzustande der kleinsten Theile vor sich, welche kein anderer Sinn als das Ohr uns durch den veränderten Klang des Körpers verräth. So giebt uns dieser Sinn Nachricht von den wechselnden Zuständen der Massen, in welche das Auge so wenig als die tastenden Organe zu bringen im Stande sind.

Wir entlocken den Körpern mit dem Grade ihrer Spannung wechselnden Klang und Ton, und indem wir selbst in unserem Stimmorgane Apparate besitzen, welche durch unseren freien Willensakt auf die mannigfachste Weise zum Tönen gebracht werden können, sind wir im Stande, innere Erregungen Anderen kund zu geben.

Aus allen dem haben wir zu bestimmen, wozu das Gehörorgan dem Menschen, und wie vielfach seine Bedeutung für das Individuum gegenüber der ganzen Außenwelt ist.

Offenbar ist die Bedeutung desselben eine dreifache: eine rein sinnliche, eine psychische und endlich eine ästhetische, in welcher eine erste und zweite mit einander in gewisser Weise verknüpft sind.

Umgränzen wir nämlich das Gebiet der Vorgänge außer uns, welche allein von dem Ohre percipirt werden können, so sind es solche, deren Ursache in einer Bewegung gelegen ist, welche an der palpablen Materie mit einer gewissen Geschwindigkeit einmal oder wiederholt auftritt, deren Größe zu empfinden unseren anderen Sinnen unmöglich ist. Natürlich haben wir hier allein von der directen Sinneswahrnehmung, von der Empfindung ihrer

Qualität nach gesprochen, und nicht von der Beurtheilung der Geschwindigkeit mittelst weiterer Geistesoperationen. Wir können Bewegungen sehen und fühlen, allein die Verschiedenheit ihrer Geschwindigkeit wird, so lange sie nur einen kleinen Werth hat, auf der untersten Stufe der Sinneswahrnehmung nicht unmittelbar eine Qualitätsverschiedenheit der Empfindung. Nur innerhalb einer sehr engen Gränze kommen bei dem Gefühlsinne ähnliche Erscheinungen vor, wobei jedoch jede feinere Distinction, wie wir sie bei dem Ohre treffen, mangelt. Es ist nämlich das Gefühl des Vibens, welches durch die Berührung erzitternder Körper herrührt. Man kann sich hiervon sehr leicht überzeugen, wenn man eine Violine saite von bestimmter Spannung fortwährend mit dem Violinbogen streicht und sie mit Daumen und Zeigefinger der anderen Hand leicht berührt, während gleichzeitig ihre Spannung verändert wird. Man hört dann die Töne mehr als eine Octave durchlaufen, ohne daß die gefühlten Vebungen der Saite auch nur geringe Unterschiede in dem Gefühl hervorriefen.

Das Wesentlichste am Gehörorgane ist somit zuerst eine instinctive Erkenntniß des Verhältnisses vom Raum zur Zeit bei der Bewegung der palpablen Materie (und nicht des Aethers, dessen Schwingungen zu percipiren Aufgabe des Auges ist) in der Form bestimmter Empfindungsqualitäten. Dabei sind gewisse Gränzen gesteckt, welche jedoch nicht absolut bestimmt, sondern abhängig sind von der Intensität der bewegenden Ursache. Denn wenn man früher annahm, daß mindestens 32 einfache Stöße in der Secunde erfolgen müssen, um den tiefsten Ton (als Ton von bestimmtem unterscheidbaren Werth) zu erzeugen, so hat Savart dem gegenüber gezeigt, daß 14—18 einfache Schwingungen oder 7—9 Stöße in der Secunde noch hinreichen, einen vernehmbaren tiefen Ton hervorzurufen, wenn die Stöße nur von hinlänglicher Dauer und Intensität sind. Ebenso können bei gehöriger Intensität 48000 einfache Schwingungen oder 24000 Stöße in der Secunde den höchsten noch unterscheidbaren Ton erzeugen. Mit den Mitteln, die Intensität der Töne zu steigern, würde sich vielleicht die Summe der unterscheidbaren Töne auf- und abwärts noch bedeutend vermehren lassen.

So weit besitzt das Ohr eine Eigenthümlichkeit der Function, welche dem Tastsorgane fehlt. Nun ist aber schon ein einfacher Stoß auf den Gehörnerv zur Schallempfindung hinreichend, wie das Zusammenfahren zweier getrennter Luftschichten beim Peitschenknall, bei einer Explosion oder dergl., was auch Ehladni auf Rechnung des einfachen Stoßes bringt, obgleich selbst vielleicht dabei schon eine Periode von Wellen erregt wird. Hier handelt es sich somit bloß um die Wahrnehmung der Bewegung, wobei die Geschwindigkeit derselben gleichgültig ist, ebenso wie bei den Geräuschen, bei welchen die Regelmäßigkeit der Succession der Bewegung, welche zur Erzeugung des Tons nothwendig ist, wegfällt. Das Geräusch hat in der Art und Weise des Gefühls, welches es erregt, Aehnlichkeit mit dem des Vibens in den Empfindungsnerven, und der Schall, aus einem einfachen Stoß entsprungen, mit dem Gefühl des Drucks. So weit also der musikalische Werth der erregten Gehörsempfindung gleichgültig oder unerkennbar ist, bildet dieselbe eine Hülfsleistung für den Tastsinn, und zwar eine unentbehrliche in den Fällen, in welchen die Erschütterung des umgebenden Mediums eine so geringe ist, daß sie eben nur auf den Acusticus nicht mehr, aber auf die Gefühlsnerven wirken kann.

Das ist die eine rein physische Seite der Bedeutung des Gehörorgans für das Individuum.

Wir haben aber noch eine große Reihe von Gehörsempfindungen, bei welchen der absolute musikalische Werth an ihnen ganz gleichgültig ist, wobei der geistige Inhalt das Wesentliche bildet, welchen wir aus der Thätigkeitsäußerung des Stimmorganes eines Anderen erkennen lernen. Die Mittheilung der individuellen geistigen Bewegungen, die Verständigung zweier Individuen durch die Sprache, giebt dem Gehörorgane eine der wichtigsten Bedeutungen, welche die Sinnesorgane in psychischer Beziehung besitzen. So gleichgültig dabei auch die absolute Höhe oder Tiefe der Töne ist, welche wir an den gehörten Worten vernehmen, so bedeutungsvoll wird doch die relative, worauf die Accentuirung der Rede mit allen den Nüancen und Schattirungen ihres Inhalts beruht, welche sich dadurch zu erkennen geben.

Die letzte Bedeutung endlich, welche diesem Organe zukommt, ist die ästhetische, welche hier und bei dem Auge größer als bei den übrigen Sinnesorganen ist. Bei der Auffassung derselben giebt sich der Geist ganz dem inneren Leben des Gefühles hin, das mächtiger als durch die Töne nicht leicht angeregt wird. Hier ist der Ton als solcher in seinem Verhältniß zu anderen das wesentlich Bestimmende, und in den geschlossenen Reihen der Octaven, in ihrem Streiten und Harmoniren entfaltet sich eine vollendete Widerspiegelung des Kampfes und der Versöhnung, welche das Leben im Großen und Ganzen uns bietet. Den Farben fehlt dieser geschlossene Kreis einzelner Wirkungen, welche die Tonreihen in ihren Octaven mehrmals zu wiederholen vermögen; darum dürfen wir auch unbedingt dem Ohre eine höhere ästhetische Bedeutung beilegen, als dem Auge.

So also haben wir drei Gesichtspunkte in Beziehung auf den Werth der Höhe oder Tiefe der Töne. Unter dem ersten ist uns der musikalische Werth des Tons Mittel zum Zweck, im zweiten absolut gleichgültig, im dritten selbst Zweck.

Unter dem ersten und dritten Gesichtspunkte werden wir die Zwecke dieses Organs betrachten, welches in dem ganzen Reiche der Thiere nur wenigen versagt zu sein scheint, und bei dem Menschen eine so reichhaltige Quelle von Anknüpfungspunkten für die innersten geistigen Vorgänge liefert; von dem zweiten Gesichtspunkte aus wird das Gehörorgan in dem Artikel »Stimme« Berücksichtigung finden.

Die Beurtheilung des Zweckes eines Organes verlangt die Kenntniß seiner Leistungen, welche uns zuerst beschäftigen müssen, und wir beginnen deshalb mit dem

Physiologischen Theil.

Müssen wir auch, wie bei jedem anderen Sinnesorgane, bei dem Ohre einen Nerv voraussetzen, welcher die eigenthümliche Schallempfindung zu vermitteln im Stande ist, so läßt sich nach Analogie der Tastnerven¹⁾ auch in ihm keine spezifische Leitungsfähigkeit voraussetzen, ja selbst die peripherischen Sinnwerke können bei diesem Organe fehlen, ohne daß damit ein Mangel wenigstens derjenigen Sinneswahrnehmung verbunden wäre, welche bei uns durch das Hören die Tastempfindung unterstützt. Es ist hier ähnlich wie bei dem Auge. Eine Empfindung von hell und dunkel läßt sich noch vermuthen, wenn keine Spur optischer Apparate gefunden wird, während

¹⁾ Dieses Handwörterbuch Bd. III. Abth. 2. p. 500.

die Auffassung der einzelnen Raum erfüllenden Punkte mit der Verschiedenheit ihres Colorits nur denkbar ist durch die Mithilfe gewisser physikalischer Vorrichtungen. Die Erzitterungen in dem das Thier umgebenden Medium pflanzen sich ohne alle weitere Vorbereitung und Einrichtung direct bis zu den Nerven fort und werden von ihnen als Bebingen empfunden, und zwar möglicher Weise mit einer solchen Feinheit der Distinction, daß dadurch die Empfindung des Schalles bis zu einem gewissen Grade ersetzt werden kann, ohne daß es freilich zu der bestimmten uns bekannten Empfindungsqualität des Schalles oder Tones kommen dürfte. Darauf deutet vielleicht auch der Umstand hin, daß unter den niederen Thieren die Echinodermen eines Gehörorganes in der Form, wie es zunächst diesseits und jenseits dieser Klasse vorkommt, entbehren können, weil sie eine so große Menge von Organen zum Tasten in den Mundtentakeln, Pedicellarien und den in beständig fühlender Bewegung begriffenen Füßchen besitzen. Doch läßt sich von vorn herein selbst nicht mit absoluter Bestimmtheit sagen, daß in solchem Falle diese eigenthümliche Empfindungsqualität fehlen müsse. Denn diese beruht weder auf der sogenannten specifischen Energie des Nerven, noch auf der Gegenwart oder Abwesenheit der peripherischen Sinnwerkzeuge, sondern allein auf der einmal gesetzten Verknüpfung leiblicher und geistiger Prozesse, zuletzt also auf einem psychischen Elemente, dessen Dasein bei anderen Individuen nicht a priori behauptet oder geläugnet werden kann. Wir können uns deshalb auch nicht wundern, wenn bei manchen Thieren, z. B. den Spinnen, die Beobachtung offenbare Kennzeichen der Schallempfindung gefunden hat, ohne daß es bis jetzt der anatomischen Untersuchung gelang, bestimmte Organe dafür nachzuweisen.

Wo diese gefunden werden, bestehen sie in Theilen, welche die Schalleitung von dem umgebenden Medium zu dem Nerv erleichtern, und in Anordnungen, durch welche der Acusticus eine möglichst günstige Lagerung für die Aufnahme der Schallwellen gewinnt; die vollkommeneren Organisation bietet endlich noch Apparate zur Verstärkung der ursprünglichen Schalleitung.

Das Schema der einfachsten Form des Gehörorganes ist ein mit Flüssigkeit gefülltes Bläschen, auf dem sich der Acusticus ausbreitet. In diesem Bläschen findet sich in der Regel ein größerer oder mehrere kleinere Dtolithen (Concremente von kohlensaurem Kalk) vor. Meist sind diese in oscillirender und rotirender Bewegung. Zuerst finden wir diese einfachste Form in den Ammenzuständen der Hydroiden. Am Scheibenrande der Campanularia liegen acht wasserhelle Bläschen, jedes mit einem einzigen großen Dtolithen, welcher, nach v. Nordmann's¹⁾ Entdeckung, in fortwährend fibrirender Bewegung ist; bei den entwickelten Polypen hat man dagegen bis jetzt vergebens nach einem entsprechenden Apparate gesucht.

Unter den Acalephen kennt man bei den Etenophoren sowohl, als den Discophoren, die Gehörbläschen, in welchen die tanzenden Dtolithen liegen. Nur bei Geryonia sind die auf kleinen warzenförmigen Erhebungen gelegenen Dtolithen bewegungslos. — Bei den Echinodermen hat man noch kein solches Organ gefunden; bei den Acephalen dagegen ist es sehr allgemein verbreitet; doch ist es bei den Brachiopoden und den Ascidien unter den Tunicaten noch nicht bekannt. Die Gasteropoden besitzen, vielleicht mit Ausnahme von Chiton und Sagitta, sämmtlich solche Apparate. Siehe sich, was Krohn

¹⁾ Annal. des sciences nat. 1845. Tom. III. p. 151.

bei *Paludina* gefunden, nämlich daß die Hülle des Gehörorgans aus zwei übereinander gelegenen Membranen gebildet wird, allgemein für diese Form des akustischen Apparates annehmen, so würde nur das innere Bläschen in Analogie mit dem häutigen Labyrinth zu setzen sein, das äußere dagegen mit dem Vestibulum, welches wir schon deutlich ausgesprochen bei den Cephalopoden und zwar knorpelig antreffen. Ist diese Deutung richtig, so muß das Bläschen bei diesen Thieren aus einer einfachen Membran bestehen, was zu unterscheiden mir bei Weingeistpräparaten bis jetzt noch nicht gelungen ist.

Unter den Würmern scheint die Verbreitung des Gehörorgans ziemlich ausgedehnt: sehr deutlich entwickelt ist es unter den Chätopoden bei *Arenicola* in der Form zweier kurzgestielter, rundlicher Bläschen mit vielen unregelmäßig geformten bräunlichen Körpern in ihrem Innern, welche ebenso wenig beweglich sind wie der einfache *Dtolith* in der unpaarigen Gehörblase von *Convoluta* unter den Turbellarien. —

Bei allen diesen Thieren findet sich dieses Organ im Innern des Körpers in der Nähe der vorderen Ganglienmasse.

Erst bei den höher entwickelten Classen rückt es nach Außen wie bei den Dekapoden, wo es an der Basis des äußeren oder großen Fühlerpaares befindlich ist, und in der Entwicklung einen Fortschritt darin gemacht hat, daß die äußere Hülle des Bläschens nicht mehr eine gleichartige Substanz darstellt, sondern bereits in zwei verschiedene abgegliedert ist, indem nur ein kleiner Theil häutig bleibt, entsprechend der *membrana tympani secundaria*, der größere Theil conisch ausgezogen, als Analogon des Vestibulum solid wird. In diesen Regel hinein setzt sich die weiter nach innen gelegene ziemlich große Gehörblase mit einer entsprechenden Verlängerung fort. *Dtolithen* fehlen hier.

Bei den Insekten findet ein ähnliches Lagerungsverhältniß statt. Mit Gewißheit ist das Gehörorgan hier erst bei den Orthopteren nachgewiesen: so bei den Acridiern, wo es jederseits in dem ersten Hinterleibsegment über dem dritten Stigmenpaare liegt, und unter dem rhomboidalen Ausschnitt in den äußeren Bedeckungen, welcher durch eine trommelfellartige Membran geschlossen ist, mit seinem Bläschen gefunden wird.

Die Locustinen und Acheinen besitzen ein ähnliches Organ unmittelbar unter dem Kniegelenk in den Schienen der Vorderkniee.

Den Zweck der einzelnen Theile dieses einfachen Apparates, wie er in der Reihe der wirbellosen Thiere sich zeigt, übersieht man leicht. Die sphärische Gestalt des Bläschens dient dazu, die Ausbreitung des Gehörnerven in einem kleinen Raum zu begünstigen. Der Hohlraum ist mit Flüssigkeit erfüllt, zu welcher die Schallwellen der Luft sich mit Hülfe der das Bläschen bildenden Membran mit Leichtigkeit fortpflanzen. Diese Aufgabe der Membran, Schwingungen der Luft auf Wasser zu übertragen, werden wir später noch genauer kennen lernen. Natürlich kommt sie bei dieser ganzen Reihe von Thieren nur da in Betracht, wo die Schallwellen aus der Luft aufgenommen werden sollen, und zugleich das Gehörorgan nicht im Innern des Körpers eingelagert, sondern an der Peripherie angebracht ist, also eigentlich bloß bei den Insekten. Hat die Membran aber auch den gleichen Zweck der Erleichterung des Uebergangs der Schallwellen bei jenen Thieren, wo das Organ im Innern des Körpers eingebettet ist, wie mit Ausnahme der Crustaceen bei allen Wirbellosen? Daß es erstens bei dieser Anordnung gleichgültig ist, in welchem Medium die Thiere sich befinden, sehen wir daraus, daß ganz derselbe Bau bei den in Wasser lebenden wie in der Luft athmen-

den Gasteropoden, bei den theils im Wasser, theils auf dem Lande lebenden Chätopoden sich zeigt. Offenbar können in beiden Fällen die Bläschen zunächst nur die von dem umgebenden Medium in die Substanz des Körpers übergegangenen Schallwellen aufnehmen. Denken wir uns nun diese meist gallertartigen oder doch nur halbweichen Körper der meisten Wirbellosen mit Ausnahme etwa der Cephalopoden, welche in ihrem Kopfnorpel einigermaßen feste Substanz besitzen, und gehen von der Thatsache aus, daß der Schall am besten in dem Medium sich fortpflanzt, welches mit dem Schallerregenden homogen ist, so sehen wir, daß für die Luftwellen so wenig als für die Wasserwellen die Verhältnisse bei diesen Thieren günstig sind. In jedem Fall muß der Schall bei dem Uebergang von dem umgebenden Medium in die Substanz des Thierkörpers erschwert sein. Etwas leichter ist er natürlich bei den im Wasser als bei den in der Luft lebenden Thieren.

Somit kann also der Membran des Bläschens keineswegs eine Function beigelegt werden, welche wir der *membrana tympani secundaria* oder dem membranösen Saum des Steigbügels zuschreiben müssen, vielmehr dient sie hauptsächlich als Stützpunkt für die Ausbreitung des *Acusticus*.

Im Innern des Bläschens finden wir fast allgemein Concremente von anorganischen (Kalk-) Massen theils in amorphem, meistentheils in krystallinischem Zustand. Die Function derselben, mögen sie nun als einzelne größere, oder Aggregate kleinerer *Otolithen* auftreten, läßt sich leicht erathen. Sie befinden sich in einer Flüssigkeit, zu welcher bereits die Schallwellen müssen gedrungen sein. Feste Körper innerhalb einer Flüssigkeit verstärken durch Resonanz die in der Flüssigkeit erregten oder fortgeleiteten Schallwellen. Dies ergibt sich aus dem Versuch von J. Müller¹⁾.

Werden nämlich mittelst der am unteren Ende mit einer Membran geschlossenen Pfeife, welche in das Wasser getaucht ist, Schallwellen in das Wasser fortgepflanzt, und das eine Ende einer Glasröhre mittelst eines Pfropfens von gefautem Papier fest in den äußeren Gehörgang gefügt, während das andere Ende derselben ebenfalls in das Wasser taucht, so hört man zunächst den Schall am besten, wenn dieser Conductor in die Direction der Pfeife gehalten wird. Bringt man nun zwischen die Pfeife und den Conductor ein Brettchen, so wird dadurch der Ton nicht allein nicht geschwächt, sondern er wird gleich stark in der Nähe der ganzen Oberfläche des Brettchens gehört, mag der Conductor in der Direction der Pfeife gehalten werden oder nicht. Daraus folgt, daß dieser Körper die Schallwellen im Wasser zu resoniren vermag. Diese Rolle haben nun offenbar die *Otolithen*, gleichviel ob deren nur einer oder mehrere sich in dem Bläschen befinden. Daß diese *Otolithen* als resonirende Körper wirken, erkennen wir außerdem auch noch daraus, daß sie bei einzelnen Wirbellosen fehlen, wo eben auf andere Weise dafür gesorgt ist, daß der Schall mit möglichster Stärke fortgepflanzt werde, und wo zugleich andere Vorkehrungen getroffen sind, die Resonanz hervortreten zu lassen. Dahin gehören die Gehörorgane der Insecten und Crustaceen. Bei beiden vermiffen wir die Gehörsteine; bei beiden aber ist das Organ so an die Peripherie gelegt, daß die Schallwellen mit der größten Intensität den Nerv zu treffen im Stande sind. Bei den Crustaceen umgiebt das Bläschen ein harter knochenartiger Gehörgang, und bei beiden ist eine Membran vorgespannt, welche besonders den in der Luft hörenden Insecten sehr zu Statten kommen muß.

¹⁾ Handb. d. Phs. d. Menschen Bd. II. p. 421.

Gleichzeitig ist bei beiden, wenn auch auf verschiedene Weise, die Resonanz der Schallwellen begünstigt. Bei den Crustaceen resonirt der kegelförmige Skelettheil, in welchem ein Theil des Gehörbläschens sich findet, bei den Insecten die Luft in der hinter dem Bläschen sich ausdehnenden großen Tracheenblase, die aus dem dritten Stigmenpaare bei den Acridiern entspringt und bei den Locustinen und Achetinen zwischen Vorder- und Mittelrücken durch ein großes offnes Stigma nach außen mündet.

Wir haben nun die Ursache und den Zweck der Bewegung zu untersuchen, welche wir bei der Mehrzahl der Dolithen antreffen.

Bei den einfachen größeren Steinchen ist es eine fortwährende Oscillation, bei den kleineren eine gleichzeitige Bewegung gegen die Wandung, die sie aber fast nie erreichen, und wieder zurück gegen das Centrum hin. Die rhombischen und spießigen Krystalle drehen sich dabei häufig um ihre Quer- oder Längs-Achse unter fortwährendem Zittern.

Die Ursache dieser Bewegung kann eine dreifache sein: einmal kann sie in dem Steinchen selbst liegen, und die Erscheinung muß dann in die Kategorie der sogenannten Molekularbewegung gebracht werden, oder sie liegt zweitens in der Organisation der Membran, indem hier ein Flimmerepithelium angebracht ist, durch welches Strömungen der Flüssigkeit erzeugt werden, oder sie liegt endlich in Strömungen, welche ohne Mitwirkung eines Flimmerorgans durch Diffusion unterhalten werden. —

Was die erste Ursache betrifft, so wäre dieselbe denkbar bei den kleineren und kleinsten Körperchen, nicht leicht aber bei den einfachen großen Dolithen, welche wir unter den Gasteropoden bei den Heteropoden, unter den Acephalen bei den Lamellibranchiaten antreffen. Außerdem kommt dies Phänomen überhaupt in geschlossenen Zellen im Organismus, so viel mir bekannt ist, nicht vor. Die Moleküle des schwarzen Pigmentes der lamina fusca z. B. zeigen innerhalb ihrer Zellen nie die geringste Spur einer Bewegung, welche sogleich in der Flüssigkeit, welche man von den Zellen hat imbibiren lassen, mit großer Lebhaftigkeit austritt —

Die zweite Ursache, ein Flimmerorgan, ist bei vielen Thieren mit Bestimmtheit nachgewiesen: so unter den Acalephen bei den Etenophoren, wo es bei Cybippe in vier Längsreihen gestellt ist¹⁾; unter den Gasteropoden bei Tethys, Tritonia, Pleurobranchus, Diphylidia und Hyalea²⁾. Die ganze Art der Bewegung spricht dafür, daß sich in den übrigen Fällen das Flimmerepithelium nur durch seine Feinheit der Beobachtung entzogen hat, überall aber von ihm die Bewegung ausgeht. Gerade der Innenfläche der Wandung gegenüber ist die Bewegung am stärksten, man sieht ferner von da aus die Körperchen immer wieder dem mittleren Raum zugeschleudert werden, und von dort in regelmäßig wiederkehrenden Bogenlinien gegen die Wandung zurückkehren, zum Beweis, daß Wirbel in der Flüssigkeit entstehen, die von einer stets in gleicher Richtung erfolgenden Strömung ausgehen, was alles auch an kleinen Körperchen sonst beobachtet werden kann, welche in einer Flüssigkeit suspendirt in den Bereich schwingender Cilien kommen. Deshalb kommt es bei den einfachen größeren Dolithen wie bei den Lamellibranchiaten auch nicht zu vollkommenen Rotationen, sondern bloß zu Schwankungen, indem die von allen Punkten der Hohlkugel ausgehenden Strömungen sich bis zu einem gewissen Grad die Waage halten und dadurch die fortgehende

¹⁾ Wagner's Lehrbuch der Zoologie Th. II. p. 550.

²⁾ Frieriep's Neue Not. Nr. 537.

Bewegung der ganzen Masse des sphärischen Otolithen in einer bestimmten Richtung verhindern. Endlich hört die Bewegung auch der kleinsten Otolithen fast ganz gleichzeitig mit der Bewegung der Flimmerhaare an den übrigen Theilen des Thieres auf. Ich habe bei vielen Gasteropoden, bei welchen ich mit aller Sorgfalt ebenfalls keine Cilien im Innern der Gehörblase entdecken konnte, genau auf die Zeit geachtet, in der die Bewegung der Steinchen aufhörte, im Vergleich mit der Zeit, in welcher die Flimmerhaare verschiedener andern Organe stille standen, und in der Mehrzahl der Fälle eine vollkommene Uebereinstimmung gefunden. Nur in wenigen Fällen überdauerte die Bewegung der Otolithen die der Cilien, was sich leicht aus der mehr von äußeren Einflüssen geschützten Lage des Flimmerepitheliums im Inneren des Gehörbläschens erklärt. Endlich habe ich eine große Reihe von Versuchen mit den verschiedensten Substanzen gemacht, welche die Flimmerbewegung vernichten, und gefunden, daß sie alle sofort auch die Bewegung der Otolithen aufhoben.

Was endlich die dritte mögliche Ursache betrifft, so ist dieselbe meinen directen Versuchen zu Folge nicht als die hier wirkende zu betrachten. Brachte ich Gehörorgane von Mollusken in Flüssigkeiten von solchen Concentrationsgraden, welche sicher mit denen der Flüssigkeit in dem Bläschen differirten, so sah ich wohl Volumveränderungen des letzteren auftreten, allein es mußten dieselben erst sehr beträchtlich werden, wenn das Phänomen aufhören sollte, vorausgesetzt natürlich, daß die angewandte Flüssigkeit die Flimmerbewegung in den übrigen Organen ganz ungestört fortgehen ließ. Während einer solchen Volumveränderung des Bläschens sah ich niemals wesentliche Modificationen in der Art oder Schnelligkeit der Bewegung an den Otolithen auftreten.

War allmählig die Bewegung sistirt, so konnte ich, so oft ich auch die Concentrationsgrade verschiedener Flüssigkeiten, in welchen sich das Gehörorgan befand, hinter einander wechseln mochte, doch niemals wieder die früheren Oscillationen hervorrufen, obgleich die Abwechslung in dem Volum der Bläschen den deutlichsten Beweis von endosmotischen und exosmotischen Strömungen im Innern desselben lieferte.

Was nun zweitens den Zweck der Bewegung der Otolithen bei diesen Thieren betrifft, so führt uns zuerst die vergleichende Anatomie darauf, daß die Gehörsteinchen mit möglichst wenig Punkten die Innenwand des Bläschens berühren sollen. Dieses wird am vollkommensten natürlich da erreicht, wo durch die Thätigkeit eines Flimmerorganes die Steinchen immer von der Innenwand des Bläschens entfernt gehalten werden. Deshalb finden wir auch, wo die Steine bewegungslos sind, meist besondere Vorrichtungen, um sie von dem größten Theil der Wandung fern zu halten und an einem Punkte zu fixiren. So kennen wir ein Beispiel hierfür bei der Discophore Geryonia, wo die Otolithen auf kleinen warzenförmigen Erhabenheiten der Kapsel unbeweglich liegen; unter den Würmern bei der Turbellarie Monocelis ist im Innern der Gehörblase zur Stütze des unbeweglichen Otolithen ein besonderer Apparat angebracht, der aus zwei bogenförmig gekrümmten dicken durchsichtigen Stäbchen besteht. Auf ihrer concaven Fläche ruht der vordere seitliche Rand des Otolithen; ihre convexe Seite ist an der Wandung des Gehörbläschens befestigt.

Für diese Anordnung ist ein doppelter Grund denkbar: einmal nämlich um den kleinen Flächenraum, welchen an sich schon die Gehörblase der Ausbreitung des Nerven bietet, nicht noch mehr durch die für die Otolithen nöthigen

digen Anheftungspunkte einzuschränken, zweitens um den Gehörnerv in seiner ganzen Ausbreitung bei jeder Lage des Thieres möglichst gleichmäßig von den Schallwellen treffen zu lassen. Denn gewiß ist, daß die Schallwellen viel intensiver die Partie der Primitivfasern des Acusticus treffen als die übrigen, welche in unmittelbarer Berührung mit den Otolithen stehen. Könnten nun die Steinchen lose innerhalb der Gehörblase umherrollen, so würde bei jeder Lageveränderung des Thieres die Berührungsstelle von Nerv und Otolithen eine andere und es müßte dadurch die Distinction viel mehr erschwert werden; als da, wo in jeder Lage des Thiers die Entfernung der festen resonirenden Körperchen von der empfinden Fläche gleich groß bleibt.

Veränderungen in dem Tanz der Otolithen sind niemals wahrzunehmen, wenn in der Nähe des Gehörorganes Töne erregt werden, weder wenn dieselben durch Schwingungen fester Körper, noch wenn sie durch Luft-Vibrationen einer membranös verschlossenen Pfeife hervorgerufen sind, deren unteres Ende in das Wasser taucht, in welchem das Gehörorgan liegt. Diese Bewegungen der Steinchen sind überhaupt immer zu langsam, als daß sie Schallwellen erzeugen könnten; nur bei ihrem Ausstoßen an den Nerv könnten sie, wie eine verstärkte Arterienpulsation in unserem Ohr, eine Gehörsempfindung vermitteln, dem aber eben dadurch vorgebeugt ist, daß die Steinchen stets von der innern Wand zurückgeschleudert werden, sobald sie sich ihr nähern.

So einfach wie bei den Wirbellosen ist das Gehörorgan nirgend mehr in der Reihe der Wirbelthiere, denn selbst Petromyzon, von dem man früher glaubte, es gleiche sein Gehörorgan dem der Wirbellosen, besitzt nach J. Müller's Beobachtungen ein complicirtes Labyrinth mit halbcirkelförmigen Canälen. Dreierlei Arten der Schallleitungen sind es nun, welche bei dem Hören der Wirbelthiere bald einzeln, bald vereint zur Sprache kommen. Nämlich 1) die Schalleitung durch feste Körper, 2) durch Wasser, 3) durch Luft, welchen drei Arten verschiedene Anordnungen in den akustischen Apparaten entsprechen.

Unter diesen drei Gesichtspunkten werden wir zunächst das Hören und die Function der einzelnen Theile des Gehörorgans betrachten.

I. Hören durch Schallwellen in festen Körpern.

Schallwellen fester Körper entstehen durch plötzlich erfolgende Veränderungen in der Cohärenz ihrer kleinsten Theile, wenn diese an sich die Eigenschaft besitzen, mit einer gewissen Schnelligkeit den früheren Cohärenzzustand wieder herzustellen. Es sind dieses die elastischen Körper. Veränderung der Oberfläche kann dabei sichtbar sein oder nicht. Im ersteren Fall nennen wir die Schwingungen des Körpers Beugungswellen, im letzteren Verdichtungs- und Verdünnungswellen. Beide Arten von Wellen können fortschreitend oder stehend sein, werden aber jederzeit in den schalleitenden Körpern zu fortschreitenden, durch welche sie unter den geeigneten Bedingungen zu unserem Ohr gelangen, und eine Schall- oder Tonempfindung vermitteln können. Als oberster Grundsatz bei der Schalleitung gilt der, daß sich unter allen Bedingungen der Schall am besten in dem Medium fortpflanzt, in welchem er erzeugt worden, d. h. die primär erregten Wellen behaupten ihre Elongation am längsten und vollkommensten, je geringer der Unterschied des schalleitenden und schallerregenden Mediums ist. Deshalb pflanzt sich z. B.

der in festen Körpern erzeugte Schall am besten in festen Körpern fort, der in der Luft erzeugte dagegen schwer in feste Körper.

Das Gehörorgan der Wirbelthiere wird überall von mehr oder minder fester Substanz umschlossen; bei den Knorpelfischen allein noch von Knorpel-, bei allen übrigen Thieren von Knochenmasse, und zwar zeichnet sich dieselbe fast immer durch den großen Grad ihrer Härte (Felsenbein) aus. Diese Härte verleiht der Hülle des Gehörorgans einen möglichst hohen Grad von Elasticität, obwohl man im gewöhnlichen Leben solch unnachgiebigen Körpern gerade keine Elasticität zuschreibt.

Der knöcherne Gehörgang, die Paukenhöhle mit dem knöchernen Labyrinth steht in unmittelbarem Zusammenhang mit den übrigen harten Theilen des Kopfes. Von jedem Theil des Kopfes aus wird sich der in festen Körpern erzeugte Schall leicht bis zu dem inneren Ohr fortpflanzen, und zwar mit um so größerer Intensität, je zugänglicher die Knochensubstanz selbst ist, je weniger dämpfende Körper, wie Muskeln, Fett &c. zwischen ihr und dem tönenden Körper sich vorfinden. Um hierüber Versuche anzustellen, verschließen wir den äußeren Gehörgang und die Nasenlöcher mit feuchten Fleischnapier-Pfropfen, setzen eine tönende Stimmgabel nach einander auf verschiedene Punkte des Kopfes auf, und vergleichen die Intensität der Tonempfindung von diesen Punkten aus. Dabei finden wir die größte, wenn wir die Stimmgabel auf die Zähne des Oberkiefers aufsetzen, dann an dem äußeren Gehörgang, am Zigenfortsatz; die schwächste, wo, wie an der Wange, größere Muskelmassen locker auf den Knochen aufliegen.

Bei dem gewöhnlichen Hören benutzen wir diese Leitung in der Regel nicht, weil das, was wir hören wollen, meist durch Schallwellen der Luft zu unserem Gehörorgane kommt, welche anzunehmen das Ohr sehr geeignete Apparate besitzt. Dagegen nehmen wir diese Leitung häufig in Anspruch bei dem sogenannten Horchen; natürlich kann nur dann ein wirklicher Vortheil aus dieser Art der Leitung gewonnen werden, wenn es sich darum handelt, sehr geringe oder zu entfernte Schwingungen fester Körper zu vernehmen. So legt der Indianer den Kopf auf die Erde, wenn er die Fußtritte der Feinde oder den Hufschlag der Pferde in den Steppen erspüren will, so benutzen wir bei der Exploration der Brustorgane am Krankenbett das Stethoskop um die Schwingungen der Herzklappen, oder der Stimmbänder, oder der feinen Luftröhrenästchen zu belauschen.

So selten daher auch gemeiniglich diese Leitung der Schallwellen benutzt wird, so interessant ist doch in mancher Beziehung das Studium derselben zur Erforschung gewisser Leistungen, welche wir vom Gehörorgan präsumiren können.

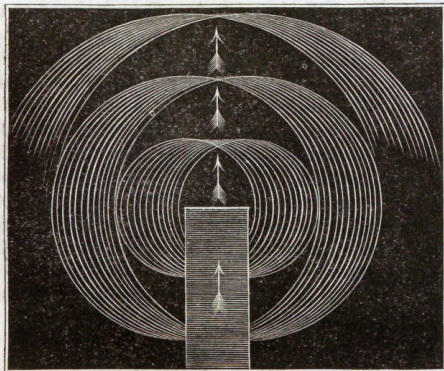
Zuerst einige Experimente, welche uns beweisen sollen, daß bei dieser Leitung immer die Resonanz der leitenden Körper mit im Spiele ist.

Es ist eine bekannte Thatsache, daß, wenn wir einen Metallstab an eine Schnur binden, die beiden Enden derselben um den Finger wickeln, diese fest in den äußeren Gehörgang einfügen und den an der Schnur hängenden Stab anschlagen, ein viel deutlicherer und lauterer Klang vernommen wird, als durch die Luft von demselben Stab bei seiner Erschütterung zu unserem Ohr gelangt. Allein es ist durchaus nicht die Schnur dabei bloß als festerer Körper wirksam, sondern sie muß einen gewissen Grad von Elasticität besitzen, sie muß also im Stande sein, selbstständig mitzuschwingen. Dies geht daraus hervor, daß der Ton fast gar nicht oder nicht stärker als durch die

Luft gehört wird, wenn wir den Stab nicht an der ganzen Schnur hängen lassen, sondern die Schnur etwa in ihrer Mitte an ein paar Hanffäden aufhängen und die übrige Partie derselben, welche mit unseren Ohren in Verbindung gesetzt ist, erschlafft lassen. Spannen wir nun die beiden Schenkel der Schlinge, in welcher der Stab hängt, in ihrer Mitte etwa in einen Schraubstock, so können wir, während wir die anderen mit den Ohren verbundenen Hälften der Schnur allmählig anspannen, den Ton des Metallstabes immer mehr und mehr anschwellen machen, so zwar, daß seine Intensität proportional mit dem Grad der Spannung wächst. Nehmen wir statt einer gewöhnlichen Schnur eine Darmsaite, welche sich leichter in verschiedene Spannungsgrade versetzen läßt, so findet etwas Aehnliches statt, auch wird der Ton des Stabes (in diesem Falle benutzte ich eine Stimmgabel oder auch ganz dünne, massive Glasstäbchen, um das Uebergewicht der Masse möglichst zu verringern) nicht modificirt durch den Ton der Saite, welchen sie bei einer bestimmten Länge und Spannung giebt, vielmehr hören wir in solchem Fall immer zwei Töne, nämlich den der Saite und den der Stimmgabel: den letzteren bloß ab- und anschwellen, den ersteren höher und tiefer werden, wobei das allgemeine Gesetz der Wellenbewegung in Geltung tritt, nämlich daß zwei oder unbestimmt viele Wellen sich durchkreuzen können, ohne sich in ihrem Fortschreiten gegenseitig zu stören.

Eine weitere bekannte Thatsache ist, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit eine verschiedene in verschiedenen festen Körpern ist. So leitet Eisen den Schall $10\frac{1}{2}$ mal, Holz 11mal so schnell als die Luft. Bei der Kleinheit des Gehörorgans kommt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit gar nicht in Betracht, vielmehr müssen wir annehmen, was keines weiteren Beweises bedarf, daß in demselben Moment, in welchem ein Punkt des knöchernen Theiles des Gehörorgans von einer Schallwelle getroffen ist, dieselbe bereits auch alle übrigen Punkte desselben so gut als gleichzeitig durchlaufen hat. Dabei werden alle Punkte desselben gleich stark erschüttert, obwohl es wahr ist, daß unter gewissen Bedingungen der Schall sich in der Richtung des ursprünglichen Stoßes intensiver fortpflanzt als in den anderen Richtungen. Das letztere findet nämlich statt im unbegrenzten Raum, wenn, wie dies in gewissen Fällen denkbar ist, der Anstoß gegen den der Wellenbewegung fähigen Körper in einer gewissen Breite geschieht, wodurch eine Reihe neben-

Fig. 63.

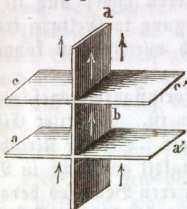


einander liegender kreisförmiger Wellen hervorgerufen werden, welche sich in einer mit der Breite des Anstoßes parallelen Richtung decken und dadurch verstärken, an den freien Enden aber nicht (Fig. 63). Im begrenzten Raum findet dies dagegen nicht statt, und um so weniger, je kleiner derselbe im Vergleich zu der Breite des schallerregenden Anstoßes ist. Zugleich haben wir uns den Felsentheil des Schläfenbeins als einen

der Art elastischen Körper zu denken, daß in ihm eine Vergrößerung der Oberfläche gleichartig schwingender Theile stattfindet. Begränzung der Oberfläche und Vergrößerung der Oberfläche gleichartig schwingender Theile sind die Bedingungen der Resonanz; diese muß daher auch nothwendig in dem Gehörorgan eine gewisse Stärke des Schalles erzeugen, welche freilich nur in bestimmten Fällen die ursprüngliche überwachsen kann¹⁾.

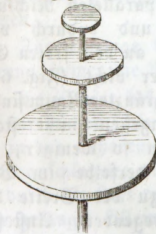
Endlich haben wir noch Savart's²⁾ Untersuchungen hervorzuheben. Wenn ein System mit einander verbundener Körper in schwingende Bewegung geräth, so nehmen, wie er zeigte, alle Theile dieses Systems, welche Lage sie gegen einander haben mögen, gleichzeitig Schwingungen an, welche vollkommen die nämliche Periode behaupten. Es findet dieser wichtige Satz seine Anwendung auf die Windungen der Schnecke und das System der Gehörnöchelchen. Gehen wir von den einfacheren Verhältnissen aus, und construiren ein System von rechtwinklig auf einander stehenden Platten (Fig. 64), dessen unterster $a a'$ in der Richtung der Pfeile zunächst die

Fig. 64.



Schallwellen zugeführt werden, so geräth dieselbe in transversale Schwingungen, welche sich in die senkrecht darauf stehende Platte b als longitudinale, in die Platte $c c'$ als transversale, und von da in die Platte d wieder als longitudinale fortpflanzen. Durch diese successive Umwandlung erfährt jedoch die Schwingungsbewegung keine Abänderung ihrer ursprünglichen Periodicität. Wohl sind in frei schwingenden Streifen bei gleicher Länge die longitudinalen Schwingungen im Allgemeinen viel schneller als die transversalen; bei jener Combination jedoch modificiren sich die beiden Arten von Schwingungen so, daß die secundären Erschütterungen der senkrechten Platten, die für die transversale Bewegung erforderliche Langsamkeit, und die der horizontalen Platten die für die longitudinalen erforderliche Schnelligkeit haben. Man ersieht dieses aus den Knotenlinien, welche auf den longitudinal schwingenden Platten des Systems weiter aus einander, auf den transversal schwingenden näher zusammenrücken. Die longitudinale Bewegung der ersteren entspricht dadurch der Schwingung einer viel längeren, die transversale der letzteren einer viel kürzeren frei schwingenden Platte. Daraus geht eine Compensation hervor, welche den Isochronismus der Perioden beider Schwingungsarten sichert³⁾. J. Müller hat von hier aus schon auf die Analogie dieser An-

Fig. 65.



ordnung von Platten mit dem Bau der Schnecke aufmerksam gemacht, indem er folgende schematische Figur dieses Apparates giebt (Fig. 65), in welcher die senkrechte Platte der vorigen Figur $b d$ in den Modiolus, das System der horizontalen Platten in die Spiralplatte der Schnecke umgezeichnet ist. In welcher Richtung von den Kopfknochen her dem Modiolus oder der Spiralplatte der Stoß zugeführt wird: in allen Theilen der Schnecke bleibt sich die Direction der Schallwellen gleich.

Zur Erleichterung der Mittheilung der Schwin-

¹⁾ Weber, Wellenlehre auf Experimente gegründet p. 537

²⁾ Experimentalphysik v. Biot übers. v. Fechner II. p. 128.

³⁾ Biot II. pag. 128.

gungen hängen die horizontalen Platten (der schematischen Figur) in Form eines spiralförmigen Treppenganges unter einander zusammen. Auf dieser festen Platte breitet sich nun der eine Zweig des Acusticus aus und zwar vermöge der Anordnung der Windung mit einer ansehnlichen Fläche im kleinsten Raum. Die ganze Bahn der Gänge beträgt gegen 10''' — 11'''. Bei dem unmittelbaren Zusammenhang dieses Theils des Gehörorganes mit den festen Wänden des Labyrinthes und Kopfes empfängt der Nerv die Schwingungen dieser festen Theile unmittelbar und durch den begränzten Körper der Schnecke offenbar verstärkt, während die Fasern des anderen Zweiges die Wellen immer erst aus zweiter Hand, d. h. durch das Labyrinthwasser erhalten, welche Leitung neben jener übrigens auch innerhalb der Schnecke zu Stande kommen kann. Schon E. H. Weber hat die Schnecke als das Organ bezeichnet, welche vorzüglich zu dem Hören der den festen Theilen des Kopfes mitgetheilten Schwingungen bestimmt sei.

Auffallend ist jedoch, daß dieses Organ gerade erst bei denjenigen Wirbelthieren auftritt, bei welchen das Hören durch die festen Theile des Kopfes nicht so ausschließlich stattfindet als bei denen, welche dieses Organs ganz entbehren. Eine Schnecke findet sich nämlich weder bei den Fischen noch bei den nackten Amphibien, sondern erst bei den beschuppten und den übrigen Wirbelthieren. Zweierlei ist möglich: entweder es erfordert der schwere Uebergang der Luftwellen an feste Körper bei den in der Luft hörenden Thieren die Schnecke als Hilfsorgan für die trotz der schweren Uebertragung der Schwingungen doch in die festen Theile des Kopfes fortgepflanzten Luftwellen, oder die Schnecke steht gerade in einer bestimmten Beziehung zu dem Hören in der Luft.

Wir versparen diese Untersuchung auf später; hier hat uns zunächst nur die unlängbare Thatsache beschäftigt, daß diejenigen Schwingungen, welche einmal zu den Kopfknochen fortgepflanzt sind, in der Schnecke verstärkt, an möglichst vielen Punkten mit Wahrung ihrer ursprünglichen Periodicität, und am leichtesten zu der Ausbreitung des Gehörnerven gelangen können.

Wir hätten nun noch der Schallleitung durch die Kette fester Körperchen zu gedenken, welche als Gehörknöchelchen von der einfachsten Form eines Stäbchens bis zur gegliederten Reihe beweglicher Gebilde von verschiedener Form sich ausbilden, und von den nackten Amphibien an bei keinem Wirbelthiere mehr fehlen. Da jedoch ihre Function in viel engerem Zusammenhang mit der Zuleitung der Schallwellen durch die Luft als mit der durch feste Körper zusammenhängt, so betrachten wir ihre Function erst später, und begnügen uns hier nur mit der Andeutung, daß die Richtung, in welcher

die Schwingung durch sie hindurchgeht, genau durch das vorhin erörterte Gesetz der Fortpflanzung des Stoßes durch ein System in verschiedenen Ebenen über einander gebauter Platten bestimmt wird, wie Figur 66 versinnlicht.

Jetzt gehen wir zu einigen Versuchen über, welche das Zusammenwirken der beiden Ohren bei der Zuleitung der Schallwellen durch feste Körper beurfunden.

Hängt man in die Schlinge einer Schnur einen tönenden Körper auf, so vernimmt man den Ton desselben viel

Fig. 66.



stärker, wenn man die beiden Schenkel der Schlinge durch die Finger der beiden Hände in beide Ohren einführt, als wenn man die beiden Schenkel um einen Finger gewickelt nur in das eine Ohr bringt und das andere Ohr geöffnet läßt. Eine Zwischenstufe der Intensität der Schallempfindung findet man dann, wenn man letzteren Versuch so anstellt, daß man das andere Ohr ebenfalls verstopft. Die Vermuthung, daß in diesem Fall vielleicht die in dem äußeren Gehörgang eingeschlossene Luft resonirt, wird dadurch beseitigt, daß erstens derselbe Erfolg eintritt, wenn man die Finger so tief als möglich in den Gehörgang einschiebt, und diesen außerdem noch mit gekautem Papier verstopft, als auch dadurch, daß der Ton nicht in seiner Stärke schwankt, wenn man die Finger mit den Schnurenden in der ersten Modification des Versuchs bald bloß fest auf der oberen Wand des äußeren Randes des Gehörganges aufsetzt oder die Finger tiefer in den Gehörgang einsetzt; oder endlich wenn man bei der zweiten Modification ein das andere Ohr eng umschließendes Becherglas aufsetzt oder nicht. Hieher gehört noch ein merkwürdiger Versuch, welcher in dem ersten Augenblick zu beweisen scheint, daß, wenn Schallwellen durch die Luft und zugleich durch die festen Theile des Kopfes zu dem Gehörorgan gelangen, die ersteren die letzteren in ihrer Wirkung beeinträchtigen. Denn setzt man eine tönende Stimmgabel auf dem Kopf auf, so vernimmt man den Ton viel intensiver, wenn man die beiden Ohren zugleich fest verstopft hat. Setzt man die Stimmgabel ferner auf dem Schuppentheile des rechten Schläfenbeins auf, so scheint uns der Ton in dem linken Ohr viel stärker, wenn wir dieses zugleich verstopfen. Nehmen wir endlich den Stiel der Gabel zwischen die Zähne, schlagen die Zinken an, und verstopfen abwechselnd das rechte und linke Ohr, so erscheint der Schall immer in dem verstopften bei weitem intensiver, und da wir die Richtung des Schalls aus der größeren Intensität des Tons auf der einen oder anderen Seite beurtheilen, scheint uns bei diesem Experiment der Schall bald von rechts, bald von links zu kommen, wo eben das Ohr verstopft ist. Gleichgültig ist, wie wir das Ohr verstopfen, ob mit einem festen, die Resonanz verstärkenden, oder mit einem weichen dämpfenden Körper (Baumwolle). Nur in einem einzigen Fall bleibt die Hörempfindung intensiver auf der Seite des offenen Ohres, wenn wir nämlich beim Aufsetzen der Stimmgabel auf dem Kopf gleichzeitig die schwingenden Zinken direct gegenüber dem äußeren Gehörgang des offenen Ohres bringen. In diesem Fall ist nämlich der Eindruck, welchen der Nerv vom Trommelfell her empfängt, stärker als der durch die Kopfknochen zugeleitete, wie man sich leicht durch vergleichende Versuche überzeugen kann. Um aber zu bewerkstelligen, daß ich durch die festen Theile des Kopfes einen intensiveren Eindruck bekomme als durch die Luft, nehme ich ein eisernes Stäbchen zwischen die Zähne, und nun gebe ich ihm eine solche Direction, daß, wenn auf seinem freien Ende die Stimmgabel senkrecht aufgesetzt wird, deren schwingende Zinken der Ohröffnung gerade gegenüber und möglichst nahe kommen. In diesem Fall wird der Ton scheinbar auf die andere Seite geworfen, sobald ich das andere Ohr verstopfe, wie in den früheren Versuchen. Um dieses Resultat zu erzielen, ist also zum mindesten eine gleiche Intensität der auf dem einen und anderen Weg der Schalleitung erzeugten Tonempfindung erforderlich.

Es wäre nun denkbar, daß durch die Verstopfung des Meatus auditorius externus das Trommelfell, in seinen Excursionen behindert, als festerer Körper figurirte, welcher mit voller Stärke die Schallwellen, die von der Wandung der Trommelhöhle in die Luft derselben fortgeschritten waren,

reflectirte. Daß dem aber nicht so ist, sehen wir aus Folgendem: wenn wir einen gläsernen, das ganze äußere Ohr in sich einschließenden und ringsum fest auf der Umgebung desselben aufliegenden Cylinder am freien Ende mit einer dünnen Membran, der wir durch den Finger verschiedene Grade der Spannung geben können, überbinden, so ruft eine Verschiedenheit der Spannung durchaus keinen Unterschied in der Empfindung hervor. Die größere Intensität bleibt in allen Fällen auf der Seite, auf welcher der Cylinder aufgesetzt wird. Ich habe den gleichen Versuch mit dem von J. Müller angegebenen Apparat angestellt (Fig. 67). Es ist ein kleiner hölzerner Cylinder *c* von 8^{'''} Durchmesser im Lichten und 4^{'''} Länge, an seinem unteren offenen

Fig. 67.



Ende *a* so verjüngt, daß er sich in den äußeren Gehörgang einfügen läßt; über das obere weitere Ende ist eine dünne Membran *e* ganz locker gespannt. Ein kleines hölzernes Stäbchen *b* ist an einem Draht befestigt, welcher um den Cylinder herumgeht und als Hypomochlion für die auf- und niedergehende Bewegung des Stäbchens dient, durch welches die Membran tiefer oder weniger tief in den Cylinder gedrückt, und somit mehr oder weniger angespannt werden kann. Fügen wir diesen Apparat in

das linke Ohr, und setzen die Stimmgabel auf den Schuppentheil des rechten Schläfenbeins, so hören wir den Ton der schwingenden Zinken bei jedem Grad der Spannung der Membran auf der Seite, auf welcher der Apparat eingeführt ist.

Alle Versuche einer physikalischen Erklärungsweise dieses Phänomens, welches, wie ich eben finde, auch Valentin schon aufgefallen ist¹⁾ sind, wie wir sehen, unzureichend. Auch Valentin's Vermuthung, daß sich einer einseitigen Leitung günstigere Verhältnisse darbieten als einer doppelten durch Luft und feste Theile zugleich, ist unseren eben gemachten Erörterungen zur Folge nicht stichhaltig, auch sonst physikalisch nicht leicht wahrscheinlich zu machen, so daß uns nur eine hypothetische Erklärungsweise übrig bleibt, welche von der bei Sinneswahrnehmungen so häufigen und so versteckten Mitwirkung unbewusster Geistesthätigkeit hergenommen ist. Wir wissen jetzt schon, daß die Beurtheilung der Richtung, in welcher ein Schall unseren Gehörnerv trifft, nicht aus unmittelbarer Sinnesthätigkeit entspringt, daß im Gegentheil der Gehörsinn zu ihrer Unterscheidung ganz unfähig ist. Es bleibt dies also dem Urtheil allein überlassen. Dieses bestimmt die Richtung des Schalles aus dessen Intensitätsgröße in dem einen oder andern Ohr. Die Intensität im Allgemeinen heißt uns: das Verhältniß der Kraft zum Widerstand, weshalb wir den Schall für den intensivsten halten, welcher durch die meisten dämpfenden Medien doch noch zu unserem Ohre dringt. Wir wissen aus Erfahrung, daß wir, wenn wir mit dem Finger das Ohr verstopfen, schwerer hören, wobei wir das Hören auf den gewöhnlichsten Fall beziehen, nämlich den des Hörens von Schallwellen der Luft. Halte ich nun die Stimmgabel mit den Zähnen, schlage sie an, während z. B. das linke Ohr verstopft ist, so vernehme ich denselben Schall zweimal, erstens nämlich mit dem rechten Ohr durch feste Theile und die Luft, zweitens mit dem linken Ohr bloß durch feste Theile. Unbewußt vergleiche ich den Schall, welcher durch die Luft in das rechte, und den, welcher durch die Knochnen in das linke Ohr dringt, mit einander, und weil der Schall

¹⁾ Valentin Lehrbuch d. Phys. d. Mensch. II. Auflage. Bd. II. p. 260.

auf der Seite des verstopften Ohres doch ebenso deutlich gehört wird als auf der Seite des nicht verstopften, durch welches ich für gewöhnlich und im Allgemeinen besser zu hören glaube als durch ein verstopftes, schließe ich unwillkürlich, daß die Intensität des Schalles auf der Seite des letzteren größer sein müsse als auf Seite des ersteren, obgleich sie in der That auf beiden gleich ist, und folgere dann weiter, wiederum der Gewohnheit folgend und den Sinnesindruck nach außen versetzend, daß der Schall aus derjenigen Richtung kommen müsse, in welcher das verstopfte Ohr sich befindet. Das ergibt sich auch daraus, daß die Täuschung wegfällt, sobald ich auch vor dem nicht verstopften Ohr denselben Schall mit hinreichender Intensität hervorrufe, wie oben gezeigt wurde.

II. Hören durch Schallwellen im Wasser.

In dem Wasser zu hören, stellt der Organisation eine andere Aufgabe, als das Hören in der Luft. Bei beiden Arten ist jedoch ein und dasselbe Mittel in letzter Instanz benützt, nämlich die Reduction der Schallwellen auf Schwingungen des Wassers, nämlich des Labyrinthwassers, mögen jene aus der Luft oder aus dem Wasser abstammen. Luftathmende und in der Luft hörende Thiere können auch gut unter Wasser hören, im Wasser lebende dagegen nur sehr schlecht in der Luft. Dies rührt von der ungleich größeren Schwächung der Schallwellen bei ihrem Uebergang von Luft an feste Körper als von Wasser an feste Körper her. Der Apparat der im Wasser hörenden Thiere wird deshalb auch eine viel größere Einfachheit besitzen können als der in der Luft hörenden.

Allen Wirbelthieren, welche in ihrer Jugend (Amphibien vor der Verwandlung) oder ihr ganzes Leben Wasser athmend sind, fehlt die Schnecke, welche von den beschuppten Amphibien an bis zu den entwickeltsten Säugethieren in zunehmender Vervollkommnung sich findet.

Allen Wirbelthieren ohne Ausnahme ist gemeinschaftlich ein häutiges Labyrinth. Es besteht desselbe aus einem in sich zurücklaufenden Canal, oder aus zwei oder aus drei solchen. Diese Canäle gehen immer aus von dem Alveus communis canalium semicircularium, welcher meist einen bald größeren bald kleineren sackartigen Anhang hat.

Der letztere, welcher in der Regel auch bei den Fischen vorhanden ist, vertritt hier jedoch nie die Stelle der Schnecke; denn neben dieser findet man auch bei den höheren Thieren an dem Alveus communis noch jenen sackartigen Anhang, freilich oft sehr verkümmert. Bald liegt dieses Labyrinth ganz in der Substanz der Schädelknorpel (Knorpelfische), bald nur theilweise eingeschlossen in den knöchernen Schädel, theilweise frei innerhalb der Schädelhöhle, zwischen deren Wandung und dem Gehirn (Knochenfische, Störe, Chimären), bald endlich in die Knochenmasse des Schläfenbeins ganz aufgenommen und, wie bei Menschen und Säugethieren, in einem durch seine Dichtigkeit sich auszeichnenden Knochenkern eingeschlossen.

Merkwürdig ist, daß bei den Cephalopoden in einem frühen Entwicklungsstadium eine vorübergehende Andeutung eines Labyrinthes auftritt, welches wir jedoch hier so wenig als bei einem andern Wirbellosen im entwickelten Zustand antreffen.

Der Alveus communis und die Ampullen der halbcirkelförmigen Canäle sind neben der Schnecke die einzigen Stellen im Gehörorgan, an welchen

der Nerv ausgebreitet ist. Niemals werden die Bogengänge zu diesem Zweck benutzt. Wo wie bei *Myrine* und *Bdellostoma* nur ein ringförmig in sich zurückkehrender Canal das ganze Labyrinth darstellt, findet sich nur eine eng umgränzte Stelle, auf welcher der Nerv sich ausbreitet, und welche deshalb als *Alveus communis* zu betrachten ist.

Dieses Gebilde ist schon mehr entwickelt und mit einem säckchenartigen Anhang bei den Fischen versehen, welche zwei halbcirkelförmige Canäle besitzen (*Petromyzon*, *Ammocoetes*). Jeder dieser Canäle entspringt hier mit einer dreihügeligen Ampulle aus dem *Alveus communis*, liegt auf der Oberfläche desselben und convergirt mit dem andern. Beide Canäle vereinigen sich bogenförmig und communiciren an dieser Stelle durch einen Spalt zum zweitenmal mit dem *Alveus communis*.

Die nächste Stufe der Entwicklung in der Reihe der Wirbelthiere beurfundet bei den übrigen Fischen die Bildung dreier halbcirkelförmiger von dem *Alveus communis* ausgehender Canäle. Hier treffen wir zuerst auch auf Concremente (*Plagiosomen*), oder harte knöcherne Gehörsteine, welche frei in dem *alveus communis* und dessen Anhang liegen (Knochenfische). Der letztere wird nämlich durch eine häutige Scheidewand in zwei untereinander zusammenhängende Kammern getheilt. Diese Kammern enthalten zwei Steinchen, einen kleineren von wechselnder Gestalt und einen größeren rundlichen oder länglichen an der Innenfläche zur Befestigung mit einem Grübchen versehen. Im vorderen Theil des *Alveus communis* findet sich ein rundlicher oder ovaler sehr glatter und harter Stein. Von den drei halbcirkelförmigen Canälen besitzt jeder zwei Schenkel, deren einer stets mit einer Anschwellung (der Ampulle) aus dem *Alveus* hervorkommt, während der andere entweder mit dem Schenkel des andern vereint oder getrennt von ihm, nie aber mit einer Ampulle versehen, in das Vestibulum mündet. Von diesen drei halbcirkelförmigen Canälen steht der vordere und hintere senkrecht, der äußere aber horizontal. Wichtig sind hier die Differenzen in Beziehung auf die Gegenwart oder Abwesenheit einer häutig verschlossenen Oeffnung im Schädel.

Während nämlich bei den Knorpelfischen eine Fortsetzung des Labyrinths bis zur äußeren Haut Regel ist, findet eine solche nur ausnahmsweise bei den Knochenfischen statt.

So giebt es bei den *Plagiosomen* eine Fortsetzung des Labyrinths bis unter die Haut. Bei den Haien geht eine canalartige Fortsetzung nur des knorpeligen Vestibulum bis in eine durch Haut geschlossene Oeffnung im Hinterhaupttheil des Schädels; bei den Knochen dagegen finden wir eine solche Fortsetzung des knorpeligen sowohl als des häutigen Labyrinths. Es zeigt sich nämlich in der Mitte der Hinterhauptsgegend eine bloß von Haut bedeckte Grube mit vier sehr kleinen Oeffnungen, von denen je zwei zu dem Gehörorgan auf der rechten und linken Seite führen, und zwar so, daß die beiden vorderen sich in das Vestibulum cartilagineum, die beiden hinteren in das Vestibulum membranaceum fortsetzen.

Schließlich haben wir noch die Nervenverbreitung in dem Gehörorgan der Fische zu erwähnen. Daß die Ampullen und das Vestibulum die einzigen Stellen für die Ausbreitung der Nerven sind, haben wir früher schon erwähnt. Bei den Knochenfischen findet man an der Stelle, wo der *Acusticus* an die Ampulle tritt, eine quere Vertiefung; von dieser Stelle aus erhebt sich in der Ampulle ein faltenartiger Vorsprung, durch welchen die Ampulle in zwei Theile getheilt wird. Der Nerv dringt durch die

Wand der letzteren in diese Scheidewand, löst sich bei seinem Durchtritt durch dieselbe in feine Zweige auf, und verbreitet sich so auf ihr und ihrer nächsten Umgebung in der Ampulle; ebenso wird ein Netz feinsten Nervenverzweigungen um die Otolithen herum an der Wand des Vestibulum gebildet.

Auf dieser Stufe der Entwicklung bleibt das Labyrinth bis zu den nackten Amphibien stehen; erst bei den beschuppten tritt ein neues Gebilde dazu: die Schnecke.

So mannigfach auch bei den Amphibien das System der halbcirkelförmigen Canäle, deren hier immer drei sind, in Rücksicht auf Verbindungsweise und Ampullen gestaltet ist: immer mündet es in den Sack des Vestibulum ein, wo sich ein aus kohlensaurem Kalk bestehendes Concrement findet, während die ganze Höhle des Vestibulum mit einer milchigen Flüssigkeit erfüllt ist, die in großen Massen krystallinische Körperchen enthält. Bei den Chelonien erweitert sich der knöcherne Theil des Labyrinths zu einer Blase, in welcher ein rundlicher membranöser Sack, die einfachste Bildung einer Schnecke, gelegen ist. Eine Membrana tympani secundaria verschließt den einen Eingang (fenestra rotunda) zu ihr, während sie zugleich durch einen engen häutigen Canal mit dem Anhang des Vorhofs in Zusammenhang steht, ohne daß jedoch der Hohlraum der Schnecke mit dem Hohlraum des Vestibulum in Zusammenhang steht ¹⁾. Der Mangel eines Astes des Acusticus (denn das Bläschen wird bloß von einem Zweig des Facialis versorgt) zeigt, daß dieses Organ morphologisch wohl, aber nicht functionell der Schnecke der höheren Thiere gleich zu stellen ist.

Erst bei den Ophidiern, Sauriern und Crocodilen tritt die Schnecke als wesentlicher Theil des Gehörorgans auf, und zwar als ein kurzer am Ende etwas weiter werdender Schlauch mit einem durch die Membrana tympani secundaria geschlossenen runden Fenster. Eine Trennung des Innenraumes der Schnecke in zwei Abtheilungen, nämlich eine Scala tympani s. externa und eine Scala vestibuli s. interna, wird durch einen mit sehr feiner Membran überspannten Knorpelrahmen gebildet. Die Schenkel des letzteren vereinigen sich nach vorn und biegen schlauchförmig um, über welche Umbiegung sich dann neben der Gefäßhaut noch eine oberflächliche Membran fortsetzt, um die sogenannte Flasche zu bilden. Auf der über den Knorpelrahmen angespannten Haut verzweigt sich der Ramus cochlearis nervi acustici. — In der Flasche befindet sich, wie in dem Vestibulum, eine Kalkmilch. Eigentliche Otolithen kommen nur bei einigen fischartigen Amphibien (Menobranchnus) vor.

Bei den Vögeln, bei welchen das häutig-knorpelige Labyrinth von dem knöchernen durch eine Flüssigkeitsschicht getrennt ist, liegen die drei halbcirkelförmigen Canäle so, daß der hintere über den äußeren weggehend sich mit ihm kreuzt. Die drei Ampullen, welche hier vorkommen, haben im Inneren ein Septum für die Ausbreitung des Gehörnerven, welches in der vorderen und hinteren Ampulle einen nach oben und unten knopfförmig vorragenden freien Schenkel besitzt, und so ein mit den Querschenkeln angewachsenes, mit den senkrechten freischwebendes Kreuz darstellt. Die knöcherne Schnecke, eine kurze etwas gekrümmte stumpfe Röhre darstellend, umschließt eine knorpelig-häutige innere. Außen besteht die letztere aus einer Haut,

¹⁾ Rathke, über die Entwicklung der Schildkröten. p. 217.

welche mit vielen Fasern sich an die knöcherne Schnecke ansetzt. Knorpelrahmen und Septum zur Ausbreitung des Schneckenervs haben die größte Aehnlichkeit mit den gleichen Gebilden bei den beschuppten Amphibien, vorzüglich den Crocodilen.

Bei den Säugethieren ist die Summe der einzelnen das Labyrinth bildenden Theile allenthalben gleich, allein die Form derselben ist so vielen Schwankungen unterworfen, daß das Wesentliche vom Unwesentlichen zu unterscheiden oft sehr schwierig, wo nicht unmöglich wird. Beständig ist die Zahl der Bogengänge: nämlich drei. Sie münden bald mit fünf, bald mit vier Oeffnungen in den Vorhof. Größe, Weite und Form der Bogengänge ist sehr verschieden¹⁾. Ornithorhynchus und Echidna sind die einzigen Säugethiere, bei welchen eine große Unvollkommenheit der Schnecke gefunden wird, indem dieselbe nichts als ein einfaches Divertikel des Vorhofes darstellt. Eine ganz isolirt dastehende Anordnung bietet der Stachelameisenbär dadurch dar, daß seine rudimentäre Schnecke durch keine Fenestra rotunda mit der Trommelhöhle communicirt.

Gyrtl wählte folgende Nomenclatur der drei nie fehlenden Bogengänge, welche wir ebenfalls hier beibehalten wollen: der mit der oberen Kante der Felsenpyramide sich kreuzende Canal heiße: canalis superior, der gegen die Paukenhöhle hin convere: canalis externus, der gegen die hintere Fläche der Pyramide verlaufende: canalis posterior. Viel fester als die Schnecke sind im Allgemeinen diese Bogengänge von der Knochenmasse des Felsenbeins umschlossen, selbst bei den großen Pachydermen liegt über der Schnecke nur eine $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ '' mächtige Schicht von Knochensubstanz, während ihre Bogengänge $2\frac{1}{2}$ — 3'' tief in dieselbe eingegraben sind. Das Verhältniß der Weite zur Länge der Canäle ist bei dem Menschen am größten. Auch absolut steht die Stärke derselben bei dem Menschen in der zweiten Reihe, sie ist größer als bei dem Rhinoceros. Relativ zur Körpergröße haben Igel und Blindmaus die stärksten, die Wallfische die kleinsten Canäle. Nicht immer ist ihre Stärke an allen Punkten gleich; so besitzt z. B. der Biber in der Mitte des hinteren Bogenganges eine plötzliche Erweiterung. Der Durchschnitt der Canäle ist bald ein Kreis, bald ein kurzes Oval, wie bei dem Menschen. Die Messungen der Bogengänge ergeben folgende extreme Werthe ihrer Stärke:

		Stärke der Bogengänge	
		Im Mittel: 0,55.	bei dem Menschen.
Oberer Canal.			
Maximum	1,000''	Elephas africanus	Differenz 0,900'' 0,600
Minimum	0,100''	Petaurus sciureus	
Unterer Canal.			
		Im Mittel: 0,44.	
Maximum	0,800''	Trichecus rosmarus	Differenz 0,720'' 0,750
Minimum	0,080''	Myoxus muscardinus	
Keuserer Canal.			
		Im Mittel: 0,641.	
Maximum	1,200''	Elephas africanus	Differenz 1,118'' 0,625
Minimum	0,082''	Myoxus muscardinus	

Daraus sieht man 1) die geringen Schwankungen der Stärke, und 2) daß die Verhältnisse bei dem Menschen in dieser Beziehung nahe dem Mittel der extremen Werthe stehen.

¹⁾ Eine erschöpfende Darstellung dieses Gegenstandes findet man in Gyrtl »über das innere Gehörorgan«, dem die nachfolgenden Notizen entlehnt sind.

Die Krümmungslinien der Bogengänge stellen Kreisabschnitte dar (seltener Fall), oder Abschnitte einer Ellipse, oder einer Spirale. Bei dem Menschen fehlt der Krümmungslinie nur sehr wenig zu einem vollkommenen Kreis. Bei den Cetaceen ist ihr Bogen ganz flach, und fällt bei *Viverra Zibetha* fast mit seiner Sehne zusammen. Bei den Chiropteren und den meisten Raubthieren ist die Krümmung nahezu rein kreisförmig. Auch winkelige Formen mit abgerundeter Spitze kommen vor bei *Midaus javanus*, *Lutra brasiliensis*, *Viverra Zibetha*, *Dasyus Peba*. Hier und da kommen verschiedene Krümmungslinien an den einzelnen Bogengängen ein und derselben Thierspecies vor. Bei den Marsupialien ist z. B. der hintere Bogengang spiralförmig gekrümmt. Auch kann die Krümmung des Canals ihre ursprüngliche Ebene verlassen und S-förmig ausgeschweift sein, wie an den beiden Schenkeln des oberen und an dem äußern Canal des Menschen, am äußeren Canal von *Hippopotamus*, am äußeren und hinteren von *Phoca anellata* und *hispida*.

Nicht bei allen Säugethieren stehen die Ebenen der Bogengänge rechtwinkelig auf einander, vielmehr kommen Schwankungen unter und über die Größe dieses Winkels hinaus vor. Extreme sind in dieser Beziehung ein Neigungswinkel von 140° bei dem Pferd, und 80° bei dem Elephanten; Chiropteren, Wiederkäuer, Dickhäute und Beutelthiere haben vollkommen senkrecht auf einander stehende Canäle.

Das Verhältniß der Bogengänge zu den Ampullen ist einer gewissen in einzelnen Punkten unveränderlichen Norm unterworfen. Ueberall z. B. beginnt ein Bogengang mit einer Ampulle, während an seinem Ende keine befindlich ist; ferner liegen die Ampullen immer an demselben Schenkel. Größenverhältniß und Form der Ampulle wechselt dagegen bei den verschiedenen Thieren mannigfach, jedoch nur in vereinzeltten Fällen zeigen die Ampullen eines Thieres unter einander eine Größenverschiedenheit. Ovale stellen sie dar: bei Menschen, Affen, Wiederkäuern; sphärisch sind sie bei Nagern und Chiropteren. Stets ist die Vorhoföffnung der Ampulle größer als ihre Oeffnung in den Bogengang. Die Länge der Ampullen schwankt in der ganzen Säugethierreihe zwischen 0,50 (*Balaena mysticetus*) und 2,60 (*Elephas africanus*), die Dicke zwischen 1,85 (*Eleph. afric.*) und 0,40 (*Balaena mystic.*). Bei dem neugeborenen Kinde beträgt jene 1,40, diese 1,20. Bei allen Thieren und dem Menschen vereinigt sich der hintere Schenkel des oberen und der obere Schenkel des hinteren Bogenganges zu einer in die hintere und obere Wand des Vestibulum einmündenden Röhre, deren Länge ziemlich varirt, und bei dem Menschen $\frac{5}{4}'''$, bei dem Dromedar $2\frac{1}{2}'''$ beträgt.

Nach dem Vorbild der Schnecke des Menschen ist dieses Gebilde auch bei den Säugethieren gebaut; nur die Balänen, Delphine und Monotremen machen eine Ausnahme. Bei den letzteren entspricht es mehr der Vogelschnecke, indem es einen hohlen halbmondförmig gekrümmten, an dem blinden Ende etwas aufgetriebenen Zapfen darstellt, bei den zwei erst genannten Ordnungen fehlt der Hamulus der Lamina spiralis und das Helicotrema.

Die absolut größte Schnecke besitzt *Balaena Physeter*, die kleinste *Talpa*. Relativ zur Körperstärke ist die Schnecke am größten bei den Chiropteren, am kleinsten bei den eigentlichen Cetaceen.

Dem *Ornithorynchus paradoxus* und der *Echidna hystrix* fehlt jede Schneckenwindung; fünf werden bei keinem Thiere erreicht. $2\frac{186}{360}$ hatte

ein 7monatlicher Embryo, $2 \frac{245}{360}$ ein 50jähriges Weib. $4 \frac{300}{360}$ das Maximum, hat Coelogenys Paca. Die Schnecken sind um so mehr gethürmt, je mehr die Schneckenwindungen sich an Größe gleich bleiben, um so niedriger, je schneller diese Größe abnimmt, wodurch es zugleich möglich wird, daß auch bei großer Windungsanzahl durch Ineinanderschieben die Schnecke niedrig bleibt.

Daraus erklärt sich die Möglichkeit eines großen Spielraumes der äußeren Form, ohne daß der eigentliche Typus im Wesentlichen geändert zu werden brauchte. Die Achse der Schnecke liegt nie horizontal, sondern immer schräg nach abwärts, und zwar durch sehr viele Grade der Neigung bei den verschiedenen Thieren bis zur vollständig senkrechten Stellung bei den Cetaceen. Stets ist die Scala tympani geräumiger als die Scala vestibuli, ohne daß dies Verhältniß von dem Größenunterschied des runden und ovalen Fensters abhinge. Dies gilt jedoch nur bis zu dem Ende der ersten Windung; von der dritten Windung an kehrt sich dies Verhältniß geradezu dadurch um, daß sich die Lamina spiralis ossea hier tiefer anheftet; die membranöse Spiralsplatte neigt sich dabei so nach abwärts, daß sie nicht die gegenüberstehende Wand des Schneckengehäuses, sondern die Scheidewand der zweiten und dritten Schneckenwindung erreicht.

Was schließlich den Vorhof betrifft, so zerfällt derselbe überall in einen Recessus hemisphaericus und hemiellipticus. Beide trennt eine Knochenleiste von einander, an deren Anfang an der oberen Wand des Vestibulum ein Regal gelegen ist, welcher aus einem System knöcherner, durch eine Oeffnung an der Spitze des Regals mündender Röhrchen besteht: eine Analogie des Modiolus der Schnecke. Am entwickeltsten ist dieser Regal bei dem Menschen, nur noch angedeutet bei Orang und Gibbon, sonst bei keinem Thiere mehr zu finden. Relativ am größten ist der Vorhof bei Elephas, Hippopotamus, Phoca und Trichecus; am kleinsten bei den meisten Cetaceen. Die größten Durchmesser beider Fenster zeigen folgende Extreme:

Vorhoffenster.	Schneckenfenster.
Maximum 2,200 (Elephant).	3,555 Sechund.
Minimum 0,300 (Mensch 60jährig).	0,443 Riesenfaulthier.

Nach diesen vergleichend anatomischen Vorbemerkungen, welche uns zum Verständniß der Leistung gewisser Theile unseres Gehörorgans unentbehrlich sind, gehen wir zu den eigentlich physiologisch-physikalischen Untersuchungen über, und unterscheiden erstens die Zuleitung durch Wasser zu dem Labyrinth, und zweitens die Schallwellen in dem Wasser des Labyrinths.

Aus dem im ersten Theil an die Spitze gestellten Grundsatz geht hervor, daß sich die im Wasser selbst erzeugten Schallwellen am leichtesten im Wasser, die in der Luft erregten dagegen unmittelbar schwerer in das Wasser und unvollständiger fortpflanzen. Vor Allem müssen wir aber hier darauf aufmerksam machen, daß die Güte des schalleitenden Mediums und die Schnelligkeit der Leitung in demselben nicht Verhältnisse sind, welche sich gegenseitig bedingen, oder mit einander nothwendig verbunden sein müssen. So hört man oft sagen: das Wasser leite besser als die Luft—während physikalisch allein richtig ist, daß für im Wasser erregte Schallwellen das Wasser, für in Luft erregte die Luft das beste leitende Medium ist. Davon überzeugt man sich leicht, wenn man die Leitung durch die Luft ganz ausschließt, indem man das Ohr

fest mit einem Papierpfropfen verschließt, worauf der Ton einer Pfeife fast nicht mehr gehört wird; setzt man nun die Pfeife (ohne Seitenlöcher) auf die Oberfläche des Wassers in einem mit demselben ganz gefüllten Becken auf, bringt an das verstopfte Ohr einen Conductor (eine Glasröhre), und taucht dessen anderes Ende in das Wasser, so hört man aus demselben den Ton der Pfeife ebenso schlecht als ohne Wasser und Conductor durch die Luft. Es beruht dies auf der Eigenthümlichkeit der Schallwellen (die auch den Lichtwellen unter gewissen Bedingungen zukommt), daß bei ihrem Uebergang von einem Medium in ein anderes eine Schwächung entsteht, indem nämlich ein Theil der Wellen reflectirt wird, und nur ein Rest direct in das neue Medium übergeht; dies findet statt: mag der Uebergang von einem dichteren in ein dünneres geschehen, oder umgekehrt. Wir werden übrigens noch Körper kennen lernen, welche auf eigenthümliche Weise diese Schwächung bedeutend zu neutralisiren vermögen, und als Leitungs-Bermittler auftreten. Es kann trotz der theilweisen Reflexion und dadurch zunächst erzeugten Schwächung des Schalls die ursprüngliche, ja eine noch größere Intensität des Schalles in dem neuen Leiter hervorgerufen werden, wenn derselbe vermöge seiner Textur und Cohärenz in Eigenschwingungen, deren Summe oder Elongation der ursprünglichen gleich oder mehr als gleich kommt, verfest zu werden vermag. Ist der neue Leiter aber nicht fähig, selbst tönend zu werden, so kann der Schall durch Resonanz nur annähernd die gleiche Stärke wie in dem tonerregenden Körper bekommen, nie aber absolut stärker werden. Dies ist z. B. der Fall bei festen Substanzen, Brettchen u. dgl., wenn sie aus dem Wasser Schallwellen empfangen. Erregen wir nemlich im Wasser einen Ton, so vernehmen wir denselben durch bloße Vermittlung der Luft außerordentlich schwach; setzen wir aber den gläsernen Conductor mit dem verstopften Ohr einerseits, mit dem Wasser andererseits in Berührung, so vernehmen wir den Schall aus dem Wasser durch den festen Körper sofort sehr deutlich.

Zweitens: Bringen wir an einer Schnur einen schweren Körper (ein Gewicht von 1 — 2 Pfd) an, versenken dasselbe in dem Wasser bis auf den Boden des Gefäßes, so daß die Schnur ungespannt im Wasser sich befindet, während ihr freies Ende um den Finger gewickelt fest in den äußeren Gehörgang des einen Ohres eingefügt ist, so hören wir den im Wasser erregten Ton sehr schwach durch die schlaffe Schnur, dagegen besser, wenn wir durch Erheben des Kopfes das Gewicht vom Boden des Gefäßes entfernen und dadurch die Schnur anspannen. Drittens: Erregen wir Schallwellen im Wasser, bringen zwischen die Schallquelle und den gläsernen Conductor, welcher, wie früher angegeben, in das Ohr gesteckt ist, einen festen Körper, ein Brettchen, so wird der Ton am stärksten gehört wenn wir die Glasröhre mit dem Brettchen in Berührung bringen, noch sehr stark, wenn wir es demselben ohne Berührung nähern, weniger stark, wenn wir das Brettchen ganz wegnehmen, und den Conductor nicht gerade in die Direction der ursprünglichen Schallquelle bringen, was die beiden anderen Male gleichgültig ist.

In diesen Fällen ist somit nicht von einer geradezu b e s s e r e n Leitung zu sprechen, sondern von einer neu hinzukommenden Schallquelle, wodurch der ursprüngliche beim Uebergang in das neue Medium selbst geschwächte Schall gleichwohl zuletzt fast dieselbe Intensität gewinnt. In der gleichen Flüssigkeit kann der Schall sich nur vermindern oder gleich bleiben, nicht aber ohne weiteres stärker werden. Denken wir uns nämlich eine Flüssig-

keitsmasse, in deren Mitte ein Schall erregt wird, etwa durch einen Stoß, der von einem Punkte aus gleichmäßig nach allen Richtungen sich dem Flüssigkeitstheilchen mittheilt, so entsteht eine sphärische, nach allen Richtungen gleichmäßig sich ausdehnende Welle, die deshalb ihre von Anfang an gewonnene Kugelgestalt beibehält. Nun wissen wir von den im Wasser fortschreitenden Beugungswellen, die viel zu langsam sind, als daß sie zur Tonerzeugung fähig wären, daß die Höhe des Wellenberges mit dem Fortschreiten der Welle abnimmt, während die Breite der Welle gleich bleibt.

Dies auf die Verdichtungs- und Verdünnungs- (die eigentlichen Schall-) Wellen des Wassers angewendet: so nimmt die Größe der Bahn der in der Richtung des Radius vor- und rückwärts schwingenden Theilchen bei dem Fortschreiten der Welle ab, während die Dicke derselben gleich bleibt. Die hohle Kugel gewinnt gleichmäßig an Durchmesser, ihr Umfang wächst daher wie die Quadrate ihrer Durchmesser, deshalb nimmt die Intensität des Schalls im Quadrat der Entfernung der Welle von ihrem Ausgangspunkte ab. — Diese Abnahme tritt aber nicht ein in einer begränzten Flüssigkeitsfäule.

Auch in den Flüssigkeiten pflanzt sich, wie in jedem anderen Medium, der ursprünglich in einer bestimmten Direction ausgeführte Stoß, trotz dem, daß die Welle auch in diesem Fall nach allen Richtungen fortschreitet, dennoch mit größerer Intensität in der Richtung des ursprünglichen Stoßes fort.

Endlich gilt von den Schallwellen im Wasser dasselbe, was wir von den Oberflächen-Wellen dieses Mediums wissen, nämlich daß sie bei ihrer Durchkreuzung keinerlei Störung in ihrem ursprünglichen Gang und ihrer ursprünglichen Form, sondern nur Vergrößerung ihrer Verdichtung oder Verdünnung erfahren, wenn sie mit den gleichnamigen Zuständen anderer Wellen, oder momentane Vernichtung oder Schwächung, so oft sie bei ihrer Durchkreuzung mit ungleichnamigen Theilen zusammentreffen.

Die Gesetze der Reflexion sind ebenfalls dieselben, indem nämlich die Schallwellen stets in demselben Winkel reflectirt werden, in dem sie auf den reflectirenden Körper auftrafen.

Wir gehen nun zu der Fortpflanzung der Schallwellen des Wassers in feste Körper über.

Es ist vorhin schon erwähnt worden, daß der Schall, trotz der ursprünglichen Schwächung, welche er bei dem Uebergang von Wasser in feste Körper erfährt, durch letztere doch stärker zu unserm Ohr gelangt, als man erwarten sollte; und es ist wahrscheinlich gemacht worden, daß hieran die Resonanzfähigkeit der festen Körper schuld ist.

Wir werden dies später noch durch einen directeren Versuch beweisen. Hier nur die Erwähnung des Müller'schen Experiments.

Ein Becken von beliebigem Material wird bis zum Rand mit Wasser gefüllt. Auf dem Wasser schwimmt, ohne das Becken zu berühren, eine Schale, in welcher man irgend wie einen Schall erregt.

Mit dem früher schon öfter erwähnten Conductor hört man den Schall, wenn die Schale und das Ohr durch ihn in leitende Verbindung gesetzt sind, sehr stark, während er bei verstopftem Ohr ohne diese Vermittlung natürlich nur sehr schwach vernommen wird. Aber auch ohne Berührung der Schale ist der durch den Conductor zugelitete Schall noch viel stärker, wenn der Stab nur in das Wasser getaucht wird. — Offenbar also hat der Schall, von dem Wasser an feste Körper gelangend, zuletzt wenig von seiner Intensität ein-

gebüßt. Wenden wir dies auf das Hören im Wasser an, so sehen wir, daß die festen Theile des Thieres schon ohne weiteres die Schallwellen aus dem Wasser sehr leicht aufzunehmen, und mit gehöriger Stärke zu dem empfindenden Nerv fortzupflanzen im Stande sind. Aber nirgend liegen bei den Fischen die Knochen so unmittelbar bloß, sondern sind mit mehr oder minder dichten Schichten von Haut oder Muskeln überkleidet. Es fragt sich also, ob diese dämpfenden Medien die Intensität des Schalls nicht in hohem Grade schwächen? Auch hierüber hat uns J. Müller bereits aufgeklärt. Scheidewände, so dick wie 4—8 Lamellen Schweinsblase, dämpfen nicht nur nicht, sondern verstärken sogar noch den Ton einer mit Membran geschlossenen und auf die Oberfläche des Wassers gesetzten Pfeife, wenn der Schall mittelst des Conductors aus dem Wasser dem Ohr zugeleitet wurde.

Ein Stück Menschenhaut oder die 3^{'''} dicke Wand eines Uterus ließen den Schall noch ungeschwächt zu dem festen Körper (dem Conductor) gelangen. Daraus ist ersichtlich, daß selbst bei den Fischen, bei welchen das Labyrinth ganz in den mit Haut und Muskeln überdeckten Kopfknochen gelegen ist, die Schallwellen mit geeigneter Stärke den Nerv treffen müssen; je geringer aber die Festigkeit des Skelets ist, um so nothwendiger wird eine Communication des inneren Ohrs mit einer verdünnten Hautstelle, oder eine unmittelbare Oeffnung des Labyrinthes nach außen.

Vorläufig wissen wir also jetzt, daß der Uebergang der Schallwellen von dem Wasser zu dem Nerv durch Vermittlung der festen Theile des Kopfes keinen weiteren Schwierigkeiten unterliegt. Man fragt daher billig weiter: wozu das nie fehlende häutige und so oft vorkommende knöcherne Labyrinth mit seinem Wasser, da ja eine einfache Ausbreitung des Gehörnerv auf den festen Theilen des Kopfes allein schon ausreichen könnte, Perceptionen des Schalls mit geeigneter Schärfe zu vermitteln?

Bei der Betrachtung der Schallwellen in dem Labyrinthwasser haben wir zuerst den Beweis zu liefern, daß die das Labyrinthwasser einschließenden festen Wände den in sie fortgepflanzten Schall resoniren. Der Grund, aus dem wir hiervon ausgehen müssen, liegt darin, daß wo wir ein festes Labyrinth neben dem häutigen finden, das letztere meist von einer bald kleineren bald größeren Quantität Flüssigkeit umspült ist, so daß stets die Schwingungen des festen Labyrinths, mögen sie primär oder secundär erregt sein, auf das Wasser im häutigen Labyrinth ebenso zurückwirken müssen, als wäre das letztere gar nicht vorhanden und die Endolympe direct von knöchernen oder knorpeligen Röhren eingeschlossen.

Ich hänge eine Marmorugel an einer Schnur auf, schlage mit einem hölzernen Hammer daran und erhalte so einen ganz dumpfen klanglosen Schall. Habe ich nun ein hohes, cylindrisches, weites Glasgefäß, wie wir es zur Aufbewahrung größerer anatomischer Präparate benützen, ganz mit Wasser gefüllt und lasse die Ugel an der Schnur mit einem ganz kleinen Abschnitt ihrer Fläche die Oberfläche der Flüssigkeit berühren, klopfe in der Nähe des Aufhängepunktes der Ugel wiederum auf sie, so vernehme ich bereits einen, wenn auch nicht sehr starken, doch deutlich hellen Klang, wenn das Glasgefäß auf einer elastischen Unterlage steht. Je tiefer ich die Ugel im Wasser versenke, desto heller wird dieser Klang, der nie der Ugel oder dem hölzernen Hammer angehören kann, sondern dem Glasgefäß, dessen Wandungen durch die Schallwellen im Wasser zu selbstständigen Schwin-

gungen angeregt werden. Man überzeugt sich bei diesem Versuch leicht, daß in diesem Fall der Boden des Gefäßes es vorzüglich ist, welcher in Schwingungen versetzt wird. Denn wird die Kugel nur sehr wenig eingetaucht, und der Schlag des Hammers nicht parallel der Schnur geführt, sondern in der Richtung eines Durchmesser, welcher die Verlängerung der Schnur senkrecht schneidet, so bleibt der Schall klanglos, als wenn die Kugel gar nicht ins Wasser getaucht wäre.

Ferner verschwindet der Klang bei der ersten Art des Anschlages fast vollkommen, so bald ich das Glasgefäß auf eine weiche, unelastische Unterlage stelle, er verschwindet aber nicht, wenn die Unterlage elastisch und die senkrechten Wandungen des Gefäßes mit den Händen umfaßt oder sonst an Schwingungen verhindert werden.

Ist nun die Kugel bis in die Mitte des Gefäßes untergetaucht, so wird der Klang des Schalles sehr laut und deutlich, dem vollkommen ähnlich, welchen ich durch Anschlagen der senkrechten Wände des Gefäßes erhalte, wenn ich den Hammer in der Richtung eines Kugeldurchmessers auffallen lasse, dessen Verlängerung die Wände des Gefäßes senkrecht trifft. Der Klang verschwindet, sobald die Wandung mit der Hand gedämpft wird. Hieraus erseht man zweierlei: Erstens nämlich, daß feste Körper, welche eine Flüssigkeitssäule einschließen, die Schallwellen der letzteren sehr gut zu resoniren vermögen; zweitens aber auch, daß die in einer gewissen Richtung zunächst hervorgerufenen Schallwellen am besten in dieser Direction fortgepflanzt werden, was Müller und Weber schon durch andere Experimente erhärtet haben.

Daß außer dem Selbsttönen, wenn es überhaupt möglich ist, nebenbei noch die Reflexion der Schallwellen von den festen Wandungen einen erheblichen Grad erreichen kann, sehen wir aus Müller's Experiment, in welchem er die Pfeife und das eine Ende des Conductors in einen mit Wasser gefüllten in Wasser stehenden Glaszylinder taucht, und den mit dem Conductor zugeleiteten Schall in der Nähe der ganzen Innenfläche des Cylinders verstärkt findet, selbst wenn der letztere mit der Hand umfaßt, an Eigenschwingungen demnach gehindert ist.

Wir müssen nun weiter sehen, wie sich von Membranen eingeschlossene und von Wasser erfüllte Räume erstens zu den festen Wandungen und zweitens an sich ohne weitere Umschließung durch diese verhalten.

Nach Müller's Versuchen ist eine Membran, mag sie gespannt sein oder nicht, im Stande, Schallwellen im Wasser zu verstärken, also als Resonator zu dienen. Ich wiederholte diese Experimente in der Weise, daß ich in das cylindrische mit Wasser gefüllte Gefäß eine große ebenfalls mit Wasser gefüllte Blase so aufhing, daß sie nirgend die Glaswände berührte. Kugel und Hämmerchen brachte ich in das Innere der Blase, und erzeugte durch Anschlagen einen Schall, welcher ebenfalls einen Klang bekam, so daß erwiesen war: es pflanze sich der im Wasser erregte Schall bis zu den Glaswänden durch die Membran hindurch fort. Doch war der Klang nicht so hell und vernehmlich als nach Entfernung der Blase. Es war übrigens gleichgültig, ob die Blase schlaffer oder gespannter war (was durch Einfüllen oder Entfernen von Wasser leicht bewerkstelligt wurde), obgleich es mir scheinen wollte, als beeinträchtigte die Spannung der Membran etwas die Reinheit des Klanges. Keinen Falls hemmt somit eine Membran von der Dicke der Wandung des häutigen Labyrinths das Fortschreiten der Wellen des Labyrinthwassers zu dem festen Labyrinth und umgekehrt. Verstärkung

des Schalls konnte ich auf diese Weise keine wahrnehmen, die Müller's Versuchen zu Folge offenbar auch vorhanden ist, aber zunächst innerhalb der Blase wahrgenommen wird, wie indirect aus anderen Versuchen sich ergeben hat. Im Gegentheil war der Klang des Glasgefäßes etwas gedämpfter, so daß eine Zurückhaltung der Schallwellen innerhalb der Blase (bei dieser Dicke der Membran wenigstens) wahrscheinlich wurde. Doch bleibt es zweifelhaft, ob wir etwas Aehnliches von den so dünnen Membranen des häutigen Labyrinths erwarten dürfen.

So wird also Reflexion und Resonanz von Seite der festen Wandungen den Eindruck auf den Gehörnerven verstärken. Häufig finden wir bei den Fischen einen größeren oder kleineren Theil der Bogengänge ohne feste Umhüllung häutig in den Schädelraum hereinragen.

Versuche an einer mit Wasser theilweise gefüllten Blase haben ergeben, daß ihre Wandungen allein schon im Stande sind den in dem Wasser erzeugten Schall zu resoniren. Denn bringt man unter das Niveau des Wassers wiederum Kugel und Hämmerchen, und ruft durch Anschlagen einen Schall hervor, so hat er einen Klang, dem ganz ähnlich, welchen man durch Percutiren außen auf der Wandung der Blase mittelst eines Pleßimeters erhält. Das Tympanitische des Klanges nimmt auch hier mit einem gewissen Grad der Schlaffheit zu, wie wir dies schon von der Diagnose des Emphysems her kennen. Daß in diesem Fall nicht primär von dem Wasser aus die in der Blase noch befindliche Luft in Schwingungen geräth, sondern erst durch die in Schwingung gebrachte Membran, sehen wir daraus, daß ein auch nur eine Linie über dem Niveau des Wassers befindlicher geschlossener Luftraum auf ähnliche Weise durchaus nicht in resonirende Schwingungen versetzt werden kann.

Bisher haben wir von der Gestalt des häutigen Labyrinths ganz abgesehen. Betrachten wir jetzt zuerst die Bogengänge.

Aus Müller's Versuchen geht hervor, daß allerdings eine absolut ungeschwächte Fortleitung des Schalls in unbestimmte Entfernung durch ein mit Wasser gefülltes Rohr, mag es in Wasser liegen oder nicht, keineswegs stattfindet, daß ein Rohr von gewisser Länge (beiläufig noch 4" in jenen Versuchen) dennoch diesen Dienst zu leisten im Stande ist. Es kommt somit den mit Wasser erfüllten Röhren nur in sehr geringem Grade das zu, was bei einem mit Luft gefüllten schallleitenden Communicationsrohr so auffallend deutlich ist; der Grund liegt darin, daß die Luftwellen schwer an die festen Wände des Rohres übergehen, während die Schallwellen des Wassers sehr leicht sich in feste Körper fortpflanzen. Während schon Müller's Versuche mit so kurzen Röhren eine Anwendung auf die noch viel kürzeren Röhren der halbkugelförmigen Canäle erlauben, so glaube ich durch weitere Versuche diese Annahme noch mehr unterstützen zu können. Ich benutzte dazu das früher schon erwähnte große Cylinderglas, hing in dem Wasser an einem Faden einen oben und unten offenen Cylinder von sechs Zoll Länge und ein Zoll Durchmesser in Lichten zuerst so auf, daß seine Längsachse parallel den senkrechten Wänden des Glases war. Auf dem Niveau des Wassers setzte ich die an der Schnur hängende Marmorkugel bis in die Nähe ihres größten Kreises auf, und schlug mit dem hölzernen Hämmerchen in die Richtung der Längsachse des darunter befindlichen Cylinders. Ich vernahm den resonirenden Klang des Bodens meines Glasgefäßes, und nur diesen allein, um etwas stärker als bei Abwesenheit des Cylinders.

Nun drehte ich den letzteren um 90 Grad, wodurch also seine beiden

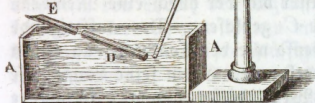
Öffnungen gegenüber den Wandungen des Glasgefäßes standen; jetzt gab der Schlag auf die Kugel, in derselben Richtung geführt wie vorhin, sofort den Klang der Seitenwandungen des Gefäßes. Die Schallwellen bekamen demnach eine auf die ursprüngliche Richtung des Stoßes rechtwinkelig stehende Direction.

Daß Röhren mit nicht starren, sondern biegsamen, elastischen Wandungen ebenfalls im Stande sind, den in ihrem flüssigen Inhalt erzeugten Ton in einer von ihrem Verlaufe abhängigen Richtung fortzuleiten, davon können wir uns am leichtesten bei der Auscultation der großen Gefäßstämme des Herzens bei Krankheiten der Semilunarklappen der Aorta überzeugen, welche wir aus dem am Rand des Sternums (dem Verlaufe der Aorta entsprechend) am stärksten vernehmbaren systolischen oder diastolischen Geräusch mit Sicherheit zu diagnosticiren im Stande sind. —

Es käme nun darauf an, zu untersuchen, bei welcher Länge, welchem Durchmesser, und welcher Form Röhren geeignet sind, einen Schall von bestimmter Intensität und bestimmtem musikalischen Werth in der Richtung der Röhren ungeschwächt oder verstärkt fortzuleiten.

So lückenhaft bis jetzt auch hierüber meine Beobachtungen sind, so will ich doch Methode und Resultate angeben, welche uns wenigstens definitiv überzeugen können, daß in den Bogenängen die Fortleitung des Schalles vorwaltend in der Richtung ihrer Krümmungen geschehen muß.

Eine hölzerne Wanne A (Fig. 68) ist ganz mit Wasser gefüllt. Der in das Wasser tauchende Conductor C ist ein für allemal an dem Arm des Statives B fixirt, so daß keine Variation in der Tiefe seiner Einsenkung unter das Niveau des Wassers stattfinden kann. D ist ein Glaszylinder. E ist die mit einer Membran geschlossene, einen Fuß lange hölzerne Pfeife ohne Seitenlöcher.



Das eine Ohr des Gehüllten ist mit einem nassen Pappierpfropf fest verstopft, und mit dem Conductor in Verbindung, das andere ist ebenfalls fest verstopft. Er hat das Gesicht von der Wanne abgewendet, oder die Augen geschlossen, so daß er nicht sehen kann, welche Stellung der Glaszylinder zu dem Conductor während des Versuches bekommt.

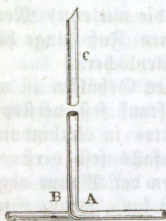
Das Anblasen der Pfeife muß nun ganz gleichmäßig geschehen, was man mit einiger Uebung bald erlernen kann. Um jedoch auch hierfür eine Controle zu haben, giebt ein Dritter die etwa bemerkbaren Schwankungen in der Stärke des Blasens an, indem er den Ton durch die Luft hört, und von dem Apparat abgekehrt ist. Dadurch sind die bei Gehörsempfindungen so leicht eintretenden Täuschungen, wie ich glaube, möglichst verhütet.

Die Röhren, welche angewendet wurden, waren gerade wie D, welche einmal eine Länge von 17, das anderemal von 25 Centim., und einen Durchmesser im Lichten von 3 im ersten, und $2\frac{1}{3}$ Centim. im zweiten Fall hatten. Die Pfeife wurde hart an die eine Öffnung der Röhre gehalten, öfter auch in die Röhre etwas hineingesteckt. Indem nun diese Öffnung gleichsam den fixen Punkt darstellte, wurde die Röhre langsam in einer horizontalen Ebene unter Wasser in einem halben Kreis bewegt; jedesmal, ehe die Pfeife angeblasen wurde, ließ man das Wasser vollkommen ruhig werden. Es wurde von dem durch den Stab Hörenden stets dann der Ton als am

stärksten angegeben, wenn sich die Oeffnung der Röhre gegenüber dem Conductor befand; das geschah bei der kürzeren sowohl als bei der längeren Röhre.

Nun wurde eine im Knie gebogene Röhre zum Versuch angewendet. Der eine Schenkel hatte 14, der andere 15 Centim. Länge. Ihr Durchmesser betrug im Lichten 1,5 Centim. Die Pfeife bildete immer die Fortsetzung des einen Schenkels und wurde in dieser Lage durch den Blasenenden gehalten, welcher sich mit der Oeffnung des anderen Schenkels dem Conductor bald näherte, bald von ihm entfernte. Auch hier wurde immer ganz bestimmt der Ton dann als am stärksten vernehmbar bezeichnet, wenn die letztere Oeffnung dem Conductor gerade gegenüber stand. Wurde der Conductor auch ganz nahe an das Knie der Röhre gebracht, so war der Ton hier doch noch schwächer gehört als der Oeffnung des Schenkels gegenüber. Offenbar also wurde in diesen Fällen stets der Ton im Inneren der Röhre, wenn auch nicht vollständig, doch sehr merkbar zurückgehalten, und die Wellenbewegung wurde in der Richtung der geraden ebenso wie der gekrümmten fortgeleitet. — Es konnte aber doch noch immer der Einwurf gemacht werden, daß der Schall besser von den festen Theilen der Röhre geleitet wird, und daß das Resultat des Experiments ganz einfach von der schon bekannten Resonanzfähigkeit fester Körper im Wasser abzuleiten sei, nicht aber von einer concentrirteren Schalleitung im Wasser innerhalb der Röhre, wie das bei mit Luft erfüllten Röhren der Fall ist. Zu dem Ende wurde der Versuch in folgender Weise modificirt. An den convexen Theil des Knies der Röhre A (Fig. 69) wurde ein dem horizontalen Schenkel von A

Fig. 69.



in jeder Beziehung gleiches Rohr B angeschmolzen, der ganze Apparat unter Wasser gebracht, nachdem B natürlich ebenfalls ganz mit Wasser erfüllt war, und senkrecht auf die Oeffnung der knieförmigen Röhre A unter Wasser mit der durch eine Membran geschlossenen Pfeife C geblasen. Der aufsteigende Schenkel A war ebenso wie der Conductor an einem Stativ befestigt und konnte nur um seine Längsachse gedreht werden. Wenn dieses geschah, so wurde bei einer ganzen Umdrehung immer nacheinander die Oeffnung der Röhre A, und dann der Röhre B in gleichbleibender Entfernung dem Conductor gegenüber gebracht. Es wurde diese Drehung ohne Wissen des Hörenden bald von rechts nach links, bald umgekehrt ausgeführt, stets aber dann der Ton als stärker bezeichnet, wenn die Oeffnung von A in das Bereich des Conductors gebracht wurde.

Daraus ist ersichtlich, daß die Röhre als Röhre und nicht bloß als fester Körper den Schall in ihrer inneren Begrenzung verstärkter fortleitet.

Ich komme nun zum letzten Einwand: ob wir, mit solchem Material, wie mit Glas u. dgl. experimentirend, ein Recht haben, die Resultate der Experimente auf das aus ganz anderem Material gebildete Gehörorgan anzuwenden.

In jüngster Zeit ist nämlich hierüber ganz kurz und vornehm abgeurtheilt worden¹⁾, ohne daß eigentlich berücksichtigt wurde, wie viel und was J. Müller mit seinen Experimenten zu ermitteln versucht hat.

¹⁾ Dr. Wilh. Kramer, die Erkenntniß u. Heilung der Ohrenkrankheiten p. 69 ff.

Allerdings besitzen die dabei angewendeten Substanzen ein anderes Schallleitungsvermögen als die Knochen des Gehörorgans oder die Wandungen des häutigen Labyrinths; allein dieses sollte damit auch gar nicht untersucht werden. Die Frage war bloß die: können überhaupt röhrenförmig gebildete feste Körper den Schall innerhalb ihres flüssigen Inhaltes ähnlich concentriren, wie das von den Schallwellen der Luft in starren Röhren bekannt ist. Das Material ist dann gleichgültig, wenn man die Grenzen der Dichtigkeit des Knochens in den verschiedenen Versuchen zweimal überschritten, nämlich dichteres und weniger dichtes Material als das der Knochensubstanz angewendet hat.

Dieses ist von J. Müller geschehen, und eben darin, daß bei unseren Versuchen eine Substanz benutzt wurde, an welche nach sonst bekannten physikalischen Gesetzen die Schallwellen aus dem Wasser leichter übergehen, glauben wir zu der Annahme berechtigt zu sein, daß in dem Gehörorgan mindestens ebensogut eine Fortleitung in der Richtung der Krümmungen der Bogengänge stattfinden werde, als in den gekrümmten gläsernen mit Wasser erfüllten Röhren.

Wir gestehen gerne, daß wir die feineren Verhältnisse der Schallleitung in diesem Theil des Ohres noch lange nicht werden ergründen können. Daran ist aber nicht die Physiologie Schuld, auch wird der Aesculapiusstab des Praktikers den Zauber nicht zu lösen vermögen, sondern es hat die Physik erst das Problem zu lösen, wie innerhalb geschlossener Röhren der fortschreitende Stoß in Flüssigkeiten wirkt; denn die Oberflächen-Bewegung in gekrümmten und communicirenden Rinnen erlaubt uns noch nicht den geringsten Schluß auf den Gang der Verdichtungswellen in überall geschlossenen Canälen.

Die so äußerst verwickelten Verhältnisse in diesem Fall haben sich dem Calcul bisher noch ganz entzogen. Wir müssen uns begnügen, vorläufig empirisch den Werth der einzelnen Theile des Gehörorgans im Allgemeinen kennen zu lernen, und können nach diesen Bestimmungen behaupten, daß die Bogengänge die in ihre Flüssigkeit gerathenen Schallwellen in ihrer Richtung fortzuleiten im Stande sind, und mit einem gewissen Grad von Concentration den in den Ampullen gelegenen Nervenfasern zubringen.

Was nun schließlich die Schnecke und deren Windungen betrifft, so wissen wir, daß die Treppen derselben ebenfalls von Flüssigkeit überspült sind. Die Schallwellen in dieser Flüssigkeit können auf dreifache Weise hervorgerufen sein, entweder von der Luft in der Trommelhöhle her, oder von den Erzitterungen der festen Körper, und zwar entweder wieder der Gehörknöchelchen, oder zweitens der festen Theile des Schädels überhaupt. — E. H. Weber schreibt der Schnecke in der letzten Beziehung gerade die größte Bedeutung zu, von der wir früher schon gehandelt haben. Daß in diesem Fall die Wellenbewegung in der Flüssigkeit mit der Schwingung der festen Platten in ihr in Analogie steht, läßt sich in so weit erwarten, als überhaupt Flüssigkeiten den Schwingungen fester Körper sich mit ihren inneren Bewegungen leicht accomodiren können. Die ungleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit wird bei dem äußerst geringen Umfang der Schnecke kaum in Betracht kommen. Die Schwingungen des Wassers werden endlich eben so unabhängig von der Lage der einzelnen zu einem System (der Spiralsplatte mit dem Modiolus) verbundenen Theile sein, wie die Bewegungen des Sandes von der Stellung der einzelnen Platten zu einander in dem von Savart angestellten oben bereits mitgetheilten Versuch. Von der Bezie-

hung der Schnecke zu der Zuleitung der Schallwellen durch die Luft werden wir später handeln.

III. Hören durch Schallwellen in der Luft.

Niemals liegt der Gehörnerv frei zu Tage, den Schwingungen der Luft unmittelbar preisgegeben, sondern überall finden wir ihn von Flüssigkeit umspült. Es müssen demnach stets die Luftwellen zuletzt reducirt sein auf Wasserwellen.

Gleichwohl aber müssen wir die Wellenbewegung der Luft zuerst untersuchen, dann ihren Uebergang in feste Körper, und endlich in Wasser, außerdem aber noch besonders die Schwingung der Luft im Inneren des Gehörorgans, weil der Mensch sowohl als eine große Reihe von Wirbelthieren in dem mittleren Ohr einen mit Luft erfüllten Raum, nämlich die Trommelhöhle, besitzt.

Betrachten wir zuerst in der Thierreihe die hiermit zusammenhängenden Apparate, so haben wir als den den Luftwellen zunächst exponirten Theil des Gehörorgans, 1) das Trommelfell, welches wir mit der Trommelhöhle und Tuba Eustachii zusammenfassen, indem die Gegenwart dieser drei Gebilde unmittelbar an einander geknüpft ist. Dieser Apparat fehlt den Fischen, da bei ihnen kein mit Luft erfüllter Raum die Function der Schallzuleitung hat. Wo ein solcher sich findet, wird durch ihn nur eine Resonanz der auf anderem Weg zugeleiteten Schallwellen vermittelt. Die membranartige Verschließung des Labyrinths nach außen, wie z. B. bei *Cobitis fossilis* ist nicht als Trommelfell, sondern als *Membrana tympani secundaria* zu betrachten. Selbst noch bei höheren Wirbelthieren kann Trommelfell und Trommelhöhle vollkommen fehlen, wie unter den beschuppten Amphibien den Ophidiern und vielen schlangenartigen Sauriern; auch vielen nackten Amphibien fehlen diese Theile.

Das Trommelfell liegt bei allen übrigen Wirbelthieren entweder frei zu Tage, oder unter anderen Theilen verborgen, und ist entweder rein membranös oder mehr weniger knorpelig. Die Trommelhöhle endlich von häutigen, knorpeligen oder knöchernen Wandungen, oder aus histologisch verschiedenen Elementen zugleich gebildet, kann als verschieden geformte einfache oder durch Scheidewände in Zellen abgetheilte Höhlung auftreten.

So ist das Trommelfell unter den nackten Amphibien theils äußerlich sichtbar, theils verborgen bei den meisten Fröschen und Kröten, knorpelig bei *Pipa* und *Dactylethra*. Auch bei einigen beschuppten Amphibien ist es von der Haut bedeckt. Bei den Vögeln zieht sich eine verdünnte Partie der äußeren Haut über das Trommelfell hin.

Die Trommelhöhle ist größtentheils häutig unter den nackten Amphibien bei *Bufo*, *Rana*, *Alytes* u. A. Bei den Sauriern ist sie zum Theil vom Quadratbein gebildet, zum Theil von Haut und Muskeln des Unterkiefers und Zungenbeins umgeben.

Bei den Cheloniern wird sie durch ein knöchernes Septum in eine vordere und hintere Zelle abgetheilt. Von der ersteren führt eine Oeffnung in die Tuba Eustachii, von letzterer eine zweite in die große Höhle der Pars mastoidea des Schläfenbeins.

Bei vielen Säugethieren erweitert sich die Trommelhöhle beträchtlich

zu einer Bulla ossea, welche nicht selten wieder durch unvollkommene Scheidewände in communicirende Zellen abgetheilt ist.

Zu allen diesen das mittlere Ohr bildenden Theilen kommen die Schallwellen der Luft entweder direct oder durch Concentrations-Apparate, nämlich das äußere Ohr, welches selbst entweder unbeweglich oder mehr oder weniger beweglich ist; so daß also im letzteren Fall bis zu einem gewissen Grade noch das Ohr ohne Bewegungen des Kopfes in die gerade Richtung der Schallwellen durch seinen eigenen Muskelapparat gebracht werden kann.

Erst bei den Vögeln finden wir eine unvollkommene Andeutung des äußeren Gehörganges; hier ist er noch häutig, kurz und weit, und von einer etwas gefalteten Fortsetzung der äußeren Haut ausgekleidet. Bei den Eulen zeigt sich an seiner äußeren Gränze eine häutige, halbmondförmige, bewegliche Klappe als Rudiment eines äußeren Ohrs, das noch unvollkommener bei Anderen durch eine eigenthümliche Federstellung an diesem Ort ersetzt wird. Bei den Crocodilen fungirt eine das Trommelfell bedeckende muskulöse doppelte Klappe als solches. Auch vielen Säugethieren fehlt das äußere Ohr noch ganz, nämlich allen Cetaceen, Sirenen, Monotremen, Robben (ausgenommen Otaria), dem Wallroß, den Gattungen Chlamyphorus, Manis, Talpa, Scalops. Sehr unvollkommen entwickelt treffen wir dasselbe bei dem Faulthier und den Ohrobren; sehr entwickelt dagegen bei den fledermausartigen Thieren. Die Beweglichkeit desselben ist bei vielen Thieren bedeutend größer als bei dem Menschen, was hauptsächlich durch den viel entwickelteren Muskelapparat bedingt ist, der z. B. bei der Raze, nach Hannover, aus 28 Muskeln besteht, während bei dem Menschen die Möglichkeit der Bewegung außer durch die geringe Anzahl von Muskeln auch noch durch Mangel an Uebung fast vollkommen aufgehoben ist. Nicht immer, wenn auch in der Regel, ist mit dem Mangel eines äußeren Ohrs auch der eines knöchernen äußeren Gehörganges verbunden; auf der anderen Seite fehlt aber auch hier und da der letztere, wo ein äußeres Ohr vorhanden ist; dann ist der Gehörgang nur häutig, aus dichterem fibrösen Fasergewebe gebildet, hier und da sehr lang und gekrümmt, wie bei einigen Cetaceen.

Der Eingang in das Labyrinth ist bei allen über den Fischen stehenden Thieren constant mit einer Membran geschlossen, was wir wohl auch schon bei einigen, aber durchaus nicht allen Fischen antreffen. — Er ist aber entweder einfach oder doppelt, was mit dem Fehlen oder Vorhandensein einer Schnecke unmittelbar zusammenhängt. Ueberall nämlich, wo dieses Organ gefunden wird, hat es einen eigenen Eingang von der Fenestra rotunda her neben einem zweiten von der Fenestra ovalis aus durch das Vestibulum.

Diese, die Fenestra ovalis, bildet den zweiten Eingang in das Labyrinth. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Verschlussarten des Labyrinthes besteht in der ausschließlich membranösen Beschaffenheit der Membrana tympani secundaria des runden Fensters, während das ovale mit einem knorpeligen oder knöchernen Deckelchen verschlossen ist, das meist beweglich auf dem zarten Häutchen aufliegt, welches die ganze Oeffnung überspannt. Dieser knöcherne Theil des Verschlusses fehlt selbst da nicht, wo keine Trommelhöhle vorhanden ist, wie bei den Cöcilien, Derotremata, Proteiden, Salamandrinen und unter den ungeschwänzten Batrachiern bei Bombinator, Pelobates, Telmatobius, Phryiscus: hier bedecken Muskel und Haut unmittelbar dieses Operculum. Es ist bei einigen nackten Reptilien glatt, ohne Erhabenheit, wie bei Cöcilia, Amphiuma, Menopoma, den Proteiden, bei

Siredon mit einem kleinen knöchernen Stiel versehen. Es bedeckt hier allein das ovale Fenster, während bei *Salamandra maculata* dem *Operculum* noch eine dünne Membran den vollkommenen Verschluss bilden hilft.

Mit dem Auftreten einer entwickelteren geräumigeren Trommelhöhle verlängert sich der Stiel des *Operculum*, und gliedert sich bei den meisten ungeschwänzten Batrachiern bereits zweimal ab, so daß (bei *Rana*, *Hyla*, *Bufo*) dadurch drei Gehörknöchelchen hintereinander zwischen dem ovalen Fenster und dem Trommelfell zu liegen kommen. Bei anderen dagegen (*Pipa*, *Xenopus*) bleibt der lang ausgezogene knöcherne Stiel ungegliedert, bildet eine Curve und stößt an die innere Fläche des knorpeligen Trommelfells. Bei den Ophidiern dient die zwischen den Muskeln gelagerte *Columella* als Verschluss des ovalen Fensters; bei den Cheloniern steht diese *Columella* erst noch auf dem *Operculum*.

Die Saurier haben dagegen wieder drei hintereinander liegende Gehörknöchelchen: *Operculum*, *Columella* und ein kleines an das Trommelfell befestigtes Knorpelstück.

Bei dem Vogel treffen wir eine *Columella*, welche mit drei in einem Dreieck gestellten knorpeligen Fortsätzen am Trommelfell befestigt ist, und mit ihrer Platte hinten das ovale Fenster schließt.

An jenen Fortsätzen und dem Trommelfell inserirt sich sehnig ein vom *Os occipitale* entspringender Muskel; entgegengesetzt ist eine zweite vom Paukenhöhlengelenk des Quadratbeins entspringende und ebenfalls an die knorpeligen Fortsätze der *Columella* gehende Sehne.

Was schließlich die Säugethiere betrifft, so dürfen wir den Steigbügel als eine Analogie der *Columella* betrachten, und die übrigen: *Amboß* und *Hammer*, als weitere bewegliche Abgliederungen derselben. Außer diesen drei bei dem Menschen vorkommenden Gehörknöchelchen, deren Form, Größe und Verbindungsweise auf das mannigfachste variiert ist, wie ein Blick auf *Hyll's* Tafeln uns zeigt, kommen bisweilen noch einige Sesambeinchen vor. Wir können bis jetzt keine nur irgend annehmbare Vermuthung über den physikalischen Grund dieser verschiedenen Anordnung und Gestaltung aussprechen — die anatomische Nothwendigkeit der Variation überhaupt soll weiter unten dargezogen werden. Ihre Bewegungen geschehen durch den *Musculus stapedius* und *Musculus mallei internus*.

Nach dieser vergleichend anatomischen Skizze gehen wir zur Betrachtung der Fortpflanzung der Schallwellen durch die Luft zu diesen Organen über.

1) Schallwellen der Luft außer dem Gehörorgan.

Wenn in anderen Medien als der Luft z. B. in festen Körpern auf zweierlei Art ein Schall oder Ton erregt werden kann, nämlich durch Beugungs- oder Verdichtungswellen, so kann sich der so erzeugte Ton in der Luft immer nur in der Form der Verdichtungs- und Verdünnungswellen fortpflanzen. In der Luft selbst, welche z. B. in einer Röhre oder Pfeife schwingt, kann der Ton auch nur auf diese Weise allein entstehen. Im unbegrenzten Luftraum schreitet die Bewegung von der ursprünglichen Schallquelle aus kugelförmig fort, und zwar in meßbarer Zeit und mit einer mit dem Quadrat der Entfernung abnehmenden Intensität.

Das erstere beruht auf der Trägheit der zu bewegenden Masse und der großen Elasticität derselben. Denn daß es wirklich die Luft ist, in wel-

cher die Wellenbewegung des Schalles fortschreitet, sehen wir daraus, daß aus einem luftleeren Raum, wie er in dem Recipienten einer Luftpumpe hergestellt werden kann, eine Fortpflanzung von Vibrationen z. B. einer Glocke als Ton nicht mehr zu unserem Ohr gelangen kann.

Das zweite folgt aus dem früher schon erörterten Größenverhältniß der Bahn schwingender Theilchen, welche in dem Maas abnimmt, in welchem die hohle Kugel an Umfang wächst, deren Radien wir uns in dem Punkt der Schallquelle zusammenlaufend denken müssen. Die Größe dieser Bahn bestimmt aber vor allem die Intensität der Schallempfindung.

Die ursprüngliche Intensität des Schalles wird demnach wesentlich modificirt werden: erstens durch die Entfernung des Ohres von der Schallquelle, zweitens von der Beschaffenheit der dazwischen liegenden Luftschicht. Denn wenn wir den Ton der Glocke im Recipienten der Luftpumpe immer matter werdend finden, je mehr wir die Luft verdünnen, anschwellend dagegen bei allmäliger Füllung des Recipienten mit Luft, so hat dieses seinen Grund in der verschiedenen Fähigkeit der Luft im dünneren und dichteren Zustand, den Stoß der Vibration gleich im Anfang auf eine größere oder geringere Summe kleinster Lufttheilchen bewegend wirken zu lassen. Von vorneherein ist übrigens schon die Intensität, abgesehen von dem zwischenliegenden Medium, durch den größeren oder geringeren Grad der Compression und durch die größere oder geringere Geschwindigkeit bedingt, welche die Lufttheilchen durch die Schwingungen des umgebenden Körpers erfahren. Wie verschieden auch die anfängliche Geschwindigkeit der Lufttheilchen ist: Töne der verschiedensten Intensität pflanzen sich in der Luft gleich schnell fort, eben so wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls für jeden Ton, ganz abgesehen von seinem musikalischen Werth, ganz gleich ist. Sie beträgt nach den im Jahr 1822 zu Paris durch das Bureau des longitudes angestellten Versuchen bei 10° 337,28, bei 0° 331,12 Meter in der Secunde. Wertheim ¹⁾ berechnete für 0° ebenfalls eine Geschwindigkeit von 330 bis 332 Meter.

Der Ton ist in Beziehung auf seinen musikalischen Werth nicht minder unabhängig von der Geschwindigkeit und Intensität des ersten Impulses, dagegen abhängig von der Geschwindigkeit in der Succession der Impulse, mögen diese gegeben sein durch schwingende elastische, feste oder luftförmige Körper. Jedem Ton kommt eine ganz bestimmte Geschwindigkeit in der Aufeinanderfolge der Impulse oder, was dasselbe ist, eine gewisse Summe von Schwingungen in der Secunde zu, woraus sich für jedes Medium bei bekannter Fortpflanzungsgeschwindigkeit die Dicke einer in diesem Medium fortschreitenden Welle berechnen läßt. Wir bekommen nämlich $D = \frac{G}{n}$, wobei D die Wellendicke,

G, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit und n die Zahl der Schwingungen in der Secunde bedeutet. — Der Klang eines Tones endlich, welcher von Anfang an schon bestimmt sein kann durch das Material des schwingenden Körpers, kann wesentliche Veränderungen durch das luftförmige Medium erleiden, durch welches sich der Ton fortpflanzt; und zwar aus zweierlei Ursachen: die erste liegt allein in der Beschaffenheit der Luft, in ihrer größeren oder geringeren Dichtigkeit bei ein und derselben Luftart, oder in der verschiedenartigen Beschaffenheit der Luftart selbst; die zweite liegt in

¹⁾ In L'Institut Paris 1847. 4. Nr. 693. p. 127.

der Art der Begrenzung des Luftraums und dem Widerhall, wodurch die ursprünglichen Schallwellen auf das mannigfachste modificirt und mit neuen vermischt werden können. Daher jene auffallende Verschiedenheit des Klanges z. B. in einem Zimmer, je nachdem sich Gegenstände in größerer oder geringerer Anzahl, in dieser oder jener Stellung gegen einander befinden. Eine eigenthümliche Erscheinung, welche ich beobachtete, und die von vielen Anderen ebenfalls constatirt wurde, nachdem ich sie darauf aufmerksam gemacht hatte, glaube ich nur physiologisch, das heißt aus dem Consens der Nerven, erklären zu können. Lassen wir nämlich im Finstern irgend ein Instrument mit einer gewissen gleichbleibenden Stärke spielen, oder auch nur einen Ton gleichmäßig anhalten und erleuchtet plötzlich das Zimmer sehr grell, so erfährt der Ton eine ganz merckliche neue Klangfärbung; er scheint wie von einem Wiederhall begleitet.

Wenn die Intensität des Schalls im unbegrenzten Luftraum in dem angegebenen Verhältniß nach und nach abnimmt, so gilt dies nicht von dem Schall in einer begrenzten Luftsäule. In dieser pflanzt sich derselbe mit unveränderter Intensität von einem Ende zum anderen fort, und gleichzeitig wird unter geeigneten Bedingungen die ursprüngliche Intensität des Schalls durch die Reflexion von den Wandungen her erhöht, der Schall also verstärkt. Dieses führt uns auf den Widerhall und die Resonanz. Der erstere beruht auf der Schwierigkeit, mit welcher sich Luftwellen wegen der großen Verschiedenheit der Medien auf feste Körper fortpflanzen, das andere auf der Eigenthümlichkeit fester Körper unter gewissen Bedingungen durch schwingende Luft in selbstständige Schwingungen zu gerathen. Es ist früher schon bemerkt worden, daß die Reflexion der Schallwellen nach denselben Gesetzen erfolgt, wie die Reflexion der Lichtwellen, so nämlich, daß der Reflexionswinkel dem Einfallswinkel gleich ist; es werden also z. B., wenn der Mittelpunkt der directen Schallwellen sich in dem einen Brennpunkt eines Ellipsoids befindet, die reflectirten in dem anderen Brennpunkt des Ellipsoids gesammelt. Durch diese Reflexion der Schallwellen innerhalb eines geschlossenen Raumes kann sich die ursprüngliche Intensität des Schalles verstärken, indem sehr häufig Berge der reflectirten Wellen auf Berge der directen fallen und eben so Thäler der ersteren auf Thäler der letzteren, wodurch die Höhe jener und die Tiefe dieser vergrößert werden muß. Nothwendig wird mit der Größe der Elasticität der Begrenzung (mit ihrer Starrheit) die Reflexion vollkommener werden müssen, und die ursprünglichen Wellen bleiben, je weniger die Wandungen bei größerer Elasticität durch die Schwingungen der Luft in eigene Beugungen versetzt werden können, unverändert. Findet das Gegentheil statt, so wird der ursprüngliche Schall häufig modificirt werden, und jedesmal wenigstens einen anderen ihm an sich nicht zugehörigen Klang bekommen müssen.

Was schließlich die Resonanz betrifft, so kann sie zweierlei Art sein ¹⁾; bei der ersten werden die Schwingungen eines tönenden Körpers an ein zweites Medium von anderer Cohärenz seiner Theilchen vollkommen mitgetheilt, wie z. B. die Schwingungen eines eisernen Stabes einem Faden und von da den festen Theilen des Gehörorgans, wovon früher schon gehandelt worden, bei der zweiten wird ein begrenzter Körper durch einen tönenden in so starke Schwingungen versetzt, daß der ursprüngliche Ton im unbe-

¹⁾ Weber Wellenlehre, p. 535.

gränzten Raum, auch wenn er sich diesem vollkommen mittheilen kann, immer geringere Intensität besitzt, als in einem so begränzten, resonirenden. Die Steigerung der Intensität hängt von dem Zusammenfallen entsprechender Wellentheile der primären und reflectirten Schwingungen ab. Wenn daher bei der ersten Art der Resonanz sich ein gewisser Unterschied der Resonanzfähigkeit zwischen hohen und tiefen Tönen zu Gunsten der letzteren herausstellt, so ist bei der zweiten Art dieser Umstand natürlich ganz ohne Belang. — Betrachten wir jetzt

2) Die Schallwellen der Luft in dem Gehörorgan,

so sieht man, daß dabei nur von der zweiten Art der Resonanz die Rede sein kann, so lange wir die Schallwellen in der Trommelhöhle und dem äußeren Gehörgang betrachten, dagegen auch von der ersten Art, wenn wir den Uebergang derselben auf die Membranen im Ohr verfolgen.

Entwerfen wir uns zuerst ein allgemeines Bild des Ganges der Schallwellen von der Luft her zu dem Gehörnerve, so wird zuerst schon vor dem Trommelfell durch das äußere Ohr und den äußern Gehörgang eine gewisse Concentration und gleichzeitige Verstärkung der Schallwellen zu Stande gebracht werden; dann gelangen dieselben zu dem Trommelfell, dessen Erschütterung sich der in der Trommelhöhle befindlichen Luft mittheilt. Diese communicirt ihres Theils durch die Eustachische Trompete mit der Atmosphäre. In dem fast vollkommen geschlossenen Lustraum der Trommel entsteht jedenfalls eine neue Resonanz; und so gelangen die Schallwellen vielleicht mit dem höchsten Grad der Intensität auf die Membran des runden Fensters. Dies ist der eine Weg. Der andere Weg geht durch das Trommelfell über die Gehörknöchelchen zu dem ovalen Fenster.

Das letzte Ziel dieser beiden Wege ist die Flüssigkeit des Labyrinth. Dorthin müssen alle Schallwellen der Luft geleitet, und mit einer gewissen Intensität geleitet werden. Es werden uns demnach jetzt die Gesetze dieser Leitung mit deren theils willkürlichen, theils unwillkürlichen zu verändernden Güte, so wie dann die Gesetze der Intensitäts-Vergrößerung oder Verringerung bei derselben beschäftigen müssen. Denn man sieht ein, daß es bei der Thätigkeit des Gehörorgans nicht allein darauf ankommen kann, jeden von außen an das Ohr treffenden Schall nur möglichst zu verstärken, sondern daß es auch von Wichtigkeit ist, in vielen Fällen die Intensität oder Leitung zu schwächen, ebenso wie das Auge nicht darauf berechnet ist, mit der größten Intensität alle Lichtstrahlen die Netina treffen zu lassen, sondern Schutzvorrichtungen in Iris und Augenliedern zu besitzen, um allzu gresles Licht zu dämpfen. Wir finden denn auch im Ohr solche Correctionsapparate und werden von diesen zuletzt handeln.

A. Die leitenden Apparate

wollen wir diejenigen nennen, welche zunächst den Weg der Schallwellen vorschreiben und zweitens den Uebergang zu dem Labyrinthwasser ermöglichen. Manche dieser Apparate haben zugleich die Aufgabe, die Intensität der Schallwellen zu modificiren, was wir jedoch für jetzt außer Acht lassen.

Das Ohr ist der beständige Wächter unseres Leibes; wir können es

nicht durch einen ähnlichen Apparat schließen wie das Auge, die Leitung des Schalls zu ihm daher nie auf ähnliche Weise wie dort abschließen.

Das äußere Ohr

ist geeignet, seine auffangende Fläche sehr verschiedenen Directionen des Schalles entgegen zu stellen, eine Fähigkeit, welche trotz des dazu vorhandenen Muskelapparates unser Ohr fast ganz durch frühzeitige Hinderung der Bewegung oder Mangel an Uebung eingebüßt hat, während die Beweglichkeit desselben bei vielen Thieren freilich auch vermöge eines bei weitem complicirteren Muskelapparates sehr bedeutend ist. Dadurch entbehren wir des Vortheils, gerade immer diejenigen Stellen des Ohres der Schallquelle gegenüber zu bringen, welche am geeignetsten sind, die Schwingungen in den äußeren Gehörgang zu werfen. Es sind überhaupt nur wenige solcher Punkte des äußeren Ohres, von denen aus dies geschehen kann, nämlich, nach Esser's¹⁾ Untersuchungen, nur die eigentliche Concha und der Tragus. An einem in Wachs modellirten Ohr kann man nach ihm am besten aus der Construction auffallender und unter gleichem Winkel reflectirter Linien erkennen, daß nach einfacher meist mehrfacher Reflexion die meisten dieser Linien nicht in den äußeren Gehörgang fallen. Die gekrümmte Form des Ohres kann uns daher wohl im Allgemeinen als zweckmäßig erscheinen, doch sind wir schon von physikalischer Seite her nicht im Stande, den Nutzen gerade dieser Art der Krümmungen nachzuweisen und der Berechnung zu unterwerfen, da schon viel einfachere Krümmungsflächen ihrer spotten. Wir müssen deshalb wieder zu rein empirischen Versuchen und pathologischen Thatsachen unsere Zuflucht nehmen. Mangel des Helix und Anthelix, Ohren aus ganz dünnen Knorpelplatten gebildet und ohne alle Erhabenheiten und Vertiefungen, beeinträchtigen die Feinheit und Schärfe des Gehöres durchaus nicht. Hat man alle jene Krümmungen der Ohrmuschel mit einer weichen Masse verstrichen, ohne den äußern Gehörgang zu verschließen, so soll das Gehör etwas schwächer, die Reinheit der Töne aber durchaus nicht alterirt werden²⁾. Ob die Schärfe des Gehöres wesentlich beeinträchtigt wird durch den vollständigen Mangel des äußeren Ohres, suchte ich auf folgende Weise zu ermitteln: Ich setzte auf die Oeffnung des äußeren Gehörganges ein $\frac{1}{2}$ " langes Glasröhrchen von der Weite des letzteren, und umgab seinen unteren Rand mit einer dichten Masse Leiges. Am Ende eines langen Corridores wurde eine Taschenuhr frei aufgehängt, der Kopf gegen die Schallquelle so gekehrt, daß die Oeffnung des Gehörganges außer der Direction der Schallquelle sich befand. Nachdem zuerst der Punkt ermittelt war, an welchem ich eben noch mit größter Aufmerksamkeit das Picken der Uhr vernehmen konnte, wurde das Röhrchen in der Richtung der Achse des Gehörganges fest aufgesetzt und auch jetzt noch vernahm ich das Picken der Uhr.

Derselbe Versuch wurde wie der erste in der Nacht im Freien wiederholt und das Ergebniß blieb sich gleich. Man sieht daraus also, daß das äußere Ohr nur höchst unbedeutend auf die Direction der Luftwellen zum inneren Theil des Gehörorganes influirt. Mehr scheint es dazu zu dienen,

¹⁾ In den Annales des sciences naturelles. Tome XXVI. Paris 1832. 8. p. 8.

²⁾ Esser, l. c. p. 7.

die Schallwellen, welche ohne dies in das Ohr einzudringen im Stande sind, vor dem Meatus auditorius schon zu verstärken, und zwar auf zweierlei Art. Einmal nämlich vielleicht durch die Eigenschwingungen, in welche es durch die Elasticität seiner Knorpel zu gerathen vermag, und dann durch die vielfachen Reflexionen, welche die Schallwellen an den gekrümmten Flächen der Muschel erleiden. Unter diesem Gesichtspunkt werden wir das äußere Ohr später betrachten.

Der äußere Gehörgang

hat durch die in ihm enthaltene Luftsäule die Aufgabe, Schallwellen der Luft concentrirt dem Trommelfell zuzuführen. Bei dem Menschen ist diese Röhre ca. 11 — 12^{'''} lang, der Querdurchschnitt elliptisch. Ihr Verlauf hat eine im Allgemeinen horizontale Richtung von außen nach innen, jedoch mit einigen leichten Biegungen, zugleich verändert sich mehrmals die Weite derselben so, daß sie am größten an der Stelle ist, an welcher der knorpelige Theil in den knöchernen übergeht, am geringsten unweit des Eingangs in der Gegend der Biegung nach oben; 2 — 3^{'''} von dem Trommelfell findet abermals eine kleine Verengerung statt, worauf der Gang wieder bis zu der Circumferenz des Trommelfelles erweitert wird.

Der knöcherne Theil fehlt bei einigen Säugethieren ganz, nämlich bei fast allen Ohrlosen. Auch der knorpelige Theil ist hier und da sehr unvollkommen entwickelt, indem er bei dem Maulwurf bloß ein spiralförmiges Band darstellt, mit welchem der häutige Canal umwickelt ist. Bei Echidna zerfällt er in einzelne, nur häutig mit einander verbundene Ringe. Bei den Delfhinen, welche einen sehr langen, engen und gekrümmten Gehörgang besitzen, dienen seiner fibrösen Grundlage nur einzelne zerstreute, unregelmäßige Knorpelplatten zur Stütze. Der Mangel des äußeren Ohrs bedingt jedoch nicht absolut auch den Mangel des äußeren knöchernen Gehörgangs, wie man an dem ohrlosen Chlamydochorus, mit knöchernem Meatus sieht, ebenso wenig als der Mangel dieses auch ein Fehlen jenes bedingt; denn auch den Affen der neuen Welt, dem Igel, fast allen Edentaten fehlt der knöcherne Gehörgang trotz der Entwicklung des äußeren Ohrs¹⁾.

Akustischen Gesetzen zu Folge hat die Krümmung des Ganges weniger Einfluß auf das Gehör als die Weite, besonders am Anfang desselben; um gerade hier seine Oeffnung zu vergrößern, erweitern wir ihn, scheint es, instinktmäßig durch Oeffnen des Mundes, wenn wir hörchen, indem wir dabei die in der Nachbarschaft des unvollkommenen Ginglymoidalgelenkes des Unterkiefers gelegenen Weichtheile nach vorn und unten ziehen. Rücken durch Verlust der Backenzähne die Gelenkfortsätze des Unterkiefers nach hinten und oben, und senken sich dabei tief in die Gelenkgrube der Schläfenbeine über der Glaser'schen Spalte vor dem Gehörgang, so werden dessen Wände hier gegeneinander gedrückt, die Aufnahme der Schallwellen der Luft ist beeinträchtigt, und es kann dadurch Taubheit entstehen, wie L a r r e y²⁾ zuerst nachgewiesen hat. Bei dem schwierigen Uebergang der Schallwellen von Luft an feste Theile wird durch die Reflexion der Schallwellen von den Wandungen gegen die Achse des Ganges ein Fortschreiten concentrirter Schwingungen

¹⁾ Hagenbach: die Paukenhöhle der Säugethiere.

²⁾ Im Journal complément. du dict. des scienc. médic. Tom. XIII. Paris 1822. p. 308.

in der Richtung dieser zu dem Trommelfell hin begünstigt, wie das aus der Theorie der Hörröhre bekannt ist.

Ueber den Einfluß des Ohrenschmalzes, welches als weiche halbflüssige Masse die Wände des ganzen Gehörganges auskleidet, sind verschiedene theilweise höchst abenteuerliche Hypothesen aufgestellt worden; am meisten Glauben dürfte die finden, daß es das Mittönen der Wände des Ganges verhindere und die Erzitterungen der einströmenden Luft nicht zur Wahrnehmung kommen lasse, obgleich auch diesen beiden von Linke¹⁾ unterstützten Annahmen Bedenken entgegenstehen. Die Trommelhöhle, in deren Luft doch gewiß auch Wellenbewegungen erregt werden können, und welche fast ohne Ausnahme mancherlei Unebenheiten ihrer Wandungen, und zwar in noch höherem Grade zeigt, als der äußere Gehörgang, entbehrt ganz einer solchen Auskleidung durch eine dickere Schicht zähen Secretes.

Ferner prüfte ich die zweite Annahme in folgender Weise. Ich suchte ein Kelchglas aus, welches vermöge seiner Größe eben noch das bekannte Brausen bei dem Vorhalten vor das Ohr vernehmen ließ. In diesem ließ ich eine ziemliche Menge Butter zerfließen, mit welcher die ganze Innenfläche durch Herumschwenken während des Erkalstens eine Linie dick überzogen wurde. Ehe die Butter ganz erstarrt war, hielt ich das Glas wieder vor das Ohr, ohne daß ich eine Verminderung des Brausens wahrnehmen konnte; auch eine doppelt so dicke Lage Schmalz über der ersten Auskleidung konnte das an sich schon sehr schwache Säusen nicht aufheben.

Das Trommelfell

stellt eine Membran dar, welche aus mehreren Schichten gebildet ist, nämlich aus der eigentlichen Haut, welche in den ligamentösen Ring unmittelbar übergeht, weiter aus dem Periost des äußeren Gehörgangs einerseits und dem Periost der Paukenhöhle anderer Seite, endlich aus einer Schicht Epidermis, die sich von der äußeren Haut aus über die äußere, und eine Schleimhaut-Schicht, welche sich über die innere Fläche des Trommelfelles fortsetzt. Dieses Häutchen ist durch einen Faserknorpel-Ring in den Sulcus tympani eingefügt, hat eine unregelmäßig elliptische Gestalt von beiläufig $4\frac{1}{2}$ Längern und 4 kürzerem Durchmesser und eine schräge Lage. Der untere und vordere Rand steht weiter nach innen, der obere und hintere weiter nach außen, wodurch die dem äußeren Gehörgang zugekehrte Fläche schief abwärts und zugleich auswärts gekehrt wird. Die Neigung des Trommelfelles bleibt weder bei dem Menschen das ganze Leben hindurch dieselbe, noch ist sie bei allen Säugethieren gleich. Bei dem Fötus des Menschen steht es fast horizontal. Je umfangreicher aber die Trommelhöhle durch das Wachsthum der Pars mastoidea und durch die Entwicklung des knöchernen Gehörganges wird, in dem Maaß vermindert sich die Neigung desselben.

An der hinteren Fläche ist das Manubrium mallei bereits schon in die Substanz der eigentlichen Haut des Trommelfells befestigt.

Es unterliegt nun keinem Zweifel, daß diese Membran, auch wenn sie den Schall noch so gut leitet, die Schallwellen durchaus nicht besser von der Luft des Gehörganges zur Luft der Pauke fortzupflanzen vermag, als dieses

¹⁾ Handbuch der theoret. u. prakt. Ohrenheilkunde. I. p. 452.

auch ohne ihre Gegenwart geschehen würde; denn in dem gleichartigen Medium, also in Luft allein, geschieht dies immer am besten. Für die Leitung als solche hat in diesem Fall das Trommelfell keinen besonderen Nutzen. Anders dagegen verhält es sich, wenn man seine Beziehung zu den Gehörknöchelchen ins Auge faßt.

Auf diese vermag es den Schall überzutragen vermöge seiner eigenthümlichen Organisation als Membran, welche geeignet ist, Wellen der Luft leicht aufzunehmen und an feste Körper leicht abzugeben, während sich die Luftschwingungen an sich, wie wir wissen, nur sehr unvollkommen auf feste Körper fortpflanzen. Es übernimmt das Trommelfell also die Leitung von Luft an die festen Körper der Gehörknöchelchen. J. Müller hat bereits durch das Experiment bewiesen, daß bei dieser Combination (Membran, feste Körper, Membran) der Schall viel stärker aus dem Wasser gehört wird, als wenn die Combination bloß aus Membran, Luft und wieder Membran hergestellt ist. Nachdem dies erwiesen, leuchtet die Leitung der

Gehörknöchelchen

von selbst ein. Ist nämlich mittelst der Membran diesen festen Körpern einmal die Welle übergeben, so pflanzt sie sich am stärksten jedenfalls in diesen fort, weil diese ein Continuum bilden, das rings von Luft, nämlich der Luft der Paukenhöhle, umgeben ist, auf welche von festen Körpern der Schall sich viel schwerer fortpflanzt als in diesen selbst. Die Articulation der Gehörknöchelchen, ihre bewegliche Verbindung hat wenig zu schaffen mit Leitungs-Veränderungen in ihnen oder zwischen ihren Endpunkten, sondern steht mit Functionen anderer Theile, nämlich der Membranen, in Verbindung, welche außen als Trommelfell, innen als membranöser Saum des Steigbügels und indirect als Membrana tympani secundaria durch die Bewegung der Knöchelchen in verschiedene Spannungsgrade versetzt werden können.

Hier wollen wir nur noch einige Betrachtungen über die in der Thierreihe so mannigfach variierte Form der Gehörknöchelchen im Allgemeinen anstellen. Wie überhaupt bei Erforschung des Zweckes einer gewissen Form an diesem oder jenem organischen Gebilde von vorne herein Verzicht darauf geleistet werden muß, den Zweck jeder einzelnen Linie oder Fläche zu erkennen, theils weil wir fast nie alle Bedingungen übersehen können, welche bei dem Aufbau eines organischen Gebildes zu erfüllen wären, theils weil wahrscheinlich immer neben den wesentlichen Theilen unwesentliche vorhanden sind, deren Form mehr gleichgültig scheint, so kann auch in dem vorliegenden Falle nicht verlangt werden, bis ins Einzelnste die vielfachen Formverschiedenheiten der Gehörknöchelchen zu erklären, sondern nur die Nothwendigkeit der Variation im Allgemeinen darzuthun.

Wo keine Articulation vorhanden ist, und der Knochen, oder wo dieser eine Krümmung bildet, die Sehne derselben senkrecht auf dem ovalen Fenster steht, wie bei der Columella der beschuppten Amphibien und Vögel, finden wir durchaus keine so großen Formverschiedenheiten wie bei aneinandergereihten Gehörknöchelchen.

Es ist also zunächst die Articulation, welche diese Verschiedenheiten bedingt. Die eine Reihe von Modificationen wird sich auf die Gelenkfläche selbst beziehen, indem durch ihre Form die Ebene bestimmt ist, in welcher die Neigung der articulirten Theile gegeneinander geschehen soll. Daß diese bestimmt vorgeschrieben ist, sehen wir schon aus dem Charakter des Gelenkes

zwischen Hammer und Amboß, welches fast ganz allgemein ein Charniergelenk darstellt, dessen Bewegung durch Knochenvorsprünge auf ziemlich enge Grenzen beschränkt ist. Diese Hemmung kann bald durch größere, schärfere Vorsprünge am Amboß (der gewöhnlichere Fall), bald durch solche am Hammer bewerkstelligt werden. Daß eine solche beschränkte, in einer bestimmten Ebene vor sich gehende Bewegung gefordert ist, davon können wir auch den Grund einsehen, wie in einem späteren Abschnitt dargethan werden soll.

Die zweite Reihe von Modificationen ist abhängig von der Länge und Stellung der Fortsätze an Hammer und Amboß, zuletzt aber bedingt von weiteren anatomischen Verhältnissen. Bedenkt man nämlich, daß drei bewegliche Knöchelchen quer durch den Hohlraum der Trommel gedrückt sind, so sieht man leicht ein, daß bei der verhältnißmäßig oft langen Kette die mittlere Lage der Theilchen ohne Beeinträchtigung der Bewegung gesichert sein muß. Deshalb hängen sie an kurzen Sehnen, und sind durch diese in einer bestimmten Richtung zwischen ovalem Fenster und Trommelfell gehalten, ohne daß dadurch die Gelenkflächen gegeneinander gedrückt und an ihrer gegenseitigen Verschiebung, so weit es ihre Form zuläßt, gehindert würden.

Die Linie, in welcher die ganze Kette der Knöchelchen liegt, muß deren akustischen Zweck gemäß in einer bestimmten Entfernung von den Wandungen der Trommel gehalten werden; diese selbst hat weder überall die gleiche Form, noch ist sie irgendwo von einfacher Gestalt (rein cylindrisch oder dergl.), sondern mit mannigfachen, verschieden geformten Erhabenheiten und Ausbuchtungen versehen, welche bei den verschiedenen Thierclassen so vielen Variationen unterworfen sind. Ist nun die Richtung der Linie, in welcher die Gehörknöchelchen liegen, nicht bestimmt durch die Form der Trommel, sondern durch akustische Zwecke und die gegenseitige Lage von Trommelfell und ovalem Fenster, so wird Länge und Krümmung derjenigen Fortsätze, welche, um kurze Sehnen bilden zu lassen, die Wand der Trommel an diesem oder jenem Punkte fast ganz erreichen müssen, von der Form der Trommel abhängig sein.

Weil es für die zur Wirksamkeit der Muskeln nothwendigen Hebelbewegungen nicht gleichgültig ist, an welchem Punkt der Trommel die sehnige Fixation geschieht, so ist für dieselbe keine Wahl unter den einzelnen Punkten der Trommelwandung, sondern den Hebelgesetzen zu liebe muß bei der bestehenden Verschiedenheit der Trommelform die Gestalt der Gehörknöchelchen variirt sein. —

Die Paukenhöhle.

Die knöcherne Begrenzung ihres mit Luft erfüllten Raumes spielt als Leiter für die äußeren Luftwellen eine gewiß nur sehr untergeordnete Rolle, die Luft in ihr jedoch wird diese Function, ganz abgesehen von allem Anderen, mit Leichtigkeit übernehmen.

Die Tuba Eustachii,

welche als ein nach innen und unten gerichteter, in dieser Richtung sich erweiternder, theils knöcherner, theils knorpeliger Trichter zu betrachten ist, sitzt auf einer Seitenöffnung der Pauke (Ostium tympanicum) auf, und öffnet sich im oberen und seitlichen Theile des Rachens. Dadurch wird die Luft der Trommelhöhle in Communication mit der äußeren gesetzt, und gleichzeitig

ein Luftweg von der Rachenhöhle aus ins Innere des mittleren Ohres hergestellt. Dieser letzte Umstand konnte verleiten, die Tuba als ein Organ zu betrachten, durch welches das Vernehmen der eigenen Stimme besonders begünstigt würde. Allein directe Versuche schienen dem vollkommen zu widersprechen. Sowohl ein Schall von festen Körpern als von Luft oder Membranen wird, je näher man mit der Schallquelle der Mündung der Eustachischen Trompete kommt, um so dumpfer und schwächer: so das Picken einer Uhr, die frei in die Mundhöhle gehalten wird. Noch auffallender aber fand ich die Dämpfung bei einer Pfeife ohne Seitenlöcher, welche unten mit einer Membran verschlossen war. Je tiefer ich sie, während sie angeblasen wurde, in die Mundhöhle einführte, desto matter wurde der Ton, zugleich aber um mehr als die Octave höher.

Schloße man jedoch aus dem eben angeführten Experiment mit der Pfeife, daß die Luftschwingungen bei der Stimmbildung gar nicht oder nur sehr gedämpft auf dem Weg der Tuba zu der Paukenhöhle gelangen könnten, so würde man sehr irren.

Luftwellen, welche vor ihrer Mündung entstehen, müssen die Tuba, so lange sie offen ist, passieren. Der gegentheilige Erfolg unseres Experimentes erklärt sich durch das Zuziehen des Gaumenvorhangs bei der Annäherung des Pfeifen-Endes, wodurch zwischen die Mündung der Tuba und die Schallquelle ein dämpfendes Medium gebracht wird, welches vielleicht auch durch Schwingung seiner gespannten Ränder jenen viel höheren schwachen Ton zu erzeugen im Stande ist.

Ohne resonirende Wände, ohne Elasticität, mit schlaffen Bandungen, wie die Eustachische Trompete an ihrer Rachenmündung ist, wird sie jedenfalls auch trotz ihres Luftgehaltes für die Schallleitung nicht sehr günstig gebaut sein. Auch darf man sich nicht denken, daß eine constante Communication der äußeren Luft und der der Trommelhöhle vorhanden, daß die Eustachische Röhre immer offen ist. Im Gegentheil wird es sehr häufig Momente oder größere Zeitabschnitte geben, in welchem die knorpeligen Ränder sich aneinander legen, und durch den Schleim verkleben¹⁾, auch muß man Hyrtl vollkommen Recht geben, wenn er behauptet, daß die Ausmündungsstelle der Tuba sehr ungünstig für die ihr vindicirte Aufgabe gelegen sei, welche nämlich darin bestehen soll, eine Gleichheit zwischen der Luft vor dem Ohr und hinter dem Trommelfell zu bewerkstelligen. Zu diesem Zweck würde sie besser irgendwo am Schädel nach außen münden. Doch möchte ich fast glauben, Hyrtl sei darin etwas zu weit gegangen, daß er den Verschluß der Eustachischen Trompete als Regel, ihre Wegsamkeit als den Ausnahmefall schildert²⁾. Es ist allerdings richtig, daß man immer eine große Gewalt braucht, durch die Ausathmung bei verschlossenem Mund und zugehaltener Nase die Luft in der Trommelhöhle zu comprimiren. Das Umgekehrte, die Luftverdünnung, findet dagegen

¹⁾ Hierdurch darf vielleicht auch die Erfahrung, welche ich sehr häufig an Menschen- und Thier-Leichen gemacht habe, ihre Erklärung finden, nämlich die, daß man kurz nach dem Tode, in kalter Jahreszeit auch später nachher noch, das Trommelfell sehr stark nach einwärts gezogen findet. Die reichlichere Schleimsecretion im Todeskampfe, die letzten heftigen Expirationen schließen die Mündung der Trompete. Beim Erkalten der Leiche condensirt sich die Luft und der Wasserdampf in der Trommelhöhle, und der einseitige Druck auf das Trommelfell treibt dasselbe nach innen. Oft geschah es, daß nach Wegsägen des Trommelfellringes sich die Membran wieder fast eben spannte.

²⁾ Hyrtl, l. c. p. 52.

in der Regel bei der Einathmung unter den gleichen anderen Bedingungen statt. Hierbei fühlt man augenblicklich das Hineingezogenwerden des Trommelfelles. Das letztere setzt eine Wegsamkeit der Eustachi'schen Trompete voraus, das erstere nicht eine Unwegsamkeit überhaupt, sondern nur eine Verschließung, welche im Moment der Compression der Luft eintritt, indem die nachgiebigen Wandungen des Endstücks der Trompete gegeneinander gedrückt werden.

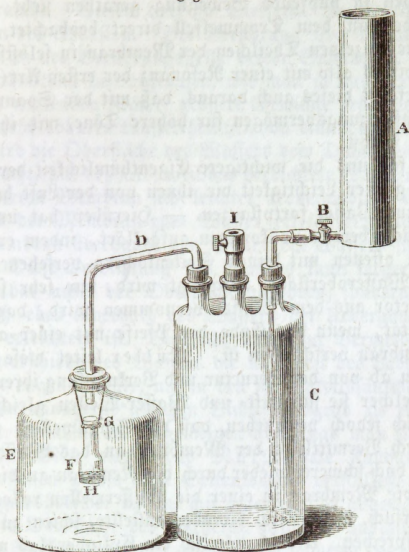
Fig. 70.



Man kann sich hiervon an folgendem Apparat (Fig. 70.) überzeugen: A ist eine 2" lange, 1½" weite Glasröhre. Ihr eines Ende B ist offen, das andere mit einem durchbohrten Kork verschlossen, durch welchen der Trichter D luftdicht eingeführt ist. An dem unteren Ende des letzteren wird ein sehr dünnwandiges Kautschuk-Röhrchen C angebunden. Setzt man nun B an den Mund und bläst Luft in den Apparat, so sieht man die Wandungen des Röhrchens sich aneinander legen, und vernimmt hie und da einen sehr hohen Ton, erzeugt durch die dicht aneinander liegenden Wandungen, welche nur einen sehr schmalen Spaltraum zwischen sich lassen. Zieht man dagegen die Luft ein, so bläht sich das Röhrchen auf, und mit großer Leichtigkeit geht die Luft von der Trichteröffnung in den sich erweiternden Brustraum. Es legen sich die Wände des Röhrchens beim Hineinblasen auch noch aneinander, wenn der Trichter mit einer Membran überspannt ist.

Was den zweiten Einwurf gegen die Wegsamkeit der Eustachi'schen Röhre betrifft, welchen Hyrtl macht, indem er sagt: »Wäre der Canal der Tuba fortwährend offen und wegsam, so müßte unter der Taucherglocke die Spannung der Trommelhaut dieselbe bleiben, wie in freier Luft, da die durch den Mund und die Nase in die Tuba und sofort in die Trommelhöhle eindringende comprimirtre Atmosphäre dem ebenso starken Druck auf die Außenfläche der Trommelhöhle das Gleichgewicht hält; und doch hörten Du Hamel und Colladon unter der Glocke das Sprechen ihrer Gefährten sehr schwer oder gar nicht, was nur durch den überwiegenden Druck der durch den äußeren Gehörgang auf die Trommelhaut wirkenden Luft erklärlich ist:« — diesem Einwurf können wir Folgendes entgegen: Wäre die Eustachi'sche Trompete ein durchaus starres Rohr, so würde es keinem Zweifel unterliegen, daß, so lange sie wegsam ist, der Druck der Luft vor dem Trommelfell dem Druck der Luft hinter demselben vollkommen die Waage halten müßte. Da die Röhre aber nicht starr, sondern an ihrer Mündung in den Rachen häutig ist, so muß der gesteigerte Druck der Atmosphäre die häutigen Lippen der Röhrenöffnung gegeneinander pressen, und dann wirkt der gesteigerte Atmosphärendruck einseitig auf das Trommelfell, was sich durch folgenden einfachen Apparat (Fig. 71.) leicht anschaulich machen läßt: A ist eine mit Wasser gefüllte 10 Fuß hohe Druckröhre, aus welcher das Wasser beim Öffnen des Hahnes B in die dreihalsige Flasche C strömt, dabei die Luft vor sich her durch die gekrümmte Röhre D drängt, und in dem Gefäß E comprimirt, da alle Oeffnungen des ganzen Apparates hermetisch verschlossen sind. In dem Gefäß E ist ein abgeschchnittener Lampencylinder F aufgehängt, dessen oberes Ende G mit einer Blase geschlossen ist, an dessen unterem Ende H zwei Membranen locker so übereinander gebunden sind, daß der Saum der einen 1—2 Linien über den Saum der anderen herüberraagt, ohne fest aufeinander zu liegen. So wie nun der Hahn B geöffnet wird, legen sich die beiden Säume der Membranen fest aneinander, und stellen sich convex nach innen, ebenso wie die Membran bei G. Wird B geschlossen, und der Hahn J geöffnet, so werden beide Membranen sofort wieder plan. Ebenso ist der Vor-

gang unter der Taucherglocke, welche durch *E* dargestellt ist, während die Wasser säule in *A* den vermehrten Atmosphärendruck repräsentirt. *G* würde
Fig. 71.



das Trommelfell und *H* die membranösen Lippen der Eustachii'schen Röhre in ihrem Verhalten gegen den verstärkten Druck versinnlichen.

Pathologische Thatsachen und physiologische Beobachtungen werden uns später noch überzeugen, daß das Hören der eigenen Stimme mindestens ebenso gut durch Vermittlung der Luft in der Eustachii'schen Trompete, als ohne dieselbe zu Stande kommen kann.

In Beziehung zum runden Fenster ist die Stellung der Trompete ganz ungünstig, indem die sie passirenden Schallwellen nicht direct zu jener Oeffnung des Labyrinthes gelangen¹⁾. Bei dem Menschen trifft die Verlängerung der Tuba die Zellen des Zigenfortsatzes, bei den meisten Thieren, welchen letztere fehlen, die Weichgebilde, wie den Steigbügelmuskel und den Nervus communicans faciei. Jedenfalls also ist dieser Gang für die Direction der Schallwellen von keiner großen Bedeutsamkeit.

Die Membranen vor dem Labyrinth

haben unstreitig die wichtigste Function, nämlich die Rolle einer Leitung der Luftwellen zu dem Wasser des Labyrinthes zu übernehmen. Um dies darzutun, ist es nothwendig, auf einige physikalische Eigenschaften der Membranen in dieser Beziehung im Allgemeinen aufmerksam zu machen.

Die Membranen sind erstlich sehr geeignet, Schallwellen aus der Luft

¹⁾ Hyrtl, l. c. p. 51.

aufzunehmen, wovon man sich sehr leicht überzeugen kann, wenn man über eine gespannte mit Semen lycopodii bestreute Haut, oder besser ein sehr dünnes gespanntes Papier, eine tönende Platte hält, worauf man sogleich die Samenkörnchen in hüpfende Bewegung gerathen sieht; dasselbe wurde auch bei Versuchen an dem Trommelfell direct beobachtet. Offenbar gerathen hierbei die einzelnen Theilchen der Membran in selbstständige Schwingungen, wobei wir es also mit einer Resonanz der ersten Art (cf. oben) zu thun haben. Man erfährt dieses auch daraus, daß mit der Spannung der Membran deren Fortpflanzungsvermögen für höhere Töne, mit ihrer Abspannung für tiefere Töne wächst.

Zweitens: für uns die wichtigere Eigenthümlichkeit der Membranen ist die, daß sie mit großer Leichtigkeit die ihnen von der Luft her mitgetheilten Schwingungen auf Wasser fortpflanzen. — Hierüber hat uns J. Müller durch seine Versuche bereits vollkommen aufgeklärt, indem er zeigte, wie der Ton einer unten offenen mit keinen Seitenlöchern versehenen Pfeife, wenn dieselbe auf die Wasseroberfläche aufgesetzt wird, nur sehr schwach mit dem gläsernen Conductor aus dem Wasser vernommen wird, dagegen mit vollkommener Intensität, wenn das Ende der Pfeife mit einer auf dem Wasser aufgesetzten Membran verschlossen ist. Müller leitet diese Eigenthümlichkeit der Membran ab von der Structur und Verknüpfung ihrer kleinsten Theilchen, vermöge welcher sie sich Luft- und Wasser-Wellen gleich gut accommodire. Es ließ sich jedoch vermuthen, daß die Schallwellen, wenn sie einmal aus der Luft durch Vermittlung der Membran an das Wasser übergegangen waren, vielleicht doch schwerer wieder durch die Membran an die Luft austreten, so daß dadurch die Membran zu einer die Wasserwellen reflectirenden Wand würde. Ein Versuch, welchen ich hierüber anstellte, schien zu Gunsten dieser Vermuthung zu sprechen. Als ich nämlich ein Cylinderglas mit Wasser ganz gefüllt hatte, hing ich an einer Drahtspirale ein Glöckchen darin auf, und verschloß nach vollkommener Austreibung der Luft das Gefäß mit einer Blase. Sollte die Membran ebenso leicht Schallwellen des Wassers an die Luft übergehen lassen, als umgekehrt, so stand zu erwarten, daß bei diesem Experiment der Schall der Glocke sehr viel deutlicher, ähnlich wie durch Einschaltung eines festen Conductors zwischen Wasser und Ohr, vernommen werde. Dieses fand jedoch nicht statt; es war ganz gleichgültig, ob die Membran über die Wasseroberfläche gespannt war oder nicht. Dem steht jedoch ein anderer Versuch gerade entgegen. Durch eine Thür war ein Loch gebohrt; in dieses wurde ein mit Wasser gefüllter, mit Tuch vielfach umwickelter und an einem Ende mit Blase geschlossener Cylinder in geneigter Lage gesteckt. Wurde nun die offene Pfeife auf jener Membran aufgesetzt und möglichst gleichmäßig angeblasen, so hörte man den Ton aus dem Wasser viel weniger stark, als wenn nach vollkommenster Füllung desselben mit Wasser auch sein zweites Ende mit einer Membran verschlossen und dieser das Ohr genähert wurde.

Der letztere Versuch wird in seinem Resultat jedoch minder gewichtig dem ersteren gegenüber, wenn man erwägt, wie schwierig es ist, dem Schall gerade den bestimmten Weg allein durch Membran, Wasser und Membran anzuweisen, ohne daß seine Wellen gleichzeitig noch auf anderen Wegen zu unserm Ohre kämen.

Wäre die Erklärung von J. Müller richtig, so müßte das erste Experiment den entgegengesetzten Erfolg gehabt haben. Ueberlegen wir uns die Verhältnisse genauer, so finden wir, daß es nicht von der Natur der

Membran an sich herrührt, den Uebergang der Schallwellen gerade von der Luft zum Wasser zu erleichtern, sondern von dem Verhältniß der Membran zu dem Wasser, welches nicht in gleicher Weise zwischen Membran und Luft stattzufinden braucht. Dieses dort so wirksame Verhältniß bezeichnen wir mit dem Namen der Adhäsion. Bei Berührung von Membran und Wasser wird durch jene an der Berührungsstelle beider Substanzen in dem Wasser eine größere Verdichtung hervorgerufen, wie man ja aus Versuchen weiß, daß, entsprechend der wirkenden Fläche, größere Gewichte erst eine Entfernung der sonst so leicht verschiebbaren Wassertheilchen von einander hervorrufen können. Dadurch also wird die Oberfläche des Wassers dem Dichtigkeitsgrad der Membran näher gebracht, und deshalb, weil das verdichtete Wasser in seinen Schwingungen der dichteren Membran sich leichter accommodirt, ist der Uebergang der Wellen von der Membran zum Wasser erleichtert; nicht aber deshalb, weil sich die Membran überhaupt den Wellen des Wassers schon leicht accommodiren kann. Diese Verdichtung des Wassers kann ferner nicht wie abgebrochen unmittelbar unter der Oberfläche aufhören, sondern wird stetig abnehmen, wodurch eben innerhalb des Wassers der Uebergang der Wellen in weitere Tiefen erleichtert ist. Vielleicht dient zur Vermeidung selbst dieser Dichtigkeits-Unterschiede des Wassers die Kleinheit des Labyrinthes, und der röhrlige Bau der engen Canäle, um in den Flüssigkeitssäulchen fast durch ihre ganze Dicke einen annähernd gleichen Dichtigkeitsgrad zu erzielen. Von der Richtigkeit dieser Annahme im Allgemeinen überzeugt man sich leicht aus folgendem Versuch. Man mache das Müller'sche Fundamentalexperiment mit der unten offenen Pfeife ohne Seitenlöcher, verschließe aber das offene Ende statt mit gewöhnlicher nassen, mit einer in Del abgeriebenen Membran, setze diese auf die Oberfläche des Wassers, lasse sie anblasen und leite den Schall aus dem Wasser durch den gläsernen Conductor zum Ohr, und man wird finden, daß der Ton eben so schwach gehört wird, als wenn man die Pfeife mit ihrem unteren offenen Ende auf das Wasser aufsetzt und anblasen läßt. Das Resultat bleibt dasselbe, wenn man eine mit Wasser befeuchtete Membran zum Verschuß der Pfeife anwendet, und dieselbe auf einer $\frac{1}{2}$ Zoll dicken Dellschicht aufsetzt, die sich auf dem Wasser im Becken befindet. Bleibt die Stellung der Pfeife zum Conductor und ihre gegenseitige Entfernung, so wie die Stärke des Anblasens der Pfeife auch ganz gleich, so wird doch jedesmal der Ton stärker vernommen, wenn die Membran und der Conductor ins Wasser, als wenn sie ins Del getaucht sind.

Nun müßte noch eine weitere Frage erledigt werden, nämlich ob die Membranen auch bei schwacher Spannung die Schallwellen leicht an feste Körper abgeben. Wenn man eine tönende Stimmgabel auf eine über einen Metallring schwach gespannte Membran aufsetzt, so hört man den Ton kaum stärker, als wenn man die Gabel frei in der Luft hält; faßt man jedoch den Ring fest mit einer Zange und nimmt diese zwischen die Zähne, so hört man bei verstopften Ohren den Ton der Stimmgabel sehr deutlich.

Man sieht also, daß die Membranen auch bei schwacher Spannung den Schall sehr gut von festen zu festen Körpern leiten. Hat man nun ferner den mit der Membran bespannten Ring mittelst der Zange und den Zähnen gefaßt, so vernimmt man den Ton der Stimmgabel, wenn man die schwingenden Zinken der Membran nähert, viel deutlicher, als wenn man dieselben auf gleiche Entfernung der Zange selbst nähert. In Gleichem: wenn man den Ring direct mit den Zähnen faßt, und abwechselnd wieder losläßt, während die unten offene Pfeife auf der Membran aufgesetzt bleibt, und gleich-

mäßig angeblasen wird, die beiden Ohren aber fest verstopft sind, so ist auch dabei der Ton viel stärker, so lange wir den Ring fest zwischen den Zähnen haben. Daraus ist ersichtlich, daß die Membranen auch sehr geeignet sind, Schallwellen der Luft auf feste Körper überzuleiten. Keineswegs aber kommt die Güte der Schallleitung von Membranen zwischen festen und festen Körpern der fester Körper unter sich, noch auch zwischen Luft und Luft der von Luft gleich, oder übertrifft sie etwa; denn spannt man eine Membran in einen auf den Tisch befestigten Schraubstock, und setzt auf die auch so sehr als möglich gespannte Membran die tönende Stimmgabel auf, so kommt ihr Ton nie zu der Stärke, als wenn wir die Stimmgabel direct auf den Schraubstock aufsetzen. Am meisten gewinnt der Ton noch die annähernd gleiche Intensität, wenn die Membran in einer Ebene mit der Achse der Stimmgabel und diese senkrecht auf die Tischplatte, an welcher der Schraubstock befestigt ist, gehalten wird.

Somit vermindert also unter allen Umständen die Membran die Excursion der schwingenden Theile, und zwar am meisten, wenn sie zwischen festen tönenden und festen Körpern eingeschaltet, dann, wenn sie zwischen Luft und festen Körpern, am wenigsten, wenn sie zwischen Luft und Wasser ausgebreitet ist.

B. Die resonirenden Apparate.

Wir haben oben bereits angegeben, daß man zwei Arten der Resonanz zu unterscheiden hat. Hier kommt uns zu, die einzelnen Theile des Gehörorgans, welche alle entweder die eine oder andere Art, oder beide Arten der Resonanz vermitteln können, unter diesem Gesichtspunkt zu betrachten.

Sprechen wir allein von dem Hören der in Luft erregten, oder durch die Luft allein zu unserem Ohr fortgepflanzten Schallwellen, so würden wir die erste Art der Resonanz, durch welche bloß die Mittheilung des Tons vom tönenden Körper an ein verschiedenartiges Medium verstärkt wird, ganz außer Acht lassen können, fänden wir nicht eine Substanz vor, welche offenbar durch ihre Eigenthümlichkeit die Resonanz der ersten Art, wenn ich so sagen darf, aus zweiter Hand übernimmt, indem sie nicht sowohl die Mittheilung des Tons vom tönenden Körper, in unserem Falle der Luft, zu dem Gehörorgan verstärkt, als vielmehr die Schwingungen, die in ihr erregt worden, mit großer Leichtigkeit auf weitere Theile des Gehörorgans fortpflanzt: es ist dies die Substanz

des Trommelfells.

Stellen wir die hierher gehörigen Erfahrungen zusammen, so ergibt sich, daß zur Aufnahme der Schallwellen aus der Luft ein gewisser Grad der Spannung der Membran vor Allem nothwendig ist.

Unter allen festen Körpern nehmen auch sehr kleine Membranen Schallwellen der Luft mit der geringsten Verminderung der Elongation schwingender Theilchen, also mit der geringsten Verminderung der Intensität des Schalles auf, und lassen sie durch sich hindurch wieder an Luft treten, und auch auf feste Körper von anderer Cohäsion übergehen. Diese beiden Gesetze können durch mannigfache Experimente vollkommen bewiesen werden. Schon *Savart* hat gezeigt, daß kleine gespannte Membranen, auch das Trommelfell in seiner natürlichen Befestigung selbst, den darauf gestreuten Sand abwerfen, wenn in ihrer Nähe ein starker Ton erregt wird. Nimmt man eine kleine gläserne Phiole, und hält an die Mündung eine tönende Stimmgabel, so wird deren Ton durch die Resonanz des eingeschlossenen Luftraumes bedeutend ver-

stärkt; überspannt man nun die Oeffnung des Glases mit einer sehr dünnen Membran (einem Stück Pleura oder dergl.), so kann man sich leicht überzeugen, daß bei einem gewissen Grade der Spannung der Ton der Stimmgabel fast eben so stark vernommen wird, als wenn die Membran gar nicht vorhanden wäre. Diesseits und jenseits des bestimmten Spannungsgrades findet dieses aber nicht mehr statt; schon geringe Erschlaffung oder etwas erhöhte Spannung läßt den Ton der Stimmgabel nicht stärker erscheinen als ohne Gegenwart der Phiole und ihres sonst resonirenden Luftraumes. —

Wie leicht einmal der Membran übergebene Schwingungen von ihr aus sich zu anderen festen Körpern fortpflanzen, haben wir schon bei Gelegenheit der Schalleitung in festen Körpern überhaupt erwähnt, wobei wir jedoch nur Wellen berücksichtigten, welche direct von den festen tönenden Massen auf die Membran übergegangen waren. Es gilt das Nämlische übrigens auch von solchen, welche aus der Luft auf die Membran zunächst übergegangen sind. J. Müller zeigte Versuche, durch welche er beweisen wollte, daß durch diese Eigenschaft der Membran ein näherer Zusammenhang zwischen ihr und den Gehörknöchelchen hergestellt sei. Ich glaube jedoch noch weiter gehen und behaupten zu dürfen, daß im Allgemeinen von dem Trommelfell aus nicht allein zu diesen Knöchelchen, sondern zu dem ganzen die empfindenden Nerven umschließenden Felsenbein sich die Schallwellen mit größter Leichtigkeit fortpflanzen. Spannte J. Müller auf einen Ring dünnes Papier, und faßte den Ring mit der einen Hand, so fühlte er bei Annäherung einer tönenden Stimmgabel seine Vebungen, was nicht der Fall war, wenn die Membran entfernt, und die schwingenden Zinken dem Ringe auch sehr nahe gebracht wurden.

Um zu sehen, ob sich die Schwingungen der Luft von dem Trommelfell aus mit einiger Stärke in die festen Theile des Schädels fortpflanzen, ließ ich einer Person von einem Dritten durch eine 1 Fuß lange am einen Ende trichterförmig erweiterte, am anderen Ende verengte Holzröhre, welche in den äußeren Gehörgang eingeführt werden konnte, leise in das Ohr sprechen, und auscultirte mittelst eines Stethoskopes die verschiedenen Theile des Schädels. Hierbei fand ich, daß an der ganzen Oberfläche des Kopfes deutlich die Stimme aus dem Stethoskop zu kommen schien, am stärksten vernahm ich sie jedoch, wenn das Stethoskop auf das andere Ohr gesetzt wurde.

Zu demselben Resultat kommt man auch, wenn man einen Zweiten die tönende Stimmgabel vor sein eines Ohr halten läßt, während man selbst dessen einzelne Kopspartien auscultirt. Daß der Schall hie und da ziemlich stärker durch das andere Ohr wieder auszutreten scheint, mag seinen Grund darin haben, daß dieser Punkt genau in der Direction der primären Schallwellen gelegen ist, und daß die neuen Schwingungen des zweiten Trommelfelles vielleicht ebenfalls mitwirken, die Wellen der festen knöchernen Theile der Luft zu übertragen. Daß der erstere Grund hiebei jedenfalls mitwirkt, kann man daraus abnehmen, daß bei gewissen Stellungen der Stimmgabel gegen die Ohröffnung ihr Ton durch das andere Trommelfell fast gar nicht, und bei gewissen anderen wiederum sehr stark gehört wird.

So also scheint das Trommelfell, in Anbetracht der Leistungen, welche wir an Membranen überhaupt haben kennen lernen, sehr geeignet, nicht allein durch seine eigene Resonanz, sondern auch dadurch, daß es das Mittönen der gesammten Knochenmasse des Schädels, vor allem des Felsenbeines, und das Mittönen des zweiten Trommelfelles vermittelt, die Uebertragung der Schallwellen auf das Labyrinthwasser, die festen Theile der Schnecke, und sodann auf die dort befindliche Nervenaustrittsstelle mit Leichtigkeit zu bewerkstelligen.

Man darf sich jedoch keine übertriebene Vorstellung von der Größe des Effectes machen, welches das eine Trommelfell oder beide zusammen erzeugen. Für ausgedehntere Massen von Membranen und festen Körpern, mit welchen diese zusammenhängen, läßt sich ein bei weitem größerer Vortheil einer solchen Einrichtung erwarten; bei der Kleinheit der Membran des Trommelfelles ist er dagegen nachweisbar viel geringer. Macht man nämlich den oben erwähnten Versuch an einer Leiche, so findet man, wie bei dem Lebenden, einen etwas aber sehr unbedeutend stärkeren Klang bei Auscultation des einen Ohres, als irgend einer anderen Stelle des Schädels auf derselben Seite, wenn vor dem anderen Ohr eine Stimmgabel tönt, und auch die Kopfschwarte an der Stelle entfernt ist, auf welcher man das Stethoskop aufsetzt. Wird nun das eine oder werden beide Trommelfelle zerstört, das äußere Ohr ganz entfernt, und derselbe Versuch wiederholt, so war es nicht möglich, eine auffallende Verringerung der Intensität des Schalles mit dem Stethoskop wahrzunehmen. Ich war überhaupt überrascht, an einer frischen Leiche, deren Schädel aufgesägt und deren Gehirn entfernt war, zu bemerken, wie leicht die Schädelknochen einen Schall aus der Luft aufnehmen und fortpflanzen. Den Ton einer schwingenden $\frac{1}{2}$ Zoll über die Sella turcica gehaltenen Stimmgabel vernahm ich sehr deutlich aus dem auf den Meatus auditorius aufgesetzten Stethoskop, freilich nicht so stark, als wenn die Stimmgabel vor meinem eigenen Ohr schwang, aber doch noch sehr deutlich wahrnehmbar, während ich nach Entfernung des Stethoskops auf gleiche Distanz mit dem bloßen Ohr ihren Ton nicht mehr vernehmen konnte.

Es bleibt uns noch übrig, je nach Veränderung der äußeren Bedingungen, die Natur der Wellen selbst zu prüfen, welche auf dem Trommelfell ablaufen.

Berücksichtigen wir die Beschaffenheit der Schallwellen, welche zu dem Trommelfell gelangen, so giebt es zwei Möglichkeiten, durch welche eine Verschiedenheit der Schwingungen des Trommelfelles erzeugt wird. Entweder nämlich ist die Verdichtungswelle der Luft von der Art, daß den Theilchen des Trommelfells eine progressive Bewegung gegeben wird, welche größer ist als die Dicke des Trommelfelles, oder es ist dieses nicht der Fall; dann werden die Schwingungen dieser Membran als Verdichtungs- und Verdünnungswellen auftreten, während sie im ersten Fall transversale oder Beugungswellen darstellen, welche jedoch wegen der Kleinheit des Trommelfells stets nur mit sehr geringen Excursionen und nur bei einer gewissen Stärke der Stöße werden stattfinden können. Es hängt jedoch die Möglichkeit einer Beugungsschwingung des Trommelfelles nicht direct ab von der Dicke einer Welle, welche es trifft, sondern allein von der Größe der Progression der schwingenden Theile; denn die Dicke ist abhängig erstens von der Geschwindigkeit des die Welle erregenden Stoßes, zweitens von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Medium, in welchem die Welle erregt worden, und zwar so, daß sie den Quotient dieser beiden in Zahlen darstellbaren Größen, den Ausdruck der verhältnißmäßigen Beziehungen der Schwingungsdauer eines Moleküls, und der Fortbewegung der Veränderung längs einer Reihe gleichartiger Moleküle bildet. Diese Dicke der Welle, der Raum vom Anfang einer Welle zur anderen, kann bei dem Fortschreiten der Welle vollkommen gleich bleiben, nämlich so lange die Welle mit der einmal gewonnenen Breite in einem gleichartigen Medium sich fortbewegt, ohne daß deshalb die Größe der Bahnen schwingender Theilchen ebenfalls gleich bleiben müßte. Im Gegentheil findet das letztere nur in einer lusterfüllten Röhre statt, innerhalb welcher die Bahn der schalleitenden Lufttheilchen eben so groß ist

als die Bahn des stoßenden Körpers, wenn die Schnelligkeit seines Stoßes gleich ist der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft; halb so groß als die Bahn des stoßenden Körpers, wenn die Geschwindigkeit des Stoßes nur halb so groß ist als die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft u. s. w. In allen diesen Fällen behauptet dann aber auch diese Bahn ihre Größe in allen weiteren Lufttheilchen der Röhre, während der Schall durch sie fortschreitet. — Pflanzt sich der Schall aber in dem unbegrenzten Luftraume fort, so bleibt zwar die Dicke der kugelförmigen Welle stets dieselbe, wie sehr sich auch ihr Umfang vergrößern mag, allein die Bahn der Lufttheilchen, welche die Welle passirt, nimmt ab proportional dem Quadrat ihrer Entfernung von dem stoßenden Körper.

Hieraus geht hervor, daß die günstigste Bedingung zur Erzeugung von Beugungswellen an dem Trommelfell die ist, wenn starke Schwingungen eines tönenden Körpers durch die Luft einer Röhre dieser Membran zugeführt werden, während dagegen, wenn die Bahn der schwingenden Theilchen unmittelbar am tönenden Körper z. B. ein Zoll gewesen wäre, bei 10 Fuß Entfernung in freier Luft bereits die Bahn der Lufttheilchen auf $\frac{1}{100}$ Zoll reducirt worden, somit also kleiner wäre als das Trommelfell dick ist. Dann können wohl noch Verdichtungswellen, nicht aber mehr Beugungswellen an dem Trommelfell durch die Schwingungen der Luft erzeugt werden.

Weiter treten Verschiedenheiten in den Schwingungen des Trommelfelles auf, je nach der Richtung, in welcher dasselbe von den Schallwellen getroffen wird. Geschieht dieses von sehr starken Wellen in senkrechter Richtung, so entstehen Beugungsschwingungen in seiner ganzen Breite; geschieht es in einer schiefen Richtung, was bei der geneigten Fläche des Trommelfelles auch dann stattfinden muß, wenn die Schallwellen parallel der Achse des Meatus auditorius externus durchgehen, so wird an der Stelle, wo die Schallwellen zuerst auftreffen, auch zuerst die Schwingung eintreten und von da aus über die Membran gegen ihre Gränzen sich verbreiten, von wo aus sie wieder zurückgeworfen und gezwungen wird hin und her zu laufen, wie die Schwingung an einer gespannten Saite, wodurch nothwendig in dem Trommelfell auch eine Resonanz der zweiten Art zu Stande kommt; und zwar ist es gleichgültig, welche Art der Schwingung, eine Beugungs- oder Verdichtungswelle, zuerst in dem Trommelfell erregt worden war, gleichgültig ferner, ob die Verdichtungswellen zuerst in dem Trommelfell hervorgerufen, oder ihm erst von anderen festen Theilen, von dem Ohrknorpel oder Kopfnochen, zugeleitet wurden.

Endlich können Combinationen von Schwingungen in dem Trommelfell entstehen, woraus J. Müller ¹⁾ theilweise die Ursache des Timbres eines Tones abzuleiten geneigt ist. Man kann sich z. B. denken: eine Luftwelle ist so zusammengesetzt, daß sie bei ihrem Fortschreiten abwechselnd das Maximum ihrer Verdichtung hin- und herwirft wie eine Saite, die an dem einen Ende gestossen diese Bewegung während ihrer Transversalschwingung macht: dann würde eine Verdichtungswelle gerade durch das Trommelfell hindurch gehen, zugleich aber ein seitliches Hin- und Herwogen des Maximums der Verdichtung und Verdünnung eintreten.

Alle übrigen Theile des Ohres und seiner Umgebung, so weit sie bei Erzeugung einer Schallempfindung theilhaftig sind, müssen als resonirende Körper der zweiten Art betrachtet werden. Sie sind begränzt, von Luft umgeben, oder feste Substanzen Luft umschließend, weshalb von ihrer Begrän-

¹⁾ Müller, Physiologie II. p. 432.

zung die Schallwellen abprallen, mit anderen reflectirten oder primären sich kreuzen müssen, und so Verstärkung des ursprünglichen Schalles (Resonanz der zweiten Art) im günstigen Fall erzeugen können.

Luft, von festen Körpern umschlossen, und begränzte feste Körper selbst sind es, welche unter diesem Gesichtspunkt jetzt berücksichtigt werden müssen.

Die Luft im Gehörorgan

ist in verschieden unvollkommen geschlossenen Räumen anzutreffen. Diese werden nämlich gebildet von den Wandungen des äußeren Gehörgangs und der Außenfläche des Trommelfelles, zweitens von der knöchernen Trommelhöhle und der Innenfläche des Trommelfelles, drittens von den Zellen des Processus mastoideus, welche mit einigen Oeffnungen nach vorn in die Trommelhöhle münden. Bei einzelnen Thierclassen kommen auch noch ganz geschlossene, mit Luft erfüllte Räume vor, wie z. B. Schwimmblasen der Fische, oder geschlossene knöcherne Luftzellen, die, wenn auch nicht in unmittelbarer Nähe des Gehörorgans oder mit ihm in directem Zusammenhang, doch als resonirende Räume zu betrachten sind.

Halten wir eine tönende Stimmgabel vor eine aus beliebigem Material gefertigte Röhre, so vernehmen wir den Ton viel deutlicher, als wenn die Gabel in freier Luft schwingt. Es findet dies statt, mag der Cylinder mit der Hand umfaßt sein oder nicht, d. h. mag seine Wandung durch die Vibration der Luft ebenfalls in Schwingungen gerathen oder nicht. Daraus folgt, daß die Verstärkung des Tones allein von der Reflexion der Luftwellen herrührt, welche innerhalb der Röhre untereinander und mit den primären von den tönenden Körper ausgehenden zusammentreffen und bei ihrer Kreuzung Berge und Thäler, Verdichtung und Verdünnung vergrößern. Die erste Ursache hievon liegt darin, daß die Luftwellen schwer an feste Körper übergehen, größtentheils also reflectirt werden, wobei möglicher Weise der dadurch entstehende Schall stärker werden kann als der primär erregte, was beweist, daß man es hiebei mit einer Resonanz der zweiten Art zu thun hat. (Siehe oben S. 348.)

Gehen wir in dem Experiment vorläufig ohne weitere Anwendung auf das Gehörorgan weiter, führen die schwingende Stimmgabel in den Cylinder tiefer ein, und halten sie in der Mitte oder excentrisch so fest, daß nur der Stiel der Gabel noch außerhalb der Röhre ist, so vernehmen wir den Ton im Anfang schwächer, später gar nicht mehr, auch wenn wir die andere Oeffnung des Cylinders ans Ohr halten, während wir uns doch leicht überzeugen können, daß die Gabel noch schwingt; denn der Ton wird sofort wieder deutlich und mit Resonanz vernommen, sobald die Gabel wieder bis an die Oeffnung des Cylinders herausgezogen wird. Es bleibt sich der Erfolg des Versuches gleich, mag der Cylinder bloß auf der einen Seite oder auf beiden offen sein.

Ferner: nimmt man eine Phiole, deren Lustraum den Ton einer Stimmgabel sehr stark resonirt, füllt nach und nach immer mehr Quecksilber in sie ein, während man nach jeder neu hinzugefügten Quantität die tönende Stimmgabel wiederum über die Mündung des Gefäßes hält, so hört die Resonanz bei einem gewissen Quantum Quecksilber, also bei einer gewissen Reduction des Lustraumes, auf. Ein anderer Ton einer zweiten Stimmgabel wird dann aber noch möglicher Weise durch Resonanz verstärkt.

Endlich: bringt man in dieselbe Phiole nur sehr wenig Wasser, und erhitzt dieses bis der ganze Raum mit Wasserdampf erfüllt ist, so verschwindet derselbe Ton der Stimmgabel vor der Mündung der Phiole, vor welcher er vorher so stark resonirt hatte.

Aus alle dem ergibt sich, daß nicht unter allen Verhältnissen ein und derselbe Luftraum einen bestimmten Ton gleich gut resonirt, sondern daß dieses abhängt 1) von der Form und Größe des Raumes, 2) von der Höhe und Tiefe des Tones, 3) von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des raumerfüllenden Mediums, 4) von der Stelle vor oder in dem Raum, an welcher die Tonwellen erregt werden. Die letzte Ursache jedoch, ob es überhaupt zu einer Resonanz kommt oder nicht, ist die Dicke der Welle im Verhältniß zu der Größe und Begrenzung des Raumes bei einem bestimmten Punkt, von dem der Schall ausgeht.

In einem Zimmer findet sich oft nur eine kleine Stelle, von der aus ein gewisser Ton unserer Stimme einen Hall bekommt. Dieser Hall fällt häufig weg, wenn die Geräthschaften des Zimmers entfernt oder anders gestellt werden. Bisweilen ist es nur ein einziger Ton, welcher hallt, während alle anderen Töne dies nicht thun. Bei einem großen Feuchtigkeitsgrad der Atmosphäre und bestimmten Temperaturen findet man auf kleineren Plätzen oder in den Straßen der Stadt den Hall der Töne sehr verändert gegen früher, wenn gerade andere meteorologische Verhältnisse obgewaltet haben: Bedingungen, welche hier im Großen wirken, wie bei unseren vorhin angeführten Versuchen im Kleinen.

Als eine Eigenthümlichkeit der hohen Töne wurde angenommen¹⁾, daß sie überhaupt weniger durch Resonanz verstärkt werden können als tiefe; so der hohe Ton, welcher laut vernehmlich bei dem Anschlagen der Stimmgabel hervorgerufen wird, die höheren Töne der Saiteninstrumente. Jener wird nicht vernehmbarer, wenn man die Stimmgabel auf einen Tisch stemmt, die letzteren nicht auf den Resonanzböden unserer Instrumente; allein der erstere wird sehr deutlich, und deutlicher als der tiefe, wenn ich die Stimmgabel auf eine sehr schmale Fläche oder auf einer strammgespannten Membran, welche ich über eine zollweite Glasröhre befestigt habe, aufsetze, die höher gesungenen Töne bekommen einen Hall in Räumen, in welchen dieser tieferen fehlt; der höhere Ton der Stimmgabel wird vernehmlich, wenn bei dem Hineinstecken der schwingenden Zinken in eine Glasröhre oder ein Becherglas, welches man mit der ganzen Hand umfaßt, der tiefere Ton verschwunden ist. Man sieht also, daß es nicht der hohe Ton an sich ist, welcher in gewissen Fällen nicht durch Resonanz verstärkt wird, sondern daß dies immer von weiteren Bedingungen abhängig gedacht werden muß.

Die unregelmäßige Gestalt des äußeren Gehörganges, die vielfachen Erhabenheiten und Vertiefungen in den Wänden der Trommelhöhle, die Form und Verschiedenheit der Gewebe, aus welchen die übrigen, mit der Trommelhöhle zusammenhängenden Seitencanäle zusammengefügt sind, lassen für jeden einzelnen Fall kaum eine genaue Berechnung zu. Die Krümmungen, welche der äußere Gehörgang bildet, gestatten vielen Schallwellen nicht in directer Richtung das Trommelfell zu erreichen, doch werden viele durch mannigfache Reflexion bis dorthin gelangen, und eben dadurch verstärkt diese Membran treffen können, ja unmittelbar an dem Eingang können Schallwellen von der Concha gegen den Tragus geworfen, durch Reflexion verstärkt und so mit einer größeren Excursion der schwingenden Lufttheilchen in den Gehörgang befördert werden. Die Luft in dem äußeren Gehörgang wird trotz der Kürze dieses Canales, welche ein Selbsttönen der darin eingeschlossenen

¹⁾ Weber, Wellenlehre. p. 530.

Luf verhindert, wegen seiner Enge, und wegen des Blutreichthums seiner Wandungen eine höhere, der Blutwärme nahe kommende Temperatur und eine große Menge Wasserdampf besitzen, wodurch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in diesem Raum der äußeren Luft gegenüber verändert, nämlich erhöht wird; dadurch muß nothwendig auch die Dicke der Schallwellen hier schon, natürlich aber noch vielmehr in der Trommelhöhle vergrößert werden.

Welchen Einfluß dieser Umstand wieder auf die Resonanz in den beiden Räumen hat, kann man leicht abnehmen. Genaueres aber läßt sich auch von dem Vorgang der Resonanz in der Trommelhöhle nicht angeben, deren Dimensionen so verschieden sind, daß sich die Tiefe derselben zur Breite und Höhe verhält wie 1 zu 2,25 zu 3,0. Dabei ist jedoch in keiner dieser Richtungen die innere Fläche der Trommelhöhle regelmäßig, noch auch von Substanzen gleicher Dichtigkeit gebaut. Theils sind es Membranen, Trommelfell und Membrana tympani secundaria, theils Knochenmassen, welche verschiedene Dichtigkeitsgrade besitzen, was zusammengenommen uns nicht erlaubt einen Versuch zu machen, auch nur für einen Wellenzug, welcher durch die Trommelhöhle geht, die Punkte der Verstärkung und Interferenz innerhalb dieses Luftraumes aufzufinden.

Die eben bezeichneten Räume haben sämmtlich Oeffnungen nach außen: der Gehörgang durch das äußere Ohr, die Trommelhöhle durch die Tuba Eustachii, einem ca. 16^{'''} langen, in der Mitte etwas verengten, an Anfang und Ende gegen 2^{'''} weiten, theils knöchernen, theils knorpelig-häutigen Rohre, durch welches zugleich indirect die in die Trommelhöhle ausmündenden Zellerräume des Processus mastoideus einen Ausgang bekommen. Vielleicht kann ihre Mündung im Schlundkopf durch Contractionen des Levator palati molli und Tensor palati etwas erweitert werden. Daß die Tuba Eustachii eine für die Resonanz wichtige Gegenöffnung bilden wird, läßt sich theoretisch und nach den von J. Müller angestellten Versuchen schließen, wenn wir auch hiebei freilich die Unkenntniß von der wahren akustischen Bedeutung dieses Gebildes in ihren feineren Beziehungen eingestehen müssen. Ist man ja auch noch nicht im Stande, bei verhältnißmäßig viel einfacheren und leichter einer Untersuchung zugänglichen resonirenden Räumen, wie einer Violine zc., den Nutzen gerade dieser oder jener bestimmten Form der Oeffnung in dem Resonanzboden zu übersehen.

Von Henle wurde zuerst die Analogie zwischen der Oeffnung des Resonanzbodens eines Saiteninstrumentes und der Tuba Eustachii aufgestellt. J. Müller hat mittelst einer kleinen kegelförmigen Röhre, welche eine sehr kleine Seitenöffnung hatte und in den äußeren Gehörgang gesteckt werden konnte, während in einer auf sie fest aufsetzbaren, mit einer Membran verschlossenen zweiten Röhre ein Schall erregt wurde, geprüft, ob das Aufsetzen einer engen Röhre an jener seitlichen Oeffnung von Einfluß auf die Stärke wäre, mit welcher der Schall gehört wird, und hiebei keine entscheidenden Resultate bekommen, wie man aus Experimenten mit weiteren Röhren und großen Seitenöffnungen etwa hätte vermuthen können.

Die Schwimmblase der Fische, hie und da schon in genauerem anatomischen Zusammenhang mit dem Gehörorgan, kann selbst, wenn sie entfernter von demselben gelegen und ohne Zusammenhang mit ihm ist, dennoch zur Verstärkung der von dem Wasser an den Thierkörper fortgepflanzten Schallwellen beitragen.

J. Müller leitete die Verstärkung, welche der Ton einer unten mit

Membran geschlossenen Pfeife, wenn sie in dem Wasser angeblasen wird, während zwischen ihr und dem gläsernen Conductor sich eine mit Luft gefüllte Blase befindet, ohne Bedenken von der Resonanz der Schallwellen in der eingeschlossenen Luft ab, welche ihre Schwingungen ohne Schwächung auch wieder durch Vermittlung ihrer membranösen Begränzung auf das umgebende Wasser fortpflanze. Wir haben früher schon einen Versuch angeführt, der uns daran zweifeln machte, daß sich die Schallwellen auch aus dem Wasser an die Luft leichter durch eine zwischengelegte Membran fortpflanzen, wie dieses umgekehrt zweifelsohne geschieht. Anstatt also den Ton der Pfeife hinter der untergetauchten Schwimmblase aus dem Wasser mit dem Conductor dem Ohr zuzuleiten, wies ich dem Schall den Weg zum Ohr unmittelbar aus dem Luftraum der Blase selbst und zwar auf folgende Weise: Auf die trichterförmige Erweiterung eines Stethoskops wurde eine mit Luft gefüllte Blase so gebunden, daß dieses Ende des Instruments direct mit einem Stück derselben überspannt war, während es sich zugleich in dem lusterfüllten Raum der übrigen Blase befand. Es steckte also dieses untere Ende des Stethoskops in der Blase, wie man sich ein Organ in das Peritonäum gelagert denkt. Zum Vergleich war über ein zweites Stethoskop bloß ein Stückchen einer anderen Blase gebunden, und nun wurde die Stärke des Tons, welcher von der Ansprache einer offenen unten ebenfalls mit Membran überspannten, auf das Wasser aufgesetzten Pfeife ohne Seitenlöcher herrührte, mit diesen beiden Stethoskopen geprüft, deren häutiger Verschluß sich natürlich unter Wasser befand. Hierbei zeigte sich kein merklicher Unterschied, so daß ich fast geneigt bin anzunehmen, die Verstärkung des Tones in Müller's Experiment rühre von Reflexion der Schallwellen an der Außenfläche der Schwimmblase her, indem sich diese wie das Brettchen oder eine schlaffe zwischen Pfeife und Conductor eingeschaltete Membran in anderen früher schon erwähnten Versuchen Müller's verhalten möge, worauf auch ein anderes Experiment von Müller hinweist, welches darin bestand, daß er die Luft in einer Schwimmblase mittelst einer Spritze abwechselnd mehr und weniger verdichtete, ohne daß dadurch die Stärke des Tones eine Aenderung erlitt. Freilich kann physikalisch die Möglichkeit nicht geläugnet werden, daß, wenn die Wandung der Blase festen Theilen des Thierkörpers angelagert ist, Schallwellen gewisser Töne von da aus in den Luftraum dringen, und dort resonirt werden können; nicht minder physikalisch ist aber die Behauptung, daß nicht allgemein jeder Ton hiebei eine Verstärkung durch Resonanz erfahren müsse. — Daß ferner auch die festen Theile des Gehörorganes und seiner Umgebung eine Resonanz der zweiten Art mannigfach zu vermitteln im Stande sein werden, läßt sich bei ihrer Begränzung und Formverschiedenheit schon von vornherein erwarten, nur haben wir über ihre Leistungen im Einzelnen, so weit möglich, noch genauer Rechenschaft zu geben.

Das äußere Ohr

haben wir früher schon als ein Gebilde kennen gelernt, durch welches weniger auf unmittelbarem Weg die Direction der Schallwellen zu den inneren Theilen des Gehörorganes begünstigt wird, vielmehr ist es, wie dort schon angedeutet wurde, durch seine knorpelige Grundlage in Stand gesetzt, Schwingungen leicht aufzunehmen, und so in seiner Substanz den festen Theilen des Schädels, ebenso wie dem Trommelfell zuzuführen. Als fester elastischer Körper wirkt es die Schallwellen der Luft theilweise zurück, theilweise

werden sie von ihm aufgenommen, um sich gegen die Verbindungsstelle des mit Ohres dem Kopf fortzupflanzen. Man erinnere sich, daß ein Stab, senkrecht auf seine Länge gestossen, den Stoß in der Richtung seiner Länge fortpflanzt, trotzdem daß die Erschütterung ursprünglich in einer hiemit rechtwinkligen Direction geschehen ist. Bezeichnen wir die in der Längsrichtung nebeneinander gelegenen Theilchen mit abc zc., die in der queren Richtung untereinander gelegenen mit $a'b'c'$ zc., so wird zunächst der Stoß auf a dieses zum Ausweichen nach b' zwingen, was aber nicht geschehen kann, ohne daß zugleich das Theilchen b in demselben Sinn, also gegen c' , fortbewegt wird, was wiederum nicht geschehen kann, ohne daß c eine Bewegung in demselben Sinn bekommt wie a und b , so daß also nach und nach alle Theilchen bcd u. s. f. an der in a angeregten Bewegung und zwar in gleichem Sinne participiren, wodurch demnach die Stoßwelle in longitudinaler Richtung fortzuschreiten gezwungen wird, während sie gleichzeitig in der Richtung der Querachse fortgeht. Je kürzer die letztere ist, um so früher wird natürlich dieser Bewegung eine Gränze gesetzt.

Ebenso geschieht dies in Platten, also auch in dem äußeren, eine solche Platte darstellenden Ohr, welches nur vermöge seiner, unter verschiedenen Winkeln über dieser idealen Fläche hervorstehenden Erhabenheiten, noch weitere Vortheile darbietet. Bei seiner eigenthümlichen Gestaltung wird jede das Ohr treffende Luftwelle, mag ihre Richtung sein, welche sie will, in der verschiedensten Weise reflectirt, wobei Durchkreuzungen der Wellen entstehen, welche wahrscheinlich in der Mehrzahl der Fälle Verstärkungen des Tones durch Aufeinanderfallen von Wellenbergen oder Thälern herbeiführen werden, eben weil vermöge der Neigung und Krümmung der einzelnen Theile die Wege der reflectirten Wellen, welche zur Durchkreuzung von den verschiedensten Seiten her gebracht werden, so verschieden lang sind. Diese Verstärkung trifft zunächst den Theil der Schallwellen, welcher, ohne sich in der Substanz des Ohres fortzupflanzen, von ihm vielmehr zurückgeworfen wird.

Was nun aber weiter die Wellen anbetriefft, welche in dem äußeren Ohr selbst sich weiter verbreiten, so ist für diese Weiterverbreitung im Allgemeinen die Form des Ohres gleichgültig; denn wie wir oben sahen, werden eben alle Theilchen desselben, wie ihre gegenseitige Lagerung auch sein möge, in der Richtung des ursprünglichen Stoßes fortgerissen, allein die Intensität, mit welcher dieses geschieht, wird natürlich weiter abhängig sein von der Größe der Excursion, zu welcher die erst getroffenen Theilchen durch den Stoß gebracht werden, was weiter außer von der Stärke des Stoßes auch noch von der Richtung bedingt ist, in welcher der Stoß wirkt. Der größte Effect wird offenbar dadurch erzeugt, daß der Stoß den in Schwingung zu versetzenden Körper rechtwinkelig trifft. Nun wird eben die Form des menschlichen Ohres sehr geeignet sein, irgend eine Schallwelle auf irgend einen Punkt ihrer vielfach gekrümmten Fläche normal auffallen zu lassen, und so dem Trommelfell und den Kopfknochen möglichst ungeschwächt zu übergeben, zugleich werden die einmal auf die Ohrmuschel übergegangenen Wellen, indem sie den Raum dieses Körpers durchlaufen, an seinen Gränzen zurückgeworfen, und müssen sich mit den von einem bestimmten Punkt ausgehenden dicht hinter einander folgenden Schallwellen öfter kreuzen. Diese Kreuzungspunkte müssen regelmäßig liegen; die Kreuzung selbst muß sich regelmäßig wiederholen, so lange die nachfolgenden Wellen denselben Verlauf nehmen, wie die vorausgegangenen, und von ein und demselben Ton herrühren. Dabei gehen diejenigen Theilchen der Ohrmuschel,

welche in den Punkten der vollkommensten Kreuzung liegen, in regelmäßigen Intervallen aus dem Zustand größtmöglicher Verdünnung in den der größten Verdichtung über, und zwar so, daß die Zeit zwischen diesen beiden extremen Molecularveränderungen genau dem Intervall zwischen den gleichen Zuständen des tönenden Körpers entspricht, wobei jedoch die Excursion der schwingenden Theilchen niemals ganz so groß ist als in dem letzteren, in demselben Moment aber auch aufhört, in welchem von dem tonerzeugenden Körper keine Schwingungen mehr ausgehen¹⁾.

Es bedarf keiner Erwähnung, daß auf diese Weise die Schallwellen in günstigen Fällen mit sehr geringer Verminderung ihrer ursprünglichen Elongation aus erster Hand dem Trommelfell zugeführt werden, wodurch der Nachtheil der Zerstreuung, welche die Wellen an der festgefügtten Uebergangsstelle des knöchernen Gehörgangs in die übrigen Schädelknochen erfahren müssen, offenbar möglichst compensirt ist.

Wie das flache Ohr des Menschen und mancher Thiere geeignet ist, die Schallwellen in sehr großer Breite aufzunehmen, so wirkt das konische Ohr vieler anderer Thiere außerdem noch wie ein Hörrohr durch Condensation der Luftwellen in der Richtung der Achse des Kegels, wobei zugleich eine stärkere Schwingung der knorpeligen Grundlage des Organs und also auch hier eine Resonanz dieser festen Theile entstehen kann. Der Muskelapparat des Ohrs vermag vielleicht die Aufnahme und das Resoniren von Schwingungen in mancher Beziehung zu erleichtern²⁾, indem er die Spannungsgrade der ganzen Muschel verändern kann.

Schließlich haben wir auch noch den Nutzen des Winkels zu betrachten, unter welchem das Ohr an dem Kopf angeheftet ist. Buchanan hält einen Anheftungswinkel von 25 — 45° für den günstigsten. Bei weniger als 15° wäre die Schärfe des Auffassungsvermögens der Schallwellen merklich geschwächt. Diese Annahme setzt voraus, daß durch die Form der reflectirenden Flächen der Ohrmuschel die Schallwellen dem äußeren Gehörgange könnten direct zugeführt werden, was jedoch, wie früher bemerkt, nicht in so hohem Grade stattfindet als diese Theorie voraussetzt. Factum ist, daß die Auffassung eines Schalles um so deutlicher sein wird, je mehr die Direction seiner Wellen senkrecht auf der auffangenden Fläche steht; je größer diese ist, desto intensiver wird natürlich die Wirkung des Stoßes der Welle sein. Für alle Töne, welche gerade vor uns entstehen, ist die gewöhnliche Stellung der Ohrmuschel im Allgemeinen die ungünstigste, wird dagegen günstiger in dem Maas, als der Anheftungswinkel irgendwie vergrößert ist. Für seitlich entstehende Töne dagegen ist ein kleiner Winkel geeigneter, für noch mehr nach hinten gelegene Schallquellen ist eine noch größere Reduction dieses Winkels passend. Für alle Richtungen des Schalles ist durchaus nicht etwa gerade dieser oder jener Winkel der geeignetste, sondern eben für je eine Richtung ein bestimmter Winkel, bei welchem eine möglichst große Fläche rechtwinkelig von den Schallstrahlen getroffen wird. Deshalb gewährt es auch, im Falle ein Schall gerade vor uns entsteht, denselben Vortheil, wenn wir durch einen Druck von hinten ohne weitere Veränderung der Ohrform den Winkel vergrößern, oder wenn wir gleichzeitig durch Dehnen die Gestalt der ganzen Ohrmuschel verändern. Man sieht dabei, daß es nur auf

¹⁾ Weber l. c. pag. 537.

²⁾ Linke l. c. l. 448.

die rechtwinkelige Opposition einer möglichst großen Fläche des Ohres ankommt.

Die Gehörknöchelchen

bestehen bei dem Menschen bekanntlich aus drei in verschiedenen Richtungen gegen einander geneigten articulirten Knöchelchen. So weit diese Gebilde als Conductoren des Schalles wirken, haben wir sie schon früher betrachtet. Sie vermitteln aber zugleich auch Resonanz, und zwar die beiden Arten derselben; daraus läßt sich nicht allein ihr Nutzen im Allgemeinen, sondern auch der Zweck gewisser constanter Formen erkennen. Es ist ein physikalischer Satz, daß die Mittheilung der Schallwellen von einem Medium zum andern begünstigt wird, wenn die schwingende Fläche überhaupt die in Schwingung versetzten Massen sehr groß sind¹⁾. Es läßt sich aber auch zeigen, daß schon kleinere Unterschiede der Größe sich berührender Flächen einen merklichen Einfluß in dieser Beziehung haben. Stemmt man nämlich auf eine Tischplatte einen cylindrischen ca. 3''' dicken Stab, und setzt die schwingende Stimmgabel auf das obere Ende, so vernimmt man den Ton eben so gut, als wenn man die letztere unmittelbar auf die Tischplatte aufstemmt. Wird auf den ersten Stab ein zweiter gesetzt, so ist es nicht gleichgültig, ob die Berührungsfläche mit dem ersteren von gleicher Größe oder kleiner ist. Spielt man das untere Ende zu, so daß der Durchmesser hier etwa nur $\frac{1}{2}$ ''' groß ist, und wiederholt den Versuch, so findet man eine beträchtliche Abnahme der Intensität des Schalles: die Mittheilung der Schwingung ist demnach um ein sehr Merkliches verringert. Wenden wir dies auf die Gehörknöchelchen an, so ergibt sich, daß die Articulation von Hammer und Amboß günstigere Bedingungen für die Mittheilung der Schwingungen des Einen zum Andern stellt, als die Articulation von Amboß und Steigbügel.

Es muß hierauf etwas ankommen, denn so genau auch die Gelenkflächen einander anliegen mögen, so bilden diese Körperchen eben doch kein Continuum. In ihrer Lage sind sie weiter noch durch Sehnen gehalten, welchen natürlich die Schwingungen weniger leicht mitgetheilt werden können, durch welche sie also auch nicht so leicht zu den Wandungen der Trommel direct fortschreiten, als vielmehr die Reihe der Gehörknöchelchen entlang zunächst verlaufen. Da diese begränzte Körper darstellen, so wird es in ihnen nothwendig auch zu einer Resonanz der zweiten Art kommen können; ja auf diese Reflexion der Wellen im Körper eines solchen Knöchelchens scheint es bei der Construction des Steigbügels vor allem abgesehen zu sein.

Wir haben früher auseinandergesetzt, wie die Form von Hammer und Amboß bestimmt ist durch die Form der Trommel, worin wir den Schlüssel für die Erklärung der großen Mannigfaltigkeit in der Form dieser Theile fanden. Auffallend ist, der Verschiedenartigkeit derselben entgegengesetzt, die Uebereinstimmung in der Form des Steigbügels bei allen Säugethieren, welche sich auch mit der Columella der Vögel und Eidechsen in Beziehung setzen läßt. Auch finden wir in der Columella einiger Vögel eine Anebenung der Steigbügelform. Während bei den meisten Vögeln der Stiel der Columella auf der Mitte der Scheibe aufsitzt, ohne vorher anzuschwellen, erweitert sich bei einigen z. B. *Colymbus cristatus* dieses untere Ende kegelförmig, bei anderen ist dieser Keil durchbrochen wie bei dem Geierkönig

¹⁾ Weber a. a. D. p. 533.

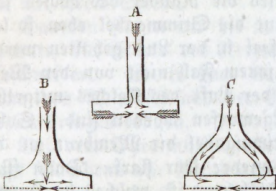
und *Strix Bubo*, wo sich die Markhöhle dieses Knochens nach außen öffnet. Bei *Anas Olor* ist die Form eines Steigbügels noch deutlicher. Umgekehrt findet man auch bei Säugethieren Steigbügel, welche der *Columella* ähnlicher sind, wie bei *Ornitorhynchus elegans* und *Halmaturus elegans*.

Ueberlegt man die Aufgabe, welche der Steigbügel zuletzt zu erfüllen hat, so ist es offenbar die, mittelst einer gewissen Fläche, nämlich entsprechend der Oeffnung des ovalen Fensters, die Schwingungen dem Labyrinthwasser mitzutheilen. Die Mittheilung wird weiter entsprechend der Größe dieser Fläche hier wie überall, wo es sich um die Mittheilung der Schwingungen eines Medii auf ein zweites handelt, begünstigt. Dies geschieht denn auch mittelst des Fußtrittes des Steigbügels, so weit es nur immer die Größe des ovalen Fensters zuläßt. Man weiß weiter, daß sich in einem gleichartigen Medium der Schall von einem Punkte aus überall hin verbreitet, daß aber dennoch die Intensität in der Richtung des ursprünglichen Stoßes am größten bleibt. Nun scheint dafür gesorgt zu sein, daß in allen Fällen die Schwingung concentrirt und am meisten verstärkt in der Richtung der kleineren Achse des Vorhofes fortschreite. Es giebt nämlich keine einzige Form des Steigbügels, welche eine einfache excentrische Anfügung eines Schenkels an dem Fußtritt oder des Stieles an der Basis der *Columella* zeigte, sondern immer sind es zwei einander diametral gegenüber stehende Schenkel des Steigbügels, oder eine kreisförmige Berührungslinie von Stiel und Basis der *Columella*, oder der Stiel ist auf dem Centrum derselben aufgepflanzt. Alle diese einzelnen Anordnungen leisten den gleichen Dienst, nämlich durch Reflexion der Wellen das Maximum der Schwingung in das Centrum der Scheibe zu legen und von da in die Achse des Vorhofes fortzupflanzen.

Verständlichen wir uns schematisch die drei Modificationen, so sehen wir in der häufigeren Form der *Columella* die Schwingungen entlang des Stieles sich fortpflanzen; dann treffen sie die Mitte der Basis und schreiten von dort aus nach allen Richtungen der Peripherie derselben weiter, werden daselbst reflectirt, und durchkreuzen sich mit den neuen und schon zurückgeworfenen (Fig. 72 A). Dadurch entstehen Maxima der Schwingungen in dem Mittelpunkt, wenn die Basis kreisrund ist, oder bei elliptischer Form derselben in den beiden freilich einander sehr nah gelegenen Brennpunkten.

Bei der zweiten Modification mit kegelförmigem Aufsatz auf der Basis der *Columella* (Fig. 72 B) werden alle von der Peripherie aus in die Basis fortgepflanzten Wellen zu mehrfacher Kreuzung an derselben Stelle gebracht, wie bei der ersten Anordnung.

Die dritte Modification: Steigbügel mit zwei Schenkeln, wird ebenfalls den Dienst leisten, durch mehrfache Reflexion die Maxima der Schwingungen auf die Mitte des Fußtrittes fallen zu lassen (Fig. 72 C).



Die Knochenmassen

des Gehörorgans selbst können eben so wie die des übrigen Schädels Schwingungen der Luft in gewissen Fällen leicht mitgetheilt bekommen, und durch Resonanz der zweiten Art verstärken. Für den ersten Fall wird es haupt-

sächlich auf den töngebenden Körper ankommen, ob die Mittheilung vollkommener oder unvollkommener ist, so z. B. versetzen tönende Platten die Kopfknochen leichter in Schwingungen als Streifen, und diese wieder als fadenförmige Körper. Je schneller ferner die Succession der einzelnen Stöße, je höher also die Töne, um so vollkommener ist ebenfalls die Mittheilung.

Die Möglichkeit einer Resonanz der zweiten Art brauchen wir für die begränzten festen Kopfknochen nicht mehr weiter zu beweisen; nur haben wir hier die Verhältnisse der Knochenwände der Trommel zu den Gehörknöchelchen und Membranen in dieser Beziehung schließlich zu würdigen. J. Müller¹⁾, stellte zuerst den Satz auf, daß die Hauptaufgabe der Gehörknöchelchen eine Concentration der Schwingungen auf ihrer Bahn sei, auf welcher sie eben so ungeschwächt durch Zerstreung fortschritten, wie in der Luft eines Communicationsrohres. Dem gegenüber steht eine Aeußerung Valentin's²⁾, welcher sagt: »die in den Gehörknöchelchen hinlaufenden Erschütterungen theilen sich so sehr als möglich der Luft, welche die Paukenhöhle einschließt, mit. Größere Gehörknöchelchen müssen in dieser Hinsicht eine ausgedehntere Uebertragungsfläche darbieten.«

Bei dem letzteren Theil dieses Satzes hatte Valentin offenbar das physikalische Gesetz im Sinn, welches wir vorhin mitgetheilt haben, und welches sich auf die Summe der gleichzeitig einem Stoß ausgesetzten Lufttheilchen bezieht. Gleichwohl wird Müller's Ausspruch so weit unangreifbar sein, daß man mit ihm behaupten darf: Die Erschütterungen, welche auch bei noch so großen Gehörknöchelchen von diesen aus der Luft der Paukenhöhle mitgetheilt werden, sind gegen diejenigen, welche in ihrer eignen Bahn fortschreiten, verschwindend klein. Gleichwohl aber können die Schallwellen der Gehörknöchelchen in die Luft der Trommel übergeführt und hier durch Resonanz sehr verstärkt werden, aber nicht direct, sondern auf einem Umweg, nämlich durch die Wände der Trommelhöhle.

Ich will zuerst das Experiment anführen, worauf ich diesen Ausspruch gründen zu dürfen glaube.

Stemmt man in einem sogenannten Kelchglas ein Stäbchen auf den Boden des auf der Tischplatte stehenden Gefäßes, und setzt auf das obere Ende des Stäbchens eine tönende Stimmgabel auf, so vernimmt man ihren Ton viel deutlicher, als wenn sie direct auf die Tischplatte aufgesetzt wird. Offenbar ist der Ton im ersteren Fall verstärkt durch die Resonanz des Luftraumes im Glase. Wendet man nun den Versuch dahin ab, daß man eine mit einem Loche versehene Membran über den Kelch des Glases spannt, das Stäbchen durch das Loch gehen läßt, ohne daß dieses die Ränder des Loches selbst und den Boden des Kelches berührt, so tönt die Stimmgabel eben so laut, mag sie auf dem Stäbchen aufgesetzt oder frei in der Luft gehalten werden. Die Verstärkung des Tones kann daher in jenem Fall nicht von den Wellen herrühren, welche von dem Stäbchen aus der Luft des Kelches mitgetheilt und von den Wandungen desselben zurückgeworfen worden sind. Sobald das Stäbchen während des Tönens der Stimmgabel die Membran an dem Rande des Loches berührt, wird der Ton wieder sehr stark. Dann ist es auch gleichgültig, wie groß das Stück des Stäbchens ist, welches im Inneren des Kelches sich befindet; weiter ist es gleichgültig, ob das Ende desselben in eine breite Platte ausläuft oder nicht.

¹⁾ Physiol. II. 429.

²⁾ Valent. Physiol. d. Menschen 1847. Bd. II. §. 3992.

Der Gang der Wellen wäre demnach folgender: direct vom Trommelfell an die Gehörknöchelchen und die Schädelknochen an der Peripherie der Membran; durch Reflexion werden viele Wellen von der Begränzung des Trommelfelles wieder gegen dessen Mitte zurückgeworfen, wodurch also die Schwingungsmaxima der Insertion des Hammers zugelenkt werden. Die Wellen aber, welche der Knochenhöhle der Pauke auf diese Weise zugeführt sind, verbleiben nicht vollständig in den Kopfknochen, sondern zerstreuen sich auch in der Luft der Trommel, wodurch sie aufs Neue durch vielfache Reflexion verstärkt werden können. Der Hauptstoß wird dabei jedoch immer in der Richtung der Gehörknöchelchen fortgehen, den membranösen Saum des ovalen Fensters treffen, und von dort aufs Neue den Wandungen der Pauke entlang wieder zur Luft der Trommel gelangen. Denn der Ton wird intensiver, wenn das Stäbchen, auf welches die Stimmgabel gestimmt ist, durch die eine Membran einer Röhre gesteckt und gleichzeitig in Berührung mit einer zweiten das entgegengesetzte Ende der Röhre verschließenden Membran gebracht wird, während der Rand der Röhre auf die Tischplatte angebrückt ist.

C. Die Correctionsmittel.

Jeder empfindende und Sinnes-Nerv hat eine gewisse Breite der Reizbarkeit, innerhalb welcher seine Erregung mit einem wohlthuenden Gefühl verbunden ist.

Ueber diese Gränze hinaus wird die Erregung durch bloße quantitative Steigerung schmerzhaft. Das Licht, die Wärme, alle dem Organismus sonst zweckdienliche Agentien, unter deren Einfluß die Nerven belebt werden, können, wenn sie in höherem Grade einwirken, unmittelbar zum Tod der Nervensubstanz führen, dem die intensivsten Schmerzen vorausgehen.

Leise Berührung eines bloßgelegten Empfindungsnerven ruft die lebhaftesten Schmerzen hervor, während sie in den unversehrten Tastorganen nur eine sehr untergeordnete Empfindung erzeugt. Es kommt also nicht allein auf die Stärke des Reizes an sich an, sondern weiter auf die Art und Weise, wie der Nerv von dem Reize getroffen wird. Deshalb finden wir auch an allen Nerven gewisse Schutzvorrichtungen, welche zumeist noch vor den eigentlichen Sinnesorganen gelagert sind. Ueber die Tastorgane breitet sich die Haut aus; vor dem Auge befinden sich die Lider; über dem Niesnerv liegt die Schleimhaut mit ihrem Secret.

Daneben finden wir hie und da in dem Sinnesorgan noch besondere Apparate, die Stärke des Reizes zu verringern oder einen Theil desselben abzuschneiden. So in dem Auge die bewegliche Iris und die Muskeln, welche den Augapfel aus der Richtung der zu grellen einfallenden Lichtstrahlen bringen können.

Bei dem Ohre müssen alle solche Vorkehrungen in das Organ selbst gelegt sein; denn alle Medien leiten den Schall; überall hin bringen die Erschütterungen, weshalb denn auch die ganze Organisation dieses Sinnes auf die einfachste Form reducirt sein kann, wie sie z. B. das Gehörbläschen der Mollusken darstellt; ja vielleicht ist bei manchen Thieren nur ein Gehörnerv vorhanden, den Schwingungen preisgegeben, welche sich auch ohne alle weitere Vorkehrung durch den ganzen Thierkörper verbreiten.

Es wäre demnach eine irriqe Vorstellung, wollte man annehmen, daß

der ganze Bau des Ohres darauf hinausginge, mit der absolut größten Intensität die Schallwellen dem Acusticus zuzuführen, als käme es bei dem Auge ebenfalls hauptsächlich darauf an, alle Lichtstrahlen recht grell und concentrirt auf die Netzhaut fallen zu lassen! Nicht die absolute Stärke und Intensität des Eindruckes ist es, welche durch die Apparate des Sinnes auf die Spitze getrieben werden soll, sondern die Hauptaufgabe eines jeden Sinneswerkzeuges, also auch des Gehörorganes, ist die zu große Intensität des äußeren, den Nerv erregenden Einflusses bis zu dem Grade zu schwächen, daß der Sinnesnerv in Erregungen versetzt wird, welche noch innerhalb der Breite gelegen sind, die ihm vermöge seiner Structur und Mischung gegönnt ist, und innerhalb welcher er auf den äußeren Einfluß reagiren kann, ohne in dem normalen Gange seiner mit dem allgemeinen Lebensproceß verbundenen Veränderungen gestört zu werden, gleichzeitig aber auch die zu geringe Intensität solcher Impulse zu steigern, welche dem allgemeinen Plane des Organismus zu Folge überhaupt noch zur Perception kommen sollen. Es muß also mit einem Wort das Sinnesorgan die äußeren Einflüsse der Reactionsfähigkeit des Nerven unmittelbar vor seiner Ausbreitung adäquat machen. Dies scheint jedoch im Widerspruch zu stehen mit der zweiten Anforderung, welche an das Sinnesorgan gestellt werden muß: die Unterschiede äußerer Einflüsse zur Wahrnehmung zu bringen. Dabei darf man nicht vergessen, daß es nicht darauf ankommt, die absoluten Differenzen, sondern nur die relativen aufzufassen, so daß also gleichsam nur die Sprossen der ganzen Leiter möglicher Sinneswahrnehmungen und möglicher äußerer Einflüsse ohne Veränderung ihrer Zahl näher aneinander gerückt werden. Denken wir uns den Acusticus ohne alle weitere Vorbereitung in dem Schläfenbein vergraben, so wird es keine einzige Schallwelle geben, bei welcher die Excursion der schwingenden Lufttheilchen eine genau gleiche der Nerventheilchen bedingte. Immer würde in diesem Fall die Elongation der Schwingungen in letzteren vermindert werden. Nun giebt es weiter offenbar eine Menge von Schall erzeugenden Stößen, welche viel zu schwach sind, als daß sie in die Knochen substanz mit einer für den Nerven irgend wahrnehmbaren Stärke eindringen könnten. Daraus geht hervor, daß eigentlich kein Schall mit seiner ursprünglichen Intensität den Nerv treffen und in diesem genau entsprechende Schwingungen erzeugen kann, daß somit die Intensitäts-Scala der Schallempfindung (so weit sie abhängig ist von der Excursion schwingender Nerventheile) nie den absolut gleichen Werth haben kann mit der Intensitätsscala des vor dem Gehörorgan erregten Schalles. Hätte unser Ohr nur die vorhin angedeutete Einrichtung (einen Gehörnerv in der Knochenmasse eingebettet), so würde eine große Reihe von Schallen den Nerv gar nicht mehr in eine Empfindung hervorrufende Schwingung versetzen können. Deshalb muß eine weitere Anordnung gleichzeitig bestehen, vermöge welcher die außerdem zu schwachen Stöße aufgenommen und verstärkt dem Acusticus zugeführt werden, und in welcher zugleich die Möglichkeit gelegen ist, willkürlich oder unwillkürlich den Einfluß der zu starken Schwingungen zu dämpfen.

Dies scheint die wahre Ursache der Anlage doppelter Leitung, der Zweck bei der Bildung von Schnecke und Vogengängen mit den zugehörigen weiteren Apparaten zu sein.

Innerhalb des Labyrinthes ist deshalb durchaus keine Vorrichtung mehr angebracht, um den Schall zu dämpfen, denn alle Schwingungen, welche ihm durch die festen Theile des Schädels zugeführt werden, sind durch diese bereits schon bedeutend reducirt, und durch die Fenster gelangen bloß solche,

welche durch andere Theile des Gehörorganes bereits für die Reizempfänglichkeit des Nerven modificirt worden. Der ganze Bau des Labyrinthes deutet vielmehr darauf hin, eine letzte Condensation der Schallwellen in der Weise zu bedingen, daß die ganze Summe der empfindenden Nervenfasern möglichst gleichmäßig von jeder Welle getroffen werde, welche einmal, sei es auf diesem oder jenem Weg, in diesen innersten Theil des akustischen Apparates gekommen ist.

Der von Breschet zuerst beschriebene Muskel der Schnecke, welchem von Todd und Bowman¹⁾ die Function zugeschrieben wird, den Spannungsgrad der membranösen Zone des Spiralsblattes den verschiedenen Schwingungen zu accomodiren, wie durch die Irisfasern die Oeffnung der Pupille den Lichtmengen entsprechend regulirt wird, ist in Beziehung auf seine muskulöse Natur mehr als problematisch²⁾. Wir werden ihn später noch genauer kennen lernen, und erinnern hier nur daran, daß sich von ihm als einem organisch kontraktilem Gewebe eine Hülfsleistung nur erwarten ließe erstens: wenn es sich um Modification längerer Tonreihen handelte, zweitens: wenn sich überhaupt beweisen ließe, daß Veränderungen des Spannungsgrades in diesem Organ von irgend welchem wesentlichen Einfluß wären. Müller's³⁾ Versuche scheinen jedoch dieser Ansicht nicht das Wort zu reden. Wurde nämlich im Wasser zwischen das membranös geschlossene Ende der Pfeife und den in der Direction der Pfeife gehaltenen Conductor eine membranöse Scheidewand aufgestellt, so gieng der Schall durch die letztere mit gleicher Leichtigkeit, mochte eine gespannte oder eine schlaff herabhängende Membran zwischen Pfeife und Conductor befindlich gewesen sein.

Dieses Resultat findet seine volle Anwendung in unserem Fall, wenn man zunächst diejenigen Schallwellen berücksichtigt, welche durch das runde oder ovale Fenster dem Labyrinthwasser mitgetheilt werden. Anders könnte der Erfolg vielleicht sein, wenn man diejenigen Schwingungen berücksichtigt, welche unmittelbar von den festen Theilen des Schädels zu der knöchernen Schnecke und von dort auf das Spiralsblatt übergehen.

Um dies zu untersuchen, wurde in die Wand einer hölzernen Wanne parallel mit deren Boden eine $\frac{1}{2}$ □' große Membran geklemmt, deren freies Ende an einem Stab mit ihrer ganzen Breite befestigt war, mittelst welches sie in verschiedene Spannungsgrade versetzt werden konnte. Als Schallquelle wurde eine auf den Rand der Wanne aufgesetzte tönende Stimmgabel benutzt, und der Ton dem verstopften Ohr mit dem Conductor zugeleitet, welcher bei allen Spannungsgraden der Membran auf dieser aufgesetzt blieb. Im schlaffen und gespannten Zustand blieb sich die Stärke des mit dem Conductor gehörten Tones vollkommen gleich. Auch bei Anwendung einer anderen Schallquelle, nämlich des mittelst einer Membran in das Wasser übergeleiteten Tones einer membranös verschlossenen Pfeife ohne Seitenlöcher, änderte sich das Resultat nicht. Ein Spannmuskel an dem Spiralsblatte der Schnecke scheint also, den Ergebnissen dieser Versuche nach, sowohl für die von den Kopffnochen als von der Membran des runden Fensters her der Schnecke zugeleiteten Schwingungen ganz überflüssig.

Indem wir hier das ganze Labyrinth in seiner Verbindung mit den

¹⁾ The physiological anatomy and physiology of man by Todd and W. Bowman III, p. 80.

²⁾ Z. Kölliker in der Zeitschrift für wissenschaftl. Zoologie Bd. I. p. 55.

³⁾ Physiologie II. p. 422.

Kopfknochen als einen Correctionsapparat für die an sich für den Nerv zu starken Schwingungen betrachten, haben wir schließlich noch einmal auf die Function seiner beiden wesentlichsten Theile, Schnecke und Bogengänge, zurückzukommen.

Daß Erschütterungen, welche sich einmal den Kopfknochen mitgetheilt haben, von diesen aus in beide fortgepflanzt werden, ist den allgemeinsten Leitungsgesetzen des Schalles nach nothwendig; daß sie von dem knöchernen Theil an das Wasser des Labyrinthes, welches Schnecke, Bogengänge und Vorhof erfüllt, übergehen, ist den erörterten Fortpflanzungsgesetzen zufolge ebenfalls gewiß.

Jeder Uebergang von einem Medium in ein zweites hat jedoch unvermeidlich eine Verminderung der Excursion der schwingenden Theilchen zur Folge. Je schneller der Uebergang von einem Medium in das andere ist, um so bedeutender wird die Schwächung des ursprünglichen Stoßes, die Verringerung der Elongation der Schwingung werden: je allmäliger, desto weniger wird dies der Fall sein. In dieser Beziehung finden wir die Bedingungen der ersten Art bei den Bogengängen, der zweiten Art bei der Schnecke. In den Bogengängen gränzt die elfenbeinharte Knochensubstanz der Gänge unmittelbar an die Perilymphe. In der Schnecke stößt die Nervenaustrittsstelle unmittelbar an die festen Theile des Organes (an die Knochenmasse der Lamina spiralis ossea oder an die Lamina membranacea) und kann von da aus direkt die Schwingungen aufnehmen, während in den Bogengängen die Nervenaustrittsstelle nie anders als von Schwingungen des Labyrinthwassers erregt werden kann: ein weiterer Grund, welcher zu der Weber'schen Annahme drängt, daß die Schnecke insbesondere zur Aufnahme der Schwingungen der Kopfknochen bestimmt sei. Die Schnecke kompensirt also so viel als möglich die bei dem Uebergang von Luft an die festen Theile des Schädels unvermeidliche Schwächung des Schalles. Wir haben nun nur noch zu erklären, weshalb die Schnecke gerade bei den in der Luft hörenden Thieren am entwickeltsten vorkommt, bei denen dagegen, welche ausschließlich oder hauptsächlich im Wasser hören, gar nicht gefunden wird. Es ist oben darauf hingewiesen worden, daß es bei der angenommenen und jetzt noch klarer gewordenen Function der Schnecke auffallend sei, daß sie da fehle, wo die Schallwellen ausschließlich zu den festen Theilen, und von da zum Nerv geleitet werden. Da der Uebergang der Schallwellen von Wasser zu festen Theilen und wieder zum Wasser (nämlich des Labyrinthes) viel mehr begünstigt ist, als der von Luft zu festen Theilen, so wird es wenige Schalle geben, welche zu schwach sind, um eine Tonempfindung in den im Wasser hörenden Thieren zu erzeugen, wenn nur überhaupt die Schwingung des tonerregenden Körpers so groß ist, daß dadurch Tonempfindung vermittelnde Erzitterungen des Gehörnerven entstehen können. Deswegen kommt auch bei solchen Thieren der ganze akustische Apparat in Wegfall, welcher dazu bestimmt ist, den Uebergang auch schwacher Schwingungen des umgebenden Medium schließlich zu dem Gehörnerv zu erleichtern, nämlich Trommelfell und zugehörige Theile, eben weil diese Erleichterung hier nicht nöthig ist; es fehlt aber auch die Schnecke, weil durch ihren Mangel noch am ersten verhindert wird, daß allzustarke Erschütterungen den Nerv treffen, welche viel leichter zu dem Nerv dieser als der in Luft hörender Thiere einen Weg finden.

Nachdem wir auf solche Weise die Schnecke in einen gewissen Gegensatz zu den übrigen Theilen des Gehörorganes gesetzt haben, liegt uns ob, diese letzteren unter dem an die Spitze gestellten Gesichtspunkt zu betrachten,

und zu zeigen, wie erstens im Allgemeinen auch hier eine, wenn auch viel unbeträchtlichere Verminderung der Excursion schwingender Theilchen herbeigeführt, dann die Intensität im Verlauf durch weitere Apparate wieder zu dem Grade gesteigert wird, daß Tonempfindung vermittelnde Erzitterungen in dem Nerv entstehen können; wie dann zweitens Vorsorge getroffen ist, diesen eigentlich für feinere Schwingungen berechneten Apparat dem Andrang mächtigerer Wellen zu entziehen.

Bei der unumstößlichen Wahrheit des Satzes, daß sich der Schall in dem gleichartigen Medium am besten fortpflanzt, wird eine Verminderung der Elongation der Schwingungen überall da stattfinden müssen, wo diese Gleichartigkeit unterbrochen ist, also auch wo die Schallwellen der Luft auf eine Membran wie das Trommelfell treffen. Mag die Eigenschaft einer Membran der Aufnahme derselben noch so günstig sein: ohne Nebenbedingungen wird der Schall, wenn auch noch so wenig, doch gewiß geschwächt auf die Membran übergehen; stets aber wird die Schwingung eine viel geringere Beeinträchtigung auf diesem Wege erfahren, als bei dem Uebergang von der Luft auf Substanzen von größerer Dichtigkeit. Es werden also durch das Trommelfell noch immer Schwingungen den Weg zu dem Nerv finden, welche zu schwach sind, die Kopfknochen noch mit gehöriger Stärke zu durchdringen. Bei der unvermeidlichen Schwächung, welche der Schall im Moment des Ueberganges von Luft auf eine Membran im Allgemeinen erfährt, sind gerade für die an sich schon sehr schwachen Schallwellen weitere Apparate nothwendig, damit sie für den Gehörnerv nicht ganz verloren gehen. Solche Apparate sind: das verschiedenen Spannungsgraden unterwerfbare Trommelfell, in welchem zugleich durch Reflexion von den Rändern Verstärkung der Schwingungen erzielt werden kann, und alle diejenigen Theile des mittleren Ohres und äußeren Gehörganges, welche im Stande sind, unter günstigen Verhältnissen durch Resonanz die Schallwellen zu verstärken, wie wir das weitläufig auseinandergesetzt haben. Manche der inneren Vorgänge, welche im Ohr eingeleitet werden müssen, um diese oder jene Töne stärker zu vernehmen, fühlen wir z. B. bei dem Horchen; ähnlich wie wir die innere Anstrengung im Auge fühlen, wenn wir versuchen, einen imaginären Punkt vor oder hinter einem wirklich gesehenen zu fixiren. Es verstreicht oft eine meßbare Zeit, bis wir die für den schwachen Schall richtige Adaption gefunden haben, welche wir dann willkürlich leicht festhalten können, sobald sie nur einmal gefunden worden: eine Erfahrung, welche sehr häufig gemacht und welche nur sehr gezwungen rein psychologisch erklärt werden kann, wenn man nämlich annimmt, daß diese Zeit zum Sammeln und Concentriren der Aufmerksamkeit nothwendig wäre. Es fragt sich jetzt natürlich weiter: wie mag diese Accommodation zu Stande gebracht werden? Aus dem, was oben über die Resonanz der Membranen bei gewissen Spannungsgraden gesagt worden, leuchtet ein, daß die Wirkung des Tensor tympani hauptsächlich hiemit in Verbindung zu setzen sei. Die Elongation jeder Schwingung wird in dem Maaß, als die Spannung der Membran zunimmt, bei dem Uebergang aus der Luft in dieselbe verringert; für hohe Töne tritt diese Schwächung aber viel später ein als für tiefe. An dem Punkt, an welchem die primären Schwingungen bereits eine solche Stärke erreicht haben, daß sie auch die Kopfknochen noch mit merklicher Intensität durchsetzen können, hört sicher, vielleicht auch ziemlich viel früher, die Möglichkeit auf, durch größere Spannung des Trommelfelles eine Verringerung der Excursion schwingender Theilchen herbeizuführen. Denn niemals

wird durch Spannung des Trommelfelles eine solche Dichtigkeit in dessen Masse erzeugt werden können, daß es in gleichem Maaß die Schallwellen zurückwürfe wie Knochensubstanz.

Es giebt auch hier Widerstandsgrößen äußeren Angriffen gegenüber, welche nicht zu überschreiten sind, wie an jedem anderen Organ. Dadurch ist eben die Möglichkeit einer Störung oder Zerstörung gegeben, welche in einem Theil oder dem ganzen Organismus durch unabwendbare äußere Einflüsse herbeigeführt werden kann.

Nicht also Verstärkung jedes ursprünglichen Schalles, nicht directe Vergrößerung derjenigen Elongation der schwingenden Theilchen, welche alle zum Ohr fortschreitenden Schallwellen haben, ist Aufgabe der Apparate, welche als Resonatoren betrachtet werden können, sondern nur Verstärkung der geschwächt in das mittlere Ohr tretenden Schwingungen kann im günstigsten Fall erzielt werden. Wollte man das Erstere voraussetzen, so würde man dem Nerv einen Torpor, eine sehr geringe Erregbarkeit zuschreiben, die er gewiß nicht besitzt, und man würde dabei die Hemmung ganz übersehen, welche doch eben so gewiß jede Schwingung bei dem Uebergang auch von Luft zur Membran erfährt. Dabei kann freilich die Excursion der schwingenden Lufttheilchen in der Trommelhöhle oder der Theilchen der Gehörknöchelchen in einzelnen Fällen stärker werden, als die der Lufttheilchen außerhalb des Gehörorganes, wenn nämlich durch geeignete Spannung des Trommelfelles die Dämpfung der an sich schon schwachen Schallwellen auf das Minimum reducirt worden. Eine solche Aufgabe ist den Apparaten des Ohrs, aber nur in einzelnen Fällen, nämlich dann gestellt, wenn die Schwingungen der Luft einen so geringen Grad ihrer Elongation haben, daß sie auch in dem günstigsten in der Wirklichkeit nicht existirenden Fall der Mittheilung den Nerv nicht mehr in solche Erzitterungen versetzen können, welche von Schallempfindung begleitet wären, und es dennoch im allgemeinen Plan der Organisation begründet ist, diese zur Perception kommen zu lassen.

Auch hier liegt wieder eine Gränze, welche je nach der größeren oder geringeren Vollkommenheit des Organes abgesteckt ist, und nicht überschritten werden kann. Denn wir kennen eine große Reihe von Schwingungen, die wir theils mit anderen Sinnen wahrnehmen, theils theoretisch anzunehmen gezwungen sind, und welche niemals mittelst unseres Gehörorganes als Schall oder Ton aufgefaßt werden können.

Wir müssen uns bis jetzt begnügen, zu wissen, daß es solche Gränzen giebt; sie zu bestimmen, fehlt uns aber jedes empirische Maaß. Es müßte nämlich zu diesem Behuf für jeden Intensitätsgrad die Elongation der Schwingung vor dem Trommelfell, die Maxima und Minima der möglichen Excursionen des Trommelfelles, und endlich der Grad der Steigerung einer im mittleren Ohr verstärkten Schwingung bekannt sein, ganz abgesehen von der völlig unbestimmbaren Erregungsgränze des Acusticus.

Nachdem wir akustischen Experimenten und Gesetzen zu Folge von gewissen Apparaten des Gehörorganes eine Verstärkung an sich zu schwacher Schallwellen zu erwarten haben, so daß sie dem Gehörnerv noch Schwingungen mittheilen, welche eine Schallempfindung hervorrufen können, haben wir weiter zu untersuchen, wie dem Fortschreiten der für diese feinere Leitung zu intensiven Schallwellen Hemmungen entgegengesetzt werden können, um den Nerv auch von dieser Seite her vor allzuheftigen Beubungen zu bewahren.

Nach dem, was bereits über die Wirkung der Trommelfell-Spannung mitgetheilt worden ist, dürfen wir diese als ein wesentliches Mittel zur Däm-

pfung betrachten, und müssen deshalb jetzt die Mittel untersuchen, durch welche diese Dämpfung regulirt wird, und suchen, ob dieses die einzige Vorkehrung zu diesem Zwecke ist.

Der *Musc. tensor tympani*, ein dünner schmaler Muskel, entspringt sehnig vom hinteren unteren Rand des großen Keilbeinflügels und von der oberen Wand des knorpeligen Theiles der Tuba Eustachii, und läuft durch einen theils knöchernen, theils häutigen Canal schräg rückwärts und auswärts zur Paukenhöhle. Seine lange, dünne Sehne, in welche er hier übergeht, schlingt sich von hinten und innen nach vorn und außen um den *Processus cochlearis*, und befestet sich an der inneren Fläche des Hammers, wo dessen Hals in den Handgriff übergeht, an. Der Griff des Hammers wird bei der Contraction dieses Muskels einwärts gegen den Grund der Paukenhöhle gezogen, wobei das fest mit dem Griff verschlochtene Trommelfell dieselbe Bewegung machen muß. Dadurch wird es convex, nach innen gewölbt, stärker gespannt. Der Thätigkeit dieses Muskels steht keine antagonistische Wirkung eines zweiten gegenüber, denn die sogenannten *Variatoren* des Trommelfelles sind durchaus keine Muskeln. Nur der Tensor hat die willkürlichen Muskeln eigenthümlichen Querstreifen. Als die seiner Thätigkeit gegenüberstehende antagonistische Kraft ist allein die Elasticität des Trommelfelles und die Torsion des *Processus folii* anzusehen; diese gleicht jede, durch die Contraction des Muskels herbeigeführte Krümmung im Moment des Nachlassens und genau der Größe dieser Erschlaffung entsprechend, wieder aus. Hier muß zugleich auf die Membran des runden Fensters und den membranösen Saum des Steigbügels (*Ligament. annulare baseos stapedis*) Rücksicht genommen werden, insofern hier ähnliche Verhältnisse wiederkehren, wie bei dem Trommelfell. Wir wissen: mittelst des *Conductors* hören wir den Ton einer mit einem Stopfen versehenen und in Wasser mit dem so verstopften Ende tauchenden Pfeife bei weitem schlechter, als wenn statt des Stopfens eine Membran dieses Ende der Pfeife verschließt. Je straffer man diese Membran anspannt, desto mehr verwandelt man diesen Verschluss in einen dem ersteren ähnlichen und desto schwächer wird wieder der Schall. Ebenso wird es sich mit den Schwingungen verhalten, welche aus der Luft der Trommel in den membranösen Verschluss des runden Fensters übergehen. Der Saum um den Fußtritt des Steigbügels kann, auch den verschiedensten Spannungsgraden ausgesetzt, nicht das Geringste zur Veränderung der Schwingungsmitteltheilung vom Steigbügel her zu dem Labyrinthwasser beitragen.

Die Spannung dieses Saumes kann wohl durch einen eigenen Muskel erhöht werden, nämlich den *M. stapedius*, allein diese Spannung hat mit der Schalleitung durch das ovale Fenster zum Labyrinth gar nichts zu schaffen. Sehnig entspringt dieser Muskel am hinteren Ende der *Eminentia pyramidalis*, nahe am *Canalis Fallopii*. In einem Canälchen der ersteren ist seine eigentliche, mit Quersfasern versehene Muskelsubstanz eingeschlossen, aus welchem er mit einer dünnen Sehne in die Paukenhöhle austritt. Diese Sehne schlägt sich um den abgerundeten Rand der *Eminentia* nach unten und vorn herum, und befestet sich sodann an die beiden Grübchen des *Capitulum stapedis* an. Zieht man diese Sehne in der Richtung, in welcher der Muskel wirkt, an, so wird das Köpfchen des Steigbügels nach hinten bewegt, und dadurch zugleich der hintere Theil seiner Basis rückwärts und tiefer in die *Fenestra ovalis* gedrückt, ohne daß sich jedoch (meinen Beobachtungen an mehreren ganz frischen Leichen zu Folge) dabei der vordere Theil der Basis aus dem Fenster erhöhe, vielmehr bildet dieses vordere Ende das *Hypomochlion* für

die Drehung der Steigbügelplatte. Versucht man, von dem Vorhof aus den Steigbügel aus dem Fenster etwas herauszudrücken, so gelingt dies leicht am hinteren Ende, am vorderen Ende aber nicht ohne Losreißung des membranösen Saumes an dieser Stelle.

Durch die Eustachi'sche Trompete steht das hinter den Fenstern befindliche Labyrinthwasser unter dem Druck der Atmosphäre. Eine Entfernung der Steigbügelplatte von der Flüssigkeit des Labyrinthes ist unmöglich; jeder Senkung und Hebung dieser Platte folgt genau das Labyrinthwasser. So bleiben also immer Wasser und feste Theile (Steigbügelplatte) in Contact, bei welchem Druck und Fläche in allen Fällen gleich groß bleibt. Es kann demnach an dieser Stelle die Art der Leitung, die Mittheilung der Schwingung des Steigbügels an das Labyrinthwasser nie geändert werden, was uns vollkommen zu obigem Ausspruch berechtigt.

Der Steigbügelmuskel ist dagegen ein Tensor membranæ tympani secundariae und gleichzeitig ein Hülfsmuskel für den Tensor tympani.

Er ist ein Spanner der Membran des runden Fensters; denn indem er den Steigbügel in die Fenestra ovalis drückt, wird vor diesem her die unelastische Flüssigkeit gedrängt, und treibt ihrerseits jene Membran vor, so daß diese etwas convex in den Vorhof hineinragt, was nicht ohne eine Zunahme ihrer Spannung geschehen kann.

Er ist zweitens ein Hülfsmuskel für den Tensor tympani, wie auch dieser die Wirkung jenes unterstützen kann, denn man kann an dem Cadaver durch Anspannung des Musc. stapedius den Hammergriff in demselben Sinne bewegen, in welchem er von dem Tensor tympani bewegt wird. Ebenso ist es durch die Vertheilung der Hebelkräfte auf die einzelnen Theile der Gehörknöchelchen möglich, mittelst Anspannen des Tensor tympani den Steigbügel ebenso in das ovale Fenster zu drücken, wie wenn man den Musc. stapedius anzöge.

Daraus geht hervor, daß jeder der beiden Muskeln für sich erstens die Membran des runden Fensters spannen kann und daß durch gleichzeitiges Zusammenwirken beider diese Spannung erhöht werden wird, daß ferner die Spannung dieser Membran mit der Spannung der anderen annähernd gleichen Schritt halten muß. Gleichwol ist es nicht gleichgültig, durch welchen Muskel es geschieht. Contrahirt sich der Stapedius allein, so bleibt, ohne daß die Membran des runden Fensters an ihrer Spannung verliert, das Trommelfell dem Einfluß der Schwingungen mehr exponirt, indem eben der nicht contrahirte Tensor tympani keinen Widerstand leistet. Ist dieser dagegen allein contrahirt, so bleibt wohl auch die Spannung der Membran des runden Fensters, zugleich aber ist die Excursion des Trommelfells wegen der günstigen Verhältnisse der Muskel=Insertion an dem Handgriff des Hammers bei weitem mehr gehindert.

Um den Zweck dieses doppelten Mechanismus der Dämpfung übrigens noch besser zu übersehen, wollen wir den eigentlichen Nutzen der Membrana tympani secundaria an dem runden Fenster zuerst jetzt ins Auge fassen. Hyrtl hat schon auf die Neigung dieser Oeffnung aufmerksam gemacht und, auf die Untersuchung einer so großen Anzahl von Gehörorganen gestützt, die Vermuthung ausgesprochen, daß es gerade darauf abgesehen scheint, die Schallwellen der Luft in der Trommel von diesem Fenster möglichst abzuwenden¹⁾. Absolut ist dies bei

¹⁾ Hyrtl, l. c. p. 50.

dem kugelförmigen Fortschreiten der Wellen nicht möglich. Da sich jedoch die Wellen eben in der Richtung des ursprünglichen Stoßes am intensivsten fortpflanzen, so kann durch die Neigung des runden Fensters dessen Membran wenigstens aus dieser Linie gerückt, und so dem Einfluß der stärksten Wellen entzogen sein.

Schon daraus sieht man, daß dieser Weg der Schalleitung sehr ungünstig ist, weil diese Oeffnung durch ihre Neigung vor dem Andrang der Wellen überhaupt geschützt bleibt. Da aber hinter ihr eine unelastische Flüssigkeit steht, in welche sich die Schwingungen der Gehörknöchelchen fortpflanzen sollen, so muß besonders, um stärkere Schwingungen in dem Labyrinthwasser möglich zu machen und die der Gehörknöchelchen nicht zu stören, ein elastischer Verschuß des runden Fensters vorhanden sein. Diese Gegenöffnung des ovalen Fensters ist also eine nothwendige Folge der physikalischen Eigenschaft des Labyrinthwassers. Bei der Art und Weise, wie sich in der Luft der Trommelhöhle die Schallwelle ausbreitet, wird es unvermeidlich sein, daß die Membran des runden Fensters trotz ihrer ungünstigen Neigung doch von ihr getroffen wird. Damit nun auch noch die Intensität dieser Schwingungen weiter verringert werden könne, ist diese Membran verschiedener Spannung fähig, mit deren Zunahme natürlich die Intensität der aufgenommenen Stöße abnimmt.

So werden also folgende gleichzeitige Zustände in den Membranen des mittleren Ohres möglich:

1) Spannung der Membr. tympan. secund. durch die Contraction des Musculus stapedius, ohne Spannung des Trommelfells durch den Tensor tympani.

2) Mittlerer Grad der Spannung des Trommelfells durch extreme Wirkung des Steigbügelmuskels und höchster Grad der Spannung der Membran des runden Fensters, eben dadurch.

3) Höherer Grad der Spannung des Trommelfells durch den Tensor tympani, ohne bedeutende Spannung der anderen Membran bei Erschlaffung der Steigbügelmuskels.

4) Extremes Grad der Spannung in beiden Membranen in Folge gleichzeitiger Thätigkeit des Tensor tympani und stapedius.

Wird im letzten Fall ein möglichst hoher Grad der Dämpfung der Schallwellen vor und hinter dem Trommelfell erzielt, so trifft diese Dämpfung im dritten Fall mehr die Schallwellen vor als hinter dem Trommelfell, im zweiten hauptsächlich die in der Trommelhöhle, im ersten die letzteren ausschließlich. Daraus geht hervor, daß schon durch die bloßen Spannungsverschiedenheiten der Membranen viele Variationen der Dämpfung gegeben sind, die Intensität der dem Nerv zuletzt zugeführten Erschütterungen dadurch also mannigfach variirt werden kann.

Es sind aber noch andere Methoden der größeren oder geringeren Dämpfung bei der Anordnung dieser Theile denkbar. Bemerkenswerth scheint nämlich bei dem Menschen und vielen Säugethieren die Möglichkeit einer Drehung der Steigbügelplatte um ihr eines Ende. Bedenkt man, daß die Fortpflanzung einer Schwingung in der Richtung des ursprünglichen Stoßes am intensivsten ist, so kann durch solche Verrückungen der Steigbügelplatte der Schwingung eine Veränderung ihrer Richtung gegeben, und dadurch bald eine größere, bald eine geringere Summe von Nervenfasern in dem Labyrinth der Wirkung der Erschütterung unmittelbarer ausgesetzt werden.

Endlich ist die Form der Gelenkflächen ebenfalls nicht ohne Bedeutung.

Es sind dieselben nicht genau cylindrisch; die Summe der sich berührenden Punkte beider Flächen muß mit der Thätigkeit der Muskeln der Gehörknöchelchen wechseln. Geschieht dies, so wird der Schall in dem Maaß an Intensität verlieren, als die Summe der sich berührenden Punkte vermindert wird.

Ich muß mich hier noch einmal davor verwahren, als überschätze ich die Größe und Häufigkeit der transversalen Schwingungen des Trommelfelles, was man vielleicht aus einigen zuletzt gethanen Aeußerungen schließen könnte. So verhältnißmäßig selten sie auch vorkommen mögen, so kann ihr Entstehen nicht geläugnet und ihr Vorkommen bei gewissen Wellen nicht in Abrede gestellt werden. Im Früheren wurde bereits dargethan, in welchen Fällen allein eine transversale Schwingung entstehen kann; hier müssen wir auf die Correction gerade dieser Schwingungen hinweisen, welche für die Erregung einer Schallempfindung bei weitem werthloser und gleichgültiger sind als die Verdichtungswellen, auf welche zuletzt im Labyrinthwasser alle mit geeigneter Stärke dorthin gelangende Impulse reducirt werden müssen; und welche zweitens nicht allein gleichgültig, sondern auch schädlich werden können, indem bei der Heftigkeit der Schwingung, welche sie voraussetzen, Stöße auf die nicht comprimibare, wohl aber verschiebbare Flüssigkeitssäule des Labyrinthes ausgeübt würden, die mit Zerreißung des membranösen Verschlusses der Fenster im extremen Fall endigen könnten.

Die wichtigste Vorrichtung für die Hemmung der Trommelfellschwingung in transversaler Richtung liegt in der Befestigungsweise des Hammers.

In einer Spalte der mittleren Schicht des Trommelfelles ist der Hammergriff hineingeschoben, und seine Befestigung in demselben ragt sehr häufig weit über die Mitte des Trommelfelles herab. Dadurch aber allein könnte die Transversalschwingung doch nur sehr wenig beeinträchtigt werden. Wol kann ich die Schwingung des Felles einer Pauke oder Trommel sehr schwächen, wenn ich ein Stäbchen fest auf das Fell aufdrücke, wenig dagegen, wenn ich dasselbe darauf aufgelegt habe, wodurch es nur gezwungen wird, den Schwingungen des Felles zu folgen. Steht nun dieses Stäbchen in einer sehr beweglichen Verbindung mit einem zweiten, welches seinerseits fixirt ist, so wird es von dem Umfang der Beweglichkeit solcher Verbindung abhängen, in welchem Grade die Excursion des Felles gehemmt ist. Nun ist aber der Hammer, dieser Dämpfer des Trommelfelles, wirklich ziemlich fest aufgesetzt, weniger durch die Reihe beweglich verbundener Gehörknöchelchen, als vielmehr durch den Processus folii, welcher mit den Paukenknochen verwachsen ist. Dieser würde bei dem Hin- und Herschwingen des Trommelfelles der Stütz- oder Drehungs-Punkt sein, indem der Hammer die Bewegung eines zweiarmigen Hebels hätte. Schwingt der Griff nach innen, so müßte der Kopf nach außen gehen, wobei der Processus folii eine mit der Schwingungsgröße des Griffes wachsende Torsion erlitte ¹⁾.

Weiter ist schon die Stellung des Trommelfelles derartigen Schwingungen ungünstig, denn nie steht es senkrecht zur Achse des äußeren Gehörganges, ja hie und da mit ihr fast gleichgerichtet.

Man könnte glauben, daß dadurch schon hinreichend das innere Ohr vor solchen Schwingungen bewahrt sei. Gleichwohl aber glaube ich die Articulation als eine weitere Hülfsvorrichtung in dieser Beziehung ansehen und

¹⁾ Hyrtl, a. a. D. p. 97.

die Bemerkung J. Müller's gegen Hyrtl¹⁾ geltend machen zu müssen, daß nämlich die Nothwendigkeit einer gelenkigen Verbindung einzelner Knöchelchen, statt der Anlage eines einzigen ungegliederten Knochenstäbchens, nicht von der Gegenwart einer Muskulatur an ihnen abzuleiten sei, indem articulare Knöchelchen ohne letztere ebenfalls vorkommen, nämlich bei den Fröschen. Hier hätte die Articulation gar keinen Sinn, wäre sie nicht eben für die Beugungswellen des Trommelfelles berechnet. Auf der anderen Seite beweist die vergleichende Anatomie, daß nicht unumgänglich nothwendig ein Zerfallen des knöchernen Schallleiters in gelenkig verbundene Stücke an die Gegenwart eines Muskels, welcher als Trommelfellspanner wirkt, gebunden ist; denn auch an die cartilaginösen Fortsätze der Columella des Vogels heftet sich ein vom Hinterhauptsbein entspringender Muskel²⁾.

Schützen endlich dämpfende, auf der Außenseite des Trommelfells gelegene Medien, wie Federn, äußere Haut und Muskeln, Schuppen und dergl., oder die Kleinheit des Trommelfelles diese Membran vor dem Andrang zu heftiger Stöße, so wird die Einrichtung gegeneinander verschiebbarer Knöchelchen aufgegeben werden können. Ebenso kann die Muskulatur des Hammers entbehrt werden, wenn auf anderem Wege verschiedene Spannungsgrade des Trommelfelles sich beliebig hervorrufen lassen.

Bei dem Menschen ist die Möglichkeit gegeben, das Trommelfell mittelst Erweiterung und Verengerung des Brustkastens mehr oder weniger, ohne weiteres Zuthun des Tensor tympani, zu spannen, wenn man die Nase fest zuhält, und durch die Eustachische Trompete die Luft der Trommelhöhle verdünnt oder verdichtet. Im ersteren Fall wird das Trommelfell convex nach innen, im zweiten convex nach außen gedrängt, immer aber stärker gespannt. Die Chelonier³⁾ und Batrachier athmen aus Mangel an beweglichen Rippen bekanntlich ganz anders als die übrigen Thiere, nämlich so, daß sie die in dem Mund aufgenommene Luft bei willkürlich verschlossener Nasenöffnung in die Lunge pressen. In diesem willkürlichen Verschuß der Nase dieser Thiere liegt zugleich das Mittel, dem Trommelfell jeden beliebigen Grad der Spannung zu geben, dadurch daß bei verschlossener Nasenöffnung durch Contraction der Brust- und Bauchmuskeln die Luft verschieden stark in den Lungen, und damit zugleich auch in der Trommelhöhle comprimirt wird.

In gewisser Beziehung unterscheiden sich Beugungs- und Verdichtungswellen nur graduell. Bei beiden muß eine Bewegung der kleinsten Theilchen vorausgesetzt werden, welche im einen Fall in Entfernung und Näherung, im zweiten Fall in bloßer Verschiebung besteht. Die Bewegung der ersten Art ist viel schneller als die Bewegung der letzten⁴⁾. Beide Bewegungen schließen ferner einander keineswegs aus. Findet nun in beiden Fällen eine Bewegung statt, so interessirte uns hier nur zu wissen, ob durch Verdichtungswellen ein so großer mechanischer Effect geleistet werden könne, als die Bewegung der Gehörknöchelchen verlangt. Daß durch die unsichtbare moleculare Bewegung bei Longitudinalschwingungen ein sichtbarer mechanischer Ef-

¹⁾ Hyrtl, a. a. D. p. 88.

²⁾ Stannius, Lehrb. d. vergl. Anat. II. 294.

³⁾ Ich finde bei der Columella der Chelonier keine Muskeln wie bei der der Vögel, jene aber z. B. bei der Landschildkröte von einer sehnigen Scheide umgeben, wodurch die massiveren Anfangs- und Endstücke und das gebrechlichere Mittelstück zusammengehalten werden, jedoch so, daß eine zickzackförmige Einknickung dieser drei Theile sehr leicht erfolgen kann.

⁴⁾ Weber, Wellenlehre. p. 440 ff.

fect erzeugt werden kann, lehrt das Abfliegen des Sandes von Membranen, lehrt die Verschiebung und Gruppierung der Sandkörnchen auf der Länge nach geriebenen Glasröhren. Ist überhaupt eine solche weitere mechanische Wirkung so schwingender Körper möglich, so hängt es von der Beweglichkeit ebener mit ihnen in Contact befindlichen Körper ab, ob es wirklich zu einer Bewegung kommt oder nicht.

Ist nun auch an den Gehörknöchelchen vielleicht nie eine solche wahrnehmbar, so ist dies kein Beweis, daß sie überhaupt nie vorkommt, sondern eben nur, daß man sie nicht sieht. Für alle Bewegungen aber, welche zuletzt auf irgend welche Weise an dem Steigbügel erzeugt werden, ist durch dessen Anheftung bei dem Menschen eine sehr enge Gränze gesetzt: am einen Ende des Fußtrittes beträgt sie vom Niveau des ovalen Fensters nach rückwärts höchstens $\frac{1}{4}$ Linie, bei einzelnen Thiere ist sie geradezu Null, indem die Steigbügelplatte unverrückbar in das ovale Fenster eingeklebt ist.

Man sieht, daß es gar wenig die Absicht ist, eigentliche Erzitterungen des Steigbügels im ovalen Fenster zu gestatten, oder gar in bedeutenderem Umfang zu bezwecken. Die Verschiebungen der Flüssigkeitssäule des Labyrinthes würden aller Wahrscheinlichkeit nach viel zu schwach oder zu langsam und keineswegs congruent mit den Schallwellen sein, auf deren Perception doch die ganze Bildung des Gehörorganes hinzielt. Diejenigen Wellen dagegen, welche ein und dasselbe mit den von dem tönenden Körper ausgehenden und fortgepflanzten Stößen sind, werden die eigentlich Ton vermittelnden sein, und müssen das Labyrinthwasser nebst den darin ausgebreiteten Nerven mit der ganzen Stärke treffen, welche die Anordnung der festen dorthin gehenden Theile und die Leitungsgesetze durch die Medien vor dem Labyrinth gestatten. Die zweite Classe von Wellen (Beugungsschwingungen) sind nur eine dem fortgepflanzten Stoße nachfolgende Wirkung, daher von Weber secundäre Wellen genannt ¹⁾, deren gleichzeitiges Vorhandensein mit den ersteren oder primären für die Perception des Schalles bei der Organisation des Gehörorganes vollkommen gleichgültig ist. Trotzdem aber verdienen sie eine Berücksichtigung, weil es möglich wäre, daß sie für die Regulirung der Stimmung des ganzen akustischen Apparates eine Bedeutung hätten, worauf wir sogleich zu sprechen kommen werden.

Bisher beschäftigt wir uns bloß mit den verschiedenen Intensitätsgraden des Schalles und suchten zu beweisen, daß durch mancherlei Vorrichtungen des Gehörorganes nicht sowohl die absolute Intensitäts-Scala der äußeren Impulse, sondern eine dem Perceptionsvermögen des Nery entsprechende, der ersteren also nur proportionale den Fasern des Acusticus zugeführt werden solle.

Die zweite wesentliche Aufgabe unseres Organes ist aber zugleich, alle übrigen Qualitäten des Schalles in ihren Abstufungen zur Wahrnehmung zu bringen, und es muß zuerst entschieden werden, ob auch in dieser Beziehung bloß das relative oder das absolute Verhältniß derselben zu einander aufgefaßt wird.

Es ist von vorn herein nicht zu erwarten, daß es eine wesentliche Aufgabe des Gehörorganes wäre, außer der Intensität auch die übrigen Eigenschaften eines Schalles, seine Höhe, seinen Klang, seine Dauer weiter zu modificiren: im Gegentheil dürfen wir erwarten, daß es für uns bei dem Ohr

¹⁾ Weber, a. a. D. p. 442.

darauf wesentlich ankommt, die Succession der Stöße, wie sie einem Geräusch, einem Ton zukommt, auch genau ebenso zu percipiren, wie bei dem Auge die verschiedene Geschwindigkeit der Wellenbewegung des Aethers ebenfalls bis zur Retina hin gewahrt bleibt, um die einzelnen Farben von einander unterscheiden zu lassen. Es bleibt bei dem Ohr aber dennoch in Frage, ob nicht seine akustischen Apparate in dieser Beziehung wegen des Materials, aus dem sie allein hergestellt werden könnten, an einem gewissen Mangel leiden müssen, ähnlich wie bei dem Auge eine gewisse Chromasie ebenfalls unvermeidlich, gewiß aber nie Zweck der Anlage war.

Um dieses zu entscheiden, müssen wir zuerst sehen, was an einer Schallwelle bei ihrem Durchgang durch die einzelnen Theile des Gehörorganes geändert werden kann. An einer Welle unterscheiden wir ihre Dicke, ihre Breite, ihre Dauer und die Excursion der schwingenden kleinsten Theilchen, an welchen die Welle vorüber geht. —

Geräusche und Töne entstehen nie durch eine einzige Welle, sondern immer durch ein System von Wellen, welche einander mit einer gewissen Geschwindigkeit, Regelmäßigkeit oder Unregelmäßigkeit folgen. In welchen Modificationen der Wellen oder Wellensysteme der Klang seine Ursache habe, ist völlig unbekannt.

Was wir unter der Dicke einer Welle verstehen ist bereits erörtert. Sie ist ausdrückbar durch G/g , wenn g die Geschwindigkeit des Stoßes, welcher die Welle erregt, und G die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Mediums bedeutet, durch welche die Welle hindurchgeht. Wächst eines der beiden Glieder, so verändert sich natürlich in dem Maaß die Dicke der Welle. 340,88 Meter ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in atmosphärischer Luft von 16° C. 16 Stöße in der Secunde bilden den Ton c der 32-füßigen Orgelpfeife. Daraus berechnet sich die Dicke einer in ihr entstandenen Welle aus $\frac{340,88}{16} = 21,31$ Meter. Mit dieser Dicke pflanzt sie sich in der Luft fort, so lange diese die gleichen Eigenschaften behält.

1428 Meter beträgt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles im Wasser; der eben genannte Ton ginge durch dasselbe also mit einer Wellendicke, welche gleich wäre: $\frac{1428}{16} = 89,2$ Meter.

				für Luft:	für Wasser:	
Die Wellendicke	für das contra c	mit 32 Stößen	beträgt	10,155	44,6	Meter.
»	»	» große C	» 64 »	5,0775	22,3	»
»	»	» kleine c	» 128 »	2,53875	11,15	»
»	»	» \bar{c}	» 256 »	1,269	5,575	»
»	»	» \underline{c}	» 512 »	0,6345	2,7875	»
»	»	» $\equiv c$	» 1024 »	0,317	1,39	»

Die Dicke sämmtlicher durch die Luft zu dem Gehörorgan sich fortplanzender Wellen erfährt somit in dem Labyrinthwasser eine proportionale Vergrößerung. Dies ist jedoch in Beziehung auf die Wellensysteme ganz gleichgültig. Wir wissen (cf. oben p. 362), daß mit der Dicke der Welle die Excursion der schwingenden Theilchen, somit also auch die Intensität der Schallempfindung, soweit sie davon bedingt ist, nicht zusammenhängt; daß die relativen Abstände der einzelnen Verdichtungsmaxima, welche die Tonhöhe bestimmen, ebenfalls dadurch nicht verändert werden können. Die

Dauer des Eindrucks einer Welle in irgend einem Punkt des Labyrinthes kann dadurch ebenfalls nicht verändert werden, da diese allein abhängig ist von der Dauer der Schwingung des tönenden Körpers; sie beträgt $\frac{1}{16}$ beim tiefsten C, und $\frac{1}{1024}$ Secunde bei $\overset{=}{c}$ der Orgelpfeife: gleichgültig, in welchem Medium sich der Nerv befindet.

Die Vergrößerung der Wellendicke in dem Labyrinthwasser hat das Gute, daß sämtliche Theile desselben so gut, oder für die höchsten Töne nahe zu so gut wie gleichzeitig in dieselben Zustände bei dem Vorüberziehen der Welle gebracht werden. Denn was ist auch die größte Höhe einer Schnecke von 4,121''' bei *Physeter macrocephalus*, oder ihre größte Weite 7,00''' bei *Balaena mysticetus*, die größte Dicke einer Ampulle von 1,85''' wie bei dem afrikanischen Elephanten gegen eine Wellendicke von 44 Meter oder selbst noch von 1 Meter?

Die Breite einer Welle kann bei deren kugelförmigem Fortschreiten nur in sofern in Betracht kommen, als zu der Erschütterung des Nerven von der kugelförmigen Welle der äußeren Luft nur ein gewisser Theil benutzt wird, indem nämlich in das Labyrinthwasser keine breitere Welle eintreten kann als die Oeffnung des Fensters zuläßt. Da nun der Raum unmittelbar hinter dem ovalen Fenster in allen Fällen einen größeren Längs- und Breiten-Durchmesser hat als diese Oeffnung, so werden bei dem kugelförmigen Fortschreiten der Wellen hinter dem Fenster die Erschütterungen sich wohl allerwärts in diesem Raum verbreiten, jedoch mit beträchtlicher Verminderung ihrer Größe, ähnlich wie das Licht mittelst eines Zerstreungsglases einen großen Raum zu erfüllen vermag, aber jeden einzelnen Punkt in dem Maaß weniger hell erleuchtet, als die Zerstreungskraft des Glases das Licht in weiterem Umfang verbreitet. Dadurch wird die Intensität des letzten Impulses verringert, ohne daß sich an den übrigen Eigenschaften der Welle etwas ändert.

Nachdem wir die Veränderungen alle kennen gelernt haben, welche eine Welle erleiden kann, ehe sie die Ausbreitung des Acusticus trifft, entsteht zuletzt noch die Frage, ob an den Wellensystemen durch die vor dem Nerv gelegenen Organe unvermeidliche Veränderungen eintreten, ob mit einem Wort ein Selbsttönen derselben entstehen kann, wobei natürlich der ganze Umfang der unterscheidbaren Töne zunächst von diesen, in dem Ohr eigentlich erst hervorgerufenen, abhinge. Offenbar aber kommt es darauf an, dieses Selbsttönen der einzelnen Theile des Gehörorganes zu vermeiden, wodurch immer der Grundton derselben eine ungebührliche Präponderanz bekäme. Vor allem kommt hierbei das Trommelfell in Betracht. Seebeck¹⁾ hat darauf hingewiesen, daß man dasselbe nicht als ein Instrument für sich, sondern mit der Trommelhöhle, den Gehörknöchelchen u. s. w. zu einem complicirteren Apparat zusammengesetzt auffassen müsse. Besonders die Verbindung, welche durch die Gehörknöchelchen zwischen Trommelfell und Labyrinthwasser hergestellt ist, wird geeignet sein, die Gleichmäßigkeit des Mitschwingens des Trommelfelles für eine große Reihe von Tönen zu ermöglichen. Wird nämlich eine kleine etwas stramm gespannte Membran angeschlagen, so giebt sie einen ziemlich klaren Ton. Wird derselbe mit einem anderen Körper in der Nähe der Membran angegeben, so geräth sie in sehr lebhaftem Schwingungen, welche jedoch rasch ermäßigt werden, sobald man den Ton um weniges

¹⁾ Poggenдорf's Annal. Bd. LXVIII. p. 450 ff.

(um $\frac{1}{2}$, oder $\frac{1}{4}$ Ton) ändert, und sofort verschwinden, wenn diese Abänderung noch mehr wächst. Nur bei 2, 3, 4 mal langsameren Schwingungen entstehen aufs neue wieder Schwingungen; dabei tönt aber die Membran ihren eigenen Ton, nicht die angestimmten tieferen Töne. Dem zur Folge befände sich unser Gehör durch das Trommelfell an sich in den äußerst ungünstigen Verhältnissen, daß es nämlich einen einzigen Ton sehr stark, Töne, welche darüber oder darunter lägen, in so schnell abnehmender Stärke auffassen würde, daß der Umfang der Scala hörbarer Töne außerordentlich klein bleiben müßte, was doch in der That nicht der Fall ist.

Auch findet die Erfahrung, daß große Membranen bei einem mittleren Grad der Spannung von einer mäßigen Tiefe an aufwärts alle Tonabstufungen mehr oder weniger deutlich wiederzugeben vermögen, keine Anwendung auf das so kleine und ziemlich straffgespannte Trommelfell, außer etwa bei sehr hohen Tönen, wobei die Stärke der Wahrnehmung ebenfalls noch sehr ungleichmäßig sein würde.

Die von Seebeck entwickelte ¹⁾ Theorie des Mittöntens liegt seiner Ansicht über das Ausfunktsmittel zu Grunde, welches für jene außerdem so ungünstigen Verhältnisse des Trommelfelles in der Natur getroffen ist. Es besteht nämlich in dem Widerstand der zwischen ovales Fenster und Trommelfell gestimmten Reihe von Gehörknöchelchen. Durch sie gränzt das Trommelfell so gut wie direct an die Widerstand leistende Oberfläche des Labyrinthwassers. Je größer der Widerstand ist, um so geringer wird der Einfluss, welchen die Höhe des erregenden Tones auf die Stärke des Mitschwingens hat. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, eine große Reihe von Tönen aufzufassen und auch bei rascher Aufeinanderfolge von einander zu unterscheiden.

Schon aus Müller's Versuchen ist bekannt, daß je stärker das Trommelfell gespannt wird, um so mehr die Fähigkeit verloren geht, tiefere Töne zu vernehmen. Es werden aber bei noch höheren Spannungsgraden auch die hohen Töne sehr undeutlich, wenn sie nicht gleichzeitig sehr große Intensität besitzen. Darin liegt ein weiterer Vortheil des Apparates, daß die Scala der Trommelfell-Spannung mit der Scala der Töne in einer gewissen Beziehung steht; denn dadurch ist es möglich, worauf es meist ankommt, diese oder jene Töne vor anderen deutlich zu vernehmen. Ziele nämlich eine Spannungsscala mit der absteigenden Intensitätsscala der Töne überhaupt zusammen, so ginge gerade ein Hauptvortheil der willkürlichen Spannung verloren.

Jenes Mitschwingen des Trommelfelles darf nicht als ein selbstständiges Forttönen der Membran betrachtet werden, wodurch eben jede Sicherheit der Auffassung verschiedener Töne verloren ginge. Wäre ein solches Forttönen möglich, so könnte bei gleichmäßiger Fortdauer der Erregung von Schwingungen die Stärke des empfundenen Tones wachsen, was nicht geschieht; es könnten Töne durch Stöße entstehen, welche nicht so regelmäßig und geschwind erfolgen, daß sie selbst einen Ton bilden, was ebenfalls nicht stattfindet, wenn man nicht etwa die seltenen Fälle eines hellen Klingens bei einem sehr starken Knall hieher rechnen will, endlich würden die Klangfiguren auf dem Trommelfell eine Regelmäßigkeit zeigen, welche sie nicht besitzen ²⁾.

Auch von der Luft in der Trommelhöhle wird sich bei der Kleinheit des Raumes, der sie einschließt, schwer beweisen lassen, daß sie des Selbsttönens

¹⁾ Poggendorf's. Annal. Bd. LXII. 289.

²⁾ Weber, a. a. O. p. 538.

fähig ist, ebenso wenig als die Luft der Eustachischen Trompete dies voraussetzen läßt.

Man wird nach alle dem vermuthen dürfen, daß an den Wellenzügen, welche Töne und Geräusche erzeugen, in dem Ohr möglichst wenig verändert werde, daß also in dem Labyrinthwasser eine in Beziehung auf die Succession der Schwingungen nicht bloß relativ, sondern absolut gleiche Reihe ablaufe, wie in dem tonerzeugenden Körper.

Da wir nicht wissen, von welchen Eigenschaften der Wellen der Klang eines Schalles oder Tones abhängt, können wir auch nicht untersuchen, ob von ihm in der Beziehung seiner Auffassung zu seinem Entstehen das Nämliche gilt, wie von dem musikalischen Werth eines Tones.

Liegt in den akustischen Apparaten die Fähigkeit, sich gewissen äußeren Impulsen zu accomodiren, ist es zur Auffassung der Verschiedenheit dieser Impulse nothwendig, daß gewisse Veränderungen an einzelnen Theilen des Gehörorganes vor sich gehen, so drängt sich die Frage auf: wie ist es möglich, daß bei der im Verhältniß zum Umfang des ganzen Gehörorganes doch so großen Geschwindigkeit der Schallwellen immer noch rechtzeitig die geeigneten Vorkehrungen zur Adaption für den durchgehenden Wellenzug getroffen werden können?

Im Allgemeinen giebt es drei Möglichkeiten, an die gedacht werden kann. Zwei davon gründen sich auf die Nervenwirkung, die dritte auf einen in gewissen Fällen denkbaren, rein mechanischen Effect. Wir wissen, daß die Verengerung der Pupille auf einen reflectorischen Act der Nerventhätigkeit basirt. Etwas Aehnliches könnte in dem Ohr ebenfalls stattfinden, und zwar auf doppeltem Wege: der eine Weg ginge durch die empfindenden Fasern des Acusticus zu dem Centrum, und von dort zu den motorischen Nerven der Muskeln der Gehörknöchelchen; der zweite Weg von den in großer Menge in dem äußeren Ohr, Gehörgang und der äußeren Oberfläche des Trommelfelles verbreiteten sensitiven Fasern des Trigemini und anderer Empfindungsnerven eben dahin.

Wir wollen diese beiden Fälle zuerst prüfen. Geht der Weg des Reflexes durch den Acusticus, so setzt dies voraus, daß dieser bereits durch den Anfang des Wellenzuges getroffen worden, für welchen die Accomodation mit großer Schnelligkeit hergestellt werden kann. Geschieht dies auch unbewußt, so kann es doch rasch geschehen, da die betreffenden Muskeln mit Querstreifen versehen sind, und das »unbewußt« ist hier in demselben Sinne zu nehmen, in dem wir sagen können, daß die dem Willen unterworfenen Respirationsmuskeln ebenfalls für gewöhnlich unbewußt ihre Contractionszustände ändern, und weiter in dem Sinne, in welchem wir eigentlich von jeder Muskelbewegung sagen können, sie geschähe unbewußt, indem Jedem, welcher die anatomischen Verhältnisse nicht kennt, diese Unkenntniß nichts schadet, weil er den Effect des Willens kennen lernen kann, ohne die Mittel zu ahnen, durch welche der Effect herbeigeführt wird. Zudem fühlen wir, wie schon erwähnt, bei dem Horchen im Innern des Ohres eine gewisse Veränderung, die mit dem Willensact ebenso zusammenhängt, wie das Gefühl der Anstrengung bei irgend einem anderen gegen die Muskelthätigkeit gerichteten gesteigerten geistigen Impuls. Geschieht dieser Reflex auch außerordentlich schnell, so kann er doch nur nützen, wenn mehr als eine, einem einzigen Impuls auf den Gehörnerv entsprechende Welle das Gehörorgan passirt. Hier wiederholt sich dieselbe früher schon angeregte Frage: ob sich nämlich ein auf ein elastisches Medium ausgeübter einmaliger Stoß ohne mitfolgende Wellenbewegung in demselben

fortpflanzen könne? ob es denkbar sei, daß ein solches Molecül momentan zur vollkommenen Ruhe zurückkehren könne, sobald die Wirkung des Stoßes an ihm vorübergegangen? Der Wirkung der Molecularkräfte zu Folge scheint mir die Möglichkeit in geradem Verhältniß zur Vollkommenheit und im umgekehrten zur Stärke der Elasticität eines Körpers zu stehen. Mag sich nun auch immer der Stoß zweier zusammenfahrender Luftschichten durch die Atmosphäre ohne Erregung eines größeren Wellenzuges bewegen, so wird die Entstehung eines solchen kaum vermeidlich sein, wenn der Stoß bis zu dem Trommelfell fortgepflanzt worden. Das Klirren der Fenster, das Zittern der Mauern, ja auch die Bebenungen an unserer eigenen Brustwandung in solchen Fällen sprechen deutlich genug für die Annahme von Schwingungen des Trommelfelles, welche nicht momentan wie der Stoß sind, sondern denselben kürzere oder längere Zeit überdauern können. Sind es also in solchen Fällen Reizen von Impulsen, welche den Gehörnerv treffen, so wird die Wirkung der allerersten auf ihn unvermeidlich und nur für die unmittelbar folgenden eine Vorkehrung zur Abwehr oder schärferen Auffassung auf diesem Weg des Reflexes möglich sein.

Ist nun aber der Impuls von so großer Intensität, daß schon die erste Einwirkung auf den Nerv höchst nachtheilig erachtet werden muß, so würde die Möglichkeit, ihn durch Apparate abzuhalten, welche vor dem Nerv liegen, nichts mehr nützen. Es könnte für solche Fälle der Ausweg getroffen sein, daß der Reflex auf dem anderen Weg zu Stande käme, welchen wir oben angedeutet haben. Besonders der äußere Gehörgang ist außerordentlich reich mit höchst empfindlichen Nerven versorgt, woher der unerträgliche Krüchel, wenn die Fläche oder nur deren zarte gegen die Achse des Gehörganges gerichtete Härchen berührt werden.

Es liegen meines Wissens zwar keine directen Experimente vor, um zu entscheiden, ob auf Reizung dieser Fläche eine stärkere Spannung des Trommelfelles eintritt, allein der Versuch, welchen man jeden Augenblick an sich selbst machen kann, scheint diese Vermuthung zu bestätigen. Nähert man nämlich einen Körper dieser Fläche und berührt leise die Härchen, so entsteht außer einem gewissen Schauer (die directe Folge des Krüchels) ein Gefühl tiefer im Ohr, dem vollkommen ähnlich, welches man bei dem Horchen, bei willkürlicher Spannung des Trommelfelles hat.

Daß Wellen, welche das Trommelfell in starke Schwingungen versetzen können, auch Vibrationen der feinen kurzen Härchen hervorrufen werden, liegt gewiß im Bereich der Möglichkeit; daß ferner bei dem ziemlichen Weg der Welle vom Eingang des Gehörganges bis zum Trommelfell eine Zeit verstreicht, ist gewiß, und daß bei der Schnelligkeit der Nervenleitung im Gegensatz zur verhältnißmäßig großen Langsamkeit der Schallwellen die letzteren von der Erregung der motorischen Nerven überholt werden, ist nichts Unmögliches. Eine andere Frage aber ist: kann eine mechanische Vorkehrung, wie die Spannung des Trommelfelles, welche natürlich viel mehr Zeit erfordert, als die Molecularveränderung der Nervensubstanz, schneller getroffen werden, als die Schallwelle das Trommelfell erreicht? Die von Helmholtz¹⁾ angestellten Messungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenreizung können uns hier als Anhaltspunkt dienen. Zwischen Application des Reizes an dem 50 — 60 Millim. langen Hüftnerve eines Frosches und

¹⁾ Monatsbericht der Berl. Akad. 1850 Januar.

dem mechanischen Effect der Reizung (Hebung eines Gewichtes von beträchtlicher Größe, 100 und mehr Gramm) verstrich eine Zeit von 0,0014—0,0020 Secunden. Legt man der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft bei 16° C. die Zahl 340,88 Meter für die Secunde zu Grunde, der Länge des äußeren Gehörganges für den Erwachsenen 24,816 Millim., so braucht der Schall, um diesen Raum zu passiren, 0,00007 Secunden.

Wollten wir auch die größere Nervenbahn in unserem Falle ganz vernachlässigen, die veränderte Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der höher temperirten Luft des äußeren Gehörganges nicht in Rechnung ziehen, und den geforderten mechanischen Effect der Trommelfellspannung weit unter die Größe herabdrücken, welche dem Heben von 100 Gramm entspricht, so dürfte es doch schwer glaublich sein, daß dieser verlangte mechanische Effect noch früher zu Stande komme, als die Welle an das Trommelfell anschlägt.

Kommt also auch auf diesem Weg ein Reflex zu Stande, so kann er auch nur wie im ersten Fall für längere Wellenzüge einen Nutzen haben.

Nun bleibt noch die dritte Möglichkeit übrig, welche in Betracht gezogen werden muß. Es ist nämlich zu untersuchen, ob der Stoß einer Schallwelle selbst einen mechanischen Effect erzeugen kann, durch welchen in dem akustischen Apparat eine solche Veränderung entsteht, wie sie die Aufnahme des Impulses von Seiten des Acusticus verlangt. In wie weit die gegenseitige Einknickung der Gehörknöchelchen gegeneinander die zu heftigen Wirkungen großer Beugungswellen bis zu einem gewissen Punkt neutralisiren, wie überhaupt die Intensität der Schwingungen verringert werden könne, haben wir oben schon besprochen. Es ließe sich aber auch denken, daß durch die Schallwellen selbst auf mechanischem Weg die Spannungsgrade des Trommelfelles verändert werden könnten. Bei einer frei über einen Ring gespannten Membran ist dies freilich nicht denkbar, wenn die Intensität des Schalles nicht eine sehr große Höhe bereits erreicht hat, und auch dann noch wird die Elasticität der Membran allein die Rückschwingung mit großer Schnelligkeit bewerkstelligen. Denken wir uns jetzt aber einen Muskel an dem einen Ende frei aufgehängt, an dem anderen mit einem Gewicht belastet, so wird derselbe dem Grad seiner Elasticität entsprechend dadurch ausgedehnt. In dem Moment, in welchem wir das Gewicht entfernen, zieht sich der Muskel zusammen; legen wir das Gewicht wieder auf, so wird er wieder ausgedehnt. Je kürzere Zeit wir das Gewicht wirken lassen, um so unvollkommener wird von einem gewissen Moment an die Verlängerung des Muskels, und sie kann bei einer gewissen Schnelligkeit des Wechsels Null werden, wenn die Schnelligkeit den Grad erreicht hat, daß die Trägheit der Masse in dem Zeittheilchen, während dem das Gewicht angehängt bleibt, nicht mehr überwunden werden kann. Wenden wir dies auf das Trommelfell und seinen Spannmuskel an, so wirkt die Elasticität der Membran als Gewicht, welches an dem Tensor tympani zieht.

Eine Schallwelle, welche gegen die Außenfläche des Trommelfelles gerichtet ist, wirkt, wenn sie eine Beugungsschwingung des Trommelfelles nach innen überhaupt herbeiführen kann, ebenso, als ob in diesem Moment ein Theil des an dem Tensor tympani hängenden Gewichtes entfernt würde. Die Elasticität des Muskels bekommt dadurch ein gewisses Uebergewicht, indem seine Zugkraft von dem äußeren Druck der Welle unterstützt wird. Je schneller nun die in gleichem Sinne wirkenden Impulse der nächsten Wellen einander folgen, um so kleiner wird der Zeitraum für die Rückschwingung, bis diese nur in sehr geringem Grade eintreten kann, weil sich ihr die Trägheit

der Masse in den Weg legt, welche in einem so kurzen Moment, wie das Intervall zweier Stöße eines sehr hohen Tones (etwa $\frac{1}{10000}$ Secunde) ist, unmöglich überwunden werden kann. Nun ist der Zug des elastischen Muskels eine stetig wirkende Kraft, die es möglich macht, daß sich seine Wirkung immer genau nach den kleinsten Unterschieden in der Größe der Intervalle je zweier Impulse richtete, daß, mit anderen Worten, der Spannungsgrad des Trommelfelles dadurch immer der Höhe des Tones accommodirt würde.

Derartige Vorkehrungen werden durch die primären Wellen selbst wohl schwerlich je in weiterem Umfang getroffen werden können. Doch kennen wir die Feinheit des ganzen Mechanismus zu wenig, um von vornweg die Unmöglichkeit behaupten zu können, daß schwache Erzitterungen, welche jene Wellen des primären Stoßes begleiten, nicht noch Effecte erzeugen könnten, welche Modificationen der Schallleitung im Gefolge hätten.

IV. Der akustische Nerv.

1) Anatomisches.

Es ist von Wichtigkeit, zu erfahren, unter welchen Bedingungen den Fasern des Sinnesnerv zunächst die Schallschwingungen zugeführt werden. Dazu ist uns die Kenntniß seiner Endausbreitung und das Lagerungsverhältniß zu den akustischen Apparaten nothwendig. Verlauf des Stammes und Ursprungsstelle im Gehirn ist dagegen für das eigentlich Akustische von keinem Belang. Denn in dem Moment, in welchem die Schallwelle den Acusticus getroffen hat, hat sie ihre Bedeutung als Schallwelle auch verloren. Der Vorgang in dem Nerv, welcher die Tonempfindung vermittelt, ist so weit von dem Vorgang in der schallleitenden Substanz diesseit des Nerven verschieden, als der chemische Act der Verbrennung eines Endstückes des Empfindungsnerven von dem Proceß in ihm, welcher Schmerz verursacht.

Die ganze Untersuchung zerfällt demnach bloß in eine histologische, wobei besonders der Werth der auf diesem Gebiete aufgefundenen Thatsachen und gestellten Probleme in akustischer Beziehung abgeschätzt werden muß, und in eine topographische, welche die Verhältnisse der Lage der Nerven zu den weiteren physikalischen Apparaten in eben dieser Beziehung würdigt.

Halten wir uns zunächst an gewisse Eigenthümlichkeiten des Acusticus, durch welche er sich von den übrigen Nerven unterscheidet, so finden wir seine Primittiofasern allerdings sehr fein, 0,002—0,005^{'''} messend, aber bei weitem nicht von solcher Dünne wie z. B. die Sehnervenfaser in der Retina, welche einen Durchmesser von 0,0015^{'''}—0,0002^{'''} zeigen. Ein äußerst zartes Nerven macht schon die Fasern des Stammes unseres Nerven sehr leicht zerstörbar. Man könnte demnach geneigt sein anzunehmen, daß der hier vielleicht mehr als anderwärts verflüssigte Inhalt in einer Beziehung zu den Schwingungen stehe, welche ihm von dem Labyrinthwasser mitgetheilt werden, müßten wir nicht annehmen, der eigentlich Ton-Empfindung erzeugende Vorgang in dem Nerv sei von einer Molecularbewegung ganz anderer Natur begleitet als der ist, welcher als Verdichtungs- und Verdünnungswelle in dem Medium vor dem Nerv auftritt. Gleichwohl aber wird wenigstens diese Zartheit in der Structur der Fasern bei ihrer Endausbreitung die Aufnahme des immer nur in Verdichtungs- oder Verdünnungswellen bestehenden Impulses begün-

stigen. Mit Recht hebt schon J. Müller die annähernd homogene Beschaffenheit des Labyrinthwassers und des darin suspendirten Nerven hervor, um daraus die leichte Uebertragbarkeit der Schwingungen jenes auf diesen zu erklären; doch kann niemals der zarte Bau der Primitivfasern im Stamme des Acusticus in irgend welche Beziehung zu einer Schalleitung in ihm selbst etwa gesetzt werden, vielmehr können wir hiefür nur einen auf die eigenthümliche Nervenwirkung bezüglichen Grund auffinden, welcher in der Gegenwart von Nervenzellen zu suchen ist, die sich erwiesener Maßen in dem N. vestibuli (Wappenheim), in dem Vorhof, an dem Nerv der Ampullen und Säckchen (Wappenheim und Corti) finden. Die Berührung von Primitivfasern und Nervenzellen läßt ja auch an so vielen anderen Stellen, z. B. den Fasern der motorischen und sensiblen Wurzeln, eine solche Verschmälerung der ersteren auffinden, und daß es in der Peripherie auf eine Verzüngung der Faser abgesehen ist, findet sich überall in der Endausbreitung der Nerven. Bei den höheren Sinnesnerven, wo Centrum und Peripherie so nahe beieinander liegen, wo, wenn ich mich so ausdrücken darf, der verschmälernde Einfluß der Nervenzellen sich auch noch im Verlauf der Ausbreitung geltend macht, müssen die Durchmesser der Fasern in sehr geringen Breiten gehalten bleiben. So werthvoll ihre Zartheit daher für die spezifische Nervenleitung auch sein mag: den eigentlich akustischen Zwecken zu liebe werden sie schwerlich gerade so organisiert sein. Denn selbst auch die Feinheit der Fasern in der Endausbreitung dürfte uns nicht so wichtig erscheinen, wenn wir bedenken, mit welcher Leichtigkeit auch an dicke Membranen die Schwingungen des Wassers übergehen (J. Müller). Als unmittelbare Fortsetzung des embryonalen Medullarrohres, als welche wir den Acusticus wie den Opticus seiner Entwicklungsweise nach ansehen müssen, besitzen diese Nerven daher allein ihren zarten Bau. Sie charakterisiren sich auch durch eine weitere Eigenthümlichkeit als Centralgebilde, was von großem Interesse für die Erledigung der Frage ist, wo der Sinnesindruck als Ganzes zu Stande kommt.

Diese zweite Eigenthümlichkeit liegt nämlich in den Vorkommen von Nervenzellen (Ganglienkugeln) sowohl im Verlauf der Nerven, als auch von bipolaren, kleineren, zarten, blassen Ganglienkugeln in der Ausbreitung auf der Lamina spiralis bei Sängern (Corti). Die beiden Fortsätze der Kugeln gingen in dunkelrandige Nervenfasern über. (Tab. II. Fig. 12.)

Es ist einleuchtend, daß auch diese Eigenthümlichkeit in keiner Beziehung zu dem akustischen Vorgang steht.

Was die Endausbreitung betrifft, so wagte bis jetzt keine unserer Autoritäten in neuerer Zeit eine Entscheidung der Frage: ob Theilungen oder Schlingen? Eines oder das Andere, oder Beides zugleich scheint allgemein postulirt zu werden. Beim Hecht und beim Rochen fand R. Wagner schlingenförmige Umbiegungen, wie sie in den Jeones naturgetreu wiedergegeben sind; Theilungen beobachtete Czermak¹⁾ an den Ampullen und Säckchen des Gehörorganes vom Stör.

Von Herrn Hofrath Wagner aufgefordert, gerade hierauf mein Augenmerk in vorliegender Untersuchung besonders zu richten, untersuchte ich die Ausbreitungen des Acusticus im Gehörorgan der Frösche, des Hechtes, der Taube, der Gans, des Meerschweinchens, der Maus, des Kalbes, Schweines und einiger menschlicher Leichen. Da die Anzahl der verschiedenen Thierspezies zu gering ist, als daß ich meine gemachten Beobachtungen in einer ab-

¹⁾ Zeitschrift f. wiss. Zool. II. p. 105.

geschlossnen vergleichend anatomischen Skizze von einiger Vollständigkeit mittheilen könnte, eine durchgeführte histologische Untersuchung aller Theile hier so wenig am Platz wäre, als eine ausführliche anatomische Demonstration des Gehörorganes, so will ich einen anderen Weg einschlagen, und zuerst von dem Arrangement der Nervenfasern, dann von der Endigungsweise und endlich von den weiteren charakteristischen Elementen im Allgemeinen sprechen.

Das Arrangement der Fasern ist ein in den verschiedenen Theilen des Gehörorganes charakteristisch verschiedenes. Ein Uebergang von diffusen Netzen zu möglichstem Parallelismus der Fasern läßt sich stufenweise verfolgen, indem beide Extreme vermittelt werden durch eine pinselförmige Ausstrahlung. Je größer die Divergenz der einzelnen Fasern, desto geringer ist die Summe der auf einer bestimmten Fläche ausgebreiteten Nerven.

Die erste Form ist charakteristisch für den Nerv des Vorhofes, und am besten zu beobachten bei dem Fisch (Hecht), wie sie auf Tab. II. Fig. 2 bei schwacher Vergrößerung und auffallendem Licht wiedergegeben ist. Im Wesentlichen ist sie dieselbe in den drei Abtheilungen des Vorhofes, nämlich in der für den großen und den kleinen Gehörstein, sowie in dem kleinen flaschenförmigen Divertikel. Man sieht z. B. im kleineren Steinsack aus größeren Zweigen des Nerven Bündel von Fasern eintreten, welche sich sofort, an dieser Stelle meist umlagert von dichtem Pigment, auf einem länglichen Vorsprung der Membran des Säckchens theils untereinander verflochten, theils in auseinanderfahrende Büschel von Fasern auflösen. Die größeren Geflechte haben sehr häufig ziemlich umfangreiche Knotenpunkte z. B. in *b*, welche man, bei schwacher Vergrößerung betrachtet, als dadurch entstanden sich denken könnte, daß die in dem Stämmchen *d* enger aneinander gelagerten Fasern vor ihrer letzten Ausbreitung in *c* schon anfangen auseinander zu fahren; stärkere Vergrößerungen überzeugen aber, daß hier die Fasern eben so eng liegen, allein an Zahl vermehrt durch andere, welche mit ersteren zu einer eng geflochtenen Matte sich vereinigen. (cf. Tab. II. Fig. 3.) Sehr eigenthümlich ist der Verlauf vieler Fasern in dem Vorhof der Fische sowohl als der Vögel in Beziehung auf die Ebenen, in welchen er geschieht. So wie nämlich die Bündelchen ihre Fasern, welche meist einzeln, höchstens zu drei oder vier noch eine Strecke nebeneinander laufen, zu Netzen verflochten haben, biegen sie oft sehr rasch von einer Ebene in die andere um, bilden also scharfe Kniee, so daß man durch die eine horizontallaufende Faser auf den Durchschnitt des umgebogenen Theiles sieht, woraus einen Augenblick das Bild einer Zelle mit ihrem Kern als Ausgangspunkt einer Faser entsteht, welches man aber bei veränderter Einstellung bald richtig deuten lernt. Nicht wenig wird übrigens dadurch die Verfolgung einer bestimmten Faser erschwert; denn sehr häufig kreuzen sich gerade an diesen Stellen auch andere Fasern mit der ersteren. Im Vorhof des Vogels nimmt diese Anordnung eine ganz bestimmte Stelle ein. Hier beschreibt nämlich der Nervenast einen Bogen, von welchem aus in der Richtung seiner Normalen einzelne Büschelchen von Fasern austreten. Diese bilden untereinander selten Anastomosen, welche dann immer nur durch einzelne Primitivfasern hergestellt werden. Die Zwischenräume je zweier Bündel sind in der Regel größer als die letzteren breit. Gegen die Gränze der Ausbreitung hin stoßen die fächerförmig divergirenden Fasern aneinander, andere Fasern begeben sich in den Raum auf der concaven Seite des Bogens. In diesem Raum bis gegen eine gedachte Sehne jenes Bogens hin findet sich jener häufige Wechsel der Ebenen, in welchen die einzelnen Fasern verlaufen.

Die zweite Art der Anordnung ist die pinselförmige, repräsentirt durch

die Ausbreitung in den Ampullen aller Thiere, welche ich untersucht habe, und dargestellt vom Hecht auf Tab. II. Fig. 9 b. Auch hier geschieht die Ausbreitung auf einem Septum, wie schon Steifensand angiebt. Die Kleinheit des letzteren gestattet jedoch keine solche Ausbreitung wie im Vorhof, und es ist dies die einzige Stelle in dem Bogengang, an welcher Fasern des Acusticus getroffen werden. Nicht allein enger aneinander, sondern auch dicht übereinander liegen hier die Fasern als im Vorhof.

Die dritte Anordnung ist die mit möglichster Wahrung des Parallelismus der Fasern bei ihrer Endausbreitung, eine Anordnung, bei welcher, wie man sieht, die größte Fasermenge auf dem kleinsten Raum zusammengedrängt sein kann. Sie ist repräsentirt von dem Schneckenast des Hörnerv (cf. Tab. II. Fig. 11 aus der Schnecke des Menschen).

Es kommen wohl auch ziemlich parallele Faserbündel in dem Vorhof des Vogels vor, allein erstlich divergiren sie größtentheils an ihrer Endausbreitung, zweitens liegen sie hier durchaus nicht so dicht und in Massen gehäuft wie auf dem Spiralblatt der Schnecke.

In der Flasche des Vogels finden sich auch parallele Fasern in einzelnen Bündeln; letztere aber stehen mehr oder weniger auseinander und lassen oft beträchtliche Zwischenräume zwischen sich. Dieses findet in dem inneren Theil der Flasche vor ihrer kolbigen Umbiegung statt. An dieser Stelle aber, bis zu welcher der größere Theil der Fasern vordringt, treten die einzelnen Bündel reiserartig auseinander (Tab. II. Fig. 6), bilden unter einander Plexus, und lassen schließlich ihre Fasern pinselartig auseinander treten.

Die Verschiedenheit der Anordnung ist bedingt durch das Verhältniß des Flächenraumes, in welchem die Ausbreitung geschehen soll, zu der Zahl der Primitivfasern, welche auf ihm enden. Am günstigsten hiefür ist die Schnecke gebaut, deren Fasersumme nicht von einem, sondern von vielen Punkten aus auf dem Spiralblatt sofort ihrer Endausbreitung zueilen kann.

Die Endausbreitung des Hörnerv überhaupt ist erst in jüngster Zeit etwas genauer erforscht worden, ohne jedoch vollkommen erkannt worden zu sein, und so viel ich selbst auch Mühe und Zeit auf diesen Gegenstand gewandt habe, so bin ich doch nicht zu dem Resultat gelangt, eine für alle Fasern geltende Endigungsweise aufgefunden zu haben. Essigsäure, verdünnte Chromsäure, Sublimatlösung und indifferente Flüssigkeiten, Zuckerwasser u. benutzte ich und fand besonders die beiden ersten Substanzen am meisten empfehlenswerth. (Zur Darstellung des Achscylinders empfiehlt Czermak besonders die Sublimatlösung.¹⁾)

Bei dem Frosch giebt es viele Schlingen an der Ausbreitung des Acusticus, sowohl in dem Vorhof als in den Ampullen, welche allem Anschein nach terminale sind. In der Ampulle fand ich aber auch, und zwar schon ziemlich nahe der Eintrittsstelle des Nerv in sie, Theilungen der Fasern, Tab. II. Fig. 1 A. Dann mag die Bildung der Bogen, welche die Nerven so häufig beschreiben und wodurch ein plexusartiges Ansehen entsteht, von einer in dem Vorhof gefundenen Faseranordnung herzuleiten sein, wie sie Tab. II. Fig. 1 B skizzirt ist. Man erkennt nämlich zwei Bündelchen von Nerven (*a*, *b*), welche hintereinander liegende Bogen beschreiben. In dem Bündel *b* zeigt sich eine Primitivfaser, welche eine Anastomose zwischen *b* und *a* bildet. An dem Gipfelpunkt des einen Bogens, welchen das eine Bündel *a* beschreibt, angekommen

¹⁾ Zeitschrift für wissensch. Zoologie v. Siebold u. Kolliker. Bd. II. Hft. I. p. 107.

(bei *d*), theilt sich die Primitivfaser *c* in zwei Schenkel; der eine scheint aufwärts zu steigen, wie der äußerst stumpfe Winkel der Theilungsstelle andeutet, der andere steigt abwärts in dem Bündel *a*, um sich bei *e* nochmals zu theilen.

Um mich bei Untersuchung des Vorhofes der Frösche der lästigen Otolithen zu entledigen, welche auch bei sorgfältigster Reinigung des Objectes oft gerade die wichtigsten Partien der Nervenaustrittsstelle verdecken, bediente ich mich der Essigsäure, welche sie sehr schnell unter Entwicklung von Kohlensäure auflöst. Dabei wird aber zugleich die Nervenaustrittsstelle viel klarer, und ihrer Anwendung verdanke ich es auch, daß ich die Theilung des Nervenbündels so gut beobachten konnte, wie man an der Faser *c* in Tab. II. Fig. 1 B, und an einer anderen bei *A* sieht.

Daß also hier das Princip der Theilung der Primitivfasern in Anwendung gebracht worden, ist zweifellos. Daß einzelne der Bögen durch Schenkel gespaltener Primitivfasern gebildet werden, ist aus einigen Beobachtungen wahrscheinlich geworden; ob wir aber aus diesen vereinzeltten Beobachtungen das Recht haben, uns diese Bögen im Allgemeinen als so entstanden zu denken, will ich nicht entscheiden, wenn ich auch bald zeige, daß der Gehörnerve des Frosches nicht der einzige ist, bei welchem dergleichen sich beobachten läßt.

Wäre glaublich, daß die Schenkel getheilter Primitivfasern in den Schenkeln der Bögen wieder centripetal zurückfließen, wie man wenigstens von dem bei *d* aufsteigenden Schenkelstück nicht das Gegentheil hat beweisen können, so wäre das Princip der Schlingenbildung und der Theilung gleichzeitig an einer Faser realisiert, und Alles, was Volkmann von physiologischem Standpunkt aus gegen die Annehmbarkeit der Terminalschlingen vorgebracht, wiederholte sich wenigstens an dem einen Schenkel der Primitivfaser, und würde nur noch verwickelter und die Anordnung noch unverständlicher, wenn der andere Schenkel ohne umzukehren in weiteren Theilungen endigte. Nach Allem, was man über Theilungen der Primitivfasern bis jetzt weiß, scheint die Vermuthung gerechtfertigt, daß es nicht bei einer einmaligen Theilung bleibt, sondern Theilungen auch weiterer Ordnungen constant sind; an einem rücklaufenden Schenkel der einmal getheilten Faser müßte man solche weitere Theilungen ebenfalls erwarten, dürfte sie auch nicht in dem Stamm des Acusticus oder eines stärkeren Zweiges suchen, wo ich auch niemals dergleichen fand, sondern höchstens in dem Centralorgan, wo aber, nach Kölliker's Versicherungen, niemals Theilungen der Primitivfasern wahrgenommen werden. Bedürfen daher Heßling's und meine Beobachtungen über diesen Punkt einer neuen Revision, so können wir diesen Gegenstand hier außer Acht lassen, weil sich bei ähnlicher Anordnung der Ausbreitung des Hörnerve in einem anderen Thier sehr häufig der peripherische Verlauf bei der Schenkel der getheilten Faser hat nachweisen lassen, und daselbst auch noch weitere Gründe entwickelt werden können, welche gegen den rückläufigen Gang der getheilten Fasern direct sprechen.

Dieses Thier ist der Hecht, der Fisch, welchen ich von den zahlreichen Arten unfres Marktes für den geeignetsten zu diesen Untersuchungen halte.

Betrachten wir die Ausbreitung einiger Bündel des Vorhofsnerven, wie sie auf Tab. II. Fig. 3 skizzirt ist:

Hier liegen zwei Knotenpunkte *a* und *n* vor uns, hauptsächlich versorgt von den Nervenbündeln *h* und *g*. Verfolgt man die Fasern aus dem Bündel *g*, so sieht man, daß einzelne direct den Knotenpunkt *a* des Geflechtes durchsetzen, um sich theils in der Gegend von *i*, theils in der von *l* immer

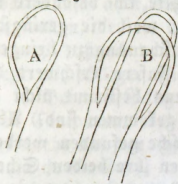
feiner werdend zu verbreiten, andere streifen in der Gegend von *i* vorbei, und ziehen in weiter Schlinge gegen den Knotenpunkt *n*, aber nicht um ihn so zu durchsetzen, daß sie etwa schließlich in *g* oder *h* centripetal zurückliefen, sondern um durch *n* hindurch in die Gegend von *k* peripherisch auszufrahlen. Fasern von dem Bündel *h* sieht man ebenfalls direct den Knotenpunkt *n* durchsetzen, und sich in der Gegend von *k* ausbreiten; andere (*m*) im Bogen gegen das Bündel *g* gewendet, wiederum aber nicht, um in dem Bündel *g* zurückzulaufen, sondern die Matte *a* zu durchsetzen, und in *e* auszutreten. Eine andere Faser des Bündels *h* bildet in *n* eine sehr enge Schlinge, um sich ebenfalls in das Flechtwerk *a* zu begeben, und nach *e* auszutreten. Eine andere Faser sieht man bei *c* eine Schlinge bilden, ihren rückläufigen Schenkel aber nach einiger Zeit sich theilen, ebenso wie eine weitere Faser, aus dem Geflecht *a* hervorkommend, in *b* sich theilt, ihren einen Schenkel nach der Gegend von *i*, ihren zweiten aber durch die Matte *n* in die Gegend von *k* entsendet.

Weit entfernt, behaupten zu wollen, daß diese Art der Faseranordnung allenthalben in diesen Nervengeflechten der Steinsäckchen des Hechtes vollkommen stereotyp angetroffen werde, muß ich vielmehr sagen, daß in den verschiedenen Geflechten eine sehr große Mannigfaltigkeit der Verschlingung von Fasern angetroffen wird, und daß ich aus einer großen Menge derartiger Objecte nur gerade deshalb das eben beschriebene ausgewählt habe, weil hier die verschiedensten Arten des Verlaufes einer Faser gleichzeitig sich der Beobachtung dargeboten haben, gleichsam eine schematische Darstellung an einem natürlichen Object selbst.

Läßt die Architektur der Endausbreitung, wie sie in Tab. II. Fig. 2 dargestellt ist, selbst schon vermuthen, daß es nicht auf Schlingenbildung, sondern auf Herstellung eines diffusen Netzes abgesehen ist, so findet man auch bei genauerer Betrachtung der Einzelheiten unter stärkeren Vergrößerungen nirgend etwas von terminalen Schlingen, wohl aber viele Einzelfälle, an welchen man erkennt, wie man zu der Annahme derselben hier ebenfalls konnte verleitet worden sein. Hierüber brauche ich jetzt kein Wort mehr zu verlieren, muß nur erwähnen, daß bei der großen Verwicklung der Fasern, von welcher man bereits eine Vorstellung bekommen haben, auch die genaueste Durchmusterung oft noch Zweifel über den endlichen Verlauf einer Faser oder eines Schenkels nach ihrer Theilung übrig läßt, aus welchem Grunde ich auch die Fig. 4 Tab. II. beigefügt habe, die einige sonderbare Verhältnisse darbietet. Für sich betrachtet würden sie der Deutung große Schwierigkeiten machen. Was das Object bietet, ist Folgendes: Man sieht zwei dünne Fasern *e* und *g* sehr bald sich theilen (bei *h* und *f*). Sowohl der eine Schenkel von *h* als von *f* begiebt sich in das Bündel *c*; der andere Schenkel *f* geht in das Bündel *b*, der zweite Schenkel von *h* dagegen direct in die Peripherie. Unter dem krümlich ausgetretenen Inhalt der dicken Nervenröhren *a* verschwinden die ersteren; auch kommt aus demselben eine Faser *i* heraus, um scheinbar im Bogen wieder dorthin zurückzukehren. Die in den Stämmchen *b* und *c* enthaltenen Fasern messen nicht ganz 0,0019^{mm}. Die Fasern in *a* dagegen im Mittel 0,009. In diesem Falle haben wir keinen weiteren Beweis, daß die Schenkel der Schlingen oder der getheilten Fasern nicht gegen das Centrum zurücklaufen, als den, daß sich, so weit man auch den Stamm *a* rückwärts verfolgt, bei genauester Untersuchung nirgend so dünne Fasern wieder auffinden lassen; man müßte denn annehmen, eine solche könnte den mehrfachen Durchmesser wieder nach ihrer Rückkehr in den

Stamm erreichen, was durch keine einzige Beobachtung gerechtfertigt scheint, oder es wären die Fasern so geordnet, daß die beiden Schenkel einer ursprünglichen Primitivfaser A (Fig. 73), oder zweien etwa nach dem

Fig. 73.



Schema B sich verästelnden angehörten. Bei den Säugethieren wird der Entscheid von dieser Seite her noch viel mehr erschwert, weil die Unterschiede der Dimensionen an den Fasern des Stammes und der Ausbreitung weitaus nicht so beträchtlich sind, als bei den tiefer stehenden Wirbelthieren.

Auch in den Ampullen-Nesten kommen beim Fische Theilungen der Fasern vor, sind aber hier wegen ihrer dichteren Nebeneinanderlagerung viel schwerer zu Gesicht zu bekommen; oft scheint auch eine sehr

enge Schleife ein freies Ende vorzutäuschen, das aber gewiß nicht mit so breiter Contour vorkommt, wenn man damit andere Fasern vergleicht, welche ohne so bestimmte Gränze dem Auge entschwinden, indem sie an Feinheit den später zu beschreibenden Fasern der unterliegenden Membran sehr nahe kommen. Ob getheilt oder ungetheilt: das letzte Ende der Fasern ist mir ebenso unter dem Blick verschwunden, wie das der Nerven in den Muskeln 2c.

Bei dem Vogel (Tab. II. Fig. 6) sind die Schicksale der einzelnen Fasern viel schwieriger zu verfolgen, und aus gewissen Gründen auch schwerer zu erschließen. Schlingen werden besonders in der Flasche längs des einen Randes sowohl, als auch in dem Kopfe derselben gar nicht selten angetroffen. Natürlich wiederholt sich hier dieselbe Frage wie bei dem Acusticus des Frosches. Mehrmal verfolgte ich beide Schenkel der Schlinge sehr weit zurück gegen den Stamm; durch die Pigmentlage hindurch ist aber keine Möglichkeit, eine Faser im Auge zu behalten.

So sind wir gezwungen, zu Schlußfolgerungen unsere Zuflucht zu nehmen, müssen jedoch vorher erwähnen, daß sowohl längs des horizontal gelagerten Theiles des Knorpelrahmens gegen die darüber gespannte Membran hin, als in dem Kopf der Flasche Fasern vorkommen, welche keine Schlingen bilden. Diese verschwinden, so viel bis jetzt beobachtet werden konnte, ganz allmählig in ihrer nächsten Umgebung. Unter einer unzähligen Menge von Primitivfasern und bei vollkommen mit Essigsäure aufgehellten Objecten konnte ich bis jetzt keine einzige Faser finden, bei welcher ich auch nur im Zweifel geblieben wäre, ob sie sich theilt oder nicht; niemals beobachtete ich eine Theilung, so sehr ich auch nach dem, was ich bei dem Fisch gefunden hatte, darauf rechnete.

Nun kehren wir zu unserer Frage zurück, ob nämlich daran gedacht werden kann, daß der rückläufige Schenkel einer beobachteten Schlinge wirklich in dem Stamme das Centrum erreichen könne, ob diese Schlinge also als terminale könne betrachtet werden? Im Ramus cochlearis des Stammes vor dem Eintritt in den erweiterten Flaschentheil maßen die Fasern zwischen $0,005760''$ und $0,002304''$ ¹⁾; in einem Bündel desselben Zweiges in der Flaschenerweiterung $0,004896$; Fasern nahe ihrer Endigung an derselben Stelle $0,001152$; Fasern an ihrem äußersten Ende $0,000432$. Die Schlingengipfel besaßen nie die letzteren geringen Durchmesser, sondern hielten sich nahe der Zahl $0,002304$. Da nun solche Fasern auch im Stamme

¹⁾ Hiezu wurde der ausgezeichnete Meßapparat des Merz'schen Instrumentes unserer Akademie benutzt.

gefunden wurden, so blieb es natürlich zweifelhaft, ob diese Fortsetzungen rückläufiger Schenkel, oder in der Verschmälerung begriffene entgegengesetzt verlaufende Fasern waren. Die Annahme von Terminalschlingen bleibt hier also zum mindesten nicht grundlos.

Bei den Säugethieren und dem Menschen wählte ich besonders die Nervenansbreitung auf dem Spiralblatt der Schnecke, weil die geringsten mechanischen Vorbereitungen nöthig sind, um sie zur Anschauung zu bringen; nur die sehr enge Aneinanderlagerung der einzelnen Fasern erschwert die Beobachtung etwas. Theilungen finden sich wenigstens bestimmt nicht an den Fasern, welche bereits näher der gezahnten Platte gekommen sind. Aber auch von Schlingen, wie sie selbst in der Vogel-Flasche gefunden werden, zeigt sich hier nichts. Kommen Schlingen vor, so liegen ihre beiden Schenkel äußerst nahe an einander, oder vielmehr übereinander, wenn man jenen hirtenslabförmigen Krümmungen, wie sie (Tab. II. Fig. 11) bei dem Menschen sehr häufig beobachtet worden sind, überhaupt die Deutung von Schlingen geben, und sie nicht wirklich für freie Enden halten will. Bei der Maus waren diese steilen Schlingen mit senkrecht über einander liegenden Schenkeln unzweifelhaft.

Daß die Fasern im Stamme des Acusticus dicker sind als bei ihrer Ausbreitung, findet man bei allen Thieren; daß während der letzteren eine allmälige Verfeinerung stattfindet, geht aus den oben mitgetheilten genauen Messungen hervor¹⁾. Ist die Dickenzunahme bei dem Uebertritt der Fasern in den Stamm selbst aber eine stetige, oder geschieht sie plötzlich, oder vereinigen sich hier mehrere in eine, d. h. findet an dieser Stelle vielleicht eine Theilung statt so, daß ein Büschel von 3 — 4 Fasern aus einer Stammfaser hervorgeht, wie R. Wagner dies in dem elektrischen Organ des Zitterrochen nachgewiesen hat?

Den Verhältnissen der Durchmesser nach, wäre so etwas bei dem Fische zu erwarten, und einmal glaubte ich auf Zusatz von Sublimatlösung dergleichen gesehen zu haben. Chromsäurepräparate, welche ich sonst sehr geeignet fand, ließen mich an anderen Exemplaren Derartiges nicht wieder auffinden. Gerade an dieser wichtigen Stelle nämlich eine scharf abgesechnittene Pigmentlage (Tab. II. Fig. 6). Vor ihr sind die dicken, hinter ihr gleich die dünn gewordenen Fasern, und der Versuch, mechanisch hier einzudringen, bringt eine solche reiche Quelle von Täuschungen, daß man sofort von ihm absteht. Bei dieser Rathlosigkeit muß ich eines öfters gemachten Fundes gedenken. Eine kurze Strecke nämlich, ehe die dicken Fasern in die Gegend kommen, wo die dünnen ihre Geflechte beginnen, bemerkte ich bei mehreren Fischarten, ohne irgend welchen Zusatz als Blutsrum oder Zuckersirup und ohne alle Anwendung von Druck, den geronnenen Theil des Nerveninhaltes mit nicht ganz scharfer Gränze aufhören (Tab. II. Fig. 5a), dagegen an seiner Stelle mehrere scharfe parallele Linien mit hellen Zwischenräumen, noch eingeschlossen in den Gränzen der Nervenscheide. Will man diese Linien nicht als künstliche Falten der Scheide deuten, was deshalb schwierig ist, weil man sich die Austreibung des Nerveninhaltes aus so beträchtlichen Strecken ohne Anwendung von Druck und ohne Verkleinerung des Durchmessers der Nervenscheide nicht gut vorstellen kann, so liegt

¹⁾ Im Meatus auditorius nahe ihrem Durchgang durch den Tractus spiralis foraminulentus 0,003^{mm}, auf der Lamina spiralis 00015^{mm} an ihrer Endigung, wo sie bereits marklos sind, 0,0011^{mm} (Corti).

vielleicht die Annahme nicht fern: die Nervenscheide der dicken Fasern beginne hier sich in drei bis vier Scheiden der dünnen zu spalten. So viele fänden sich in unmittelbarem Zusammenhang mit den dicken, und ebenso vielmals überträte auch der Durchmesser der letzteren den der ersteren. Ich vermahre mich aber, diese Art des Ursprunges der dünnen demonstirt haben zu wollen, deutete damit nur die etwaige Möglichkeit desselben an, und bekenne, daß ich den unmittelbaren Uebergang der dicken in die dünnen bis jetzt mit völliger Sicherheit noch nicht habe beobachten können.

Bei den Säugethieren verlieren die Primitivfasern plötzlich ihre doppelten Contouren, wodurch sie sich mit einemmal beträchtlich verfeinern. Dieses geschieht auf der tympanischen Fläche der Lamina spiralis unter der Habenula denticulata, wo z. B. bei der Katze der Durchmesser einzelner Fasern von 0,014 auf 0,0011 plötzlich sank. Hier läßt sich der Uebergang der dickeren in die dünneren direct beobachten, wobei jedoch keine so beträchtliche Verschmälerung eintritt, wie dieses bei den Fischen der Fall ist.

Die Zellenlage des Acusticus findet sich in dem Gehörorgan aller Wirbelthiere. Die Zellen sind bald mehr auf ein bestimmtes Bezirk der Nervenansbreitung beschränkt, wie z. B. in der Schnecke der Säugethiere, bald unregelmäßiger auf und zwischen den Fasern des Acusticus zerstreut, wie in den Ampullen beim Fische, in der Flasche des Vogels. Diese Zellen messen bei dem Hecht im Mittel 0,006 — 0,015^{'''}, haben einen deutlichen Kern und ein oder mehrere Kernkörperchen. Sie sind hier granulirt, rundlich, häufig mit deutlichem einfachen oder mehrfachen Fortsatz versehen. Sie können nicht verwechselt werden mit den Epithelialzellen, welche als ein äußerst zartes selbstständiges Stratum das Labyrinth dieser Thiere auskleiden, auch nicht mit Pigmentzellen, zu welcher Verwechslung ihr körniger Inhalt verleiten könnte, denn das Pigment ist hier durchweg sternförmig, und liegt in der Nähe des Nerven in einer ganz anderen Ebene als jene Zellen. Die Fortsätze dieser, so wie ihr an die Nervenansbreitung gebundenes Bereich, läßt, zusammengehalten mit Beobachtungen an anderen Wirbelthieren, keine andere Deutung zu als die: daß diese Gebilde Nerven-elemente, Ganglienzellen mit Fortsätzen sind, welche ich nur ein paar Mal im Zusammenhang mit den doppelcontourirten Nervenfaser gefunden habe (Tab. II. Fig. 3 e), wo auf der einen Seite eine dunkelrandige Faser abging, nach der entgegengesetzten eine marklose, von der es zweifelhaft blieb, ob sie in eine markhaltige überzugehen in Begriff war oder nicht.

Der Analogie nach darf man, glaube ich, schließen, daß das letztere wie bei den Säugethieren der Fall ist, zumal bipolare Nervenzellen mit doppeltem Faserursprung bei den Fischen sonst auch häufig und viel häufiger beobachtet werden können als bei den Säugethieren. Ob jedoch gar keine freien Nervenzellen hier anzutreffen sind, bleibt noch dahingestellt.

Ähnliche Gebilde finden sich in der Flasche des Vogels; hier sind sie aber etwas größer, zeigen jedoch nicht immer körnigen Inhalt, sind blaß mit scharf contourirtem Kern und dunklen Kernkörperchen versehen, so wie mit Fortsätzen, an deren einem ich einigemal Bifurcationen wahrnahm (Tab. II. Fig. 13 Ab). Von der Faser a muß ich es zweifelhaft lassen, ob sie im Begriff stand, eine wahre Nervenfaser zu bilden. Diese Zellen liegen über der Nervenansbreitung unter einem Stratum blasser vollkommen durchsichtiger gegen einander abgeplatteter Zellen (Tab. II. Fig. 6 aa und Fig. 8 a), über welchen selbst die Otolithen gelagert sind.

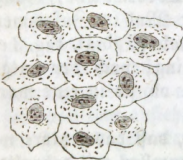
Ein Bild, welches mir hier auf Zusatz von Essigsäure einigemal ent-

gegentrat, habe ich auf Tab. II. Fig. 13 B wiedergegeben, und zwar mit all der Unbestimmtheit, welche durch die allseitig hereinschleichenden und sich durchkreuzenden feinsten Fasern erzeugt wurde. Vollkommen deutlich war ein Häufchen Kerne mit Kernkörperchen, umgeben von einer granulirten Masse, von der eine äußerst fein gestreifte Faser *a* nach der einen Seite, eine ramificirte Faser *b* nach der anderen zu verfolgen war; die weiteren begränzenden Umrisse der granulirten Masse waren von den feinsten Nervenfasern *c* verdeckt. Sollte hier unter dem Fasergewirr eine mit Fortsätzen versehene Nervenzelle mit mehrfachem Kern gelegen sein, wie dergleichen so häufig an einzelnen Stellen der Centralorgane gefunden werden? —

Auf dem Spiralblatte der Säugethiere ist die Zellenlage des Acusticus in bestimmte Gränzen eingengt, und bildet eine Art Zone längs der ganzen Spiralsplatte (*Habenula ganglionaris laminae spiralis cochleae, Corti*), ungefähr $0,2''$ — $0,13''$ diesseits der Nervenendigung. Es sind hier die Zellen äußerst blaß, fein granulirt, von ovaler Gestalt; sie maßen beim Kalbe $0,0059''$ — $0,0068''$ ¹⁾, bei der Katze $0,006''$ — $0,009''$ in der Breite, zeigten sich außerordentlich leicht zerstörbar, überhaupt den Nervenzellen der Retina sehr ähnlich. Man findet hier und da die meist nach zwei Richtungen abgehenden Fortsätze der Nervenzellen in markhaltige Nervenfasern übergehen; allein es läßt sich nicht sagen, ob alle Nervenfasern des Acusticus vor ihrer Endausbreitung auf dem Spiralblatt von solchen Nervenzellen gleichsam unterbrochen werden, oder ob nicht auch ganz freie Nervenzellen hier zwischen die Fasern gelagert sind.

Diese Zellen (Tab. II. Fig. 14), so wie ganz ähnliche ebenfalls länglich runde mit Kern und Kernkörperchen und sehr zarten Fortsätzen versehene in den Ampullen, wie sie bei dem Kaninchen $0,0058$ — $0,014''$ maßen, sind nicht zu verwechseln mit den mehr regelmäßig begränzten polyedrisch gegen einander abgeplatteten, ganz fein granulirten Epithelialzellen (Fig 74) mit ihren großen, das Licht sehr stark brechenden ovalen Kernen und mehrfachen Kern-

Fig. 74.



körperchen, welche die ganze Innenfläche der Schnecke sowohl, als der Bogengänge auskleiden, und häufig beträchtlich größere Kerne ($0,004$ — $0,005''$) besitzen als an anderen Stellen, wo die Durchmesser der Zellen zwischen $0,007''$ und $0,009''$ schwankt, der der Kerne in der Längsachse $0,003''$, in der Querachse $0,002''$ beträgt. Pigmentkörner werden hier und da in ziemlicher Masse in diesen Zellen angestaut getroffen.

Auch in dem Stamme des Acusticus trifft man an verschiedenen Stellen Nervenzellen in nicht unbeträchtlicher Menge eingestreut. Corti läugnet ihre Gegenwart im Ramus cochlearis vor der *Habenula ganglionaris*. Ich muß aber Pappenheim²⁾ beistimmen, der auch in diesem Zweige vor seiner Endausbreitung Nervenzellen beobachtet hat; ich habe sie ebenfalls in ihm und mehreremale mit doppelten Faserursprüngen gesehen. Corti scheint mir stillschweigend vorauszusetzen, daß die Gegenwart von Nervenzellen in der Endausbreitung die Einschaltung und das Vorkommen von Nervenzellen im Stamme ausschliesse. Dem stünde aber noch gegenüber, daß in den Ampullen

¹⁾ Corti bestimmte ihre Größe im Allgemeinen schwankend zwischen $0,0066$ — $0,0097''$ in der Breite und $0,010$ — $0,016''$ in der Länge; die Größe ihres Kernes schwankend zwischen $0,006$ — $0,007''$, ihres Kernkörperchens zwischen $0,0014$ — $0,0015''$.

²⁾ Pappenheim, spezielle Gewebelehre des Gehörorgans p. 62.

ebenfalls Nervenzellen angetroffen werden, obwohl sich auch in dem Nervus ampullaris diese Gebilde finden. — Die Ganglienzellen der Intumescencia gangliiformis Scarpae zeichnen sich hauptsächlich durch ihren Pigmentinhalt und ihre dicke mit ovalen Kernen besetzte Hülle aus.

So hätte ich die mir gestellte Aufgabe, einigen histologischen Problemen weiter nachzugehen, durch ziemlich mühevollere Untersuchungen, so weit mir möglich und hier erforderlich, zu lösen gesucht. Bei der Schwierigkeit des Gegenstandes ist es nicht zu verwundern, wenn die Beobachtungen noch manche Lücken gelassen haben, welche auszufüllen für die feinere Anatomie allerdings von Interesse, vorläufig jedoch deswegen nicht so sehr fühlbar für die Physiologie des Gehörorganes ist, weil uns noch anderweitige Mittel zu der gehörigen Verwerthung fehlen.

Begnügen wir uns deshalb hier damit, das Vorliegende unter die geeigneten physiologischen Gesichtspunkte zu bringen.

2) Theoretische Bemerkungen.

Abstrahiren wir wegen des noch räthselhaften Baues des Difactorius von dem Geruchsorgan, so bleiben uns Auge und inneres Ohr als zwei ihrer Entwicklungsweise nach eng verschwisterte Organe, welche auch hier gemeinschaftlich zu betrachten nicht ohne Interesse sein dürfte. Gilt von den anderen Nerven das Gesetz, daß sie bei ihrer Entwicklung niemals aus Rückenmark und Gehirn hervordachsen, sondern da entstehen, wo sie später liegen, so kann man von dem Seh- und Hörnerv unbedenklich sagen, sie wachsen aus dem Gehirn und zwar als Ausstülpungen des Medullarrohres hervor. Die beiden Gehörbläschen in der Mitte der ursprünglich hintersten der drei Erweiterungen des Medullarrohres charakterisiren sich als solche unverkennbare Ausstülpungen schon sehr frühzeitig. Ihr Inhalt wird theils differenzirt zu Nerven, theils zu Zellen, zu Fasern etc., theils zur Endolymph. Die Wandung der bläschenartigen Ausstülpung wandelt sich zu dem häutigen Labyrinth um, also zur schützenden Hülle für den theils flüssigen, theils in zartere Gebilde umgewandelten Inhalt, von einem außerordentlich reichen und engmaschigen Gefäßnetz umspinnen.

Vergleicht man damit die Entwicklung des Auges, so sieht man hier eine ganz ähnliche Differenzirung der ursprünglichen Massen in Sclerotica und Cornea, als schützende Hüllen, zugleich aber optischen Zwecken entsprechend in andere Formen gegossen, als die anfängliche Kugelgestalt des Bläschens war, wie bei dem Ohre dieselbe, akustischen Zwecken zu liebe, nur noch künstlicher in Vorhof, Bogengegänge und Schnecke umgewandelt werden mußte.

Ein anderer Theil wird hier zur Netina, wie dort zur Ausbreitung des Acusticus, und der Rest des Bläscheninhaltes erfährt auch da die geringste Umwandlung als Glaskörper und Augenflüssigkeit. Die Stolithen der Fische umgiebt eine äußerst zähe albuminreiche Masse, welche wenigstens um den großen Gehörstein der Fische herum, ähnlich wie bei dem Glaskörper, in völlig structurlosen Häuten eingeschlossen ist. Mittelft Chromsäure und essigsaurem Blei lassen diese sich auch hier zur Anschauung bringen. Der Vergleich reicht aber noch weiter und zeigt, wie leicht zu gleichen Endproducten geführt wird, was einem anfänglich gleichen Bildungstrieb ausgesetzt oder, besser gesagt,

bei seiner anfänglichen Entstehung den gleichen oder annähernd gleichen Bedingungen unterworfen war.

Denn gewiß scheint uns das Pigment ebenso zwecklos im Ohr, als deponirter Kalk im Auge, und doch finden wir das erstere durch alle Classen der Wirbelthiere bis herauf zu den Säugethieren, und den Kalk deponirt in dem Tapetum der Fische, der auch nicht selten bei reißenden Thieren an derselben Stelle, wenn freilich nur pathologisch, gefunden wird. Wer an Zufälligkeiten in der Natur, natürlich im beschränkten Sinne, nicht glaubt, sondern behauptet, daß Alles bis ins Kleinste hier seinen ganz bestimmt berechneten Zweck habe, wird uns den Beweis der Nothwendigkeit des Pigmentes im Ohre, der bei dem Auge so leicht zu führen ist, wohl noch lange schuldig bleiben müssen; jetzt, wo wir den Zweck des Pigmentes an anderen inneren Theilen überhaupt noch nicht kennen, bleibt nichts übrig, als die Annahme, daß es neben den integrirenden Theilen im Ohre entstanden ist, weil die zu seiner Entstehung nothwendigen Bedingungen hier, wenn auch nicht in dem Maaße vorhanden waren als im Auge.

In einem sehr wesentlichen Punkte kommen beide Organe weiter zusammen, nämlich in der ganz eigenthümlichen gegen andere Hirnnerven exceptionellen Stellung ihrer Nerven, welche schließlich unter einem allgemeineren Gesichtspunkte betrachtet werden muß.

Diese Eigenthümlichkeit ist am deutlichsten bei dem Opticus ausgesprochen, und bei dem Acusticus ebenfalls nicht mehr zu läugnen. Sie besteht in der Zumischung solcher Nerven-elemente zu der peripherischen Faserausbreitung, wie sie in dem Gehirne gefunden werden. Außer den Nervenfasern findet sich in der Retina nach innen von der Stäbchenschicht eine Lage weiterer Nerven-elemente: freie dunkelcontourirte, rundliche Kerne, welche mit denen der rostfarbnen Lage der grauen Rinde des kleinen Gehirns vollkommen übereinstimmen¹⁾; zwischen diesen und der Faserschicht und theilweise auch in dieser liegen weiter fein granulirte, birnförmige oder rundliche, auch polygonale Ganglienzellen mit ramificirten Fortsätzen, ähnlich wie sie ebenfalls und zwar zunächst in der grauen Substanz des Cerebellum vorkommen.

So entspräche hier also genau die äußere Lage der Retina der Rindensubstanz des Gehirnes, selbst in Beziehung auf die Lagerungsverhältnisse der einzelnen Nerven-elemente zu einander, was allein aus der ursprünglichen Entwicklungsweise dieser Theile zu erklären ist.

Wir müssen demnach die Retina als ein Centralorgan betrachten, so lange man nämlich ein solches im anatomischen Sinne durch die gleichzeitige Gegenwart von Fasern und Nervenzellen dazu gestempelt erachtet, und der Opticus verhielte sich zu diesem und dem anderen Centrum, nämlich dem Gehirne, wie eine Commissur.

Die Entwicklungsweise des Acusticus und einzelne mikroskopische Anhaltspunkte zeigen, daß bei ihm ähnliche anatomische Verhältnisse obwalten, und gestatten schon jetzt gewisse Reflexionen auf ihn auszudehnen, welche sich bei den ganz klar vorliegenden Verhältnissen des Opticus von selbst aufdrängen.

So gewiß als die Uebertragung der Erregung einer Faser auf weitere nicht die einzige Aufgabe der Nervenzellen und ihrer functionellen Verknüpfung

¹⁾ Kölliker, mikrosk. Anat. II. p. 518.

mit den Nerverfasern ist, so gewiß haben sie doch unter anderen diese. Wozu sollte nun in dem Auge der so äußerst fein berechnete Apparat zum Entwerfen des Bildchens auf der Netzhaut, wenn schon auf ihr, was mühsam auf einen ihrer Punkte gelenkt worden ist, in seiner Wirkung sofort auf eine Mehrzahl von Punkten wieder geleitet würde, um dann erst auch bei möglichst geordnetem Faserverlauf dem Sensorium zugebracht zu werden? Wir haben Eingang, p. 314, schon einer ähnlichen Frage Vogt's gedacht, welche er bei Ueberlegung des verwickelten Faserverlaufes im Stamme des Sehnerven und seines Chiasmus aufgeworfen hat.

Wüßte man von dem Vorkommen centraler Elemente in der Retina nichts, so könnte bis zu einem gewissen Punkt jene Frage Vogt's dadurch beseitigt werden, daß man annähme, es fände im Gehirn nur eine der räumlichen Anordnung der Nervenfasern in der Peripherie genau entsprechende zweite statt: dann wäre auch die größte Verwirrung der Fasern im Nervenstamme vollkommen gleichgültig. Jetzt aber wären diese Beziehungen zwischen Peripherie und Centrum noch viel räthselhafter, wollte man an der Ansicht festhalten, als könne die Seele nur ihren Sitz im Gehirn haben. Dieser durch nichts begründeten Ansicht gegenüber muß dem anatomischen Befunde entsprechend vielmehr behauptet werden, daß die ganze Gesichtsvorstellung auf der Netzhaut zu Stande gebracht wird, und daß die Bahn zwischen ihr und dem Gehirn nur die Rolle einer Vermittelung zwischen Vorgängen hier und Vorgängen dort zu spielen hat. Man werfe nicht ein: »dann muß ein Auge erstirpirt, noch ebensogut Gesichtswahrnehmungen haben, als bei seiner Verbindung mit dem Gehirn« — denn ich kann dies vollkommen zugeben, so gut ich bei decapitirten Thieren noch die Reizempfindlichkeit ihrer sensitiven Nerven, an den durch einen Reiz auszulösenden Reflexbewegungen meßbar, annehmen muß, allein das Bewußtwerden der Eindrücke, die Einverleibung ihrer psychischen Wirkung in das Allgemeine des geistigen Lebens hängt nicht von der Integrität des einzelnen Theiles, sondern des Ganzen ab. Das Bewußtwerden eines sinnlichen Eindruckes kann auch die vollkommenste Organisation, der sublimste Stoff eines Sinnesorganes oder des Gehirnes nun und nimmer bedingen; das Bewußtsein hat also weder ein Organ im Hirne noch eines im Auge, oder sonst wo, sondern ist ein Resultirendes aus einer Summe geistiger Vorgänge, welche an den verschiedensten Punkten des Körpers und deren unter einander zusammenhängenden Vorgängen, dem bestimmten Gesetze der Verknüpfung von Leib und Seele entsprechend, sich anspinnen können. Nicht darum sieht ein erstirpirtes Auge nicht, weil es in demselben Augenblicke von dem Sitze des Bewußtseins abgeschnitten worden, noch sieht es für sich, weil an ihm ein Stückchen Seele und Bewußtsein haften geblieben, sondern es sieht nicht, weil es aus der Verknüpfung leiblicher Organe gerissen ist, welche der geistigen Verwerthung und Uebermachung für das Bewußtsein nothwendig unterbreitet sein muß. Es klebt ein phrenologischer Beigeschmack an dem Worte Centralorgan, welchen zu tilgen auch die neuen Funde der mikroskopischen Anatomie auffordern. Wie sie uns lehren, in dem Gehirne nicht ein Centrum, sondern eine Summe derselben zu sehen, so sehen wir auch solche außer der Schädelhöhle an der sogenannten Peripherie, ebenso bedeutungslos für das Bewußtsein an sich hier wie dort, und gleich bedeutungsvoll für dasselbe in ihrer organischen Verknüpfung.

Ich mußte hier diese Bemerkungen machen, um die Ansichten zu begründen, welche ich durch die Untersuchung des Acusticus in Beziehung nicht allein

auf die durch ihn vermittelten Sinnesindrücke, sondern in Beziehung auf diese überhaupt gewonnen habe. Liegt an der Nervenausbreitung im Sinnesorgan das Sinnescentrum, wenn ich diesen Ausdruck brauchen darf, und an dem Ursprung des Nervenstammes sein Hirncentrum, so wird die Stellung des Stammes zu beiden eine andere als bisher, wo man ihm eine exclusiv centripetale Leitung zugeschrieben hat. Fassen wir ihn als Commissur zwischen Hirn- und Sinnescentrum auf, so ist die Richtung seiner Thätigkeit ihrem Wesen nach natürlich immer centripetal, aber möglicherweise auch der entgegengesetzt, welche man bisher so bezeichnete. Dann wird auch der verworrene Faserverlauf in ihm und die Theilung seiner Primitivfasern wenigstens darum nicht unverständlicher, weil darunter die Repräsentation der räumlichen Beziehungen afficirter Punkte im Sinnesorgan und Hirn nothwendig leiden muß, wenn auch gleich die Nothwendigkeit einer Faserung des Stammes vorläufig noch ebenso unerwiesen bleibt, als Voge sie hingestellt hat. Unsere Auffassungsweise des Zusammenhanges von Leib und Seele gestattet uns aber auch nicht, in diesem Stamm die Bahn zu suchen, auf welcher die Seele dem Sinnescentrum auf ein Signal gleichsam zueilte, um die hier einlaufenden Perceptionen entgegenzunehmen, wohl aber ließe sich denken, daß auf derselben Bahn allerdings zuerst ein signalisirender Proceß zu den Centren des Gehirns fortgeleitet würde, auf welchen hin von den letzteren aus auf derselben Bahn vielleicht in anderen Fasern wieder Impulse zu dem Sinnescentrum gebracht werden könnten, welche in diesem einen geeigneten Zustande nicht allein zu der Aufnahme des sinnlichen Eindruckes, sondern gleichzeitig zu der nothwendigen Verknüpfung der Vorgänge dort und im Hirn hervorriefen. In diesem Sinne glaube ich die Bezeichnung Commissur für den Stamm des Sinnesnerven rechtfertigen zu können.

Demzufolge hätten wir schon in das Sinnesorgan selbst die Vollen-
 dung der sinnlichen Auffassung zu verlegen, welche mit der Summe aller
 weiteren Geistesoperationen, so weit sie über somatischen Vorgängen schwe-
 bend erhalten werden, durch die Nervenbahn des Stammes und seine Ver-
 knüpfung mit Centren des Gehirns in Zusammenklang und dadurch erst zum
 Bewußtsein käme. Wir fänden die Nothwendigkeit einer Faserung des
 Stammes weniger durch die locale Affection gewisser Punkte der Nerven-
 ausbreitung bedingt, welche in ihrer räumlichen Beziehung zu einer zweiten,
 dritten u. durch die isolirte Leitung der Primitivfasern zu erhalten wäre,
 als vielmehr dadurch, daß die Centralorgane nicht Punkte, sondern Massen
 sind, deren verschiedene Punkte wenigstens bezirksweise durch je eine Faser
 ihre Vertretung finden müssen, und durch eine gewisse Menge von Fasern
 vielleicht deshalb, weil die einzelnen centralen Bezirke in Beziehung zu dem
 ganzen, so äußerst complicirten Nervenmechanismus im Gehirn unmöglich
 gleiche, sondern nothwendig verschiedene Bedeutung haben. Demnach wäre
 die Faserung nothwendig für den Vorgang im Gehirne, welcher ganz anders
 sein kann, als der in den Nervenapparaten der Sinnesorgane, und nicht für
 das Abpunktiren desselben in den letzteren zum Entwerfen des Spiegelbildes
 in ersterem. Da wir nicht wissen können, ob je eine Faser abwechselnd oder
 gleichzeitig nach zwei Richtungen hin ihre Erregung fortzupflanzen im Stande
 ist, manches für das Gegentheil spricht, so wäre denkbar, daß eine Faserung
 aus dem Grunde stattfinden müßte, um verschiedene Bahnen für das Fort-
 schreiten der Erregung in verschiedenen Richtungen zu gewinnen.

Endlich bekommen für uns neuerdings auch wieder Terminalschlingen

im Acusticus von diesem Gesichtspunkte aus einige Wahrscheinlichkeit, wenn wir Folgendes überlegen:

Es ist eine Unmöglichkeit, von jeder einzelnen Faser des Acusticus mit Bestimmtheit zu sagen wie sie endet. Schlingen sind vorhanden, bei vielen kann beobachtet werden, daß es keine Terminalschlingen sind, bei vielen kann dieses nicht bewiesen werden. Haben wir durch die Beobachtung von Verästelungen einzelner akustischer Fasern oder motorischer und sensibler Fasern der Rückenmarksnerven schon Boden genug für die Behauptung gewonnen, daß in dem Acusticus gar keine Schlingen als Endigungsweise vorkommen? ich glaube aus mehreren Gründen: Nein. Die Entwicklungsart des Acusticus ist wie die des Opticus eine so wesentlich verschiedene von der der Rückenmarksnerven, daß wir von der Endausbreitung der letzteren nicht mit gutem Recht ohne Weiteres auf die der ersteren zurückschließen können. Sind nun auch in diesen Verästelungen, wie dort nachgewiesen, so bleibt der Möglichkeit immer noch Raum, daß neben der Verästelung noch eine andere Endigungsweise gegeben sei, um so mehr, als neuerdings ganz bestimmt die Existenz der Schlingen in den Hemisphären des ganzen Gehirnes von Kölliker behauptet wird¹⁾.

Ließen sich also Terminalschlingen mit ganz vollkommener Sicherheit in dem Acusticus oder Opticus nachweisen, so hätten wir darin nur einen weiteren Beweis für die centrale Natur ihrer Umbiegungsstellen. Die Schlingen hätten hier auch weniger Unbequemlichkeit für die physiologische Deutung, wenn wir den ganzen Nervenstamm als eine Commissur zweier Centralorgane auffassen. Ihre Aufgabe wäre dann, zwei Punkte des einen mit einem einzigen des anderen in Rapport zu setzen, wobei der letztere in dem Sinnescentrum, die ersteren in dem Hirncentrum gelegen wären, ebenso wie bei der offenbar auch vorkommenden Theilung ein gleicher Zweck vorausgesetzt werden muß, nur mit dem Unterschiede, daß hier der eine Punkt im Hirncentrum die Multipla der aus der Theilung hervorgegangenen Punkte in dem Sinnescentrum gelegen wären. So viel sieht man wenigstens ein, daß die Theilung der Primitivfasern besonders im Opticus (wo sie von Hassall ebenfalls gefunden wurden), aber auch im Acusticus bei der früher angenommenen Function des Nervenstammes als bloßen Conductor für die peripherische Erregung der Einzelpunkte, der Deutung noch viel größere Schwierigkeit in den Weg wirft als die Schlingenbildung, und zugleich ist uns die Faserung des Stammes dadurch werthvoller geworden, daß durch sie ein und derselbe Total-Effect im Sinnesorgan zu einer Vielheit von Processen im Gehirn in Beziehung gesetzt wird, wodurch eben erst die gehörige Breite für die das Bewußtwerden des sinnlichen Eindruckes begleitenden Vorgänge in dem Sensorium gewonnen werden kann.

Das allmälige sich Verlieren der Fasern ohne Theilung und ohne Terminalschlingen, was bei jedem unserer Objecte bald an mehr, bald an weniger Exemplaren wahrgenommen werden konnte, darf uns auch nicht mehr so auffallen, nachdem wir die Parallele zwischen Sinnes- und Hirncentrum aus der Entwicklungsweise des Hörnerven und seinem mikroskopischen Verhalten an der Endausbreitung gezogen haben. Ganz ähnliche Verhältnisse trifft man so häufig, ohne daß man in dem einen oder anderen Fall bis jetzt eine annehmbare Deutung dafür hätte aufstellen können, in dem Gehirn,

¹⁾ Mikrosk. Anat. II. p. 478.

wo das Endschicksal einer solchen Faser auch noch ein anatomisches Problem ist. Läßt sich endlich v. H e p l i n g 's Beobachtung einer Theilung der Fasern im Gehirn wenigstens der niederen Wirbelthiere (z. B. Fische) und ausschließlich dieser Thiere retten, so wäre die in dem Gehörorgan gerade derselben Thiere unzweifelhafte Theilung der Nervenfasern gegenüber ihrem Fehlen bei höheren Thieren noch von größerem Interesse.

3) Hörnerv und Schallwelle.

Ehe wir zu der geistigen Verwerthung der Schalleindrücke übergehen, müssen wir jetzt noch einige allgemeinere Verhältnisse der Schallwellen im Ohr zu seinem Nerv berücksichtigen. Außer der Qualität der Empfindung, welche einem Anschlagen der Schallwelle an dem Gehörnerv folgt, ist von diesem möglicherweise noch abhängig: die Intensität der Empfindung, die Unterscheidung des Punktes, welcher allein oder zumeist afficirt wurde, also die Unterscheidung der Richtung, endlich die Distinction verschiedener Schalle von einander: also die Schärfe des Gehöres. Von diesen drei Dingen sind vielleicht die beiden ersten mitbedingt durch die anatomische Anordnung der einzelnen Partien des Nerven, das letztere dagegen kann niemals hievon abhängen, wie es bekanntlich bei dem Opticus und den Tastnerven der Fall ist.

Die Intensität einer Empfindung steht bei gleicher Reizempfänglichkeit erstens in geradem Verhältniß zu der Gewalt des erregenden Impulses, zweitens zu der Summe von Primitivfasern, welche der Reiz trifft, und nur dies letztere kann hier in Betracht gezogen werden. Die anatomischen Untersuchungen haben ergeben, daß der Nervenreichthum nicht in allen Abtheilungen des Labyrinthes gleich groß ist. Kaum dürfte anzunehmen sein, daß verschiedene Intensitätsgrade ein und desselben Schalles dadurch zur Perception kommen sollen, was, wenn die Thätigkeit der verschiedenen Bündel gesondert aufgefaßt werden könnte, zuletzt den Eindruck nicht Eines Schalles, sondern mehrerer ungleich intensiver erzeugen würde. Von dem scheint gerade das Entgegengesetzte bezweckt zu werden: nämlich die Intensität des Eindruckes in den verschiedenen Abtheilungen möglichst zu nivelliren; dieser Annahme wüßte ich nur eine Thatsache entgegenzustellen, welche vielleicht noch eine Compensation erleidet, so daß wenigstens im Allgemeinen jene Annahme gerechtfertigt ist. Wo eine Schnecke gefunden wird, hat diese offenbar den größten Reichthum an Fasern, in den Vorhörsfächchen der Fische finden sie sich wohl sehr weit ausgebreitet, aber mit einem verhältnißmäßig mageren Maschenwerk.

In den Ampullen liegen sie dicht beisammen, die Verbreitung der einzelnen Fasern im Raum ist nicht so bedeutend wie dort, und ihre Zahl ist viel geringer als in der Schnecke. Auf gleiche Raumtheile des Labyrinthes treffen also die meisten Fasern in der Schnecke, dann in den Ampullen, zuletzt in dem Vorhof. Nun ist der akustische Apparat nicht wie der optische eingerichtet, Wellenzüge auf sehr kleine Punkte der Nervenausbreitung zu lenken, sondern je eine Welle durchläuft das ganze Labyrinth.

Wir haben früher auseinandergesetzt, daß die Lage des runden Fensters sehr ungünstig für die Schallwellen der Luft ist, und haben der Behauptung Weber's beistimmen müssen, daß die Schnecke hauptsächlich für das Hören der durch die festen Theile des Schädels gehenden Schwingungen bestimmt

sei; wir haben ferner nachgewiesen, daß der Uebergang der Schallwellen an die festen Theile des Schädels und somit auch an die Schnecke sehr erschwert ist, gegenüber den an die Membran des Trommelfelles gelangenden. Dort verliert also auch aus diesem Grund die Intensität des Impulses, welchen sie hier, noch bei weitem weniger geschwächt, in vielen Fällen möglicher Weise verstärkt behauptet. Es liegt also die Annahme nahe, daß in der Schnecke diese Abschwächung des physikalischen Impulses für seine Wirkung auf den Sinn compensirt wird durch eine Multiplication der Fasern an eben dieser Stelle. Halten wir hiemit die weitmaschige Anordnung in den Vorhoffsäcken der Fische zusammen, so finden wir hier in physikalischer Beziehung das Gegengesehe. In diesen Säckchen liegen meist compacte feste Körper, die Otolithen. Diese verstärken die Schallwellen durch Resonanz. Hier also steigerte sich der physikalische Impuls gegenüber dem Impuls, wie er die Nerven in den Ampullen trifft. Eine Rarefaction der Nervenfasern dort könnte die Intensität der Wirkung auf den Grad reduciren, welchen sie hier besitzt. Warum wird aber hier der physikalische Impuls überhaupt verstärkt, wenn seine Wirkung nachträglich nur wieder gemindert werden soll?

Die Intensität der Wirkung hängt theilweise ab von der Summe der Fasern, theilweise aber auch von der Reizempfänglichkeit, welche wir jeder einzelnen Faser zuschreiben müssen. Die Verminderung der Fasern auch bis auf eine kann die Aufnahme des Impulses nicht ganz vernichten, sondern immer bleibt noch so viel möglich, als diese Eine wenigstens hiefür leisten kann.

Ein äußerer Impuls kann eine so geringe Intensität haben, daß er ohne weitere Verstärkung bei einer gegebenen Reizempfänglichkeit des Nerven diesen gar nicht mehr zu erregen vermag, und dann ist auch die Summe der Nervenfasern gleichgültig, sie mag so groß sein als sie will. Für solche schwache Impulse sind die Otolithen der Fische berechnet; sie haben also überhaupt den Zweck, zur Perception zu bringen, was für diese sonst verloren ginge, und die Nothwendigkeit einer Aequilibrirung der Wirkung auf die Nerven in den Vorhoffsäcken gegen die Wirkung auf die in den Ampullen fällt natürlich ganz weg, wo diese Null ist; sie muß aber sofort wieder eingeleitet werden, wenn die Wirkung auch hier aufzutreten beginnt, und sie wird erzeugt durch das zweite Bestimmungsmoment der Intensität: die Summe afficirter Punkte.

Sind die Impulse, welche die einzelnen Nervenabtheilungen im Labyrinth bekommen bei ein und derselben Schallwelle, die durch dasselbe geht, unter einander physikalisch an Intensität verschieden, und vermögen jene einzelnen Abtheilungen unter einander vergleichbare Wirkungen im Sensorium zum Bewußtsein zu bringen? Man sieht, daß diese jetzt aufgeworfenen Fragen sich auf die Bestimmung der Richtung beziehen, von welcher wir durch Experimente bis jetzt nur so viel erfahren haben, daß sie nicht unmittelbar von dem Sinnesorgan abhängig ist, sondern erst mittelst Schlussfolgerungen abstrahirt werden kann. Diese Frage müssen wir hier noch einmal vom theoretischen Standpunkt aus ventiliren.

Es ist eine auffallende Wahrnehmung, daß in den verschiedenen Abtheilungen des Labyrinthes eine so durchgreifend verschiedene Anordnung in Gruppierung der Nervenbündel und Fasern getroffen wird. Eine Verschiedenheit in der Schärfe der Auffassung, d. h. in der Unterscheidung der Töne von einander, kann dadurch nicht für diese einzelnen Theile des Labyrinthes bezweckt werden, weil sie dadurch nicht zu erreichen ist. Denn je einer Fa-

fer muß die Energie schon von vorn herein anvertraut sein, Töne von einander zu unterscheiden, und in dem Maaße, als dies der Fall ist, thut sie es auch bei gleicher Stärke des physikalischen Impulses, gleichgültig welchen Verlauf und welche Connerion mit anderen Fasern sie in dem Medium hat, in welchem sie die Tonschwingung trifft; denn die Tondifferenzen bestehen ja nicht in räumlichen Unterschieden, welche durch bestimmte entgegengebreitete räumliche Verhältnisse der Nervenfasern mit verschieden großer Feinheit wahrgenommen werden könnten, sondern in zeitlichen Differenzen, für welche jede räumliche Anordnung an sich gleichgültig ist. Gleichwohl finden wir dieser in dem Gehörorgan eine gewisse Bedeutung beigelegt, welche allein mit den Intensitätsgraden der Empfindung in einen Zusammenhang gebracht werden kann. Liegt in dem Sensorium die Möglichkeit, die Thätigkeit räumlich getrennter Gruppen als (räumlich) getrennte Operationen aufzufassen, so muß ceteris paribus der Eindruck dort am stärksten sein, wo die meisten Fasern liegen, und es würde, wenn der Wellenzug durch das Labyrinth überhaupt nicht auf jeden Punkt desselben gleich, sondern je nach der Richtung seiner Quelle verschieden wirkte, diese Richtung unmöglich in allen Fällen bei einer solchen Anordnung erkannt werden können.

Ist die eben erwähnte akustische Annahme richtig und kommt es weiter nur auf die Summe der Fasern überhaupt an, so ist ferner ein strenges Festhalten an der Faseranordnung wiederum gleichgültig, wenn alles Uebrige als gleich angenommen wird; denn soll die Summe der Fasern der Intensität der Empfindung nützen, so setzt dies voraus, daß die Thätigkeit aller einzelnen Fasern eben summirt, d. h. zu einer einheitlichen zuletzt verarbeitet werde.

Daraus geht hervor, daß der bestimmt markirten Faseranordnung gegenüber die übrigen Theile des akustischen Apparates berücksichtigt sein wollen, in welchen die Faserverbreitung geschieht, wie wir es oben auch gethan haben. Um vom theoretischen Standpunkte aus die Möglichkeit prüfen zu können, ob die Richtung eines Schalles unmittelbar von dem Gehörorgan aufgefaßt zu werden vermag, ist zu entscheiden: 1) ob der Acusticus gesondert die Thätigkeit je dieser oder jener Partie seiner Ausbreitung dem Bewußtsein entgegenbringen könne; 2) ob eine einmal in das Labyrinth gekommene Schallwelle einen ungleich großen Impuls auf die einzelnen Abtheilungen des Labyrinthes ausüben könne, oder stets auf alle den gleichen ausüben müsse.

Ad 1) Es bedarf kaum eines Beweises, daß uns von der räumlichen Ausbreitung unserer Nerven, außer auf anatomischem Wege, nie etwas zum Bewußtsein kommt. Es ist überdies in diesem Werke an verschiedenen Stellen schon besprochen, wie die Raumanschauung wesentlich an Bewegungen oder wenigstens Bewegungs-Erinnerungen geknüpft ist, so daß wir also, wenn wir dem Acusticus die Fähigkeit nicht zugestehen, seine räumliche Ausbreitung zur Perception zu bringen, diesem Sinnesnerv nicht etwa eine Eigenschaft absprechen, welche vielleicht der Seh- oder Tactnerv hätte. Hängt weiter die Vorstellung des Raumes aufs Innigste zusammen mit dem Ort des Nerven, welcher in der Richtung des äußeren Impulses liegt, den das Bewußtsein später wieder localisirt, so muß je nach dieser Richtung der Ort des Nerven verstellt werden können, während alle übrigen Theile um ihn her gleichsam als Fixpunkte stabil sind; was bei dem Augapfel wohl möglich ist, aber scheinbar nicht bei dem unbeweglich eingekalkten Felsenbein, in welchem der Nerv liegt. Doch ist dieser Umstand an sich eigentlich gleich-

gütig, weil durch die Bewegung des Kopfes ersetzt wird, was dem Gehörorgan selbst an Beweglichkeit abgeht.

Gehen wir in der Vergleichung weiter, und stellen uns vor, wir hätten ein Gesichtsfeld, in welchem alle Punkte vollkommen gleich deutlich wären, und bei einer vollkommenen Abgeschlossenheit desselben kein Bedürfnis weder mehr als dieses, noch mehr Details an ihm zu unterscheiden, so würden wir offenbar auch kein Bedürfnis haben, die Richtung der einzelnen Objecte durch Bewegungen des Auges zu bestimmen. Von diesen Voraussetzungen existirt aber keine. Im Auge ist eine sehr beschränkte Stelle der Netzhaut, auf welcher das deutliche Sehen zu Stande kommt. Die übrigen Punkte ringsherum geben durch die Unklarheit ihrer Bilder eine bezweckte Aufforderung an ihren Platz dem Object gegenüber, den Ort des deutlichsten Sehens einzustellen, und indem dieses geschieht, wird durch die Bewegung des Auges die räumliche Beziehung dieser beiden Netzhautstellen zu dem einen Punkt des äußeren Objectes hergestellt. Im Ohre giebt es keinen solchen bevorzugten Punkt, sondern, soweit die anatomischen Untersuchungen gediehen sind, ist es bei der Nervenvertheilung auf eine möglichst große Gleichartigkeit der Wirkung eines äußeren Impulses abgesehen. Fehlt aber im Nervenapparat ein solcher ausgezeichnete Punkt, in Beziehung auf welchen das Object, in unserem Fall die Schallquelle, durch Bewegung des Gehörorganes verschoben werden kann, so fällt damit jede Möglichkeit einer räumlichen Bestimmung von vornherein weg. Immer also wird entweder wirklich der Acusticus der einen Seite in toto von dem äußeren Impuls getroffen, oder vorausgesetzt, es könnte physikalisch das Entgegengesetzte hievon eintreten, so nützte es nichts, welche Gruppe von Fasern des Acusticus von ihm ursprünglich getroffen würde, weil keine Möglichkeit vorhanden wäre, die Lagerung dieser Fasergruppe im Raume zu bestimmen.

Wird also der Acusticus wirklich, oder so gut als wirklich, in toto von einer solchen Schallwelle getroffen, so haben wir höchstens noch ein Mittel, die Richtung der Schallquelle zu bestimmen, nämlich aus den Intensitätsgraden des Schalles, welche mit der Drehung des Kopfes wechselt. Dann ist die Richtung fixirt durch die Messung der Kopf-Bewegung, welche nothwendig wird, um von einer beliebigen Stellung aus die Ohröffnung in die Direction der Schallquelle zu bringen. Wie mißlich es aber mit der Bestimmung des Ortes aussieht, wenn man dabei allein auf die Intensität der Wirkung angewiesen ist, welche von diesem Ort ausgeht, sieht man sehr deutlich am Auge. Aus einer freilich sehr großen Masse von Experimenten, welche bei der Erziehung unserer Sinnesorgane unwillkürlich angestellt werden, haben wir uns an den Schluß gewöhnt, daß die Quelle des stärksten Effectes unserem Sinnesorgan am nächsten liege. So häufig auch dies Factum und der daran geknüpfte Schluß richtig ist, so kommen doch sehr viele Fälle vor, in welchen beides nicht mehr zusammenstimmt. Wie gerne versehen wir einen ungewöhnlich stark beleuchteten Gegenstand in eine zu große Nähe vor uns! Es würde diese Täuschung bei dem Gesichtssinn noch viel häufiger eintreten, als dies wirklich der Fall ist, hätten die sichtbaren Körper nicht neben der Lichtmenge, welche sie uns zusenden, noch eine Menge andere mit dem Auge wahrnehmbare Eigenschaften, durch welche wir jene Täuschung sofort berichtigen. Anders aber ist es bei den gestaltlosen Tönen, an welchen wir keine Eigenschaften weiter mit dem Gehör wahrnehmen können, um uns zu unterrichten, wo ihre Quelle ist; weshalb denn auch bei diesem Sinne jene Täuschungen ungleich häufiger vorkommen und so unwiderstehlich

sich aufdrängen, daß z. B. der Bauchredner mit Sicherheit auf sie rechnen kann, trotzdem, daß der Hörende vollkommen von dem Obwalten einer Täuschung überzeugt ist.

So brauchen wir also jetzt nicht mehr, wie wir noch Eingangs gethan haben, an die prästabilierte Harmonie zu erinnern, vermöge deren die dem Geiste immanente Raumanschauung allein an den Sehnerv gebunden wäre, dagegen nicht an den Hörnerv, sondern wir sehen die Unmöglichkeit ein, daß dieses geistige Vermögen an der unmittelbaren Thätigkeit des Acusticus anknüpfen könne, haben aber gleichwohl der Behauptung einiger Physiologen wegen diesen Punkt noch von physikalischer Seite zu beleuchten.

Ad 2) Es ist eine von uns oben erörterte Thatsache, daß bei einer gewissen Breite der Schallquelle der Schall in der Richtung des ursprünglichen Stoßes mit größerer Intensität als in jeder anderen fortgepflanzt wird. Die Annahme liegt sehr nahe, daß dieses Vorschlagen der Intensität in einer Richtung auch innerhalb des Labyrinthes noch stattfinden, daß also bald diese bald jene Ampulle, bald die Schnecke oder der Vorhof vorherrschend stark getroffen werde. Vorausgesetzt, es existirte die Möglichkeit, die räumlichen Verhältnisse der Nerven sich bewusst zu machen, so läßt sich leicht zeigen, daß solche Nervenstellen mit den Schallquellen sehr häufig nicht durch senkrecht auf die Nervenaustrittsstelle gestellte Gerade verbunden werden können, wonach wir doch allein die Richtung bestimmen. Abstrahiren wir von den Schallwellen, welche durch die Luft zunächst dem Gehörorgan zugeführt werden, und betrachten diejenigen, welche durch die festen Theile des Schädels in das Labyrinth gerathen. Daß sie auf diesem Weg dahin kommen, setzt voraus, daß die Schwingung groß genug sei, die hemmende Differenz der Dichtigkeit zwischen Luft und Knochen zu überwinden. Ist dies an der Peripherie des Schädels geschehen, so ist unvermeidlich, daß, wenn in der Richtung des ursprünglichen Stoßes keine weitere Knochensubstanz innerhalb des Schädels gelegen ist, die Intensität der Schwingung, wegen der abermaligen Dichtigkeits-Differenz in der schalleitenden Substanz, abgeschwächt werde. Dieser letztere Umstand wird zur Folge haben, daß wohl in allen Fällen alle Theile des knöchernen Labyrinthes von gleich starken Schwingungen getroffen werden, so weit es eben die Homogenität der Knochensubstanz zuläßt. Von dieser wird also zuletzt mehr abhängen, an welchem Punkte zuerst das häutige Labyrinth von einem stärkeren Impulse getroffen werde, als von dessen ursprünglicher Richtung.

Bernachlässigt man alles dies, und legt der eigenthümlichen Stellung der Bogengänge, durch welche sie wie für die drei Dimensionen des Raumes bestimmt scheinen, aus teleologischen Gründen die Bedeutung bei, als seien sie für die Auffassung der Richtung eines Schalles von Belang, so stößt man dennoch sogleich wieder auf Schwierigkeiten, welche durch die Macht eines teleologischen Beweises, und ein anderer ist nicht möglich, nicht zu entfernen wären. Niemand kann behaupten, daß die Schallwelle plötzlich vernichtet wird, so wie sie an diesem oder jenem Theil des Acusticus angekommen ist, sondern sie schreitet im Raume nach bestimmten physikalischen Gesetzen unaufhaltsam weiter fort. Gesezt nun, es träfe eine Schwingung mit vorwiegender Intensität den Gipfelpunkt z. B. des horizontalen Bogenganges, so liegt hier in der Direction der Schwingung kein Nerv, und die Schwingung selbst erleidet bei ihrem geradlinigen Fortschreiten und dem Uebergang in das Labyrinthwasser eine, sei es auch noch so geringe Schwächung. Ist die Welle aber einmal hier angekommen, so läuft sie darin entsprechend der Krümmung

des Bogenganges ab, gelangt zu dem Nerv der Ampulle, aber auch weiter und gewiß nicht geschwächt in den Vorhof, und von da sofort in die Ampullen der übrigen Bogengänge und in die Schnecke; denn alle diese Theile zusammen stellen ja einen mit Flüssigkeit erfüllten Raum dar, in welchem die Wellen sich kugelförmig ausbreiten.

Der Ampullennerv des horizontalen Bogenganges hat also in diesem Falle nichts voraus, als daß er zuerst von einer Schwingung getroffen wird, welche nachträglich gewiß nicht mit beeinträchtiger Intensität alle übrigen Nervenabtheilungen des ganzen Organes erreicht. Dies genügt etwa, um aus jener Priorität die Richtung zu bestimmen? Man denke sich einen leuchtenden Körper mit der Geschwindigkeit einer Schallwelle vor dem Auge vorübergeführt — und es wird gewiß nicht zu entscheiden sein, ob der untere oder obere Theil der Netzhaut zuerst vom Licht getroffen wurde, vielmehr wird es scheinen, als ob die Summe der einzelnen hintereinander afficirten Fasern gleichzeitig wäre vom Licht erregt worden. Ich wüßte keinen Grund anzugeben, demzufolge der Acusticus eine Ausnahme in dieser Beziehung machen sollte. Kann diese nicht bewiesen werden, so ist auch an eine Unterscheidung der Richtung mittelst der Bogengänge nicht zu denken.

Endlich aber: Wie viele Schallquellen giebt es wohl, welche keine größere Breite hätten, als die Entfernung zweier Schenkel eines Bogenganges und seiner Wandungen? Ich glaube sehr wenige. Hat die Schallquelle aber nicht diese Eigenschaft, so nützt auch der Umstand, daß die Schwingung in der Richtung des Stoßes mit größter Intensität fortschreitet, nichts für die Auffassung dieser Richtung durch einen Bogengang; denn es werden dann von vornherein gleich mehrere, gewiß in der Mehrzahl der Fälle alle Bogengänge sammt der Schnecke von den durch den Schädel gehenden Wellen getroffen.

Aus alle dem ist also klar, daß wir über die Richtung eines Schalles, dessen Schwingungen durch die festen Theile des Kopfes zu dem Nerv gelangen, nichts erfahren können, wie uns von experimenteller Seite her unsere früher angeführten Versuche bereits gelehrt haben.

Daß die Bogengänge auch nichts zur Unterscheidung der Schallrichtung bei Schwingungen beitragen, welche von der Luft her zu ihnen gerathen, läßt sich noch viel kürzer beweisen. Die Breite des Anstosses ist hier immer bedingt von der Größe der Steigbügelplatte, ist also constant. Die Richtung des Anstosses ist bedingt von der Stellung dieser Platte zu dem von der Endolymphe erfüllten Raum. In vielen Fällen sitzt der Steigbügel unbeweglich in dem ovalen Fenster: dann ist also auch die Richtung des Stoßes ein für allemal fixirt, und wenn sich der Impuls in dieser Richtung mit vorwiegender Intensität fortpflanzt, so trifft er bei jeder beliebigen Lage der Schallquelle zum Labyrinth immer denselben, nicht aber je einen verschiedenen Punkt der Nervenaustrittung. Wo aber die Steigbügelplatte auch nicht in das ovale Fenster eingeklemt ist, bleibt die Veränderung ihrer Stellung immer eine sehr beschränkte, wodurch dieselbe nicht etwa bald der einen bald der anderen Ampulle gegenüber gebracht werden könnte, und wäre dies auch der Fall, so thäte dies nicht der äußere Impuls, sondern der Steigbügelmuskel, und es bliebe also auch in diesem überhaupt nicht statuirbaren Fall die Lage der Schallquelle ganz gleichgültig, also auch nicht durch den Nerv bestimmbar.

Ich glaube nach alle dem, was wir von anderen Sinnesnerven wissen, behaupten zu dürfen, daß von allen Fasern des Acusticus jede die gleiche sogenannte specifische Energie besitze. Freilich kennen wir unter der großen

Classe der sensitiven Nerven einzelne, welche bei ihrer Thätigkeit andere Empfindungen zu vermitteln im Stande sind, als die übrigen derselben Classe, z. B. die Nerven der Geschlechtsorgane: das Wollustgefühl. Die Entstehung desselben darf jedoch gewiß nicht auf Rechnung einer specifischen Energie dieser Nerven im Gegensatz zu anderen gebracht werden, sondern erklärt sich aus einem bestimmten Verhältniß derselben zu gewissen centralen Nervengruppen. Niemand fiel es je ein, in der Netina Nerven anzunehmen, welche allein die Farb-Eindrücke und andere, welche die Eindrücke der verschiedenen Licht-Intensitätsgrade vermittelten, oder an Elemente zu glauben, welche allein die blauen, andere, welche die gelben Strahlen u. s. w. zur Perception brächten. Gewiß ebensowenig dürfen wir vermuthen, daß unter den Nervengruppen des Acusticus einzelne designirt wären, die Klangfärbung, andere den musikalischen Werth eines Tones, andere seine Intensität zum Bewußtsein zu bringen. Zu solchen Auffassungsweisen, welche der Theorie nicht ganz fremd geblieben sind, hat die Gruppierung der Nervenfasern in einzelnen Abtheilungen des Gehörorganes verleitet, auch können wir keineswegs die letzteren als verschiedene Instrumente betrachten, welche je nach ihrem Bau bald bei diesem bald bei jenem außen erregten Ton entsprechend mittönen, wie z. B. Gläser von verschiedener Größe und Masse mit dem ihnen eigenthümlichen Grundton klingen, wenn man denselben in ihrer Nähe pfeift. So können diese gesonderten Nervenapparate allein dazu angelegt sein, die aus dem verschiedenen Bau der einzelnen Abtheilungen unseres Gehörorganes hervorgehende Verschiedenheit der Intensität des Schalles nicht in seiner Verschiedenheit an diesen Punkten aufzufassen, sondern trotz dieser Verschiedenheit bei je einem in das Labyrinth gerathenen Schall gleich. Wir kennen jedoch die Schallverstärkung für die einzelnen Töne, welche gewiß nicht alle in gleicher Weise in den Theilen des Gehörorganes verstärkt werden, viel zu wenig, als daß wir die sonst physikalisch gerechtfertigte Annahme von der Hand weisen könnten, nämlich, daß in dem einen Theil dieser, in einem anderen Theil jener Ton oder Schall, welcher an sich eine sehr geringe Intensität hat, durch die Form der einzelnen Glieder des Ohres bis zu dem Grade verstärkt werde, daß er den dort befindlichen Nerv in den geeigneten Erregungszustand versetzen könne. Denn gewiß ist, daß bei der aus der Resonanz hervorgehenden Schallverstärkung in dem einen Falle dieser Ton mehr begünstigt ist als ein anderer. So könnten also möglicher Weise gewisse Feinheiten in dem Unterschiede zweier Töne, vorzüglich in der einen, andere in einer zweiten Abtheilung eine gewisse Prägnanz bekommen, ohne daß man weder zu der Annahme gezwungen wäre, es hätte hier der Sinnesnerv eine andere Energie als dort, oder es könne dieser Abschnitt des Gehörorganes nur diese Eigenthümlichkeit des Tones überhaupt reproduciren, jener nur eine andere. Besitzt der Ton alle seine Eigenthümlichkeiten in so hohem Grade, daß sie vermöge ihrer Intensität überhaupt alle Abschnitte der Nerven ausbreitung erregen können, so wird eben von jeder Faser aller dieser Abschnitte die ganze Summe dieser Eigenschaften dem Sensorium zugebracht. Die Leistungen je eines solchen Abschnittes in dieser Beziehung sind uns vollkommen unbekannt, und deswegen vermögen wir auch über die Dignität dieser oder jener Nerven ausbreitung im Gehörorgan nichts auszusagen. Erwähnt sei, daß man den Vorhof als den wichtigsten Theil angesehen hat¹⁾, weil er noch auf der untersten Stufe der Thierreihe, nach

¹⁾ Scarpa disqu. anat. de aud. et olfactu Sect. II. cap. 4 §. 14.

Wegfall aller anderen Organe des Gehöres höherer Ordnungen, seine Repräsentation in dem Bläschen findet, auf welchem der Acusticus sich ausbreitet. Dadurch aber kann dieser Theil nur als der nothwendigste für die Schallperception im Allgemeinen betrachtet werden, nicht aber als der wichtigste für die Sinneswahrnehmung, welche bei den Wirbelthieren und dem Menschen bezweckt ist. Es läßt sich aber kaum vermuthen, daß der Vorhof für alle das Labyrinth durchlaufenden Wellenzüge eine gleich gute Stellung habe, sonst begriffe sich eine weitere Nervenaustrahlung in den Ampullen schlechterdings nicht. Ob die Nervenordnung in ihm vielleicht ein bevorzugter Punkt des von uns statuirten Sinnescentrum sei, wozu sich vielleicht Gründe auffinden ließen, muß die Zukunft entscheiden.

4) Der akustische Nerv und die subjectiven Töne.

Unter den subjectiven Gehörsempfindungen hätte man genau genommen nur solche zu verstehen, welche jeder äußeren als Schallwelle auftretenden Ursache entbehren, welche also nur in Folge anderweitiger Reize als Erregungszustände des Acusticus auftreten. Dieser vermittelte dann nur vermöge seiner eigenthümlichen Rückwirkung auf das Sensorium die Empfindung eines Schalles oder Tones, welcher jedoch aller Objectivität entbehre.

Allgemein aber findet man bei dieser Gelegenheit Tonempfindungen besprochen, welche wirklich eine objective Basis haben, und denen man hier nur eine Stelle einräumt, weil sie in dem Subject des Hörenden selbst erzeugt werden, dahin gehört das Knacken, das Rauschen im Ohr und dergl. Mit gleichem Recht gehört hieher auch die Untersuchung des Hörens unserer eigenen Stimme, und wir theilen deshalb diesen ganzen Abschnitt in zwei Theile, und untersuchen 1) das Entstehen und Hören gewisser Töne, welche bei der Thätigkeit innerer Organe auftreten; 2) das Entstehen von Tonempfindungen ohne alle objective sonst tonerzeugende Veranlassung: subjective Tonempfindungen im engeren Sinne des Wortes.

1) Unsere Aufmerksamkeit wird zuerst auf Töne geleitet, welche in dem Gehörorgan entstehen, und zwar entweder unter Mitwirkung der Luft des Ohres oder ohne dieselbe. Geräusche und zwar ein dumpfes Sausen vernimmt man durch Schwingungen, welche in der Luft des äußeren Gehörganges erregt werden, wenn sich von selbst durch Ansammlung von Schleim oder Ohrenschmalz der Gang beträchtlich verengt, oder wenn wir einen festen Körper in denselben bis zu einer gewissen Tiefe einführen. Benutzen wir dazu den Finger und führen denselben in den Gehörgang ein, so nehmen wir zweierlei wahr: ein Geräusch ganz ähnlich dem Sausen, welches uns aus einer vor das Ohr gehaltenen Muschel zu kommen scheint, und unter günstigen Bedingungen einen Klang, welcher zuerst mit größeren Intervallen wie das Picken einer Taschenuhr auftritt, bei tieferem Einführen des Fingers aber continuirlich wird. Daß das Sausen von Luftströmungen herrührt, durch welche sich die Temperatur vor und in dem Ohre ins Gleichgewicht zu setzen scheint, wird ziemlich allgemein angenommen; daß Luftströmungen, welche sonst unserem Gehör entgehen, in einer vor das Ohr gehaltenen Muschel mit geeigneter Oeffnung und passendem Hohlraum eine Verstärkung durch Resonanz bekommen, und dadurch erst auf das Gehörorgan wirken können, ist sehr wahrscheinlich; daß, wie bei einem Ofen, durch Verengerung

des Windloches in der Dfentbüre, so auch bei Verengerung des Meatus auditorius Geräusch erzeugende Luftströmungen auftreten können, ist nicht unglaublich, kann aber nicht als die alleinige Ursache betrachtet werden; denn das Geräusch dauert auch noch fort, wenn man den Gehörgang so fest verstopft hat, daß gewiß gar keine Luft zwischen den Wandungen des Ganges und dem verschließenden Körper aus- und einstreichen kann. Das Geräusch wird viel deutlicher, wenn man beide Ohren gleichzeitig verstopft, und hiebei lernt man am besten die Hauptursache des Geräusches kennen, thut jedoch aus bald zu erörternden Gründen gut, statt der Finger Papierpfropfen zu nehmen, welche man vorher weich gekaut hat. Ist dies geschehen, so beobachtet man Remissionen an dem Geräusch, welche mit den Respirationsbewegungen, d. h. mit den Pausen in denselben zusammenfallen, zugleich hat das Geräusch, welches diesseits und jenseits dieser Pausen gehört wird, als charakteristischen Consonanten: *Ch*, dagegen das in den Remissionen fortdauernde den Consonanten: *F*.

Hält man jetzt den Athem an, so dauert das Geräusch etwas geschwächt fort, zeigt aber auch wieder periodische Verstärkungen, welche mit den Herzschlägen synchronisch sind. Es sind diese Geräusche also fortgepflanzte Schalle; der eine hat seine Quelle in den Stimmbändern, der andere in den Strömungen des Blutes; sie sind also nicht erst entstanden in der Luft des Ohres, was nebenbei auch möglich ist, aber nur dann, wenn der Gehörgang nicht luftdicht verschlossen wird.

Ich warnte vorhin, den Verschuß mit dem Finger zu bewerkstelligen, und zwar deßhalb, weil dadurch neben dem Geräusch hie und da ein klingender Ton erzeugt wird, welcher mit der Entstehung des Geräusches gar nicht zusammenhängt, sondern als Grundton des Trommelfelles zu betrachten ist, welchen man auf diese Weise jeden Augenblick erzeugen kann. Auch er ist beim Einführen des Fingers periodisch und zwar wie ein äußerst schnelles Picken einer Taschenuhr, auch ähnlich klingend und sehr hoch. Der Rhythmus hat aber eine rein äußerliche Ursache, nämlich keine andere als die Vibrationen des Fingers; dies geht aus Folgendem hervor. Ich kann willkürlich den Rhythmus ändern, je nachdem ich schnellere oder langsamere Vibrationen des Fingers willkürlich ausführe. Auch wird der Klang dabei stärker oder schwächer, je nachdem ich bei den aufeinanderfolgenden Stößen des Fingers tiefer oder weniger tief in den Gehörgang eindringe. Weiter verliert der Ton das Rhythmische ganz, wenn der Finger sehr tief eingeführt ist, was sich daraus erklärt, daß jetzt die Vibrationen desselben wegen des beschränkten Raumes an Excursion bedeutend verlieren, also auch nicht mehr mit so großen Elongationen, somit also in sehr kurzer Zeit aufeinanderfolgen, so daß sie zuletzt nicht mehr einzeln empfunden werden können, sondern bloß ihre Summe als continuirlicher Klang vernommen wird.

Man kann plötzlich diesen Klang hervorbringen, wenn man einen Papierpfropfen in den Gehörgang eingeführt hat, und denselben durch einen einmaligen Stoß mit dem Finger tiefer eintreibt, oder wenn man den bloßen eingeführten Finger plötzlich etwas herauszieht. Im letzteren Falle wirkt derselbe wie der Stempel einer Spritze und spannt momentan das Trommelfell nach außen. Hieraus erklären sich eine Menge subjectiver Töne bei Krankheiten des äußeren Gehörganges, bei denen Schleim zc. den Pfropf bildet und zugleich etwa die mit Blut überfüllte Arteria auricularis profunda durch ihr stärkeres Klopfen die Vibrationen des Fingers ersetzt. —

Geräusch entsteht ferner bei Verschluss der Tuba Eustachii, wenn dieselbe durch Schleim zc. verstopft ist, oder ihre Wände durch heftige Expiration, besonders bei zugehaltener Mund- und Nasenöffnung, fest aneinander gedrückt werden, ohne daß bis jetzt eine genügende Theorie dasselbe erklären konnte. Von Lincke, welcher Royster's ¹⁾ Ansicht von der Function der Eustachischen Trompete folgt, wird dieses Geräusch dadurch erklärt ²⁾, daß in dem jetzt vollkommen abgeschlossenen Luftraume der Trommelhöhle ein Selbsttönen eintritt, welches jede auch die leiseste äußere Schallschwingung begleitet.

Hierher gehört auch das Knacken im Ohr, welches häufig zufällig entsteht, aber auch willkürlich mit einiger Uebung erzeugt, und dann von einem Zweiten, wie Müller versichert ³⁾, gehört werden kann. Als Mittel, durch welches man dieses Knacken hervorrufft, ist die Contraction des Musculus tensor tympani, welchen seine Querstreifen als willkürlich beweglichen Muskel charakterisiren, zu betrachten; die Ursache des Tons wird von Verschiedenen verschieden, und wie ich beweisen werde, von Keinem richtig angegeben. Fabricius ab Aquapendente ⁴⁾ kannte dies Geräusch schon und erklärte, daß es von seinem Willen abhängt, es hervorzurufen. Mayer ⁵⁾ erzählt von einem Gelehrten, welcher die Bewegung seiner Gehörknöchelchen so sehr in seiner Gewalt hatte, daß man »das feine Geknirsche der über einander bewegten Knochen« deutlich hören konnte. Ganz genau beschreibt Müller ⁶⁾ das Geräusch und vergleicht es mit dem »Knistern des elektrischen Funken, oder wie wenn man die klebrig gemachte Fingerspize auf Papier drückt und dann plötzlich abzieht«. Er glaubt dann weiter den Beweis geführt zu haben, daß dasselbe durch die Wirkung jenes Muskels auf das Trommelfell hervorgerufen wird, indem er es nach innen zieht, was einem Stoß von außen gleich ist. Ehe ich den Beweis Müller's prüfe, muß ich die Methode angeben, mittelst welcher ich dasselbe Geräusch, genau wie es Müller beschreibt, an der Leiche hervorrufe, woher es in diesem Fall rührt, und ob sich Müller's weitere Untersuchungen damit in Einklang bringen lassen.

Ich breche die Trommelhöhle hinter dem Trommelfell auf, ohne daß die Gehörknöchelchen aus ihrer Lage gebracht oder das Trommelfell irgendwo von seiner natürlichen Befestigung getrennt würde. Drehe ich dann den Kopf des Hammers in dem Sinn, in welchem der Musc. tensor tympani wirkt, mit einer gewissen Geschwindigkeit, so sehe ich plötzlich ein kleines Fältchen neben dem Handgriff am Trommelfell sich erheben und ausgleichen. In dem Moment, in welchem letzteres geschieht, erfolgt ein Knistern oder Knacken, wie nur dumpfer bei einem Tuch, an welchem man eine Falte plötzlich wieder ausgleicht. Je weniger macerirt das Trommelfell ist, desto leichter ist der Versuch anzustellen.

Die Uebereinstimmung dieses Geräusches mit dem, welches man in dem eigenen Ohr hört, ist so vollkommen, daß man keinen Augenblick an der Identität beider zweifeln kann, auch wüßte ich nicht, wie gerade ein solches durch das plötzliche Einwärtsziehen des Trommelfelles entstehen sollte, wodurch entweder nur der sehr hohe, klingende Grundton desselben erzeugt werden könnte, wenn es dadurch in eine Schwingung gerieth, oder das Gefühl

¹⁾ De instrumento auditus Cap. XIII. pag. 101.

²⁾ Handbuch der Ohrenheilkunde. Bd. I. pag. 487.

³⁾ Physiologie. II. pag. 440.

⁴⁾ De aure auditus organo. Cap. VI. 143.

⁵⁾ Beschreibung des ganzen menschlichen Körpers. Bd. V. pag. 443. Anmerkung.

⁶⁾ l. c. pag. 439.

eines »Ruckes« durch den Rückstoß auf das Labyrinthwasser, wobei eher der Ton eines Knalles als dieses Knistern zum Vorschein kommen dürfte.

Tritt das Knacken auf, nachdem man durch starkes Ausathmen bei zugehaltenem Mund und Nase das Trommelfell nach außen gedrängt hatte, und dann plötzlich wieder jene öffnet, so hat man sich zu denken, daß durch die Spannung nach außen der Hammermuskel sehr gedehnt wird, bei dem plötzlichen Nachlaß der Spannung elastisch zurückschnellt und dabei durch übermäßige Contraction jene Wirkung erzeugt, welche wir künstlich durch Drehung des Hammerkopfes an der Leiche hervorrufen. An dieser kann noch ein zweites ähnliches Knacken oder Knistern durch Zerren der Sehne des Steigbügelmuskels hörbar gemacht werden, welches aus gleicher Ursache, aber wohl schwerlich durch ein Schnellen derselben etwa im Leben entstehen dürfte.

Wie man die Vibrationen der Stimmbänder bei den Athembewegungen sehr deutlich hören kann, wenn man die Ohren verstopft hat, ebenso hört man bei geschlossenen sowohl als bei offenen Ohren die verschiedenen Laute, welche mittelst der Stimmbänder und den vor ihnen gelegenen Theilen artikulirt werden; wir hören uns also sprechen. Lassen wir die Entstehung der Sprache und Stimme überhaupt außer Acht, so haben wir hier nur zu ermitteln, mit welchen Theilen des Gehörorganes zunächst und zumeist die von unseren Sprachwerkzeugen erzeugten Schallwellen vernommen werden, und auf welchem Wege sie zu dem Hörnerv kommen. Zwei Hypothesen sind es, welche uns die Litteratur zu prüfen giebt. Nach der einen geschieht die Zulassung durch die Luft, und zwar entweder durch die Tuba Eustachii oder durch den äußeren Gehörgang, oder auf beiden Wegen; nach der anderen geschieht sie durch die festen Theile des Schädels, und es wird dabei die Schnecke als das zum Hören der eigenen Stimme wesentlich bestimmte Organ betrachtet.

Die für die erste Hypothese beigebrachten anatomischen Gründe ¹⁾ sind nicht stichhaltig; denn es findet sich die weitere Mündung der Röhre nicht sowohl über dem Kehltopf, als vielmehr seitlich und mehr nach vorn gegen die Nasenhöhle gekehrt, auch steht die innere Oeffnung durchaus nicht dem Trommelfell gegenüber, sondern mündet unter demselben in der vorderen und unteren Theile der Trommelhöhle ein. Die durch sie fortgehenden Schallwellen träfen das Trommelfell also nicht senkrecht, sondern unter einem sehr stumpfen Winkel, was doch keineswegs der Uebertragung der Schwingungen auf dasselbe günstig sein kann. Eine experimentelle Stütze für die Hypothese wurde in dem Resultat gesucht, daß man seine Stimme bei verstopftem Ohre noch vernehmen kann. Allein Jedermann muß, wenn er den Versuch macht, sogleich zugeben, daß die Stimme viel undeutlicher, dumpfer und mehr ihr Hall als ihr Klang gehört wird, und daß man ein den Schall begleitendes Zittern spürt, zum deutlichen Beweis, daß die Schwingungen durch die festen Theile des Kopfes gehen, also vernommen werden könnten, auch ohne Gegenwart der Tuba.

Schellhammer hat schon einen Gegenversuch angestellt, welchen ich ebenfalls wiederholt und mitgetheilt habe. Das Resultat desselben ist, daß man eine in den Mund eingeführte tönende Stimmgabel nicht mehr vernimmt. Die beweisführende Kraft dieses Versuches wird jedoch durch mehre Gründe geschwächt. Einen derselben hat bereits Müller ²⁾ hervorgehoben.

¹⁾ Bressa in Reil's Archiv für Physiologie. Bd. VIII. pag. 70.

²⁾ Handbuch der Physiologie. Bd. II. pag. 449.

Es besteht nämlich ein Unterschied zwischen den Schwingungen der Stimmgabel und denen der vibrirenden Stimmbänder; jene pflanzen sich, von festen Körpern kommend, schwer in die Luft fort, diese aber erzeugen, wie bei jedem Zungenwerk, in der Luft regelmäßige Mitschwingungen. Es scheint mir außerdem noch ein zweiter Einwand möglich. Es ist in Früherem erwähnt worden, daß der Ton einer schwingenden Stimmgabel offenbar durch Interferenz der Wellen verschwinden könne, wenn diese bis zu einer gewissen Tiefe in einen Glaszylinder hineingeschoben wird; ich beobachtete auch an der in den Mund einer zweiten Person gehaltenen Gabel eine Abnahme der Tonintensität, als sie tiefer in die Mundhöhle eingeführt wurde; gleichwohl dürfen wir die Eustachische Trompete als sehr wenig betheiligt bei dem Hören der Stimme halten, denn man kann momentan durch tiefe Inspirationsbewegung bei zugehaltener Nase und Mund die Tuba schließen, ohne daß die während der Zeit hervorgebrachten Töne für das Gehör verloren gingen ¹⁾.

Hören wir die Stimme durch die Luft, so bleibt nun kein anderer Weg als durch den äußeren Gehörgang und die Reihe der Gehörknöchelchen, was bei der kreisförmigen Ausbreitung der Schallwellen sehr wohl denkbar ist, ja Müller ²⁾ hält gerade für diese aus dem Munde austretenden Wellen die Concha am geeignetsten gebaut. Es schien mir auch, als würde die Stimme schlechter gehört, wenn man die Ohrmuschel platt an den Zigenfortsatz des Schläfenbeines andrückt. Versucht man z. B. so leise als möglich, mit genau gleichbleibender Schwäche, zu sprechen, so daß man die Töne gerade noch vernimmt, so verschwinden sie fast vollkommen, so wie man die Ohrmuschel zurückdrückt. Ebenso gewinnt der Ton an Stärke, wenn man die Muschel mittelst der hohlgemachten Hand etwas weiter nach vorn drängt, bei welcher Stellung und Mithülfe der schallauffangenden Handfläche auch das leise Klüstern Anderer erhört wird. Setzt man an das Ohr ein größeres gegen dasselbe hin sich verengerndes Metallrohr, so vernimmt man die eigene Stimme sehr stark, als würde von einem Zweiten in die Röhre hineingesprochen.

Dies ist hinreichend zu beweisen, daß die eigene Stimme durch Vermittelung von Luftschwingungen gehört werden könne, was jedoch vorläufig noch nicht die andere Hypothese ausschließt, sofern sie nur nicht behauptet, daß durch die festen Theile des Kopfes allein die Uebertragung der Schwingung unserer Stimmbänder auf den Ramus cochlearis des Acusticus möglich sei.

Dieses hat Weber, welcher die zweite Hypothese aufstellte, auch nicht gethan, sondern der Schnecke nur einen gewissen Vorzug in dieser Beziehung eingeräumt. Sein Raisonnement ist in der Kürze folgendes:

Das Spiralblatt der Schnecke hängt aufs innigste mit den übrigen Kopfknochen zusammen, zugleich ist das häutige Labyrinth durch die Perilymphe getrennt von dem knöchernen; aus diesen und anderen Gründen hält er, wie schon erwähnt, die Schnecke für dasjenige Organ, durch welches hauptsächlich die den Kopfknochen mitgetheilten Schwingungen zur Perception gebracht werden. Mit der Stimme verhielte es sich wie mit dem Schall einer Taschenuhr, welche man, frei in die Mundhöhle gehalten, bei verstopften Ohren gar nicht vernehme, sehr leicht dagegen, wenn sie Gaumen oder Zähne

¹⁾ Müller l. c. pag. 449.

²⁾ l. c. pag. 450.

berühre. Die in der Luft fortgepflanzten Schwingungen der Stimmbänder riefen ähnliche bei zugehaltenen Ohren fühlbare Erzitterungen dieser Theile hervor, woraus sich schließen ließe, daß dieselben durch diese festen Substanzen direct fortgeleitet zum Schneckenerv kommen, diesen also vor allen erregen müßten.

Linke ¹⁾ hat hiegegen eingeworfen, daß der Theil des Felsenbeines, in welchem die beiden letzten Windungen der Schnecke liegen, am meisten von den übrigen Schädelknochen isolirt, hauptsächlich von der Schädelbasis aus von einer Menge von Canälen und Spalten umgeben sei, welche von Nerven und Gefäßen durchzogen und von Weichtheilen bedeckt werden, was Alles die Fortleitung der Schallwellen aus der Mundhöhle durch die Kopfknochen zur Schnecke behindere.

Diesem Einwurf haben wir jedoch Einiges entgegen zu halten: Geben wir nämlich auch zu, daß die an der Schädelbasis gelegenen Weichtheile dämpfend wirken, und die senkrechten von unten nach oben fortgehenden Wellen abhalten, direct auf die Knochenmasse überzugehen, so ist dagegen die ganze Decke der Mundhöhle durch ihre Wölbung außerordentlich günstig gebaut, die Schallstrahlen in mehr horizontaler Richtung nach vorn, also gegen die Zahnreihen und besonders die obere, zu werfen und diese zu erschüttern. Stellt man den Unterkiefer so gegen den Oberkiefer, daß sich beide Zahnreihen eben berühren, so kann man auch durch sehr leises Summen Vibrationen der Zähne herbeiführen, wobei die Zähne gegen einander klappern und dadurch ihre Erschütterung zu erkennen geben. Die feste Einfügung der Zähne in die Kiefer erleichtert die Fortpflanzung der Schwingungen von jenen auf diese und von da auf die übrigen Kopfknochen in hohem Grade, und wenn auch noch so viele Nerven und Gefäße Canäle und Löcher in den letzteren verlangen, so bleiben immer noch genug feste Knochenbrücken, auf welchen die Schwingung ungehindert den Weg bis zur Schnecke finden kann; dann ist es auch gleichgültig, an welchem Punkte dieselbe und von welcher Seite her sie zuerst getroffen wird; die in Früherem angeführten Versuche von Savart lassen sich, wie Müller ²⁾ zeigte, sehr gut auf die Schnecke anwenden, und voraussetzen, daß dieses Organ in toto von den Schwingungen erschüttert werde.

Somit dürfte die Schnecke, in soweit die Schallwellen der Stimme sich auch durch die festen Theile des Schädels fortpflanzen, bei dem Hören derselben wesentlich theilhaftig sein.

Wie wenig endlich eine auch unterbrochene Knochenleitung den Fortschritt der Schwingungen hemme, sehen wir aus der Möglichkeit, die innerhalb der Bauchhöhle als Borborygmi auftretenden oft sehr leisen Geräusche gleichwohl zu hören.

2) Subjective Töne im engeren Sinne des Wortes kommen sehr häufig vor; oft aber wird es in dem speciellen Fall sehr schwer zu entscheiden, ob ihnen nicht wirklich in dem Körper oder außer demselben entstandene Schalle zu Grunde liegen. Oft wird es sich auch ereignen, daß objectiv Geräusche durch subjective Thätigkeit verändert werden, woraus eine bestimmte, gerade hier sehr häufig vorkommende Sinnestäuschung entsteht.

Knüpfen wir zunächst an den objectiven Tönen an, so ist eine der gewöhnlichsten hieher gehörigen Erscheinungen, welche wir bei einer irgendwie

¹⁾ l. c. pag. 527.

²⁾ Handbuch der Physiologie II. pag. 464.

beträchtlichen Intensität des Schalles wahrnehmen, die der Nachempfindung. Darunter verstehen wir die nicht mehr von wirklichen Schallschwingungen unterhaltene Thätigkeit des Acusticus, welche mit der von jenen ursprünglich angeregten sehr leicht verwechselt wird, oft von ihr in dem Bewußtsein gar nicht unterschieden werden kann.

Das oft stundenlange Klingen in den Ohren nach einer momentanen Explosion erkennt Jeder als eine subjective Empfindung an; denn es ist weder eine so lange fortdauernde Wellenbewegung in der nächsten Umgebung des Nery, noch in dem Trommelfell oder den Kopfknochen denkbar, und kann allein aus der Fortdauer des Nervenprocesses, welcher von dem physikalischen schallerzeugenden Vorgang ganz verschieden ist, abgeleitet werden. Es giebt aber Mittel, durch welche das Subjective an einer solchen Empfindung so vollkommen verdeckt werden kann, daß wir uns nur durch die Methode des Versuches selbst von seiner Gegenwart überzeugen können. Ich meine hier das Experiment Savart's, welcher zeigte, daß man aus seinem zahntragenden Rad zwischen heraus einzelne der sonst in regelmäßigen Abständen aufgepflanzten Zähne entfernen kann, ohne daß diese Lücken bei der Umdrehung des Rades als Unterbrechungen des dabei erzeugten Geräusches oder Tones empfunden würden. Der Ton ist continuirlich, als fehlte keiner der Zähne, und die in der Empfindung vorhandene Ausfüllung der Lücken kann aus nichts Anderem als aus der den Reiz überdauernden Erregung des Nery hervorgehen.

Es bleibt aber eine offene Frage, ob nicht in einzelnen Fällen ein freilich nur kürzere Zeit dauerndes Nachklingen abgeleitet werden könne von den einem einmaligen Impuls nachfolgenden Schwingungen des Trommelfelles, wenn dasselbe etwa durch den Ton zufällig zum Mitklingen gebracht, oder sonst wie veranlaßt wurde mit seinem Grundton selbst zu tönen. Ebenfowenig wird sich bei vielen selbstständig auftretenden Geräuschen und Tönen entscheiden lassen, ob sie durch eine in dem Hörnery primär erregte Thätigkeit erzeugt sind, oder dadurch, daß in den Nerven der im mittleren Ohr gelegenen Muskeln aus inneren Ursachen Erregungszustände hervorgerufen wurden, welche Krampf oder Zittern zc. in jenen kleinen Muskeln erzeugen, in deren Folge Schwingungen im Labyrinthwasser unausbleiblich wären.

Die inneren Ursachen, welche den Gehörnery primär erregen, können sehr verschieden sein: mechanische oder chemische. Zu den mechanischen rechne ich den abnormen continuirlichen Druck durch Blutextravasate oder sonstige pathologische Massen auf die Nervenfasern, oder den periodischen Druck bei Pulsationen überfüllter Gefäße in der Nähe des Nery oder seiner centralen Punkte; als chemische Ursachen müssen die erwähnt werden, welche zunächst in einer Veränderung der Blutmischung und Alteration der Zusammensetzung der Nervensubstanz gelegen, in vielen Krankheiten, Typhus zc., durch subjective Töne und Gehörspantasmen der verschiedensten Art sich zu erkennen geben. Der Ohnmacht und der durch Narkotika eingeleiteten Betäubung gehen dergleichen in der Form des Ohrenbrausens und Klingens sehr häufig voraus.

Endlich ist die Phantasie geschäftig, einfache Schalle oder Töne, welche eine objective Ursache haben, in Verbindung mit ihren anderen Bildern zu bringen, und denselben eine Bedeutung zu geben, die ihnen an sich nicht zukommt, woraus besonders in den verschiedenen Formen des Wahnsinns jene fortlaufenden lauten Selbstgespräche, oder die Angst vor ungesesehenen und nur

gehörten Dingen u. dgl. entsteht: Täuschungen, welche sich um so fester in das Bewußtsein einklammern, als die Mittel fehlen, die wahre Deutung plausibel zu machen. Was Einer gehört zu haben glaubt, läßt er sich viel schwerer wegdisputiren, als was er gesehen haben will.

5. Der Acusticus und seine Sympathien.

Die Wechselwirkung der einzelnen Nervengebiete, welche durch die Centralorgane unterhalten wird, muß auch in Beziehung auf den Acusticus und die Empfindungsnerven, sowie auf die übrigen Sinnes- und motorischen Nerven hier gewürdigt werden; zugleich wird man es unserer Anschauungsweise des Verhältnisses von Geist und Körper zu Gute halten, wenn wir unter dieser Rubrik auch die auf Gehörsempfindungen gerichteten geistigen Vorgänge in der Kürze besprechen.

Die Sympathien des Acusticus mit den sensitiven Nerven überhaupt geben sich auf zweierlei Art zu erkennen: einmal nämlich dadurch, daß durch Reizung von Empfindungsnerven subjective Tonempfindungen geweckt werden können, z. B. durch Streicheln gewisser Hautflächen mit dem Finger. Es ist dabei wohl nicht leicht anzunehmen, daß durch Reflexbewegung in den Muskeln des mittleren Ohres Erzitterungen in den dort befindlichen Knöchelchen hervorgerufen werden, allein es ist dies nicht ganz undenkbar, der Entscheid jedoch nicht leicht zu führen. Die andere Art der Sympathien dieser Nervengruppen zeigt sich in der Rückwirkung gewisser Tonempfindungen auf das Gefühl in größeren oder kleineren Massen sensibler Punkte des Nervensystems. Man weiß, welche mannigfaltigen Sensationen sich mit dem Hören gewisser schneidender, schriller Töne verbinden. Bald erwecken sie das Gefühl von Nieseln über den Rücken, bald Schmerz in den Zähnen, bald Stechen in den Augen ¹⁾ etc. Ich bin geneigt, diese Mitempfindungen von den centralen Punkten des Trigemini lieber abzuleiten als von denen des Acusticus, habe aber freilich nur eine Unterstüzung für diese Ansicht beizubringen, bei der es dahingestellt bleibt, ob man sie will gelten lassen oder nicht. Wie erwähnt, sind es nämlich die schrillenden Töne hauptsächlich, welche dergleichen Gefühle hervorrufen. Es ist ganz unzweifelhaft, daß Schwingungen existiren, welche außer den Gehörnerv auch noch andere Nerven in Bewegung versetzen können, was man ja bei starken Glockentönen an dem ganzen Thorax fühlt. Solcher Bewegungen können in den Empfindungsnerven des Gehörganges und Trommelfelles gewiß auch entstehen, und dort eine Art Kitzel erzeugen, welcher am meisten geeignet ist, Erscheinungen der Irradiation hervorzurufen, wie man denn auch wirklich im Stande ist, von jenen empfindenden Flächen aus durch Kitzeln mit einer Feder ganz ähnliche Hautgefühle zu erwecken. Schwindel ²⁾, Bangigkeit ³⁾ u. dgl., welche man an reizbaren Menschen auch beim Hören leiser und reiner Töne hie und da auftreten sah, können wir mit gutem Grunde von einer zunächst von dem Hörnerv ausgehenden Anregung ableiten.

Die Sympathien des Acusticus mit den Sinnesnerven anlangend, so ist

¹⁾ Balth. Walter, Neue Beschreibung des Pffefferser Mineralwasser. Zug. 1794. pag. 85.

²⁾ M. Herz, Versuch über den Schwindel. Berlin. 1791. pag. 364.

³⁾ Haller, Element. physiol. Vol. IV. pag. 294.

keinem Zweifel unterworfen, daß die Acustici beider Ohren zu einander in einem sympathischen Verhältniß stehen, wie aus dem bereits angeführten Experiment hervorgeht, bei welchem wir sahen, daß der von einem Eisenstab durch eine Schnur zu dem Gehörorgan fortgeleitete Schall stärker gehört wird, wenn die Leitung zu beiden Ohren als bloß zu einem hergestellt ist. Es werden auch pathologische Fälle erzählt, in welchen Taubheit beider Ohren in beiden gleichzeitig durch Anwendung von Mitteln bloß auf das Eine gehoben wurde ¹⁾.

Rückwirkungen auf den Gesichtssinn erinnere ich mich nicht irgendwo gelesen zu haben, und kann nur eine einzige an mir selbst gemachte Wahrnehmung hier anführen. Durch Musik in einem in der Nähe meiner Wohnung gelegenen Garten wurde ich tief in der Nacht aus dem Schlaf geweckt. In diesem Augenblick sah ich auch in dem ganz finsternen Zimmer vor meinen Augen farbige Punkte, welche durch Auf- und Abbewegen und durch Schwenkungen in Wellen den bald langsameren, bald schnelleren Gang der Melodie nachbildeten, wobei diese Linien entsprechend dem Takt periodisch aufblitzten.

Rückwirkung von dem Gesichtssinn auf das Gehör kommt ebenfalls vor, und ich habe die hieher gehörige Erfahrung früher schon erwähnt; sie besteht darin, daß durch plötzliche gresle Erleuchtung der Klang eines Tones verändert erscheint. Eine physikalische Erklärung dafür kann nicht gegeben werden; es bleibt also nichts übrig, als diese Erscheinung durch Irradiation von dem Opticus auf den Acusticus im Centralorgan zu erklären.

Eine Wechselwirkung zwischen dem Acusticus und Olfactorius ist nicht bekannt. Rückwirkung von ihm auf die Geschmacksnerven kann, wenn sie vorkommt, als mittelbar entstanden gedacht werden, nämlich durch die Dazwischenkunft einer Erregung sympathischer Nervenfasern, welche durch viele Beobachtungen an Kranken und auch sonst constatirt zu sein scheint.

So werden Fälle erzählt von plötzlichen Durchfällen bei Geräuschen ²⁾, von Zusammenfließen des Speichels bei heftigen Tönen ³⁾, von Cardialgie bei jedem heftigen Knall ⁴⁾, von Thränensecretion bei jedem vernommenen Wort ⁵⁾.

Umgekehrt concentrirt sich auch die krankhafte Affection von Nerven innerer Organe auf den Acusticus, wenn wir hier Volkman's Theorie von der Concentration gewisser Empfindungen folgen wollen.

Krankheiten der Backenzähne (caries) sah man hie und da von Taubheit begleitet, von Schwerhörigkeit das Hervorbrechen des Weisheitszahnes. Periodisch tritt sie bei Anfüllung des Magens mit unverdaulichen Speisen in Krankheiten des Unterleibes ein. Bei Helminthiasis beobachtete man starkes Ohrenbrausen, welches nach Abgang der Würmer verschwand; Taubheit bei galligen Fiebern wird sehr häufig erwähnt; ebenso mehrmals bei Schwangerschaften und die Dauer der monatlichen Reinigung über ⁶⁾: Thatsachen, von denen aus gewisse therapeutische Methoden, nämlich die Versuche durch Musik zu heilen, eine rationelle Grundlage erhalten.

Der Connex des Acusticus mit motorischen Nerven oder deren Centren läßt sich vielfach nachweisen und ist zur Erklärung mancher Erscheinungen

¹⁾ Saissy, Essai sur les maladies de l'oreille interne. 1827. Sect. II. §. 1. pag. 102.

²⁾ Hargens in Hufeland's Journal. Bd. IX. pag. 200.

³⁾ Lincke l. c. pag. 567.

⁴⁾ Teule, de l'oreille Par. 1828. pag. 270.

⁵⁾ Balth. Walter l. c. pag. 85.

⁶⁾ Ausführlich zusammengestellt bei Lincke l. c. pag. 571.

benutzt worden. Die Anregung zu Bewegung im Allgemeinen hat unter Anderen Carus ¹⁾ hervorgehoben, indem er den Hörnerv im kleinen Gehirn entspringen läßt, in dieses den Sitz des Willens verlegt und aus beiden die eigenthümlichen Wirkungen der Affecton unseres Hörnerven auf Handlungen des Muthes und der Furcht zc. ableitet. Wir könnten hievon vorläufig abstrahiren, hätten wir hier nicht ein merkwürdiges Experiment von Florens anzuführen, dessen Resultat bei dieser Gelegenheit zunächst besprochen werden muß. Nach ihm sind die Erfolge der Durchschneidung der mittleren Kleinhirnstiele und der horizontalen halbkreisförmigen Canäle die gleichen: Rollen des Thieres um sich selbst. Ebenso sind wieder die Erfolge der Durchschneidung der mit den oberen Kleinhirnstielen verbundenen Großhirnstiele und der Durchschneidung des oberen oder vorderen halbeirkelförmigen Canales gleich: nämlich eine Reihe von Vorwärtsbewegungen. Durchschneidung des unteren oder hinteren senkrechten halbeirkelförmigen Canales ruft, wie Durchschneidung des hinteren Kleinhirnschenkels eine Reihe von Rückwärtsbewegungen hervor. Florens will auch die Ursache dieser merkwürdigen Erscheinung ergründet haben. Man könne, behauptet er, die Ampullennerven bei ihrer allmäligen Einsenkung ins Gehirn, als drei Bündel auseinandertreten sehen: das eine Bündel ließe sich bis zur Barolsbrücke, das andere zu den Großhirnstielen, das dritte zu den Kleinhirnstielen oder strickförmigen Körpern verfolgen.

Die neueren Untersuchungen von Stilling zeigen, daß sich die Fasern des Acusticus in die geraden Fasern der Raphe und scheinbar bis in die Fibrae transversae und arciformes vorn an der Medulla oblongata verfolgen lassen. Am oberen Ende der Corp. restiformia dringt eine größere Fasermasse in den Pons, durchsetzt dessen quere Fasern und geht zwischen den Crura cerebelli ad medullam oblongatam und den oberen geraden Fasern des Pons nach hinten und innen bis zum unteren Ende des Locus caeruleus ²⁾. R. Wagner ³⁾ fand ein kleines Bündel unseres Nerv vom Crus cerebelli ad pontem, andere von den die Pyramiden umschließenden Fibrae arcuatae kommend.

Nach Fo v i l l e entspränge der Acusticus mit Fasern aus der Flocke, Velum medullare inferius und Nucleus dentatus cerebelli ⁴⁾; nach Valentini bezieht er Fasern vom Pedunculus cerebelli.

Nach dem Allen wäre es möglich, daß wenigstens ein, vielleicht selbst nicht unbeträchtlicher Theil von Fasern aus dem kleinen Gehirn und der Brücke abstammt, und Florens Resultate finden bei ihrer, wenn selbst nur theilweisen ⁵⁾ Bestätigung eine Erklärung, wenn man wiederum die von uns aufgestellte Hypothese von der Function des Acusticus als einer Commissur zwischen zwei Centren acceptiren will. Bei der bisherigen Ansicht von der Stellung dieses Nerv ist dies nicht wohl möglich.

¹⁾ System der Physiologie. III. pag. 114. 116.

²⁾ Kölliker: Mikrosk. Anatomie. Bd. II. pag. 460.

³⁾ Götting. Anzeig. Febr. April. 1850.

⁴⁾ Anat. du Syst. nerv. pag. 505 ff.

⁵⁾ Ich sage »theilweise«, weil meine bisherigen Versuche an Tauben wohl den Verlust der Coordination nach Abtragung des einen oder anderen Bogenganges unzweifelhaft bestätigten, allein nicht ganz zu den gleichen Resultaten in Beziehung auf die Art und Weise der Störung in dem einzelnen Falle führten, welche Florens bei den seinigen erzielte. So hätte eine Taube z. B. das Vermögen verloren, sich im Gleichgewicht zu erhalten, als sie aus der Aethernarkose erwacht war, während welcher der horizontale Bogengang entfernt worden. Später konnte sie wohl stehen, lief aber, wenn sie aufgeschreckt wurde, stets nach der verletzten Seite hin im Kreise, auch wenn der Gegenstand ihrer Furcht in dieser Linie sich befand.

Das scheint mir nicht annehmbar, daß direct durch die Gehörs- wahrnehmungen der Trieb zu Bewegungen erwacht, und wenn man mich auf das Kind verweist, welches bei einer Tanzmusik zu hüpfen anfängt, so stellte ich dem eine andere Beobachtung gegenüber, daß nämlich das Kind auch zu Sprüngen eine Lust bekommt, wenn es einen beweglichen Gegenstand, ein munteres lebendiges Thier etwa, springen sieht. Die Wahrnehmung des Rhythmus und diese allein ist es hier, welche als Vorstellung den Antriebe zu rhythmischen Bewegungen giebt, wobei es gleichgültig ist, durch welches Vehikel die Vorstellung eingeleitet worden ist.

Begreiflich ist, daß gewisse Bewegungen directe Folgen der Reizung akustischer Fasern sind, und als Reflexbewegungen aufgefaßt werden müssen, z. B. das plötzliche Zusammenfahren des ganzen Körpers oder das Schließen der Augenlider und Deffnen des Mundes bei einem heftigen Knall. Krankhafte Reizbarkeit des Nerv setzt schon das Auftreten convulsivischen Lachens bei jeder Musik, oder Erbrechen, oder Deffnen der Sphinkteren bei derselben Gelegenheit voraus ¹⁾.

Was endlich die Sympathien des Acusticus mit dem Sensorium anbetrißt, so haben wir hier, wo wir von der Wirkung musikalischer Tonverhältnisse ganz abstrahiren, nur zwei Dinge zu besprechen, nämlich das Verhältniß des Gedächtnisses zu der Tonempfindung und das der Aufmerksamkeit zu derselben.

Was den ersten Punkt betrifft, so hat *Loze* denselben in Beziehung auf den Gesichtssinn in diesem Werke bereits besprochen ²⁾ und ist der Anschauung *Henle's* von dem Gedächtniß in den Sinnen unter der Voraussetzung entgegengetreten, daß der Opticus nur die Rolle eines einfachen Conductors in centripetaler Richtung habe. Es fragte sich, ob von dem von uns angenommenen Standpunkte aus sich die Ansicht *Henle's* nicht doch rechtfertigen ließe. Verlangen wir für den Acusticus selbst nicht die Beibehaltung dieses Standpunktes, und betrachten diesen Nerv wirklich als bloßen Conductor, so wäre es auch in diesem Falle möglich, daß die Wirkung eines an seinem peripherischen Ende vorübergegangenen Wellenzuges hinterher in gleicher Weise aus inneren Ursachen an derselben Stelle reproducirt werden könnte, eben deshalb, weil es in der Wirkung der Schallwellen auf den Acusticus gelegen ist, daß aus der Durchkreuzung jener nicht eine Vermischung des Eindruckes in diesem entsteht, wie dieses allerdings bei dem gleichzeitigen oder schnell hinter einander erfolgenden Auffallen zweier farbiger Strahlen auf einen Netzhautpunkt unvermeidlich erscheint. Ich erkenne demnach zwar mit *Loze* keine Nothwendigkeit, »Proceffe im Nervensystem für nie fehlende excitirende Voraussetzungen der Erinnerungsbilder anzusehen,« glaube aber doch, daß bei dem Acusticus solche Proceffe an seinem in dem Sinnesorgan gelegenen Theile denkbar sind, und besonders dann annehmbar, wenn sich bei einer gewissen Lebhaftigkeit des Gehörsphantasma gleichzeitig eine gesteigerte Erregung des ganzen Nervensystems nachweisen läßt, wie ich dieses an mir selbst einige Male erfahren habe, als mir eine Melodie mit ihrer vollen Begleitung in allen Details vor dem Ohre erklang, obgleich ich auch mit der größten Willensanstrengung nicht im Stande bin, Aehnliches im Gedächtniß abtschlichlich zu reproduciren.

Die Rückwirkung geistiger Thätigkeit auf das Sinnesorgan giebt sich

¹⁾ Derartige Fälle finden sich gesammelt bei *Lincke* l. c. p. 567.

²⁾ Dieses Handwörterbuch Bd. III. pag. 171.

dadurch zu erkennen, daß wir durch sie das Gehör willkürlich schärfen können, wie bei dem Horchen oder dem Versuch, aus einer Summe von spielenden Instrumenten vorwaltend die Töne eines einzigen zu verfolgen. Ob im letzteren Fall irgend welche Veränderungen, eine Art Stimmung in den akustischen Apparaten eingeleitet werde, läßt sich schwer beweisen, wahrscheinlicher bleibt, daß in den Nerven selbst eine veränderte Erregbarkeit hervorgerufen wird, von der wir freilich nicht sagen können, welcher Natur sie ist.

Im ersteren Fall entstehen meist unabsichtliche und absichtliche Bewegungen, durch welche wir das Eindringen der Schallwellen in das Ohr begünstigen. Der Mund wird geöffnet, um die äußere Oeffnung des Gehörganges mittelst der Gelenkfortsätze des Untertiefers zu erweitern, indem jene als unvollkommenes Sphingomoidalgelenk die benachbarten weichen Theile nach vorn und unten ziehen. Bewegungen des ganzen äußern Ohres, welche bei Thieren so häufig beobachtet werden, kommen beim Menschen selten vor; wohl mögen aber Zusammenziehungen der kleinen Muskeln Spannungen im Ohrknorpel erzeugen, welche sein Vermögen, in Schwingungen zu gerathen, merklich steigern. Auch entferntere Muskelgruppen gerathen beim Horchen in Contraction, um den phsygnomischen Ausdruck dieses Willensimpulses zu vervollständigen; besonders charakteristisch ist die parallele Augenachsenstellung meist mit seitwärts gewendetem Blick. Die Entstehung der dabei unwillkürlich auftretenden Bewegungen findet vielleicht ihre Erklärung in der Nachbarschaft der Faserursprünge des Acusticus und verschiedener motorischer Nerven.

Schließlich haben wir das Vikariren anderer Nerven für den Acusticus zu besprechen, so wie die bei Gehörsempfindungen mit theilhaftigen Nerven zu berücksichtigen.

Bekanntlich sind den übrigen Sinnesorganen, mit Ausnahme des Auges, außer den eigentlichen Sinnesnerven noch andere Empfindungsnerven beigegeben, welche eine gewisse Aufgabe für den Sinn zu erfüllen haben, und welche wegen der Natur des Licht- und Farbe-Empfindung verursachenden physikalischen Vorganges nur bei dem Auge nicht in Anwendung zu bringen waren. So empfinden wir neben Geruch und Geschmack häufig noch gewisse andere Wirkungen der aufgenommenen Stoffe, wobei sich diese als Gefühle mit der Sinneswahrnehmung zu einem Empfindungsganzen vereinigen, dessen Componenten sich in Versuchen oder pathologischen Fällen erkennen lassen. Durchschneidung des Olfactorius hebt die von flüchtigem Ammoniac oder von Säuren zc. herrührende, durch den Trigemini vermittelte Empfindungsqualität des Reißenden, Stechenden zc. durchaus nicht auf. Ebenso kann dergleichen bei vollkommenem Mangel des Olfactorius bestehen, wie Pressat ¹⁾ einen derartigen bei einem Menschen beobachteten Fall mittheilt.

Was das Gehörorgan betrifft, so haben wir schon angedeutet, daß mechanische Wirkungen gewisser Schallwellen auf die Empfindungsnerven des Gehörganges und der Paukenhöhle nicht nur zu vermuthen, sondern mit ziemlicher Gewißheit vorauszusetzen sind; und daß diese die eigentliche Gehörwahrnehmung begleitende Empfindung auf den Gesamteindruck gewiß nicht ohne Einfluß ist. Ich glaube an dieser Stelle eine Bemerkung nicht verschweigen zu dürfen. Woher kommt es, daß keine einzige Farbe existirt, welche als solche uns so widerlich ist als gewisse Töne, an deren Wahrnehmung sich

¹⁾ Dissert. inaug. Paris 1837 Nro. 441

nicht die geringste Spur einer solchen Erinnerung oder Reflexion anknüpft, welche uns aus entfernteren Ursachen diese Töne eben unangenehm macht? Die Mißlänge der Farben und Töne rufen in ästhetischer Beziehung ein Mißbehagen hervor, welches aber ganz anders ist als jenes physische Gefühl, das ein schrillender Ton erzeugt. Auch ist es an diesem nicht die Intensität, deren Größe solchen Effect erzeugt, sondern der Modus seines Entstehens, wobei seine Intensität sehr gering sein kann. Wie wir wissen, führt der Acusticus keine empfindenden Fasern, das physisch Unangenehme setzt aber Schmerzgefühle vermittelnde Nerven voraus; kommt daher bei einem Gehöreindruck ein derartiges Gefühl nebenbei zu Wege, so kann es nicht durch Fasern des insensiblen Acusticus, sondern nur eines anderen sensiblen Nerven eingeleitet werden. Es ist also nicht der Ton, welcher als solcher nur von ersterem, nicht aber von letzteren aus zur Wahrnehmung gebracht werden kann, sondern die neben hergehende Empfindung ruft jenen widrigen Eindruck hervor, den manche Schwingungen erzeugen.

Dies bleibt auch wahr, wenn man die Erklärung vorzieht, daß gewisse Töne eine derartige Erregung im Acusticus mit sich bringen, bei welcher ihre Uebertragung auf sensitive Nervenursprünge im Centralorgan besonders begünstigt wird; immer wird aber die Intervention sensibler Nerven hiebei statuirt bleiben müssen, wo ein einen Sinnesindruck begleitendes physisches Schmerzgefühl auftritt.

Damit haben wir schon die Frage nach dem möglichen Vicariren anderer Nerven für den Acusticus erledigt. Behaupten wir von letzterem, daß er für sich nicht den physischen Schmerz vermitteln könne, so setzen wir auch von jedem anderen als dem akustischen Nerv voraus, daß er keine Tonempfindung dem Bewußtsein entgegenzubringen vermöge. Ruft leises Streichen der Wange eine solche hervor, so ist sie allein erklärbar aus einer centralen Irradiation von Trigeminausfasern auf den Acusticus, wie denn auch alle beigebrachten Beweise für die entgegengesetzte Ansicht als nicht stichhaltig zu verwerfen sind ¹⁾.

Teleologischer Theil.

I. Zweck des Hörens als Sinneswahrnehmung.

Wir stellten am Schlusse der Einleitung dreierlei Gesichtspunkte auf, unter welchen wir die Zwecke des Gehörorgans betrachten können. Es hat das Gehörorgan nämlich einen allgemeinen Werth für uns gegenüber der Außenwelt, indem sich dadurch ihre Natur unserem Sinn weiter erschließt, einen rein subjectiven durch Befriedigung gewisser ästhetischer Bedürfnisse und

¹⁾ cf. Longet, Anat. u. Physiol. des Nervensystems, übersetzt von Hein. Bd. II. pag. 139. ff.

einen der Gattung zu gute kommenden, durch Ermöglichung der Mittheilung geistiger Fortschritte der Individuen unter einander.

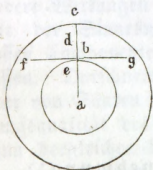
Der erst genannte Gesichtspunkt ist es, unter welchem wir hier den Zweck des Gehörorganes aufzufassen haben.

Schwingungen des Aethers, welche die Lichtentwicklung begleiten, vermag nur unser Auge aufzufassen, Schwingungen der palpablen Materie dagegen das Ohr, dessen Nerv zu gleicher Zeit die Fähigkeit besitzt, die Auffassung solcher Schwingungen als Ton- oder Schallempfindung einzuleiten. Man hört nun häufig sagen: die Schallwellen an sich sind tonlos, und es existirt kein Klang noch Ton, wo kein Ohr ist, wie kein Hell da ist, wo das Auge fehlt. Diese Ausdrucksweise bedarf, wenn sie nicht Mißverständnisse hervorzurufen soll, eines Commentares; denn ohne ihn könnte man auf die Idee gebracht werden, als entwickelte der äußere Impuls nur eine aller Realität entbehrende Phantasmagorie in unseren Sinnen. Die Feststellung des Begriffes der Eigenschaft sichert uns davor. Eigenschaft ist nicht etwa ein Ding an einem Ding, sondern der Ausdruck für die Wirkung eines Dinges bei seinem Zusammentreffen mit einem zweiten. Mit dem letzteren wechselt gleichzeitig häufig auch jene Wirkung, und dann schreiben wir eben dem Dinge verschiedene Eigenschaften zu; nie aber können wir verlangen, daß eine bestimmte Eigenschaft unter allen Bedingungen aufträte.

Genug also; eine Eigenschaft der Lichtwellen ist es: wenn sie mit dem Sinnesnerven zusammentreffen, Empfindung des Hell und der Farbe hervorzurufen, und hieran hat die reale Beschaffenheit der Lichtwellen ebenso viel Antheil als die des Sehnerven. Ein Körper kann hart sein gegen einen zweiten; trifft er aber nie mit demselben zusammen, so wird seine Härte sich auch nicht bewähren können, gleichwol aber würden wir Unrecht thun, ihm die Härte ganz abzusprechen. Ebenso verhält es sich mit dem Ton; er ist und bleibt eine Eigenschaft der Schwingungen, welche im Zusammenstoß mit dem lebendigen Hörnerv in uns die Vorstellung des Tones erweckt.

Zweierlei Schwingungen sind alle Körper fähig. Bei der einen pflanzt sich die Unruhe von dem einen Punkt *a*, Fig. 75, in der Richtung des Radius

Fig. 75.



e oder des Radius *d* fort: longitudinale Schwingung; gleichzeitig kann jedes Molekül in der Richtung der Tangente *f g*, also tangential, hin und her bewegt werden, wie solches auch bei Schwingungen der Luft in gedeckten Pfeifen gleichzeitig vorkommen kann¹⁾. Es entsteht nun die Frage: vermag das Ohr beide Arten von Schwingungen aufzufassen oder bloß die eine? Valentin läßt es unentschieden, ob tangentiale Schwingungen gar nicht percipirt werden können; Müller äußert sich dahin, daß alle Wellen auf Schwingungen des Labyrinthwassers reducirt würden, und als solche natürlich bloß als longitudinale wirken könnten. Bei allen auf die Flüssigkeit des Vorhofes und der Bogengänge fortgepflanzten Schallwellen ist eine andere Annahme gar nicht möglich, ebenso bei den durch das runde Fenster oder von dem Vorhof aus in den Spiralgang der Schnecke respective die dort ebenfalls befindliche Endolympe übergegangenen Schwingungen gilt das Gleiche. Unmöglich wäre es nicht, daß Vibrationen der Kopfknochen, welche durch Schallwellen hervorgerufen

1) cf. Valentin, Physiologie des Menschen. II. Auflage, Bd. II. 2. Abthl. pag. 54.

sind, tangentielle Schwingungen in der gezahnten Platte des Spirablattes erzeugten, oder daß überhaupt dieser Theil des akustischen Apparates solcher Schwingungen fähig wäre. Hievon jedoch später bei der Untersuchung der Auffassung musikalischer Tonverhältnisse.

Das Ohr ist stets den Schwingungen der Medien seiner Umgebung zugänglich. Jeder Schallwellen erzeugende Vorgang um uns wird uns durch das Ohr bewußt, und durch dasselbe erfahren wir zunächst eben, daß ein solcher Vorgang sich ereignet. Stets also wird unsere Aufmerksamkeit auf dergleichen durch das Ohr rege erhalten, was hierbei um so leichter geschieht, als der Ort eines solchen Vorganges viel mehr gleichgültig ist als bei jedem anderen Sinne, denn von allen Punkten rings um uns her können die Schwingungen zu dem immer wachen Sinn dringen. Werthvoll ist dabei eigentlich nur, daß wir überhaupt einen Schall vernommen haben. Der Schall ist für das Ohr, was für das Auge das Hell, d. h. beides sind Signale der Thätigkeit des Sinnesnerven und zwar in der einfachsten Form; wenn man so sagen darf: das Allgemeine, was jeder Gehörsempfindung ganz abgesehen von allen ihren anderen Eigenthümlichkeiten zukommt. Erst eine Erweiterung erhält der Begriff durch die Nüancen der Intensität, welche man mit Schall und Hall häufig verbindet. Die Ursache einer Gehörsempfindung kann schon in einem einzigen einmaligen Impuls auf unseren Nerv gelegen sein. Sprechen wir von einem Schall, an welchem wir auch mit der größten Aufmerksamkeit nichts weiter als dies Allgemeine unterscheiden können, so haben wir dessen Ursache in einem einzigen Stoß auf den empfindenden Nerv zu suchen; trifft dieser den Nerv mit einer erheblichen Intensität, so nennen wir ihn Knall. Es fragt sich, ob außerhalb des Gehörorganes, z. B. also in der Luft, ein so einfacher Stoß als solcher sich bis zu dem Gehörnerv fortpflanzen könne, oder ob außerhalb des Gehörorganes, also etwa in der Luft, ein so einfacher Stoß eine wenn auch sehr kleine Periode von Wellen jedesmal vor dem Ohr oder innerhalb desselben erzeugen müssen? Bei der großen Elasticität der Luft möchte ich fast glauben, wäre gar kein Stoß denkbar, welcher nicht sogleich Wellenbewegung in ihr hervorriefe, die entweder wegen ihrer großen Geschwindigkeit oder Langsamkeit keine Tonempfindung entstehen ließe. Weiter ist bei der Elasticität und der Spannung des Trommelfelles voranzusetzen, daß bei einer, wenn auch nur einmaligen und momentanen Impression dennoch eine Reihe von Schwingungen in dieser Membran erzeugt werde, welche uns den Grundton des in bestimmtem Grade gespannten Trommelfelles hören ließe. Gewiß ist, daß es Fälle giebt, in welchen nicht die einmalige Impression, sondern deren als Wellenzug auftretende Folgewirkung empfunden wird; ob es Fälle giebt, in welchen diese letztere nicht eintritt, ist unwahrscheinlicher.

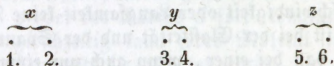
Unser Gehörorgan unterrichtet uns weiter mit Hülfe der Erfahrungen, welche wir bei der allmäligen Erziehung unseres Sinnes gewonnen haben, von der Natur der Schallwellen erregenden Vorgänge durch die Qualität der Empfindung, welche dabei entsteht. Die Perception der Geräusche ist es hiebei, worauf sich zumeist unsere Aufmerksamkeit richtet.

Die Geräusche haben ihre physikalische Ursache darin, daß in der Aufeinanderfolge der in der Luft sich fortpflanzenden Stöße eine Unregelmäßigkeit herrscht, die Geschwindigkeit der Aufeinanderfolge der einzelnen Stöße jedoch so groß ist, daß das Ohr diese als einzelne nicht mehr voneinander zu unterscheiden vermag. Die Natur der Geräusche ist jedoch keineswegs noch genau genug untersucht, um eine erschöpfende Theorie derselben geben zu können, so

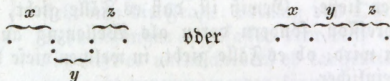
daß wir uns begnügen müssen, nur Einzelnes als muthmaßliche Ursache der Verschiedenheit der Geräusche hinzustellen. Vom Standpunkt der subjectiven Auffassung müssen wir reine oder einfache, und unreine oder complicirte Geräusche unterscheiden. Das einfache Geräusch setzt voraus, daß an ihm selbst keine bestimmte Tonhöhe und zweitens neben ihm nicht gleichzeitig ein Ton gehört werde. Eine Betrachtung der physikalischen Bedingungen der Geräusche überhaupt läßt jedoch vermuthen, daß solche äußerst selten, vielleicht nie zu Stande kommen können, und daß an fast allen Geräuschen bei strenger Aufmerksamkeit eine bestimmte Tonhöhe noch erkannt werden kann. Schon der Sprachgebrauch deutet dies an durch die verschiedenen dunklen oder hellen Vocale in den Geräusche bezeichnenden Wörtern: Schnarren, Schnurren, Rauschen, Rollen, Zischen, Schwirren &c. Directe Versuche hierüber anzustellen, dürfte bis jetzt kaum möglich sein. Analysiren wir zuerst jedoch die Geräusche ganz abgesehen von dieser Frage. Es gehört dazu eine Reihenfolge von Stößen. Die Versuche zeigen, daß man von dem Savart'schen Rad alle Zähne bis auf zwei wegnehmen kann, ohne daß der Ton verändert wird, wenn die Umdrehungs-Geschwindigkeit des Rades nur dieselbe bleibt. Es ist also ganz gleichgültig, wie viele Stöße in einer gegebenen Zeit den Nerv treffen, und es kommt sonach allein auf die Distanz zweier Stöße an, um einen Ton von bestimmter Höhe zu erzeugen, wofern nur diese Distanz nicht ein gewisses Maximum oder Minimum überschreitet, das wir später kennen lernen. Bei einem Geräusch darf nun wenigstens nicht die eine, nämlich die erstere Gränze überschritten werden, sonst hören wir eben bloß einzelne Schalle und kein Geräusch.

Das Gefühl der Distanz, wenn es dafür ein wahrnehmendes Organ giebt, muß hiebei so gut wie bei Entstehung einer Tonempfindung vorhanden sein. Gesezt nun, wir hätten eine Succession von Stößen in der Weise: $x y z$ (Bezeichnung der verschiednen Distanzen der Stöße), so ist offenbar, daß dieses gleich ist einer raschen Succession von drei Tönen, die wir mit $a. b. c.$ bezeichnen wollen.

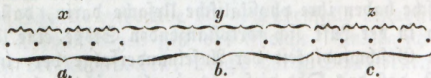
Schematisch wollen wir diese Periode von Stößen zuerst so betrachten:



Es wären dieses drei Paare von Stößen; ferner sei der Zeitraum zwischen dem ersten und zweiten, zweiten und dritten Paar = Null, also:



so können drei Töne nur mit größter Schwierigkeit vielleicht gar nicht unterschieden werden, weil die Nachwirkung von dem einen Ton sich mit dem neuen vermengt, wenn die Stöße einen gewissen Grad von Intensität besitzen. Vergrößern wir aber die Periode durch mehrere immer in gleichen Intervallen sich wiederholende Stöße etwa so:



so ist das Ohr im Stande, in der Mitte der Periode vielleicht den Ton a oder b oder c zu unterscheiden, während Anfang und Ende getrübt wird durch

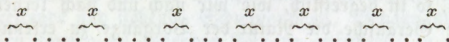
die Nachwirkung der vorausgegangenen Stoß-Intervalle. Nach diesem sollte man vermuthen, daß wir überhaupt nicht im Stande sind gleichzeitige Töne auseinander zu halten, sondern gezwungen wären, diese in ihrer Summe aufzufassen. Es steht dies der gewöhnlichen Ansicht entgegen, daß wir den Accord wirklich als Dreiklang und nicht als eine der Empfindung eines Tones gegenüberstehende Empfindungsqualität percipiren. Hierüber müssen wir später sprechen.

Offenbar ist, daß so Geräusche entstehen können, wovon man sich am Savart'schen Rad leicht überzeugt, und daß hier die Nachwirkung allein die Ursache abgiebt, lehrt das einfache Raisonnement; sonst könnten wir eben nur einzelne Töne hintereinander, nicht aber ihre Verschmelzung als Geräusch hören.

Ist aber der Zeitraum zwischen je zwei Paar Stößen nicht $= 0$, sondern hat er eine bestimmte Größe, welche ganz nahe dem Minimum fällt, bei dem wir noch einen Ton wahrnehmen, so wird dadurch ein neues Intervall erzeugt, durch das wenigstens die Nachempfindung des ersten Stoßpaares modificirt werden kann.

Wenn nun weiter immer zwischen je zwei paar Stößen ein Intervall liegt, und diese Intervalle verschieden an Größe sind, so wird das Geräusch nothwendig noch complicirter und bei großer Geschwindigkeit und Intensität der einzelnen Stöße die Schwierigkeit immer größer, die einzelnen Distanzen derselben als Empfindungsqualitäten zu sondern und aufzufassen.

Wenn nun aber eine bestimmte Distanz vorwaltend häufig vorkommt, so daß das Schema des Geräusches etwa folgendermaßen aussieht:



so wird diese die Tonhöhe des ganzen Geräusches bestimmen können.

Im Bisherigen haben wir angenommen, daß jede Distanz zweier Stöße als Ton vernommen werden könne, weil das Experiment unzweideutig zeigt, daß zwei Zähne des Savart'schen Rades bei bestimmter Umdrehungsgeschwindigkeit einen Ton hervorbringen können. Allein so groß auch die Schärfe eines gebildeten Ohres ist, so kann es trotzdem nicht alle zwischen der kleinsten und größten Distanz gelegenen weiteren Distanzen unterscheiden, wie wir bei der Betrachtung unserer Tonleiter kennen lernen werden. Es können somit also auch Geräusche entstehen dadurch, daß die Distanzen je zweier Stöße zwischen die fallen, welche wir als wirkliche unterscheidbare Töne vernehmen können. In einem solchen Falle würde das Geräusch ein sogenanntes reines sein, an welchem ein nebenhergehender Ton oder eine Tonlage des Geräusches im Allgemeinen durchaus nicht unterschieden und bemerkt werden kann. — Denken wir aber an die Entstehung eines Geräusches, bei welcher also die Aufeinanderfolge der einzelnen Stöße von keinem bestimmten Gesetz der Periodicität beherrscht, so zu sagen zufällig ist, so wird die Wahrscheinlichkeit viel größer sein, daß darunter viele Distanzen vorkommen, welche wir als Töne aufzufassen geübt sind, als gar keine. — Endlich ist bekannt, daß das Ohr in der Secunde nicht mehr als neun aufeinanderfolgende Laute deutlich unterscheiden kann; ist die Summe der Töne in diesem Zeitabschnitt größer, so fließen sie ineinander und es entsteht auf diese Weise ein Geräusch aus lauter an sich reinen einzeln wohl bestimmmbaren, allein bei beschleunigter Succession nicht mehr auffassbaren Tönen.

Uebersichten wir hiernach die Natur der Geräusche überhaupt, so scheint

uns die bisherige Definition von Geräusch nicht ganz richtig. Sie lautete nämlich immer: »durch die schnelle Succession mehrerer Stöße von ungleichen Zwischenzeiten entsteht ein Geräusch oder Gerassel.«

Wir müssen dagegen behaupten: Ein Geräusch entsteht entweder durch eine Succession von Perioden (Paaren) einzelner Stöße, deren mehr als neun auf eine Secunde kommen, oder durch eine Succession von Stößen, deren Intervalle unregelmäßig und wiederum kleiner als $\frac{1}{9}$ Secunde sind, oder Intervallen, welche nicht solchen Distanzen entsprechen, die wir als Töne aufzufassen geübt sind, wobei es denn gleichgültig ist, ob durch solche Distanzen erzeugter Schalle mehr oder weniger als 9 auf eine Secunde treffen.

Ein Geräusch kann also aus Tönen oder aus nicht bestimmbar Schallen zusammengesetzt sein, und das Wesentliche des Geräusches beruht auf der eine Distinction der einzelnen Stoßintervalle nicht mehr zulassenden beschleunigten Succession der einzelnen Stöße. Denn auch bei der größten Unregelmäßigkeit dieser Intervalle oder Distanzen könnten wir, wenn wir überhaupt jede einzelne als Ton aufzufassen im Stande sind, bei weniger als 9 Paaren von Stößen in der Secunde die neun Töne als verschiedene noch percipiren, ohne daß dadurch ein Geräusch entstände.

Entstehen, wie wir sahen, Geräusche nicht sowohl nach bestimmten, den schallenden Körpern innewohnenden Gesetzen, welche sich in einer streng regelmäßigen Periodicität der Wirkungen äußern, wie dieses bei den elastischen tönenden Körpern der Fall ist, sondern ist ihr Auftreten von der Succession der einzelnen Stöße zunächst bedingt, welche von Moment zu Moment durch gewisse weitere, außer den schallenden Körpern gelegene Vorgänge erzeugt werden müssen, so ist begreiflich, wie wir nach und nach lernen können, aus der Form der Geräusche die Natur der Vorgänge zu erkennen. Welche Körper bei diesen Vorgängen theilhaftig sind, abstrahiren wir aus den die Geräusche meist begleitenden Tönen und Klängen.

Dieses ist das Dritte, was unserem Bewußtsein die sinnliche Wahrnehmung entgegenbringt. Wir bekommen durch sie nämlich Aufschluß über gewisse innere Zustände der Körper, in deren Masse unser Auge nicht zu dringen und unsere Tastorgane nicht zu reichen vermögen. Sehr schön sagt Vogt¹⁾ von den Schwingungen der Körper: »einen sinnlichen Geist treffend, vergeht sie nicht ganz, und als der erste volle und lebendige Hauch, der das inhaltlose todte Gerüste der Raumwelt durchweht, bricht der Klang hervor — . . . das Wesen jeglichen Dinges spricht aus dem Klange, den wir ihm entlocken. Nicht mehr an der Kraft, die er ausübt, nicht an der Größe seines Widerstandes gegen äußere Gewalten schätzen wir jetzt die Härte, die Dichtigkeit, die Sprödigkeit und Federkraft des Körpers; vielmehr in der Fülle der Klänge, in ihrer Weichheit oder Herbigkeit, in dem Schneidenden oder Abgerundeten und Feuchten des Schalles glauben wir erst zu fühlen, was Geistes Kinder alle jene Eigenschaften sind, und welche wahrhafte Härte und Sprödigkeit, welche wahre Weichheit des Wesens und Daseins in der Welt sich hinter jenen äußerlichen Gestalten räumlich wirkender Kräfte verbüllt.«

Ton und Klang ist von inneren Gesetzen beherrscht, wie immer der Vorgang beschaffen sein möge, welcher ihn den Körpern entlockt. Es sind die Gesetze der Elasticität; denn die der Schwere erzeugen wohl auch regelmäßig von der Art des äußern Impulses nicht direct abhängige Wellenbewegungen

¹⁾ Ueber Bedingungen der Kunstschönheit in den Göttinger Studien. 1847.

in Flüssigkeiten; allein diese Schwingungen sind zu langsam, als daß sie Tonempfindungen vermitteln könnten. Das nur natürlich erzogene Ohr vermag aus der Verschiedenheit der Töne auf die Natur der tönenden Körper zu schließen, ohne jene Gesetze zu ahnen, bloß geleitet von der Erinnerung und allmählig gewonnener Erfahrung; uns aber liegt es hier ob, wenigstens die wichtigsten Gesetze, denen Ton und Klang sein Entstehen verdankt, zu berühren ¹⁾.

Tonempfindung erregen solche Schwingungen fester oder luftförmiger Körper, welche sich auf eine Summe von im Minimum zwei Stößen auf den Nerv reduciren lassen; die Qualität der Empfindung wechselt mit der Distanz dieser Stöße, und wenn die Periode der letzteren eine größere Anzahl als zwei umfaßt, so wird, wenn die Reinheit des Tones erhalten bleiben soll, ein Gleichbleiben der Distanzen unerläßlich gefordert. Ein Ton, wenn auch nicht so vollkommen rein, kann aus Summen regelmäßig wiederkehrender Geräusche entstehen, wie wir ihn durch Umdrehen des Savart'schen Rades, dessen Zähne gegen ein Blättchen schlagen, zu erzeugen vermögen. Bei diesem Instrument wird die Regelmäßigkeit der Periodicität bedingt durch die Regelmäßigkeit der Zahnstellung auf der Peripherie, bei der Sirene durch die regelmäßige Stellung der Löcher am Scheibenrand, bei einem tönenden Körper durch die Elasticität, welche nur bestimmte stets gleichbleibende Schwankungen über die Gleichgewichtslage hinaus den kleinsten Theilchen erlaubt, während die Größe der Elongation erregter Schwingungen theils von der Größe der Masse, theils von der Cohäsion der Molecule (Spannung), theils vielleicht auch noch gleichzeitig von anderen Bedingungen abhängig ist, wie z. B. bei den Gasarten von der Verschiedenheit ihrer specifischen Wärme.

Fortschreitende und stehende Schwingungen, Beugungswellen und Verdichtungswellen können an tönenden Körpern auftreten: in allen Fällen geschieht aber die Fortpflanzung der Tonwellen durch Verdichtungs- und Verdünnungswellen (Wellen des fortschreitenden Stoßes). —

So umfangreich auch die Scala der Töne ist, welche sich durch die Summe der in einer bestimmten Zeiteinheit (Secunde z. B.) vollführten Schwingungen von einander unterscheiden, so wenige werden verhältnißmäßig von dem nicht musikalisch gebildeten Ohr aufgefaßt, um aus ihnen die Natur oder Masse des tönenden Körpers zu errathen. Viel feiner unterscheidet dagegen auch das wenig gebildete Ohr die Klänge, und diese sind es, aus welchen mit viel größerer Sicherheit ihre Quelle bestimmt wird. Es liegt dies 1) in der Beschaffenheit der bei weitem größeren Mehrzahl der tönenden Körper, welche so äußerst selten vollkommen homogene, theilweise wenigstens die vollkommene Reinheit des Tones bedingende Massen darstellen; 2) in der Art, wie die Töne den Körpern entlockt werden, welche wiederum öfter eine verschiedene als stets die gleiche sein wird; 3) in der Umgebung des tönenden Körpers, welche abermals nicht immer die nämliche, sondern sehr häufig eine verschiedene ist. Diese drei auf den Klang offenbar influirenden Dinge interessiren uns aber gleich von Anfang an viel mehr als die Aufsuchung solcher Körper, welche die reinsten Töne geben, wobei wir eben auch schon an dem Versuch meist scheitern, wenn wir ihn auch machen wollen.

Hieraus ersieht man schon, was ich hier unter Klang verstanden haben

¹⁾ Um Wiederholungen zu vermeiden, versparen wir manches hierher Gehörige auf den Artikel »Stimme«.

will: nämlich das Timbre, und nicht etwa die Bezeichnung des Sonoren, Reinen u. der Töne, in welcher Bedeutung besonders das Wort »klangvoll« so häufig gebraucht wird.

Die Klänge zu bestimmen ist deshalb so schwierig, weil uns, wenn ich so sagen darf, die prismatische Reinheit eines Tonbildes ganz fehlt, welche bei den Farben in dem Spectrum den Ausgangspunkt bildet. So viel ist gewiß, daß sehr häufig die Klangfärbung eines Tones durch Vermischung mehrerer Schwingungen in der Empfindung entsteht, und hervorgerufen ist durch neben einem Ton hergehende Geräusche. Bei der Trommel sind es die Vibrationen des Holzes und der gespannten Schnüre, bei der Trompete die Erzitterungen des Metalles, oder es sind primär verschiedene, gleichzeitige und an sich gleiche Schwingungsmengen, wie bei einer an der Nähe ihres Befestigungspunktes gezerrten Saite, oder es sind verschieden große resonirende Luftmassen, wie bei Violin und Viola oder Cello. Meistens sind mehrere dieser bezeichneten Ursachen gleichzeitig wirksam, eine Schwierigkeit mehr, unter den mehrfachen möglichen Ursachen die in dem concreten Fall den Klang wirklich bestimmenden ausfindig zu machen.

II. Zweck des Hörens für das ästhetische Bedürfnis.

Die ästhetische Auffassung der Gehörempfindungen überhaupt beschränkt sich zunächst auf die der Töne, wobei es für das Bewußtsein gleichgültig bleibt, welcher Natur die Mittel sind, durch welche die Töne hervorgerufen werden. Die Qualität der Empfindung, also das von allen materiellen Mitteln abgelöste Subjective ist es hier, in deren wechselvollem Spiel sich der Genuß ergeht. Es wäre denkbar, daß alles, was die Bewegung der Melodien, die Wogen der Harmonien, der Streit der Dissonanzen, die gebieterischen Wirkungen der Taktschläge in dem Gefühl erregt, ohne alle äußere Veranlassung aus dem lebendigen Schaffen der Phantasie empor keimte; doch da dem Menschen in dem Ohr ein Organ gegeben ist, durch welches die Wirkungen tönender Körper in jene Gefühle sich übersetzen lassen, so müssen wir zunächst den ganzen Umfang der möglichen Einflüsse und mitfolgenden Erregungen kennen lernen und Untersuchung pflegen, ob in dem Gehörorgan gerade für diese Art regelmäßig periodischer Schwingungen vielleicht ein eigener musikalischer Apparat angebracht ist, wie früher mehrfach behauptet worden.

Stecken wir die äußersten Gränzen vernehmbarer Töne ab, so ist die geringste Schwingungsmenge nach Savart's ¹⁾ Untersuchungen 16 (entsprechend 8 Stößen), die größte 24000 in der Secunde (entsprechend 12000 Stößen des gezahnten Rades).

Es werden zwar nicht alle Tonunterschiede aufgefaßt, allein die Feinheit der Unterscheidung zweier Töne geht dennoch sehr weit. Nach A. Seebeck's ²⁾ Beobachtungen vermag ein wohlgeübtes Ohr eine Differenz von einer Schwingung auf 1200, also ein Intervall von $\frac{1}{15}$ des syntonischen

¹⁾ Annal. de chimie et de physique. Tom. 44 pag. 337, Tom. 47 pag. 63.

²⁾ Poggend. Annalen Bd. LXVII. pag. 464.

Kommas noch zu unterscheiden, jedoch ist dieses nicht für alle Töne bei ein und demselben Ohr gleich; im Allgemeinen ist die Unterscheidungskraft bei der Quinte größer als bei der Octave. —

Wir haben jetzt die musikalischen Tonverhältnisse selbst zu besprechen, müssen uns aber in dieser Beziehung hier in größter Kürze fassen und auf die ausführlicheren Werke von Chladni und Anderen verweisen ¹⁾.

Unison sind zwei Töne, welche von zwei Körpern herrühren, die in gleicher Zeit die gleiche Anzahl von Schwingungen vollbringen. Je größer die Schwingungsmenge in der gleichen Zeit, um so höher ist der Ton im Verhältniß zu einem zweiten mit geringerer Schwingungsmenge. Der Ton, mit welchem man andere vergleicht, ist der Grundton, und das Verhältniß zwischen zwei Tönen heißt das Intervall.

Ist das Intervall durch ganze Zahlen ausdrückbar, so ist es ein consonirendes; wenn nicht: ein dissonirendes. Verdoppelt sich die Schwingungsmenge des Grundtones, so giebt dies die Octave, die von jenem durch die sechs Töne: Secunde, Terz, Quarte, Quinte, Sexte und Septime getrennt ist. Diese acht Töne bezeichnet man bei uns mit:

C. D. E. F. G. A. H. c.

Das tiefste C ist das der offenen 32 Fuß langen Orgelpfeife, dann folgt

als seine Octave das Contra C, dann das C und sofort bis zu $\overset{\text{III}}{c}$, während das siebengestrichene c der $\frac{1}{32}$ Fuß langen Pfeife nicht mehr musikalisch ist. So umfaßt also das Bereich der musikalischen Töne neun Octaven. Die Aufeinanderfolge solcher Töne giebt die diatonische Tonleiter.

Hiermit begnügte sich die Musik jedoch nicht, sondern benützt noch zwischen diesen Tönen gelegene sogenannte halbe, welche als Erhöhung des tieferen, oder Erniedrigung des höheren angesehen werden und jenachdem einen verschiedenen Namen bekommen. Von C ab heißen die erhöhten ganzen Töne:

Cis Dis Eis Fis Gis Ais His;

die durch Erniedrigung entstandenen:

Ces Des Es Fes Ges As b.

Die Fortschreitung von den ganzen zu den halben Tönen nennt man chromatisch, von einem halben Ton zu dem nächsten halben enharmonisch. Unser gegenwärtiges Musiksystem ist ein zusammengesetztes: diatonisch-chromatisch = enharmonisches.

Die auf ganze Zahlen reducirten Schwingungsmengen der ganzen Töne verhalten sich folgendermaßen zu einander:

24	27	30	32	36	40	45	48
C	D	E	F	G	A	H	c.

Macht C 24, so muß D 27 Schwingungen in derselben Zeit machen u. s. w.

Zu unserer Musik haben wir zwei ihrem Charakter nach sehr verschiedne Tonarten, je nachdem wir C oder A als Grundton der diatonischen Tonleiter annehmen. Im ersteren Fall bezeichnet man sie mit Dur, im letzteren Moll. Die Zahlenwerthe jener verhalten sich zu einander wie folgt:

¹⁾ Lincke l. c. pag. 330 ff.

$$C : D : E : F : G : A : H : c \text{ wie:}$$

$$1 : \frac{9}{8} : \frac{5}{4} : \frac{4}{3} : \frac{3}{2} : \frac{5}{3} : \frac{15}{8} : 2 \text{ oder wie}$$

$$8 : 9 : 10$$

$$15 : 16$$

$$8 : 9 : 10$$

$$8 : 9$$

$$15 : 16$$

Drei bestimmte Verhältnisse kehren hiebei mehrmal wieder: 8 : 9 als Intervall eines großen ganzen Tones, 9 : 10 als Intervall eines kleinen ganzen Tones, 15 : 16 als Intervall eines großen halben Tones. Aus der Vergleichung dieser drei ergeben sich zwei neue Verhältnisse.

Der große halbe Ton verhält sich zu dem kleinen ganzen wie $\frac{16}{15} : \frac{10}{9} = 144 : 156 = 24 : 26$. Verhalten sich nun die Schwingungsmengen zweier Töne wie 24 : 25, so ist, der Werth des ersten = 1 gesetzt, der Werth des zweiten $\frac{25}{24}$ kleiner also als $\frac{15}{16}$. Der dadurch bezeichnete Ton liegt fast in der Mitte zwischen zwei um das Intervall eines großen ganzen Tones verschiedenen, der Werth des Tones, welcher in der Mitte dieses (durch das Verhältniß 8 : 9 ausdrückbaren) Intervalles gelegen ist, beträgt: 8,48.

Ein zweites Verhältniß ergibt sich durch den Vergleich des kleinen ganzen Tones (9 : 10) mit dem großen ganzen (8 : 9); $\frac{10}{9}$ verhält sich nämlich zu $\frac{9}{8} = 80 : 81 = 1 : \frac{81}{80}$. Dieses Intervall heißt das Komma.

Hieraus läßt sich zeigen, daß Cis nicht vollkommen = Des ist, sondern etwas tiefer. Erhöht man nämlich C um einen kleinen halben Ton, so erhält man Cis = $1 \times \frac{25}{24} = 1,04$, und erniedrigt man D um eben so viel, so erhält man Des = $\frac{8}{9} \times \frac{24}{25} = \frac{216}{200} = 1,08$. Dasselbe läßt sich für Dis und Es, Fis und Ges u. nachweisen.

Legt man der diatonischen Tonleiter einen andern Ton zu Grunde, so muß man, weil ihre sieben Haupttöne nicht mehr genügend sind, zwischen jedes um das Intervall eines ganzen Tones auseinanderliegende Paar von Tönen einen Zwischenton einschieben. Denn D ist zwar die Secunde von C, E aber nicht ganz von D und F nicht von E; denn es verhält sich nicht:

$$C : D = D : E = E : F \text{ u. eben so wenig wie:}$$

$$8 : 9 = 9 : 10 = 15 : 16 \text{ u.}^2$$

Die Dur-Tonleiter hat eine 12 Intervalle enthaltende Reihe von Tönen:

C. Cis. D. Dis. E. F. Fis. G. Gis. A. Ais. H. c.

Für die Moll-Tonleiter haben wir, wenn A zum Grundton genommen wird, folgende Töne und Zahlenwerthe:

$$A : H : c : d : e : f : g : a \text{ wie}$$

$$1 : \frac{9}{8} : \frac{6}{5} : \frac{27}{20} : \frac{3}{2} : \frac{8}{5} : \frac{9}{5} : 2 \text{ und C als Grund-}$$

ton genommen: C. D. Es. F. G. As. B. c.

Setzt man den Grundton = I die Secunde = II u., und bezeichnet man die Dur-Tonart mit D, die Moll-Tonart mit M, so erhält man folgende Zusammenstellung:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII.
D.	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
M.	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{6}{5}$	$\frac{27}{20}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{8}{5}$	$\frac{9}{5}$	2

Daraus folgt, daß in beiden Tonarten die Werthe der Tertz, Quarte, Sexte und Septime nicht gleich sind. Der geringste, dem Ohr kaum bemerkbare Unterschied, nämlich bloß ein Komma, findet bei der Quarte statt.

Die Terz, Sexte und Septime der Durtonart nennt man die großen, die der Molltonart die kleinen, wobei sich verhält:

$$\begin{array}{l} \text{die große Terz zur kleinen wie } \frac{5}{4} : \frac{6}{5} = 25 : 24 \\ \text{„ „ Sexte „ „ „ } \frac{5}{3} : \frac{8}{5} = 25 : 24 \\ \text{„ „ Septime „ „ „ } \frac{15}{8} : \frac{9}{5} = 25 : 24 \text{ d. h.} \end{array}$$

während die große Terz zc. 25 Schwingungen macht, macht die kleine 24.

Eine völlige Reinheit der Intervalle mit ihren erhöhten oder erniedrigten Tönen und beliebigem anderen Grundton als C giebt es nicht; denn nicht zu jedem anderen Ton als C stehen alle folgenden in gleichem Verhältniß wie bei der von C an gerechneten Reihenfolge der Töne. Man beschränkt sich daher auf 12 von C ausgehende Töne mit 7 ganzen und 5 halben Tönen, und macht alle Abstände derselben einander gleich: so werden alle Consonanzen mit Ausnahme der Octave schwebend (die gleichschwebende Temperatur), wobei die große Terze E etwas hinaufschweben, die Quinte G etwas abwärts schweben muß, wie folgende Zahlenwerthe der Töne der chromatischen Tonleiter ergeben:

Töne.	Gleichschwebende Temperatur.	Ursprüngliches Verhalten.
C	1,00000	1,00000
Cis	1,05946	1,04166
D	1,12246	1,12500
Dis	1,18921	1,17187
E	1,25992	1,25000
F	1,33484	1,33333
Fis	1,41421	1,38889
G	1,49831	1,50000
Gis	1,58740	1,56250
A	1,68179	1,66666
b	1,78180	1,80000
H	1,88775	1,87500
c	2,00000	2,00000

Die Wirkung der Aufeinanderfolge der verschiedenen Töne, wie sie zur Melodie verflochten werden, beruht außer der des Taktes, des Forte und Piano, der Höhe und Tiefe des Tones an sich, worüber wir unsere Ansichten schon ausgesprochen haben ¹⁾, auf der Beziehung der Töne zu einander, baut demnach auf die abklingende Nachwirkung vorhergehörter Töne, fällt also in mancher Hinsicht mit der gleichzeitig angestimmter Töne und deren Consonanzen und Dissonanzen zusammen, welche jetzt besprochen werden müssen.

Häufig wird angenommen, daß das Ohr im Stande sei, mehrere Töne gleichzeitig und getrennt von einander zur Perception zu bringen. Theoretische Bedenken und praktische Erfahrungen an mir und anderen nicht musikalisch Gebildeten lassen mich daran zweifeln. Vernachlässigen wir das Letztere, so scheint mir, um jene Bedenken zu verschweigen, kein anderer Ausweg als die Annahme eines musikalischen Instrumentes im Ohr, durch wel-

¹⁾ Dieses Handwörterbuch Artikel »Temperament.«

ches die einzelnen Töne je an bestimmten mit Nerven in Verbindung stehenden Punkten mit vorwiegender Stärke und wenigstens relativ gleichen Schwingungsmengen reproducirt würden.

Meine theoretischen Bedenken sind nämlich folgende: Zwei einander folgende Stöße werden bei einer bestimmten Intensität und Geschwindigkeit nicht als zwei, sondern als eine Empfindung aufgefaßt; gewiß ist also, daß zwei rasch sich folgende Einwirkungen auf den Acusticus ebenso verschmelzen wie zwei rasch sich folgende Eindrücke von Farben bei dem Gesichtssinn. Dadurch allein kann Ton und Geräusch als Empfindungsganzes auftreten.

Weiter ist gewiß, daß von einem Tone nie mehr als ein Verdichtungsmaximum seines Wellenzuges in dem Labyrinth in einem Moment vorhanden ist, und daß dieses Maximum in kürzester Zeit das ganze Labyrinth passirt hat, nämlich in weniger als $\frac{1}{49000}$ Secunde. Es ist also gar nicht daran zu denken, daß eine Empfindung des zuerst erregten Punktes der Nervenaustrahlung festgehalten werden könnte, sondern es ist ebenso gut, als läge diese in ihrer ganzen Masse punktförmig in dem Raum, durch welchen die Wellen fortschreiten. Alles was man über die Durchkreuzung der Wellen ohne gegenseitige Störung u. vorgebracht hat, um mit Hilfe dieser physikalischen Beobachtungen sich die Möglichkeit des Hörens mehrerer Töne zu erklären, ist nicht anwendbar. Jede Impression auf den Hörnerv ruft einen Schall hervor; jedes Maximum einer Welle, welches nie gleichzeitig mit demselben einer zweiten zugehörigen Welle im Labyrinth sich befindet, gleicht einem Stoß. Die Distanzen zweier Stöße bestimmen den Ton; jeder Stoß für sich allein ist dem Ohr gleichbedeutend. Haben wir nun zwei Wellenzüge verschiedener Töne, so fallen unter gewissen Bedingungen zwei Maxima von Zeit zu Zeit in das Labyrinth; in den Zwischenzeiten immer nur eines um das andere z. B. so:

I.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	•																		
II.	1																		
		2																	

Wir erfahren durch unseren Sinn nichts anders, als daß immer nach Ablauf von sechs Impressionen regelmäßig eine stärkere wiederkehrt, indem das Maximum 7 des Tones I mit dem Maximum 2 des Tones II zu der Gesamtwirkung B sich vereinigt u. s. w. Für den musikalisch nicht Gebildeten vereinigt sich dadurch überhaupt nur die ganze Wirkung zu einer bestimmten Empfindung, welche verschieden ist von der sowohl, welche die Reihe I als die Reihe II für sich allein producirt, und wenn etwa die Impulse 1, 2, 3 der II Reihe eine gegen die der Reihe I große Prävalenz haben, so vernimmt das ungebildete Ohr den Ton II mit einem gewissen, durch die Reihe I hervorgerufenen Klang begleitet. Erst das gebildete Ohr erkennt, daß hier zwei Töne gleichzeitig angestimmt sind, nicht mittelst des Sinnes, sondern der Aufmerksamkeit, welche auf die Distanzen der zusammenfallenden Maxima zu richten gelernt wurde. Es ist also die Auffassung ein Werk psychischer Thätigkeit: der Aufmerksamkeit, wie auch J. Müller annimmt, und nicht unmittelbar bedingt durch den physikalischen oder physiologischen Effect, gerade so wie der Farbenkenner die eine Mischung bildenden Grundfarben leicht zu errathen vermag, trotzdem, daß an sich die Eindrücke hier ebenso miteinan-

der verschmelzen müssen, wie dort. Das wäre eine Erklärungsweise. Denken wir uns nun weiter zwei Reihen von Impulsen so geordnet:

1	2	3	4	5	6	7
.
.
a	b	c	d	e	f	g
.		
1	2	3	4	5		

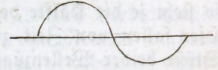
so steht je die Hälfte des einen zu der des zweiten in dem Verhältniß 3 : 2. Hier fallen von Zeit zu Zeit in regelmäßigen Abständen die Maxima der Stöße beider Wellenzüge aufeinander, nämlich in a, e, i. Diese Distanzen sind regelmäßig, während a b, b c, c d, d e unter sich nicht alle gleich sind, sondern gleich den Distanzen 0. 2. 1. 1. 2. 0. 2. 1. 1. 2. 0. Liegt nun a, e und i in geeigneter Entfernung auseinander, so können wir einen dritten Ton heraus hören, welcher tiefer als die beiden anderen Töne ist, nämlich eine Octave tiefer als II und eine und eine halbe tiefer als I. Dieses sind die sogenannten Tartini'schen Töne, welche uns einen deutlichen Beweis liefern, daß Distanzen, welche auch nicht schon an sich in den Schwingungen der tönenden Körper gelegen sind, sondern sich bei dem Anstimmen mehrerer Töne, wenn ich so sagen darf, zufällig bilden, von unserem Ohr berücksichtigt werden.

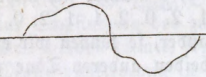
Bei dieser Gelegenheit lernen wir auch den Zweck der absoluten Kleinheit des Gehörorganes kennen, welches in seinen wesentlichen inneren Theilen durchaus nicht mit der Größenzunahme des Schädels der Thiere an Umfang wächst, sondern bedeutend zurückbleibt. Der Durchmesser des menschlichen Ohres beträgt, so weit die Nerven reichen, nicht über 8^{'''}. Die Dicke der Wellen, welche durch das Labyrinthwasser gehen, berechnet sich für das C der 32 Fuß langen Orgelpfeife auf 256', für das Contra C auf 128', für das große c auf 64', für das ungestrichene c auf 32', für das \bar{c} auf 16', für das $\bar{\bar{c}}$ auf 8', für das $\bar{\bar{\bar{c}}}$ auf 4', für das $\bar{\bar{\bar{\bar{c}}}}$ auf 2', für das $\bar{\bar{\bar{\bar{\bar{c}}}}}$ auf 1', für das $\bar{\bar{\bar{\bar{\bar{\bar{c}}}}}}$ auf 0,5', für das schon nicht mehr musikalische siebenfach gestrichene c auf 0,25', woraus ersichtlich, daß auch von Wellenzügen der höchsten Töne nie mehr als ein Maximum ihrer Wellen auf einmal in dem Labyrinth die Nerven ausbreitung treffen kann. Wäre das Labyrinth größer, und könnten von den höheren Tönen zwei Verdichtungsmaxima gleichzeitig in demselben sich befinden, so würde darüber offenbar der Maasstab für ihre ursprüngliche Intensität gegenüber tieferen Tönen verloren gehen. Denn hätte ein tiefer und hoher Ton ursprünglich die gleiche Intensität, so würde wegen der Summation der Maxima zweier Wellen hoher Töne, welche bei tiefen nicht eintreten könnte, immer der höhere für stärker gehalten werden als der tiefere, was doch in der Wirklichkeit nicht stattfindet.

Was im obigen Fall bei Tönen von gewisser Höhe und gewisser Dauer deutlich in der Gestalt eines neuen Tones hervortritt, muß, wenn auch nicht immer in Form eines Tones, sondern etwa bloß der Klangfärbung oder der Geräusche, jederzeit bei gleichzeitigem Hören von mehreren Tönen mit in die Empfindung eingreifen.

Es wurde bisher immer angenommen, daß beide Töne ihre Wellenzüge

gleichzeitig beginnen. Dies ist in der Wirklichkeit jedoch gewiß der seltenste Fall. Deswegen ist auf das Entstehen der Tartini'schen Töne in der Musik nicht mit Sicherheit zu rechnen. Sie kommen aber gleichwol häufiger zum Vorschein, als man erwarten sollte, nämlich auch dann, wenn die Maxima der Stöße zweier Töne auch nicht genau aufeinander fallen, sondern bloß approximativ. Daraus folgt weiter, daß die Maxima der Stöße eigentlich nicht die ausgezeichnetste Empfindung in dem ganzen Wellenzug hervorrufen, sondern, was wir empfinden, ist mehr vergleichbar einem zu- und abnehmenden Druck, an welchem wir die Ab- und Zunahme, nicht aber genau den Wendepunkt dieser Vorgänge wahrnehmen. Versinnlichen wir uns den ganzen Eindruck durch eine Wellenlinie, so wird diese complicirt, so wie zwei oder mehrere gleichzeitig angestimmten Töne gehört werden, und kann



etwa diese Form  annehmen, welche bei irrationalem Verhältniß der Schwingungsmengen der Töne unendlich variiert werden kann, je nachdem der eine Ton später als der andere angestimmt wird. Durch welche Mittel wird es möglich, einen solchen Eindruck in seine combinirenden Elemente zu zerlegen, zumal wenn, wie dies in der Mehrzahl der Fälle stattfindet, die Form der Combination bei etwa zwei Tönen wechseln kann, je nachdem sie gleichzeitig oder ungleichzeitig beginnen?

Offenbar reicht jetzt jene erste Erklärungsweise nicht mehr aus; denn es fehlt der psychischen Thätigkeit jeder Anhaltspunkt der Raisonnements.

Es kommen also hiebei doch vielleicht noch physikalische Apparate im Gehörorgan zu Hülfe, durch welche der eine Ton an diesem, der andere an jenem Punkt vorwiegend resonirt bestimmten Nervenfasern übergeben wird.

Hievon sogleich ausführlicher; jetzt nur noch ein paar Worte über musikalische Tonverbindungen. —

Die Combination consonirender Intervalle nennt man einen consonirenden Accord; dissonirend ist der Accord, wenn die Verbindung seiner Töne dissonirende Intervalle zeigt. Der aus Grundton, Terz und Quinte bestehende harmonische Dreiklang wird, wenn die Terz eine große ist, zum Duraccord, wenn es die kleine ist, zum Mollaccord. Beide bestehen aus den gleichen Intervallen $\frac{4}{5}$ (große Terz) + $\frac{5}{6}$ (kleine Terz); nur geht im Duraccord die große der kleinen Terz voran, im Mollaccord umgekehrt.

Liegt in dem Accord ein dissonirendes Intervall, wie z. B. bei Hinzufügung der Septime statt der Octave, so kann diese Dissonanz durch einen anderen Accord aufgelöst werden, welcher den consonirenden Ton enthält, oder mit dem dissonirenden consonirt.

Es liegt außer dem Bereich dieses Werkes, die Art und Weise zu verfolgen, in welcher am geeignetsten die ästhetischen Bedürfnisse unseres Gefühles durch die Verknüpfung der Töne befriedigt werden; hier konnten uns nur einige Mittel dazu kurze Zeit beschäftigen.

Prüfen wir schließlich die Möglichkeit einer directen Auffassung der Tonunterschiede, so müssen wir gleich von vorne herein über eine Ansicht den Stab brechen, welche schon J. Müller bekämpft hat, und die darin besteht, daß man die Nervenfasern mit ihrer verschiedenen Länge z. B. auf dem Spiralblatt der Schnecke mit verschieden langen Saiten vergleicht, wobei die Nerven selbst also die musikalischen Instrumente und tonempfindenden Fäden zugleich wären. Diese Annahme geht aus dem Irrthum hervor, als müßte der Ton-Empfindung vermittelnde Vorgang und der eigentlich akustische derselbe

sein, was, wie oben auseinander gesetzt wurde, unstatthaft ist. Ist eine besondere, die Auffassung der Tonunterschiede unterstützende Anordnung in dem Gehörorgan überhaupt vorhanden, so kann sie nur außerhalb der Nerven in ihrer nächsten Umgebung zu suchen sein.

Die Grundmembran des häutigen Labyrinthes deutet schon bei dem Fisch durch die Anordnung gewisser Elemente in ihr auf eine Beziehung zu der Nervenansbreitung hin. Diese Grundmembran besteht nämlich aus einer strukturlosen Haut, in welcher sich eine außerordentliche Menge feinsten, miteinander anastomosirender Fasern vorfinden. Zusatz von Essigsäure läßt sie als Kerngebilde erkennen. Ist die Lagerung dieser Fasern in den Bogengängen eine mehr gleichartige nezförmige, so wird sie in der Gegend der sich ausbreitenden Nervenbündel eine andere, und eben deswegen, weil sie gerade an diesen Stellen anders ist als an den nervenfreien, dürfte sie für die Nervenansbreitung nicht ganz bedeutungslos erscheinen. Entsprechend nämlich den pinselförmigen Ausstrahlungen der Nerven sind auch gerade an diesen Stellen die Fasern der Grundmembran fächerförmig unter den Nerven ausgebreitet, wie man auf Tab. II. Fig. 9 an *d e* sieht. Dieses Stückchen Membran gehört zu einem von *d* aus sich ausbreitenden Bündel, welches hier, um die Anordnung der Membran-Fasern zu zeigen, wegpräparirt ist, während ein anderes Nervenbündel eingezeichnet wurde, um zu versinnlichen, wie leicht man ohne Anwendung von Essigsäure versucht werden könnte, sich die Enden der Nerven in diese feinsten Fasern der Grundmembran fortgesetzt zu denken. Die Formation der Grundmembran kann, wenn wir eine Parallele suchen, mit nichts Anderem, als der gefensternten Haut der Gefäße verglichen werden, in Beziehung auf ihre Bedeutung ist es dagegen vielleicht erlaubt, sie mit den nicht anastomosirenden und nicht verästelten Fasern der membranösen Zone des Spiralblattes in der Schnecke und der über den Knorpelrahmen der Vogel-Flasche gespannten Membran (Fig. 7 auf Tab. II.) zusammenzustellen. Offenbar verleiht die in der Membran vorkommenden solideren Kernfasern diesem ganzen Gewebe einen höheren Grad von Elasticität, übernehmen deshalb vielleicht leichter die Verdichtungswellen der Perilymphe und bringen sie gerade in derjenigen Richtung verstärkt der Endolymphe zu, in welcher die Nervenfasern in ihren Hauptzügen sich ausbreiten.

Die Elasticität dieser Membranen tritt am deutlichsten an der Flasche des Vogels hervor. Geradlinig, quer über den Knorpelrahmen gespannt und vollkommen parallel zeigen sich die Streifen in dieser Membran, so lange sie sich in ihrer natürlichen Befestigung befindet; losgetrennt von ihr rollt sie sich sofort nicht allein sehr leicht ein, sondern der geradlinige Verlauf der Fasern wird ein geschlängelter (Tab. II. Fig. 7) zum deutlichen Beweis der Spannung, in welchem sie sich vorher befunden hatte, und der Elasticität mit welcher sie ihre Gestalt zu verändern strebt.

Haben wir bei den Fischen und Amphibien in dem Verlauf, der Länge und sonstigen Beschaffenheit der Kernfasern, welche sich in der Grundmembran ihres häutigen Labyrinthes finden, gar keine Anhaltspunkte für eine Theorie, welche die einzelnen Theile desselben als akustische Vorrichtungen zu obgenannten Zweck betrachtete, so hat sie sich bereits ¹⁾ bei der Flasche der Vögel auf die verschieden langen Streifen der Membran (häutigen Zone) berufen, welche wirklich gegen das Ende hin allmählig immer kürzer werden und daselbst an der Membran eine Art fein gezahnten Randes bilden. Von

¹⁾ Carus, Physiologie III. pag. 273.

einer eigentlichen gezahnten Platte, wie wir sie in der Schnecke der Säuger werden kennen lernen, habe ich bei dem Vogel nichts auffinden können. Vorläufig sind wir, glaube ich, durchaus noch nicht berechtigt, auf diese Verschiedenheiten der Länge der Streifen in dieser Membran irgend eine Vermuthung über ihren Zweck zu begründen.

Der künstliche Bau der Schnecke hat schon zu einer Zeit, in welcher man eigentlich bloß die größeren Formen dieses Organes gekannt hat, den Gedanken erweckt, als stünde sie in einer nähern Beziehung zur Auffassung musikalischer Tonverhältnisse. Du Verney¹⁾ war der Schöpfer einer solchen Theorie, welche außer vielen Anderen auch von Le Cat²⁾ zu stützen versucht wurde. Den Hauptirrtum in diesen Theorien haben wir bereits hervorgehoben. Scarpa³⁾, Joh. Müller⁴⁾ und Esser⁵⁾ konnten mit großer Zuversicht jedwede andere Aufgabe der Schnecke als die längnen, daß durch ihren Bau dem Nery eine größere Fläche im kleinsten Raum zu seiner Ausbreitung dargeboten sei, indem ihnen die feinere Organisation des Spiralblattes noch nicht bekannt war, wie sie auch selbst heute noch nicht vollständig aufgedeckt ist, aber so wunderbare Details doch schon hat erkennen lassen, daß man nicht anders glauben kann, als sie sei zu mehr bestimmt als einer bloß indifferenten Unterlage für die Nervenansbreitung. Deshalb möge es uns vergönnt sein, den ganzen Apparat übersichtlich hier zu betrachten.

Die Gestalt der Schnecke des Menschen, von welcher die sehr vieler Säugethiere bedeutend abweichen kann, wie ein Blick auf Hyrtl's Tafeln überzeugt, dürfen wir als bekannt voraussetzen. Ihr Knochengerüst besteht aus der unregelmäßig konischen hohlen Achse (Modiolus s. Columella), in welcher der Schneckenast des Hörnery bis zur Kuppel der Schnecke aufsteigt, und der knöchernen Leiste, welche spiralförmig um den Modiolus sich herumwindet, und so einen um ihn herumlaufenden spiralförmigen Canal bildet. In der Kuppel der Schnecke endet er blind, an seinem Anfang liegen zwei Oeffnungen, die eine ovale ist frei und mündet in den Vorhof, die andere runde ist durch die Membrana tympani secundaria geschlossen, würde also sonst in die Trommelhöhle münden.

Dieser spiralförmige durchaus knöcherne Canal wird in zwei parallel laufende Gänge getheilt dadurch, daß ein zweites aber nur an dem dem Modiolus zugekehrten Rand, Fig. 76 C, knöchernes Blatt, die Lamina spiralis, *aa*, *b-c*, quer durch den knöchernen Canal gespannt, wie dieser von der Basis zur Kuppel aufsteigt. Ihre knöcherne Zone beginnt schon im Vorhof, tritt zwischen der Trommelhöhl- und Vorhofs-Oeffnung des knöchernen Canals in denselben ein, und bildet so zwei mit verschiedenen Ausgängen versehene, nirgends als in dem Helicotrema mit einander communicirende Gänge oder Treppen, von welchen die obere, der Kuppel nähere Scala vestibuli (Sc. V.) die untere der Basis näher gelegene Scala tympani (Sc. T.) genannt wird. Die durch die Lamina ossea gebildete Scheidewand zwischen beiden ist jedoch keineswegs vollständig, vielmehr kommt hiebei die membranöse Zone zu Hülfe, welche von der Vestibularoberfläche am freien Rand der knöchernen Zone entspringt, und von der ersten Hälfte der ersten Schnecken-

¹⁾ Traité de l'organe de l'ouïe Part. II. pag. 96.

²⁾ Traité des sens. pag. 60.

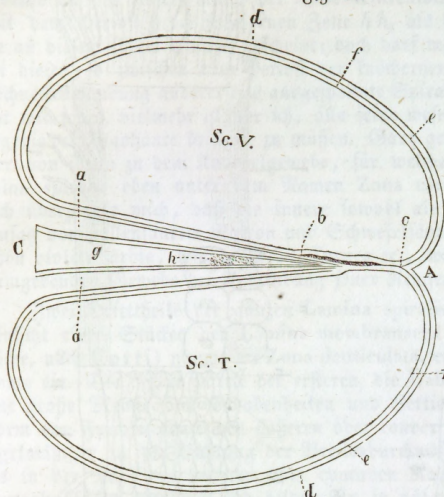
³⁾ Disqu. anat. de aud. et olfactu. Sect. II. Cap. 4 §. 11.

⁴⁾ Zur vergl. Physiol. des Gesichtsinnes. pag. 447.

⁵⁾ Kastner's Archiv. Bb. XII. pag. 105.

windung an zu einer spiralförmig verlaufenden Knochenleiste der gegenüberstehenden Schneckenwandung hinübergespannt ist. Diese von Huschke La-

Fig. 76.



Durchschnittsfigur des Anfangs der ersten Schneckenwindung (nach Corti).
d innere Oberfläche der knöchernen Schneckenwandung,
e das Periotic, die Höhle beider Treppen ausfleidend,
f Epithellage auf dem Periotic,
g Nervenkanal der lamina sp. ossea
h habenula ganglionaris laminae spir. cochleae.

mina spiralis accessoria (A) genannte Knochenleiste verschwindet gegen den Gipfel der Schnecke hin ganz.

Auf dieser Scheidewand ist ein höchst complicirter Apparat gelagert, welcher uns für unsere gegenwärtige Frage zunächst interessirt und welcher bis in die jüngste Zeit herein so gut wie gar nicht bekannt war. Meine Bemühungen, hierüber Licht zu verbreiten, führten mich zu der Untersuchung einer großen Menge von Schnecken der verschiedensten Säugethiere, wobei ich in den wichtigsten Punkten zu den gleichen Resultaten geführt wurde wie Corti¹⁾, dessen umfassende Studien über diesen Gegenstand mittlerweile veröffentlicht wurden. Ich schliesse mich deshalb seinen Bezeichnungen der Objecte an, welche von mir ebenfalls und ganz unabhängig von ihm beobachtet wurden.

Hier kommt es nun weniger auf einen vollständigen Ueberblick aller mikroskopischen Verhältnisse an, als vielmehr auf eine Kenntniß bloß derjenigen Theile, welche physikalische Zwecke bei ihrer Anlage deutlich erkennen lassen.

Abstrahiren wir vorläufig von dem Bau der knöchernen Zone des Spiralblattes, und betrachten den übrigen Theil desselben, die Lamina spiralis membranacea, so ist sie nach ihrem äußeren Ansehen und den darin enthaltenen mikroskopischen Objecten in zwei Gürtel zu trennen, von denen der innere als Zona denticulata (Fig. 77, s. folg. S., Schematische Figur des verticalen Durchschnittes *ab*) selbst wieder in zwei Unterabtheilungen zerfällt

¹⁾ Corti in Kölliker und Siebold's Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie. Bd. III. pag. 109 ff.

Fig. 77.

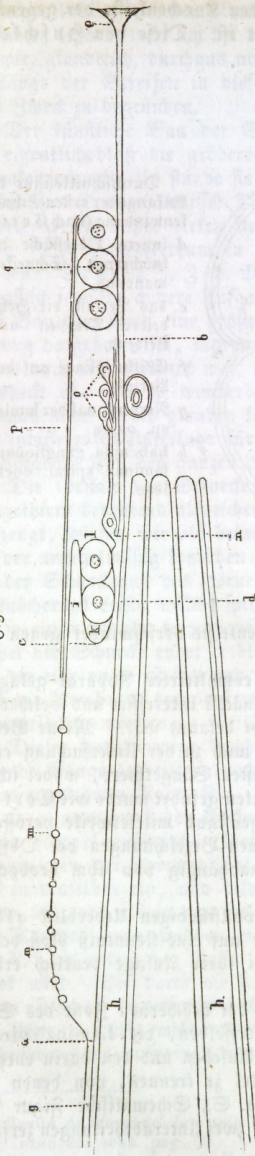
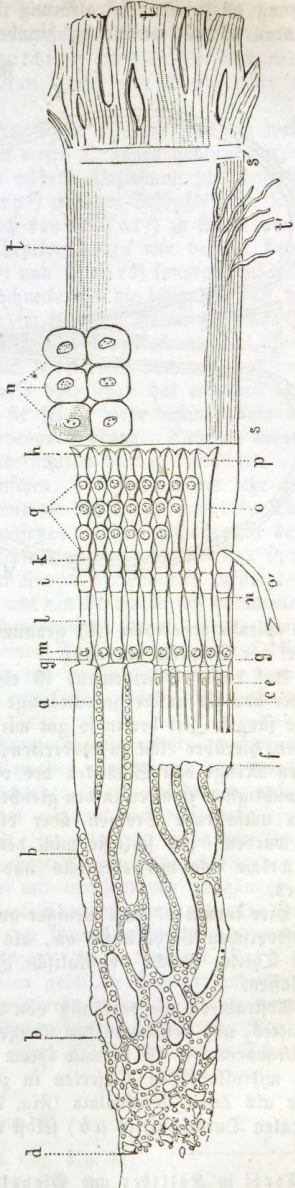


Fig. 78.



eine *Habenula interna s. sulcata*, *a—c*, und eine *Habenula externa s. denticulata*, *d—b*, den äußeren mit der Schneckenwandung unmittelbar, d. h. mit deren Perioist *e* zusammenhängenden bildet die *Zona pectinata*, *b—f*. Ebenso ist der innere Rand der *Zona denticulata* in innigster Vereinigung mit dem Perioist *g* der knöchernen Zone *h h*, als dessen plötzliche Verdickung sie an diesem ihrem Anfang erscheint; doch darf man sich nicht vorstellen, als sei dieses so zwischen dem Perioist der knöchernen Zone einerseits und der Schneckenwandung andererseits ausgespannte Spiralblatt von derselben Structur wie jenes, vielmehr glaube ich, alle seine wesentlichen Theile in die Kategorie der Glashäute bringen zu müssen. Ganz gewiß gehört wenigstens keiner von ihnen zu dem Knorpelgewebe, für welches man eine Zone der *Lamina spiralis* eben unter dem Namen *Zona cartilaginea* ausgegeben hat. Ich überzeugte mich, daß die innere sowohl als die äußere Zone sich auf Zusatz von gallensaurem Natron und Schwefelsäure in ihrer ganzen Masse so schön violett färbt, wie z. B. die *Cornea* u., wie dies niemals bei einem leimgebenden Gewebe bei Anwendung jener Reagentien geschieht.

Zwei Drittheile der ganzen *Lamina spiralis membranacea*, Fig. 78, (Ansicht eines Stückes der *Lamina membranacea* von oben, Vestibularoberfläche, nach Corti) nimmt die *Zona denticulata*, ein Drittheil die *Zona pectinata* ein. Die innere Partie der ersteren, die *Habenula sulcata*, *d—f*, zeigt eine große Menge von Erhabenheiten und Vertiefungen, welche letztere in Form von Furchen gegen den äußeren oder convexen Rand der *Habenula* hin regelmäßiger in der Richtung der Breitendurchmesser des letzteren verlaufen, als in der Nähe des inneren oder concaven Randes *d*. Hier sind sie viel unregelmäßiger geordnet und bilden ein je näher diesem inneren Rand um so engeres Maschenetz, dem entsprechend hier auch die Erhabenheiten oder Verdickungen der Zone viel unregelmäßiger und kleiner sind, als gegen den äußeren Rand hin, wo sie zuletzt zu äußerst zierlichen und regelmäßigen Gebilden, den Zähnen der ersten Reihe, werden, *a*. Diese Zähne stellen eine Reihe von Keilen dar, deren schiefe Fläche nach unten gekehrt ist, cf. Fig. 77 *i*, und durch deren Bildung sie sich der tieferen Ebene, in welcher der Rest der Zone gelegen ist, nähern und in sie übergehen. Demnach stellen sie den freien vorspringenden Rand der *Habenula sulcata* an deren Vestibularoberfläche dar, und bilden mit dem Rest der *Zona denticulata* unmittelbar unter sich eine Rinne (Fig. 77, *kl*), welche spiralförmig der Schnecke entlang verläuft.

Die Furchen der *Habenula sulcata* sind erfüllt mit einfachen Reihen dicht gedrängt stehender, das Licht sehr stark brechender Körnchen (oder Kernen) Fig. 78, *bb* und Fig. 77 *m*, welche sich auch in den Zwischenräumen zwischen je zwei Zähnen der ersten Reihe finden bis dahin, wo diese an ihrem äußersten Ende einander unmittelbar berühren.

Die *Habenula sulcata* bildet ein Continuum mit der *Habenula denticulata*, so zwar, daß die Zähne der ersten Reihe gleichsam als obere Lippe dem Anfangstheil der *Habenula denticulata* als unterer Lippe der oben bezeichneten Spiralfurche gegenüber liegen. Die untere Fläche dieser liegt am Anfangstheile der Spiralsplatte theilweise, die Unterfläche der *Habenula sulcata* in ihrer ganzen Ausdehnung dem knöchernen Theil der Spiralsplatte auf, und vertritt hier die Stelle des Perioist. Je weiter nach oben gegen den Gipfel der Schnecke hin um so weniger ist dies der Fall, so daß an dem letzteren Punkt weder die *Habenula sulcata* noch die *Habenula denticulata* in Berührung mit der *Lamina ossea* stehen, somit also der Anfangstheil der er-

stere gerade vor dem freien Rand der knöchernen Spiralsplatte liegt, und diese hier ganz von dem Perioost überkleidet ist (cf. hier schon Fig. 79).

Die *Habenula denticulata* zeigt einen verwickelteren Bau. Im Ganzen wird sie um so breiter, je näher dem Gipfel der Schnecke, und zwar genau entsprechend der allmäligen Verschmälerung der *Habenula sulcata*, so daß also die Summe ihre Breitendurchmesser an allen Stellen in der Schnecke gleich bleibt.

Gleich bei ihrem Ursprung aus der *Habenula sulcata*, deren unmittelbare Fortsetzung nach außen sie bildet, zeigt die *Habenula denticulata* eine Reihe von breiten Leisten: die durchsichtigen Zähne (Fig. 78 c), deren Dicke sehr allmählig nach außen zunimmt, um allmählig, jedoch rascher wieder abzunehmen. Ihre Länge und Breite bleibt sich ziemlich gleich bis gegen den Gipfel der Schnecke. Hier liegen sie dicht an einander, weiter nach abwärts nicht unbeträchtlich weit auseinander; so lange sie noch den Rand der knöchernen Spiralsplatte unter sich haben, findet man nahe ihrem äußeren Ende je in einem Zwischenraume zwischen ihnen ein Loch e. Von diesen durchsichtigen Zähnen treffen je zwei im Durchschnitt auf einen Zahn der ersten Reihe. Unmittelbar nach dem Ende jedes durchsichtigen Zahnes bildet die *Habenula* einen Vorsprung um die Zähne der zweiten Reihe g h zu bilden. Diese sind nur an ihrem inneren Ende in unmittelbarem Zusammenhang mit der *Habenula*, an ihrer Unterfläche vollkommen frei auf der Vestibularoberfläche der Zone ausliegend, wobei ihre Beweglichkeit noch durch eine Art Artikulation unterstützt scheint. Durch zwei artikulirende keilförmige Körper, i k, wird nämlich die hintere Abtheilung der Zähne zweiter Reihe von der vorderen geschieden, was uns zwingt, jede der beiden Abtheilungen für sich zu betrachten. Die Verhältnisse der hinteren Abtheilungen wurden mir bei meinen Untersuchungen noch vollkommen klar, weniger kann ich dies von der vorderen sagen, glaube aber nach einigen Beobachtungen, welche ich nur nicht deuten konnte, die mir aber jetzt durch Corti's Untersuchungen klarer geworden, seiner Darstellungsweise in diesen Punkten folgen zu dürfen, ohne sie bis jetzt noch selbst direct bestätigen zu können.

In Beziehung auf die hintere (oder innere) Abtheilung (l) der Zähne zweiter Reihe stimmen unsere Untersuchungen bis auf einige Punkte sehr genau überein.

Das hintere Ende jedes Zahnes der zweiten Reihe hängt durch einen kurzen sich aufwärts krümmenden fadenartigen Fortsatz mit der Grundmembran der *Habenula denticulata* zusammen (Fig. 77, n). Es ist dieses hintere Ende abgerundet birnförmig und trägt einen das Licht sehr stark brechenden Kern (Fig. 78, m). Diese birnförmige Anschwellung verzüngt sich nach außen zu einem längeren Stiel, welcher am Ende der ersten Abtheilung in eine neue cubische Anschwellung (n) übergeht, deren Breite geringer als die der birnförmigen an der entgegengesetzten Seite ist. Jene cubische Anschwellung steht in sehr innigem Zusammenhang mit dem ersten (inneren) artikulirenden Keil, welchen ich nicht für beweglich, sondern für unbeweglich angelöthet an das vordere Ende der hinteren Abtheilung eines solchen Zahnes der ersten Reihe halten möchte, ebenso wie ich der vorderen Fläche dieses ersten artikulirenden Keiles nach zu schließen, auch die Beweglichkeit zwischen diesem und dem zweiten kaum sehr hoch anschlagen kann. Erstens nämlich geschieht es beim Versuch, die hier in Frage stehenden Theile der Zähne zweiter Reihe von einander zu trennen, daß der innere keilförmige Körper dem vorderen Ende der inneren Partie eines Zahnes zweiter Reihe ad-

härirt, zweitens scheint die Form der artikulirenden Fläche zwischen beiden keilförmigen Körpern von der Art zu sein, daß sie einer wahren Gelenkbewegung sehr ungünstig ist. Beide Körper stellen zwei länglich viereckige Stücke dar, welche sich mit zwei schiefen Ebenen berühren, indem sie an dieser ihrer Berührungsstelle keilförmig zugeschärft sind, so daß ich mir vorstellen muß, es hat eine gewaltsame Trennung bereits schon bei der Isolirung bis zu einem gewissen Grade stattgefunden, wenn man, wie Corti, an dieser Stelle eine Knickung nach oben oder unten wahrnehmen kann. Ueberhaupt scheint mir die Beweglichkeit der einzelnen Zähne in ihrer hinteren Abtheilung auch nicht so groß, daß jeder für sich etwa schwingen könnte; denn bei der Präparation trifft es sich meist, daß man sie reihenweise losreißt und zu isoliren einige Mühe hat, in jenem Fall findet man sie dann meist gerade gestreckt, während einer isolirt sofort sich oft schlangenförmig krümmt, woran er nur durch den Zusammenhalt mit seinen Nachbarn vorher konnte verhindert sein; ja ich möchte fast glauben, ohne dies jedoch vorläufig noch direct behaupten zu können, daß der erste keilförmige Körper und somit die hintere Abtheilung des Zahnes der ersten Reihe fast dem darunter befindlichen Theile der Habenula anliege, und so eine gewisse Spannung in sämmtlichen Zähnen der zweiten Reihe, wenigstens in deren hinteren Abtheilung bedingt sei.

Die äußere oder vordere Abtheilung (Fig. 78, o) der Zähne zweiter Reihe, deren Verhältnisse mir unklar geblieben waren, bietet nach Corti folgende Eigenthümlichkeiten dar: Ihr der Schneckenwandung zugekehrtes Ende ist frei und flottirt ungehindert auf der Grundlage der Habenula; dasselbe zeigt eine gabelförmige Theilung (p) und ist ausnehmend zart; auch ist es im Ganzen etwas breiter als die Mitte des Zahnes in dieser seiner vorderen Abtheilung, und an einigen Stellen breiter selbst als das entgegengesetzte Ende, welches dem vorderen Ende des äußeren artikulirenden Keiles aufsitzt. Die vordere Abtheilung jedes Zahnes kann sich mit Leichtigkeit gegen die Keile oder die hintere Abtheilung zurückbiegen (o') und muß als äußerst beweglich gedacht werden.

An der Insertionsstelle der vorderen Abtheilung jedes Zahnes und zwar an den hinteren keilförmigen Körper finden sich noch drei eigenthümliche Körperchen (Fig. 78, q, Fig. 77, o) befestigt, welche Corti geradezu Cylinderepithelialzellen nennt, mit denen sie aber, scheint mir, mehr verglichen als identificirt werden dürfen. Der Entscheid dieser Frage hat jedoch für uns zunächst kein weiteres Interesse. Es sind diese Kern und meist auch Kernkörperchen enthaltenden Zellen mit Stielen versehen, von denen immer einer länger als der andere ist, so daß die Zellen, von oben gesehen, in gleicher Ebene befindlich, eine vor der anderen liegt, während ihre Stiele übereinander gelagert sind. Es hat also die vorderste (äußerste) den längsten, die hinterste (innerste) den kürzesten Stiel. Die äußerste Zelle hat von der Mitte der Schnecke an die gleiche Länge mit der vorderen Abtheilung des Zahnes selbst, auf welcher sie liegt; weiter gegen den Anfang der Schneckenwindung hin haben diese Gebilde eine geringere Länge als diese.

Bemerkenswerth ist endlich noch ein durch eine äußerst zarte Membran gebildetes Dach (Fig. 77, p) über den Zähnen der ersten und zweiten Reihe, welche die Gränzen der Habenula denticulata an ihren beiden Enden etwas überragt. Dieses Dach bietet besonders den Zähnen der zweiten Reihe einen gewissen Spielraum für eine Bewegung nach oben, indem es jenseits der Gränzen der Habenula denticulata von Epithelialzellen (Fig. 77, q) getragen wird, die auf der Zona pectinata sich befinden (Fig. 78, n). Das ent-

gegengesetzte Ende dieses Daches ruht auf der Vestibularoberfläche der Zähne der ersten Reihe: die Breite des Daches nimmt entsprechend der Breitenzunahme der Habenula denticulata gegen den Gipfel der Schnecke hin ebenfalls zu.

Die Zona pectinata (Fig. 77, b—f, Fig. 78, s—s') bildet die unmittelbare Fortsetzung der eben beschriebenen Habenula nach außen von den Zähnen der zweiten Reihe, und tritt in directe Verbindung mit dem Periostr der Schneckenwandung (Fig. 78, t). Es zeigt diese Zone eine große Menge ¹⁾ dicht nebeneinander liegende Streifen, welche unmittelbar nach außen von den freien flottirenden Enden der Zähne zweiter Reihe ihren Anfang nehmen, gegen die Mitte des Bandes hin am tiefsten schattirt erscheinen, und kurz vor dem Uebergang der Zone in das Periostr ihr Ende erreichen.

Ich kann Corti nicht bestimmen, wenn er diese Streifung von cylindrischen parallel verlaufenden Anschwellungen der Zone mit dazwischen verlaufenden feichteren und tieferen Furchen ableitet, indem es mir mehrmal gelang, Fasern als solche von der structurlosen Grundmembran der Zone abzuheben, so daß jene gekräuselt wie Bindegewebsfasern über dem unversehrten gebliebenen Stück der structurlosen Membran flottirten (t'). Die Breite der Zona pectinata bleibt in der ganzen Schnecke sich überall gleich.

Um sich ein deutlicheres Bild von den Verhältnissen der einzelnen Abtheilungen dieses so complicirten Organes in den verschiedenen Abschnitten seiner ganzen Ausdehnung machen zu können, ist nach den vorliegenden Zahlendaten das Schema, Fig. 79, entworfen, woraus man ersieht, daß genau in dem Maße, als die Habenula sulcata gegen den Gipfel hin an Breite abnimmt, die Habenula denticulata an Breite zunimmt. Bemerkenswerth ist hiebei also, daß nicht alle Theile des ganzen Apparates um so kürzer werden, je mehr man sich dem Gipfel der Schnecke nähert, daß vielmehr die Zähne der zweiten Reihe an Länge bis dorthin zunehmen, daß ferner andere Theile, wie die Zona pectinata, ihre Breite von der Basis bis zum Gipfel behaupten, die freie nicht auf der Zona ossea aufliegende Partie der Habenula sulcata gegen den Gipfel der Schnecke hin an Breite etwas zunimmt. Die gleiche Breite behaupten die artikulirten Keile, und ebenso die Lamina spiralis membranacea im Ganzen.

Interessant ist endlich zu sehen, wie die Nerven ausbreitung nicht allein immer weiter über den freien Rand der Zona ossea hinausgerückt, sondern gegen den Gipfel hin bis zur Mitte der ganzen Spiralplatte vorgeschoben wird, während sie am Anfang der ersten Schneckenwindung nur die Gränze des ersten Drittels der Breitenausdehnung dieser Platte erreicht. Trotz dem gelangt sie jedoch an keiner Stelle über den Anfang der Zähne der zweiten Reihe hinaus.

So wenig man bis jetzt noch den Zweck dieses Apparates in seinem ganzen Detail übersehen kann, so wenig kann man sich jetzt mehr der Ansicht entschlagen, daß hier eine akustische Vorrichtung gegeben ist, welche eine weitere Aufgabe als die der Multiplication der Oberfläche für den akustischen Nerv zu erfüllen hat.

Nur Weniges läßt sich über die Schwingungen muthmaßen, welche in

¹⁾ Nach Corti: 6900 bei Maus und Maulwurf,
16000 bei der Kaße,
20600 bei Schwein und Schaf,
30000 beim Menschen.

den einzelnen Abtheilungen stattfinden können oder sollen. Die Möglichkeit von Beugungsschwingungen kann bei den Zähnen der ersten Reihe nicht geläugnet werden; größer ist sie hier übrigens im letzten als in den beiden ersten Drittheilen der ganzen Längenausdehnung der Spiralsplatte, denn dort setzen keine in der Spiralfurche gelegene Epithelialzellen der Bewegung der Zähne nach abwärts so leicht eine Gränze als hier. Größer ist aber im Allgemeinen die Wahrscheinlichkeit von Verdichtungs- wellen in dieser ersten Zahn-Reihe.

Anderd dagegen verhält es sich bei den Zähnen der zweiten Reihe. Nicht bloß ihre große Beweglichkeit, welche sie isolirt zeigen, läßt schließen, daß sie in der Schnecke selbst durch Erschütterungen in Bewegung versetzt werden, sondern noch mehr spricht hiefür der Umstand, daß offenbar eine bestimmte Vorkehrung getroffen ist, diese Bewegung und Beweglichkeit zu sichern. Es sind diese Zähne nämlich in einen Raum gelagert, welcher gleichsam eine Lücke von beiläufig 0,0048''' Höhe (Corti) in den Geweben läßt, indem die Epithelialzellen vor und hinter den Zähnen aufhören und in einiger Entfernung über den Zähnen eine schützende Bedachung liegt, während zugleich ihre untere Fläche der Grundmembran der Habenula denticulata nicht unmittelbar aufliegt, sondern gleichsam über dieser schwebt. Ist so eine Beweglichkeit dieser Theile gestattet, so kann die Bewegung durch nichts Anderes als durch Anstöße hervorgerufen werden, welche zunächst die Schneckenwandung oder Achse getroffen haben; denn an den gegliederten Zähnen der zweiten Reihe findet sich nirgends ein contractiles Gewebe oder Muskelfasern, deren Zusammenziehung Lageveränderungen an diesen Theilen hervorzurufen im Stande wäre, mit anderen Worten, die überhaupt möglichen Bewegungen an ihnen müßten als Transversalschwingungen angesehen werden, welche mit der Fortpflanzung des Schalles bis zur Schnecke in einer gewissen

Außere der Schneckenwandung zugekehrte Grenzlinie der hier an das Periostr. der Schneckenwandung ansetzenden Lamina membranacea von

Fig. 79.

Äußere Grenzlinie der habenula denticulata.

Innenlinie der Zähne der II. Reihe.

Tüpfelreihe der durchsichtigen Zähne.

Äußere Grenzlinie der Habenula denticulata.

Äußere Grenzlinie der Zähne der I. Reihe.

Äußere Grenzlinie der Zona ossea.

Äußere Grenzlinie des Periostr. und innere Grenzlinie der Lam. spiralis membranacea.

Innere Grenzlinie der Lamina spiralis gegen die Schneckenwandung.

0,1''' = 2 Millim.

Anfang der I. Schneckenwandung.

Lamina ossea. Lamina membranacea.

Beziehung ständen. Die Absicht, Beugungswellen hier auftreten zu lassen, wäre an sich etwas unklar, weil nämlich in jedem Falle die Schallwelle in der Schnecke zuletzt doch immer in Form von Verdichtungswellen dem Nerv zugebracht wird, wozu es nicht der Erzeugung von Beugungswellen durch diese Theile erst bedarf; weiter würde zur Reproduktion von Schwingungsperioden, welche denen der ursprünglichen Töne relativ conform sein sollten, die zweite Reihe der Zähne nur sehr wenig ausreichen, indem die Länge der ersten zu der der letzten sich nicht einmal wie 1 zu 2, sondern wie 1 : 1,2 verhält.

Wollen wir überhaupt jetzt schon an einen Versuch denken, diesen Theilen eine Deutung zu geben, so dürfte die noch am nächsten liegen, daß sie als Dämpfer wirken, indem sie nämlich jede Beugeschwingung der membranösen Zone in ihrem Entstehen sofort aufheben, wobei zugleich durch den abgeschlossenen Raum, in welchem sich die Zähne der zweiten Reihe befinden, dafür gesorgt ist, daß ihre eigenen Erzitterungen keine Beugungswellen in der Endolymphe erregen ¹⁾. Ist diese Hypothese richtig, so wird man auch von den Zähnen der ersten Reihe (deren extreme Längen sich circa wie 1 : 1,3 verhalten) nicht erwarten, daß sie für Beugungsschwingungen eingerichtet sind, oder daß hier vielleicht das allenthalben freie nicht mit den Schneckenwandungen zusammenhängende Dach der Zähne der zweiten Reihe, welches auch noch auf den Zähnen der ersten Reihe aufliegt, in ähnlicher Weise dämpfend wirke.

Die Art der Nervenaustrittung auf der unteren tympanischen Oberfläche der Lamina spiralis giebt uns ebenfalls keine Stützpunkte für eine annehmbare Hypothese über den Zweck der Organisation dieses Apparates. Man sieht nur im Allgemeinen, daß je näher dem Gipfel der Schnecke, die einzelnen Nervenfasern in um so längeren Strecken und mehr vereinzelt den Schwingungen des Schneckenwassers ausgesetzt sind, während ihnen z. B. am Anfang der ersten Windung der Schnecke nur die der festen Theile zugeführt werden.

So viel kann gewiß behauptet werden, daß nicht bloß Multiplication der Oberfläche für die Nervenaustrittung Zweck dieses so complicirten Apparates sein kann, wenn wir auch gleich über die Bedeutung seiner einzelnen Theile uns bis jetzt noch keine genügende Rechenschaft zu geben im Stande sind.

III. Zweck des Hörens für die Bildung des Geistes.

In diesem Abschnitt hätten wir die wichtigste Aufgabe des Gehörorganes unter jenem angedeuteten Gesichtspunkt zu berücksichtigen, unter welchem

¹⁾ Dem entgegengesetzt vergleicht Corti die Zähne der zweiten Reihe mit Trommelflöpfeln, welche bei ihren durch die Schallwellen erzeugten Schwingungen je nach ihrer Länge und Elasticität mit verschieden großer Leichtigkeit auf die Membran der Habenula denticulata schlagen, und die mit Saiten verglichenen Fasern der Zona pectinata ebenfalls in Schwingungen versetzen. Ich kann hier unmöglich weiter auf eine Bekämpfung der Hypothese von Corti eingehen, da ich keine plausiblere an ihre Stelle zu setzen weiß, nur das schreibe mir an jener verfehlt, daß dabei auf Beugungswellen der Endolymphe gerechnet ist, welche nie bei der Schallfortpflanzung wesentlich sind, daß überhaupt die ganze Hypothese gerade die wichtigsten, nämlich die Wellen des fortschreitenden Stoßes (die Verdichtungswellen) ganz außer Acht läßt.

die Höhe oder Tiefe der Töne gleichgültig ist im Vergleich zu dem geistigen Inhalt, welcher der Bildung der Schallschwingungen, die wir wahrnehmen, zu Grunde liegt. Die individuelle Bildung des Geistes und die geistige Entwicklung des Menschengeschlechtes ist wesentlich hieran geknüpft. Da die Sprache hiebei den Angelpunkt bildet, so brechen wir hier diesen schon zu umfangreich gewordenen Artikel ab, und versparen uns einige hieher gehörige Bemerkungen auf jenen, welcher von »der Stimme« handeln soll.

E. Harleß.

Erklärung der Kupfertafel II.

Fig. 1. Fasern des Acusticus in der Nähe ihrer Endausbreitung im Gehörorgan des Frosches.

Ba erstes, *b* zweites Bündelchen; *c* Anastomose beider durch eine bei *c* sich zum erstenmale, bei *e* zum zweitenmale theilende Primitivfaser hergestellt.

Fig. 2. Arrangement der Nerven ausbreitung im Vorhof des Hechtes bei auffallendem Licht und 40maliger Vergrößerung gezeichnet.

a Pigmentlage an der Eintrittsstelle der Nerven in das Organ, *b* Matte, von den verflochtenen Fasern gebildet; *c* die Zerspaltung der Bündel in auseinanderfahrende Nerven.

Fig. 3. Skizze einer Fasernanordnung im Vorhof des Hechtes.

g und *h* zwei in ihrer Endausbreitung begriffene Faserbündel; *l i k f* verschiedene Punkte der äußersten Peripherie; *c* eine dem Bündel *g* entstammende, im Bogen scheinbar zurücklaufende, bei *d* sich aber theilende Primitivfaser; *a* Fasern, welche im Bogen zur Matte *n* ziehen, hier aber mit neuem Bogen gegen das Bündel *g* hin umkehren, dieses durchsetzen, um in *l* ihr Ende zu finden; *i* eine im Bogen verlaufende, bei *b* sich theilende Primitivfaser; *m* eine dem Bündel *h* angehörende, über das Bündel *g* wegziehende, nach *l* zielende Faser; *e* eine in eine Faser eingebettete amphipolare Nervenzelle.

Fig. 4. *a* dicke Fasern des Stammes des Acusticus vom Hecht; *dd* krümlig ausgetretener Nerveninhalt; *bc* Nervenbündelchen 3—4 mal feinerer Fasern, gegen die dicken hinziehend und unter der krümligen Masse verschwindend; *ii* eine Schlinge (Endschlinge?); *e* eine einem anderen Bündel entstammende, bei *f* sich theilende Faser deren einer Schenkel sich in das Bündel *b*, deren anderer sich in das Bündel *c* begiebt; *g* eine weiter herkommende, bei *h* sich theilende Faser, deren Schenkel gegen *c* hin zu laufen scheint.

Fig. 5. Eine Primitivfaser des Acusticus vom Hecht vor Beginn der Endausbreitung; *a* das grumöse Mark mit ziemlich scharfer Gränze einer feinen Streifung der Faser Platz machend.

Fig. 6. Arrangement der Faserausbreitung in der Lagena der Taube; *a* Zellenlage, *b* fein auslaufende, *c* Schlingen bildende Primitivfasern.

Fig. 7. Die bei ihrer Kostrennung vom Knorpelrahmen sich runzelnde Membran der Vogelblase.

Fig. 8. *a* Zellenlage in der Vogelblase, *b* eine mit einem Fortsatz versehene pigmentirte Zelle ebendaher.

Fig. 9. Arrangement der Nerven ausbreitung in der Ampulle des Hechtes.

a Pigmentanhäufung beim Eintritt des Bündels *b* in die Ampulle, dessen Fasern bei *c* ganz fein auslaufend sich im Grundgewebe der Ampulle verlieren; *d* die Eintrittsstelle eines zweiten Nervenbündels; *e* die anastomosirenden Netze bildenden Kernfasern des Grundgewebes der Ampulle.

Fig. 10. Lamina denticulata vom Schaf. Unten läßt der Rand der Zona

ossea eine zweite Zahnreihe vor. Oben die feinen Stäbchen mit den das Licht stark brechenden Körnchen und den Fasern der Zona membranacea des Spiralblattes.

Fig. 11. Arrangement der Nerven ausbreitung auf dem Spiralblatt des Menschen.

Fig. 12. Eine $0,115''$ große bipolare Ganglienzelle unter den Nervenfasern in der Lamina spiralis der Säugethiere vorgefunden. Nach Corti.

Fig. 13. A eine mit dem dünnen Fortsatz a und ramificirten Fortsatz b versehene Nervenzelle aus der Vogelkapsel. B ein in einer grundigen Masse gelegenes Häufchen Kerne, von feinsten Nervenfasern a b c umstrickt (ob Nervenzelle mit mehrfachen Kern?).

Fig. 14. Nervenzellen auf dem Spiralblatt von Säugethieren.