der Bilder sich gerade berühren und somit die Länge des Papierstreifens gerade der Entfernung der Drehpunkte der beiden Augen von einander gleich ist. Jetzt ist das Instrument zugerichtet und man kann darangehen, die Primärstellung für die Augen aufzusuchen. Zu dem Ende befestigt man an einer entfernten Tapetenwand, an der horizontale und verticale Linien kenntlich sein müssen, einen lebhaft gefärbten horizontalen Streifen, z. B. ein lebhaft gefärbtes Band, und blickt mit dem einen Auge an der Spitze $C_{,}$ vorbei, indem man zugleich das Band so lange fixirt, dass ein Nachbild entstehen muss. Nun lässt man das Auge nach aufwärts und nach abwärts blicken: es muss dann das Nachbild horizontal bleiben, und wenn man horizontal nach rechts oder nach links blickt, so muss man wieder ein horizontales Nachbild erhalten. Man verschiebt den Streifen $C\,C_{,}$ so lange, bis dies erreicht ist, und nun ist die Primärstellung für das eine Auge gefunden und fixirt durch den Ort des Auges und den Ort von $C_{,}$, durch den die Gesichtslinie in der Primärstellung hindurchgeht. In analoger Weise bestimmt man die Primärstellung des anderen Auges. Wenn ich mir durch die beiden Gesichtslinien in der Primärstellung eine Ebene gelegt denke, so habe ich die Visirebene, die Blickebene in der Primärlage. Nun haben Hering und Helmholtz gefunden, dass dieser Horopter, wie ich ihn früher auseinandergesetzt habe, nur für den Fall gilt, in dem die Visirebene in der Primärlage ist, und in dem zugleich der Fixationspunkt in der Medianebene liegt. Für alle anderen Stellungen ändert sich dieser Horopter; er ist in seiner allgemeinsten Form die Durchschnittslinie zweier Oberflächen vom zweiten Grade, und man kann ihn sich auf einen Cylinder gezeichnet denken als eine Linie, die erst senkrecht, das heisst parallel der Cylinderaxe, nach abwärts geht, dann eine Biegung macht, um den ganzen Cylinder zu umkreisen, und dann wieder eine Biegung macht, um weiter senkrecht nach abwärts zu gehen. Der Kreishoropter mit der verticalen Linie ist nur ein specieller Fall des allgemeinen Horopters, der dadurch entsteht, dass die Schleife, mit der er den Cylinder umkreist, sich schliesst und so die aufsteigende und die absteigende Branche sich zu einer geraden Linie vereinigen.

Das Gehör.

So wie wir bei allen Erregungen des N. opticus immer Lichtempfindung hatten, so haben wir bei allen Erregungen des N. acusticus Gehörsempfindungen. Die gewöhnlichen Wahrnehmungen, welche demselben zukommen, sind Erschütterungen, die ihn in Gestalt von Schallwellen treffen. Aber auch alle anderen wirksamen Erregungen rufen in ihm Gehörsempfindungen hervor. So kann der N. acusticus pathologisch erregt sein. Am häufigsten geschieht dies in der Weise, dass man für kurze Zeit, manchmal auch für längere Zeit, sehr hohe Töne hört; häufig auch so, dass man ein Sausen und Rauschen hört, wie das Sausen des Windes und das Brausen des Meeres, auch wohl wie entferntes Wagenrollen. Dieser Zustand kann permanent werden und so quälend, dass die davon Heimgesuchten in Melancholie verfallen.

Die Erregungen des N. acusticus können endlich auch vom Centralorgane ausgehen. Sie haben dann den Charakter von combinirten Erregungen, nicht nur von bestimmten Tönen, sondern auch von einer bestimmten Reihenfolge von Tönen oder Geräuschen, gewöhnlich von Worten, die gerufen oder gesprochen werden. Es sind dies Gehörshallucinationen, die den Irrenärzten nur zu bekannt sind, und deren erste Anfänge sie mit dem Namen des Stimmenhörens zu bezeichnen pflegen.

Die gewöhnlichen Erregungen aber, welche dem N. acusticus zukommen, sind, wie gesagt, Schallwellen, die ihm entweder durch die Luft oder durch feste Theile zugeleitet werden. Für gewöhnlich kommen uns zwar die Schallwellen durch die Luft zu, aber wir können sie auch eben so wirksam mit Ausschluss der Luft blos durch eine Kette von festen Theilen zuleiten. Wenn man eine Stimmgabel so schwach anschlägt, dass sie durch die Luft nicht hörbar ist, und sie dann auf den Kopf setzt, so hört man sie, indem die Schwingungen der Stimmgabel an die Kopfknochen und von da an das Gehörorgan und den N. acusticus übertragen werden. Es erwächst hieraus ein wichtiges diagnostisches und prognostisches Zeichen für den Arzt. Er will, wenn sich ihm ein Tauber vorstellt, wissen, ob bei demselben der Gehörnerv noch functionirt und das Hinderniss für das Hören nur im schallleitenden Apparate liegt, oder ob wirklich der N. acusticus nicht fähig ist, erregt zu werden. Zu diesem Zwecke schlägt er eine Stimmgabel an und setzt sie dem Kranken auf das Scheitelbein. Functionirt der N. acusticus noch, und liegt das Hinderniss nur im schallleitenden Apparate, so hört der Kranke die Stimmgabel. Auf diese Weise können uns sogar Klänge mit ausserordentlicher Intensität zugeführt werden. Ein bekanntes Spielwerk besteht darin, dass man einen silbernen Löffel oder einen eisernen Ladstock in einen Bindfaden einknüpft, die Enden des Bindfadens in die Ohren steckt und nun den Löffel oder den Ladstock gegen eine Wand anschlägt. Dann werden durch den Bindfaden die Schwingungen dem Ohre so mitgetheilt, dass man das stärkste Glockenläuten zu hören glaubt.

Die meisten Erregungen aber, diejenigen, welche uns hier zunächst beschäftigen, kommen dem N. acusticus von Schallwellen zu, die in der Luft fortgepflanzt werden. Wir müssen uns, ehe wir zur Lehre vom Hören übergehen, mit diesen Schallwellen und mit den Gesetzen, nach denen sie erregt und fortgepflanzt werden, einen Augenblick beschäftigen.

Wenn irgendwo die Luft durch einen plötzlichen Impuls, z. B. durch die Detonation einer Zündkapsel oder eines Kanonenschlages, erschüttert wird, so entsteht dadurch ein Schall. Es wird die Luft nach allen Seiten hingestossen, und es entsteht dadurch um die Schallquelle eine Kugelschale von verdichteter Luft. Die Bewegung pflanzt sich nach den Gesetzen des elastischen Stosses fort. Auf die Schichte verdichteter Luft folgt dann eine Schichte verdünnter Luft, und so schreiten eine Verdichtungswelle und eine Verdünnungswelle hinter einander nach allen Seiten mit gleicher Geschwindigkeit fort, und zwar bei der Temperatur von 0^0 mit einer Geschwindigkeit von 331 Metern in der Secunde.

Hieraus ergibt sich schon das Gesetz für den Schall, dass seine Intensität abnimmt mit dem wachsenden Quadrate der Entfernung. Das erklärt sich einfach folgendermassen. Durch die Schallquelle wird eine gewisse Summe lebendiger Kraft erzeugt: diese wird an die Luftschicht

übertragen, welche die Schallquelle zunächst umgibt, hierauf an die nächste u. s. f., und da der Schall sich nach allen Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzt, bilden die Schallquellen immer Kugelschalen. Nun hängt aber die Intensität des Schalles von den lebendigen Kräften ab, welche in den einzelnen Molekülen thätig sind, und da die Summen der in Bewegung gesetzten Moleküle wie die Oberflächen der Kugelschalen, also wie die Quadrate der Radien, wachsen, so müssen die lebendigen Kräfte der einzelnen Moleküle in gleichem Masse abnehmen und mit ihnen die Intensität des Schalles.

Ich habe gesagt, dass die Moleküle nach allen Seiten hin gestossen werden, und dass dadurch die Schallwelle entsteht. Ich habe also angenommen, dass die Moleküle bei ihrer Schwingung sich in der Richtung bewegen, in welcher sich die Schallwellen fortpflanzen, nicht, wie bei dem Lichte, in einer Ebene senkrecht auf die Fortpflanzungsrichtung. Es sind also hiernach die Schallwellen Longitudinalwellen, und wenn wir sie graphisch darstellen, indem wir die Verdichtungswelle als einen Wellenberg und die Verdünnungswelle als ein Wellenthal darstellen, so tragen wir in den Ordinaten nicht die Verschiebung der Moleküle in ihrer wirklichen Lage auf, sondern wir tragen sie nur ihrer Grösse nach auf, senkrecht auf die wirkliche Richtung der Verschiebung. Wenn wir uns eine Verdichtungswelle und eine Verdünnungswelle vorstellen wollen, so müssen wir sie uns als eine Reihe von Punkten vorstellen, die von Strecke zu Strecke einander angenähert und von Strecke zu Strecke weiter von einander entfernt sind.

Wenn nun eine solche Welle an unser Ohr schlägt, so bringt sie einen Schall hervor: treffen mehrere Stösse in unregelmässiger Reihenfolge unseren Gehörnerven, so entsteht das, was wir ein Geräusch nennen. Wenn aber eine Reihe von Stössen in periodischer Reihenfolge so rasch auf einander folgt, dass der Eindruck des ersten Stosses noch nicht erloschen ist, wenn schon der zweite kommt, so entsteht dadurch eine continuirliche Empfindung, welche wir mit dem Namen der Tonempfindung bezeichnen. Die Empfindung hoher Töne wird hervorgebracht durch Stösse, welche rasch aufeinander folgen, und die Empfindung tiefer Töne wird erzeugt durch Stösse, die langsam aufeinander folgen. Da die Schallschwingungen sich nach den Gesetzen der Wellenbewegung fortpflanzen, so müssen sie natürlich auch nach den Gesetzen der Wellenbewegung reflectirt und nach den Gesetzen der Wellenbewegung gebrochen werden. Sie werden nach den Gesetzen der Wellenbewegung reflectirt, indem ein Schallstrahl, der auf eine feste Wand fällt, von derselben zurückgeworfen wird unter demselben Winkel, unter dem er eingefallen ist. Er wird aber nicht zurückgeworfen mit der ganzen Stärke, mit welcher er eingefallen ist, weil ein Theil der lebendigen Kraft der Moleküle auf die Wand selbst übertragen wird. Mit dieser Zurückwerfung des Schalles unter demselben Winkel, unter dem er eingefallen ist, hängt bekanntermassen das Echo zusammen. Wir haben ein Echo, wenn wir uns in einer so bedeutenden Entfernung von einer ausgedehnten festen Wand befinden, dass der reflectirte Schall an unser Ohr gelangt, wenn schon der Eindruck des ursprünglichen Schalles erloschen ist. Durch mehrfache Reflexion entsteht das mehrfache Echo. Es hängt mit der Reflexion aber auch die Störung zusammen, welche in grossen Räumen durch den Wiederhall entsteht, die Störung, die in

grossen Räumen für Sprechende, z. B. für Kanzelredner in nicht akustisch gebauten Kirchen fühlbar ist, die Störung, welche entsteht in zu grossen und unzweckmässig angelegten Theatern und Concertsälen dadurch, dass die reflectirten Wellen und die ursprünglichen für den Hörenden zu weit auseinander fallen, so dass Unordnung in die Gehörswahrnehmungen kommt.

Durch die Reflexion des Schalles ist es möglich, die lebendige Kraft einer Schallwelle für einen entfernten Ort besser zusammen zu halten, als dies geschehen wäre, wenn man die Schallstrahlen nach allen Seiten sich hätte ausbreiten lassen. Wenn Sie z. B. in eine Röhre hineinsprechen, so wird von den Wänden der Röhre der Schall reflectirt, und die Schallwellen müssen sich der Röhre entlang bewegen. Nahezu die ganze lebendige Kraft wird auf Luftschichten von verhältnissmässig geringem Querschnitt übertragen, die sich in dieser Röhre befinden. Darauf beruhen die Sprachröhren, welche man in den Gebäuden anbringt, um sich von verschiedenen Räumen aus mit einander zu besprechen. Darauf beruhen auch die Hörrohre, die Schwerhörigen gegeben werden, damit sie mit ihrer Umgebung sich verständigen können. Dieselben haben sehr verschiedene Formen, die man ohne eigentliche theoretische Grundlage vielfach geändert hat. Das Wesentliche, allen Gemeinsame ist aber, dass sie ein verengertes Ende haben, welches in das Ohr eingesetzt wird, und ein trichterförmig erweitertes Ende, in welches der Sprechende hineinspricht. Hierauf endlich beruhen auch die Sprachrohre, deren man sich auf Schiffen bedient. Denken Sie sich, Sie hätten ein Paraboloid, und im Brennpunkte desselben befindet sich eine Schallquelle, so werden die Schallstrahlen, die von dem Brennpunkte ausgehen, alle in einer bestimmten Richtung, alle parallel der Axe des Paraboloids fortgeleitet werden. Denkt man sich nun das Paraboloid am Scheitel abgestutzt und an den Mund gesetzt, so wird man durch dasselbe die durch die Stimme erzeugten Schallwellen in bestimmter Richtung fortleiten können. Dasselbe leistet mehr oder weniger jeder trichterförmige Hohlkörper, der vor den Mund gesetzt wird. Die griechischen Schauspieler hatten derartige trichterförmige Vorrichtungen vor der Mundöffnung an ihren Masken, um der Stimme mehr Tragweite zu geben.

Nach den allgemeinen Gesetzen der Wellenbewegung müssen die Schallwellen auch zur Interferenz kommen. Die Interferenz kann man am besten an den Schwingungen, welche von einer Stimmgabel ausgehen, zeigen. Von einer schwingenden Stimmgabel gehen Stösse aus an der Fläche der Zinken und von dem Raume zwischen den Zinken, indem diese, wo sie gegen einander schwingen, die Luft verdichten und nach beiden Seiten hinausstossen. Sie sehen aber leicht ein, dass bei der einen Art von Wellen die Verdichtungswelle gebildet wird, wenn die Zinken nach aussen schwingen, bei der andern Art von Wellen aber die Verdichtungswelle entsteht, wenn die Zinken nach innen schwingen. Die Folge davon ist, dass da, wo die Schallwellen übereinander fallen, Verdichtungswellen auf Verdünnungswellen und umgekehrt fallen müssen. Dieses Aufeinanderfallen muss stattfinden in den Diagonalen, welche ich mir durch die Stimmgabel hindurchgezogen denke, und es ergibt sich, dass in diesen Diagonalen keine Wellenbewegung stattfindet, dass hier die beiden Wellenbewegungen einander aufheben. Dass dem wirklich so sei, davon kann man sich überzeugen, wenn man die Schallschwingungen auf

eine Luftmasse überträgt, die in einer Messinghohlkugel, in einem sogenannten Resonator enthalten ist. Wenn ich die schwingende Stimmgabel über demselben drehe, so lischt jedesmal der Ton aus, wenn eine Diagonale senkrecht auf die Oeffnung des Hohlkörpers zu stehen kommt.

Anders gestaltet sich die Sache, wenn die beiden Wellensysteme nicht gleiche Schwingungsdauer haben; dann müssen periodische Abwechslungen kommen, in welchen einmal Wellenberg auf Wellenberg, das andere Mal Wellenberg auf Wellenthal fällt. Diese periodischen Abwechslungen zeigen sich in ihrer einfachsten Form als die sogenannten Schwebungen. Wenn zwei Töne mit einander erklingen und nur sehr wenig von einander verschieden sind, so sind natürlich die Perioden, während welcher der eine dem andern um eine halbe und um eine ganze Schwingung vorauseilt, sehr lang. Es soll also zuerst eine Periode kommen, wo Wellenberg auf Wellenberg fällt, da wird der Ton verstärkt; dann wird eine Periode kommen, wo Wellenberg auf Wellenthal fällt, da wird der Ton geschwächt u. s. w. Man hört also ein allmäliges Abschwellen und Anschwellen des Tones. Deshalb sagt der Musiker, es seien die beiden Töne um eine Schwebung von einander verschieden, das heisst sie sind um ein so Geringes von einander verschieden, dass man nur ein allmäliges Anschwellen und Abschwellen des Tones hört.

Wir haben hier noch eine für die Theorie des Gehörs wichtige Frage zu erörtern, die Frage, ob und wie die Schallwellen verstärkt werden können.

Im eigentlichsten Sinne des Wortes kann ein Schall als Ganzes nicht verstärkt werden. Eine Schallursache gibt eine gewisse Summe von lebendiger Kraft: die kann ich nicht grösser und nicht kleiner machen, als sie ein- für allemal ist, also den Schall als solchen kann ich nicht verstärken. Aber ich kann es so einrichten, dass von dieser lebendigen Kraft in der Zeiteinheit mehr an mein Ohr übertragen wird. Die Einrichtungen, welche man zu diesem Zwecke trifft, bezeichnet man als Verstärkungsmittel für den Schall. Ich kann auch durch einen momentanen Impuls als Schallursache einen Ton erzeugen, der einige Zeit dauert, oder ein Geräusch, und kann durch künstliche Vorrichtung bewirken, dass das tongebende Instrument die lebendige Kraft des einmaligen Impulses langsamer oder schneller verbraucht. Im letzteren Falle wird für jede einzelne Schwingung eine grössere lebendige Kraft disponibel sein; wenn ich es also so einrichte, dass von den lebendigen Kräften, die das tonangebende Instrument verbraucht, das heisst abgibt, möglichst viel an meine Gehörnerven übertragen wird, so ist auch dieser schnellere Verbrauch ein Mittel zur Verstärkung des Schalles.

Das einfachste Verstärkungsmittel für den Schall ist der Resonanzboden. Wenn ich eine Stimmgabel anschlage und in der Luft schwingen lasse, so wird sie bei einer gewissen Stärke des Anschlages kaum gehört werden. Stütze ich sie aber auf den Tisch auf, so hört man sie sogleich erklingen, weil der Tisch als Resonanzboden dient. Was geht hier vor? Wenn die Stimmgabel in der Luft schwingt, so kann sie wegen ihrer kleinen Dimensionen bei der einzelnen Schwingung nur eine sehr kleine Summe von lebendiger Kraft an die umgebende Luft übertragen: die Intensität des Schalles nimmt ab nach den Quadraten der wachsenden Entfernungen: es kommt also davon nur ein geringer Bruchtheil an meinen

äusseren Gehörgang und mein Ohr. Wenn ich dagegen die Stimmgabel auf den Tisch setze, so überträgt sie ausser den lebendigen Kräften, die sie an die Luft überträgt, auch lebendige Kräfte auf die Tischplatte. In Folge davon fängt die Tischplatte an, mit ihr isochron zu schwingen, und überträgt in derselben Periode wiederum mit ihrer ganzen Fläche lebendige Kräfte an die Luft, so dass jetzt eine viel grössere Menge von Bewegung in der Zeiteinheit übertragen wird und viel mehr davon zu meinem Ohre gelangt.

Es braucht gerade keine feste Platte zu sein, an welche die lebendige Kraft übertragen wird; es kann die lebendige Kraft auch an eine eingeschlossene Luftmasse übertragen und dadurch der Schall verstärkt werden. Wenn ich z. B. eine Stimmgabel anschlage und halte sie über einen Cylinder, der bis zu einer bestimmten Höhe mit Wasser gefüllt ist, so hört man die Stimmgabel deutlicher, als wenn ich sie in freier Luft halte. Das rührt daher, dass die Luft im Cylinder in sogenannte stehende Schwingungen versetzt worden ist. Denken Sie sich, die Höhe des Luftraumes in diesem Cylinder betrage den vierten Theil der Wellenlänge des Tones der Stimmgabel in der Luft, so wird durch die Stimmgabel, wenn sich deren Zinke aus der Gleichgewichtslage nach abwärts bewegt, die Luft im Cylinder heruntergestossen werden; dieser Stoss wird sich fortpflanzen bis an den Boden, da werden die Moleküle nicht ausweichen können, es wird sich nach den Gesetzen des elastischen Stosses der Stoss nach rückwärts fortpflanzen, und die Moleküle werden am Eingange des Cylinders von unten nach oben gestossen werden. Da hierüber aber die Zeit einer halben Schwingung vergangen ist, so wird das eben geschehen, wenn die Zinke der Stimmgabel nach aufwärts schwingt, also sich in derselben Bewegungsrichtung befindet wie die Luft. Wenn die Luftmoleküle ihre Excursionen gemacht haben, wird die Stimmgabel wiederum nach abwärts schwingen und wird ihnen also in der Richtung, in welcher sie sich nach den Schwingungsgesetzen ohnehin bewegen sollten, jetzt wieder einen neuen Stoss versetzen, sie werden deshalb jetzt noch stärker aus ihrer Gleichgewichtslage herausweichen als früher; unten wird wiederum der Impuls reflectirt werden, es wird wieder die Zeit einer halben Schwingungsdauer vergehen, bis die rückgängige Bewegung an den Eingang des Cylinders gelangt, es wird dann noch die Zeit einer Viertelschwingung dauern, bis die Moleküle ihre Excursion nach oben gemacht haben, sie werden, indem sie im Begriff sind umzukehren, einen neuen Stoss von der Stimmgabel bekommen und so fort. Mit jedem Stosse der Stimmgabel wird die Ausweichung der Moleküle eine grössere werden, sie werden bis zu einer gewissen Grenze in immer stärkere Schwingungen versetzt, bei denen die Luftmoleküle periodisch nach abwärts gestossen werden und zurückschnellen und dadurch die Luft in der Tiefe der Röhre abwechselnd verdichtet und verdünnt wird. Die lebendige Kraft dieser Schwingungen wird sich der umgebenden Luft und dem Glase mittheilen, und dadurch wird eben der Schall verstärkt werden. Die gasförmige elastische Masse leistet hier denselben Dienst wie früher die feste elastische Platte.

Wir haben gesehen, dass es dazu nöthig ist, dass die Höhe des cylindrischen Hohlraumes gerade den vierten Theil einer Wellenlänge betrage. Wäre dieser Cylinder unten offen gewesen, dann würden auch

Reflexionen erzeugt worden sein: aber dann würde man die günstigsten Bedingungen haben, wenn der Luftraum in dem Cylinder doppelt so lang, also halb so lang als die Tonwelle ist. Das hängt damit zusammen, dass dann die Reflexion an dem offenen Ende der Röhre stattfinden würde, an dem sich Luftmoleküle befinden, die leichter ausweichen als diejenigen in der Röhre.

Wenn ich Schwingungen in einer gedeckten Röhre habe, so kann ich sie mir graphisch folgendermassen darstellen. *a b c d* Figur 64 soll der Längsschnitt der Röhre sein, *e f* die Axe der Röhre, die ich zugleich als Abscissenaxe benütze, auf welcher ich als Ordinaten die Ausweichungen der Luftmoleküle nach oben positiv und die nach unten negativ auftrage. Dann habe ich hier immer die grösste Ausweichung am Ende und das Minimum der Ausweichung da, wo die feste Wand ist, wo also die Moleküle nicht oder doch nur sehr wenig ausweichen können. Hier ist also ein unmittelbar durch den Widerstand fester Theile gegebener Ruhepunkt. Wenn aber die Röhre offen ist, so sind die grössten Ausweichungen der Moleküle an beiden Enden und das Minimum der Ausweichung der Moleküle ist in der Mitte. Es entsteht also in der Mitte ein Knoten und die Schwingungen in der Röhre sind durch die nebenbezeichnete Figur 65 dargestellt. Die Reflexion geht in verschiedener Weise vor sich, je nachdem ein leichter ausweichendes Molekül auf ein schwerer ausweichendes, oder ein schwerer ausweichendes auf ein leichter ausweichendes Molekül stösst. Im letzteren Falle wird das Molekül fortgestossen, und erst wenn es zurückkommt, beginnt auch die rückgängige Bewegung in der Röhre. Darüber ist die Zeit einer halben Schwingungsdauer vergangen. Die Luft schwingt an beiden Enden isochron von aussen nach innen und von innen nach aussen, während sich in der Mitte ein Querschnitt befindet, in dem sie in Ruhe ist, indem sie nur abwechselnd verdichtet und verdünnt wird. So hat jeder Hohlkörper einen Ton, durch den die Luft in ihm in die stärksten und einfachsten Schwingungen versetzt wird, und man bedient sich deshalb nach Helmholtz' Vorgange solcher Hohlkörper, namentlich kugelförmiger, unter dem Namen der Resonatoren, um einen bestimmten Ton, den Eigenton des Resonators, zu verstärken. Figur 66 zeigt einen solchen Resonator, der einerseits dazu dient, eine auf seinen Ton abgestimmte Stimmgabel, die man über seine Oeffnung hält, stärker hörbar zu machen, andererseits aber auch mit seinem verjüngten Ende ins Ohr gesetzt wird, um seinen Eigenton in einer Klangmasse zu verstärken und dadurch kenntlich zu machen.

Fig. 64.

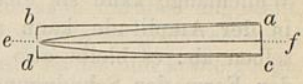
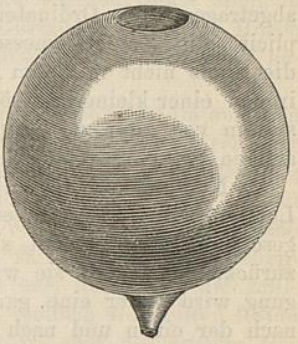


Fig. 65.

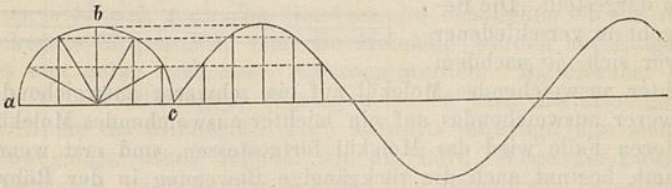
Fig. 66.



Wir haben gesehen, dass, wenn Impulse, die unser Ohr treffen, in unregelmässiger Reihenfolge aufeinander folgen, ein Geräusch entsteht, dass

aber, wenn dieselben regelmässig, periodisch aufeinander folgen, ein Ton entsteht. Wir haben ferner gesehen, dass die Töne verschieden sind durch ihre Höhe und durch ihre Stärke. Wir unterscheiden aber noch eine andere Verschiedenheit an den Tönen, die sich auf die Qualität derselben bezieht. Wir können z. B. den Ton einer Geige nicht mit dem Tone einer Flöte verwechseln, und wir können auch die Töne von verschiedenen Menschenstimmen mit Leichtigkeit von einander unterscheiden. Worin kann diese qualitative Verschiedenheit der Töne liegen? In der Wellenlänge kann sie nicht liegen, von der hängt die Höhe der Töne ab, in der Amplitude kann sie nicht liegen, von der hängt die Stärke derselben ab: es bleibt also nichts übrig, als dass diese Verschiedenheit von der Form der Schwingung abhängt. Wenn Sie die Luft durch eine über einen Resonator gehaltene Stimmgabel in Schwingungen versetzen, so schwingen die einzelnen Moleküle nach den Pendelgesetzen. Die Schwingungen können durch die Sinuscurve dargestellt werden. Diese erhält man dadurch, dass man sich einen Kreis auf der Abscissenaxe abgerollt denkt und die Ordinaten nach dem Sinus der abgerollten Bogenstücke oder, was dasselbe ist, nach dem Sinus der bei dem Abrollen durchlaufenen Winkel bemisst. *a b c* Figur 67 sei die eine Hälfte des abzurollenden Kreises.

Fig. 67.



Die Peripherie ist in gleiche Stücke getheilt und auf der Abscissenaxe abgetragen. Die Ordinaten sind den Sinus der zugehörigen Bogen, multiplicirt mit dem Halbmesser, gleich gemacht. Würde ich die Zahlen für die Sinus nicht mit dem Halbmesser des abgerollten Kreises, sondern mit irgend einer kleineren Grösse multiplicirt haben, so würde ich ein Wellensystem von kleinerer Amplitude, aber immer noch das Bild von pendelartigen Schwingungen erhalten haben.

Nun denken Sie sich die Art und Weise, wie eine Geigensaite die Luft in Schwingung versetzt. Die Geigensaite wird durch den Bogen fortgeschleppt, dann reisst sie sich von dem Bogen los und schwingt frei zurück, dann wird sie wieder vom Bogen erfasst u. s. w. Die Schwingung wird daher eine ganz andere Gestalt haben, indem die Bewegung nach der einen und nach der anderen Seite nicht mit gleicher Geschwindigkeit erfolgt.

In solchen qualitativen Verschiedenheiten der Schwingungen ist auch die qualitative Verschiedenheit der Töne begründet, das, was wir mit dem Namen des Timbre oder der Klangfarbe bezeichnen. Wir werden aber später sehen, dass wir vermöge der Organisation unseres Gehörorganes Schwingungsgestalten nicht als solche wahrnehmen, sondern, dass in unserem Ohre ein eigenthümlicher Zerlegungsprocess mit den Schwingungen vor sich geht.

Aeusseres Ohr.

Wir müssen uns erst mit dem Baue des Ohres und mit der Art und Weise, wie die Schallwellen an den Gehörnerven übertragen werden, bekannt machen. Zuerst treffen die Schallwellen die Ohrmuschel und den äusseren Gehörgang. Im äusseren Gehörgange werden sie wie in einem Sprachrohre fortgeleitet. Von der Ohrmuschel hat man gesagt, dass sie dazu diene, den Schall zu concentriren und in den äusseren Gehörgang hinein zu reflectiren, ja man hat sogar Betrachtungen darüber angestellt, wie alle einzelnen Windungen des äusseren Ohres gerade so gestaltet seien, dass sie in dieser Beziehung das Mögliche leisten. Es ist nun keine Frage, dass ein Theil der Schallwellen, die die Ohrmuschel treffen, auf dem Wege der Reflexion in den äusseren Gehörgang hineingelangt. Andererseits ist es aber ausser Zweifel, dass gerade bei dem Ohre des Menschen die Menge der Schallwellen, welche auf diese Weise reflectirt wird, keine bedeutende ist, keine so bedeutende wie bei vielen Thieren, die grosse trichterförmige Ohren haben, deren Trichteröffnung sie gegen die Schallquelle hin richten können. Es kommen aber nicht allein die Schallwellen in Betracht, die auf dem Wege der Reflexion von der Ohrmuschel in den äusseren Gehörgang hinein reflectirt werden; es kommen auch die Schallwellen in Betracht, die an die Ohrmuschel übertragen werden. Die Ohrmuschel besteht aus einem Netzknorpel mit einer verhältnissmässig geringen Menge von Zwischensubstanz, welcher mit dem fibrösen Ueberzuge, welcher das Perichondrium bildet, eine im hohen Grade elastische, mehrfach gebogene Lamelle darstellt. Von dieser wird indessen doch nur ein sehr kleiner Theil der lebendigen Kraft der Schallwellen auf die Knochen und so auf das innere Ohr übertragen. Es ist nicht gerade selten, dass man Individuen mit fehlender Ohrmuschel beobachten kann. Bei solchen hat es sich gezeigt, dass sie zwar auf der Seite, wo ihnen die Ohrmuschel fehlt, weniger gut hören als auf der andern, dass sie aber doch nicht in hohem Grade harthörig sind. Der Werth der Ohrmuschel für das Hören ist also beim Menschen nicht so gross, wie dies Laien anzunehmen geneigt sind.

Auffallend ist es auf den ersten Anblick, dass Hindernisse im äusseren Gehörgange, wenn sie denselben nicht geradezu verstopfen, das Hören sehr wenig erschweren. Es ist bekannt, dass ein Schall in seiner Fortleitung am meisten durch fein vertheilte, feste Körper gehindert wird. Wenn man sich vor dem Clavierspiele eines Nachbars, von dem man durch eine doppelte Thüre getrennt ist, schützen will, so füllt man den Zwischenraum zwischen den Thüren mit Heu oder Stroh aus, um durch die zahlreichen Reflexionen, die die Schallwellen an den vielfach vertheilten festen Körpern erleiden, die Töne zu schwächen. Nun ist aber der äussere Gehörgang mit Haaren besetzt, die in den späteren Lebensjahren oft eine bedeutende Länge erreichen, ja büschelförmig zum äusseren Gehörgang herauswachsen können, ohne dass dadurch das Hören wesentlich beeinträchtigt wird. Man kann sich ferner überzeugen, dass ein Baumwollenbausch, lose in den äusseren Gehörgang gesteckt, das Hören nur wenig hindert: man muss erst den Gehörgang förmlich tamponiren, um sich im hohen Grade harthörig zu machen. Es hängt dies offenbar mit der Kürze des Weges zusammen, den der Schall im äusseren Gehörgange zurückzulegen hat.

Trommelfell und mittleres Ohr.

Vom äusseren Gehörgange gelangen die Schallwellen an das Trommelfell. Das Trommelfell ist eine fibröse Platte, welche aus einer äusseren radiären Lage von Fasern besteht und aus einer inneren ringförmigen, die am Rande stärker ist, nach innen gegen das Centrum hin schwächer wird. Nach aussen, sagt man, gehe die Cutis über dasselbe hin. Das, was aber von der Cutis über das Trommelfell hingeht, besteht in einigen Elementen von gemeinem Bindegewebe und dem äusseren Epithel des Trommelfells, welches hier als eine Fortsetzung des Oberhäutchens des äusseren Gehörganges erscheint. Nach innen setzt sich in ähnlicher Weise die Auskleidung der Trommelhöhle fort. Die Trommelhöhle ist mit einem bindegewebigen, gefässreichen Ueberzuge ausgekleidet, der ein Flimmerepithel trägt. Ein Theil dieses Bindegewebes setzt sich fort auf das fibröse Gewebe des Trommelfells, und ebenso setzt sich das Epithel, welches die Trommelhöhle auskleidet, flacher werdend auf die innere Oberfläche des Trommelfells fort. Es soll hier beim Menschen in der Regel nicht flimmern, so wie auch am Promontorium die Flimmern vermisst worden sind; in einigen Fällen ist jedoch ein deutliches Flimmerepithel auf der Innenfläche des Trommelfells auch beim Menschen beobachtet worden.

Das Trommelfell kann durch den Hammer concav angespannt werden und ist für gewöhnlich concav angespannt. Hiebei wirkt bekanntlich ein Muskel, der M. tensor tympani seu M. mallei internus. Es fragt sich nun: Welchen Nutzen hat diese Anspannung des Trommelfells? Man hat den M. mallei internus im Zusammenhang mit dem M. stapedius früher als den Accommodationsmuskel des Ohres angesehen. Dies beruhte auf folgender Betrachtung. Wenn gegen eine gespannte Membran ein Zug von Schallwellen ankommt, so wird die Membran dadurch in Schwingungen versetzt. Jede gespannte Membran hat nun ihren Eigenton, der sich mit der Spannung ändert. Das ist der Ton, den man hört, wenn man die Membran anschlägt, und der dadurch entsteht, dass die angeschlagene Membran mit Schwingungen von einer gewissen Dauer in ihre Gleichgewichtslage zurückkehrt, und ehe sie dieselbe wieder bleibend einnimmt, um dieselbe hin- und herschwingt. Es ist nun klar, dass, wenn die Schwingungszahl des Wellensystems, welches gegen die Membran anrückt, mit der Schwingungszahl des Eigentons übereinstimmt, die Membran, wenn sie durch eine Verdichtungswelle vorgeschoben ist, gerade zurückschwingen wird, während die Verdünnungswelle sie trifft: sie wird also in derselben Richtung zu schwingen suchen, wenn die nächste Verdichtungswelle ankommt, sie wird so in die lebhaftesten Schwingungen versetzt werden. Sie wird also stärker mitschwingen als mit jedem andern Ton und wird diese Schwingungen höchst vollständig an das hinter ihr liegende Medium, an die Luft, übertragen. Nun hat man sich früher gedacht, der M. tensor tympani habe die Function, das Trommelfell jedes Mal so anzuspannen, dass sein Eigenton derart wird, dass es möglichst mit den Tönen, welche ankommen, mitschwingt und deshalb diese möglichst vollkommen an die Luft der Paukenhöhle überträgt. Man sieht aber leicht ein, dass sich dies eben nur auf Töne beziehen könnte, und zwar auf Töne von einiger Dauer, da man nur diesen immer auf solche Weise mit der Accommodation des Ohres folgen könnte, dass dies nicht mehr möglich wäre bei Tönen, die

mit grosser Geschwindigkeit wechseln, und dass es gar keinen Sinn haben würde bei Geräuschen, und doch ist uns Feinheit des Ohres für die Geräusche viel wichtiger als die für Töne. In der menschlichen Sprache sind es gerade die Geräusche, die Consonanten, welche viel schwerer zu erfassen sind als die Vocale. Der Taubstummenlehrer sagt von einem Eleven, er habe noch Vocalgehör, das heisst, er hört noch so viel, dass er die Vocale von einander unterscheiden kann, aber nicht mehr so viel, dass er die Consonanten unterscheiden kann. Für das feine Auffassen der Geräusche würde eine solche Accommodation des Trommelfells gerade sehr nachtheilig sein: denn eine Membran, die in starke Schwingungen versetzt wird und in diesen fortschwingt, langsam austönt, ist sehr ungeeignet, gleich darauf und noch ehe sie zur Ruhe gekommen wieder andere Schwingungen aufzunehmen, weil diese in den noch restirenden Schwingungen eben so vielen Störungen begegnen. Gerade eine Membran, die schlecht mittönt und deshalb gleich wieder zur Ruhe kommt, ist am meisten geeignet, Geräusche aufzufassen, verschiedenartige Impulse in ganz unregelmässiger Reihenfolge gewissermassen in getreuem Abdruck wieder an die dahinter befindliche Luft zu übertragen. Ein sehr rasches Austönen aber wird bekanntlich durch das Princip der Dämpfung erzielt, dadurch, dass die schwingende Membran mit anderen, sie belastenden und hemmenden festen Körpern verbunden ist, an welche sie beim Schwingen diejenigen lebendigen Kräfte überträgt, die sie nicht beim ersten Impulse an die Luft übertragen hat. Es ist deshalb aus theoretischen Gründen wahrscheinlicher, dass der ganze Apparat der Gehörknöchelchen in Rücksicht auf das Trommelfell mehr als Dämpfer dient, als dass er zur Accommodation des Trommelfells für Töne von verschiedener Höhe verwendet wird.

Hensen fand bei directer Untersuchung an Hunden und Katzen, dass der Muskel Töne und Geräusche bei ihrem Entstehen mit einer Zuckung beantwortet. Dieselbe ist um so stärker, je lauter, aber auch um so stärker, je höher der Ton ist. Dauernde Töne versetzen den Muskel nach Bockendahl in dauernde Contraction. Es beweist dies aber strenge genommen nur, dass der Muskel beim Hören in Action tritt, nicht aber dass er das Trommelfell jedes Mal für verschieden hohe Töne accommodirt.

Wir haben gesehen, dass der Hammer mit dem Hammermuskel das Trommelfell nicht allein anspannt, sondern dass er es concav in einer bestimmten Form anspannt, und Helmholtz hat darauf aufmerksam gemacht, dass gerade diese Concavität des Trommelfells eine Bedeutung für die Mechanik des Hörens habe. Er sagt: Es kommt darauf an, dass die lebendigen Kräfte, welche in den Schallwellen thätig sind, möglichst vollständig an das innere Ohr übertragen werden, dass dabei aber doch keine grosse Amplitude entsteht, indem diese für die Einrichtung des Ohres nicht verwendbar wäre. Wenn eine concave Membran bis zu einer gewissen Amplitude fortgetrieben, weiter ausgebaucht werden soll, so ist damit eine grössere Dehnung verbunden, als wenn die Membran von vorneherein flach gewesen wäre. Indem eine grössere Dehnung dazu gehört, wird auch eine grössere Summe von lebendigen Kräften erfordert. Diese werden in Spannkraft umgesetzt, und vermöge dieser grösseren Summe von Spannkraft schwingt dann diese Membran wieder energisch zurück. Es werden also bei verhältnissmässig kleinen Amplituden verhältniss-

mässig grosse Summen von lebendigen Kräften auf die Gehörknöchelchen und von diesen dann wiederum mit kleinen Amplituden auf die Membran des ovalen Fensters und das Labyrinth übertragen.

Helmholtz hat ferner auf eine andere interessante Einrichtung an den Gehörknöchelchen aufmerksam gemacht. Er hat darauf aufmerksam gemacht, dass das Gelenk, durch welches Hammer und Ambos mit einander verbunden sind, nicht ganz so frei ist, wie man auf den ersten Anblick glaubt. Es befinden sich am Hammer und Ambos Hervorragungen, die wie Sperrzähne in einander greifen. Diese hindern einander nicht bei der Bewegung des Trommelfells und des Hammers nach aussen. Deshalb können Trommelfell und Hammer ein Stück nach aussen gehen, ohne dass dadurch Ambos oder Steigbügel mitgenommen werden. Gehen sie aber nach innen, so fassen die Sperrzähne an, so dass sich jetzt die Gehörknöchelchen als ein zusammenhängendes Ganzes bewegen und somit ein Impuls vom Trommelfell direct auf die Fenestra ovalis fortgepflanzt wird. Bei den Vögeln und Amphibien ist ja auch statt der Kette der Gehörknöchelchen nur ein solches Gehörknöchelchen, die sogenannte Columella, vorhanden, die den Dienst leistet, den bei uns die drei miteinander durch Gelenke verbundenen Gehörknöchelchen leisten.

Auf diese Weise werden also Impulse, die das Trommelfell treffen, durch die Kette von festen Theilen, welche die Gehörknöchelchen darstellen, auf die Membran des ovalen Fensters und somit auf die Labyrinthflüssigkeit und den Gehörnerven übertragen. Daneben existirt eine Schallleitung durch die Luft. Es werden ja auch Impulse an die Luft der Trommelhöhle übertragen, die sich bis auf die Labyrinthflüssigkeit und den Gehörnerven fortpflanzen. Bei der Schwierigkeit aber, mit der Schallwellen von festen Theilen auf die Luft und umgekehrt von der Luft auf feste Theile übergehen, kann man sagen, dass die Leitung, die in festen Theilen verbleibt, bei Weitem die wichtigere ist, und dass die Schallleitung durch die Luft der Trommelhöhle nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Wichtig für die Schallleitung ist die Spannung der Luft der Trommelhöhle, weil hievon die Spannung des Trommelfells abhängt. Aus der Trommelhöhle führt eine Röhre in die Rachenhöhle hinein, durch welche Secrete, die sich in der Trommelhöhle angesammelt haben, in die Rachenhöhle abfliessen können. Es ist dies die Tuba Eustachii. Indem die Tuba Eustachii von Zeit zu Zeit beim Schlingen geöffnet wird, bei einzelnen Individuen sogar bleibend offen zu stehen scheint, wird eine Communication zwischen der atmosphärischen Luft und der Luft in der Trommelhöhle hergestellt, so dass sich der Druck der Luft in der Trommelhöhle nicht wesentlich von dem der atmosphärischen entfernen und folglich auch keinen Einfluss auf die Spannung des Trommelfells üben kann. Anders verhält es sich, wenn die Tuba Eustachii verstopft ist. Dann kann der Druck in der Trommelhöhle über den atmosphärischen steigen oder unter denselben sinken und wird in beiden Fällen einen Einfluss auf die Spannung des Trommelfells haben. Dieser ist, wie die Erfahrung lehrt, im hohen Grade nachtheilig. Davon kann man sich überzeugen, wenn man bei geschlossener Nase die Luft aus der Trommelhöhle ansaugt oder Luft in dieselbe hineinpresst. Der Arzt ist deshalb nicht selten im Falle, durch Katheterismus die Tuba Eustachii wieder wegsam zu machen, um das Trommelfell wieder unter normale Verhältnisse zu versetzen.

Inneres Ohr.

Wir sind nun den Schallwellen in die Tiefe, bis zum inneren Ohre, gefolgt. Wir haben gesehen, dass sie theils durch feste Theile und theils durch die Luft übertragen werden. Von jetzt an wird eine Flüssigkeit in Bewegung gesetzt, und diese erregt wieder durch ihre Bewegungen die Endigungen des N. acusticus. Nun zerfällt bekanntlich das innere Ohr in zwei Theile. Den einen stellt die Schnecke, den andern das Labyrinth mit den Bogengängen und Ampullen dar. Es fragt sich zunächst: Wozu dienen die Bogengänge? Man hat die Behauptung aufgestellt, dass die Bogengänge dazu dienen, die Richtung wahrzunehmen, aus welcher der Schall kommt, und man kann nicht läugnen, dass die Anordnung derselben in drei fast senkrecht aufeinander stehenden Ebenen, die mit merkwürdiger Regelmässigkeit fast durch die ganze Wirbelthierreihe hindurchgeht, zu einem solchen Gedanken Veranlassung gibt. Nichtsdestoweniger lässt sich darthun, dass diese Idee unbegründet ist. Inwieweit wissen wir denn überhaupt, woher der Schall kommt? Wir wissen es, insoweit wir wahrnehmen, dass wir mit dem rechten oder linken Ohre stärker hören, weiter nicht. Man verbindet einem Menschen die Augen und halte ihm eine tickende Uhr in der Medianebene bald vor die Stirn, bald über den Scheitel, bald vor das Kinn oder hinter den Hinterkopf und frage, wo sich die Uhr befinde. Allerdings gibt er häufig ihren Ort richtig an, aber häufig auch unrichtig. Wenn wir aber eine unmittelbare Wahrnehmung von der Richtung, aus welcher der Schall kommt, hätten, müsste der Ort der Uhr unter allen Umständen richtig angegeben werden, was nicht der Fall ist. Es zeigt aber auch schon die Erfahrung des gewöhnlichen Lebens, dass wir keine directe Wahrnehmung von der Richtung haben, aus welcher uns der Schall zukommt. Worauf beruhen die Künste der Bauchredner? Was thut der Bauchredner? Er kann nichts Anderes, als seine Sprache mit seinem Kehlkopfe und seinen Mundwerkzeugen hervorzubringen, er kann die Schallquelle nicht an einen andern Ort verlegen, aber er verändert den Ton seiner Stimme, er spricht einmal, wenn er sich selbstredend einführt, mit dem lauten und hellen Tone seiner Stimme, dann dämpft er den Ton, er verschleiert ihn und sucht zugleich die Vocale und die Consonanten hervorzubringen, ohne dass er die Lippen bewegt, oder wenigstens so, dass er die Lippen möglichst wenig bewegt, um uns nicht merken zu lassen, dass er es selbst ist, der spricht. Dadurch, dass er den Ton der Stimme dämpft, glauben wir, dass die Laute aus einem andern Raume herkommen, und der Bauchredner deutet auf einen bestimmten Ort hin und macht uns glauben, dass sich dort ein Individuum befinde, mit dem er sich unterhält.

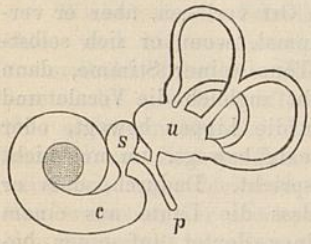
Auch bei den gewöhnlichen Kinderspielen, bei den Versteckspielen, bei denen gerufen oder gepfiffen wird, um ein Zeichen zu geben, zeigt sich, dass wir keine directe Wahrnehmung von der Richtung haben, aus der der Ton kommt, abgesehen von der Wahrnehmung, die uns daraus erwächst, dass wir einmal mit dem einen, das andere Mal mit dem andern Ohre stärker hören.

Wir kennen bis jetzt überhaupt gar nicht mit Sicherheit eine Beziehung der Bogengänge als solcher zum Hören, wir kennen aber eine Beziehung der Bogengänge zu dem Gefühle vom Gleichgewichte des Körpers.

Ich erinnere hier an die Versuche von Flourens und seinen Nachfolgern, welche wir, als wir von der Physiologie des Gehirns handelten, ausführlich besprochen haben. Es ist dabei ausdrücklich gesagt worden, dass beim Anschneiden, ja beim Zerstören der Bogengänge die Thiere nicht taub geworden seien, während sie beim Zerstören der Schnecke taub wurden. Fälle, in denen Menschen, deren eine Schnecke nachweislich ausgestossen worden war, auf dem kranken Ohre angeblich noch hörten, sind nicht beweisend. Dove wies schon vor 40 Jahren nach, dass die Schallwellen durch den Kopf von einem Ohre zum anderen fortgepflanzt werden, indem er die Schwebungen zweier Stimmgabeln hörte, von denen die eine vor das eine Ohr, die andere vor das andere Ohr gehalten wurde.

Ehe wir weiter die Rolle des inneren Ohres beim Hören erörtern, muss ich noch Einiges über den Bau desselben bemerken. Es sind in neuerer Zeit einige früher unbekannte Thatsachen eruirt worden. Die Aeste des N. vestibuli, welche zum häutigen Labyrinthe gehen, sind hier bis in gewisse epitheliale Gebilde verfolgt worden, ohne dass bis jetzt bei Säugethieren und Menschen die Art und Weise ihrer Endigung mit Sicherheit bekannt wäre. Vom häutigen Labyrinthe selbst nun gab man früher an, dass es, mit der Endolymphe gefüllt, in der Perilymphe schwimme. Rüdinger hat aber nachgewiesen, dass dies nicht der Fall ist, sondern dass die Bogengänge an das Periost durch eine bindegewebige Brücke befestigt sind und auch sonst bindegewebige Habenulae vom Periost zum Labyrinth gehen, so dass dasselbe weniger frei, als man sonst geglaubt hat, in der Perilymphe liegt. Hensen hat ferner gefunden, dass der Schneckenkanal durch den Canalis reuniens mit dem Sacculus seu Sacculus rotundus communicirt, und andererseits hat Arth. Boettcher gefunden, dass der Recessus labyrinthi, den man früher nur als embryonale Bildung kannte, und von dem man wusste, dass er in den Aquaeductus vestibuli umgewandelt werde, den man blos für den Durchgangskanal einer Vene hielt, dass dieser als Hohlraum fortexistirt. Es zeigte sich, dass er an seiner inneren, gegen die Dura mater gerichteten Seite mit einem angeschwollenen Ende blind endigt, und dass er sich an seiner dem Labyrinth zugewendeten Seite in zwei Aeste theilt, von denen der eine mit dem Sacculus, der andere mit dem Utriculus seu Sacculus ellipticus communicirt, so dass auf diese Weise Bogengänge, Utriculus, Sacculus und Schneckenkanal mit einander in der Weise communiciren, wie es in der beistehenden Figur 68, theilweise nach Waldeyer, dargestellt ist. *u* ist der Utriculus, *s* der Sacculus, *c* die Schnecke und *p* der Aquaeductus vestibuli.

Fig. 68.

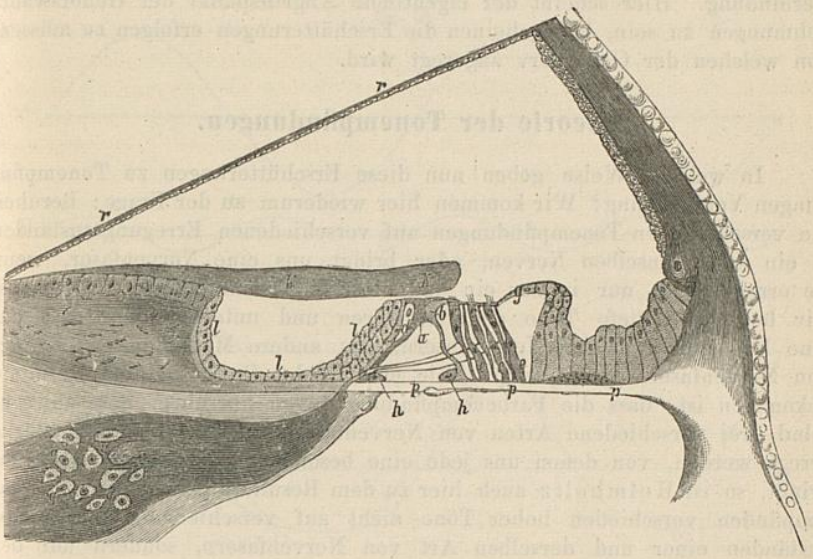


In der Schnecke kennt man seit langer Zeit zwei Abtheilungen, die Scala tympani und die Scala vestibuli, und diese beiden sind von einander durch eine Scheidewand getrennt, die theils häutig, theils knöchern ist, und deshalb in die Lamina spiralis ossea und die Lamina spiralis membranacea getheilt wird. Nun hat aber Reissner noch eine weitere Membran entdeckt, Figur 69 *rr*, welche von der Lamina spiralis ossea schräg durch die Scala vestibuli verläuft und sich an die äussere Wand des Schnecken-

kanals ansetzt. Sie heisst nach ihm die Reissner'sche Membran. Der Querschnitt des Schneckenkanals ist also nicht blos in zwei Abtheilungen, in die Scala tympani und Scala vestibuli, getheilt, sondern dazwischen liegt eine dritte Abtheilung, die auf Kosten der alten Scala vestibuli gebildet ist und den Namen Canalis cochlearis oder Scala media führt.

Gerade in dieser Abtheilung liegen alle diejenigen Gebilde, welche in neuerer Zeit das Interesse besonders in Anspruch genommen haben. Vor einer Reihe von Jahren entdeckte Corti, dass sich auf der Lamina spiralis membranacea eigenthümliche zellige Gebilde befinden, die in Reihen angeordnet sind, welche den spiralen Windungen der Schnecke folgen. Davon waren besonders zwei elastische Gebilde auffallend, welche nach Art eines Dachfirstes gegeneinander gestemmt waren, ein massiverer Theil,

Fig. 69.



Figur 69 *a*, welchen man in neuerer Zeit mit dem Namen des Steges, und ein dünnerer schlankerer Theil, Figur 69 *b*, den man in neuerer Zeit mit dem Namen der Saite bezeichnet hat. Ausserdem liegen daneben noch mehrere Arten von Zellen, die zum Theil von Corti schon gekannt waren, zum Theil erst von späteren Beobachtern beschrieben wurden und mit den Namen der inneren *(d)* und der äussern *(c c c)* Corti'schen Zellen, der Deiter'schen Zellen *(e e e)*, der Claudius'schen Zellen *(g)*, der inneren und äusseren Bodenzellen *(h h)*, des innern Epithels *(l l l)* u. s. w. benannt werden. Das ganze Gebilde in seinem Zusammenhange wurde mit dem Namen des Corti'schen Organs bezeichnet. Dasselbe ist überdeckt von einer streifigen Membran, die den Namen der Corti'schen Membran führt (siehe Figur 69 *k k*). Diese Membran ist beim Meerschweinchen, dem die nach A. von Winiwarter entworfene Figur entnommen ist, wenig entwickelt, beim Menschen dagegen viel mehr, und einzelne glauben sogar, dass sie hier die ganze Zellenmasse, welche auf der Lamina spiralis

membranacea aufliegt, überdeckt und mit der äusseren Wand in Verbindung steht. Auf Durchschnitten springt sie immer ab, zieht sich zurück und schnellt in die Höhe, so dass man ihre wahre Endbefestigung nicht mit Sicherheit darstellen kann. Die Fasern des Gehörnerven treten bekanntlich in den Modiolus der Schnecke ein und weichen von dort aus in Schraubengangform radial auseinander, um in die Lamina spiralis ossea einzutreten. In der Lamina spiralis ossea bilden sie Ganglienkugeln, Figur 69 *q q*, so dass dadurch eine korkzieherförmige Zone von solchen, die sogenannte Zona ganglionaris, entsteht. Dann gehen die Fasern weiter, durchbohren die Lamina spiralis, treten zum Theil an die Zellen des auf der Innenseite des Steges liegenden inneren Epithels und endigen hier nach Waldeyer, indem sie sich mit den inneren Corti'schen Zellen verbinden; zum Theil aber gehen sie zwischen den einzelnen Corti'schen Stegen hindurch und setzen sich mit den äusseren Corti'schen Zellen in Verbindung. Hier scheint der eigentliche Angriffspunkt der Gehörswahrnehmungen zu sein, hier scheinen die Erschütterungen erfolgen zu müssen, von welchen der Gehörnerv angeregt wird.

Theorie der Tonempfindungen.

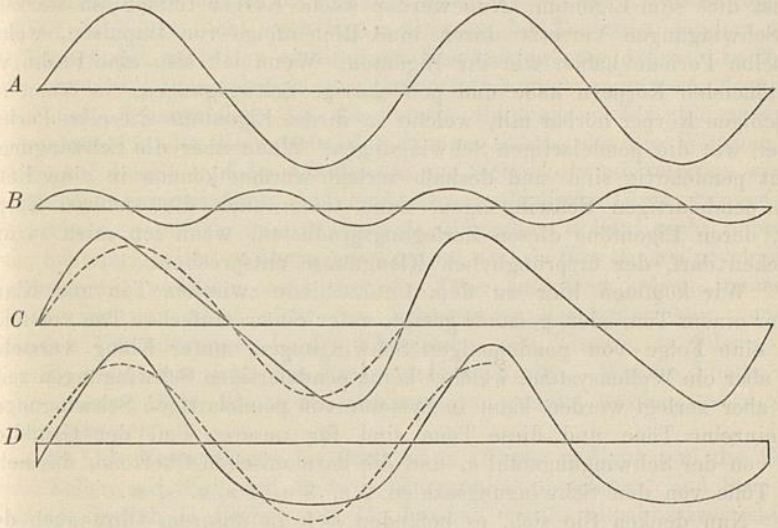
In welcher Weise geben nun diese Erschütterungen zu Tonempfindungen Veranlassung? Wir kommen hier wiederum zu der Frage: Beruhen die verschiedenen Tonempfindungen auf verschiedenen Erregungszuständen in ein und demselben Nerven, oder bringt uns eine Nervenfaser, wenn sie erregt wird, nur immer ein und dieselbe Tonempfindung zu, so dass wir hohe und tiefe Töne dadurch hören und unterscheiden, dass das eine Mal eine Art von Nervenfasern, das andere Mal eine andere Art von Nervenfasern erregt wird? Wie man in der Optik zu dem Resultate gekommen ist, dass die Farbenempfindung davon herrühre, dass abwechselnd drei verschiedene Arten von Nervenfasern in verschiedener Stärke erregt werden, von denen uns jede eine besondere Farbenempfindung zubringt, so ist Helmholtz auch hier zu dem Resultate gekommen, dass das Empfinden verschieden hoher Töne nicht auf verschiedenen Erregungszuständen einer und derselben Art von Nervenfasern, sondern auf der Erregung verschiedener Fasern beruhe, nur mit dem Unterschiede, dass wir hier nicht blos drei Arten von Nervenfasern, sondern eine continuirliche Reihe von einer sehr grossen Anzahl von Nervenfasern annehmen müssen, die uns alle die Empfindung von verschieden hohen Tönen zubringen, angefangen von den tiefsten Tönen, die wir hören, und die beiläufig 40 Schwingungen in der Secunde haben, bis zu den höchsten Tönen, die wir hören, die beiläufig 60.000 Schwingungen in der Secunde haben.

Es entsteht nun die weitere Frage: Wie geht es denn zu, dass diejenigen Töne, welche viele Schwingungen in der Secunde haben, andere Nervenfasern erregen als diejenigen Töne, die wenig Schwingungen in der Secunde haben, und dass die Töne je nach ihrer Höhe immer nur bestimmte Gruppen von Nervenfasern in Bewegung setzen? Um das zu verstehen, müssen wir näher auf die Art und Weise eingehen, wie sich akustische Wellensysteme zusammensetzen und zerlegen lassen. Wir wollen hier der Einfachheit halber vorläufig annehmen, dass die Verschiebung der Moleküle relativ sehr klein sei, dass wir sie im Verhältniss zum Abstande

der Moleküle als so klein betrachten können, dass es erlaubt ist, die durch die Verschiebung hervorgebrachte Aenderung in der Dichtigkeit und deren Wirkung zu vernachlässigen. Dann setzen sich die Wellensysteme einfach algebraisch zusammen, in der Weise, wie man es an den Wellenmodellen sichtbar darstellen kann.

Nun denken Sie sich, ich hätte ein Wellensystem von pendelartigen Schwingungen, von Schwingungen, wie sie eine Stimmgabel gibt, welche ich dadurch hörbar mache, dass ich sie über einen Resonator oder irgend einen anderen Hohlkörper halte. Die Schwingungszahl dieses Wellensystems soll n sein, und es sei durch die beistehende, aus Helmholtz' Werk über Tonempfindungen entnommene Figur 70 in A dargestellt. Nun denke ich mir, ich hätte ein zweites Wellensystem, welches die Schwingungszahl $2\,n$ hat. Es sei in Figur 70 B dargestellt. Wenn ich mir diese

Fig. 70.



beiden Wellensysteme zusammengelegt denke, so würde ich dadurch eine neue Curve C bekommen, die zwar noch dieselben Abstände der Maxima und dieselben Abstände der Minima hat, welche das Wellensystem A zeigt, in der aber die Welle selbst eine andere Gestalt hat. Jetzt denke ich mir, ich hätte ein Wellensystem von der Schwingungszahl $3\,n$, so würde ich wiederum dieses Wellensystem mit den beiden anderen zusammenlegen können, und ich würde dadurch wieder eine neue Figur bekommen, die aber noch immer die Periode n hat. So werde ich weiter $4\,n$, $5\,n \ldots m\,n$, kurz eine unbestimmte Anzahl zusammenlegen können. Je nachdem ich nun die Wellensysteme aus denen von den Schwingungszahlen $2\,n$, $3\,n$, $4\,n$ u. s. w. auswähle, und je nach den Amplituden, welche ich denselben gebe, werde ich eine unbegrenzte Menge von Wellensystemen von verschiedener Form aufbauen können.

Wenn ich nun auf diese Weise eine Menge verschiedener Wellensysteme aufbauen kann, so muss ich denselben Process auch rückwärts

durchmachen können, ich muss solche Wellensysteme, welche in ihrer Form nicht die Synuscurve darstellen, die ich mir aber aus verschiedenen pendelartigen Schwingungen nach dem Principe der Interferenz aufgebaut denken kann, rückwärts zerlegen können in andere Wellensysteme, welche aus pendelartigen Schwingungen bestehen, und welche mir, wenn ich sie wieder in derselben Weise zusammenlegen könnte, das ursprüngliche zerlegte Wellensystem herstellen würden. Das ist nun ein Process, den ein System von mittönenden Körpern vornimmt, aber nur dann vollständig vornimmt, wenn für alle Arten von resultirenden pendelartigen Schwingungen gleich gut mittönende Körper vorhanden sind.

Jeder Körper, der überhaupt in dauernde Schwingungen zu versetzen ist, der zum Mittönen zu bringen ist, hat seinen Eigenton, das heisst, wenn man ihn anschlägt, geht er nicht einfach in die Gleichgewichtslage zurück, sondern er macht Schwingungen um dieselbe, und von der Periode dieser Schwingungen hängt die Höhe des Tones ab, den er dabei gibt, es ist dies sein Eigenton. Nun werden solche Körper immer am stärksten in Schwingungen versetzt durch eine Reihenfolge von Impulsen, welche dieselbe Periode haben wie ihr Eigenton. Wenn ich also eine Reihe von mittönenden Körpern habe und pendelartige Schwingungen, so tönen nur diejenigen Körper hörbar mit, welche in ihrem Eigentone dieselbe Periode haben wie die pendelartigen Schwingungen. Wenn aber die Schwingungen nicht pendelartig sind und deshalb zerlegt werden können in eine Reihe von pendelartigen Schwingungen, dann tönen auch die anderen Körper mit, deren Eigentöne diesen Zerlegungsproducten, wenn ich mich so ausdrücken darf, der ursprünglichen Klangmasse entsprechen.

Wir kommen hier zu dem Unterschiede zwischen Ton und Klang. Unter einem Ton, oder, genauer gesagt, unter einem einfachen Ton verstehen wir eine Folge von pendelartigen Schwingungen, unter Klang verstehen wir aber ein Wellensystem, welches keine pendelartigen Schwingungen zeigt, das aber zerlegt werden kann in Systeme von pendelartigen Schwingungen, in einzelne Töne und diese Töne sind für unseren Fall der Grundton, der von der Schwingungszahl n, und die harmonischen Obertöne, das heisst die Töne von den Schwingungszahlen $2\,n$, $3\,n$, $4\,n$ u. s. w.

Nun denken Sie sich, es befänden sich in unserem Ohre auch dergleichen mittönende Körper und diese stünden in Verbindung mit Nervenfasern, und zwar jeder mit anderen, so wird, wenn ein reiner Ton von pendelartigen Schwingungen unser Ohr trifft, eine Gruppe von Nervenfasern stark erregt werden, die Fasern, die in Verbindung stehen mit demjenigen Theile, der stark mittönt. Andere werden noch schwach erregt werden, weil die mit ihnen zusammenhängenden Theile noch schwach mittönen, die übrigen aber werden nicht erregt werden. Wenn aber an unser Ohr eine Klangmasse gelangt, die mittönende Körper zerlegen müssen in verschiedene Systeme von pendelartigen Schwingungen, dann wird nicht nur eine Gruppe von Nervenfasern, es werden verschiedene Gruppen von Nervenfasern erregt, und die verschiedenen Tonempfindungen werden im Bewusstsein eben zu der Empfindung eines Klanges zusammengesetzt. Das, was wir Klangfarbe nennen, ist das Resultat des Grundtones in der Zusammensetzung mit seinen verschiedenen Obertönen, es ist die Modification, welche der Grundton durch das gleichzeitige Erklingen der Obertöne erfährt. Wenn wir einer Melodie nachgehen, so folgen wir mit unserem Ohre den

Bewegungen des Grundtones nach aufwärts und abwärt. Daneben aber geht etwas Anderes her, daneben unterscheiden wir die Qualität des Tones und auch die qualitativen Veränderungen des Tones während des Singens, und diese qualitativen Veränderungen des Tones beziehen sich auf den Wechsel der harmonischen Obertöne, welcher entsteht, je nachdem sich die Klangfarbe der Stimme beim Heraufgehen oder beim Heruntergehen der letzteren verändert.

Es scheint, dass die Verschiedenheit zwischen musikalischen und nichtmusikalischen Menschen, das heisst zwischen solchen, die musikalische Anlage haben, und solchen, die keine besitzen, auf der Art und Weise beruht, wie sie die Tonempfindungen auffassen, und davon abhängt, welchen Eindrücken sie mit ihrer Aufmerksamkeit folgen. Die musikalischen Menschen folgen wesentlich den Bewegungen des Grundtones, und diese prägen sich ihrem Gedächtnisse ein. Die nichtmusikalischen richten ihre Aufmerksamkeit mehr auf die Klangfarbe, für diese ist ein Ton, wenn er eine andere Klangfarbe hat, etwas Anderes, etwas Neues; sie unterscheiden die Qualität der Töne nicht nach ihrem Orte in der Tonleiter, sondern nach der Klangfarbe, nach der qualitativen Empfindung, die dadurch in ihrem Ohre entsteht. Damit hängt es wahrscheinlich auch zusammen, dass ausgezeichnete Schauspieler, die die feinste Empfindung für die geringste Veränderung in der Klangfarbe der Stimme haben, die die Wirkung der Affecte auf dieselbe auf das Allerfeinste und Sicherste wiederzugeben wissen, oft gänzlich unmusikalisch sind, und sehr musikalische Leute, Sänger und Sängerinnen, wenn sie zum Schauspiele übergehen wollen, nicht unbedeutende Schwierigkeiten zu überwinden haben, weil sie ihre ganzen psychischen Processe, mit welchem sie bisher die Töne aufgefasst haben, umändern müssen, um nun nicht mehr den Bewegungen des Grundtones, sondern eben den Veränderungen in der Klangfarbe, dem Timbre, zu folgen.

Es bleibt uns jetzt die Frage zu beantworten: Welche Theile sind es in unserem Ohre, die in Mitschwingungen versetzt werden und die die Nerven erregen.

Da die Nervenfasern im Corti'schen Organe endigen und die Cortischen Zellen mit Steg und Saite in Zusammenhang stehen, und Steg und Saite so zierlich in Reihen auf der Lamina spiralis membranacea stehen, dass sie gleichsam wie die Tasten eines Claviers, die man nur anzuschlagen braucht, aussehen, musste der erste Gedanke wohl der sein, dass es Stege und Saiten, in Sonderheit zunächst die Saiten des Corti'schen Organs wären, die in Mitschwingungen versetzt werden, so dass sie in verschiedenen Regionen der Schnecke mit verschieden hohen und tiefen Tönen mitschwingen und dadurch verschiedene Gruppen der radial ausgebreiteten Nervenfasern des Acusticus erregt werden. Das war auch in der That die erste Ansicht von Helmholtz, die er in seinem Werke über Tonempfindungen auseinandergesetzt hat. Er ist aber später davon zurückgekommen, und zwar aus einem Grunde, den die vergleichende Anatomie geboten hat. Es zeigte sich, dass bei den Vögeln kein eigentliches Analogon des Steges und der Saite vorhanden sei. Nun wissen wir aber, dass die Vögel musikalisch sind, dass ein Theil derselben sogar abgerichtet werden kann, Melodien nachzupfeifen. Ein Dompfaff muss offenbar die Töne in ganz ähnlicher Weise hören und auffassen wie wir, da er sie in ganz analoger Weise wiedergibt. Wenn er also keine Analogen für diese Gebilde hat, so ist

es einigermassen gewagt, in ihnen die primär mitschwingenden Theile zu suchen.

Nun ist aber die Membrana basilaris (Figur 69 *pp*), die fibröse Grundlage der ganzen Lamina spiralis membranacea, radial gefasert, so dass man mit grosser Wahrscheinlichkeit annehmnn kann, dass ihre Spannung in tangentialer Richtung, also senkrecht auf die Richtung der Fasern, verschwindend ist im Vergleiche zu ihrer Spannung in radialer Richtung. Unter diesen Umständen ist es erlaubt, sie physikalisch anzusehen als ein System von nebeneinanderliegenden Saiten, so dass die einzelnen radialen Zonen in verschiedenen Perioden, je nach ihrer Länge und ihrer Spannung, schwingen können. Helmholtz nimmt deshalb jetzt an, dass es die Membrana basilaris sei, deren einzelne Zonen zunächst in Mitschwingung versetzt werden, und dass durch diese die unmittelbar daraufliegenden Theile und mit ihnen die Nervenenden des Acusticus erregt werden.

Wir haben gesehen, dass die Klänge im Ohre zerlegt werden, indem daselbst nur pendelartige Schwingungen entstehen und also jeder Klang in diejenigen pendelartigen Schwingungen zerlegt wird, für welche er nach der Form und Periode seiner Schwingungen Impulse abgeben kann. Wir nehmen also eigentlich nicht den Klang als solchen wahr, sondern wir nehmen den Grundton desselben und die harmonischen Obertöne wahr; aber wir sind uns dessen für gewöhnlich nicht bewusst, weil wir immer den Klang als Ganzes auffassen, und es bedarf einer besonderen Aufmerksamkeit und Ueberlegung, um in der Klangmasse einzelne Obertöne zu erkennen. Nun kann ich aus zwei Wellensystemen nicht nur ein neues erzeugen, sondern mehrere, indem ich sie mir mit ihren Phasen in verschiedener Weise auf einander gelegt denke. So wurde Figur 70 aus *A* und *B* das System *C* erzeugt; es kann aber durch eine andere Aufeinanderlegung auch das System *D* erzeugt werden. Es kann also ein System von mitschwingenden Körpern in seinem actuellen Zustande gleichzeitig Wellensystemen von verschiedener Form, aber gleicher Periode entsprechen. Es fragt sich deshalb, nimmt das Ohr wirklich die Gestalt der Wellen wahr, die ihm zukommen, oder nimmt es, wie man nach dem Bisherigen erwarten muss, nur das Resultat der Analyse wahr, die es mit den Klängen vorgenommen hat?

Helmholtz hat mittelst Stimmgabeln dieselben Wellensysteme thatsächlich zu verschiedenen Formen zusammengesetzt und gefunden, dass der Klang ein und derselbe war. Das Ohr nimmt also nicht die Gestalt der Welle als solche wahr, sondern nur das Resultat der Analyse. Gleiche Klänge müssen, wenn ich mich so ausdrücken darf, physikalisch isomer sein, aber sie brauchen nicht physikalisch isomorph zu sein. Die Welle braucht nicht dieselbe Gestalt zu haben, wenn nur das Resultat der Analyse dasselbe ist, wenn ich bei der Zerlegung nur dieselben Wellensysteme pendelartiger Schwingungen mit denselben Amplituden erhalte. Den zu dieser Anschauung führenden Erfahrungen von Helmholtz hat R. König nach seinen Erfahrungen widersprochen. Er hört bei Veränderung der Phasendifferenz eine mässige Veränderung der Klangfarbe. Die Theorie des Hörens im Allgemeinen ist von dieser Controverse, über die man noch weiteren Aufschluss erwarten muss, unabhängig.

Wir haben bis jetzt immer nur Rücksicht genommen auf einen einfachen Klang; es ist aber klar, dass, wenn mehrere Klänge zugleich an-

gegeben werden, diese sich auch in der Luft zusammensetzen müssen, da ja ein Luftmolekül in demselben Augenblicke immer nur in einer Weise und nicht gleichzeitig auch in einer andern Weise bewegt werden kann. Wir haben nun angenommen, dass bei dieser Zusammensetzung eine einfache algebraische Addition stattfinde; dabei haben wir aber vorausgesetzt, dass die Ausweichung der Moleküle aus ihrer Gleichgewichtslage nur sehr klein sei im Verhältnisse zum Abstande der schwingenden Moleküle von einander. Da, wo diese Bedingung nicht erfüllt ist, ist dieses Gesetz nicht mehr giltig, und da entstehen durch die Zusammensetzung von zwei Tönen sogenannte Combinationstöne. Es gibt deren zwei Arten, die einen, die stärker hörbaren, sind die Differenztöne, die dadurch charakterisirt sind, dass die Schwingungszahl des neuen Tones gleich ist der Differenz der Schwingungszahlen der beiden zusammensetzenden Töne. Diese sind von Sorge entdeckt, später auch von Tartini beschrieben worden, nach dem sie den Namen der Tartini'schen Töne führen. Die zweite Art der Combinationstöne bilden die Summationstöne. Diese sind dadurch charakterisirt, dass die Schwingungszahl des Combinationstones gleich ist der Summe der Schwingungszahlen der beiden zusammensetzenden Töne. Sie sind von Helmholtz entdeckt und zuerst in den Berichten der Berliner Akademie und in Poggendorf's Annalen beschrieben worden.

Die Combinationstöne können nun nicht blos durch Zusammensetzung der Grundtöne entstehen, sondern auch durch Zusammensetzung der Obertöne. Es kann also, wie Sie leicht einsehen, die Zahl der Töne, die aus einer Klangmasse hervorgeht, die das Ohr aus einer Klangmasse herausanalysirt, eine sehr bedeutende sein. Aber das Ohr fasst nicht jeden dieser Töne einzeln auf, sondern nur den Klang im Ganzen, und wenn es in einem Concerte seine besondere Aufmerksamkeit auf bestimmte Töne richtet, so sind diese auch nicht einfache Töne, sondern Klänge. Es ist ein bestimmtes Instrument mit seinem Klange, dessen Gang man in der ganzen Klangmasse mit seiner Aufmerksamkeit verfolgt.

Wir unterscheiden consonirende und dissonirende Töne und consonirende und dissonirende Klänge. Wir sagen, dass zwei Noten miteinander eine Consonanz, und dass zwei Noten miteinander eine Dissonanz geben. Man wusste seit langer Zeit, dass im Allgemeinen diejenigen Töne, deren Schwingungszahlen in einem einfachen Verhältnisse stehen, eine Consonanz geben, und dass diejenigen, deren Schwingungszahlen in einem complicirten Verhältnisse stehen, eine Dissonanz geben; aber worauf die Consonanz und Dissonanz eigentlich beruhe, ist erst von Helmholtz aufgedeckt worden. Helmholtz hat gezeigt, dass Consonanz nicht Anderes heisst als continuirliche Tonempfindung, und Dissonanz nichts Anderes heisst als discontinuirliche Tonempfindung. Zwei Töne, welche um ein sehr Geringes von einander entfernt sind, geben, wie wir früher gesehen haben, Schwebungen, indem sich durch das abwechselnde Aufeinanderfallen von Wellenberg und Wellenberg und dann wieder von Wellenberg und Wellenthal die Impulse in der einen Periode zu einander addiren, in der andern sich von einander abziehen, einander vernichten. Wenn die Differenz der Töne grösser wird, so muss die Periode, in der diese Abwechslungen erfolgen, kleiner werden, es müssen also mehr Schwebungen in der Zeiteinheit entstehen, und endlich rücken die Schwebungen so nahe an einander, dass dadurch ein gewisses Stossen, ein gewisses Knarren, eine unangenehme Rauhigkeit des

Tones entsteht, und das ist es, was man mit dem Namen Dissonanz bezeichnet. Die Rauhigkeit der Töne ist am grössten, wenn etwa 33 Schwebungen in der Secunde stattfinden. Wenn weniger Schwebungen in der Secunde stattfinden, ist die Dissonanz weniger unangenehm, weil dann die Schwebungen doch noch weiter auseinanderfallen und sich nicht so scharf markiren. Wenn mehr Schwebungen als 33 in der Secunde stattfinden, so verwischen sie sich wieder mehr, fliessen mehr ineinander und sind dadurch weniger lästig. Es gilt dies für alle Tonlagen. Es gilt auch für hohe Tonlagen, in welchen sich noch viel mehr als 33, ja noch mehr als 40 Schwebungen in der Secunde durch ihre Rauhigkeit kenntlich machen.

Helmholtz hat nun den Grad der Rauhigkeit der einzelnen Töne berechnet, rein nach physikalischen Grundsätzen, und hat dann gefunden, dass in der That das Resultat ein solches war, dass sich wirklich diejenigen Intervalle, welche als die reinsten und die besten bekannt sind, auch hier bei der Rechnung als die reinsten und besten erwiesen, und dass in der That für diejenigen Combinationen, welche in der Musik als entschiedene Dissonanzen bekannt sind, das Maximum der Rauhigkeit herauskam. Sie sehen leicht ein, dass hiermit eine theoretische Grundlage für die Musik gegeben ist, auf der Helmholtz auch in seinem Werke fortgebaut hat.

Damit überhaupt die Empfindung eines Tones entstehe, ist es nothwendig, dass bestimmte Nervengruppen lange genug erregt werden, damit der Ton als solcher erkennbar sei. Da, wo dies nicht der Fall ist, entstehen nur Geräusche. Sie werden zwar nach Sigm. Exner mit denselben Nerven gehört wie die Töne, aber die einzelnen Erregungen sind zu kurz oder zu rasch und unregelmässig wechselnd um es zur Tonempfindung kommen zu lassen. Auch unter den Geräuschen unterscheidet man tiefe und hohe, je nach der Art der Nervenfasern, welche erregt werden. Ein Kanonenschuss, ein Pistolenschuss, das Explodiren eines Zündhütchens und das Ueberspringen eines kleinen elektrischen Funkens bilden eine Reihe vom tiefen zu hohen. Einzelne lange Luftwellen machen tiefe Geräusche, kurze Luftwellen machen hohe Geräusche und setzen sich periodisch wiederkehrend erst zu Tönen zusammen, wenn eine gewisse Geschwindigkeit der Aufeinanderfolge erreicht ist, bei der schon ein relativ hoher Ton erzeugt wird. Tiefe Töne können sie nicht erzeugen, weil sie die tiefgestimmten Endgebilde nicht dauernd in Bewegung setzen. Deshalb existirt, abgesehen von der allgemeinen unteren Tongrenze, für jede Art von Impulsen eine eigene, im Allgemeinen höher liegende, untere Tongrenze, welche in erster Reihe von der Schwingungsdauer der einzelnen Impulse abhängt, während die Höhe des Tones, falls ein solcher entsteht, abhängig ist von dem zeitlichen Abstande der gleichnamigen Phasen der Impulse. Eine Kinderschnarre, in sehr schnelle Umdrehung versetzt, kann einen hohen Ton erzeugen, aber bei langsamerer Umdrehung erfolgt kein tiefer Ton, sondern ein Geräusch. Die meisten Explosivgeräusche bestehen aus mehreren Luftwellen, von denen die erste die kräftigste ist, nicht aus einer; aber die Gesammtdauer ist zu kurz um einen Ton als solchen erkennen zu lassen.