

Einige Versuche
aus
dem Reiche der Töne.

Von

Dr. Josef Tuma,

Universitäts-Dozent und Dozent für Akustik am Conservatorium.

Vortrag, gehalten den 27. Jänner 1897.

(Mit Experimenten.)

Mit 11 Abbildungen im Texte.

Hochverehrte Anwesende!
Meine Damen und Herren!

Wenn ich als Thema meines heutigen Vortrages „Einige Versuche aus dem Reiche der Töne“ angekündigt habe, geschah dies zu einer Zeit, zu welcher ich noch über die Wahl des engeren Vortragsgebietes unschlüssig war. Die Akustik, welche sich mit den verschiedenen Erscheinungen auf dem Gebiete der Schallerzeugung, sowie der Schallvermittlung beschäftigt, ist heute ein ausgebreiteter Theil der Physik, und die bedeutendsten Denker waren es, welche sich mit der Erforschung akustischer Phänomene beschäftigten. Dazu kommt, dass wir gerade in der Akustik einen viel tieferen Einblick in das Wesen der Vorgänge haben als in anderen Gebieten der Physik, indem wir genau wissen, dass der Schall eine Bewegung zur Ursache hat, während wir über das Wesen des Lichtes, der Wärme u. s. w. absolut im Unklaren sind. Und doch zeigen sich auch in der Akustik immer neue Räthsel und stellen sich dem Forscher immer neue Probleme.

Die Akustik ist heute ein Theil der Musiktheorie geworden, insoferne als sie bestrebt ist, die Ursache der angenehmen oder unangenehmen Wirkungen zusammenklingender Töne zu erforschen und eine Theorie der Naturgesetze zu finden, welche für die Construction der Tonleiter maßgebend waren. Andererseits beschäftigt sich die Akustik mit der Theorie unserer Musikinstrumente und mit den Vorgängen bei der Schallvermittlung vom tönenden Körper zu unserem Ohre. Außerdem hat man gelernt, die auf akustischem Gebiete gewonnenen Erkenntnisse auch auf andere Wissensgebiete zu übertragen und zu anderen Forschungen zu verwenden. So verdanken wir es einem zuerst in der Akustik beobachteten Phänomen, welches durch das Doppler'sche Princip erklärt wird, dass wir über die Richtung der Bewegung unseres Sonnensystems informiert sind; so bedienen wir uns, worauf ich noch zum Schlusse mit wenig Worten zurückkommen will, einer schwingenden Stimmgabel, um die Geschwindigkeit unserer Geschosse zu messen.

Sie können sich denken, verehrte Anwesende, dass mir bei dieser Fülle die Wahl schwer wurde, welche Versuche aus dem Reiche der Töne ich vorführen soll. Schließlich entschloss ich mich, als engeres Thema die Bedeutung der Zeitmessung für die Musik zu wählen.

Werfen wir zunächst einen Rückblick bis zur Kindheit des Menschengeschlechtes, so finden wir schon zu jeder Zeit die Liebe zur Musik verbreitet.

Wohl dürfte der Gesang so alt sein wie die Möglichkeit, artikulirte Laute überhaupt hervorzubringen.

Auch wann und wie das Saitenspiel erfunden wurde, ist nicht überliefert worden. Eine gespannte Schnur mag vielleicht zuerst zur Beobachtung geführt haben, dass derselben durch Zupfen Töne entlockt werden können. Wenn wir Ovids „Metamorphosen“ lesen, finden wir da des Tönens der Bogensehnen Erwähnung gethan, mit welchen Artemis und Apollo die tödlichen Pfeile auf die Kinder der Niobe sandten. Vielleicht also war es ein Jäger, der das erste Saiteninstrument schuf, indem er statt einer Sehne deren mehrere auf seinen Bogen spannte, und der so zum ersten Virtuosen wurde.

Sobald die Menschen gelernt hatten, musikalische Klänge hervorzubringen, mussten sie alsbald die verschiedene Wirkung lang angehaltener oder kurzer Töne fühlen, sowie die Bedeutung von in kürzeren oder längeren Zeitintervallen aufeinanderfolgenden Tönen erkennen. Dies setzte aber bereits eine Erkenntnis der Gleichheit oder Ungleichheit einzelner Zeitläufe voraus. Darüber konnte man damals nur ein schätzungsweise gewonnenes Urtheil besitzen.

Heute bedienen wir uns zum Vergleiche größerer Zeitintervalle des Secundenpendels. In Wirklichkeit sind wir aber heute noch auf die Schätzung angewiesen, denn wir können keinen absolut richtigen Beweis erbringen, dass die Pendelschläge wirklich in genau gleichen Zeitintervallen erfolgen, und wenn wir dies

dennoch behaupten, so beruht eben unsere Aussage auf einer Schätzung.

Durch gewisse regelmäßig wiederkehrende Körperbewegungen, z. B. das Bewegen der Füße beim Gehen, war wohl den ersten Menschen ein Maß für die Zeit beim Musicieren gegeben.

Andererseits lösen in gleichen Zeiten wiederkehrende Töne Vorstellungen an ebenso gleichartig erfolgende Körperbewegungen aus, und somit musste die Vereinigung von Musik und Tanz schon frühzeitig erfolgen. Hieraus ergibt sich die erste Bedeutung der Zeitmessung für die Musik, und zwar für den Rhythmus.

Die Genauigkeit in der Zeitmessung, welche da verlangt wird, ist eine sehr geringe. Sie braucht nicht größer zu sein, als sie durch Körperbewegungen und Schätzung zu erzielen ist, und in der That führt man beim Tactgeben ganz bestimmte immer wiederkehrende Bewegungen aus, wobei den Tactgebenden die Muskelgefühle über die Raschheit der einzelnen Bewegungen belehren.

Da diese Rolle, welche die Zeitmessung in der Musik spielt, wegen der geringen Genauigkeit, die sie erfordert, wissenschaftlich von wenig Interesse ist, wollen wir uns sofort einer anderen wichtigeren Bedeutung der Zeitbestimmung für die Musik zuwenden.

Der Erfindung der ersten Musikinstrumente musste nothwendig die Beobachtung vorausgehen, dass man nur dann einen Körper zum Tönen bringen kann, wenn man ihn oder einzelne seiner Theile in Bewe-

gung versetzt. So z. B. fand man, dass eine Saite eines Instruments einen Ton gibt, sobald man ihr durch Schlagen, Zupfen oder Streichen Bewegung mittheilt. Ebenso fand man schon frühzeitig, dass stärker gespannte Saiten höhere Töne geben. Man suchte nun unter allen Tönen, welche man zu erzeugen im Stande war, jene zusammen, welche in ihrer Aufeinanderfolge und beim Zusammenklange die angenehmste Wirkung ausübten. So gelangte man zur Construction der Tonleitern, welche zwar bei verschiedenen Völkern verschieden ausfielen, jedoch immerhin gewisse Intervalle gemeinsam haben. Dies ist ein Zeichen, dass hier gewisse Naturgesetze herrschen, und um letztere studieren zu können, musste man die genauen Beziehungen, welche zwischen den Tönen der Tonleitern bestehen, kennen.

Während man schon frühzeitig erkannt hatte, dass es in allen verschiedenen Höhenlagen immer Gruppen von Tönen gibt, die beim Zusammenklange auf unser Ohr den gleichen Eindruck ausüben, so war es doch erst Mersenne (Ende des 16. und Anfang des 17. Jahrhunderts) vorbehalten, die Beziehung zwischen Schwingungszahl und Tonhöhe zu erkennen. Dies führte zur Entdeckung, dass der erwähnte gleichbleibende Eindruck gewisser zusammenklingender Töne bei verschiedenen Tonhöhen von der Gleichheit der Verhältnisse der Schwingungszahlen abhängt. Man musste also, um die Giltigkeit dieses Gesetzes in voller Schärfe nachzuweisen, im Stande sein, zu be-

stimmen, wie viel Schwingungen ein tönender Körper in der Secunde ausführen muss, damit eine bestimmte Tonhöhe zustande komme.

Indem ich beabsichtige, Ihnen hier einige Methoden derartiger Bestimmungen vorzuführen, will ich gleich bemerken, dass ich da durchaus nicht erschöpfend sein will, sondern nur einige Arten der Messung erläutern werde, die sowohl durch die Genauigkeit, welche wir mit ihrer Hilfe erzielen, sowie durch ihre Eleganz hohe Bewunderung verdienen.

Zunächst bedarf man, um irgendwelche Messungen auszuführen, eines sogenannten Etalons, das ist eines Körpers, der in Bezug auf die zu messende Größe unveränderlich ist, und mit dem man alle anderen Körper, an welchen man dieselbe Erscheinung messen will, vergleichen kann. Als Etalon für die Tonhöhe verwendet man am besten eine Stimmgabel, indem dieselbe außer durch Temperaturänderungen keinen wesentlichen Störungen unterworfen ist. Von dieser Stimmgabel muss man die Schwingungszahl kennen, um dann durch Vergleichung mit ihr die Schwingungszahlen anderer tongebender Körper bestimmen zu können. Es bleiben mir somit zwei Aufgaben, nämlich: 1. Ihnen zu zeigen, wie man die Schwingungszahl der als Etalon dienenden Stimmgabel ermittelt, und 2. wie man durch Vergleichung mit dieser die Schwingungszahlen anderer tönender Körper finden kann.

Bevor ich an die Lösung dieser Aufgaben schreite, will ich noch bemerken, dass es in vielen Fällen sehr

vorteilhaft ist, wenn die Vergleichsstimmgabel nicht einen bald vorübergehenden Ton gibt, wie es bei solchen Gabeln der Fall ist, die einfach durch einen Schlag mit einem lederüberzogenen Hammer oder durch Streichen mit einem Bogen zum Tönen gebracht werden, sondern dass sie fortwährend in gleich starken Schwingungen verbleibe. Dies erreicht man mit Hilfe einer elektromagnetischen Stimmgabel.

Auf einem in der schematischen Zeichnung (Fig. 1) nicht bezeichneten Gestelle sind die Stimmgabel *S*, der Elektromagnet *M* und die Mutter *m* der Stellschraube *s* befestigt, welche letztere die an einer der Stimmgabelzinken befestigte Feder *F* berührt. Die Schaltungsweise ist aus der Figur unmittelbar zu ersehen, und ist dieselbe, welche Sie an jeder elektrischen Klingel im Hausgebrauche wahrnehmen können. Sobald die elektromagnetische

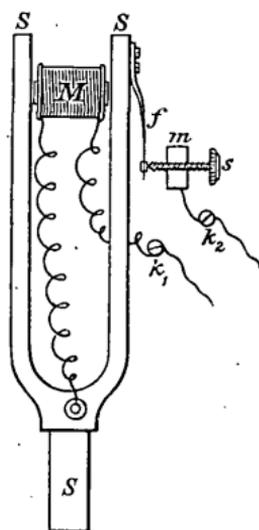


Fig. 1.

Stimmgabel mittels der Klemmschrauben k_1 und k_2 in den Stromkreis einer Batterie eingeschaltet wird, findet der elektrische Strom seinen Weg von k_1 in den Elektromagneten *M*, von hier in die Stimmgabel *S* und aus dieser durch die Feder *F*, die Schraube *s* und k_2 zur Batterie zurück. Durch den Strom wird *M* magnetisch, zieht die Stimmgabelzinken gegen einander, die Feder *F* hebt sich von *s* ab, und der Strom wird unter-

brochen. Infolge des Unmagnetischwerdens des Elektromagneten *M* kehrt die Gabel zu ihrer früheren Gestalt zurück, und das Spiel beginnt von neuem. Auf diese Weise wird die Gabel in fortwährender Bewegung erhalten und gibt einen continuierlich anhaltenden Ton.

Soll nun die Schwingungszahl einer solchen Stimmgabel gemessen werden, so verwendet man oft

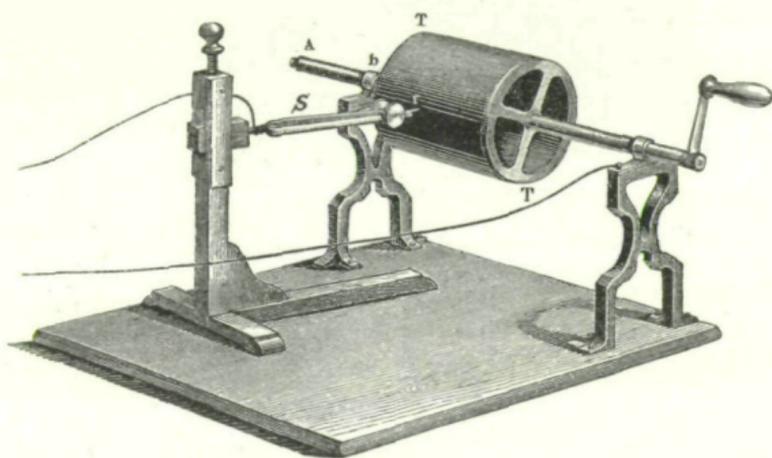


Fig. 2.

einen Apparat, wie ihn Figur 2 zeigt. Es ist da eine mit berußtem Papier überzogene Walze *T* an einer Achse *A* befestigt, die durch eine Kurbel in Rotation versetzt werden kann. Die Achse ist bedeutend länger als die Walze und hat in ihrem freien Theile ein Schraubengewinde eingeschnitten, vermöge dessen sie sich während ihrer Rotation in der Längsrichtung verschiebt. An eine Zinke der Stimmgabel *S*, welche von

einem passenden Stativ gehalten wird, wird eine kleine spitze Feder r befestigt, die während der Rotation der Walze T eine Schraubenlinie in die Rußschichte einkratzt, solange die Stimmgabel in Ruhe ist, dagegen eine Wellenlinie, wenn die Gabel schwingt. Außerdem sind Stimmgabel und Walze durch die in der Figur ersichtlichen Drähte mit einem Ruhmkorff'schen Apparate in Verbindung. Dieser wird durch den Strom einer galvanischen Batterie bethätigt, indem der letztere alle Secunden durch ein Pendel für einen Moment geschlossen wird. Der vom Ruhmkorff erzeugte elektrische Funken springt von der Spitze r auf die Walze T über und durchlöchert dabei das Papier. Man findet nunmehr leicht die gesuchte Schwingungszahl, indem man die zwischen zwei so erzeugten Secundenmarken aufgezeichneten Wellen abzählt. Man kann da auf zweierlei Weise verfahren, je nachdem man einen jeden Wellenberg und jedes Wellenthal als eine Schwingung der Stimmgabel auffasst oder einen Wellenberg und ein Wellenthal zusammen als eine Schwingung bezeichnet. Bei der Zählung nach der ersten Methode fällt die Schwingungszahl doppelt so groß aus als nach der zweiten. Man nennt die Schwingungen im ersten Falle einfache Schwingungen („vibrations simples“, abgekürzt V. S.), im zweiten ganze Schwingungen. Während der Physiker aus hier nicht näher zu erörternden Gründen gewöhnlich nach ganzen Schwingungen rechnet, geschieht dies in der Akustik oft nach einfachen.

Eine andere, viel genauere, wenngleich wegen des kostspieligen Apparates seltener angewandte Methode, ein Etalon zu schaffen, beruht in der Verwendung einer König'schen Stimmgabeluhr, wie sie in Figur 3 dargestellt ist. Es ist dies eine Uhr, welche

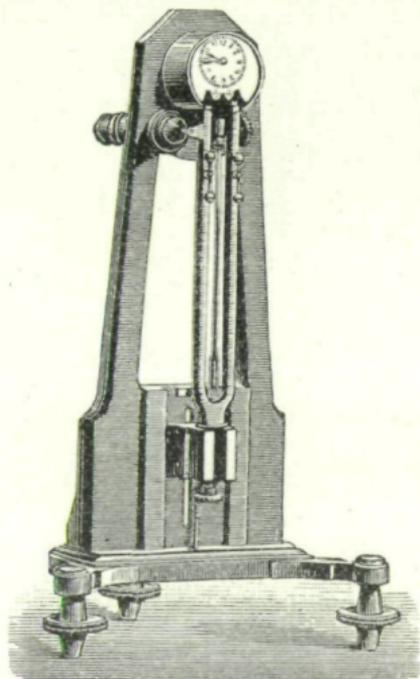


Fig. 3.

anstatt eines Pendels eine Stimmgabel besitzt und, ganz so wie eine gewöhnliche Uhr ihr Pendel antreibt und durch dieses reguliert wird, ebenfalls die Stimmgabel durch seitens des Räderwerkes fortwährend ausgeübte Impulse in Bewegung erhält und durch die während jeder Schwingung eintretende Hemmung im gleichmäßigen Gange erhalten wird. Eine solche Uhr kann längere Zeit im Gange bleiben und während dessen mit

anderen Uhren verglichen werden.

Aus dem Gange der Stimmgabeluhr kann man die Schwingungszahl der das Pendel ersetzenden Stimmgabel auf das genaueste bestimmen.

Eine billigere Methode hat Herr Hofrath v. Langersonnen und angewandt. Es gibt nämlich einen

Apparat, das Hipp'sche Chronoskop, der sich oft in den physikalischen Sammlungen vorfindet, und dazu dient, kleine Zeiten auf einem Zifferblatt wie bei einer Uhr abzulesen. Sein Uhrwerk wird durch eine Feder reguliert, unter welcher ein Zahnrad vorübergleitet, das dadurch die Feder in Schwingungen versetzt. Infolge dessen gibt letztere einen Ton, und man kann durch Verlängerung oder Verkürzung derselben ihren Ton jenem einer zu untersuchenden Etalongabel nahezu gleich machen. Auch hier zählt das Uhrwerk die Schwingungen der regulierenden Feder, und man kann so nach einer im Folgenden zu besprechenden akustischen Methode die Schwingungszahl des Etalons finden.

Nachdem ich hiermit einige Methoden vorgeführt habe, welche dazu verwendet werden können, ein Etalon zu schaffen, will ich daran gehen, zu zeigen, wie man mit einer solchen Vergleichsstimmgabel die Schwingungszahlen anderer Tonhöhen finden kann. Im allgemeinen werden die zu bestimmenden Schwingungszahlen sehr von jener des Etalons verschieden sein.

Außerdem wird im allgemeinen das Verhältnis der Schwingungszahlen ein sehr compliciertes sein, d. h. der Bruch, den wir erhalten, sobald wir die Schwingungszahlen der Vergleichsgabel und des zu vergleichenden Tones als Zähler und Nenner anschreiben, wird sich oft nicht auf kleine Zahlen abkürzen lassen. Nach einer rein akustischen, sofort zu erörternden Methode lässt sich ein solcher Ton leicht und mit großer Genauigkeit mit einem gewöhn-

lich sehr nahe liegenden Töne vergleichen, dessen Schwingungszahl zu jener des Etalons in einem einfachen Verhältnisse steht. Als solche zwischenliegende Tonquelle verwendet man am besten wieder eine Stimmgabel, die man vortheilhaft mit schweren Metallklammern versieht, indem man sie dann in weiten Grenzen tiefer oder höher stimmen kann, je nachdem man die Klammern näher den Enden der Zinken oder näher am Grunde der Gabel festklemmt. Ist diese Bestimmung vorgenommen, so kann die Schwingungszahl der Hilfsgabel in einfacher, später zu erörternder Weise nach einer optischen Methode gefunden werden.

Ich gehe nun daran, Ihnen die akustische Methode für die Vergleichung zweier Tonquellen, deren Schwingungszahlen sich nicht um mehr als höchstens 10 bis 12 einfache Schwingungen unterscheiden, auseinanderzusetzen.

Ich habe hier zwei Stimmgabeln, von denen die eine 866, die andere 874 einfache Schwingungen in der Secunde vollführt. Ich will zunächst die eine, dann die andere mit einem mit weichem Filz überzogenen Hammer anschlagen, und bitte mir Ihre Meinung zu sagen, welche der angeschlagenen Gabeln die tiefere ist. (Rufe aus dem Auditorium: die zweite.) Ganz richtig. Sie sehen somit, wie gut organisiert unser Gehör ist, indem wir keinen Moment im Zweifel sind, welcher von zwei Tönen der höhere oder tiefere ist, wenngleich der Unterschied weniger als 1 0/100 beträgt. Nun will ich beide Stimmgabeln gleichzeitig tönen

lassen, und Sie merken, dass, während früher, als jede Gabel allein ihren Ton gab, dieser continuierlich anhaltend war, gegenwärtig ein fortwährendes Anschwellen und Abnehmen des Tones hörbar ist. Diese Erscheinung, welche man als Schwebungen bezeichnet, kommt folgendermaßen zustande.

Sie wissen, dass dasjenige, was wir als Ton wahrnehmen, seinen Grund in abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft hat, die sich von der Tonquelle aus verbreiten, und die wir Schallwellen nennen. Sobald eine solche Verdichtung der Luft an das Trommelfell unseres Ohres gelangt, wird dieses einwärts gedrückt. Gelangt eine Verdünnung dahin, so wird es nach außen gezogen, und diese Bewegungen rufen in uns die Empfindung des Tones hervor.

Haben wir zwei Tonquellen, so kann es geschehen, dass die Verdichtungen und Verdünnungen gleichzeitig an unser Trommelfell kommen und sich beide Töne verstärken. Es kann aber auch der Fall sein, dass eine Luftverdichtung, welche von der einen Tonquelle ausgeht, mit einer Verdünnung von der anderen zusammentrifft, und dann löschen sich beide Töne ganz oder theilweise aus. Sendet aber, wie dies im vorliegenden Falle geschieht, die eine Tonquelle z. B. acht einfache, d. i. vier ganze Schwingungen mehr aus als die andere, dann muss es viermal in der Secunde geschehen, dass eine Verdichtung mit einer Verdünnung zusammentrifft, das Trommelfell unseres Ohres in Ruhe bleibt und also eine Auslöschung des Tones erfolgt. Zählt

man demnach die Schwebungen in einer Secunde, so erfährt man, wie viele ganze Schwingungen der eine

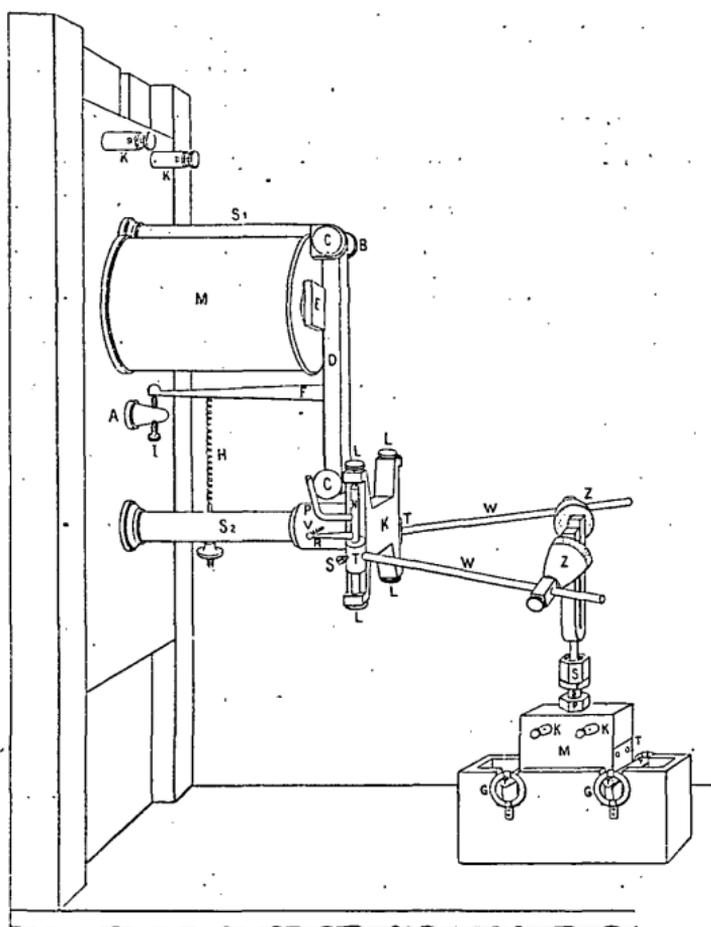


Fig. 4.

tönende Körper mehr vollführt als der andere. Die Differenz darf natürlich nicht zu groß sein, weil sonst eine Zählung unmöglich wird.

Ich habe schon früher bemerkt, dass zum richtigen Gebrauch einer Normal-Stimmgabel erforderlich ist, darauf zu achten, dass die Temperatur des Raumes, in dem die Messung vorgenommen wird, immer dieselbe ist. Als ich gelegentlich der vorbereitenden Arbeiten für das Stimmgabel-Verificationsbureau, das den Bestimmungen der internationalen Stimntonconferenz vom Jahre 1885 hier in Wien errichtet wurde, von Herrn Hofrath v. Lang den Auftrag erhielt, zwei Hilfsgabeln von 866 und 874 einfachen Schwingungen genau abzustimmen, machte ich die Wahrnehmung, dass bei sehr genauen Messungen das Anzünden einer Gasflamme, sowie sogar schon die Nähe des Beobachters die Tonhöhe der Stimmgabeln in merkbarer Weise beeinflusste. Deshalb construierte ich diesen Apparat (Fig. 4), der gestattet, die Beobachtungen aus weiter Ferne auszuführen. Mit Hilfe desselben konnte ich die Gabeln in einen Raum bringen, der vollkommen auf constanter Temperatur blieb, und von einem anderen Raume aus beobachten. Ohne mich auf Details einzulassen, will ich nur erwähnen, dass derselbe aus einem elektrisch betriebenen Anschlagapparat besteht, dessen zwei Hämmer gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung die Zinken der Stimmgabel treffen. Diese selbst ist in einer Klammer befestigt, welche an einem mittels Gummiringen elastisch aufgehängten Holzklotze festgeschraubt ist. Letzterer trägt an seiner unteren Fläche ein Mikrophon. Gegenwärtig habe ich außer diesem Apparate, den Sie hier vor sich sehen,

einen zweiten in der Garderobe aufgestellt und lade Sie ein, am Schlusse des Vortrages die Schwebungen mit Hilfe der hier befindlichen Telephone zu beobachten.

Nach der hier mitgetheilten Methode kann man somit leicht den Ton einer beliebigen Tonquelle mit jenem einer in der Tonhöhe nahe benachbarten vergleichen.

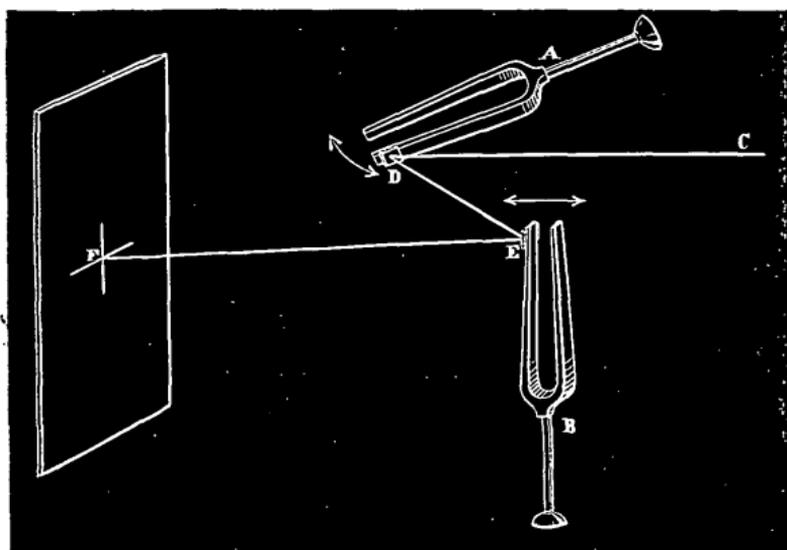


Fig. 5.

Es erübrigt somit nur noch die optische Methode zu erläutern, mit deren Hilfe man die Hilfsstimmgabel mit der als Etalon dienenden vergleichen kann. Zu diesem Zwecke stellt man die beiden Gabeln A und B in gekreuzter Stellung, so wie es Figur 5 zeigt, auf. Am besten ist es, wenn beide, so wie ich es hier habe, elektromagnetische Gabeln sind. Die vordere Fläche je

einer Zinke ist mit einem Spiegel *E* und *D* versehen, und es wird ein Lichtstrahl zunächst auf den Spiegel *D* der einen Gabel geworfen, von da auf den Spiegel *E* der zweiten reflectiert und nach abermaliger Reflexion von da auf einen weißen Schirm *F* aufgefangen. Schwingt nur eine Gabel, z. B. *A*, so erscheint, wie Sie

sehen, anstatt eines Punktes eine helle Linie auf dem Schirme, indem unser Auge der raschen Bewegung des Lichtstrahles nicht zu folgen vermag und sich alle einzelnen Lichtpunkte wegen der Nachwirkung in unserem Auge zu einer Lichtlinie vereinigen. Sie sehen auch, dass die

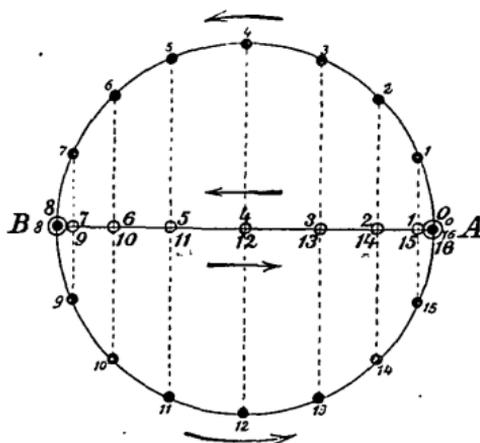


Fig. 6.

Lage dieser Linie horizontal ist, wenn *A* schwingt. Dagegen ist sie vertical, wenn *B* in Bewegung ist. Schwingen beide Stimmgabeln, so wird der Lichtpunkt nicht nur horizontale, sondern auch verticale Bewegungen gleichzeitig ausführen und sich daher auf irgendwelchen krummen Bahnen bewegen. Bevor ich das Experiment vorführe, will ich Mittel an die Hand geben, wie man durch Construction mit Zirkel und Lineal die Curven, welche der Lichtpunkt bei verschiedenen Intervallen ausführt, finden kann.

Dazu muss man zuerst die Lage eines schwingenden Punktes in jedem Moment seiner Bewegung kennen. Es sei AB (Fig. 6) der Weg, den der Punkt zurücklegt. Wir beschreiben über dieser Strecke einen Halbkreis, theilen ihn in acht gleiche Theile und fällen von den Theilungspunkten senkrechte Linien auf AB . Es sind dann die mit o bezeichneten Punkte 1, 2, 3 u. s. w.

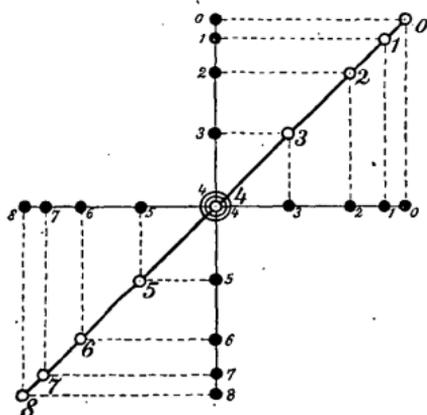


Fig. 7.

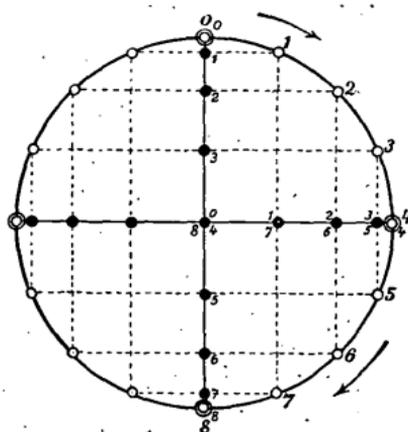


Fig. 8.

bis 8 die Lagen, welche der Punkt nach $\frac{1}{8}$, $\frac{2}{8}$, $\frac{3}{8}$ u. s. w. Schwingung einnimmt. Führt man den Kreis weiter, so ergeben die Punkte 9, 10, 11 u. s. w. bis 16, welche mit den ersten zusammenfallen, die Lagen während der Rückkehr des schwingenden Punktes, also nach $\frac{9}{8}$, $\frac{10}{8}$, $\frac{11}{8}$ u. s. w. Schwingungen. Stellen wir uns nun die Aufgabe, den Weg unseres Lichtpunktes zu construieren, wenn beide Stimmgabeln im Einklange sind (Fig. 7 und 8). Es können dann vier Hauptfälle

eintreten. Entweder beide Stimmgabeln befinden sich gleichzeitig im gleichen Schwingungszustande, oder die eine befindet sich in der größten Entfernung von der Ruhelage, während die andere eben durch die Ruhelage hindurchgeht. In jedem Falle sind zwei weitere Fälle möglich, und zwar, wenn die eine Gabel, welche die verticale Lichtlinie erzeugt, so deformiert ist, dass

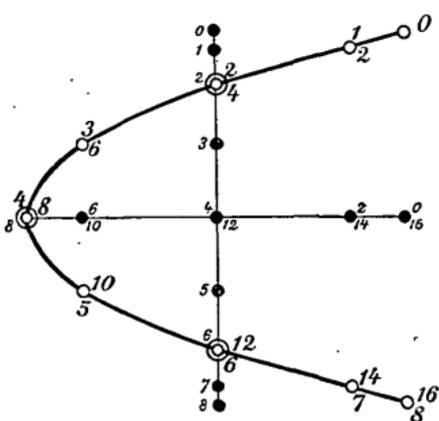


Fig. 9.

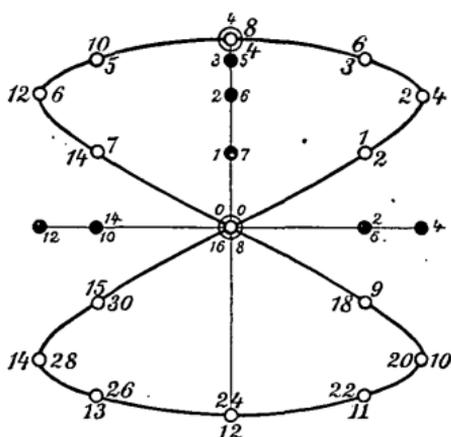


Fig. 10.

sie den Lichtstrahl am weitesten nach oben wirft, reflectiert ihn die zweite am weitesten 1. nach rechts oder 2. nach links, oder es geht die zweite 3. von rechts nach links durch die Ruhelage, oder 4. von links nach rechts. In den beiden ersten Fällen entstehen gerade Linien, welche im Falle 1 von rechts oben nach links unten, im Falle 2 von links oben nach rechts unten gerichtet sind.

Im Falle 3 und 4 entstehen Kreise, welche im

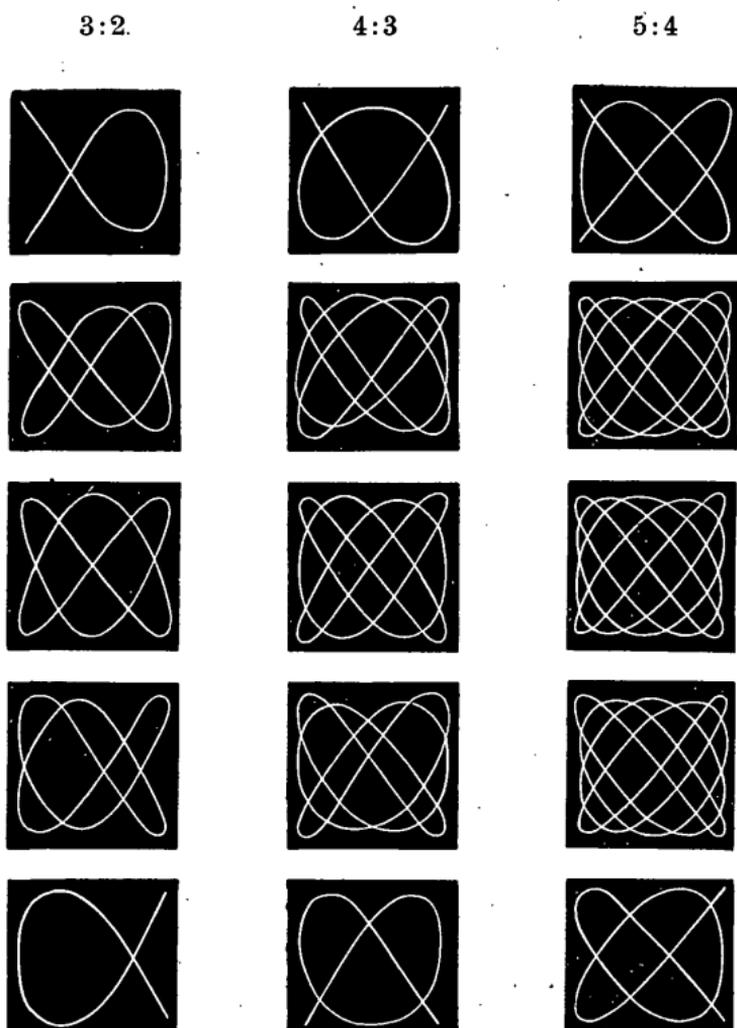


Fig. 11.

Falle 3 vom Lichtpunkte gegen den Zeiger der Uhr, im Falle 4 mit dem Zeiger der Uhr durchlaufen werden. Ebenso leicht sind nach der in Figur 9 und 10

angegebenen Weise die Bahnen des Lichtpunktes für die Octave zu ermitteln, wobei abermals vier Hauptformen auftreten, von denen sich die zwei mittleren nur dadurch unterscheiden, dass sie von dem Lichtpunkte in verschiedenen Richtungen durchlaufen werden.

Indem ich hier das Experiment anstelle, bemerken Sie, dass die eben angeführten Figuren einer Kategorie, also alle die zum Einklange gehören, die der Octave u. s. w. fortwährend wechseln und dazwischen viele Übergangsformen erscheinen. Dies kommt daher, dass die beiden Stimmgabeln nicht genau im Einklange oder in der Octave u. s. w. sind. Complicierter werden die Lissajou'schen Figuren für die Quint (3 : 2), die Quart (4 : 3), die Terz (5 : 4). (Fig. 11.) Außer den drei Hauptformen sind noch zwei Zwischenformen dargestellt. Man kann nach dieser Methode noch viel compliciertere Intervalle erkennen, und zwar gelingt dies auf folgende Weise. Man lege sich parallel den Schwingungsrichtungen zwei aufeinander senkrechte gerade Linien durch die Lissajou'sche Figur und zählt die Schnittpunkte mit jeder der Linien ab. Kreuzungspunkte, welche auf die Linien fallen, werden doppelt gezählt. Das Verhältniß der Zahlen ergibt das Intervall.

Aus meinem Vortrage haben Sie, hochverehrte Anwesende, entnommen, dass die Töne unserer Musik nicht etwa nur schätzungsweise festgelegte Höhen besitzen, sondern, dass sie auf das genaueste messbar sind und gemessen wurden. Daher haben wir heute ein klares Verständniß der Tonleiter und können auf

reeller Basis eine Theorie der Sprache der Töne gründen, so wie der Sprachforscher eine Theorie des gesprochenen Wortes entwickelt. Wir haben aber noch mehr, noch einen ganz anderen Nutzen. Indem wir im Stande sind, Schwingungszeiten von $\frac{1}{1000}$ Secunde und noch viel weniger zu messen, können wir diese als Maßstab für viele sich sehr rasch abspielende Erscheinungen in der Natur verwenden. Wir können mittels schwingender Stimmgabeln den Flug unserer Gewehr- kugeln controlieren, ja wir können sogar mit Hilfe eines akustischen Apparates die Geschwindigkeit des Lichtes messen und so noch Zeitintervalle beobachten, gegen welche das menschliche Leben eine Unendlichkeit bedeutet.

ZOBODAT - 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: 1897

Band/Volume: [37](#)

Autor(en)/Author(s): Tuma Josef

Artikel/Article: [Einige Versuche aus dem Reiche der Töne. 357-380](#)