

## II.

# Das Ohr und das Hören.

Vortrag, gehalten den 12. Februar 1868.

(Mit Tafel 2 und 9 Holzschnitten !)

---

Hochgeehrte Versammlung!

Das Ohr erschliesst uns die Welt des Schalles, welche Phänomene darbietet, die — wie Sprache und Musik — in ihrer Entstehung und in ihren Wirkungen ebenso geheimnissvoll und wunderbar erscheinen. — als sie für das Leben und für die Kunst von unendlicher Bedeutung und Wichtigkeit sind!

Das Ohr und das Hören — ohne welches uns die ganze Welt des Schalles mit all ihren Genüssen und Anregungen in Nacht und Schweigen versinken würde, zum Gegenstande einer populären physiologischen Vorlesung zu machen, bedarf wol keiner besonderen Rechtfertigung!

Welcher denkende Mensch sollte auch kein Interesse, kein Verlangen haben zu erfahren, wie es denn zugeht, dass wir überhaupt — und dass wir so vielerlei hören, d. h. einzusehen, worin eigentlich die Vorgänge bestehen, die dieser wunderbar mannichfaltigen Erscheinungswelt zu Grunde liegen — und welches der Mechanismus jenes Organes ist, dessen wir uns zur Wahrnehmung derselben bedienen?

Was nun die neuere Wissenschaft auf diese Fragen zu antworten hat — das eben will ich in meinem heutigen Vortrage darzustellen versuchen — und ich glaube daher mich Ihrer freundlichen Aufmerksamkeit versichert halten zu können!

Um Ihnen das volle Verständniss unseres Gegenstandes zu erschliessen, werde ich zunächst auseinander setzen: Was Schall überhaupt ist, sodann wie er von uns wahrgenommen wird, und endlich welche Verschiedenheiten er darbietet?

Meine Darstellung wird — wie ich vornweg bemerken will — den handgreiflichen Beweis der überraschenden Thatsache liefern: dass die erhabensten Gedanken, die ein Redner ausspricht; dass die ergreifendsten Harmonien, die lieblichsten Melodien, durch die ein Künstler entzückt und begeistert, — im strengsten Sinne des Wortes zu bewegter Materie werden und so lange nichts weiter sind und sein können, als bis ein empfängliches Ohr und Gehirn sie in psychische Zustände wieder zurückverwandelt hat!

Schon die tägliche Erfahrung lehrt, dass alle schallerzeugenden Körper in rascher zitternder Bewegung begriffen sind, und in der Luft Stösse und Schwingungen erzeugen, welche sich nach allen Richtungen hin durch den Luftraum fortpflanzen.

Ich muss Sie hier vor allem daran erinnern, dass die kleinsten materiellen Theilchen, aus denen wir uns die Luft wie jedes andere Gas zusammengesetzt denken müssen, das Bestreben haben sich von einander zu entfernen, d. h. dass sie sich gegenseitig abstossen, etwa wie die gleichnamigen Pole der Magnete. Werden diese Theilchen mit Gewalt einander von allen Seiten genähert, so dass sie sich nicht ausweichen können, so setzen sie dieser Lagenveränderung oder Verdichtung einen steigenden Widerstand entgegen, den man beim Zusammendrücken der Luft in einem allseitig geschlossenen Gefäss sehr wohl fühlt.

Lässt die pressende Gewalt nach, so kehren die Theilchen — indem sie sich gegenseitig abstossen, sofort in ihre früheren Stellungen zurück — ja sie würden, wenn sie daran nicht gehindert würden durch entgegenwirkende äussere Kräfte oder Schranken, wie die Schwere oder die Wandungen von Gefässen, in denen sie sich befinden, immer weiter und weiter auseinandertreten, so dass die Verdünnung der Luft- oder Gasmasse ins Unendliche wachsen müsste.

Wenn daher ein Lufttheilchen durch einen oscillirenden Schallkörper Stösse erhält, so schwingt es nicht nur selbst — den Bewegungen des stossenden Körpers folgend — hin und her, sondern versetzt auch nach und nach alle die anderen Theilchen des Luftraums in genau die gleiche hin- und hergehende Bewegung, wobei nothwendig Verdichtungen und Verdünnungen der Luftmasse entstehen müssen. Es geräth also die Luft, wenn ein Schall in ihr entsteht und sie durch-eilt, in eine eigenthümliche Bewegung, an welcher wir z w e i e r l e i zu unterscheiden haben:

1) die hin- und hergehende Bewegung oder Schwingung jedes einzelnen materiellen Lufttheilchens und

2) die Art der fortschreitenden Ausbreitung und Mittheilung der Bewegung von Theilchen zu Theilchen.

Gestatten Sie mir, Ihnen, ehe ich weiter gehe, die Eigenthümlichkeit dieses ganzen Bewegungsvorganges an einem mechanischen Schema oder Modell anschaulich zu machen (vgl. Fig. 10).

Sie sehen hier eine Anzahl Flämmchen; dieselben sollen uns eine Reihe jener kleinsten, sich gegenseitig abstossenden materiellen Theilchen vorstellen, aus denen wir uns die Luft — wie jedes andere Gas — zusammengesetzt denken müssen; — die abstossenden Kräfte zwischen ihnen sind ins Gleichgewicht gekommen; — es herrscht Ruhe.

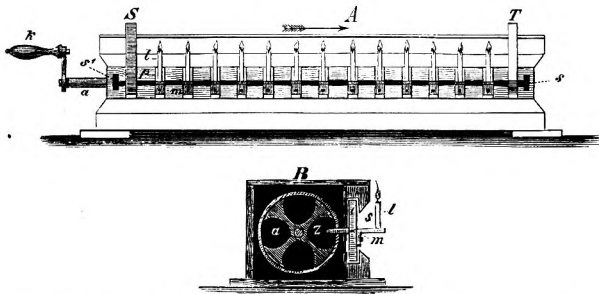


Fig. 10. Pierre's Longitudinalwellenmaschine zur Demonstration der Schallwellenbewegung.

*A* Ansicht von vorn; *B* Durchschnitt. Die genauere Beschreibung der Maschine würde uns zu weit führen; es genüge zu bemerken, dass durch Drehen an der Kurbel *k* der schwarze Blechstreif *S* und sämtliche auf der Stange *s*, *s'* aufgereihten, in einem Falz horizontal verschiebbaren Holzklötzchen *p* mit ihren Dillen *m* und Lichtchen *l* genau in die im Text beschriebenen Oscillationen versetzt werden können, indem (vgl. den Durchschnitt bei *B*) jedes Holzklötzchen vermittelt eines Zapfens *z* in den Mechanismus eingreift, den die Axe *a* im Inneren des Kastens durch ihre Umdrehungen treibt.

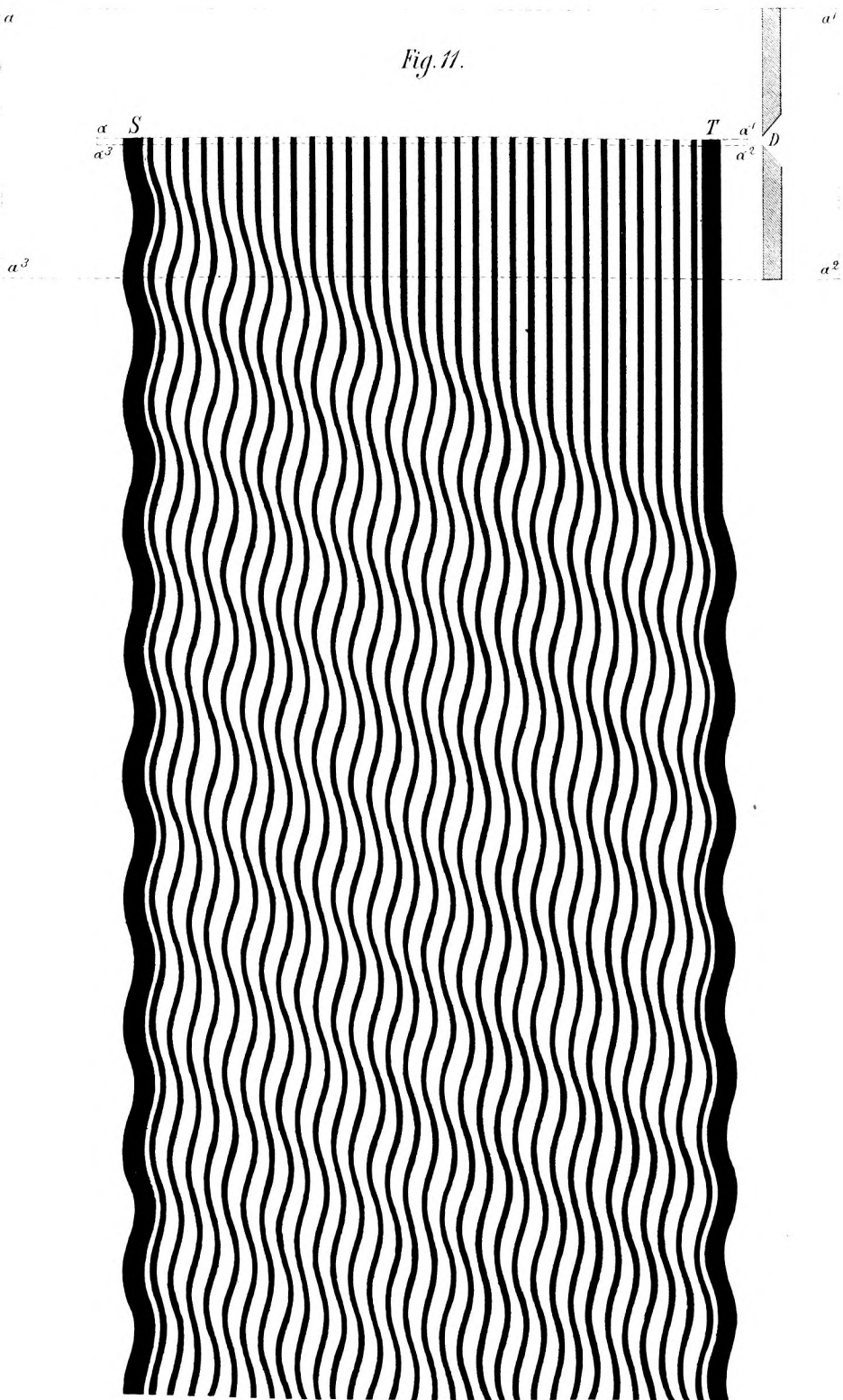
Jener Streif von schwarzem Blech (*S*), am Anfange der Lichtchenreihe, bedeutet uns ein Stück eines in schallerzeugende Schwingungen versetzbaren Körpers, z. B. einer Violinsaiten, welche mit der Luft in unmittelbarer Berührung steht.

Setzen wir nun den Mechanismus des Apparats in Thätigkeit, so sehen Sie, wie sich der Streifen von Blech (*S*) sofort zu bewegen anfängt und das erste Lichtchen vor sich her treibt.

So wie sich das erste Lichtchen dem zweiten nähert, wächst die Abstossung zwischen beiden und das letztere muss ausweichen, weil das erstere — von hinten gestützt — nicht ausweichen kann; und so treibt das erste Lichtchen das zweite vorwärts, das zweite das dritte, das dritte das vierte u. s. w. (vgl. den Pfeil bei *A*).

Unterdessen hat der Streifen von Blech seine Bewegung vollendet und beginnt seinen Rückgang; — sofort weicht auch das erste Lichtchen zurück, weil es (von hinten nicht mehr gestützt) von allen seinen

Fig. 11.



Nachbarn zurückgestossen wird, die es vorhin mittelbar oder unmittelbar vorwärtsgestossen und gegeneinander getrieben hatte.

Aus demselben Grunde weicht mit dem Rückgang des ersten Lichtchens auch das zweite wieder zurück — dann das dritte, dann das vierte, fünfte u. s. w.

Sie sehen, wie auf diese Weise sämtliche Lichtchen der Reihe nach in genau dieselben hin- und hergehenden Bewegungen oder Schwingungen versetzt werden, welche der schwarze Blechstreifen ausführt.

Indem nun aber jedes Lichtchen seine hin- und hergehende Bewegung etwas später anfängt, ausführt und beendet, als das unmittelbar vorhergehende, so drängen sich die Lichtchen bei ihrem Hingang dichter an einander, während sie bei ihrem Rückgang mehr auseinander weichen.

Es folgen, wie Sie deutlich sehen können, abwechselnd Gruppen dicht zusammengedrängter und weit auseinanderstehender Lichtchen aufeinander — und es entsteht der Schein, wie wenn diese Lichtchengruppen vom Blechstreifen aus fortströmten, während doch die Lichtchen selbst in Wirklichkeit nicht fortströmen, sondern an ihrem Orte bleiben, innerhalb welches sie fortdauernd nur hin- und herschwingen.

Was wirklich fortschreitet, ist blos die specielle Form der pendelartigen Bewegung, welche Theilchen um Theilchen ergreift.<sup>1)</sup>

Ganz eben so geht es nun in der Luft zu, wenn sie ein schallender Körper in Bewegung bringt.

---

<sup>1</sup> Um den Leser in den Stand zu setzen, sich den durch PIERRE'S Wellenmaschine demonstirten Bewegungsvorgang mit leichter Mühe selbst vorführen zu können, habe ich Fig. 11 auf der Tafel 2 entworfen. Der Leser lasse sich aus dünnen Brettchen ein Lineal von der Grösse des am Kopfe der Figur mit punktirten Linien angegebenen Vierecks ( $a, a^1, a^2, a^3$ ) anfertigen. In der Mitte dieses Lineals muss eine Spalte von den, ebenfalls durch punktirte Linien ( $a, a^1, a^2, a^3$ ) angegebenen Dimensionen angebracht werden, deren lange Ränder zuzuschärfen sind, wie der Durchschnitt des Spaltlineals bei  $D$  deutlich zeigt. Dieses Lineal mit dem Spalt lege der Leser genau auf das punktirte Viereck ( $a, a^1, a^2, a^3$ ) auf; — in der Spalte wird dann eine Reihe von gleichweit von einander abstehenden schwarzen Strichen erscheinen. Sie entsprechen den Lichtchen, welche ich für die Demonstration vor dem grossen Publikum des Rosensaales an PIERRE'S Wellenmaschine angebracht hatte, und versinnlichen, wie diese, die kleinsten materiellen Theilchen der ruhigen Luft. Der schwarze Blechstreif an der Wellenmaschine ist hier durch den mit  $S$  bezeichneten dicken schwarzen Strich am Anfang der Reihe (links) repräsentirt.

Nun fahre der Leser mit dem Spaltlineal, indem er dasselbe stets genau parallel zur Anfangsstellung halten muss, mit gleichmässiger Geschwindigkeit über die ganze Steindrucktafel senkrecht nach unten, und beachte,

Der Streifen von schwarzem Blech entspricht in seiner Bewegung, wie gesagt, einem oscillirenden Schallkörper; die Lichtchenreihe — einer Reihe der kleinsten Lufttheilchen; die scheinbar fortströmenden Gruppen, wo die Lichtchen sich zusammendrängen, entsprechen — Luftverdichtungen, wo sie auseinander weichen — Luftverdünnungen; und der ganze vor Ihren Augen ablaufende Bewegungsvorgang zeigt Ihnen die Schallbewegung der Luft, deren Eigenthümlichkeit darin besteht, dass die Lufttheilchen in ihrer geradlinigen Bahn nur hin- und herschwingen, während die hierdurch erzeugten Verdichtungen und Verdünnungen durch den Luftraum fortschreiten, indem sie sich immerwährend aus neuen Theilchen zusammensetzen.

Einen Bewegungsvorgang von dieser Eigenthümlichkeit nennt man in der Physik — eine Wellenbewegung.

Unser specieller Fall ist die Schallwellenbewegung. —

Den Namen »Wellenbewegung« und alle näheren Bezeichnungen wie »Welle«, »Wellenberg«, »Wellenthal« u. s. w. hat man hergeleitet vom Vergleiche mit der ganz analogen Wellenbewegung auf der Oberfläche des Wassers, welches dabei jedoch abwechselnd über sein Niveau steigt, und unter dasselbe sinkt — statt wie die Luft sich zu verdichten und zu verdünnen.

Deshalb heissen die durch den Luftraum fortschreitenden Verdichtungen — Schallwellenberge, die Luftverdünnungen — Schallwellenthäler.

Ein solcher Schallwellenberg — (Luftverdichtung) und ein solches Schallwellenthal (die Luftverdünnung) zusammen genommen bilden aber, was man eine Schallwelle nennt.

---

was mit den schwarzen Strichen geschieht, welche im Spalt des Lineals zu sehen sind.

Er wird bemerken, dass dieselben Bewegungen ausführen, welche genau jenen entsprechen, welche ich oben an den Lichtchen der Wellenmaschine beschrieben habe, und welche die Lufttheilchen machen, wenn sie ein oscillirender Schallkörper (S) in Bewegung setzt.

Es ist leicht zu sehen, wie jeder der Striche im Spalt des bewegten Lineals einfach hin- und herschwingt und der Reihe nach die gleichartige Oscillationsbewegung, später als sein Vorgänger und früher als sein Nachfolger beginnt und beendet.

Infolge dessen bilden sich abwechselnd Gruppen, wo die Striche dichter und wo sie dünner stehen, und diese Gruppen scheinen vom schwingenden Schallkörper (S) nach rechts fortzufließen.

Es versteht sich von selbst, dass genau dieselben Bewegungserscheinungen auftreten, ob man das Lineal über die festliegende Tafel nach unten führt, oder ob man das Buch unter dem festgehaltenen Lineal nach oben schiebt. —

Damit hätten wir also die Vorstellung von Schallwellen, die sich in gerader Linie nach einer Richtung hin fortpflanzen. Aber die Ausbreitung des Schalles geschieht gleichzeitig nach allen Richtungen des Raumes, und so müssen Sie sich die Schallwellen in Wirklichkeit nothwendig in Gestalt von Kugelschalen denken, deren Durchmesser immer mehr und mehr wachsen, je weiter sie sich von ihrem gemeinschaftlichen Ausgangs- und Mittelpunkt — dem schallerzeugenden Körper — entfernen, etwa so wie die Wellenkreise immer grösser und grösser werden, welche wir durch einen Steinwurf auf der glatten Fläche eines Wasserspiegels erzeugen!

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Schallwellen den Luftraum durchheilen, hat man gemessen und bei ruhiger Luft auf 340 Meter in der Secunde bestimmt, d. h. der Schall braucht eine ganze Secunde Zeit, um eine Strecke von 340 Meter, etwas über 1000 Fuss, zu durchlaufen, während das Licht in derselben Zeit viele 1000 Meilen macht; — deshalb hören wir aber auch den Knall einer in grosser Entfernung abgeschossenen Kanone viel später, als wir das Aufblitzen derselben sehen! — Je weiter die Entfernung ist, desto später hören wir die Detonation des Geschützes, und bei der bekannten Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles können wir die Grösse dieser Entfernung schätzen, wenn wir die Zeit messen, welche vom Momente des Aufblitzens bis zur Wahrnehmung des Knalles vergeht. Jeder Secunde Verspätung entspricht eine Vergrösserung der Entfernung um 340 Meter, jeder halben Secunde um 170 Meter.

Ebenso wie in der Luft und in Gasen entsteht der Schall und pflanzt sich fort in jedem anderen elastischen Medium, z. B. im Wasser und in festen Körpern — nur mit verschiedener und zwar grösserer Geschwindigkeit.

Hiermit, meine verehrten Anwesenden, haben Sie die physikalische Antwort auf unsere erste Frage: Was ist Schall überhaupt?

Der Schall ist, wie Sie gesehen haben, nichts weiter, als eine eigenthümliche Bewegung der Materie!

Mit dem Worte »Schall« bezeichnet der Sprachgebrauch jedoch nicht nur den eben erörterten grobmechanischen Bewegungsvorgang, sondern zugleich auch die besondere Empfindung, welche derselbe veranlasst, wenn er unsere Hörnerven afficirt.

Dies führt uns zu unserer zweiten Frage: Wie der Schall von uns wahrgenommen wird?

Mit der allgemeinen Antwort: »durch das Gehör«, wollen wir uns jedoch hier nicht begnügen, sondern genauer zusehen, was

im Ohre vorgeht, wenn Schallwellen dasselbe treffen — wenn wir also hören.

Zu diesem Ende will ich versuchen, Ihnen mit Hülfe dieser kolossalen schematischen Durchschnittszeichnung des Ohres (vergl. Fig. 12) und mit Hülfe vergrösserter plastischer Nachbildungen einiger seiner Theile eine klare Vorstellung von dem äusserst complicirten Bau des Gehörorganes zu geben.

Ich verhehle mir keineswegs, dass ich damit Ihre Aufmerksamkeit und Einbildungskraft auf eine harte Probe stelle.

Allein mich ermuthigt zu dieser gewagten, für das Verständniss des Folgenden aber unentbehrlichen Auseinandersetzung die Hoffnung — dass Sie der fast unheimliche Gedanke dauern d fesseln dürfte, dass die höchst verwickelten und mannichfaltigen, meist verborgenen Gebilde, welche ich möglichst anschaulich beschreiben werde, in Wirklichkeit — alle in Ihren eigenen Köpfen vorhanden sind und Sie befähigen meine Worte zu vernehmen!

Das Gehörorgan ist bekanntlich doppelt vorhanden und symmetrisch zu beiden Seiten des Kopfes an und in dem sogenannten Schläfebein angebracht.

Es zerfällt in drei Abschnitte, welche man als äusseres, mittleres und inneres Ohr bezeichnet.

Das äussere Ohr besteht aus der knorpeligen, von der allgemeinen Hautdecke überzogenen Ohrmuschel (Fig. 12 I. *M*) und dem äusseren Gehörgang (*G*), dessen Wandungen zum Theil aus Knorpel ( $k^2$ ,  $k^4$ ,  $k^5$ ), zum Theil aus Knochen gebildet werden. An seinem Ende ist der Gehörgang durch eine feine, elastische Haut verschlossen. Er endet somit blind.

Diese Haut, das sogenannte Trommelfell (*T*), bildet die Grenze und Scheidewand zwischen dem äusseren und dem mittleren Ohr, welches letztere die Paukenhöhle (*P*) oder Trommelhöhle genannt wird.

Diese hinter dem Trommelfell gelegene Höhle ist ein kleiner unregelmässiger Raum mit knöchernen Wänden. Er ist nicht allseitig geschlossen, sondern steht durch eine enge, nach vorn und innen herabsteigende Röhre (*R*) mit dem hintersten Theile der Nasenhöhle in Verbindung.

Diese Röhre, welche an ihrem Nasenende trichterförmig erweitert ist und eine wulstige, durch eine zusammengebogene Knorpelplatte (im Durchschnitt  $k$ ,  $k^1$ ) gestützte Mündung besitzt, heisst nach einem Anatomen des 16. Jahrhunderts die EUSTACH'sche Röhre, oder — nach ihrer Gestalt, die Ohrtrompete. Solange die Mündung der Ohrtrompete, wie dies normaler Weise in der Ruhe der Fall zu sein pflegt,

geschlossen ist, wird die in der Paukenhöhle enthaltene Luft vollständig hermetisch abgeschlossen sein; sowie aber die wulstige Mündung geöffnet wird, was regelmässig bei jeder Schlingbewegung geschieht, so communicirt die Paukenhöhlenluft durch die Nase hindurch frei mit der Atmosphäre — und etwaige Spannungsunterschiede beider Luftmassen können sich sofort ausgleichen.

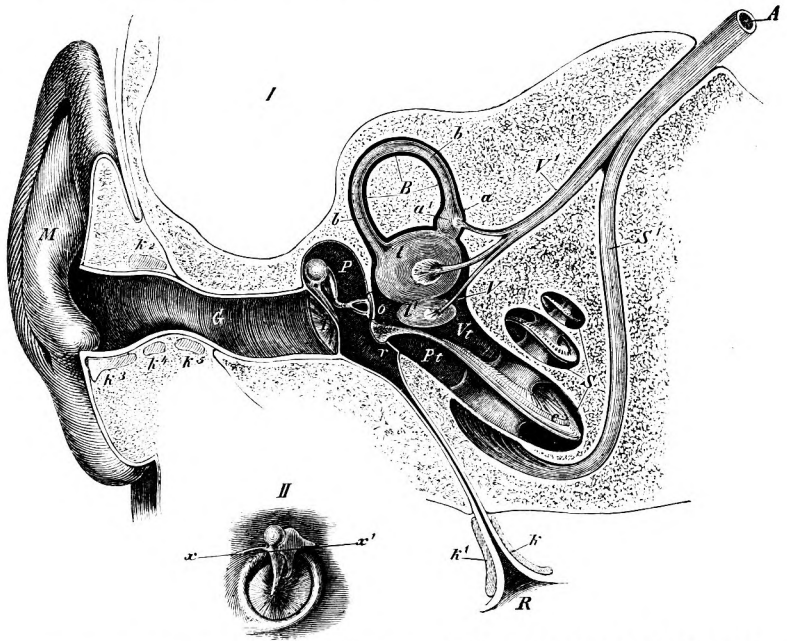


Fig. 12. I. Schematischer Durchschnitt des menschlichen Gehörgans der rechten Seite.

*M* äusseres Ohr; *G* äusserer Gehörgang, *k*<sup>2</sup>, *k*<sup>3</sup>, *k*<sup>4</sup> Durchschnitte der Knorpel der Ohrmuschel und des äusseren Theiles des Gehörganges, dessen innerer Theil knöcherne Wandungen hat; *T* Trommelfell; *P* Paukenhöhle; *o* ovales Fenster, *r* rundes Fenster, zwischen *T* und *o* die gelenkig verbundene Gehörknöchelchenkette. *R* die EUSTACH'sche Ohrtrumpete, *k*, *k*<sup>1</sup> die durchschnitene Knorpelplatte ihrer wulstigen und erweiterten Nasenmündung. *V*, *B* und *S* das knöcherne Labyrinth, *V* der Vorhof, *B* ein halbcirkelförmiger Bogengang mit seiner Ampulle *a*; *S* die Schnecke, durch die Spiralplatte in die Vorhofstreppe (*Vt*) und in die Paukentreppe (*Pt*) getheilt. *V*, *l*, *b* das häutige Labyrinth, *l*, *l*<sup>1</sup> die Vorhofsäckchen, *b* ein häutiger halbcirkelförmiger Bogengang mit seiner Ampulle *a*'. *A* der Stamm des Hörnerven oder *N. acusticus* in den inneren Gehörgang eintretend und in zwei Hauptäste (*V'* und *S'*) sich spaltend; *V'* der Vorhofsnerve mit seinen Endverzweigungen auf den umschriebenen weissen Stellen des häutigen Labyrinths; *S'* der Schneckennerve, von unten in die Kanälchen der Schneckenwindel eintretend, um durch die knöcherne Spiralplatte vom CORN'I'schen Organ *c* zu gelangen, welches auf der oberen oder Vorhofstrepfenfläche der häutigen Spiralplatte aufsitzt. Zu bemerken ist, dass der Verständlichkeit und Deutlichkeit wegen die Paukenhöhle und die Gehörknöchelchen, namentlich aber das ganze Labyrinth im Verhältniss zur Ohrmuschel viel zu gross, die Schnecke aber mit ihrer Basis nach unten gewendet gezeichnet wurde, obschon sie in Wirklichkeit die Basis ihrer Spindel nicht wie in unserem Bilde, nach unten, sondern vielmehr nach oben und innen, gegen den *N. acusticus* kehrt, sodass der Verlauf des Schneckenerven *S'* ein geradliniger wird!

Fig. 12. II. Das in seinem Knochenring ausgespannte Trommelfell der rechten Seite von innen gesehen mit Hammer und Amboss in natürlicher Verbindung.  
*x*, *x'* zeigt die Axe, um welche sich die beiden Knöchelchen vereint hebel förmig bewegen lassen.

In diesem Umstande beruht auch die Bedeutung dieser ganzen Einrichtung, wie sich später noch genauer zeigen wird.

An der dem Trommelfell gegenüber liegenden knöchernen Innenwand der Paukenhöhle befinden sich zwei kleine Oeffnungen, welche durch zarte, quergespannte Häutchen verschlossen sind.

Die untere der beiden Oeffnungen heisst das runde (*r*), die obere das ovale (*o*) Fenster.

Noch habe ich im mittleren Ohr die zierlichen Gehörknöchelchen zu beschreiben, welche quer durch die Paukenhöhle hindurch zwischen dem Trommelfell und dem Häutchen des ovalen Fensters (*o*) eine feste, gegliederte Brücke schlagen.

Es gibt drei Gehörknöchelchen: den Hammer (*H*), den Amboss (*A*) und den Steigbügel (*S*) (vgl. Fig. 13).<sup>1)</sup>

Der Griff oder Stiel des Hammers (*H*, *s*) ist mit dem Trommelfell verwachsen und reicht fast bis in dessen Mitte herab; sein Kopf (*H*, *k*) ragt über den Paukenring, in dem das Trommelfell ausgespannt ist, frei hervor; sein langer Fortsatz (*H*, *l*) ist nach vorn in einer Knochenspalte eingeklemmt.

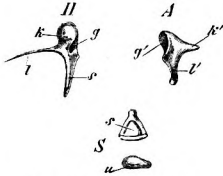


Fig. 13. Die Gehörknöchelchen in natürlicher Grösse.

*H* der Hammer, *k* dessen runder Kopf, *s* sein Stiel oder Griff, *l* sein langer dünner Fortsatz, *g* die kleine Gelenkfläche zur Verbindung mit dem Amboss. *A* der Amboss, *l'* sein langer, *k'* sein kurzer Fortsatz, *g'* die kleine Gelenkfläche zur Verbindung mit dem Hammer. *S* der Steigbügel, bei *s* von der Seite gesehen, bei *u* von unten dargestellt, um Form und Grösse der Fussplatte zu zeigen.

Der Kopf des Hammers besitzt nach hinten eine Gelenkfläche (*H*, *g*), welcher eine ähnliche Gelenkfläche am Körper des Amboss (*A*, *g'*) entspricht. Beide Knöchelchen articuliren daselbst miteinander. Der Amboss liegt hinter dem Hammer. Sein langer Fortsatz (*A*, *l'*) läuft parallel mit dem im Trommelfell eingewachsenen Hammergriff und ragt frei nach abwärts. Sein kurzer

Fortsatz (*A*, *k'*) ist nach hinten in einem Knochengrübchen angestemmt und befestigt (vgl. Fig. 12 II.).

Die Beweglichkeit der Gelenkverbindung zwischen Hammer und Amboss ist sehr gering, dagegen können sich beide Knöchelchen weit ausgiebiger um eine gemeinschaftliche Axe (Fig. 12 II. *x*, *x'*) hebel förmig bewegen, welche durch ihre nach vorn und hinten ausgestreckten und fixirten Fortsätze (Fig. 13 *l* u. *k'*) bestimmt ist.

Der Steigbügel endlich ist mit dem freien und etwas nach einwärts gebogenen Ende des langen Ambossfortsatzes (*A*, *l'*) gelenkig verbun-

<sup>1</sup> Bei der Vorlesung bediente ich mich zur Demonstration der Gehörknöchelchen plastischer Nachbildungen derselben von kolossalen Dimensionen.

den, und steht horizontal nach innen. Ein winziges Knochenplättchen, welches sich zwischen die Gelenkflächen der Verbindung zwischen Steigbügel und Ambossfortsatz einschiebt, beschreibt man wol auch als viertes Gehörknöchelchen.

An unserem Schema (Fig. 12 I.) sehen Sie die Gehörknöchelchen als Brücke zwischen dem Trommelfell (*T*) und der Membran des ovalen Fensters (*o*), mit welcher die Fussplatte des Steigbügels (Fig. 13 *S, u*) verwachsen ist, in ihrer natürlichen Anordnung ausgespannt. Der Körper des Amboss wird bei dieser Ansicht fast ganz durch den Kopf des Hammers verdeckt, dagegen sieht man deutlich seinen langen Fortsatz, welcher den Steigbügel trägt. Das schwarze Pünktchen am Halse des Hammerkopfes gibt die Projection der Axe (Fig. 12 II. *x, x'*), um welche sich Hammer und Amboss gemeinschaftlich wie Hebel drehen können. —

Ich komme zur Darstellung des letzten und complicirtesten Abschnittes des Gehörorgans, des sogenannten inneren Ohrs oder Labyrinths, welches die Endausbreitungen des Gehörnerven enthält.

Dasselbe ist eine allseitig geschlossene, mit wässriger Feuchtigkeit gefüllte Höhle von ausserordentlich verwickelter Gestalt.

Mit Ausnahme der beiden durch Membranen verschlossenen Fenster, des ovalen und des runden, ist diese Höhle ganz und gar durch sehr harte knöcherne Wände begrenzt, indem sie in den festesten Knochen des menschlichen Körpers, den sogenannten Felsentheil des Schläfebeins sozusagen hineingemeißelt ist.

Der mittlere, weiteste Theil des Labyrinths heisst der Vorhof, Vestibulum (Fig. 12 I. *V*); von demselben gehen drei enge gebogene Kanäle ab — die sogenannten halbkreisförmigen Bogengänge (*B*). (In unserem Durchschnittsschema, Fig. 12 I. konnte nur ein einziger der drei Bogengänge gezeichnet werden, weil sie in drei verschiedenen, senkrecht aufeinander stehenden Ebenen liegen.)

Jeder dieser drei Bogengänge ist ein enger, gleichweiter Kanal, dessen beide Enden in den Vorhof münden: nur eines dieser Enden zeigt bei allen eine kleine, flaschenförmige Erweiterung — die sogenannte Ampulle (*a*), deren es also auch drei gibt.

An der den Einmündungen der Bogengänge entgegengesetzten Seite verlängert sich der Vorhof in eine allmählich sich verjüngende blind endigende Röhre, welche, wie ein Schneckenhaus, spiralgig um eine Spindel aufgewickelt ist und deshalb, sehr passend, die Schnecke (*S*) genannt wird.

Brechen wir die Wand der aus dem Felsenbein herausgemeißelten

Schneckenwindungen auf<sup>1)</sup>, so sehen Sie in das Innere derselben, und Sie bemerken, dass der Schneckenkanal nicht einfach ist, sondern durch eine quere Scheidewand in zwei übereinanderliegende Wendeltreppen getheilt wird. Diese Scheidewand heisst die Spiralplatte der Schnecke; sie beginnt, wie Sie sehen, zwischen den beiden Fenstern des Vorhofs und erstreckt sich spiralig gewunden bis in die letzte Windung hinauf; sie ist zum Theil knöchern, zum Theil häutig.

Der unmittelbar von der Schneckenwindung ausgehende knöcherne Theil reicht bis über die Hälfte in die Lichtung der Windungen hinein: der äussere Saum zwischen hier und der gegenüberliegenden Wand besteht aus einer straffen elastischen Haut.

Von den beiden auf diese Weise gebildeten Wendeltreppen heisst die obere die Vorhofstreppe (*Vt*), die untere die Paukentreppe (*Pt*), weil erstere direct in den Vorhof führt, letztere aber, wenn das runde Fenster nicht mit einer Membran verschlossen wäre, mit der Paukenhöhle communiciren würde.

Die beiden genannten Treppen und das in ihnen enthaltene Labyrinthwasser hängen nur durch eine feine Oeffnung im obersten Ende der Spiralplatte — das sogenannte Schneckenloch oder Helicotrema mit einander zusammen — im übrigen sind es vollständig von einander getrennte Kanäle.

Das Labyrinth besteht also aus dem Vorhof mit den drei halbkirkelförmigen Bogengängen und aus dem Doppelrohr der Schnecke.

Dieser ganze Hohlraum ist, wie gesagt, mit einer Flüssigkeit — dem sogenannten Labyrinthwasser erfüllt.

In dieser Flüssigkeit schwimmend, sind im Vorhof zwei rundliche glashelle häutige Bläschen (*l* und *l'*) enthalten und in jedem der drei Bogengänge ein feiner häutiger Schlauch (*b, b*), der wie der knöcherne Gang und genau an derselben Stelle eine Erweiterung oder Ampulle (*a'*) besitzt; und wie die knöchernen halbkirkelförmigen Gänge mit dem Vorhofsraum, so hängen die häutigen Bogengänge mit den Vorhofsbläschen zu einem geschlossenen Ganzen zusammen. Man nennt dieses zarte Gebilde, welches ich Ihnen auf Pappe gemalt und ausgeschnitten hier vorzeige (vgl. Fig. 12 I. *l', l, b, a'*), das häutige Labyrinth, und die Flüssigkeit, welche es einschliesst, das innere Labyrinthwasser zum Unterschiede vom äusseren, in welchem es

<sup>1</sup> An der in der Vorlesung verwendeten Darstellung des in Fig. 12 I. abgebildeten Ohrschemas hatte ich ein Versatzstück, auf welches die Oberflächenansicht der Schneckenwindungen gemalt war, anbringen lassen. Dieses Versatzstück deckte bis dahin die Innenansicht der Schnecke.

derart schwimmt, dass es nirgendwo die Wände des knöchernen Labyrinths berührt.

Ich füge das Versatzstück des häutigen Labyrinths in unserem Ohrschema an seinen Platz ein, und Sie haben jetzt den klaren und vollständigen Ueberblick über alle Theile des Gehörorgans und ihres Zusammenhangs — bis auf den Gehörnerven und seine akustischen Endorgane.

Der Hörnerv oder *Nervus acusticus* (A) besteht aus mehreren Tausend mikroskopisch feinen Nervenfädchen, die von einer Bindegewebsscheide umschlossen und zusammengehalten werden.

Er entspringt aus jenem Theile des Gehirns, den man das verlängerte Mark, *Medulla oblongata*, nennt, und tritt durch den sogenannten inneren Gehörgang — einen Kanal im Felsenbein — an das Labyrinth heran.

Dabei spaltet er sich in zwei Aeste, von denen der eine — der für die Schnecke bestimmte Schneckenerv (S') — seine Fasern durch feine Röhren in der Spindel der Schnecke zur Spiralplatte aufsteigen lässt; während der andere oder Vorhofsnerv (V'), in mehrere Bündelchen gespalten, das häutige Labyrinth versorgt. Ein Bündelchen geht zu genau umgrenzten Stellen der Vorhofsäckchen, drei andere finden ihr Ende in den Ampullen — das ganze übrige Labyrinth bleibt nervenlos.

Die letzten Enden der Hörnervenfasern stehen an allen den genannten Orten mit eigenthümlichen und je nach der Localität verschiedenen mikroskopischen Gebilden — den sogenannten akustischen Endorganen — in Verbindung, welche wir nun im Einzelnen betrachten müssen, denn sie sind von der höchsten physiologischen Bedeutung.

In den Ampullen ist in die wulstige Stelle, die ins Innere derselben vorspringt und das umschriebene Verastelungsgebiet der Nervenenden enthält, eine grosse Menge dichtstehender, überaus feiner, zugespitzter steifer Härchen eingepflanzt (vgl. Fig. 14).

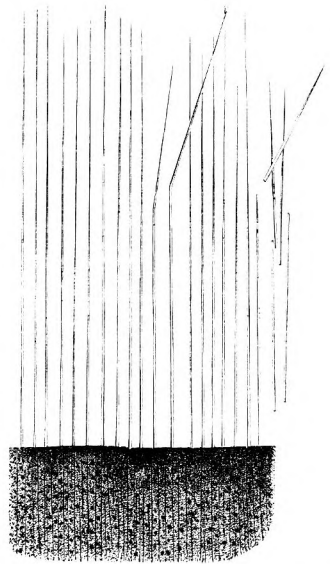


Fig. 14. Die steifen Härchen des Nervenverbreitungsbezirks in den Ampullen.

Solche steife, lange Härchen sind überaus geeignet, durch Strömungen des sie umspülenden Labyrinthwassers in Bewegung zu gerathen und dabei eine mechanische Reizung der zwischen ihren eingepflanzten Enden liegenden Nervenverästelungen zu veranlassen.

In den Bläschen des Vorhofs sind auf den umschriebenen verdickten Stellen, wo die Nerven enden, keine oder nur kurze und spärliche Härchen zu finden, dagegen liegen ganz nahe der nervenreichen inneren Oberfläche dieser Stellen zahllose spitze Kryställchen von kohlensaurem Kalk — die sogenannten Gehörsteinchen oder Otolithen, welche durch eine schleimige Consistenz des Labyrinthwassers an diesen Stellen zusammen- und festgehalten werden (vgl. Fig. 15).

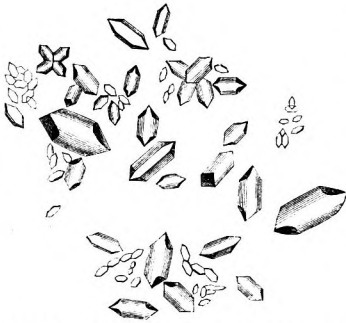


Fig. 15. Gehörsteinchen von krystallisiertem kohlensaurem Kalk, den nervenreichen Stellen der Vorhofsäckchen entnommen, und unterm Mikroskop gesehen.

Wenn dieser Krystallbrei mit der nervenreichen Oberfläche in Zusammenstoss geräth, so wird eine mechanische Reizung der Nervenenden wol nicht ausbleiben können!

Die akustischen Endorgane der Nerven, welche zur Spiralplatte der Schnecke treten, sind noch eigenthümlicher und wunderbarer angeordnet, als die bisher betrachteten.

Es sind elastische Fäden oder Stäbchen, welche auf der oberen oder Vorhofstreppenfläche der häutigen Spiralplatte, ihrer ganzen Ausdehnung entlang — von unten bis hinauf in die letzte Windung — sehr regelmässig dicht nebeneinander gereiht, und wie Saiten in querer Richtung, d. h. in der Richtung der Radien der Spiralplatte, gespannt sind.

Man nennt sie nach ihrem Entdecker, dem Marchese A. Corti di St. Stefano-Belbo, Cortische Stäbchen oder das Cortische Organ.

Auf dieser Tafel (Fig. 16) habe ich zum leichteren Verständniss dieses verwickelten Gegenstandes eine möglichst vereinfachte schematische Durchschnittszeichnung der Spiralplatte entworfen.

Bei *K* sehen Sie das äussere Ende der knöchernen Spiralplatte, welche zahllose Kanälchen für die Bündel des in der Schneckenwindung aufsteigenden Schneckenerven enthält. In der Zeichnung ist ein solches Kanälchen vom Durchschnitt gerade getroffen worden, so dass es aussieht wie wenn die Spiralplatte doppelt, oder in eine obere (*o*) und in eine untere (*u*) Knochenlippe zerspalten wäre. *M* ist der membra-

nöse Theil der Spiralsplatte, welcher zwischen dem Rande des knöchernen Theils und der Wand der Schneckenwindung ( $K'$ ) ausgespannt ist. Dort ist er festgewachsen, indem er sich in zwei Lamellen spaltet, welche die obere ( $o$ ) und die untere ( $u$ ) Fläche des knöchernen Theiles ( $K$ ) als Knochenhaut überziehen; hier, indem er in Bandfasern ( $b$ ) ausstrahlt, die sich an  $K'$  befestigen.

Bei  $C$  befindet sich das CORTI'sche Organ, wie gesagt, auf der oberen, der Vorhofstreppe zugewendeten Fläche der häutigen Spiralsplatte. Ihm entspricht an der unteren Fläche derselben ein Blutgefäß ( $g$ ).

Es besteht aus Fäden oder Stäbchen von zweierlei Art, welche man als innere ( $i$ ) und äussere ( $a$ ) unterscheidet.

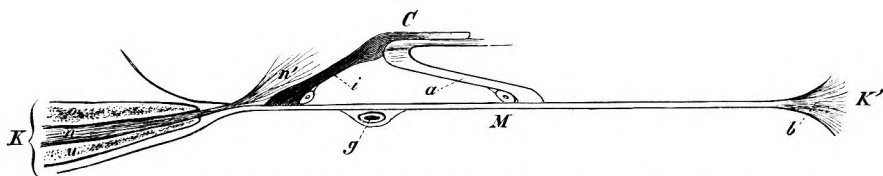


Fig. 16. Schematischer Durchschnitt der Spiralsplatte mit dem Corti'schen Organ.

$K$  das äussere Ende des knöchernen Theils der Spiralsplatte, scheinbar in zwei Lippen ( $o$  und  $u$ ) gespalten.  $n$  Fasern des Schneckenerven, in feinste Endfäserchen  $n'$  ausstrahlend.  $M$  membranöser Theil der Spiralsplatte.  $b$  fächerförmige Bandfasern, welche  $M$  an die Innenfläche der äusseren Wand ( $K'$ ) der Schnecke anheften.  $C$  das Corti'sche Organ,  $i$  Innenstäbchen,  $a$  Aussenstäbchen,  $g$  Durchschnitt eines Blutgefässes.

Das eine der verdickten Enden der Aussenstäbchen ( $a$ ) sitzt in der Mitte der häutigen Spiralsplatte fest, das andere articulirt mit dem oberen Ende des Innenstäbchens ( $i$ ), dessen unteres ebenfalls verdicktes Ende nahe am inneren Rande der häutigen Spiralsplatte festgewachsen ist. Es sind in der menschlichen Schnecke etwa 3000 Corti'sche Aussenstäbchen und noch mehr Innenstäbchen, indem etwa drei der letzteren auf zwei der ersteren gezählt werden.

Indem die Corti'schen Stäbchen, entsprechend der Verschmälerung der Spiralsplatte von unten nach oben, allmählich an Länge abnehmen, so bilden sie eine Art regelmässig abgestufter Besaitung, wie wir eine solche an der Harfe und am Klavier kennen.

An die Corti'schen Stäbchen, welche von einem zarten Netz von Zellen und Fäserchen umspinnen sind — in der Zeichnung sind alle diese complicirten Gebilde der Klarheit wegen weggelassen — treten die Schneckenerven ( $n$ ), durch einen schrägen Kanal im Anfangstheil der häutigen Spiralsplatte, mit ihren feinsten Enden ( $n'$ ) heran.

Es kann kaum einem Zweifel unterliegen, dass die wie Klaviersaiten ausgespannten Stäbchen des Corti'schen Organes durch be-

stimmte Anstösse in regelmässige Vibrationen gerathen werden, und dann die mit ihnen verbundenen Nervenenden in mechanische Erregung versetzen müssen.

Ich bin mit der Darstellung des feineren Baues unseres Gehörorgans zu Ende. Es genügt, wenn Sie als Endergebniss derselben klar erfasst haben, dass die Hörnervenenden auf zarten elastischen Membranen ausgebreitet und überall mit besonderen schwingungsfähigen Gebilden — den akustischen Endorganen — verbunden sind, welche allseitig von Flüssigkeit umspült, durch Impulse von aussen in bestimmte Bewegungen versetzt werden können, die die Nerven mechanisch erregen.

Nun kann ich unsere zweite Frage: wie der Schall von uns wahrgenommen wird? dadurch beantworten, dass ich Ihnen zu zeigen versuche, was in den drei Abschnitten des Ohres vorgeht und wie sich die einzelnen beschriebenen Gebilde verhalten, wenn Schallwellen das Ohr treffen!

Die Ohrmuschel und der äussere Gehörgang fangen die Schallwellen auf, und so gelangen sie bis an das Trommelfell. Die Bedeutung der Ohrmuschel als Fang- oder Schalltrichter ist beim Menschen jedoch — trotz ihrer augenscheinlich sinnvollen und eigenthümlichen Modellirung nur sehr untergeordnet, denn wenn sie verloren gegangen ist, oder durch Binden glatt an den Schädel gedrückt wird — vorausgesetzt, dass der Gehörgang frei bleibt, so wird das Gehör nur wenig beeinträchtigt. Ferner zeigt der einfachste Versuch, dass man sogleich etwas besser hört, wenn man die Ohrmuschel aus ihrer Lage und Form mit dem Finger nach vorn herausdrängt oder gar — wie Schwerhörige zu thun pflegen — durch die von hinten her an die Ohrmuschel angelegte gekrümmte Hohlhand trichterförmig zusammenbiegt und vergrössert — ein Beweis, dass die Ohrmuschel in ihrer natürlichen Lage und Gestalt, als Schall- und Fangtrichter, nur wenig leistet.

Ganz anders ist dies bei vielen Thieren, z. B. den Pferden, Hunden, Schafen u. s. w., welche Form und Stellung ihrer Ohren durch besondere Muskeln nach Bedürfniss verändern können. Wer hätte nicht schon Gelegenheit gehabt zu sehen, wie ein Pferd z. B. seine Ohren spitzt und oft ganz unabhängig von einander nach verschiedenen Richtungen wendet, um den Schall besser aufzufangen. Aehnliche Muskeln besitzt zwar das menschliche Ohr ebenfalls — aber sie sind so armselig entwickelt und werden so wenig geübt, dass sie die wenigsten Menschen willkürlich gebrauchen können — wodurch übrigens nichts verloren wird, da ihre Wirkung unter allen Umständen unbedeutend und von keinem merklichen Einfluss auf das Hören ist.

Dass diese Muskeln aber nichtsdestoweniger wirklich vorhanden sind, zeigt die anatomische Präparation und die Fähigkeit mancher Menschen, dieselben willkürlich spielen zu lassen.

So pflegte z. B. der berühmte Anatom ALBINUS, der 1697 geboren war, — wenn er in seinen Vorlesungen an der Universität Leyden zu diesem Gegenstande kam, seine Allongen-Perrücke mit Feierlichkeit abzuheben und den Schülern die Wirkung dieser Muskeln an seinen eigenen Ohren zu demonstrieren.

Wahrscheinlich erfreute sich ALBINUS nicht immer eines so zahlreichen Auditoriums, wie ich im gegenwärtigen Augenblicke — sonst hätte er sich zu seiner Demonstration — um sie allen Anwesenden sichtbar zu machen — eines ähnlichen Hilfsmittels bedienen müssen, wie ich mir ausgedacht habe (vgl. Fig. 17), um Ihnen Allen jetzt die willkürlichen Bewegungen meiner eigenen Ohrmuschel zu zeigen. — Ich binde mir zu diesem Ende ein Stirnband um den Kopf, an welchem ein kleiner Fühlhebel befestigt ist; stütze den Hebel mittelst eines Stäbchens, an dem sich ein Drahthäkchen befindet, auf das Ohr, indem ich das Häkchen in die Muschel einhänge — und Sie sehen nun wie die schuhlange mit Blattgold überzogene Vogelfeder, welche auf der Spitze des Fühlhebels steckt, die willkürlichen Bewegungen meines Ohres in vergrößertem Maasstab wiedergibt.

Nach diesem beiläufigen Excurs über die Ohrmuschel kehre ich zu der Auseinandersetzung der akustischen Vorgänge im Ohre zurück.

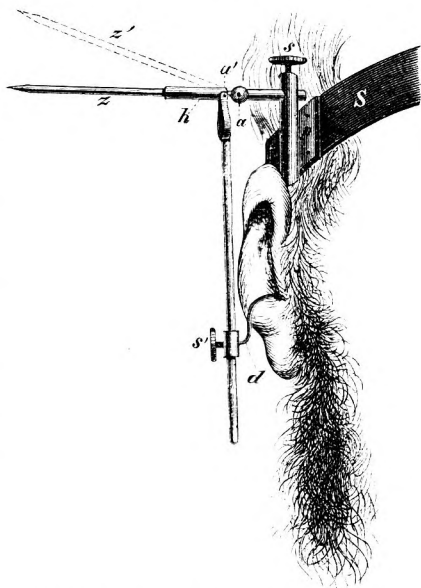


Fig. 17. Fühlhebel zur Demonstration der willkürlichen Bewegungen der Ohrmuschel.

*S* ein Stirnband, an welchem eine Messingplatte *p* befestigt ist, die einen senkrechten Stab mit horizontaler Bohrung und Schraubchen (*s*) trägt. In der Bohrung steckt ein Stäbchen, das mit einer Stahlnadel (*z*) gelenkig (bei *a*) verbunden ist. Auf die Stahlnadel ist ein federndes Hülfschen (*b*) aufgeschoben, welches wieder mit der Gabel eines längeren verticalen Stäbchens (bei *a'*) articulirt. Am unteren Ende desselben befindet sich ein durch das Schraubchen *s'* verstellbares Drahthäkchen (*d*), welches in die Ohrmuschel eingehängt wird. Auf die Spitze der Stahlnadel kommt zur Verlängerung des Fühlhebels, welchen die Nadel bildet, eine lange leichte, durch aufgelegtes Blattgold glänzend und weithin sichtbar gemachte Vogelfeder, so dass die kleinsten Bewegungen der Ohrmuschel das angehängte Ende des verticalen Stäbchens heben und sehr ausgiebige Bewegungen des Fühlhebels (s. den punktirten Contour *z'*) veranlassen müssen.

Die Schallwellen pflanzen sich also bis in die Luft des Gehörorgans hinein fort und gelangen, wie gesagt, bis an das Trommelfell, welches den Gang abschliesst.

Es ist nun leicht begreiflich, dass jede einzelne Schallwelle das Trommelfell in je eine Schwingung versetzen muss, welche der hin- und hergehenden Bewegung der Lufttheilchen und des schallerzeugenden Körpers selbst entspricht.

Um Ihnen diesen Vorgang sofort ganz anschaulich zu machen, brauche ich nur unsere — vorhin zur Demonstration der Schallwellenbewegung benutzte — Maschine (Fig. 10) neuerdings in Thätigkeit setzen zu lassen, nachdem hinter dem letzten Lichtchen der Reihe ein weisslackirter Blechstreifen (*T*) — welcher uns das elastische Trommelfell bedeuten soll, während der schwarz lackirte Blechstreif vor dem ersten Lichtchen den schwingenden Körper vorstellt, — in Verbindung gebracht worden ist.

Sie sehen, wie der weisse Blechstreif, d. h. das Trommelfell — in dieselben Schwingungen geräth, welche der Streifen von schwarzem Blech (d. h. der schallerzeugende Körper) ausführt und wie die Bewegungen der Lichterreihe — (d. h. die Schallwellen der Luft — diese Uebereinstimmung der Schwingungen hervorbringen! <sup>1</sup>)

In Wirklichkeit bildet also die Luft sozusagen die unsichtbare Brücke, auf welcher die Oscillationen der schallerzeugenden Körper auf das Trommelfell hinübergetragen werden.

Die Schwingungen, zu welchen das Trommelfell auf diesem Wege gezwungen wird, macht der Hammer natürlich mit, weil sein Griff oder Stiel in das Trommelfell eingewachsen ist.

Hammer und Amboss hängen aber innig zusammen und bewegen sich hebel förmig um eine gemeinschaftliche Axe.

Die Schwingungen des Trommelfells macht also wie der Hammer so der Amboss mit — und, da der Steigbügel an der Spitze des langen Fortsatzes des Ambosses sitzt — natürlich auch der Steigbügel, — und zwar in der Art, dass er die mit seiner Fussplatte verwachsene Membran des ovalen Fensters (vgl. Fig. 12 I. o) ein- und ausstülpt und dadurch in dieselben Schwingungen versetzt, welche das Trommelfell ausführt.

In dem Moment, wenn die Membran des ovalen Fensters durch die Steigbügelplatte eingestülpt wird, wölbt sich die elastische Mem-

<sup>1</sup> Der Leser möge den Versuch mit dem Spaltlineal und der Steindrucktafel 2 (Fig. 11) wiederholen; die dicken Streifen *S* und *T* entsprechen, wie der schwarze und weisse Blechstreif — dem Schallkörper einerseits und dem Trommelfell andererseits.

bran des runden Fensters (*r*) hervor, und umgekehrt. Fehlte diese elastisch verschlossene Gegenöffnung des runden Fensters am Labyrinth, so würde das in starre Wandungen eingeschlossene, incompressible Labyrinthwasser die Oscillationsbewegung der Steigbügelplatte beeinträchtigen oder ganz verhindern. Dies alles kann ich Ihnen an unserem Ohrschema zeigen, weil ich die betreffenden Theile beweglich eingerichtet habe.<sup>1)</sup>

So wird also die Schallbewegung durch die Kette der Gehörknöchelchen und die Membran des ovalen Fensters auf das Labyrinthwasser übertragen.

Ehe ich weiter gehe, muss ich bemerken, dass diese Uebertragung der Bewegung nur dann leicht und vollständig stattfindet, wenn die Theile ihre volle freie Beweglichkeit haben und besonders auch die in der Paukenhöhle eingeschlossene Luft weder dünner noch dichter ist als die Atmosphäre.

Es ist in diesen beiden Fällen leicht verständlich, dass — wegen der stärkeren Spannung und Vorwölbung des Trommelfells gegen die Seite der dünneren Luftmasse hin die freie Beweglichkeit der Theile vermindert und somit das Hören selbst beeinträchtigt sein muss.

Die Ohrtrumpete oder *Tuba Eustachii* (vgl. Fig. 12 I. B) dient nun dazu, die Ausgleichung derartiger, das Hören wesentlich beeinträchtigender, Druckdifferenzen zwischen der Paukenhöhlenluft und der Atmosphäre zu ermöglichen, — indem sich die Mündung ihres Nasenendes öffnet und den Kanal, der die Paukenhöhle mit der Nase verbindet, wegsam macht.

Dies geschieht, ohne dass wir es wollen und wissen, während der Schluckbewegungen. Machen wir daher, sobald sich eine Schwerhörigkeit infolge von Luftdruckdifferenzen einstellt, einige Schlingbewegungen, so verschwindet dieselbe sofort wieder, weil durch die dabei sich öffnende Ohrtrumpete Luft entweder aus der Nase in die Paukenhöhle, oder aus dieser in die Nase einströmt, und das Gleichgewicht auf beiden Seiten des Trommelfells sich herstellt.

Bei verschiedenen Menschen ist die Ohrtrumpete von sehr verschiedener Weite. Bei manchen ist sie so weit, dass sie immer offen steht und es daher niemals zu den beschriebenen Erscheinungen kommt, weil die ungehinderte Ausgleichung das Zustandekommen etwaiger

---

<sup>1</sup> In dem bei der Vorlesung benutzten Ohrschema waren das Trommelfell und die Membranen des ovalen und des runden Fensters aus Kautschukstreifen hergestellt und die Gehörknöchelchen auf Pappe gemalt, ausgeschnitten und beweglich aneinander befestigt worden.

Spannungsunterschiede verhindert. Bei anderen ist sie wieder so eng, dass sie bei der geringsten Schwellung der Schleimhaut ganz unwegsam wird. Die stets verhältnissmässig geringe Weite des Ohrtrompetenkanals ist, beiläufig bemerkt, der Grund, warum man so häufig bei heftigem Schnupfen, wo die Schleimhäute schwellen, schlecht hört.

Hierdurch wird Ihnen die Bedeutung und der Nutzen jener sehr sonderbaren Communication zwischen der Pauken- und Nasenhöhle gewiss verständlich geworden sein.

Von den Umständen aber, unter welchen diese Art vorübergehender Schwerhörigkeit entsteht, will ich zwei anführen, weil sie ein besonderes Interesse darbieten dürften.

Lässt man sich nämlich in einer Taucherglocke in die Tiefe des Wassers hinab, — oder steigt man in einem Luftballon rasch in beträchtlich dünnere Luftschichten empor, so tritt jene Schwerhörigkeit sehr deutlich ein — in der Taucherglocke, weil die Luft, in der man athmet, stark comprimirt ist, während die Paukenhöhlenluft nur die Spannung einer Atmosphäre hat — das Trommelfell daher zu stark eingestülpt wird; — im Luftballon, weil die Luft, in die man emporgekommen, dünn ist im Vergleiche zu jener, die man von der Erdoberfläche — dem Grunde der Atmosphäre — in seiner Paukenhöhle mit hinaufgenommen hat — das Trommelfell also dauernd herausgestülpt wird.

Ich kann Ihnen diese Thatsachen aus eigener Erfahrung bestätigen, denn ich habe mich im Jahre 1850 im polytechnischen Institut in London mit drei anderen Herren in einer Taucherglocke in die Tiefe eines brunnenartigen Bassins hinabgelassen — und bin im vorigen Herbst in Paris, in Gesellschaft von 14 anderen Personen mit einem sogenannten »Ballon captif« — einem an einem langen Seil befestigten kolossalen Luftballon, der erst gegen das Ende der Ausstellungszeit fertig geworden war — an 300 Meter hoch in die Luft geflogen — also weit höher als unser Jenenser Hausberg.

Weder die unheimliche gedrückte Situation in der grünlich dämmerigen Taucherglocke — noch die wahrhaft entzückende Empfindung bei der Luftfahrt, und die über alle Beschreibung herrliche Aussicht aus dem Ballon auf das vom schönsten Abendgold übergossene Paris mit seinen zahllosen punktförmigen Menschlein und zwerghaft zusammengeschrunpften Bauten — seinem Hôtel des Invalides, seinem Panthéon, seinem Arc de l'Etoile . . . tief unter meinen Füßen — haben mich an der physiologischen Beobachtung über die unter diesen Umständen eintretende Schwerhörigkeit und deren sofortige Vertreibung durch Schlingbewegungen verhindert.

Ebensowenig hinderten mich aber auch diese Beobachtungen daran, die Unbehaglichkeit der Existenz in der Taucherglocke zu empfinden und die grossartige Pracht und Herrlichkeit der mir unvergesslichen Luftfahrt in vollen Zügen zu geniessen.

Sie fragen, warum man Aehnliches nicht auch beim Befahren jedes tiefen Bergwerkes oder beim Besteigen jedes höheren Berges empfinde? Einfach darum nicht, weil man dabei nicht rasch genug in die Höhe und Tiefe gelangt und mittlerweile alle paar Minuten — ohne daran zu denken, einige Schlingbewegungen macht!

Ich kehre zur Schallbewegung im Ohre zurück. Wir hatten sie vorhin bis ins Labyrinthwasser verfolgt, welches durch die vom oscillirenden Steigbügel ein- und ausgestülpte Membran des ovalen Fensters in entsprechende Erschütterungen und Strömungen versetzt wird.

Diese bringen dann natürlich auch das häutige Labyrinth und die elastische Spiralplatte der Schnecke in Bewegung, und dabei kann es nicht fehlen, dass — je nach der Richtung, Anzahl, Kraft und Beschaffenheit der Impulse — endlich auch diese oder jene der so verschiedenen, früher beschriebenen akustischen Endorgane an den Ausbreitungsstellen des Hörnerven in Erzitterungen oder Mitschwingungen gerathen und die Nervenenden drücken und zerren, d. h. sie mechanisch reizen.

Der durch diese mechanische Reizung hervorgebrachte Erregungszustand der Nervensubstanz, welcher noch immer ein durch die neueren Hilfsmittel der Untersuchung nachweisbar materieller Bewegungsvorgang ist, pflanzt sich innerhalb der Nervenröhrchen — etwa wie eine telegraphische Depesche im elektrischen Leitungsdraht — ins Gehirn hinein fort; — und im Gehirn erst findet jene geheimnissvolle Transsubstantiation des physikalischen Bewegungsvorganges der Nervenregung in den physischen Zustand der Schallempfindung statt.

Und so wären wir denn bei der Schallempfindung angelangt.

Sie übersehen jetzt die ganze zusammenhängende Kette von mechanischen Bewegungsvorgängen, welche der Wahrnehmung des Schalles überhaupt zu Grunde liegen, — von den Schwingungen des schallerzeugenden Körpers an — bis zu dem durch die mechanische Reizung gewisser Nervenenden hervorgebrachten Erregungszustand der akustischen Nervenmasse im Gehirn, welcher schliesslich in etwas ganz Neues — in eine Empfindung — umschlägt. — —

Für die Schallwellen gibt es, wie ich hier beiläufig erwähnen muss, noch einen zweiten kürzeren Weg zu dem Hörnerven mit seinen Endorganen im Labyrinth — nämlich durch die Schädelknochen selbst.

Diesen directeren Weg können die Schallwellen jedoch nur dann in erheblicher Stärke betreten, wenn sie durch einen festen Körper fortgeleitet werden, welcher mit den Schädelknochen selbst oder mit den Zähnen in unmittelbarer Berührung steht.

Wenn man sich beide Ohren zupopft und dann einen Bindfaden zwischen die Zähne klemmt, an dessen Ende ein grosser silberner Löffel oder noch besser ein eisernes Lineal herabhängt — so hört man, sowie der Löffel oder das Lineal — gegen eine Tischkante hingeschwungen — anschlägt — trotz der verstopften Ohren einen so mächtigen Schall, dass man glauben kann neben der grossen Glocke des Kremels von Moskau zu stehen. — Ich empfehle Ihnen diesen einfachen und höchst überraschenden Versuch — nicht etwa blos für die Kinderstube.

Viele Schwerhörige, ja sogar manche scheinbar ganz Taube hören das auf einem Klavier gespielte Musikstück vollkommen gut, wenn sie einen zwischen den Zähnen gehaltenen Holzstab auf den Resonanzboden des Instruments aufstemmen.

Diesen Kunstgriff hat, wie mir mitgetheilt wurde, unser verstorbener College SCHEIDLER in früheren Jahren benutzt, wenn er trotz seiner Taubheit musiciren wollte.

Dieser Kunstgriff gelingt indess nur solchen Gehörkranken, bei denen das Labyrinth und der Hörnerv mit seinen Endorganen noch gesund sind, während die Theile des Leitungsweges für die Schallwellen der Luft — also Trommelfell und Gehörknöchelchen irgendwie gelitten haben und functionsunfähig geworden sind. —

Die Beantwortung unserer dritten und letzten Frage: welche Verschiedenheiten der Schall darbietet? — an die wir nun herantreten können, muss darin bestehen, dass ich Ihnen zeige:

wie vielerlei Unterschiede die Schallempfindungen — deren unser Ohr fähig ist, — erkennen lassen, und welche Verschiedenheiten der äusseren Erregungsmittel — nämlich der Schallwellen — durch ihre Einwirkung auf den Mechanismus des Ohres — diesen Unterschieden der Empfindung entsprechen.

Der Unterschied, welchen ich zuerst besprechen will, weil er allen Arten der Schallempfindung zukommt, ist der hinsichtlich ihrer Stärke oder Intensität.

Jede, wie immer geartete Schallempfindung kann nämlich einen stärkeren oder schwächeren Eindruck machen.

Dieser quantitative Unterschied der Schallempfindungen hängt unter übrigens gleichen Umständen nur ab von der Grösse der Schwingungen, d. h. von der Breite des Raumes, innerhalb welches der schallerzeugende Körper und die einzelnen Theilchen des leitenden Mediums hin- und heroscilliren. Denn je grösser die Excursionen der Schwingungen sind, desto mächtiger werden die Erschütterungen des Trommelfells, der Gehörknöchelchen, des Labyrinthwassers und der betreffenden Endorgane des Hörnerven ausfallen — desto intensiver ist dann auch die mechanische Erregung der Nerven und dieser entsprechend die Schallempfindung selbst.

Je kleiner hingegen die Schwingungsgrösse der ganzen Reihe der schallerzeugenden Schwingungen ist, desto schwächer muss die nervöse Erregung und desto leiser die erzeugte Empfindung sein.

Ich komme zu dem zweiten und zwar dem Hauptunterschiede des Schalles, es ist der zwischen Geräuschen und musikalischen Klängen.

Geräusche und Klänge können in mannichfach wechselnden Verhältnissen sich mischen, ja durch Zwischenstufen unmerklich ineinander übergehen — ihre Extreme liegen aber weit auseinander.

Der wesentliche Unterschied zwischen diesen beiden Hauptklassen von Schallempfindungen ist darin begründet, dass beim Geräusch die hin- und hergehenden Bewegungen der einzelnen Lufttheilchen ganz unregelmässig sind — und dass demzufolge die miteinander abwechselnden Verdünnungen und Verdichtungen der Luft, aus denen die fortschreitenden Schallwellen des Geräusches bestehen, nicht gleichartig und übereinstimmend zusammengesetzt erscheinen, sondern ganz verschieden und regellos wechselnd.

Beim reinen Klang hingegen geschehen die Schwingungen der einzelnen Lufttheilchen ganz regelmässig, nach einer ganz bestimmten, in immer gleicher Weise wiederkehrenden Norm, und infolge dessen sind auch alle die aufeinander folgenden Schallwellen eines und desselben Klanges genau einander gleich; es herrscht eine mathematische Uebereinstimmung der Bewegung.

Eine solche Bewegung, welche in genau gleichen Zeitabschnitten, in genau derselben Weise oder Norm wiederkehrt — mag diese Weise oder Norm an sich welche immer sein — nennt man in der Physik eine periodische.

Jene Schallwellenbewegung also, welche den musikalischen Klang hervorbringt, ist eine periodische — jene, welche das Geräusch erzeugt, eine nicht periodische Bewegung.

Die verschiedenen Wirkungen dieser beiden Arten von Schall-

wellenbewegung auf das Ohr scheinen sich aber einfach daraus zu erklären, dass periodische Schallwellen andere der Endorgane des Hörnerven in Mitschwingungen versetzen und demgemäss auch andere Nervenfasern erregen — als nicht periodische.

In dieser Beziehung ist es von Wichtigkeit sich zu erinnern, wie verschieden die akustischen Endorgane der Nerven — je nach ihrer Form, Consistenz, Elasticität und Beweglichkeit sind.

Wie man mit Grund vermuthet, können nämlich die saitenartig ausgespannten und abgestimmten Corti'schen Stäbchen auf der elastischen Spiralplatte nur durch periodische Schwingungen, die mit ihnen in Einklang sind, in anhaltende, kräftige Mitschwingungen versetzt werden; während der zähe Krystallbrei der Hörsteinchen in den Vorhofsäckchen und die feinen Härchen in den Ampullen, durch einzelne Stösse und unregelmässige, nicht periodische Erschütterungen in ausgiebige, regellose Bewegungen gerathen.

Und so sehen Sie denn, dass durch die Eigenthümlichkeit ihrer Endorgane die Nervenausbreitungen in den Vorhofsäckchen und den Ampullen zur Wahrnehmung der Geräusche — die Schneckenerven mit ihren Corti'schen Stäbchen aber zur Wahrnehmung der musikalischen Klänge geschickt erscheinen.

Die Erregung der Vorhofsnerven gibt Geräuschempfindungen, die der Schneckenerven aber Ton- und Klangempfindungen.

Auf die Analyse der unendlich mannichfaltigen Geräusche kann ich mich nicht weiter einlassen; ich bemerke nur, dass sie meist verschiedene, mehr oder weniger hervorstechende Klangelemente beigemischt enthalten; wie umgekehrt fast alle Klänge mehr oder weniger durch Geräusche verunreinigt sind.

Was aber die weiteren Verschiedenheiten der reinen musikalischen Klänge angeht, so habe ich Ihnen noch zu erklären, wodurch einerseits die musikalische Tonhöhe derselben, andererseits ihre sogenannte Klangfarbe oder ihr Timbre bedingt wird, und wie der Schneckenerv mit seinen Corti'schen Stäbchen diese beiden Qualitäten wahrzunehmen im Stande ist.

Die musikalische Höhe und Tiefe der Tonempfindungen ist bedingt durch die Anzahl der Schwingungen, welche der tönende Körper in einer Secunde macht.

Je grösser die Anzahl der Schwingungen in einer Secunde ist, desto höher — je kleiner, desto tiefer ist der Ton. Von dieser fundamentalen Thatsache kann ich Sie mittelst der sogenannten SEEBECK'schen Sirene überzeugen. Dies ist ein Instrument, in welchem Töne, d. h. periodische Schallwellen, nur dadurch entstehen, dass ein

Luftstrom, der aus einem Röhrechen entweicht, durch eine rotirende Scheibe, die eine Reihe von Löchelchen besitzt, abwechselnd unterbrochen und freigegeben wird (vgl. Fig. 18).

Man hat es dabei also ganz in seiner Gewalt, durch die Schnelligkeit der Rotation der Löchelchenscheibe, die Häufigkeit dieser Unterbrechungen und Impulse zu bestimmen und damit die Tonhöhe zu verändern — ohne sonst etwas an der Art der Schallbewegung zu ändern. Ich setze die Scheibe in Rotation und treibe durch das Röhrechen (*a*) einen kräftigen Luftstrom.

Sie hören, — je rascher die Scheibe rotirt, je grösser also die Zahl der Schallwellen in einer Secunde wird — desto höher wird der Ton und umgekehrt.

Jeder bestimmten Tonhöhe entspricht immer und unter allen Umständen eine und dieselbe Schwingungszahl. Dies ist ein akustisches Fundamentalgesetz.

Dem eingestrichenen *a* z. B. entsprechen nach SCHEIBLER's, in Deutschland allgemein angenommener Festsetzung, — 440 Schwingungen in einer Secunde — nach der Pariser Stimmung, die etwas tiefer ist, jedoch nur  $437\frac{1}{2}$ . Die tiefsten, überhaupt noch wahrnehmbaren Töne haben etwa die Schwingungszahl  $16\frac{1}{2}$  — die höchsten dagegen bis über 38,000! — was einen Umfang der überhaupt hörbaren Töne von etwa 11 Octaven gibt. Davon sind nur etwa sieben Octaven musikalisch brauchbar.

Längst bevor man noch irgend etwas von periodischen Schallwellen und deren Messung und Zählung wusste, hatte PYTHAGORAS entdeckt, dass, — wenn man eine Saite durch einen untergeschobenen Steg so theilen will, dass ihre beiden Abschnitte consonante Töne geben — sie im Verhältniss der bestimmten ganzen Zahlen 1, 2, 3, 4 ( $= 2 \times 2$ ), 5, 6 ( $= 2 \times 3$ ), 8 ( $= 2 \times 2 \times 2$ ) und 10 ( $= 2 \times 5$ ) — (also eigentlich der vier Zahlen 1, 2, 3, 5) getheilt werden muss.

Von der sehr merkwürdigen Beziehung der Zahlen zu den Tonintervallen will ich Sie sogleich durch den interessanten und durch

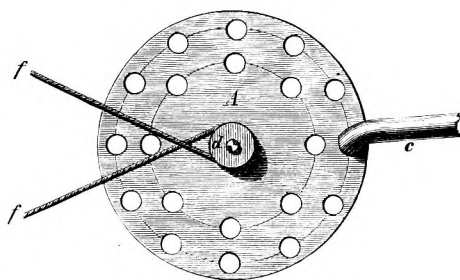


Fig. 18. SEEBECK'sche Sirene.

Eine Scheibe von Pappe mit regelmässig angeordneten Löchelchen, gegen welche ein Röhrechen *c* einen Luftstrom bläst, während die Scheibe durch die Schnur *ff* rasch um ihre horizontale Achse gedreht wird.

sein mehr als 2000jähriges Alter ehrwürdigen Versuch am Monochord überzeugen (vgl. Fig. 19).

Das Monochord ist, wie Sie sehen, ein langer schmaler Resonanzkasten ( $R$ ) von dünnen Brettchen, auf welchem eine einzige Saite (daher der Name) ausgespannt ist, indem ihre Enden in die festen scharfkantig aufgebogenen Lager ( $k, k'$ ) eingeschraubt sind. Ein Steg ( $t$ ) kann beliebig wo unter die Saite geschoben werden und theilt dann dieselbe in zwei selbständig schwingende Hälften. An der Seite des Kastens ( $R$ ) ist ein Maassstab (in der Fig. in 150 Theile getheilt), von welchem man das Verhältniss der Längen, in dem die entstandenen Saitenhälften zu einander stehen, ablesen kann.

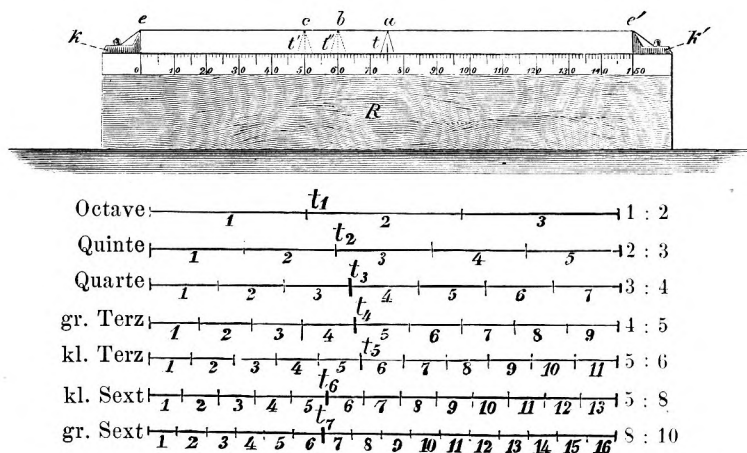


Fig. 19. Das Monochord.

$R$  Resonanzkasten mit Maassstab für die Einstellung des verschiebbaren Steges ( $t$ ). Die einzige Saite des Instruments ist horizontal über die scharfkantig aufgebogenen Lager  $k, k'$  gespannt.

Setze ich den Steg ( $t$ ) genau unter die Mitte der Saite (nach dem Maassstab der Zeichnung also in die Verlängerung des Theilstrichs 75), so stehen die Saitenhälften im Verhältniss 1 : 1, d. h. sie sind gleich lang; ich schlage sie an; sie geben, wie Sie hören, genau denselben Ton (unisono).

Theile ich die Saite in Gedanken in drei gleiche Theile und schiebe ich den Steg genau am Grenzpunkt zwischen dem ersten und zweiten Drittel unter die Saite (vgl. Fig. 19  $t'$  bei Theilstrich 50), so hat die linke Saitenhälfte  $\frac{1}{3}$ , die rechte  $\frac{2}{3}$  der ganzen Länge. Beide Hälften stehen im Verhältniss von 1 : 2, und wenn ich sie erklingen lasse, so geben sie, wie Sie hören, das Intervall einer Octave.

Setze ich den Steg so, dass links  $\frac{2}{5}$ , rechts  $\frac{3}{5}$  der Länge liegen

(vgl. in der Fig. 19  $t''$  bei Theilstrich 60), so ist das Verhältniss der Stücke 2 : 3 und die Töne bilden eine Quinte.

So fortfahrend findet man das Verhältniss für die

Quarte	3 : 4
grosse Terz	4 : 5
kleine Terz	5 : 6
kleine Sext	5 : 8
grosse Sext	6 : 10 oder 3 : 5

(vgl. die in der Fig. gezeichneten horizontalen Linien, ihre Eintheilung und die Stellung des Steges  $t^1, t^2, t^3, t^4, t^5, t^6$  und  $t^7$ ).

Die längere Saitenhälfte gibt immer den tieferen Ton des Intervalls. Alle übrigen Verhältnisse der Saitenhälften bringen Dissonanzen hervor.

Diese Abmessungen sind schon von den griechischen Musikern mit grosser Genauigkeit ausgeführt und als ein tiefes Mysterium betrachtet worden.

Erst sehr viel später ermittelte man, dass die einfachen Verhältnisse der Saitenlängen auch ebenso für die Schwingungszahlen der Töne bestehen und somit den Tonintervallen aller musikalischen Instrumente zukommen. Auf den Tonintervallen beruht aber ebenschliesslich die ganze Musik — und Sie werden nun den vielcitirten geistreichen Ausspruch, »dass die Musik eigentlich klingende Arithmetik« sei, zu würdigen verstehen.

Nun noch von der Klangfarbe!

Lässt man eine und dieselbe Note nach einander durch verschiedene Instrumente, etwa eine Geige, eine Clarinette, ein Piano oder eine Singstimme in der gleichen Stärke angeben, so ist die Empfindung trotzdem jedesmal von anderem akustischen Charakter, und diesen nennt man Klangfarbe oder Timbre. An Klangfarbe oder Timbre erkennt man leicht das Instrument, welches den Ton hervorgebracht hat.

Welche Verschiedenheit der periodischen Schallbewegung entspricht nun diesem Unterschiede der Empfindung?

Wir haben gesehen, dass von der Schwingungsgrösse die Stärke, — von der Schwingungszahl die musikalische Höhe des Tones abhängt — zur Erklärung der verschiedenen Klänge oder Klangfarben bleibt also nur noch jene Mannichfaltigkeit der periodischen Schwingungen übrig, welche sich auf deren Form oder Zusammensetzung bezieht, d. h. auf die specielle Art und Weise, wie die schwingenden Theilchen ihre Bewegung während eines einmaligen Hin- und Herganges ausführen.

Ich muss Ihnen hier, um kurz zu sein, die überraschende Mittheilung machen, dass es nur durch besondere physikalische Vorrichtungen gelingt, einen wirklich ganz einfachen Ton zu erzeugen — und dass ein jeder Klang — wie ihn unsere verschiedenen musikalischen Instrumente durch ihre complicirten Schwingungen hervorbringen — niemals wirklich ein einziger, einfacher Ton ist, sondern stets zusammengesetzt aus mehreren Tönen von verschiedener Stärke und Höhe, die gleichzeitig und in demselben Momente miteinander erklingen — sobald irgend eine Note eben durch eines unserer bekannten Musikinstrumente angegeben wird!

Von diesen einfachen Tönen, die, wie gesagt, einen jeden solchen scheinbar einfachen Klang zusammensetzen, wird derjenige, welcher der tiefste und stärkste ist, und deshalb auch durch seine Schwingungszahl die musikalische Höhe des ganzen Klanges bestimmt, der Grundton genannt, während die übrigen höheren Töne, welche gleichzeitig aber in verschiedener Stärke noch mitklingen, die Obertöne heissen.

Der Grundton und seine Obertöne verschmelzen für das Gehör so sehr zu einer einheitlichen Empfindung — der des **specifischen Klanges** — dass sie nur durch besonders geübte und aufmerksame Ohren, oder durch besondere künstliche Veranstaltungen — einzeln aus dem Klange herausgehört werden können.

Sie sehen, verehrte Anwesende! dass somit von der Form oder Zusammensetzung der periodischen Schwingungen — d. h. von der verschiedenen Anzahl und Stärke der Obertöne, die nebst dem Grundton im Klang enthalten sind, die Verschiedenheit der Klangfarbe oder des Timbres abhängt.

Wenn, um nur ein Beispiel anzuführen, die Violine und die menschliche Stimme das eingestrichene *a* nach einander angeben. — so stimmen diese, durch ihren Timbre leicht aus einander zu kennenden Klänge darin überein, dass sie beide dasselbe *a* (mit seinen 440 Schwingungen in einer Secunde) zum Grundton haben; — sie unterscheiden sich aber dadurch von einander, dass beim *a* der Violine die Obertöne in anderer Anzahl und Stärke mitklingen als beim *a* der menschlichen Stimme — und dies gilt für alle übrigen Musikinstrumente. Ich verzichte darauf, Ihnen noch mehr über die Obertöne und ihr Intervallverhältniss zum Grundton und zu einander zu sagen, sowie darauf, Ihnen zu zeigen, wie die Luftbewegung beschaffen ist, welche gleichzeitig erklingenden und neben einander bestehenden Tönen entspricht, die einen Klang zusammensetzen, denn einerseits müsste ich zu weitläufig werden, um leicht verständ-

lich zu bleiben, andererseits aber genügt das Mitgetheilte vollständig für unseren Zweck und entzieht sich in seiner Einfachheit keiner Fassungskraft. Oder irre ich mich, wenn ich glaube, dass das Gesagte hinreicht, um sich eine im allgemeinen richtige Vorstellung vom Wesen des Klanges und der sogenannten Klangfarbe zu machen?

Jeder Klang — ich wiederhole es — ist eine Mischung verschiedener gleichzeitig im Instrument entstehender Töne, und die Verschiedenheit dieser Mischung bedingt die Verschiedenheit der Klänge oder die verschiedene Klangfarbe.

Jetzt habe ich Ihnen nur noch zu erklären, wie der Schneckenerv mit seinem System der CORTI'schen Stäbchen die Schwingungszahl oder die Tonhöhe und die Schwingungsform oder die Klangfarbe wahrzunehmen im Stande ist. Um dies in Kürze und doch in allgemein fasslicher Weise zu thun, werde ich einen Vergleich benutzen, der von HELMHOLTZ selbst herrührt — dem Begründer und Entdecker der Function der Schnecke und dieser ganzen Anschauung über die zusammengesetzte Natur der Klänge! —

Denken Sie sich den Dämpfer eines Klaviers gehoben und lassen Sie irgend einen Klang kräftig gegen den Resonanzboden wirken, so bringen Sie eine Reihe von Saiten in Mitschwingung — nämlich alle die Saiten und nur die Saiten, welche den einzelnen Tönen entsprechen, die in dem angegebenen Klange als Grundton und als Obertöne enthalten sind. Die Folge davon ist, dass Ihnen aus dem Klavier der fremde Klang mit seinem specifischen Charakter, d. h. mit seiner eigenthümlichen Klangfarbe zurückklingt.

Ich will Ihnen diesen Versuch zu Gehör bringen und zwar mit laut gerufenen Vocalen. Die Vocale sind nämlich nichts anderes als verschiedene Klangfarben der menschlichen Stimme, welche dadurch entstehen, dass die Mundhöhle verschiedene Formen annimmt und durch Resonanz ganz bestimmte im Klange der Stimme enthaltene Obertöne verstärkt — andere hingegen schwächt. — Da die Klangfarbe, wie wir sahen, von der Stärke und Anzahl der zusammengesetzten Obertöne des Grundtons abhängt, so muss unter diesen Umständen der Klang der menschlichen Stimme verschiedene Färbungen annehmen, und diese Färbungen sind eben, wie gesagt, die Vocale. Ich trete an das Klavier, dessen Deckel zurückgeschlagen ist, sodass der Resonanzboden mit seiner Besaitung bloss liegt; ich hebe die Dämpfung durch Niederdrücken des Pedals auf und rufe mit starker Stimme *a*, dann *e*, dann *o*, *u* und *i* gegen die Saiten. Das Klavier beantwortet meine Rufe nicht wie ein musikalisches Instrument, sondern

wie ein Echo, d. h. Sie haben nicht die bekannten Töne des Klaviers, sondern die *Vocale* meiner Stimme in ihrer specifischen Klangfarbe aus dem Klavier hervorklingen hören. Die Besaitung desselben hat nämlich auf rein mechanischem Wege die zusammengesetzten Klangwellen der *Vocale* in ihre Bestandtheile zerlegt, — indem alle die Saiten und nur die Saiten in Mitschwingungen geriethen, welche den Schwingungszahlen der im Klange des *Vocals* enthaltenen einzelnen Töne entsprachen. Es musste daher dieselbe Tonmischung nachhallen, welche der Klangfarbe des betreffenden *Vocals* entspricht, und Ihr Ohr hat diese Mischung sogleich als den bekannten *Vocalklang* erkannt und aufgefasst. Wie? — das sollen Sie gleich einsehen! Könnten wir jede Saite des Klaviers mit einem akustischen Nerven so verbinden, dass derselbe erregt würde und den entsprechenden einfachen Ton empfände, sobald die Saite in Schwingungen gerieth, so hätten wir begreiflicher Weise ein Organ geschaffen, das zur Wahrnehmung der *Tonhöhen* und *Klangfarben* geeignet wäre.

Ein solches Miniaturklavier mit Nerven ist aber in der That die *Schnecke*, die wir im Ohre haben.

Die 3000 auf verschiedene Töne abgestimmten *Corti'schen Stäbchen* entsprechen nämlich den Klaviersaiten, und es ist jedes solche Stäbchen, wie wir sahen, mit akustischen Nerven verknüpft, welche jedesmal mechanisch erregt werden und einen bestimmten einfachen Ton empfinden, sobald das betreffende Stäbchen in Mitschwingungen versetzt wird.

So wie aber die Klaviersaiten nur dann in Mitschwingungen gerathen, wenn die ihnen entsprechenden Töne auf sie einwirken, ebenso schwingen auch die *Corti'schen Stäbchen* nur dann mit, wenn Schallwellen durch das Labyrinthwasser zu ihnen gelangen, deren Schwingungszahlen jenem Tone angehören, auf welchen das einzelne Stäbchen genau abgestimmt ist. —

Die Empfindung verschiedener *Tonhöhen* ist also eine Empfindung in den einzelnen Schneckenervenfasern, deren jede eine andere *Tonhöhe* empfindet.

Die Empfindung der *Klangfarbe* beruht aber darauf, dass ein Klang, wie beim Versuch mit dem Klavier, mechanisch zerlegt wird, d. h. ausser dem seinem Grundton entsprechenden *Corti'schen Stäbchen*, noch eine Anzahl anderer — die den Obertönen entsprechen — in Mitschwingungen versetzt und somit in mehreren verschiedenen Gruppen von Fasern des Schneckenerven einfache Tonempfindungen erregt, die zu einer einheitlichen Empfindung — eben der des besonderen *Klanges* — verschmelzen.

Hiermit dürfte Ihnen der Mechanismus und die Function der Schnecke im allgemeinen deutlich und begreiflich geworden sein.

Ich bin zu Ende!

Gestatten Sie mir nur noch einen kurzen zusammenfassenden Rückblick! — Nachdem wir den Schall als einen grob-materiellen Bewegungsvorgang erkannt hatten, verfolgten wir denselben durch das äussere, mittlere und innere Ohr bis in die akustische Gehirnmasse hinein, wo er sich in den psychischen Zustand der Schallempfindung sozusagen transsubstantiiert!

Wir sahen, wie die Schallwellen das Trommelfell und die Gehörknöchelchen in entsprechende Schwingungen versetzen; wie die Fussplatte des Steigbügels dem Labyrinthwasser Stösse mittheilt und in demselben Strömungen bewirkt; — und wie diese Stösse und Strömungen die verschiedenen akustischen Endorgane des Hörnerven, nach bestimmten mechanischen Gesetzen zu Mitschwingungen zwingen, welche endlich die Hörnervenenden erregen.

Wir haben dann die Stärke aller Schallempfindungen aus der Schwingungsgrösse; — die Empfindung der Geräusche aus unregelmässigen nicht periodischen, die der Klänge aus regelmässigen periodischen Schwingungen erklärt — und zugleich erkannt, dass infolge der Verschiedenheit der akustischen Endorgane erstere wahrscheinlich durch die Vorhofsnerven, letztere durch die Schneckennerven empfunden werden.

Die Empfindung verschiedener Tonhöhe erwies sich abhängig von der Schwingungszahl und geknüpft an die Mitschwingungen der einzelnen Corti'schen Stäbchen und an die Erregung der einzelnen Fasern des Schneckennerven — deren jede die Empfindung einer anderen Tonhöhe gibt; — während endlich die Klangfarbe, — abhängig von der Schwingungsform oder der Zusammensetzung der Schwingungen, und in ihre einfachen Tonelemente, durch die abgestimmte Klaviatur oder Besaitung der Corti'schen Stäbchen zerlegt in mehreren gleichzeitig erregten Gruppen von Fasern des Schneckennerven als einheitlicher Eindruck empfunden wird. —

Damit aber habe ich Ihnen — versprochenermaassen — die ganze Welt des Schalles, wie sie uns das Ohr erschliesst, **mechanisch** verständlich gemacht! — denn Sie haben nun eine beiläufige Vorstellung davon, worin eigentlich die materiellen Vorgänge bestehen, welche dieser wunderbar mannigfaltigen Erscheinungswelt zu Grunde liegen, und welches der Mechanismus jenes Organs ist, dessen wir uns zur Wahrnehmung derselben bedienen!