



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Handbuch der Physik zur Selbstbelehrung für jedermann

Spiller, Philipp

Berlin, 1866

Erster Abschnitt. Vom Schalle.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-73841](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-73841)

Achte Abtheilung.

Schwingende Molekularbewegungen insbesondere.

Nachdem wir in der sechsten Abtheilung diejenigen Erscheinungen der Molekularschwingungen angeführt haben, bei welchen sich gemeinschaftliche Grundzüge erkennen ließen, wollen wir jetzt die fünf Erscheinungen des Schalles, des Lichtes, der Wärme, der Elektrizität und des Magnetismus mehr jede für sich behandeln und dasjenige daraus noch ergänzen, dessen frühere Betrachtung uns zu weit von dem gemeinsamen Ziele abgeführt haben würde, um endlich, nachdem wir auf diese Weise eine möglichst klare Einsicht in das Einzelne gewonnen haben, in der neunten Abtheilung den Gipfel der Betrachtung zu ersteigen, indem wir dann den inneren Zusammenhang dieser fünf Erscheinungen werden kennen und daraus den Stoff für die Erkenntniß des wahren Wesens derselben auffinden lernen.

Erster Abschnitt.

Vom Schalle.

Man nennt die Lehre vom Schalle meistens Akustik, was aber, wenn man nach der Wortbedeutung darunter die Lehre vom Hören und nicht die vom Hörbaren versteht, nicht hinreichend bezeichnend wäre. Indes haben wir aus dieser Lehre vorzüglich nur noch solche Betrachtungen übrig, welche eine engere Beziehung des erregten Schalles auf die Wahrnehmung desselben durch das Gehör und die dadurch hervorbrachten Empfindungen enthalten. Es liegt hier in physikalischer Beziehung offenbar die Erscheinung der Transmission der Schwingungen des schallenden Körpers auf die Nerven vor, welche zu einer Resonanz

angeregt werden, die in uns je nach der Beschaffenheit der Schwingungen Widerwillen oder Wohlgefallen erregt. Die Erregbarkeit der Nerven ist bei verschiedenen Menschen sehr verschieden: Manche können es nicht vertragen, wenn man ein Messer an einem anderen reibt; Andere, wenn man mit einem nassen Flecken beim Reinigen von Porzellangeschirren einen pfeifenden Ton hervorbringt; in den Konzerten, welche der berühmte Musikker Chladni auf seiner Glasharmonika gab, wurden in der Regel einige Personen ohnmächtig. Dieser merkwürdige Zusammenhang zwischen den Tönen und der durch sie vermittelt der Nerven hervorgebrachten Empfindung macht die Musik so recht eigentlich zu dem Ausdrucke des Gefühles. Es spricht sich durch sie ebensowohl die Leidenschaft aus, wie die Sanftmuth, die Wehmuth wie die Freude, die Sehnsucht wie die Fülle des Genusses, die Rohheit wie der zarte Sinn; mit einem Worte: es spiegelt sich in der Musik nicht nur das Gefühlsleben des einzelnen Menschen ab, sondern auch der Charakter ganzer Völker; denn man spricht ja mit Recht von Nationalmelodien und in der That: wo gibt es ein Volk vom eisigen Norden bis in den glühenden Süden, welches seinen Schmerz und seine Freude, seine Lust und seine Liebe nicht den Tönen anvertraute und wobei sich nicht die Natur und der Charakter abspiegelte? Wie einförmig schwimmen die melancholischen Töne des Sohnes der Steppe dahin! In wie kühnen Sprüngen, gleich den schroffen und zackigen Felsengipfeln, bewegt sich das Jodellied des Alpenbewohners! Wie steif und abgemessen ist die Musik des Amerikaners, wie feurig und beschränkt zugleich die des Negers!

Aber die Musik ist nicht blos der Ausfluß des Gefühles, sie ruft es auch hervor, regt sogar den Willen an und treibt ihn zur That. Gleichwie zwei Uhrwerke, welche in ihrem Gange, wenn auch nicht bedeutend, verschieden sind, nach und nach miteinander übereinstimmen, wenn man sie auf derselben Platte befestigt hat, wodurch eine Transmission vermittelt ist; so regt der Rhythmus der Musik unseren Körper im Marsche und im Tanze zur Beachtung desselben Taktes an. So treibt die Macht der Musik nicht nur zum wirbelnden Tanze, sondern auch in die blutige Schlacht.

Da besonders das deutsche Volk ein musikalisches und namentlich ein vielsingendes ist, so wird es für jeden gebildeten wohl ein hervorragendes Interesse haben, wenn ich hier auf die physikalische Natur der Töne und ihre Geltung in der Musik etwas näher eingehe.

Entstehungsweise des Schalles. Wenn ein Körper irgend eines Aggregatzustandes durch irgend einen anderen einmal oder wiederholt gestoßen wird, selbst wenn auch die Stöße in eine Reibung, d. h. in eine sehr schnelle Aufeinanderfolge unbedeutender Stöße übergehen, so entsteht überhaupt ein Schall. Bringen diese Stöße hinreichend schnelle wiederholte Bewegungen des ganzen Körpers oder einzelner Theile innerhalb gewisser Gränzen hervor und sind diese Schwingungen sämmtlicher

Theile fortwährend von gleicher Dauer, so ist der erzeugte Schall ein Klang. Wenn man bei einem Klange auf die Anzahl der Schwingungen in einer bestimmten Zeit, namentlich der Sekunde, Rücksicht nimmt; so heißt er ein Ton.

Den Unterschied von einem verworrenen Schalle oder einem Geräusche und einem Klange kann man recht deutlich wahrnehmen, wenn man an dem Umfange des einen von zwei Metallrädchen ungleichgroße Zähne oder gleichgroße in ungleichen Entfernungen von einander und an dem des anderen gleichgroße Zähne in gleichen Entfernungen anbringt. Werden diese Rädchen gleichmäßig schnell um ihre Aze gedreht und dabei an die Zähne ein harter Gegenstand (ein Streifen Fischbein) gehalten, damit Stöße entstehen; so gibt jenes Rädchen ein Geräusch, dieses einen Klang, und wenn man die Drehung des letzteren beschleunigt, so wird der Ton ein höherer. Je mehr Stöße in einer bestimmten Zeit erfolgen, desto höher ist also der Ton.

Zu jeder bestimmten Anzahl von Stößen, sie mögen durch was immer für Körper hervorgebracht worden sein, gehört ein Ton von einer ganz bestimmten Höhe. Hierbei sind aber nicht die Stöße oder Schläge gemeint, welche man mit einem bestimmten Körper, z. B. einem Korkhammer, auf einen anderen bestimmten, z. B. auf einen an seinen beiden Enden festgehaltenen Glasstreifen, vollführt, sondern die Stöße, welche der zum Schwingen angeregte Körper, hier der Glasstreifen, auf den ihn umgebenden, z. B. die atmosphärische Luft, zur Fortpflanzung der Schwingungen ausübt. Die Vermehrung der Anzahl der Hammerschläge auf den Glasstreifen ist nämlich nicht im Stande, den Ton zu erhöhen: ein einzelner Schlag gibt keinen anderen Ton, als wiederholte Schläge.

Die Körper aller Aggregatzustände sind zur Tonerzeugung fähig, nicht nur jeder kann einen anderen desselben Zustandes, sondern jedes anderen Zustandes zum Tönen bringen, aber natürlich um so leichter, je elastischer er ist und zu um so stärkeren Tönen, je mehr er Masse besitzt. Ein Stahlstreifen z. B. tönt leichter, als ein Holzstreifen, aber schwächer als eine Glocke, welche denselben Ton gibt. Man hat daher den Versuch, die Thurmglöcke durch Stahlfedern zu ersetzen, als unpraktisch aufgegeben.

Wir wollen nun eine Reihe hierher gehöriger Fälle angeben, in welchen die Töne auf rein mechanische Weise von außenher erzeugt werden, indem wir erst später ausführen werden, wie die Sonne, Wärme, Elektrizität und der Magnetismus auch Töne hervorzubringen vermögen.

Feste Körper können sich an festen entweder stoßen oder reiben. Den ersten Fall haben wir an den schon erwähnten gezahnten savart'schen Rädern. — Wenn man mit der Kante an dem Rücken eines Fingernagels schnell genug über den Einband eines Buches fährt, das mit in Rippen gepreßtem Papier überzogen ist; so hört man einen

pfisenden Ton, welcher um so höher wird, je schneller die Bewegung ist. Hier werden auch schnell aufeinander folgende Stöße vollführt. — Derselbe Fall ist es, wenn man mit schleifenden Füßen am Meeresstrande über den feinen Sand geht, welchen die Sonne mittelst des Seesalzes zu einer Kruste zusammengebacken hat. Man hat dieses „Tönen des Sandes“ mit dem berühmten Tönen der Memnonsäule in eine Linie gestellt; ich habe mich aber durch die genaueste Untersuchung überzeugt, daß der Ton nur durch mechanische Stöße und nicht durch eine Wärmedifferenz zweier Körper erzeugt wird. — Hierher gehört auch das Quarren des Schnees beim Gehen, welches aber erst etwa bei 8—9° Kälte eintritt, weil bei geringerer Kälte der Schnee noch zu weich ist. — Den anderen Fall, daß nämlich durch Reibung eines festen Körpers an einem anderen festen auch Töne erzeugt werden, haben wir bei allen Streichinstrumenten, oder wenn man mit einem feuchten Finger oder Korke um den Rand eines glockenförmigen Weinglases fährt, oder wenn man eine Stimmgabel, eine Klangscheibe u. a. mit einem geharzten Violinbogen anstreicht oder eine ziemlich lange Glasröhre mit einem feuchten Tuchflecken der Länge nach reibt u. s. w.

Ein tropfbarer Körper reibt sich an einem tropfbaren bei den Wasserpfeifen, welche einen tiefen brausenden Ton im Wasser vernehmen lassen, wenn man vermittelst eines Druckwerkes recht gleichmäßig Wasser durch das sogen. Mundstück einer offenen Pfeife preßt.

Durch Stöße von Luft auf Luft oder das Reiben von Luft (auch Dampf) an Luft werden theils die zartesten, theils die durchdringendsten Töne hervorgebracht. Stöße finden statt bei der früher (Vd. I. S. 549) angeführten Sirene, welche mittelst eines Zählwerkes die Zählung der Stöße gestattete. — Eine einfachere Lochsirene ist die oppeltische Scheibensirene. Eine kreisrunde Scheibe aus dünnem, aber recht festem Pappdeckel oder aus Metallblech hat in verschiedenen Kreisperipherien eine verschiedene Anzahl von kleinen, etwa $1\frac{1}{2}$ Linien weiten kreisrunden Oeffnungen, welche für jeden der Kreise gleiche Entfernungen von einander haben. Wird nun diese auf einem Gestelle lothrecht angebrachte Scheibe mittelst einer Schwungmaschine recht gleichmäßig um ihren Mittelpunkt gedreht und bläst man durch ein enges Glasröhrchen auf die Oeffnungen in derselben Kreisperipherie; so hört man einen Ton, welcher bei demselben Kreise um so höher ist, je schneller die Drehung geschieht oder je mehr Oeffnungen bei einer gewissen Drehungsgeschwindigkeit in dem Kreise sich befinden.

Die Tonwellen mit ihren Verdichtungen und Verdünnungen entstehen jenseits der Scheibe: der verdichtete Theil der Welle, wenn der Luftstrom aus dem Röhrchen auf eine Oeffnung trifft, der verdünnte, wenn er durch den massiven Theil der Scheibe unterbrochen wird. — Eine schwingende Saite wird dann mit der Scheibe einerlei Ton geben, wenn sie während einer Umdrehung derselben ebensovielen ganze Schwin-

gungen (Stöße) macht, als in der Peripherie Deffnungen vorhanden sind. Daß sich durch die Scheibe nicht so genau die zu einer Saite von bestimmter Tonhöhe gehörige Schwingungszahl bestimmen läßt, als durch die Syrene mit dem Zählwerke, ist selbstverständlich.



(Fig. 325.)

Man hält nun über das Flämmchen eine Glas- oder andere Röhre *c*, aber nicht so tief, als es die Zeichnung darstellt, sondern höchstens nur um den vierten Theil der ganzen Länge von der Deffnung entfernt; so hört man in der Regel bei angemessener Tiefe der Flamme sofort den Ton, welchen die Luftsäule bei ihrem sonstigen Anblasen geben würde, auffallend stark und durchdringend. Will der Ton nicht sogleich entstehen, so kann man dadurch zuhülfe kommen, daß man denselben Ton außerhalb der Pfeife anhaltend hervorbringt. Es gewährt einen überraschenden Eindruck, wenn man mehre gut zueinander stimmende Pfeifen gleichzeitig tönen läßt.

Die Schwingungen der Luftsäule werden durch die an der Mündung des Röhrens beim Verbrennen gebildeten Stöße erzeugt. Die

In diese Betrachtungsreihe gehören auch die ihrem Wesen nach recht interessanten Töne der sogen. chemischen Harmonika, denn andere Erklärungsweisen scheinen mir unzulässig zu sein. Die Vorrichtung dazu (Fig. 325) läßt sich sehr leicht herstellen. Man nimmt ein Medizinfläschchen *a*, thut in dasselbe etwas Zink in kleinen Stücken (granulirten), gießt darauf etwas verdünnte Salzsäure und setzt nun einen durchbohrten Kork auf, durch dessen Deffnung gut anschließend ein Glasröhrchen *b* geht, welches oben in eine feine Spitze ausgezogen ist. Sowie das angesäuerte Wasser aufgegossen wird, erfolgt eine Zersetzung: der Sauerstoff des Wassers verbindet sich mit dem Zink und der Wasserstoff entweicht brausend nach oben. Weil sich hierbei eine ziemlich bedeutende Wärme entwickelt, steigen auch Wasserdämpfe mit empor. Wenn das Wasserstoffgas die im Fläschchen befindlich gewesene atmosphärische Luft ausgetrieben hat, zündet man den oben ausdringenden Wasserstoffstrahl an; früher darf dies nicht geschehen, weil sonst der Wasserstoff mit dem Sauerstoffe der atmosphärischen Luft Knallgas gebildet haben würde, welches beim Anzünden eine das Glas zersprengende Detonation hervorgebracht hätte. Statt des Wasserstoffgases kann man auch Leuchtgas anwenden.

Hält man nun über das Flämmchen eine Glas-

oder andere Röhre *c*, aber nicht so tief, als es die Zeichnung darstellt, sondern höchstens nur um den vierten Theil der ganzen Länge von der Deffnung entfernt; so hört man in der Regel bei angemessener Tiefe der Flamme sofort den Ton, welchen die Luftsäule bei ihrem sonstigen Anblasen geben würde, auffallend stark und durchdringend. Will der Ton nicht sogleich entstehen, so kann man dadurch zuhülfe kommen, daß man denselben Ton außerhalb der Pfeife anhaltend hervorbringt. Es gewährt einen überraschenden Eindruck, wenn man mehre gut zueinander stimmende Pfeifen gleichzeitig tönen läßt.

Die Schwingungen der Luftsäule werden durch die an der Mündung des Röhrens beim Verbrennen gebildeten Stöße erzeugt. Die

Stöße entstehen dadurch, daß durch das Verbrennen des Wasserstoffes an der Mündung etwas Sauerstoff der atmosphärischen Luft verzehrt und dadurch ein etwas luftverdünnter Raum hervorgebracht wird, daß dann die atmosphärische Luft in diesen Raum stürzt und dabei etwas in das Innere des Röhrchens eindringt, daß aber die Druckkraft des sich entwickelnden Wasserstoffes die Luft wieder hinaustreibt und aufsneue die Bedingung des Verbrennens herbeiführt u. s. w. Bei genauer Beobachtung sieht man in der That das Flämmchen auch eine kurze Strecke in der Röhre, erkennt aber wegen allzugroßer Geschwindigkeit das abwechselnde Hervortreten und Eindringen nicht, sondern glaubt es beständig darin zu sehen. — Aehnliche, wenn auch nicht so schnelle Stöße kann man an der Zughüre eines Stubenofens erkennen, in welchem ein Feuer lebhaft brennt. Das Feuer verzehrt einen Theil der eingedrungenen Luft und bringt zugleich an der Mündung der Metallhüre durch Erwärmung eine Verdünnung der Luft hervor; deshalb stürzt die Stubenluft nach der Oeffnung und durch sie zum Feuer, dieses aber erwärmt sie und dehnt sie so aus, daß ein Theil derselben, häufig sogar mit Rauch und Flamme, durch die Oeffnung in die Stube zurücktritt, wie man es an dem mitgeführten Rauche sehen kann, aber nur, um sofort wieder durch die Stubenluft hineingedrückt zu werden u. s. w.

Durch Reibung von Luft an Luft entsteht bei den sogen. Lippenpfeifen der Ton. Bei der Flöte wird der aus dem Spalte zwischen den Lippen hervorgepreßte schmale Luftstrom an die in dem Instrumente vorhandene Luftsäule so geblasen, daß sie dadurch auch nur an dem einen Ende gerieben wird, wie eine Saite durch den Violinbogen. — Bei den Pfeifen, welche man im Frühlinge aus der Rinde von saftigen Weidenstäben macht, wird ein schmaler Luftstreifen durch einen am Mundstücke vorhandenen und nur an einer Seite sehr wenig verdünnten Kern hervorgebracht und derselbe auch gegen den Anfang der Luftsäule geblasen. Aehnlich ist es bei anderen Blasinstrumenten, namentlich den meisten Orgelpfeifen.

Wenn ein Luftstrom an einem festen Körper, welcher zu tönen geneigt ist, vorübergeht; so werden durch diese Reibung die Töne wirklich erzeugt. Dies erkennt man u. a. an der Aeolsharfe, bei welcher harmonisch gestimmte Saiten lothrecht an einem Resonanzboden dem Luftzuge oder Winde ausgesetzt werden. — Bei der Handharmonika sind abgestimmte elastische Metallstreifen an den Oeffnungen eines blasbalgartigen Windkastens mit dem einen Ende so befestigt, daß sie nur einen ganz engen Spielraum zur Verbindung der inneren Luft mit der äußeren lassen. Wird der Kasten erweitert, so wird die Luft in ihm verdünnt, die äußere strömt durch die Spalten an den Metallzungen vorüber und sucht sie hineinzudrücken; wird der Kasten durch das Zusammendrücken verkleinert, so wird die Luft in ihm verdichtet, ein Theil derselben strömt durch die Spalten heraus und drückt auch die Metallzungen nach aus-

wärts. In beiden Fällen werden die Zungen in tönende Schwingungen versetzt, bei welchen die Luft im Kasten durch das Mittönen eine bedeutende Verstärkung erzeugt. Der Zugang der Luft zu den einzelnen Zungen ist durch Klappen abgeschlossen, welche nach dem Bedürfnisse geöffnet werden oder geschlossen bleiben. — Bei der Mundharmonika übernimmt die Mundhöhle die Rolle des Windkastens.

Hierher gehört auch die menschliche Stimme und die Stimme aller Thiere mit Zungen. Das ganze Stimmorgan bilden die Zungen als der Luftbehälter, welcher durch Verkürzung der Muskeln die Luft auszuströmen, durch Verlängerung aber einzuströmen veranlaßt, was beim Athmen in der Regel geräuschlos geschieht. Der Luftstrom geht durch die zylindrische Luftröhre, welche aus verschiebbaren elastischen Knorpelringen und Häuten zusammengesetzt ist; daran schließt sich der aus vier Knorpelstücken zusammengesetzte Kehlkopf und dieser trägt die beiden Stimmbänder, welche die Stimmritze zwischen sich lassen. Durch zahlreiche Muskeln wird die Bewegung der einzelnen Knorpelstücke, die Erweiterung und Verengung der Stimmritze, so wie die Erschlaffung und Anspannung der Stimmbänder hervorgebracht. Die Stimmbänder gerathen durch die zwischen ihnen hervorgepreßte Luft in Schwingungen, wodurch je nach dem Grade ihrer Spannung und der Kraft des Luftstromes verschieden hohe Töne entstehen. Die Luft der Mund- und Nasenhöhle, so wie die festen Bestandtheile des Kopfes bewirken durch Resonanz eine namhafte Verstärkung. Damit die Luft der Mundhöhle leichter mittöne, wird diese für tiefe Töne erweitert, für hohe verengt. Bei den Nasentönen wird durch die Verengung der Gaumenbogen die Nasenhöhle allein oder fast allein zur Resonanz veranlaßt. Durch Hineinziehen der Luft kann man zwar auch Laute, aber nicht verschiedene Töne hervorbringen. Der Umfang der menschlichen Stimme reicht selten über zwei Oktaven hinaus, nur die Sängerin Katalani hatte ein enorm kräftiges Organ, welches $3\frac{1}{2}$ Oktaven umfaßte. — Beim Pfeifen mit dem Munde vertreten die Lippen die Stimmbänder.

Wenn man bisweilen von Fischen, welche man in die Luft gebracht hat, oder von den Klappmuscheln einzelne Laute hört, so rühren diese davon her, daß sich bei den Fischen etwas Luft unter den Kiemen und bei den Muscheln zwischen den beiden Schalen befindet, welche beim Zusammendrücken mit einem Laute entweicht.

Ferner werden Töne auch durch Stöße von festen Körpern auf Luft erzeugt. Hierher gehört die Stab- oder Speichensöhre, durch welche man vorzüglich tiefe und brausende Töne erhalten kann. Ein Stab oder zwei und auch mehre miteinander in ihrer Mitte verbundene und in einer Ebene liegende Stäbe sind um eine lothrecht durch die Mitte gehende Ase drehbar zwischen zwei möglichst dicht aneinander parallel angebrachten Brettern. Durch die bei einer gleichmäßigen Drehung in gleichen Zeiten von den Speichen auf die zwischen den Brettern

enthaltene Luft ausgeübten Stöße werden Verdichtungen und Verdünnungen erzeugt: die hervortretende Speiche hat vor sich die Verdichtung und hinter sich die Verdünnung. Erfolgen in einer Sekunde 16 Durchgänge, so entsteht derselbe Ton wie durch eine Saite, welche 16 Schwingungen macht oder durch eine Sirene, wenn der Luftstrom 16 Oeffnungen getroffen hat. Es ist dieses der tiefste in der Musik angewendete Ton, welchen bei Orgeln eine 32 Fuß lange und offene Pfeife gibt. — Weil bei dieser Vorrichtung sehr kräftige Schläge ausgeübt werden, hört man schon bei 8 bis 10 Stößen einen Ton.

Bei den Trompeten und Waldhörnern bringt der Bläsende seine Lippen in schwingende Bewegungen und diese werden übertragen auf die Luftsäule im Instrumente. — Bei allen Saiteninstrumenten, Trommeln, Pauken u. dergl. findet die Fortpflanzung der Töne in der Luft durch die unmittelbar auf sie vom tönenden Körper ausgeübten Stöße statt. — Bei allen Zungenpfeifen, wie bei den Oboen und Klarinetten, ebenso beim Fagott, werden zwar die elastischen Zungen zunächst durch einen verdichteten Luftstrom in schwingende Bewegung gesetzt, diese aber üben dann ihrerseits auch Stöße auf die Luftsäule des Instrumentes aus, wodurch diese ins Tönen geräth. Die Länge der Zunge, durch welche ihr eigener Ton bedingt ist, muß mit der Länge der Luftsäule in einem angemessenen Verhältnisse stehen, wenn letztere durch erstere gut ansprechen soll.

Bei der sogenannten Maultrommel tönt das zwischen dem lirasförmigen Eisen befindliche Metallzüngelchen zwar auch schon, wenn man sie frei in der Luft hält und es anschlägt; bringt man aber die Lyra zwischen die Zähne, so wird nach dem Anschlagen die Luft in der Mundhöhle zum Mittönen genöthigt und verstärkt bei angemessenem Raume nicht nur den Grundton der Zunge, sondern es sind durch abwechselnde Verengung und Erweiterung auch andere dazu harmonirende Töne wahrzunehmen. Die Zähne dienen natürlich auch wesentlich zur Verstärkung der Töne, namentlich für den Spielenden selbst.

Einen weniger praktisch, als vielmehr theoretisch bemerkenswerthen Fall für die Tonerzeugung durch die Stöße von Wasser auf Luft, bietet die Erscheinung dar, daß man einen leisen Ton vernimmt, wenn man Wasser aus einer kleinen Oeffnung in der dünnen Bodenfläche eines Gefäßes so fließen läßt, daß lauter kleine Tropfen aufeinander folgen, aber so schnell, daß sie uns einen ununterbrochenen Faden zu bilden scheinen. Die Tropfen erleiden hierbei schnell wechselnde Veränderungen in der Form, indem sie von der Fadenform durch allmähliche Verkürzung der lothrechten Abmessung kugelförmig und dann durch allmähliche Verbreiterung ganz flach werden, um durch Verkürzung der horizontalen Abmessung wieder die Kugelform anzunehmen u. s. w. Es ist klar, daß dieser Wechsel der Formenänderung theils von dem Widerstande der Luft beim Fallen, theils von dem Bestreben, die Kugelform anzunehmen, her-

rührt und daß der Ton entsteht, weil die horizontal flache Gestalt des Wassers die Verdichtungswelle, die lothrecht lange die Verdünnungswelle in der Luft erzeugt.

Wahrnehmung des Schalles. So wunderbar verschieden die angeführten Methoden zur Erzeugung von Tönen auch sein mögen, so offenbar erscheinen sie in allen Fällen als durch mechanische Stöße hervorgebrachte Schwingungen irgend eines Körpers. Diese Schwingungen werden aber durch unser Gehörorgan nicht als einzelne Stöße empfunden, sondern als etwas ununterbrochen Zusammenhängendes, weil der Eindruck eines gewissen Stoßes, welcher sich vorzüglich an den Stellen der Bänche wirksam zeigt, noch fortbauert oder sein Ende noch nicht erreicht hat, wenn der nächstfolgende Stoß seine Einwirkung bereits geltend macht. Je mehr diese Eindrücke einander bedecken, oder je weniger sie von einander sich absondern, d. h. je schneller die Stöße aufeinander folgen, desto höher nennen wir den Ton. Ungeachtet dieses Ineinandergreifens der Stoßempfindungen hat unser Ohr eine erstaunenswürdige Fähigkeit für die Unterscheidung der Anzahl von Stößen, welche in einer gewissen Zeit geschehen, denn es ist bei hinreichender Uebung fähig, zu unterscheiden, ob in 1 Sekunde zu einem Tone 1200 oder 1201 Schwingungen gehörten und kann überhaupt die Laute und Töne von 8 Stößen an bis etwa zu 33000 unterscheiden. Die beiden Gränzen der Wahrnehmbarkeit sind bei verschiedenen Menschen auch verschieden.

Man unterscheidet beim menschlichen Ohre drei Theile: das äußere Ohr oder die Ohrmuschel, das mittlere Ohr oder die Paukenhöhle und das innere Ohr oder Labyrinth.

Die Ohrmuschel fängt den Schall auf, leitet ihn in den Gehörgang bis an dessen Verschuß, nämlich das Trommelfell. Will man deutlich hören, so wendet man das Ohr dem ankommenden Schallstrahle so zu, daß er es möglichst senkrecht trifft. Leute mit abstehenden Ohren oder mit hinter die Ohren gehaltenen flachen Händen und mit geöffnetem Munde hören besser, als ohne diese Mittel. In den beiden ersten Fällen wirken die zurückgeworfenen Wellen verstärkend, im dritten gelangen Wellen auch noch durch die Mundhöhle und eustachische Röhre zur Paukenhöhle. — Das Öffnen des Mundes ist nothwendig, wenn Jemand in der Nähe einer abgeschossenen Kanone steht, damit das Trommelfell nicht bloß von den außerhalb, sondern auch von den innerhalb eindringenden starken Schallwellen gleichzeitig und gleich stark getroffen und nicht etwa durch jene einseitig ankommenden verlegt werde.

Die Paukenhöhle hat eine elliptische Form von etwa $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser, enthält Luft von der Spannung der äußeren und vier Knöchelchen: den Hammer, Ambos, das Rinnebein und den Steigbügel, welche hebelartig untereinander verbunden sind. Der Griff des Ham-

mers ist an das Trommelfell angewachsen und theilt die Erschütterungen desselben den übrigen Knöchelchen mit wie bei einem Klingelzuge.

Das in dem Felsenbeine eingeschlossene Labyrinth ist durch zwei mit Häutchen überspannte Oeffnungen: das runde und das ovale Fenster mit der Paukenhöhle verbunden. In letzteres ist durch einen häutigen Saum der Steigebügel eingesetzt. Das Labyrinth selbst besteht aus mehren mit einer Flüssigkeit angefüllten knöchernen Höhlungen, in welche der Gehörnerv in den feinsten Verzweigungen ausläuft; es enthält den Vorhof mit drei bogenförmigen Kanälen, und die Schnecke mit zwei Gängen.

Schon die einfache Wahrnehmung, daß ein ganz leises Geräusch sehr verstärkt wahrgenommen wird, wenn man das Ohr an die Oeffnung einer leeren schneckenförmigen Seemuschel hält, kann uns von der außerordentlich vortheilhaften Einrichtung des Ohres überzeugen.

Daß Zerstörung des Trommelfelles oder eine völlige Verknöcherung desselben, so wie eine Mißbildung der inneren Bestandtheile Taubheit herbeiführen muß, ist klar. Aber man hört selbst mit gesunden Ohren nicht, wenn nicht zugleich die Aufmerksamkeit auf den Schall gerichtet wird. In gleicher Weise gelangen auch andere sinnliche Eindrücke nicht zur Empfindung derselben, wenn nicht gleichzeitig der Geist in der betreffenden Richtung thätig ist. Die Töne entstehen also erst dadurch, daß die Schwingungen mit Bewußtsein empfunden werden.

In physiologischer Beziehung ist noch die Abstumpfung des Gehörsinnes nach andauernder Einwirkung durch einen gewissen Ton bemerkenswerth. Ein ähnlicher Erfolg tritt, wie wir erkennen werden, beim Auge ein, wenn es längere Zeit einer bestimmten Farbe ausgesetzt gewesen ist.

Hält man nämlich von zwei gleichtönenden Stimmgabeln die eine früher vor das eine Ohr, als die andere vor das andere; so ist das zuerst in Anspruch genommene Ohr so abgestumpft, daß man nur noch mit dem anderen deutlich hört. — Hält man die beiden gleich stark tönenden Gabeln gleichzeitig an beide Ohren und drehe man dann nur die eine um ihren Stiel, so hört man nicht abwechselnd beide und dann (nämlich während der Interferenzpausen) nur die eine nicht gedrehte, sondern abwechselnd nur die eine und dann die andere, weil das Ohr, vor welchem die nicht gedrehte Gabel sich befindet, durch das fortwährende Hören des Tones so abgestumpft ist, daß es nur noch während der Interferenzzeiten der anderen Gabel gut zu hören fähig ist.

Diese Abstumpfung zeigt sich bei Gabeln mit verschiedenen Tönen nicht; auch hört man zwar die Koinzidenzstöße, nicht aber einen Kombinationston, wenn in jedem der beiden Fälle die eine Gabel dicht vor das eine, die andere vor das andere Ohr gebracht wird, weil der außerhalb der Ohren erzeugte Kombinationston, vor ihnen angelangt, gegen die kombinirenden Töne zu schwach ist.

Tongesetze.

Nachdem wir über die Entstehung und Wahrnehmung der Töne das Nöthige angeführt haben, wollen wir von den Gesetzen, denen ihre Entstehung und ihr Wesen unterworfen ist, Näheres anführen. Wie die Natur nirgends gesetzlos verfährt, so auch hier nicht und es ist von Interesse, diese Gesetzmäßigkeit zu verfolgen.

a) Tongesetze an Saiten. Es wird dieses zunächst am besten an einer über einem Resonanzboden ausgespannten Saite geschehen, wobei die nöthigen Vorrichtungen angebracht sind, um die Saite durch verschiedene Gewichte zu spannen und zufolge eines eingetheilten Maßstabes und verschiebbaren Steges unter ihr Stücke von ganz bestimmter Länge schwingen zu lassen. Man nennt das Instrument ein Monochord oder den Einsaitler.

1) Ist die Saite lang und wenig angespannt, so kann man die Schwingungen noch zählen. Läßt man von derselben Saite nur die Hälfte schwingen, so macht sie in derselben Zeit doppelt so viele Schwingungen; das Drittel der Saite macht dreimal, das Viertel viermal so viele Schwingungen, als die ganze Saite u. s. w., also überhaupt:

es verhalten sich die Schwingungszahlen einer bestimmten Saite wie umgekehrt die Längen, welche man von ihr schwingen läßt.

Je kürzer also eine Saite aus einem bestimmten Stoffe von bestimmter Dicke und Spannung ist, einen desto höheren Ton gibt sie.

2) Hat man eine zweite Saite aus demselben Stoffe und von gleicher Länge mit denselben Gewichten gespannt, ist sie aber doppelt so dick, so macht sie nur halb so viele Schwingungen, als die erste; ist sie dreimal, viermal... n mal dicker, so ist die Anzahl der Schwingungen nur $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$... $\frac{1}{n}$ von der früheren Menge; also allgemein:

die Schwingungszahlen gleichartiger Saiten von einerlei Länge und Spannkraft verhalten sich wie umgekehrt ihre Dicken.

Man erhält die doppelte Anzahl von Schwingungen entweder durch die Hälfte der Saite oder durch eine halb so dicke, unter übrigens gleichen Umständen.

3) Wenn man von zwei gleichartigen Saiten, welche gleiche Länge und Dicke haben, die eine mit 1 Pfunde, die andere nach einander mit 4, 9, 16, 25... $n \cdot n$ Pfunden spannt; so verhalten sich die Schwingungszahlen der ersten Saite zu denen der zweiten, wie 1 zu 2, 3, 4, 5... n . Da man einen der zwei gleichen Faktoren eines Produktes die Quadratwurzel nennt, so heißt das Gesetz allgemein:

Bei gleichartigen Saiten von einerlei Länge und Dicke verhalten sich die Schwingungszahlen wie die Quadratzahlen aus den spannenden Kräften.

In Beziehung auf den Stoff, aus welchem die Saiten bestehen, kann man im Allgemeinen sagen, daß die Schwingungszahl mit der Elastizität desselben wächst: unter übrigens gleichen Umständen gibt eine Stahlsaite einen höheren Ton, als eine Messingsaite; diese einen höheren, als eine Darmsaite. Unspinnst man aber eine Darmsaite spiralförmig mit Metallfäden, so wird ihr Ton tiefer oder ihre Schwingungen werden verzögert.

Die diatonische Tonleiter. Nicht jede Reihenfolge von Tönen, welche man hintereinander hervorbringt, macht auf unsere Empfindung durch das Gehör einen angenehmen Eindruck, sondern für jeden Ton, mit welchem man beginnt, nur eine ganz bestimmte und nach mathematischen Richtschnuren gebildete. Der Grund davon liegt in der räumlichen Eintheilung des die Tonwellen fortpflanzenden Stoffes und in der Beschaffenheit unseres Gehörgorgans, worin das von Forti so genau untersuchte wunderbare Organ höchst wahrscheinlich zu der Vermittelung der verschiedenen Töne dient. Dem Ohre ist der Mangel an Symmetrie ebenso störend, wie dem Auge. In dem Schneckengange ist nämlich ein aus einer Faserhaut gebildetes Plättchen und dieses trägt eine zahllose Menge, den Tasten eines Klaviers ähnlicher Plättchen, Stäbchen und Zellen, welche wahrscheinlich nicht gleichzeitig bei jedem Tone, sondern einzeln und gruppenweise, jedes bei dem es ansprechenden Tone, in Thätigkeit gerathen. Bei dem Auge ist eine sehr ähnliche Einrichtung auf der Netzhaut desselben.

Läßt man eine Saite zuerst als Ganzes schwingen und dann die Hälfte, welche in derselben Zeit doppelt so viele Schwingungen macht, als die ganze Saite, so machen die beiden Töne, hintereinander oder durch zwei Saiten gleichzeitig hervorgebracht, durch eine gewisse Ähnlichkeit einen angenehmen Eindruck. Die Saitenlängen verhalten sich wie $1 : \frac{1}{2}$, die Schwingungszahlen wie $1 : 2$.

Wir benennen bestimmte Verhältnisse zwischen den Schwingungszahlen zweier Töne der allgemeinen Verständigung wegen mit besonderen Namen und geben den Tönen bestimmte Buchstaben zu ihrer Bezeichnung. In der musikalischen Sprache wird der Buchstabe durch die Note ersetzt. Wird der Grundton mit C bezeichnet, so heißt der zweite, soeben gebildete, seine Oktave und wird durch c ausgedrückt.

Theilt man nun dieselbe Saite in 3 gleiche Theile und läßt davon zwei, also $\frac{2}{3}$ der Saite, tönend schwingen; so heißt der neue Ton die Quinte des ersten und sein Zeichen ist G. — Während der Grundton 1 Schwingung macht, werden von der Quinte $\frac{2}{3}$ vollendet, oder: macht der Grundton 2 Schwingungen, so gehören zur Quinte in derselben Zeit 3. Auch dieser Ton hört sich neben und mit dem Grundton gut an.

Wird ferner die Saite in 4 gleiche Theile getheilt angenommen und läßt man deren drei schwingen, also $\frac{3}{4}$ der ganzen Saite, so ent-

steht ein Ton, welcher in Beziehung auf den Grundton die Quart heißt und mit F bezeichnet wird. Seine Schwingungszahl ist $\frac{1}{3}$, wenn die des Grundtones 1 ist, oder 4, wenn die des Grundtones 3 ist.

Nun theilt man die Saite in 5 gleiche Theile und läßt vier davon, also $\frac{1}{5}$ der ganzen Saite schwingen und man bekommt die Terz E vom Grundtone der ungetheilten Saite; zu ihr gehört $\frac{1}{4}$ als Schwingungszahl.

Die bisher entwickelten Tonverhältnisse sind sehr einfach, nämlich:

C : c = 1 : 2 ist die Oktave,

C : G = 2 : 3 ist die Quint,

C : F = 3 : 4 ist die Quart,

C : E = 4 : 5 ist die Terz. Das Verhältniß von

E : G = 5 : 6 (entstanden aus $\frac{1}{4} : \frac{1}{2} = \frac{1}{4} : \frac{1}{4}$) ist von dem Verhältniße 4 : 5 nicht sehr verschieden, aber etwas kleiner und deshalb nennt man das Tonverhältniß 4 : 5 die große Terz und das Verhältniß 5 : 6 die kleine Terz. Das Verhältniß der drei Töne C, E, G (1, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{4}$, d. i. 4, 5, 6) wird der große Dreiklang, und das der vier Töne C, E, G, c (Grundton, Terz, Quinte, Oktave), zu denen die Zahlen 4, 5, 6, 8 gehören, der C-dur-Akkord genannt. Alle geben, aufeinander oder zusammen gehört, einen ganz befriedigenden Eindruck, welcher im letzten Falle als abgeschlossen erscheint, so daß man zur völligen Abrundung einen neuen Ton nicht mehr erwartet.

Wenn das Zusammenklingen von zwei oder mehreren Tönen uns angenehm befriedigt; so nennt man die Töne konsonirende oder harmonische, wenn sie dabei aber Mißbehagen erregen, dissonirende oder disharmonische.

Wenn man die bis jetzt erhaltenen Verhältnißzahlen der Schwingungen, nämlich:

1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$, 2, zu gleichnamigen Brüchen macht, so erhält man

$\frac{12}{12}$, $\frac{15}{12}$, $\frac{16}{12}$, $\frac{18}{12}$, $\frac{24}{12}$, wofür man als Verhältnißzahlen 12, 15, 16, 18, 24 oder das Doppelte davon 24, 30, 32, 36, 48 mit den Namen

C, E, F, G, c setzen kann; so erkennt man bald,

daß in der Reihenfolge der Töne noch zwei größere Lücken sind, nämlich zwischen C und E (24 und 30) und eine noch größere zwischen G und c (36 und 48), während die anderen drei Töne E, F, G einander näher liegen oder gleichmäßigere Zwischenräume, Intervalle, haben.

Man kann von jedem Tone als Grundton ausgehen und die zu ihm konsonirenden, z. B. die Terz, bilden.

Geht man, um zunächst die größere Lücke auszufüllen, von F als Grundton aus und sucht man die verhältnißmäßige Schwingungszahl

seiner Terz, so wird man sagen müssen: F mit seiner Zahl $\frac{4}{3}$ muß sich zu seiner höheren Terz verhalten, wie 4 : 5 oder es muß in der Proportion $4 : 5 = \frac{4}{3} : x$ das letzte Glied x gesucht werden, was $\frac{5}{3}$ ist, denn in der That verhält sich $F : x = \frac{4}{3} : \frac{5}{3} = 4 : 5$. Der neue Ton, zu welchem die Schwingungszahl $\frac{5}{3}$ gehört, wird mit A bezeichnet.

Wenn zur weiteren Ausfüllung zu G, welches die Schwingungszahl $\frac{3}{2}$ hat, die höhere Terz gesucht wird, so muß man in der Proportion $4 : 5 = \frac{3}{2} : y$ das letzte Glied y suchen und findet dafür $\frac{15}{8}$, so daß in der That das Verhältniß $\frac{3}{2} : \frac{15}{8} = \frac{12}{8} : \frac{15}{8} = 12 : 15 = 4 : 5$, eine Terz ist. Der neue Ton mit der Schwingungszahl $\frac{15}{8}$ wird mit H bezeichnet und paßt noch in die Lücke.

Um die kleine Lücke zwischen C und E auszufüllen, kann man von G die höhere Quinte aus der Proportion $2 : 3 = \frac{3}{2} : z$ auffuchen und findet $\frac{9}{4}$. Dieses ist aber schon über die Gränze der Oktave (2) hinaus; wohl aber ist die zu $\frac{9}{4}$ gehörige nächst niedere Oktave, d. i. die Hälfte davon oder $\frac{9}{8}$, eine Zahl, welche sich zwischen C (1) und E ($\frac{5}{4}$) einreihen läßt und als Ton mit D bezeichnet wird.

Nun ist die vollständige Reihenfolge der Töne C, D, E, F, G, A, H, c und ihrer verhältnißmäßigen

Schwingungszahlen 1, $\frac{9}{8}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{15}{8}$, 2 oder
24, 27, 30, 32, 36, 40, 45, 48 und dazu die

Seitenlängen . . . 1, $\frac{8}{9}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{8}{15}$, $\frac{1}{2}$.

Wenn man auf dem Monochorde die Eintheilung der Saite nach der Reihenfolge der letzten Zahlen ausgeführt hat und man bringt nacheinander die zu diesen Theilen gehörigen Töne hervor, so empfindet man eine gewisse Befriedigung, indem das Ohr nicht noch neue Töne dazwischen verlangt und es auch ohne ein gewisses Unbehagen nicht gestattet, daß irgendwo ein Ton ansfällt. Die Stufenleiter von diesen acht Tönen bildet die volle Oktave (acht Töne) der diatonischen Tonleiter, gleichgiltig, wie hoch oder wie niedrig der Grundton ist. Die obigen Angaben enthalten also nicht die absoluten, sondern nur die relativen Schwingungszahlen.

Intervalle. Untersuchen wir die sieben Verhältnisse von je zwei benachbarten Tönen dieser Tonleiter, so erhalten wir nicht sieben gleiche Intervalle, sondern drei verschiedene, nämlich 8 : 9, 9 : 10 und 15 : 16.

$$C : D = 1 : \frac{9}{8} = 8 : 9,$$

$$D : E = \frac{9}{8} : \frac{5}{4} = 9 : 10,$$

$$E : F = \frac{5}{4} : \frac{4}{3} = 15 : 16,$$

$$F : G = \frac{4}{3} : \frac{3}{2} = 8 : 9,$$

$$G : A = \frac{3}{2} : \frac{2}{3} = 9 : 10,$$

$$A : H = \frac{2}{3} : \frac{15}{8} = 8 : 9,$$

$$H : c = \frac{15}{8} : 2 = 15 : 16.$$

Das Intervall 8 : 9, welches dreimal vorkommt (von C zu D, F zu G, A zu H), heißt ein großer ganzer Ton; das Intervall 9 : 10, welches zweimal erscheint (D zu E, G zu A), ist der kleine ganze Ton und 15 : 16, welches zwischen E und F und zwischen H und c stattfindet, ist ein halber Ton.

Tonarten. Wenn man zu jedem von diesen Tönen die nächst höhere Oktave bildet, so erhält man die Fortsetzung der diatonischen Tonleiter von c an mit derselben Aufeinanderfolge der Intervalle und die Töne werden der Reihe nach bezeichnet mit c, d, e, f, g, a, b, c̄. Das c̄ heißt das einmal gestrichene c. Auf dieselbe Weise könnte man mit der Bildung noch höherer Oktaven weiter fortfahren. Man kann nun den Versuch machen, statt von C auch von D und jedem der folgenden Töne auszugehen, um die sieben nächsten hintereinander hervorzubringen; aber nur noch in einem Falle, nämlich wenn man von A ausgeht, werden wir befriedigt, während in allen übrigen ein unangenehmes Gefühl erregt wird.

Die von C beginnende Oktave wird die harte oder Dur-Tonart und die von A anfangende die weiche oder Moll-Tonart genannt, denn jene hat einen kräftigen, diese aber einen milden und melancholischen Charakter. Wenn man auf die Verschiedenheit der Intervalle des großen und des kleinen ganzen Tones keine Rücksicht nimmt, was wohl geschehen kann, da sie selbst einem geübten Ohre nicht auffällig ist, und wenn man das Intervall des ganzen Tones mit g, das des halben mit h bezeichnet, so hat

die Dur-Tonart die Intervalle g, g, h, g, g, g, h;

die Moll-Tonart die Intervalle g, h, g, g, h, g, g.

Die harte Tonleiter hat in dem großen Dreiklange (C : E : G = 4 : 5 : 6 = 20 : 25 : 30) eine große und dann eine kleine Terz, die weiche aber, zuerst die kleine und dann die große Terz, denn A : c = 5 : 6 = 20 : 24 und c : e = 2 : 3 = 4 : 5 = 24 : 30; also

A : c : e = 20 : 24 : 30.

Die chromatische Tonleiter. Mit den bisher gebildeten Tönen würden wir uns in den beiden Tonarten nur auf zwei Grundtöne, nämlich auf C und auf A (auf c und a, c̄ und a u. s. w.) beschränken müssen und könnten nicht jeden beliebigen Ton als Grundton für eine der beiden Tonarten annehmen. Der freie Gesang oder das Spiel auf einem Instrumente, auf welchem man sich die einzelnen Töne erst aufsucht, wie z. B. auf der Violine, würde sich allerdings helfen und jeden beliebigen Ton zum Grundtone für eine der beiden Tonarten machen können; aber bei Instrumenten von einer gleichbleibenden Stimmung für jeden einzelnen Ton, wie bei der Orgel, dem Klaviere u. a., müssen in die fünf Intervalle der ganzen Töne von der diatonischen Tonleiter noch Zwischentöne eingeschaltet werden, welche als eine Erhöhung des niedrigeren und als eine Erniedrigung des höheren Tones anzusehen sind.

Zu dieser Einschaltung nimmt man das Verhältniß der großen zur kleinen Terz, nämlich $\frac{4}{5} : \frac{5}{6} : \frac{25}{24}$, welches man den kleinen halben Ton nennt, während $\frac{16}{15}$ der große halbe Ton heißt und multipliziert damit den niedrigeren Ton des Intervalles, um ihn zu erhöhen, dividirt aber den höheren Ton desselben, um ihn zu erniedrigen. Um z. B. zwischen C und D einzuschalten wird 1 mit $\frac{25}{24}$ multipliziert, was $\frac{25}{24}$ gibt oder es wird $\frac{9}{8}$ (nämlich D) mit $\frac{25}{24}$ dividirt, was $\frac{27}{25}$ zu $\frac{9}{8} = \frac{27}{25}$ gibt. Man erhält auf diese zweifache Weise allerdings nicht genau denselben Zwischenton, denn es ergibt sich als Unterschied $\frac{27}{25} - \frac{25}{24} = \frac{23}{600}$ und deshalb werden auch die beiden Arten eingeschalteter Töne verschieden benannt, nämlich bei den durch Erhöhung gebildeten setzt man an den erhöhten die Silbe is und bei den durch Erniedrigung entstandenen die Silbe es an den Buchstaben des betreffenden Tones (As für Aes, B für Hes). Nun heißt also die vervollständigte Tonleiter:

C, Cis, D, Dis, E, F, Fis, G, Gis, A, Ais, H, c	}	für die Erhöhung.
C, Des, D, Es, E, F, Ges, G, As, A, Hes, H, c	}	für die Erniedrigung.

Wir haben jetzt innerhalb einer Oktave mit 13 Tönen 12 Intervalle und diese Tonleiter heißt die chromatische.

Nun erst läßt sich für jede der beiden Tonarten jeder Ton als Grundton annehmen, um die ihr zukommende Aufeinanderfolge der Intervalle zu erhalten. — Am Klaviere sind die fünf Zwischentöne durch die etwas höher gestellten und durch die Farbe von den anderen ausgezeichneten Tasten angegeben.

Die Temperatur. Wollte man zur weiteren Bildung von Tönen, statt von jedem einzelnen Tone der diatonischen Tonleiter die höheren Oktaven zu nehmen, in lauter reinen Intervallen dieser Tonleiter fortschreiten; so würde man reine Oktaven nicht bekommen. Schreiten wir z. B. in reinen Terzen von c als Grundton mit der Schwingungszahl 1 aufwärts, so ist die erste Terz, c : e nämlich, $\frac{5}{4}$, die Schwingungszahl der zweiten (nämlich e : gis) ist $\frac{5}{4} \cdot \frac{5}{4} = \frac{25}{16}$, die der dritten (gis : c) ist $\frac{5}{4} \cdot \frac{5}{4} \cdot \frac{5}{4} = \frac{125}{64}$, welches nicht die reine Oktave 2 oder $\frac{128}{64}$ von 1 ist, sondern etwas größer.

Will man also für den weiteren Fortschritt der Töne die Reinheit der Oktaven erhalten, so muß man von der vollkommenen Reinheit der Intervalle absehen und man muß die Töne einwenig oberhalb oder unterhalb dieser Reinheit schweben lassen, was man die Temperatur der Töne nennt.

Da schon die Intervalle der ganzen Töne in der diatonischen Tonleiter verschieden waren (nämlich 8 : 9 und 9 : 10), so sind es auch die der eingeschalteten in der chromatischen Tonleiter. Wenn man aber die 12 Intervalle einer Oktave unter die 13 Töne der Tonleiter gleichmäßig

vertheilt, was durch fortgesetzte von dem C oder 1 beginnende Multiplikation mit 1,05946 (nämlich $\sqrt[12]{2}$) geschieht und wenn man dann von jedem so gebildeten Tone der Tonleiter in lauter reinen Oktaven weiter aufwärts geht; so erhält man die gleichschwebende Temperatur, welche bei den Instrumenten von bestimmter Stimmung anzuwenden ist. Wenn aber die Stimmung in Beziehung auf gewisse Töne als Grundtöne reiner ist, als in Beziehung auf andere Grundtöne, so heißt die Temperatur ungleichschwebend. Obwohl bei jener die Stimmung in Beziehung auf keinen Ton als Grundton rein ist, also z. B. reine Terzen und Quinten darin nicht enthalten sind; so ist der Unterschied doch so unmerklich, daß er das Ohr nicht unangenehm berührt. Es ist z. B. in der reinen oder ungleichschwebenden Temperatur das Verhältniß der großen Terz $c : e = 4 : 5 = 100 : 125$; in der gleichschwebenden aber etwas größer, nämlich $100 : 126$.

Die folgende Tabelle gibt die Uebersicht des Verhältnisses der beiden Temperaturen für die Töne einer Oktave an, wobei die Schwingungszahl und Saitenlänge des Grundtones mit 1 bezeichnet ist. Die Zahlen für die ungleichschwebende Temperatur rühren von Kirnberger her.

Töne.	Gleichschwebende Temperatur.		Ungleichschwebende Temperatur.	
	Schwingungszahlen.	Saitenlängen.	Schwingungszahlen.	Saitenlängen.
c	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
cis	1,05946	0,94378	1,05349	0,94922
d	1,12246	0,89090	1,12500	0,88889
dis	1,18921	0,84090	1,18518	0,84375
e	1,25992	0,79370	1,25000	0,80000
f	1,33484	0,74915	1,33334	0,75000
fis	1,41421	0,70710	1,40625	0,71112
g	1,49831	0,66742	1,50000	0,66667
gis	1,58740	0,62996	1,58024	0,63281
a	1,68179	0,59461	1,67702	0,60250
b	1,78180	0,56123	1,77778	0,56250
h	1,88775	0,52973	1,87500	0,53334
\bar{c}	2,00000	0,50000	2,00000	0,50000

Das Komma. Wenn man die Schwingungsverhältnisse von dem Intervalle des großen ganzen und des kleinen ganzen Tones vergleicht,

so bekommt man ein neues Verhältniß, welches das syntonische Komma heißt. Es ist dasselbe also $10/9 : 9/8 = 80/72 : 81/72 = 80 : 81 = 81/80$.

Das Verhältniß zwischen dem kleinen halben und großen halben Tone heißt Diesis und ist $25/24 : 16/15 = 125/120 : 128/120 = 125 : 128 = 128/125$.

Geht man von $c = 1$ aus in 12 reinen Quinten aufwärts bis in die siebente Oktave, oder nimmt man die Töne $c, g, d, a, e, h, fis, eis, gis, dis, ais, eis$; so erhält man für das his die verhältnißmäßige Schwingungszahl $531441/4096$, wenn man die für die erste Quint, nämlich $3/2$, als Faktor 12mal setzt und die 11 Multiplikationen ausführt. Geht man nun von dem so erhaltenen his aus um 6 Oktaven zurück, oder von 1 um 6 Oktaven aufwärts, wodurch man $1/2 \cdot 1/2 \cdot 1/2 \cdot 1/2 \cdot 1/2 \cdot 1/2 = 1/64$ erhält; so bekommt man nicht die Oktave \bar{c} oder 2 von c oder 1, sondern $1/64 \cdot 531441/4096 = 531441/262144$, welches größer als 2 ist und einen höheren Ton anzeigt, indem die reine Oktave nur $2 = 524288/262144$ ist. Der Unterschied des Tonverhältnisses der reinen Oktave und des so erhaltenen his heißt das ditonische Komma und gibt an, um wie viel his erhöht werden muß, um \bar{c} zu geben.

Diese Bemerkungen mögen hinreichen, um denjenigen als Anhaltspunkte zu dienen, welche die Musik zu einem besonderen Studium machen wollen.

Absolute Schwingungszahl der Töne. Weiß man für einen einzigen bestimmten Ton seine Schwingungszahl, und wir haben bereits in der Sirene ein Instrument zu deren Auffindung angegeben; so lassen sich mittelst der jetzt bekannten Verhältnißzahlen für die Schwingungen der verschiedenen musikalischen Töne auch die zu ihnen gehörigen absoluten Schwingungszahlen berechnen. — Gehörten z. B. zu dem ungestrichenen a (auf der Violine durch die A-Saite angegeben) $217\frac{1}{2}$ ganze Schwingungen (Stöße der Saite) und wollte man von ihm die kleine Terz \bar{c} , nämlich das einmal gestrichene c bilden; so braucht man in der Proportion $5 : 6 = 217\frac{1}{2} : x$ nur das letzte Glied zu berechnen, welches gleich 261 gefunden wird, also macht \bar{c} 261 ganze Schwingungen, während a deren nur $217\frac{1}{2}$ vollendet.

In den musikalischen und zum Theil in den physikalischen Werken rechnet man meistens nach halben Schwingungen, so daß für a , wie es jetzt in Frankreich und demnach auch anderwärts angeordnet ist, 435 als Schwingungszahl angegeben wird. Wissenschaftlich richtig ist dieses nicht, weil durch eine solche halbe Schwingung von der Tonwelle entweder nur der verdichtete oder der verdünnte Theil, also niemals eine ganze Welle gebildet wird.

Das pariser Konservatorium zählte für a früher 433,35, die große Oper 431, die italienische 424, die berliner 437 (Kammerstimmung 441,62, in Wien 440,87) Schwingungen in einer Sekunde.

Die Gleichmäßigkeit der Stimmung in verschiedenen Ländern ist namentlich wegen der mit Instrumenten von bestimmter Tonhöhe reisenden Virtuosen und selbst für die Sänger sehr erwünscht und man kann es sich schon gefallen lassen, wenn Louis Napoleon in dieser Beziehung der Tonangeber gewesen ist.

Lassen wir 435 als Schwingungszahl für a gelten, so sind für die Töne der diatonischen Tonleiter innerhalb dieser Oktave zu den Tönen

c, d, e, f, g, a, h, \bar{c} , die Zahlen
261, $293\frac{1}{8}$, $326\frac{1}{2}$, 348, $391\frac{1}{2}$, 435, $489\frac{1}{2}$, 522 gehörig.

Auch für die niedrigeren und höheren Oktaven lassen sich nun leicht die absoluten Schwingungszahlen berechnen.

Es ist bekannt, daß man bei dem Flügelsschlage mancher Vögel (Rebhühner) und Insekten (Käfer, Fliegen und Schmetterlinge) gewisse Töne hört, welche sogar bei bestimmten Thiergattungen von bestimmter Höhe sind. Berechnet man aus der Tonhöhe die Schwingungszahl, so muß man erstaunen, wie es möglich ist, daß das Thier deren so viele in einer Sekunde vollführen kann.

Tonwellendicke. Wenn man die Anzahl der zu einem bestimmten Tone gehörigen Schwingungen und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit derselben in der Luft weiß, so läßt sich nach den früheren Angaben die Dicke jeder einzelnen Tonwelle der Luft berechnen. Nehmen wir der leichteren Rechnung wegen $1024' = 32 \cdot 32'$ als die Geschwindigkeit des Schalles an und 16 als die mindeste Anzahl von Stößen oder ganzen Schwingungen (bestehend aus Hin- und Rückweg) in einer Sekunde, um den in der Musik brauchbaren tiefsten Ton zu erzeugen; so ist die Dicke der ganzen Schallwelle, welche aus einem verdichteten und verdünnten Theile besteht, gleich $16 : 32 \cdot 32' = 64'$ oder sowohl die Verdichtungs-, als auch die Verdünnungswelle 32 Fuß. Diesen Ton, C, das Subkontra-C, nimmt man als tiefsten einer 32 Fuß langen und offenen Orgelpfeife wahr, in welcher beim Tönen immer nur eine einzelne Verdichtungs- mit einer Verdünnungswelle abwechselt. In ihrer Mitte ist die Stelle der stärksten Verdichtung und Verdünnung, also der Knoten; von da bis an die Enden je eine Viertelwelle.

Geht man von diesem Tone vor- und rückwärts, so erhält man folgende Tabelle:

Anzahl der Stöße in 1 Sekunde.	Dicke der ganzen Tonwelle.	Name des Tones.
1	1024 Fuß	
2	512 "	
4	256 "	
8	128 "	
16	64 "	C, das Subkontra-C.
32	32 "	C, das Kontra-C.
64	16 "	C, das große C.
128	8 "	c, das ungestrichene (kleine) c.
256	4 "	c̄, das einmal gestrichene c.
512	2 "	c̄̄, das zweimal gestrichene c.
1024	1 "	c̄̄̄, das dreimal gestrichene c.
2048	6 Zoll	c̄̄̄̄, das viermal gestrichene c.
4096	3 "	c̄̄̄̄̄, das fünfmal gestrichene c.
8192	1,5 "	c̄̄̄̄̄̄, das sechsmal gestrichene c.

Wenn auch bei Stimmgabeln für 36000 Schwingungen in einer Sekunde noch ein Ton und selbst bei 48000 unter Anwendung einer Sirene noch eine Art Schall wahrgenommen werden kann; so sind in der Musik doch nur die Töne kaum bis zu 8192 in der oberen Gränze und von 16 Stößen an in der unteren Gränze brauchbar; also kaum der Umfang von 9 Oktaven. Die Ohren verschiedener Menschen haben freilich für die Gränzen der Wahrnehmbarkeit eine verschiedene Gränze.

Aus dieser Darstellung erkennen wir ferner, daß die Tonwellen, selbst bei den höchsten und in der Musik kaum noch brauchbaren Tönen, eine noch ziemlich bedeutende Dicke haben. Die Folgen davon sind, daß die Schallwellen auch von unebenen Flächen noch leicht so zurückgeworfen werden, daß wir noch die richtige Vorstellung von dem ursprünglichen Schalle haben. Zur wirksamen Zurückwerfung der Lichtwellen gehört wegen ihrer Kleinheit eine weit glattere Fläche; wir haben also leichter ein Echo, als ein Bild durch Zurückwerfung. — Ferner folgt daraus, daß wir uns der Richtung des Schallstrahles weniger leicht bewußt werden, als der des Lichtstrahles: wir erkennen also eher den Entstehungsort des Lichtes, als den des Schalles. — Endlich wird eine Schallwelle auch leichter durch eine dicke Wand gehen und jenseits eher einen wirksamen Eindruck erregen, als eine Lichtwelle.

Aus den obigen Betrachtungen ergibt sich übrigens noch Zweierlei:

- 1) die Dicke einer ganzen Tonwelle ist gleich dem Raume, den der Schall während der Dauer einer ganzen Schwingung des schallenden Körpers durchläuft, und
- 2) die Wellendicken stehen im umgekehrten Verhältnisse mit den Schwingungszahlen.

Wechselnde Tonhöhe. Einen bestimmten Ton nimmt man nur dann in der zu seiner Schwingungszahl oder in der zur Dicke seiner Wellen gehörigen Höhe wahr, wenn sowohl die Tonquelle, als auch der Beobachter in Ruhe sind. Nähert sich aber eines dem anderen oder kommen beide recht rasch einander näher, wie es beim Fahren auf Eisenbahnen geschehen kann; so wird der Ton höher, weil dadurch jede einzelne das Ohr treffende Tonwelle verkürzt wird, es also den Anschein hat, als würden in derselben Zeit mehr Tonwellen erzeugt. Findet aber ein Zunehmen der Entfernung zwischen Tonquelle und Beobachter statt, so wird der Ton tiefer, weil die Dicke der Tonwellen zunimmt. Im ersten Falle vermehrt sich, im zweiten vermindert sich die Anzahl der in einer bestimmten Zeit von demselben Beobachter empfundenen Wellen oder es würden im ersten Falle mehr, im zweiten weniger Tonwellen auf einen bestimmten Raum gehen, als wenn Tonquelle und Beobachter ruheten.

Obertöne. Eine Saite gibt nicht nur, wenn man eine Eintheilung derselben in lauter gleiche Theile erzwingt und solcher Theile eine bestimmte Anzahl schwingen läßt, für die Musik brauchbare Töne, sondern sie leistet dieses sogar wunderbarer Weise freiwillig, wenn uns auch diese Freigebigkeit in der Musik nicht grade immer willkommen ist, da wir hier nur ganz bestimmte Töne gebrauchen wollen.

Um die Erscheinung möglichst deutlich wahrzunehmen, bringt man eine lange und mäßig gespannte Saite zum Tönen. Wenn der von der ganzen Saite gegebene Ton, z. B. C, an Stärke nachläßt, so hört man vernehmlich noch seine Oktave c, die Oktave seiner Quinte (also g), die Doppeloctave \bar{c} und die Doppeloctave der großen Terz, d. i. \bar{e} und ein sehr geübtes Ohr gegen das Verklingen noch \bar{g} . Die Oktaven treten wegen ihrer großen Uebereinstimmung mit dem Grundtone weniger deutlich, aber ganz entschieden hervor.

Untersucht man die zu diesen Tönen gehörigen Saitenlängen, so findet sich die merkwürdige Thatsache, daß die Saite nicht nur als Ganzes schwingt, sondern gleichzeitig ihre Hälften, Drittel, Viertel, Fünftel, Sechstel und wahrscheinlich noch kleinere Theile, was wir durch das Gehör freilich nicht entscheiden können; denn zu den Tönen C, c, g, c, \bar{e} , \bar{g} gehören der Reihe nach die Saitenlängen 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$. Es ist wohl klar, daß diese Obertöne so lange nicht hörbar sind, als der Grundton noch stark genug ist, und daß sie für hohe Grundtöne zu hoch liegen, als daß sie bei ihnen wahrgenommen werden

könnten; aber ebenso klar ist es, daß sie bei schwachen und tiefen Grundtönen auf ihre Reinheit einen nachtheiligen Einfluß haben, wenn man eben nur die Grundtöne verwenden will. — Ein anderer Umstand ist es, wenn sie bei der Aeolsharfe erscheinen und hier zur Stärkung des beabsichtigten Erfolges beitragen. — Auch bei den Stimmgabeln lassen sich die Obertöne wahrnehmen.

Flageolettöne. Es gibt ein wirksames Mittel, solche Obertöne für gewisse Fälle auszuschließen: nämlich man denkt sich die Saite in lauter gleiche Theile getheilt, berührt einen von den Theilungspunkten mit einer Fingerspitze und streicht mit dem Violinbogen die Mitte des ersten Theiles an. Dadurch werden alle gleichen Theile mitzutönen, die Theilungspunkte aber zu ruhen gezwungen und somit sind alle diejenigen Töne als mittlingende ausgeschlossen, bei welchen die Knotenstellen sonst mitschwingen würden. Etwaige Obertöne von den erhaltenen und tönenden Theilen der Saite verschwinden aber, weil die Töne selbst hoch sind. Auf diese Weise wird nicht nur ein höherer Grad von Reinheit der Töne, sondern auch von durchdringender Kraft erreicht, da zwei oder mehre Theile der Saite gleichzeitig denselben Ton vernehmen lassen.

Obwohl ein geschickter Spieler selbst auf einer einzelnen Saite durch geeignetes Abkürzen derselben bei Berührung einer Knotenstelle eine ziemlich große Menge solcher rein und scharf klingenden Flöten-töne hervorbringen kann, so sind sie doch nur einzeln und nicht zu ganzen Musikstücken zu verwenden, weil es an tieferen Tönen der Art, namentlich auf der Violine, fehlt. Paganini hat im Gefängnisse, nachdem ihm die höheren Saiten nach und nach gesprungen waren und er nur noch die G-Saite hatte, zwar ein ganzes Musikstück für das Spiel auf ihr komponirt, aber es kommen außer den Flageolettönen noch viele andere darin vor.

Das Zusammenwirken von Tönen.

Es ist nicht nur theoretisch interessant, sondern auch praktisch wichtig zu untersuchen, welche Erscheinungen und warum sie eintreten, wenn zwei oder mehre Töne an demselben Orte gleichzeitig erregt werden. Von den Koinzidenzen und Interferenzen gleichstimmiger Töne haben wir bereits das Nöthige früher (Bd. II., S. 37) angeführt; jetzt haben wir noch die Erfolge bei zwei verschiedenen Tönen zu untersuchen, welche aber recht rein und anhaltend hervorgebracht werden müssen, wie namentlich durch Orgelpfeifen, Stimmgabeln und selbst menschliche Stimmen.

Bei der Bildung eines Tones durch Stöße von gleicher Dauer, welche auf die den Schall fortpflanzende Luft ausgeübt werden, ist festzuhalten, daß von jedem Stoße eine ganze Welle, bestehend aus einem verdichteten und verdünnten Theile, gebildet wird, daß alle Wellen, sowie ihre Hälften, bei jedem bestimmten Tone dieselbe Dicke haben, und

daß das Fortschreiten nicht nur für alle Wellen desselben Tones, sondern auch für die Wellen verschiedener Töne dasselbe ist. Jeder einzelne Stoß bildet einen vom Erregungspunkte ausgehenden gleichmäßig fortschreitenden Wellenzug und der von jedem nachfolgenden Stöße erregte Wellenzug wird auf den vorangegangenen so folgen, daß die Stellen der größten Verdichtungen von je zwei benachbarten Wellen, welche also zwei verschiedenen, aber aufeinander unmittelbar folgenden Zügen angehören, stets gleich weit von einander entfernt sind.



(Fig. 326.)

Nehmen wir an, daß von a an (Fig. 326) zwei Wellenzüge erregt werden, und zwar der eine durch 4 Schwingungen in einer gewissen Zeit, der andere durch 5 Schwingungen in derselben Zeit; daß die Erhebungen der krummen Linien über die grade Linie ac den verdichteten, die Senkungen derselben unter sie den verdünnten Theil der Schallwellen bedeuten; so ist nothwendig, daß, wenn von dem ersten Wellenzuge in einem gewissen Raume a o oder o c vier Wellen enthalten sind, von dem anderen Zuge in demselben Raume gleichzeitig fünf Wellen vorkommen. Die ersteren sind durch die starken, die letzteren durch die schwachen Linien angedeutet.

Es fällt sofort in die Augen, daß die Stellen der größten Verdichtung beider Züge von a an sich mehr und mehr entfernen, daß sie zu beiden Seiten von r sich am meisten entfernt haben, daß sie von da an aber wieder einander näher kommen, bis sie zu beiden Seiten von o einander am nächsten sind und daß von o bis zu c derselbe Vorgang stattfindet, wie von a bis o.

Dadurch, daß die Stellen der größten Verdichtung mehr und mehr zusammentreffen, wird auf unser Gehörorgan eine Verstärkung des Eindrucks und dadurch, daß die Verdichtungsstellen des einen Zuges mehr und mehr mit den Verdünnungsstellen des anderen zusammentreffen, wird eine Abschwächung hervorgebracht, welche hier aber nicht in eine völlige Aufhebung übergehen kann, weil niemals ein Zusammentreffen beider genau in denselben Punkten eintritt.

Der Eindruck, welchen wir durch das Zusammenwirken zweier gleichzeitig hervorgebrachten Töne mit verschiedenen Schwingungszahlen erhalten, besteht also in einer hinzukommenden dritten Erscheinung, welche uns abwechselnd eine Abschwächung und Verstärkung des Schalles, also eine Reihenfolge von Stößen, vernehmen läßt.

Wenn zu dem einen Tone 100 Schwingungen in einer Sekunde gehören, zu dem zweiten aber 101, so wird in dieser Zeit nur 1 Verstärkung oder nur 1 Stoß gehört. — Kommen auf 100 Stöße des einen 102 des anderen, so wird schon jede fünfzigste Verdichtung des ersten Tones verstärkt und wir hören in der Sekunde 2 Stöße. — Macht der eine Körper 100, der andere in einer Sekunde 105 Schwingungen, so werden 5 Stöße gebildet, indem auf je 20 Wellen des einen 21 des anderen kommen, also jede zwanzigste Verdichtungswelle von jenem durch die einundzwanzigste von diesem verstärkt wird.

Wir können also behaupten: je weiter zwei Töne auseinander liegen, desto häufiger folgen die von ihnen erzeugten Anschwellungen und Stöße aufeinander und ihre Anzahl ist dem Unterschiede der Schwingungszahlen der erregenden Töne gleich.

Hiermit ist nun die Möglichkeit gegeben, daß durch zwei verschiedene Töne, welche gleichzeitig recht rein hervorgebracht werden, ein ganz neuer dritter Ton und zwar nur in der Luft erzeugt wird, wenn nämlich die Kombinationsstöße so schnell aufeinander folgen, daß sie einen Ton geben können. Wenn wir nach der Quelle dieses nach Tartini benannten Tones forschen so werden wir nicht auf die beiden tonerregenden Körper hingewiesen, sondern wir finden sie an allen Orten in der Luft, wo nur die Stöße noch stark genug gebildet werden; wir sind gewissermaßen ringsum eingeschlossen von der neuen Tonquelle und daher versehen wir sie auch schließlich in unser Gehörorgan, obwohl dies nicht so gemeint ist, als wäre die Erscheinung nur eine subjektive; sie ist in der That objektiv. Dieses kann auch leicht erkannt werden, wenn man ein dünnes Häutchen über eine Pfeife spannt, welche den Kombinationston räsonirt, denn der Sand wird durch die Tonschwingungen der Luft in der Pfeife in die Höhe geworfen. Hat man eine den neuen Ton ansprechende Haut, so braucht man nicht einmal die Pfeife, um zu erkennen, daß der tartinische Ton seine Quelle in der Luft hat.



(Fig. 327.)

Bringt man gleichzeitig mit dem Tone c seine Quinte g hervor, Töne, deren Schwingungszahlen sich wie 2 zu 3 verhalten; so wird, wie es Fig. 327 deutlich zeigt, jede zweite Verdichtungswelle des ersten Tones durch jede dritte des zweiten verstärkt und es entstehen halb so viele Verstärkungsstöße, als in den Tonwellen des c gleichzeitig Verdichtungswellen vorhanden sind; also ist die Schwingungszahl des neuen Tones nur halb so groß, als die des c und somit ist der Kombina-

tionston die nächst tiefere Oktave C des c. Die Zeichnung gibt vier ganze Wellen des c und sechs Wellen des g an; bei o und r treffen die Verdichtungen beider zusammen.

\bar{c} und \bar{e} , deren Verhältniß 4 : 5 ist, geben auch C, also die zweite niedere Oktave des tieferen Tones, weil jede vierte Verdichtungswelle des ersten Tones durch jede fünfte des zweiten verstärkt wird, also viermal weniger neue Stöße entstehen, als zu \bar{c} Verdichtungswellen gehören.

Solche Töne können nur in der ungleichschwebenden Temperatur, also bei ganz rein konsonirenden Intervallen, entstehen. Gehörten \bar{c} und \bar{e} der gleichschwebenden Temperatur an, so würde als neuer Ton fast Cis und nicht C entstehen.

Aus b und \bar{f} (2 : 3) wird B, ebenso aus \bar{f} und \bar{b} (3 : 4), aus b und d (4 : 5) wird B, ebenso aus d und \bar{f} (5 : 6), \bar{f} und \bar{as} (6 : 7), \bar{as} und \bar{b} (7 : 8).

Ob nun die von zwei Orten ausgehenden Schwingungen sich miteinander in der Luft zu einem Ton zusammensetzen oder in einem anderen Stoffe, ist ganz gleichgiltig. Die Töne der Telegraphenstangen (Bd. II., S. 103) zeigen uns, daß auch das Holz der Stoff sein kann; nur daß in diesem Beispiele zugleich die Richtung der Schwingungen in Beziehung auf die Abmessungen der Körper umgewandelt worden ist: in den Drähten finden nämlich Querschwingungen, in den Stangen aber Längenschwingungen statt.

Die Kombinationstöne sind nicht nur beim Orgelspielen brauchbar, sondern sind sehr nützlich beim Stimmen der Orgelpfeifen, weil man erst bei ihrem Entstehen auf die erlangte vollkommene Reinheit gewisser Intervalle rechnen kann.

Man kann durch Stöße leicht die genaue Länge einer Saite finden, welche einen ganz bestimmten Ton geben soll oder man kann durch Stöße Saiten stimmen.

Wenn nach einer Stimmgabel mit einer gewissen Anzahl von Schwingungen, z. B. für die des a, die Länge einer Saite angegeben werden sollte, welche genau ebensoviele Schwingungen macht, also genau denselben Ton gibt; so stellt man einen Steg so unter die Saite, daß der Ton des freien Stückes derselben mit dem der Stimmgabel eine gewisse Anzahl von Stößen in 1 Sekunde gibt. Wenn zur Gabel 217 Schwingungen gehören und es entstünden 3 Stöße, so ist es noch unentschieden, ob die Saite 220 oder 214 Stöße macht. Man wird aber an der Saite sehr leicht eine zweite Stelle auffinden, bei deren Unterstützung die Saite wieder 3 Stöße mit der Gabel gibt und nun ist der Zwischenpunkt für die gesuchte Saitenlänge leicht gefunden.

Beim Klaviere wird man eine Saite nach der Stimmgabel natürlich durch vermehrte oder verminderte Spannung stimmen und dabei berücksichtigen müssen, daß bei Vermehrung der Stöße der Ton der Saite

sich von dem der Gabel entfernt, daß man also entgegengesetzt so lange zu drehen hat, bis Stöße nicht mehr gehört werden.

Die Kombinationsstöße lassen sich ferner zur Auffindung der absoluten Schwingungszahl eines bestimmten Tones verwenden. Will man die Schwingungszahl z. B. für das a einer Stimmgabel finden, so läßt man sich eine ganze Menge von Gabeln machen (Scheibler hatte 52), deren Töne in der Oktave zwischen a und \bar{a} liegen, läßt je zwei aufeinander folgende zusammen tönen, zählt die in einer Sekunde hervorgebrachten Stöße ganz genau, addirt alle Stöße und dividirt die Summe durch 2. Je mehr Gabeln man nimmt, desto genauer wird das Resultat bei gleich guter Zählung der Stöße, die für je zwei benachbarte auch wiederholt vorgenommen werden muß, um aus allen das Mittel zu nehmen. Zur Messung der Zeit ist ein Chronometer erforderlich. — Das Verfahren ist deshalb richtig, weil die Anzahl der Stöße zweier Gabeln der Unterschied ihrer Schwingungszahlen, also die Summe aller Stöße auch der Unterschied der Schwingungszahlen der beiden äußersten Töne ist, die um eine Oktave von einander ablagen.

Wenn man bei Kirchenglocken, wie es namentlich bei großen häufig der Fall ist, ein abwechselndes An- und Abschwellen wahrnimmt; so rührt dies davon her, daß sich die Glocke beim Tönen in Theile mit Knotenlinien zerlegt und daß diese Theile wegen des nicht genau gleichförmigen Gusses auch nicht genau dieselben Schwingungszahlen besitzen, wodurch also diese Stöße entstehen müssen.

Hat von zwei gleichstimmigen Pfeifen die eine einen Stempel, welcher sich recht allmählig hineinschieben läßt, wodurch der Ton erhöht wird; so ist es interessant wahrzunehmen, wie die Anzahl der Stöße sich allmählig vermehrt, wenn die Töne sich allmählig von einander entfernen und wie endlich der Kombinationston entsteht.

Konsonanzen, Dissonanzen. Wenn unser Gefühl bei dem Zusammenhören von zwei oder mehr Tönen angenehm befriedigt wird, so sagt man, daß die Töne zu einander harmoniren oder daß sie eine Harmonie bilden; ist es aber nicht der Fall, sondern erregen gleichzeitig gehörte Töne in uns ein Mißbehagen, so sind sie disharmonische. In jenem Falle bilden sie Konsonanzen, in diesem Dissonanzen.

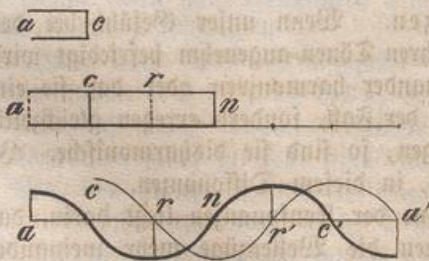
Der Grund für das Angenehme der Konsonanzen liegt darin, daß bei den sie hervorbringenden Tönen die Wellenzüge mehr ineinander übergehen und ineinander verschwimmen, was man leicht erkennt, wenn man für dieselben die in den Fig. 326 und 327 gewählte Darstellungsweise nimmt. Es ist bei ihnen eine räumlich symmetrische Eintheilung zu erkennen, welche das Ohr in gleicher Weise befriedigt, wie ein symmetrisches Bauwerk das Auge. Bei den dissonirenden Tönen gehen dagegen die Wellenzüge mehr verworren durcheinander, so daß unser Ohr durch sie gewissermaßen zerrissen wird.

b) Tongesetze bei Pfeifen. Nachdem wir an Saiten die gesetzmäßige Entwicklung der Töne und ihre Verhältnisse haben kennen gelernt, wird es keine Schwierigkeiten haben, die Beziehung der stehenden Schwingungen von Luftsäulen, welche in irgend einem festen Körper eingeschlossen sind und Pfeifen genannt werden, zu der Höhe der dadurch hervorgebrachten Töne genauer zu untersuchen.

Die Pfeifen können entweder offene sein, d. h. an ihren beiden Enden mit der äußeren atmosphärischen Luft in Verbindung stehen, oder gedeckte, welche an dem einen Ende verschlossen oder gedeckt und nur an dem Ende offen sind, an welchem die Luftsäule zu Schwingungen erregt wird. Bei jenen wird die Luftsäule in Spannung erhalten durch den von beiden Seiten von der Atmosphäre ausgeübten Druck und sie sind mit den an beiden Enden gespannten Saiten oder an beiden Enden festgehaltenen Stäben zu vergleichen; diese dagegen haben Aehnlichkeit mit den Stäben, welche nur an dem einen Ende befestigt sind. Zu dieser Vergleichung berechtigt auch die beim Tönen eintretende Eintheilung der Pfeifen in gleiche Theile, indem die offenen sich nach den graden, die gedeckten nach den ungraden Zahlen eintheilen.

Wir sind bereits im Stande, die Dicke der zu jedem bestimmten Tone gehörigen Welle anzugeben. Nehmen wir nun eine Reihe von gedeckten Pfeifen, deren Länge $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{7}{4}$ u. s. w., überhaupt ein ungradenes Vielfaches von einem Viertel der betreffenden Tonwelle beträgt; so hört man, während man den Ton außerhalb der Pfeife hervorbringt, in allen Fällen denselben Ton aus der Pfeife, welcher aber sofort aufhört, wenn der erregende Ton nicht mehr hervorgebracht wird.

Diese Erscheinung ist nur dadurch möglich und erklärlich, daß sich in der Pfeife durch Zurückwerfung der Schwingungen vom Boden derselben stehende Wellen bilden.



(Fig. 328.)

Nehmen wir zunächst an, die Pfeifenlänge ac (Fig. 328) betrage ein Viertel der Wellendicke. Kommt der verdichtete Theil der Tonwelle an der Mündung a der Pfeife an, so drängt er die Luft von a nach dem Boden c hin mit verzögerter Geschwindigkeit wegen des Widerstandes der vorwärts befindlichen Luft, wobei die Wege der Lufttheilchen um so kürzer werden, je näher sie dem Boden liegen und die Verdichtung nach dem Boden hin während des ersten Viertels der Schwingung wächst. Wegen der Elastizität der Luft erfolgt nun eine rückgängige Bewegung aller Lufttheilchen nach ihrer ursprünglichen Gleichgewichtslage mit beschleunigter Geschwindigkeit und wenn jedes in seiner alten Lage angekommen ist, so ist die

erste Hälfte der Schwingung vollendet. Da aber jedes Lufttheilchen daselbst mit einer der erlittenen Druckkraft angemessenen Geschwindigkeit angekommen ist, so setzt es den Weg darüber hinaus ebenso weit, als es jenseits gegangen war, mit verzögerter Geschwindigkeit fort, wobei die Wege der einzelnen Theile um so länger sind, je näher sie der Oeffnung a lagen und nun ist das dritte Viertel der Schwingung vollendet und der Augenblick der größten Verdünnung der Luft am Boden c eingetreten. Endlich erfolgt das letzte Viertel der Schwingung zurück nach der Gleichgewichtslage mit beschleunigter Geschwindigkeit.

So nun entstehen am Boden in der Zeit, in welcher die Welle außerhalb um ihre halbe Dicke fortschreitet, abwechselnd eine Verdichtung und eine Verdünnung, oder es ist dort ein Knoten, während an der Mündung stets ein Bauch mit der größten Schwingungsweite sich befindet, denn hier trifft der verdichtete Theil der zurückgeworfenen Welle stets mit dem verdünnten der ankommenden und umgekehrt in denselben Augenblicke zusammen.

Nehmen wir ferner eine Pfeife an, deren Länge $\frac{1}{4}$ von der Wellendicke ist, so müssen sich auch in ihr stehende Wellen bilden mit den Knoten bei c und n und den Bäuchen bei a und r . Ist die ankommende Tonwelle in die Pfeife bereits so weit getreten, daß in a die größte Verdichtung sich befindet, so muß in r die größte Verdünnung sein und wäre bei n kein Verschuß, so würde bei anhaltender Tonerregung gleichzeitig dann bei r' auch eine größte Verdichtung, dagegen bei a' eine größte Verdünnung sein. Die darunter gezeichnete stärkere krumme Linie mag diesen Wellengang versinnlichen. Nun ist aber der in die Pfeife gedruckene Welle das Fortschreiten bei n unmöglich, sie wird vielmehr daselbst zurückgeworfen und somit muß r' auf r , c' auf c , a' auf a fallen.

Es treffen also zweimal die Stellen der größten Verdichtung des zurückgeworfenen Wellentheiles auf die Stellen der größten Verdünnung der ankommenden Welle und daher ist in der Pfeife an diesen Stellen, nämlich bei r und bei a , gleichzeitig ein Bauch, während die Knoten bei c und n sich bilden müssen. — Ist nun nach einem Viertel der Schwingungsdauer die ankommende Welle um den vierten Theil ihrer Dicke vorgeschritten, also in die durch die schwache Linie bezeichnete Lage gekommen, so daß also die vorige Stelle r' der größten Verdichtung nach c' gelangt wäre, wenn ein Hinderniß durch den Boden nicht stattgefunden hätte; so muß wegen der Zurückwerfung bei n jetzt c' auf c fallen, und es liegen bei c in der Pfeife also zwei Stellen stärkster Verdichtung auf einander und bilden einen Knoten. — Nach Vollendung einer halben Schwingung ist in c die größte Verdünnung. Auch in n ist ein Knoten, nur daß Verdünnung und Verdichtung gleichzeitig abwechseln mit denen in c .

In gleicher Weise treten die Erscheinungen bei gedeckten Pfeifen ein, deren Länge ein noch größeres ungradiges Vielfache eines Viertels der ganzen Tonwellendicke ist, und es dürfte nun der so schwierig scheinende Vorgang hinreichend klar gemacht worden sein.

Es ist eine Thatsache, daß selbst in Zimmern durch die Zurückwerfung der Tonwellen von den Wänden an gewissen Stellen auch Knoten und Bäuche sich bilden und daß selbst aus einem verworrenen Geräusche durch Interferenzen ein gewisser Ton entsteht.

Ist eine gedeckte Pfeife hinreichend lang und dabei ziemlich dünn, so kann man, statt durch Konsonanz, durch verschieden starkes Anblasen in ihr dieselbe Eintheilung durch Schwingungsknoten und somit durch ihr selbstständiges Tönen eine ganze Reihe verschiedener Töne hervorbringen. Von der Mündung bis zum nächsten Knoten ist stets $\frac{1}{4}$ von der ganzen Wellendicke des Tones, aber von Knoten zu Knoten und vom letzten bis zum Boden der Pfeife stets $\frac{1}{2}$ Wellendicke. Da nun in allen Fällen die zu einem Tone gehörigen Schwingungszahlen wie umgekehrt die Dicken der Tonwellen sich verhalten, so werden auch die durch allmähliche Vermehrung der Knoten in einer gedeckten Pfeife entstehenden Töne sich wie die Anzahl der dadurch entstandenen Theile verhalten.

Gesetzt eine gedeckte Pfeife gäbe als tiefsten Ton, d. h. ohne Knoten, so daß ihre ganze Länge $\frac{1}{4}$ der Schallweite ist, den Ton C; so wird ihr nächst höherer Ton g sein müssen, weil die Pfeife jetzt von der ganzen Tonwelle $\frac{3}{4}$ enthält und die Wellendicke des neuen Tones nur $\frac{1}{2}$ von der des vorigen ist. Wäre die Wellendicke $\frac{2}{3}$ von der vorigen, so wäre der Ton seine höhere Quinte G; da aber die Wellendicke nur die Hälfte davon ist, so muß der Ton die niedere Oktave von G, d. i. g, sein. — Zu zwei Knoten, welche aus der Pfeife 5 gleiche Theile machen, so daß die Wellendicke nur $\frac{1}{5}$ von der im ersten Falle ist, gehört der Ton e. — Zu drei Knoten und 7 Theilen gehört $\sharp a$ und zu 4 Knoten und 9 Theilen \bar{a} .

Tritt durch das eine Ende einer offenen Pfeife eine außerhalb erregte Tonwelle, so kann sich an dem anderen offenen Ende kein Knoten bilden, weil dasselbe mit der äußeren Luft in Verbindung steht, wohl aber wächst die Dichtigkeit der eintretenden Verdichtungswelle nach der Mitte der Pfeife hin, weil ein seitliches Entweichen der Luft ringsum gehindert ist. Entsteht also durch selbstständiges Anblasen einer offenen Pfeife ein Ton, so muß mindestens ein Knoten und zwar in der Mitte gebildet werden, so daß in der ganzen Pfeife zwei Viertelwellen vorhanden sind und als Grundton derselbe Ton erscheint, welchen eine gedeckte Pfeife von halber Länge (von der einen Mündung bis zum Knoten in der Mitte) gab. — Entstehen durch stärkeres Anblasen zwei Knoten, so ist die Pfeife in 4 gleiche Theile getheilt, so zwar, daß von jedem Ende bis zum nächsten Knoten $\frac{1}{4}$ Welle und zwischen den beiden Knoten,

in denen Verdichtung und Verdünnung abwechseln, $\frac{1}{4}$ der Welle enthalten sind. — Bei drei Knoten sind 6, bei vier Knoten 8 Viertelwellen u. s. w. vorhanden.

Die Eintheilung der offenen Pfeifen geschieht also nach einer graden Anzahl von Viertelwellen und da auch bei ihnen in Betreff der Schwingungszahlen das obige Gesetz gilt, so werden sich auch hier für einen gewissen Grundton der Pfeife die anderen Töne derselben Pfeife berechnen lassen. Ist der Grundton der offenen Pfeife c , so folgen auf ihn die Töne \bar{c} , \bar{g} , \bar{e} , \bar{e} , \bar{g} . Die Aufeinanderfolge ist dieselbe wie die bei der freiwilligen Eintheilung einer Saite (Vergl. S. 152).

Macht man aus einer offenen Pfeife während des Anblasens dadurch eine gedeckte, daß man die andere Oeffnung verschließt; so springt der Grundton in die nächsttiefere Oktave über, weil sich die Wellenlänge verdoppelt, indem in der offenen Pfeife eine halbe Welle enthalten war, während in der gedeckten die Luftsäule von derselben Länge nur ein Viertel einer Welle umfaßt. Es ist also klar, daß man bei einer einzigen Pfeife zufolge der Stärke des Anblasens und des abwechselnden Schließens der Oeffnung eine ziemlich große Reihe von Tönen hervorbringen kann, nämlich: C , c , g , \bar{c} , \bar{e} , \bar{g} , $\sharp a$, \bar{c} , \bar{d} , \bar{e} , \bar{g} .

Die Knaben können daher auf einer ziemlich langen und dünnen Weidenpfeife kleine Melodien spielen. — Die Waldhornbläser benutzen während des Blasens häufig die rechte Hand, um die weitere Oeffnung des Instrumentes, wenn auch nur theilweise, zu verschließen, oder, wie man zu sagen pflegt, zu stopfen. — Bei den Orgelpfeifen sind bewegliche Metalldeckel, Dhren, an der offenen Seite angebracht, um durch sie die Pfeifen mehr oder weniger zu gedeckten zu machen, je nachdem der Ton niedriger oder höher gemacht werden soll. — Es ist also natürlich, daß die Erweiterung, so wie die Verengung der Mündung eines Instrumentes auf seine Tonhöhe von Einfluß ist.

Wenn man auch bei einigen Blasinstrumenten durch das Stopfen oder durch die verschiedene Anspannung und Erzitterung der Lippen beim Blasen auf demselben Instrumente eine ziemlich große Reihe von Tönen zu erzeugen im Stande ist, so lassen sich doch nicht alle Töne aller Tonarten und manche nur sehr schwierig hervorbringen. — Beim Waldhorne hilft man sich durch den Ansaß verschieden langer Mundstücke, welche grade dem Bedürfnisse entsprechen, indem sie die Länge der ganzen Luftsäule entweder verkürzen oder verlängern und bei der Posaune durch ein verschiebbares Ende, welches für die tieferen Töne herausgestoßen, für die höheren hereingezogen wird.

Diese Mittel bewegen sich aber für die Leistungen in der Musik in zu engen Gränzen und daher hat man die Klappeninstrumente erfunden, welche in neuerer Zeit, namentlich bei Blechinstrumenten, zu einer sehr großen Vollkommenheit gediehen sind. Bei manchen Instrumenten werden alle oder die meisten Oeffnungen mittelst der Finger ge-

geschlossen und geöffnet (Fiskolopfeife, Flöte, Klarinette u. a.), bei anderen durch hebelartige Klappen, welche mittelst Metallfedern auf die Oeffnungen gedrückt werden. Sind diese Oeffnungen bei einem gewissen Tone an den Stellen der Bänche, so ist es für die Tonhöhe gleichgiltig, ob sie geschlossen oder offen sind; aber im letzteren Falle gewinnt die Reinheit der Töne in ähnlicher Weise, wie wir es bei den Flageolettönen kennen gelernt haben. Lüftet man aber eine Oeffnung an einer Knotenstelle, so kann dort ein Knoten (Verdichtung und Verdünnung) nicht mehr entstehen und die Luftsäule reicht nur bis an eine solche Oeffnung, wozu ein ganz neuer und höherer Grundton mit seinem Gesolge gehört; dabei aber können noch andere freie Oeffnungen an den Bänchen der neuen Töne liegen. Daraus ist zu entnehmen, daß nicht nur die angemessene Vertheilung der Oeffnungen eine reifliche Uebersetzung, sondern auch das gute Spielen auf einem solchen Instrumente eine bedeutende Fertigkeit verlangt.

Charakter der Töne. Bei den Blasinstrumenten geräth unstreitig nicht nur die Luftsäule in Schwingungen, sondern durch Uebersetzung auch das Umhüllungsmaterial derselben. Daher kommt nun der verschiedene Charakter eines und desselben Tones, welchen man nicht nur auf verschiedenartigen Instrumenten, sondern auch auf gleichartigen wahrnimmt. Es sind z. B. nicht alle Flöten gleich gut, denn zu dickes Holz gibt dumpfe und klanglose Töne; es ist zu den Blechinstrumenten nicht jede Metallkomposition gleich brauchbar, denn ist sie allzuelastisch, so ist der Ton zu schmetternd; bei wenig elastischer zu dumpf. Beim Fagott und der Oboe kommt es auch außerdem noch auf das Mundstück mit seiner Zunge (Schnate) an. — Wenn Jemand eine längere Zeit auf einem sonst guten Instrumente, aber in ungeschickter Weise schlechte Töne hervorbringt, so kann durch das Mitschwingen des die Luftsäule umgebenden Stoffes das Instrument so verblasen werden, daß es für bessere Zwecke kaum noch brauchbar ist. — Bei Saiteninstrumenten ist es ähnlich. Ein guter Violinspieler kann durch sein Spielen eine schlechte Violine verbessern, ein schlechter Spieler ein gutes Instrument wenigstens zeitweise verschlechtern.

Die oben für die Pfeifen angegebenen Tongesetze erleiden durch verschiedene Umstände einige Abänderungen, z. B. wenn man in den Boden einer gedeckten weiten Pfeife ein enges Ansatzrohr einfügt, wenn man dem Mundstücke verschiedene Weiten gibt, wenn der Durchmesser der Pfeife mehr als $\frac{1}{2}$ ihrer Länge beträgt; wir wollen aber diese zu sehr ins Einzelne gehenden Untersuchungen hier nicht weiter erörtern, sondern nur noch anführen, wie man mittelst der Töne die Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen Luftarten bestimmen kann. —

Man nimmt zu diesem Zwecke eine gedeckte Pfeife, füllt sie mit der betreffenden Luftart und bringt den tiefsten zu ihr gehörigen Ton

hervor. Verschiedene Gase lassen in derselben Pfeife verschiedene Töne wahrnehmen, jedenfalls aber ist in der Pfeife $\frac{1}{4}$ Tonwelle enthalten. Ist also die Pfeifenlänge 1, so ist die Dicke der Tonwelle 4l. Wenn nun der gehörte Ton zu n Schwingungen in 1 Sekunde gehört, so ist die Fortsetzungsgeschwindigkeit in der Luftart, welche grade diesen Ton gibt, $n \cdot 4l$.

Je enger die Pfeifen sind, desto genauer ist das Resultat, weil die Schallwelle an der Mündung zwar stets etwas heraustritt, also die Pfeife etwas kürzer ist, als $\frac{1}{4}$ Tonwelle (oder der Ton etwas tiefer, als der Pfeifenlänge entspricht), aber bei der weiteren mehr, als bei der engeren.

Wenn man die Geschwindigkeit des Schalles in der atmosphärischen Luft gleich 1 annimmt, so ist sie im

Kohlensauren Gase . . .	0,786	Sauerstoffgase	0,952
Stickstoffoxyd	0,787	Kohlenoxydgase	1,013
Delbildenden Gase . . .	0,943	Wasserstoffgase	3,812

Diese Geschwindigkeiten nehmen im Allgemeinen zwar zu, wenn die spezifischen Gewichte abnehmen; es scheinen aber für diese Untersuchungen noch nicht alle Umstände berücksichtigt zu sein. Wichtig ist für die Tonverhältnisse, daß mit zunehmender Temperatur einer gewissen Luftart der Ton derselben Pfeife sich erhöht, die Geschwindigkeit wächst, und daß somit der Ton einer kalten Pfeife während des Gebrauches oder wenn sie in einen wärmeren Ort gebracht wird, sich erhöht. Daher ist es nothwendig, vor einem Konzerte alle Instrumente einige Zeit entweder in den Konzertsaal zu bringen oder an einem ebenso warmen Orte aufzubewahren. Dann erst kann man die Saiteninstrumente nach den Blasinstrumenten (der Klarinette) mit Erfolg auf die Dauer richtig stimmen.

Hat man Glasröhren mit verschiedenen Luftarten gefüllt und bringt man sie durch Reiben mit einem feuchten wollenen Flecken zum Tönen mit Längenschwingungen, so läßt sich aus der verschiedenen Anzahl von Wellen in den verschiedenen Fällen auf das Verhältniß der Geschwindigkeit des Schalles im Glase und in der betreffenden Luftart schließen; sie ist im Glase 16mal größer, als in der atmosphärischen Luft und 7mal größer, als im Wasserstoffgase. Man macht hierbei die Wellen durch Hexenmehl (semen licopodii), welches in den Röhren gleichmäßig vertheilt ist, sichtbar. Es entstehen also in jenem Falle 16, in diesem 7 Wellen.

c) Töne an verschiedenen Körpern. Schließlich wollen wir noch einige Bemerkungen über die Töne anderer Körper als der Saiten und Luftsäulen und bei anderen Schwingungsarten anführen.

Bringt man Saiten oder auch Stäbe durch Anstreichen unter einem recht spitzen Winkel zum Tönen, so geschehen Längenschwingungen, zu welchen bedeutend höhere Töne gehören, als zu den Querschwingungen

desselben Körpers. Daher nimmt man zu diesen Versuchen sehr lange Saiten.

Die Saite schwingt hierbei entweder als Ganzes oder sie theilt sich in 2, 3, 4, 5... gleiche Theile durch Bildung von Schwingungsknoten bei der Berührung eines Theilungspunktes. Die entstandenen Töne entsprechen den ganzen Zahlen in ihrer natürlichen Reihenfolge.

Wenn bei Stäben eine überwiegende Länge vorkommt, so ist es für einen gewissen Stoff gleichgiltig, ob der Stab dick oder dünn, voll oder hohl, walzenförmig (zylindrisch) oder kantig (prismatisch) ist. Die an den beiden Enden freien Stäbe theilen sich durch Schwingungsknoten in eine grade, die an dem einen Ende befestigten in eine ungrade Anzahl gleicher Theile, woraus sich die Höhe der Töne entnehmen läßt. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Längenwellen in dem Stoffe des Stabes steht mit der Tonhöhe in derselben Beziehung, wie der Ton einer Pfeife zur Geschwindigkeit des Schalles in der Luft. Daraus läßt sich die Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen Stoffen und der Grad der Elastizität nach verschiedenen Richtungen eines nicht isomorph gebildeten Körpers finden. Holz hat parallel mit den Fasern (oder Jahrgängen) eine größere Elastizität, als in der darauf senkrechten Ebene.

Tönende Scheiben geben bei gleicher Beschaffenheit des Stoffes, bei gleicher Gestalt und Klangfigur um so tiefere Töne, je dünner und je größer sie sind; je weniger elastisch Scheiben von gleicher Größe, Dicke, Form und mit gleicher Klangfigur sind, desto tiefer ist ihr Ton. Ist von den zuletzt genannten vier Stücken eines derselben verschieden oder sind mehre verschieden, so können die Töne zweier Scheiben gleich hoch sein bei Gleichheit oder Verschiedenheit der Klangfigur. Jedensfalls gehört bei einer bestimmten Scheibe zu den zusammengesetzteren Figuren, welche aus der Scheibe kleinere Theile bilden, höhere Töne. Ist auf einer Scheibe ein bestimmtes Stück der Oberfläche ringsum durch Knotenlinien abgegränzt, so enthält es eine ganze Flächenwelle; sind aber die Gränzen zum Theil durch die Kanten der Scheibe gebildet, so sind diese Stücken nur Hälften oder Viertel der Welle. Man kann, wenn man den zu einer bestimmten einfachen Figur gehörigen Ton einer bestimmten Scheibe kennt, aus einer neuen Figur auf ihr den Ton erkennen und aus dem Tone auf die zu ihm gehörige Figur schließen.

Wenn Massen, deren Abmessungen nach verschiedenen Richtungen nicht sehr von einander verschieden sind, angeschlagen werden, wie etwa, wenn man mit einem Hammer auf einen Ambos, auf einen frei liegenden Stein, auf einen trockenen Holzkloben u. dergl. schlägt; so hört man auch einen gewissen Ton und muß schon aus den meist wahrgenommenen Anschwellungen auch auf das Vorhandensein von Knotenflächen schließen, aber man hat es hier nicht in seiner Gewalt, Tonveränderungen vorzunehmen. Will man also dergleichen Massen in Konzert-

stücken verwenden, wie es in der Oper „Acidor“ mit Ambossen geschehen ist, so muß man für jeden zu gebrauchenden Ton eine besondere Masse aufstellen. Dieses musikalische Mittel schmeckt weniger nach Kunst, als nach Effekthascherei!

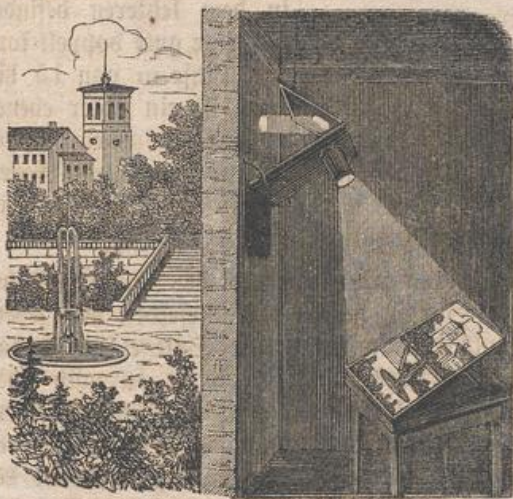
Zweiter Abschnitt.

Vom Lichte.

Die Betrachtungen, welche wir aus der Lehre vom Lichte noch anzuführen haben, beziehen sich zwar auch auf Erscheinungen, welche ihren letzten Grund in Schwingungen haben, bieten aber übrigens in ihrer Anwendung so vieles Abweichende von der vergleichenden Theorie dar, daß wir ihnen einen besonderen Platz anweisen. Wir wollen zunächst eine Reihe interessanter und nützlicher optischer Instrumente anführen, bei welchen theils die Strahlenbrechung, theils die Zurückwerfung, theils beide Anwendung gefunden haben.

Optische Instrumente.

Die Camera obscura oder dunkle Kammer haben wir zwar schon früher (Bd. II. S. 21) erwähnt, aber die in ihr ohne Anwendung von Gläsern sich zeigenden Bilder entbehren der nöthigen Schärfe,



(Fig. 329.)

wenn die Oeffnung im Laden zu groß, und der nöthigen Deutlichkeit, wenn die Oeffnung zu klein ist und leiden jedenfalls an beiden Mängeln ohne Anwendung von achromatischen Gläsern.

Fig. 329 zeigt links eine Landschaft, rechts ein verfinstertes Zimmer mit einer kreisrunden Oeffnung an einer Seitenwand oben, durch welche von den gut beleuchteten äußeren Gegenständen Lichtstrahlen auf einen so geneigten