

Ueber die

# Fortschritte der Akustik.

Von

PROF. DR. FR. JOS. PISKO.

---

Vortrag, gehalten am 4. December 1878.



## Hochgeehrte Versammlung!

Wenn ich das gewagte Unternehmen versuche, Sie in einer kurzen Stunde über die Fortschritte der Schalllehre unterhalten zu wollen, so versteht es sich von selbst, dass dies weder allseitig noch erschöpfend geschehen könne. Ich habe mir vorgenommen, heute zu Ihnen von dem Hauptfortschritt der Akustik zu sprechen und Ihnen damit gleichsam den Schlüssel zu den anderen wichtigeren Erfindungen und Entdeckungen der Neuzeit auf diesem Gebiete zu geben. Sollte es mir in solcher Weise gelingen, Sie für diesen Gegenstand anzuregen und zu interessiren, dann reichen ja die Werke über die moderne Akustik die Hand zur ferneren eingehenderen Lektüre.<sup>1)</sup>

Wo liegt also der Kernpunkt des Fortschrittes der modernen Akustik?

Um hierauf zu antworten, müssen wir nachsehen, wie denn der Stand der Lehre vom Schalle war, als in jüngerer Zeit ein mächtiger Schritt nach vorwärts geschah. Schon die Alten hatten errathen, dass bei der Entstehung des Tones Bewegungen in der Schallquelle,

---

<sup>1)</sup> Wir begnügen uns hier zu nennen: Die Lehre von den Tonempfindungen. Von H. Helmholtz. 4. Aufl. 1877.

und bei seiner Fortpflanzung Bewegungen der Luft die Hauptrolle spielen; ja sie hatten sogar bei ihrer Erklärung des Schalles auf Wasserwellen als Bild hingewiesen; dennoch erfassten sie es nicht in bestimmter Weise, dass der Schall aus schnellen, periodisch erfolgenden Bewegungen der kleinsten Theilchen des schallenden Körpers herstammt. Der Begriff der Schwingung oder Vibration tritt erst später auf, und es sind noch nicht zweihundert Jahre abgelaufen, seit man es verstanden hat, die Schwingungszahl eines jeden Tones zu berechnen.

Wie aber kamen Pythagoras (586 v. Chr.) und seine Vorläufer zu jenem Zahlenverhältniss für die Töne, das so richtig zum Verhältniss der viel später entdeckten Schwingungszahlen stimmt? Zweifellos durch Aufsuchung des Längenverhältnisses verschieden hoch tönender Saiten! Schon die Alten hatten also die Bedingung für das Wachsen oder Sinken der Tonhöhe gefunden; jedoch erst das zweite Jahrtausend nach jener Zeit brachte den wahren Schlüssel zu dem Räthsel, genannt „Tonhöhe“. Und wie höchst einfach lautete diese Lösung: Es wird der Ton zwei-, drei-, viermal höher, wenn die zugehörige Schwingungszahl zwei-, drei-, viermal grösser ist, was mittelst der bekannten Syrenen von Savart, Seebeck oder Caignard-Latour nachgewiesen wird (Experiment).<sup>1)</sup>

---

<sup>1)</sup> Das in einer Klammer beigesetzte Wort „Experiment“ deutet darauf hin, dass der Vortragende den betreffenden Versuch der Versammlung vorgeführt hat.

Da die Alten keinen Begriff von den Schwingungen der Körpertheilchen hatten, so konnten sie selbstverständlich die Stärke eines Klanges nur derart erfassen, dass sie an die Heftigkeit der von ihnen dem Schalle beigelegten Bewegungen dachten. Es blieb also wieder einer späteren Zeit vorbehalten, genauer auszusprechen, dass die Schallstärke mit der Schwingungsweite der Massentheilchen zunimmt.

So wusste man denn seit geraumer Zeit in bestimmter Weise, wovon die Höhe und Stärke eines Tones abhängen. Es blieb also nur noch zu ergründen, wie es komme, dass die gleich hohen Töne eines Hornes und einer Clarinette, einer Violine und einer Flöte, und dergleichen mehr, so verschieden klingen. Man ahnte wohl, dass daran von einander abweichende Schwingungsformen Schuld sein mögen; Gewissheit und Einzelkenntnisse hierüber brachten aber erst die epochemachenden Arbeiten von Helmholtz (1859—1862). Und hier stehen wir schon vor dem fundamentalsten Fortschritt der Akustik.

Um denselben richtig erfassen und würdigen zu können, müssen wir vor Allem hinter das Wesen einer schwingenden Bewegung zu kommen suchen. Wer von Ihnen kennt nicht das Pendel? So langweilig und alltäglich das Hin- und Hergehen eines Pendels aussieht, so höchst interessant und merkwürdig ist es, wenn man darüber nachdenkt! Welche Kraft treibt das Pendel zu seiner Bewegung? Warum beharrt es in seinem einstöönigen Gang? Welchen Gesetzen ist seine Bewegung

unterworfen? Wir brauchen uns jedoch bei der kurz bemessenen Zeit mit der Antwort auf jene Fragen hier nicht aufzuhalten; denn Herr Hofrath Freiherr v. Burg hat bereits früher zu Ihnen darüber gesprochen, und auch jüngst wurde hier gerade jenes Gesetz des Pendels betont, dessen wir jetzt bedürfen <sup>1)</sup>), nämlich: Wenn Sie innerhalb einer gewissen Grenze ein Pendel einmal grössere, und das andere Mal kleinere Schwingungsbögen beschreiben lassen, so werden diese ungleich grossen Wege vom Pendel dennoch stets in derselben Zeit zurückgelegt, d. h. die Dauer der Pendelschwingungen, welche nur wenige Bogengrade betragen, ist von der Schwingungsweite unabhängig; man drückt dies Gesetz kurz dadurch aus, indem man sagt: Alle Schwingungen eines Pendels, wenn dessen Ausschläge nicht zu weit genommen werden, sind isochron. Deshalb hat es ja eben Huyghens (1655) als Regulator bei den Zeitmessern angewendet.

Wie das Pendel macht auch ein einseitig eingespannter Stahlstreifen, und ebenso eine gespannte Saite, wenn sie aus ihrer Ruhelage gebracht werden, Schwingungen oder Oscillationen, welche, bei beliebiger Weite der Schwingungen, stets isochron sind.

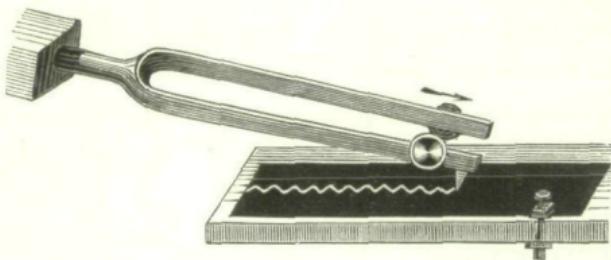
Auch die kleinsten Theilchen oder Moleküle aller tönenden Körper vollbringen derartige pendelartige oder einfachste Schwingungen, welche man Zitterungen

---

<sup>1)</sup> Ueber Pendelschwingungen. Von Dr. A. Freiherr v. Burg. Diese Schriften Bd. XVI, p. 479; ferner Galilei. Von Prof. Řiha. Bd. XIX, p. 129.

oder *Vibrationen* nennt. Bei dem Pendel ist es bekanntlich eine Seitenkraft der Schwere, welche das Pendel gegen seine Ruhelage zurückführt, und das Beharrungsgesetz, welche es darüber hinausführt; bei den *Vibrationen* der Körpertheilchen treten in ähnlicher Weise die *Elasticität* des Körpers und das Beharrungsgesetz ins Spiel. Wenn irgend ein Körper tönt, dann lässt sich nachweisen, dass immer eine grössere Gruppe von Körpertheilchen nach einem bestimmten *Ge-setze* gleichzeitig und gemeinschaftlich die Ruhe-

Fig. 1.



lage verlässt, gleichzeitig die grösste Weite der Schwingungen erreicht, gleichzeitig zur Ruhelage zurückkehrt, gleichzeitig nach der Gegenseite sich bewegt u. s. w.; man bezeichnet diesen fortdauernden, gemeinschaftlichen und regelmässigen Hin- und Hermarsch der kleinsten Körpertheilchen eines jeden tönenden Körpers kurz dadurch, dass man sagt: Ein jeder tönende Körper befindet sich in *stehenden Schwingungen*.

Die stehenden Schwingungen der tönenden Körper konnten schon früher in der mannigfachsten Weise nach-

gewiesen werden. Allein die Neuzeit hat diese Mittel noch um einige in sinnreicher Weise vermehrt. Zunächst dadurch, dass die schwingenden Stellen des tönenden Körpers, z. B. einer Stimmgabel (Fig. 1), mit Schreibstiftchen versehen werden, welch letztere dann, indem sie mitschwingen, auf vorübergeführten, berussten Glas- oder Papierflächen die Schwingungen in einer Zickzack- oder Wellenlinie einradiren; hierauf beruhen die Vibro- oder Phonographen.<sup>1)</sup> Ja selbst die stehenden Schwingungen in Luftsäulen kann man nach König (1862) mittelst zarter Membranen, welche mittelbar auf ein kleines Leuchtgasflämmchen wirken, ersichtlich machen. Ein Gleiches kann nach Kundt (1866) mittelst leichter Pulver, welche in der tönenden Luft von gläsernen Pfeifen aufwirbeln, gezeigt werden.

Eines der älteren sehr einfachen Mittel, die stehenden Schwingungen der tönenden Körper verrathen zu lassen, besteht darin, dass man den Rand des tönenden Körpers, z. B. einer Glocke, einer Stimmgabel o. dgl. m., von einem aufgehängten Metallkügelchen berühren lässt, die schwingenden Theilchen des schallenden Körpers bewegen dann jenes Metallkügelchen, dessen Schwingungen weithin sichtbar werden (Experiment). In ähnlicher Weise, wie hier der tönende Körper das anliegende Pendelchen durch Mittheilung der Bewegung in Schwin-

---

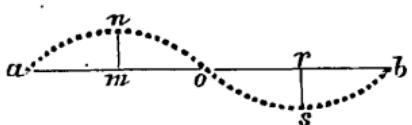
<sup>1)</sup> Der Vortragende zeigt hier die Abbildungen der von ihm angefertigten Tonschriften, wie dieselben in seinem Werke „Die neuen Apparate der Akustik“ (Wien, Gerold, 1865) abgedruckt sind.

gungen versetzt hat, so übertragen alle schallenden Körper die schwingende Bewegung ihrer eigenen Theilchen zunächst auf die anliegenden Theilchen des Schallmittels, welches in der Regel die atmosphärische Luft ist. Die in solcher Weise in Schwingung versetzten Theilchen der ersten Luftschichte verpflanzen in derselben Art ihre Schwingungen auf die Theilchen der zweiten Luftschichte, diese auf die dritte Luftschichte u. s. w. Die Schwingungen des tönenden Körpers übertragen sich also wieder durch Schwingungen von Schichte zu Schichte des Schallmittels, und zwar, wenn die Umstände, wie z. B. bei der freien Luft, es gestatten, nach allen Richtungen. Soll ein Mittel den Schall weiter zu leiten im Stande sein, so muss es elastisch sein; ebenso muss auch jeder tönende Körper elastisch sein. Wenn also ein Körper selbst tönt oder den Schall fortpflanzt, so ist dies ein Beweis, dass der betreffende Körper elastisch ist.

Eine gute Vorstellung von der Uebertragung oder Fortpflanzung der schwingenden Bewegung erhalten wir, wenn wir die schönen Wasserwellen betrachten, welche entstehen, wenn man ein Steinchen in den spiegelglatten Teich wirft. Rings um die Stelle, wo der Körper die ruhige Wasserebene getroffen hat, bilden sich, in abwechselnder Folge, kreisförmige Wasserberge und Wasserthäler, welche nach aussen hin fortschreiten und allmälig schwächer werden, je weiter sie vom Erregungsorte abliegen. Was ist die Ursache dieser weiter schreitenden Wellenberge und Wellenthäler? Das

Wasser hat an dem vom Steinchen getroffenen Orte einen Stoss erhalten. In Folge dessen schwingen die einzelnen Wassertheilchen senkrecht auf der Fortpflanzungsrichtung der Wellen, und zwar beginnen die weiterhin vom Erregungspunkte liegenden Theilchen ihre Schwingungen später. Verbindet man die verschiedenen Orte,

Fig. 2.



welche die schwingenden Punkte zu einer und derselben Zeit einnehmen, so erhält man eine eigenthümlich gekrümmte Curve (Fig. 2), welche

Wellenlinie heisst. Dieselbe besteht aus dem Wellenberg *ano* und dem Wellenthal *osb*, wobei *mn* die Höhe des Wellenberges, *rs* die Tiefe des Wellenthales und *ab* die Länge der Welle ist.

Bei einer Wellenbewegung geräth also nicht etwa die ursprünglich als ruhend angenommene Flüssigkeitsmasse ins Fliessen, sondern es schreitet nur die Formänderung ihrer Oberfläche, als Folge der periodischen Bewegung der Flüssigkeitstheilchen, fort. Man kann auf die blosse Formänderung der Oberfläche auch daraus schliessen, dass ein auf einem wellenden Wasser schwimmendes Brettchen, von den unter demselben hinziehenden Wasserbergen und Wasserthälern, nur gehoben und gesenkt wird, ohne von seinem Platze merklich abzuweichen; hiebei wird vorausgesetzt, dass die Wellen in einer ruhenden Flüssigkeit erregt worden sind.

Bei den Wasserwellen entstehen die Schwingungen der einzelnen Wassertheilchen dadurch, dass das Gleichgewicht hinsichtlich der Schwerkraft gestört worden ist. Allein auch die gestörte elastische Kraft kann periodische Bewegungen der Theilchen eines Körpers hervorrufen, welche zur fortschreitenden Wellenform führen. Dies findet z. B. bei der Fortpflanzung der Schallwellen statt. Im letzteren Falle vertritt jedoch eine Verdichtung des Schallmittels, in der Regel der Luft, den Wellenberg, eine Verdünnung des Schallmittels dagegen das Wellenthal; die Fortpflanzung des Schalles erfolgt also durch Verdichtungen und Verdünnungen des Schallmittels, welche zwar ursprünglich vom schallenden Körper bewirkt werden, welche sich jedoch dann, ähnlich wie bei den Wasserwellen, von Schichte zu Schichte übertragen, bis endlich die Schallwellen in das Ohr gelangen, wo sie in letzter Instanz die Ausläufer und Enden des Gehörnerves zum Hören erregen.

Die richtige Vorstellung von den fortgepflanzten Schwingungen oder von der Wellenbewegung ist nur dadurch etwas schwierig, weil die Wellenbewegung auf der direct nicht sichtbaren Bewegung der Theilchen der wellenwerfenden Körper beruht und gar leicht für eine fortschreitende Bewegung angesehen werden könnte, was sie keineswegs ist. Man sieht dies am besten beim „wogenden“ Getreide, bei welchem die Aehren, vom Winde angehaucht, hin- und herschwingen, und dadurch eine wellende, aber keine fortfliessende Be-

wegung hervorbringen. Die atmosphärische Luft, und in ähnlicher Weise auch jedes andere Schallmittel, verpflanzt also mittelst einer Wellenbewegung den Schall vom tönenenden Körper zum Ohr. Tönen mehrere Körper gleichzeitig, so zerstören sich die entsprechenden Wellensysteme keineswegs, sondern sie können sich an gewissen Stellen durchkreuzen und dann ungestört weiter gehen. Man sieht eine ähnliche Erscheinung bei den Wasserwellen, wenn mehrere Steinchen an verschiedenen Stellen eines ruhigen Teiches in das Wasser geworfen werden. Die in solcher Weise entstehenden verschiedenen Wellensysteme durchkreuzen sich wohl und bringen an den durchkreuzten Stellen, je nach Umständen, eine stärkere oder schwächere Wellenbewegung hervor; aber ausserhalb der Zusammentreffstellen geht jedes Wellensystem so ungestört weiter, als ob es ganz allein vorhanden wäre.

Das gleichzeitige Dasein oder die Coexistenz mehrerer Wellensysteme bringt also keine eigentliche Störung in die gesamte Wellenbewegung; denn selbst an den Orten, wo mehrere Wellensysteme zusammentreffen, ist das Resultat ein sehr einfaches. Fällt nämlich ein Wellenberg mit einem zweiten Wellenberg zusammen, so beträgt hier die Höhe des Gesammtberges die Summe jener Höhen; ebenso verhält es sich mit den Tiefen, wenn sie zusammenfallen. Kommt ein Wellenberg mit einem Wellenthal zusammen, so ergibt sich hier die resultirende Wellenhöhe, wenn man von der zugehörenden Höhe des Berges die entsprechende Tiefe des Wellenthales abzieht.

Gehen mehrere Wellensysteme von einem und demselben Punkte nach derselben Richtung gleichzeitig aus, so werden sie in allen Punkten des Mittels zusammenfallen, und es wird sich nach dem eben Gehörten eine einzige Wellencurve als resultirende construiren lassen, deren Form je nach der verschiedenen Höhe und Länge der einzelnen übereinander fallenden Wellen sehr verschieden ausfallen wird. Man kann das Ergebniss einer derartigen Uebereinanderlagerung (Superposition) von Wellen leicht begreiflich machen mittelst eines eigens hiefür erfundenen Apparates vom Herrn Professor A. Höfler.<sup>1)</sup>

Eine complicirte Wellencurve lässt sich also als die algebraische Summe zweier oder mehrerer einfacher Wellencurven ansehen. Je nach der Verschiedenheit der Form und Anzahl der einfachen Wellenlinien wird auch die Form der daraus zusammengesetzten Wellencurven anders ausfallen, und zwar in der Regel um so verwickelter, je zahlreicher und minder einfach die Wellencurven sind, aus welchen die complicirte Welle zusammengesetzt wird. Die Verschiedenheit der zusammengesetzten Wellenformen, die in solcher Weise zu Stande kommen, begründet die

---

<sup>1)</sup> Die Superposition der Wellen wurde in der Vorlesung an dem Höfler'schen Wellenapparat von dem Erfinder selbst demonstriert. Der betreffende Wellenapparat ist beschrieben in Carl's „Repertorium der physikalischen Technik“ Bd. XIV; ferner im Jahresberichte des Vereines „Mittelschule“ 1877/8.

Verschiedenheit des Klanges oder der Klangfarbe. Letztere röhrt also daher, dass jeder Klang aus mehreren verschieden starken und verschieden hohen, gleichzeitig auftretenden Tönen zusammengesetzt ist, welchen eine zusammengesetzte Wellencurve entspricht. Dies ist z. B. der Fall, wenn eine Saite als Ganzes schwingt; ihr stärkerer Grundton ist dann von schwächeren Tönen begleitet, deren Höhen zu jener des ersten sich wie 2, 3, 4, 5 verhalten, woraus folgt, dass die Saite nicht nur als Ganzes, sondern auch gleichzeitig in Hälften, Dritteln, Vierteln u. s. w. schwingen muss. Weil die Töne von der Höhe 2, 3, 4, 5 nicht nur mit dem Grundton als Einheit, sondern auch untereinander consoniren, so nennt man sie harmonische Töne.

Nicht nur der Klang einer Saite, sondern ein jeder Klang, er mag aus welcher Schallquelle immer kommen, besteht aus mehreren Tönen, deren Höhe meist wie die Zahlen in der natürlichen Reihe (1, 2, 3, 4, 5 u. s. w.) wachsen. Der erste dieser Töne ist in der Regel weitaus der stärkste, er ist im eigentlichen Sinne des Wortes der tonangebende, er ist der Grundton, nach dem sich der Musiker beim Stimmen richtet, ihn allein glaubt man zu hören — und doch klingt eigentlich ein harmonischer Chor von Tönen. Je nach der Anzahl und verschiedenen Stärke des jenen Grundton begleitenden, schwächeren Tonorchesters wechselt die entsprechende Wellenform, wechselt die Klangfarbe.

Diese den Grundton begleitenden, nach der natürlichen oder harmonischen Reihe 2, 3, 4, 5, 6 u. s. w.

geordneten Töne heissen seine harmonischen Overtöne. Der Klang eines zusammengesetzten Tones ist also ein Accord aus dem Grundton und seinen Overtönen. Jeden Einzelton eines Klanges nennt man seinen Partialton oder Theilton. Es verschmelzen demnach der Grundton und seine Overtöne zu dem, was wir Klang nennen, Diese so einfache Wahrheit hat zur Aufdeckung Jahrtausende bedurft, und Helmholtz hat nicht nur verschiedene Mittel angegeben, jeden der schwächeren Töne, von dem stärkeren Grundton getrennt, herauszuhören, sondern er mischt auch die einfachen Töne zu mannigfachen Klängen, ja sogar zu Vocalen! In welcher Weise dies geschieht, werden wir bald andeuten.

Zunächst wollen wir jedoch fragen, ob sich auch theoretisch jede zusammengesetzte Wellencurve wieder in einfache Wellencurven zerlegen lasse?

Die Antwort auf diese Frage hat schon Fourier (1816) gegeben, indem er mittelst des höheren Kalküls zeigte, dass sich jede noch so verwickelte Wellenform in die einfachsten Wellenformen zerlegen lasse, deren einfache Pendelschwingungen sich zu einander wie 1, 2, 3, 4, 5 u. s. w. verhalten. Die complicirte Wellencurve, welche z. B. einer klingenden Saite entspricht, kann also aufgelöst werden in eine einfache Curve von derselben Schwingungszahl wie jene (Grundton), dann in eine von der doppelten, ferner in eine von der dreifachen, vier- und fünffachen Schwingungszahl u. s. w. Akustisch genommen heisst dies: Der Klang, dessen zu-

gehörige Wellen, also auch dessen Schwingungen, wie z. B. bei einer klingenden Saite, eine verwinkelte Form haben, müsste sich zerlegen lassen in eine Reihe einfacher harmonischer Töne. Leistet das Ohr diese Aufgabe? Ist es im Stande, den Klang in seine Theiltöne zu zerlegen?

Gewöhnlich zerlegt das Ohr die Klänge nicht in ihre Theiltöne, denn bis zu unserer Zeit hielt man allgemein den Klang für etwas Einfaches. Jüngere Erfahrungen lehren jedoch, dass, bei gespannter Aufmerksamkeit und einiger Uebung, die stärkeren Obertöne ohne besondere Hilfsmittel wahrgenommen werden können. Es sind hierin besonders jene Musiker glücklich, welche sich, wie Sänger und Violinspieler, die Töne suchen müssen, oder welche, wie Kapellmeister, im Ohrenmerk sehr gewandt sind. Es ist gewiss sehr interessant, dass Rameau schon im Jahre 1726 einige Partialtöne der menschlichen Stimme erkannt hat, obschon gerade diese am schwierigsten zu unterscheiden sind. In unserer Zeit nahm Garcia öfter in einem gesungenen Klange die Octave und die Quinte der Octave sehr deutlich wahr. Bei besonderer Aufmerksamkeit hört ein jedes musikalisch gebildete Ohr in einem Saitenklang den dritten und fünften harmonischen Oberton, sobald das Verklingen eintritt, weil dann der Grundton schneller an Stärke verliert als jene Obertöne. Der zweite und vierte Oberton, als die Octaven, verschmelzen zu sehr mit dem Grundton, und bieten daher dem Ohr eine grössere Schwierigkeit, sie auszusondern.

Um auch ein akustisch ungeschultes Ohr in den Stand zu setzen, den Klang nach und nach in seine Partialtöne zu zerlegen, hat Helmholtz in sehr sinnreicher Weise die Resonanz angewendet. Wir haben hier zwei ganz gleiche Stimmgabeln, von welchen je eine auf einem dazu passenden Kasten aus Fichtenholz befestigt ist; beide Stimmgabeln stehen im Einklang, d. h. sie besitzen genau dieselbe Tonhöhe. Schlagen wir eine dieser Stimmgabeln mit einem gepolsterten Klöppel (Tampon) an, so geräth nicht nur diese Stimmgabel, sondern auch die andere ins Tönen. Wir überzeugen uns davon, wenn wir die angeschlagene Gabel durch Berühren mit dem Finger am Weiterschwingen, folglich am Weitertönen hindern; die nicht angeschlagene Gabel tönt noch immer fort, bis auch sie, durch Berühren mit dem Finger, zum Schweigen gebracht wird. Von dem Schwingen beider Gabeln überzeugen wir uns dadurch, dass von denselben während ihres Tönens ein kleines Pendelchen weggeschleudert wird. Stören wir den Einklang beider Gabeln dadurch, dass wir auf die oberen Enden einer dieser Gabeln ein Stück Wachs kleben, und sie dadurch zum langsameren Schwingen veranlassen; so geräth die zweite Stimmgabel nicht mehr von selbst ins Mittönen, wenn wir die erste Gabel anschlagen. Die Schwingungen der angeschlagenen Stimmgabel übertragen sich also nur dann auf die zweite Stimmgabel, wenn beide Stimmgabeln auf die gleiche Höhe gestimmt sind. Diese Uebertragung erfolgt sowohl durch die Schwingungen der Luft als durch die Schwin-

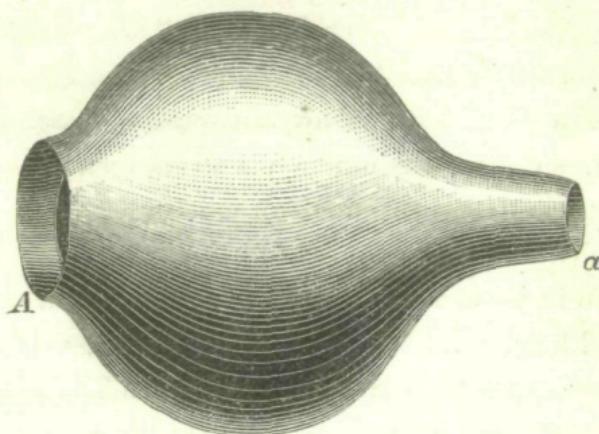
gungen der Theilchen des elastischen Holzkastens, auf welchem beide Gabeln befestigt sind. Ein jedes in solcher Weise erregtes Mittönen eines gleich gestimmten Körpers heisst Resonanz. Da durch die Resonanz ein gleich hoher Ton mit dem ursprünglichen erregenden Ton mittönt, so wird letzterer durch die Resonanz verstärkt.

Die Verstärkung des erregenden Tones durch den mitklingenden Ton zeigt sich recht auffallend, wenn wir eine Glocke durch Anschlagen zum Tönen bringen, und dann dieser Glocke eine Röhre nähern, deren Luftsäule in ihren Dimensionen zu dem Ton der Glocke passt. Die Luftsäule in dieser Röhre ist eigentlich eine Pfeife, welche auf den Grundton jener Glocke gestimmt ist. Sobald nun die Glocke mit ihrem Grundton tönt, so regt sie die gleich gestimmte Pfeife, d. i. die Luftsäule, zur Resonanz an, wodurch der Grundton der Glocke hervorstechend verstärkt wird (Experiment). In solcher Weise wurden auch oben die Luftsäulen in den Resonanzkästen der beiden Stimmgabeln zur Resonanz gebracht.

Wir haben also erfahren, dass auch abgesonderte Lufträume, wenn ihre Dimensionen zu einem gegebenen Tone passen, durch diesen Ton in Resonanz gerathen; sie sind dann auf denselben Ton gestimmt, wie jener Körper, welcher die Resonanz erregt. Man nennt nach Helmholtz derartig abgegrenzte Lufträume, welche nur bei einem bestimmten Ton in Resonanz gerathen, Resonatoren. Dieselben wurden zuerst (1862) von

Helmholtz angewendet, um aus einem Klange successive seine Theiltöne herauszuhören. Die Resonatoren

Fig. 3.



(Fig. 3) sind nahezu kugelförmige Hohlkörper aus Messingblech, deren Luftmasse so abgemessen ist, dass sie bei einem gewissen Tone ins Mitschwingen geräth. Jeder Resonator besitzt an dem einen Ende seiner Längenaxe eine weitere Mündung *A* und an dem anderen ein kleines Röhrchen *α*. Das letztere wird in den Gehör-gang eingeführt und das zweite Ohr verstopft. Wenn nun ein Klang den Ton enthält, auf welchen der Resonator abgestimmt ist, so wird er durch das Mityvibriren der Luft im Resonator so mächtig verstärkt, dass gerade dieser Ton vor allen anderen Theiltönen des zu analysirenden Klanges stark hervorsticht. Durch Anwendung einer nach den verschiedenen Tönen geordneten Reihe von Resonatoren kann also ein musikalisch

völlig ungebildeter und selbst harthöriger Forscher alle Partialtöne eines Klanges aufzusuchen und angeben. Es können dann in solcher Weise auch noch einzelne sehr schwache Töne, welche durch eine gleichzeitig auftretende Anzahl stärkerer Töne verdeckt sind, wahrgenommen werden.

Wenn wir unser Ohr mit einem Resonator bewaffnen, so wird aus einem vielstimmigen Musik- oder Gesangstück stets nur jener Ton mächtig ins Ohr schmettern, welcher der Eigenton des Resonators ist. Ja noch mehr! Wir werden dann selbst im Geräusch, Gepolter, Sausen, Lärm, im Tosen eines Wasserfalles, den unserem Resonator entsprechenden musikalischen Ton entdecken. Und mittelst vieler solcher verschieden abgestimmter Instrumente werden wir nach und nach finden, dass jede noch so unregelmässige Schallerscheinung eigentlich aus einem wirren und wüsten Durcheinander verschiedener, kurz dauernder Töne besteht. Nun werden wir uns auch jene bestimmten Töne erklären, welche wir zuweilen mittelst an das Ohr gehaltener Muscheln, Röhren u. dgl. im Tagesgeräusch vernehmen.

Nicht Jedermann stehen Resonatoren zu Gebote, mittels welcher man die Analyse der Klänge vornehmen kann, wohl aber kommt man leicht zu einem Clavier, dessen Saiten durch Mitschwingen zum Aufsuchen der Theiltöne eines Klanges dienen können. Auch die Klangzerlegung mittelst der Saiten eines Claviers stammt von Helmholtz (1862). Drückt man eine der Tasten des Claviers nieder und erhält sie in dieser Tieflage, so wird

dadurch die zugehörige Claviersaite von ihrem Dämpfer befreit, d. i. von einem weichen Stoff — feinem Filz, zartem Flanell u. s. w. —, welcher die Saite nicht ins Schwingen kommen lässt, wenn er sie berührt. Man entferne in solcher Weise z. B. von der Saite des C<sub>1</sub> den Filz, schlage die nächst höhere Octave C an, so wird von der ungedämpften Saite C<sub>1</sub> der Oberton C mitklingen. Es unterliegt keinem Zweifel, dass dieser Ton von C<sub>1</sub> herrührt, denn die angeschlagene Saite C kann wegen des aufliegenden Dämpfers nicht nachtönen. In solcher Weise lässt sich durch Anspielen der Saiten G, c, e, g, b, u. s. w. die freie Saite C<sub>1</sub> mit dem gleichen Oberton G, c, e, g, b, u. s. w. durch Resonanz zum Tönen bringen. Hier dienen also die Saiten als Resonatoren! (Experiment.)

Es versteht sich von selbst, dass sich der eben geschilderte Versuch verallgemeinern lässt. Welche der tieftönenden Saiten man auch immer freilegt, stets wird an ihr durch Mitschwingen sich hören lassen: die höhere Octave, Duodecime, Doppeloctave, die Terz derselben, die Quinte der zweiten Octave, d. h. die Töne, deren Schwingungszahlen sich zu jener des Grundtones der nicht gedämpften Saite wie 2 : 3 : 4 : 5 : 6 u. s. w. verhalten — vorausgesetzt, dass die entsprechenden Tasten eine nach der andern angeschlagen werden (Experiment).

Der Versuch lässt sich auch umkehren, d. h. man kann C, G, c, e, g, u. s. w. vom Dämpfer befreien und C<sub>1</sub> anschlagen. Da C<sub>1</sub> auch die Töne C, G, c, e, g, u. s. w.

als Obertöne enthält, so werden die zu C, G, c, e, g, u. s. w. gehörigen ungedämpften Saiten durch jene gleich hohen Obertöne zur Resonanz gebracht. Drückt man mehrere zu obigen Saiten gehörige Tasten gleichzeitig nieder und schlägt den Ton C<sub>1</sub> an, so hört man einen Accord, der jenen niedergedrückten Tasten entspricht. Drückt man Tasten nieder, deren zugehörige Töne in C<sub>1</sub> nicht als Partialtöne enthalten sind, so tritt selbstverständlich keine Resonanz auf. Drückt man mit der Länge des Vorderarmes eine Reihe von Tasten nieder und schlägt C<sub>1</sub> an, so kommen nur jene Saiten zur Resonanz, deren Töne in C<sub>1</sub> als Theiltöne enthalten sind, also nur die entsprechenden Accorde (Experimente).

In der eben angedeuteten Art lassen sich die ungedämpften Saiten eines Claviers als Resonatoren benützen. Durch die Klanganalyse der Stimme und Laute lassen sich auch die Theiltöne der letzteren aufsuchen: Helmholtz hat erkannt, es seien die Vocale verschiedene musikalische Klangfarben oder harmonische Tonvereine, welche in der vieltönigen menschlichen Stimme, vermöge der Resonanz der Rachen- und Mundhöhle, dadurch hervorgehoben und verstärkt werden, dass wir letztere für gewisse Töne abstimmen, indem wir derselben je andere Formen und Größen ertheilen. Die wechselnden Gestalten der Mundhöhle beim Lauten der verschiedenen Vocale wird nunmehr verständlich.

Die musikalischen Töne der Vocale kann man benützen, um in einem Clavier die ungedämpften, gleich gestimmten Saiten, sowie jene Saiten, welche die gleich

hohen Obertöne enthalten, durch Resonanz in gleichzeitiges Tönen zu bringen, und dadurch mittelst Saitenklanges einen neuen und gleich lautenden Vocal zu erzeugen. Dieser prachtvolle, von Helmholtz angegebene Versuch wird wie folgt gemacht: Man trete das rechte Pedal des Claviers nieder; dadurch befreit man alle Saiten von ihren Dämpfern. Nun decke man das Instrument vorne so weit auf, dass man in dasselbe auf die Saiten schreien oder singen könne. Rufen wir nun auf die offen liegenden Saiten den Vocal A laut hinein, so hören wir aus demselben kräftig nachhallend deutlich, fast wie ein Echo, das A zurücksschallen. Bei grosser Stille der Umgebung, also etwa in der Nacht, angestellt, ist dieser Versuch von fast wunderbarer Wirkung. In ähnlicher Weise klingen O, U, AU u. s. w. aus dem Clavier, wenn O, U, AU u. s. w. hineingerufen oder besser gesungen werden (Experiment). Wir sehen demnach, dass ein offenes Clavier mit ungedämpften Saiten zur Zusammensetzung oder Synthese der Vocallaute dienen kann. Voraussichtlich wird dasselbe auch andere Klänge durch Verschmelzung der entsprechenden Resonanztöne erzeugen können. In der That ertönt aus einem solchen Clavier der Clarinettenklang wieder, wenn man mit einer Clarinette in dasselbe hineinbläst.

Helmholtz hat sich nicht begnügt, mittelst Resonanz der Claviersaiten die eigenthümlichen Klangfarben der Vocale hervorzurufen, sondern er hat, behufs Zusammensetzung der Vocalklänge aus mehreren einfachen Tönen, einen Vocalapparat ersonnen (1859).

Derselbe besteht aus einer Reihe von Stimmgabeln, und zwar aus einer mit dem Tone B und sieben anderen, mit den zu B gehörigen harmonischen Obertönen. Je eine dieser Stimmgabeln hatte ihre Zinken in gleichem Abstande von den Polen eines Hufeisen-Elektromagnets, welcher von unterbrochenen Strömen umkreist wurde. Dadurch geriethen die Gabeln gleichzeitig, und immer wieder von Neuem, ins kräftige Vibiren. Vor jeder derselben befand sich eine dazu gestimmte Resonanzröhre, welche man mittelst Tasters mehr oder weniger öffnen konnte. Bei geschlossenen Resonanzröhren vernahm man den Grundton der Stimmgabeln kaum, während er bei völlig geöffneter Röhre durch die Resonanz kräftigst tönte. Durch Uebung in der Combination dieser Töne konnte man es dahin bringen, dass dieses Instrument im Ganzen und Grossen die Vocale mit singender Nuance gab, und zwar beiläufig mit jenem Klange, wie jene Selbstlaute, welche aus einem Clavier heraustönen, wenn man einen Vocal hineinsingt. Am leichtesten entstanden U, O und Oe, weniger scharf A, welches jedoch später, nach Vermehrung der entsprechenden Stimmgabeln und zugehörigen Resonatoren, recht gut kam. Für E und I reichte bei den ersten Versuchen die Anzahl der Stimmgabeln noch nicht aus; es lässt sich jedoch kaum zweifeln, dass diese Selbstlaute auftreten würden, wenn man den Vocalapparat mit mehr und höher gestimmten Gabeln samt Resonanzröhren versehen möchte. Die Vocale geben nach Helmholtz mit den in der Mundhöhle erzeugten Geräuschen, regellosen Lärmlauten

und nicht musikalischen Schallerscheinungen, die Consonanten. Daraus ist klar, warum der Gesang, verbunden mit einer consonantenarmen Sprache, z. B. der italienischen, reiner bleibt und schöner klingt, als mit einer von Consonanten überfüllten Sprache.

Schon vor mehr als hundert Jahren ahnte der geniale Kempelen, der abwechselnd in Wien oder Pressburg seinen Wohnsitz hatte, die rein musikalische Natur der Vocale, denn sie „scheinen ihm eine Art von Gesang auszumachen“, und es ist ihm, „als läge eine Melodie darin“. Und auch hinsichtlich der Consonanten hatte er versuchsweise der Hauptsache nach das Richtige bei dem von ihm (1770) erfundenen Sprechapparat getroffen. Kempelen hatte zwar nicht wie Helmholz die musikalische Natur der Vocale, sowie das unmusikalische Wesen der Consonanten bewiesen; aber er hatte eine Ahnung des Richtigen. Als vortrefflicher Beobachter der Natur und scharfsinniger Denker kam er endlich nach langem Suchen darauf, wie er vorzugehen habe, um einen Sprechapparat zu construiren. Er erfasste endlich nach vielen Irrwegen das Sprechorgan als Zungenpfeife mit verstärkendem, variablem Schalltrichter auf — und hatte so die Richtschnur für seine Sprechmaschine gefunden. Kempelen's Sprechmaschine bestand aus einem Zungenpfeifchen, welches die Stimmritze vertrat; eine Windlade ersetzte unsere Luftröhre mit ihren zur Lunge gehenden Zweigen; die Lunge selbst wurde durch einen Blasebalg gebildet, und auch der eigentliche Articulations- und Sprechmechanismus,

d. i. der menschliche Schlund, wie er in die Mund- und Nasenhöhle ausläuft, ward künstlich geschaffen. Da alle diese Stücke nur ein ärmliches Surrogat der wesentlichen Theile des menschlichen Stimm- und Sprechorganes ausmachten, so fehlte noch sehr Vieles zur Vollkommenheit einer Sprechmaschine; aber Kempelen kam doch so weit, jedes französische oder italienische Wort, ferner viele lateinische und manche kurze, vocalreiche deutsche Wörter mittelst seiner Maschine nachzusprechen, wobei im Wesentlichen wie auf einer Orgel gespielt wurde. Obwohl der Sprechapparat Kempelen's praktisch mehr leistete als der Vocalapparat von Helmholtz, so vermochte jener doch in theoretischer Beziehung keinen Aufschluss über die Natur der Sprechlaute zu geben — diese Erkenntniss brachte erst Helmholtz in unserer Zeit!

So haben wir denn erfahren, dass die verschiedenen Klangfarben — und zu denselben zählen auch die Vocale — verschiedene harmonische Tonvereine darstellen, deren einzelne Töne entweder durch die gespannte Aufmerksamkeit eines gut geschulten musikalischen Gehörs oder mittelst der Resonatoren wahrgenommen werden können. Um diese Zerlegung des Klanges in seine einzelnen Töne, wie sie das freie oder mit einem Resonator bewaffnete Ohr vollbringt, zu begreifen, nimmt Helmholtz an, dass jede einzelne Faser des Gehörnerven, der sich im Innersten des Ohres in fadenförmigen Enden ausbreitet, für die Empfindung einer besonderen Tonhöhe bestimmt sei. In das Innerste unseres Ohres

gelangen die Schallwellen zunächst dadurch, dass sie von der Ohrmuschel aufgefangen und durch den canal-förmigen Gehörgang an das gespannte zarte Trommelfell geleitet werden. Letzteres wird durch die Schallwellen in Schwingungen versetzt. Diese Schwingungen verpflanzen sich mittelst vier zarter zusammenhängender Gehörknöchelchen, welche einerseits jenes Trommelfell, anderseits ein gegenüber liegendes gespanntes ovales Häutchen berühren, in das Innerste des Ohres. Dieses Innerste des Ohres heisst, wegen seiner verschiedenen geformten knöchernen Höhlungen, das Labyrinth; es ist innen mit schleimigen Häuten bekleidet und enthält das Gehörwasser, d. i. eine wässrige Flüssigkeit, in welcher sich der vom Gehirn kommende Gehörnerv mit seinen Enden und Fasern ausbreitet. Das Labyrinth ist von der Trommelhöhle, d. i. von jener Höhlung, in welcher die vorhin erwähnten Gehörknöchelchen liegen, durch das bereits genannte ovale Häutchen (ovales Fenster) abgeschlossen. Ueberdies ist ferner das Labyrinth von der Trommelhöhle durch eine gespannte kleine kreisförmige Membran getrennt (rundes Fenster). Die Schwingungen übertragen sich also vermittelst der Gehörknöcheln zu jenem ovalen Membranenfenster, ferner durch die Luft der Trommelhöhle zu jenem runden Membranenfenster des Labyrinths. Die Schwingungen dieser Membranen theilen sich dem Gehörwasser im Labyrinth mit, wodurch die im Gehörwasser ausbreiteten Enden und Fasern des Gehörnerven in Vibra-

tionen gerathen, welche letztere endlich die Empfindung des Hörens erzeugen.

Die Mittheilung der Schwingungen des Labyrinthwassers an die Nervenfasern scheint nicht direct zu erfolgen, sondern in einem Theile des Labyrinths mittelst äusserst feiner, elastischer, in scharfe Spitzen auslaufender Härchen, welche durch das schwingende Gehörwasser in Vibrationen gerathen, und welche dann ihrerseits die zwischen ihren Wurzeln liegenden Nervenfasern in Erregung versetzen. Ausser diesen von Max Schultze entdeckten Hörhärchen bemerkt man noch an gewissen Stellen des Labyrinths, ganz nahe der nervenreichen Oberfläche, kleine krystallinische Körperchen, welche Hörsteinchen (Otolithen) heissen und welche ebenfalls geeignet erscheinen, die Schwingungen des Gehörwassers auf die benachbarten Nervenfasern zu übertragen und dieselben mechanisch zu reizen.

Die Hörhärchen und Hörsteinchen mögen vielleicht jene Nervenfasern zum Mitschwingen anregen, welche für die hohen Nebentöne in den Geräuschen und nicht musikalischen Klängen entsprechend gestimmt sind. Für die musikalischen Klänge scheinen in dem schneckenartig gewundenen Theile des Labyrinths die entsprechenden Nervenfasern vorhanden zu sein. Die letzteren sind hier mit einem eigenthümlichen mikroskopischen Gebilde verbunden, welches erst in jüngerer Zeit vom Marchese Corti entdeckt worden ist. Das Corti'sche Organ vermittelt wahrscheinlich, nach der Ansicht von Helmholtz, die Wahrnehmung der Klänge in folgender

Weise: Gelangen die pendelartigen Schwingungen eines einfachen Tones bis zu dem Corti'schen Organ in der Ohrschnecke, so geräth, ähnlich wie bei der Resonanz tönender Körper, nur diejenige der 4500 Corti'schen Fasern in Vibration, welche mit ihm gänzlich oder nahezu gleich gestimmt ist. Ein zweiter, dritter u. s. w. einfacher Ton von einer anderen Höhe erregt wieder eine andere, ihm gleichgestimmte Corti'sche Nervenfaser. Bei zusammenwirkenden harmonischen Tönen oder musikalischen Klängen gerathen alle jene Corti'schen Fasern ins Mitschwingen, deren Eigentöne mit den Partialtönen des Klanges nahezu dieselbe Stimmung haben. Bei angestrengter Aufmerksamkeit und anhaltender Uebung kann es glücken, diese Einzelempfindungen der Partialtöne auszusondern. Gewöhnlich fliessen aber diese Empfindungen in eine einzige zusammen, und hiernach erkennen wir die miteinander auftretenden Theiltöne als bestimmte Klangfarbe einer Violine, einer Clarinette, der menschlichen Stimme u. s. w. Es kommen also vermittelst der Corti'schen Gebilde die gleich gestimmten Fasern des Hörnerven ins Mitschwingen, wie die freien gleich gestimmten Saiten eines offenen Claviers, in welches man einen gewissen Klang, einen Vocal u. dgl. hineintönen lässt. Das Corti'sche Organ ist also gleichsam eine Harfe oder ein Clavier im Ohr, dessen ungleich lange Saiten beim Ansprechen durch den gleich hohen Ton mit derselben Schwingungszahl ertönen.

So scheint denn das jüngste unter den Räthseln, welche der Bau des Ohres dem Forscher vorlegte, wenig-

stens hypothetisch gelöst. Als eine Stütze der Helmholtz'schen Ansicht mag auch die Entdeckung von Hensen (1863) erwähnt werden, dass bei einigen Krebsarten freiliegende, mit dem Hörnerven verknüpfte Härchen von den Tönen eines Klapphorns derart bewegt wurden, dass je ein anderer Ton auch je ein anderes Härchen in Schwingungen versetzte.

Helmholtz wandte auch seine Theorie des Klanges an, um die Consonanz und Dissonanz zu erklären. Schon Pythagoras wusste, dass zwischen angenehm zusammenklängenden Tönen ein sehr einfaches Zahlenverhältniss herrsche; warum munden aber gerade diese dem Ohre? Er, seine Schule, das Mittelalter und selbst noch Kepler (1618) antworteten, es rühe dies von der geheimen Kraft der Zahlen her. Leibniz (1671), Euler (1740) und ihre Anhänger meinten, die Seele erfreue sich an der Leichtfasslichkeit der einfachen Zahlenverhältnisse beim Zusammenklang. Der Musiker Rameau (1726) ging einen Schritt weiter; er hatte nämlich in seiner eigenen Singstimme die Octave, Quinte und Terz als harmonische Obertöne erkannt; Aehnliches fand er beim Saitenklange; er sagte nun, wenn in einem und demselben Klange jene Obertöne von Natur aus harmoniren, warum sollte es nicht auch der Fall sein, wenn dieselben Obertöne dem Grundton künstlich beigemischt werden? Rameau leitete hieraus ein eigenthümliches, von dem Mathematiker d'Alembert empfohlenes, natürliches Tonsystem ab,

welches wohl mehrere wahre Thatsachen enthielt, aber das Wesen der Harmonie doch nicht erklärte.

Von einem glücklicheren Standpunkte als die so eben Genannten und Ungegenannten versuchte eine andere Gruppe von Denkern die Erklärung des Wohlklanges und Missklanges. Nach Euklides (300 v.Chr.) mischen sich in der Consonanz die Töne, während sie bei der Dissonanz unvereinigt, mithin rauh gehört werden. In der That ist es so; woher kommt aber diese Rauhigkeit für das Gehör? Um hierauf antworten zu können. wollen wir uns einer bekannten Erfahrung aus der Lehre vom Schalle erinnern. Wenn man zwei im vollkommensten Einklange stehende Stimmgabeln, Saiten oder Pfeifen gleichzeitig zum Tönen anregt, so lässt sich ein glatter, angenehmer Zusammenklang wahrnehmen ; sobald hingegen das eine der Instrumente auch nur um ein wenig verstimmt wird, so hört man den Zusammenklang bald stärker, bald schwächer werden, und es ist so, als ob der Gesammtton gezackt oder holperig wäre (Experiment). Dieses Schwanken der Tonstärke heisst das Schweben der Töne; die grösste Tonstärke hiebei wird Stoss oder Schlag genannt. Es fallen nämlich die Luftstösse der beiden Tonquellen bald aufeinander, bald zwischeneinander, woraus jenes periodische Anschwellen des Klanges entsteht.

Differiren zwei Töne um 1, 2, 3, 4 . . . . n Doppelschwingungen in der Secunde, so hört man 1, 2, 3, 4 . . . . n Stösse. Je weiter also zwei Töne von einander abstehen, desto rascher folgen die Stösse aufein-

ander. Bei sehr langsamem Schwebungen (4 bis 6 in der Secunde) ist die Empfindung nicht unangenehm, und es wird davon für das Tremuliren des Tones bei gewöhnlichen Orgeln und bei Drehorgeln, ferner bei der Phys-harmonika Gebrauch gemacht. Wie aber die Stösse sehr zahlreich werden, machen sie die Tonempfindung rauh, wirr und knarrend, sie werden dem Ohre unangenehm und bewirken die Dissonanz. Schon Sauveur (1700) und später R. Smith (1749) führen die Consonanz und Dissonanz auf Störungen durch die Stösse zurück. Allein ihre richtige Ansicht über den Grund des Missklanges blieb unverstanden und wurde vergessen. Endlich (1863) brachte Helmholtz auf eigenem Wege die so lange gesuchte wahre Erklärung der Consonanz und Dissonanz.

Helmholtz erkannte, dass die Rauhigkeit, welche durch die Stösse für das Gehör entsteht, die Ursache des Missklanges ist. Diese Rauhigkeit ist, nach den Studien von Helmholtz, bei etwa 33 Stössen in der Secunde am grössten und wird von hier, nach auf- und abwärts, schwächer. Helmholtz hat auch gefunden, dass die selbe Zahl der Stösse in verschiedenen Gegenden der Tonleiter verschiedene Grade der Deutlichkeit und Rauhigkeit zulasse.

Das Unangenehme der rascheren Stösse erklärt sich aus ihrem intermittirenden Wesen. Eine flackernde Flamme, ein rasch bewegtes Gitter u. dgl. m. wirken in ähnlicher Weise unangenehm auf das Auge. Wenn nämlich ein Sinnesreiz fortdauert, so wird die Empfindung

der entsprechenden Nerven bald abgestumpft, und also vor heftiger Erregung bewahrt. Bei unterbrochenen Sinneseindrücken hingegen ruhen die Nerven immer wieder aus, wodurch dann die Reizungen stets aufs Neue kräftig, mithin zu anstrengend werden.

Bei Klängen geben die einander nahe liegenden Obertöne Schwebungen, welche Ursache der Dissonanzen werden, und je nach ihrer Zahl und ob sie in den höheren oder tieferen Lagen vorkommen, verschiedene Grade des Rauhen und Wirren bewirken. Weniger als 6 Stösse in der Secunde bewirken noch nichts Unangenehmes für das Gehör, sondern nur das früher erwähnte Tremuliren. Bei 6 bis 132 Stössen in der Secunde tritt die Dissonanz in verschiedenen Graden auf; von etwa 132 Stössen nach aufwärts werden dieselben unhörbar.

Dem Gehörten zufolge ist die Consonanz eine stetige, die Dissonanz eine unterbrochene Tonempfindung. Wenn man nun zunächst einfache Töne untersucht, welche zu einander im Verhältniss wie der Grundton zur Octave steht, indem man die Differenz ihrer Schwingungszahlen sucht, so zeigt sich diese Differenz zu hoch (grösser als 132), um Stösse vernehmen zu lassen. Bilden wir für den Grundton und die Quint den Unterschied ihrer Schwingungszahlen, so erhalten wir noch immer eine so grosse Zahl für die Stösse, bei welcher diese kaum mehr hörbar sind. Berechnen wir für den Grundton und die Quart den Unterschied ihrer Schwingungszahlen, so erhalten wir eine Zahl für die Stösse, welche schon störend wird; noch mehr

ist dies der Fall für den Grundton und die grosse Terz u. s. w.

Untersucht man nun in der vorigen Weise die zusammengesetzten Töne oder Klänge, welche mit einander mehr oder minder vollkommene Consonanzen oder Dissonanzen geben, so zeigt sich, dass bei den vollkommener consonirenden Klängen nicht nur bei den Grund-, sondern auch bei den Obertönen die Stösse in so hoher Zahl auftreten, dass sie nicht mehr gehört werden können; erst bei den minder angenehm consonirenden Klängen treten Stösse in einer Anzahl auf, welche eine etwas störende Rauhigkeit des Zusammenklanges bewirken. Bei den dissonirenden Klängen endlich treten die Stösse sowohl für den Grund- als für die Obertöne in jener Anzahl auf, welche den Zusammenklang rauh und wirr machen.

Die Consonanz ist somit ein Zusammentönen zweier oder mehrerer Klänge ohne störende Schwebungen. Diese Erkenntniss bringt der Musiktheorie einen leitenden Grundsatz, ganz dazu geschaffen, in dem bisher anarchischen Gebiete der Harmonielehre Licht, Einheit und Ordnung zu verbreiten. Dieses Princip an die herrlichsten Schöpfungen der grössten Componisten aller Zeiten gehalten, zeigt, wie genial, wenn auch unbewusst, sie das Richtige getroffen haben.

Fassen wir nun zum Schlusse den Inhalt unseres Vortrages zusammen. Die Frage nach der Ursache der Klangfarbe ist glücklich und in bestimmter Weise gelöst. Jeder Klang ist gleichsam ein Accord. Helmholtz

lehrte den Klang in seine Theiltöne zerlegen und ihn wieder aus diesen zusammensetzen. Bei der Zusammensetzung der Klänge aus den einfachen Tönen konnte Helmholtz sogar unsere Vocale entstehen lassen (Vocalapparat). Den Nachweis aller dieser Wahrheiten lieferte Helmholtz mittelst einer sinnreichen Verwerthung der Resonanz. Und diese ist es auch, welche er zur Erklärung der räthselhaften Corti'schen Faser heranzog.

Sowie die moderne Akustik die ehedem wenig beachtete Resonanz zum Hauptmittel bei der Erforschung der Natur des Klanges machte, so hat sie auch die bisher zurückgesetzten Stösse in den Vordergrund gerückt. Die Stösse bieten den wahren Grund zur Erklärung der Consonanz und Dissonanz und verbreiten in der Harmonielehre volles Licht. Obwohl die Fortschritte der Akustik der Neuzeit sehr weit über das hier Vorgetragene hinausgehen, so können wir doch für heute schliessen indem wir uns mit der obigen Beantwortung der alten Fragen: Was ist die Ursache des Klanges, des Wohl- und Missklanges? begnügen.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1879

Band/Volume: [19](#)

Autor(en)/Author(s): Pisko Franz Josef

Artikel/Article: [Ueber die Fortschritte der Akustik. 287-321](#)