Lehrbuch der Experimentalphysik

Lommel, Eugen von

Leipzig, 1908

293. Tonleiter

oder mehrere Stifte kann man daher nach Belieben eine oder mehrere Lochreihen anblasen. Der Windkasten wird mittels des Rohres *t* auf einen Blasetisch aufgesetzt. Die Achse der Scheibe trägt oben eine Schraube ohne Ende *s*, welche in die Zahnräder eines Zählwerkes eingreift, an dessen (in der Zeichnung nicht sichtbaren) Zifferblättern die Anzahl der in gemessener Zeit stattgehabten Umdrehungen abgelesen und danach die Schwingungszahl für eine Sekunde bestimmt werden kann. Durch einen Druck auf den Knopf *a* kann das Zählwerk in Tätigkeit gesetzt, durch einen Druck auf *b* wieder ausgeschaltet werden.

293. **Tonleiter.** Die erste Lochreihe unserer Sirene enthält 8, die zweite 10, die dritte 12, die vierte 16 Löcher. Wird die erste und dann die vierte Lochreihe angeblasen, so erhält man zwei Klänge, welche in der Musik als Grundton (Prime) und Oktave unterschieden werden. Die Oktave macht also in derselben Zeit doppelt so viele Schwingungen wie der Grundton. Läßt man beide Töne gleichmäßig erklingen, so verschmelzen sie ungestört zu einer angenehmen Gehörempfindung: sie bilden eine Konsonanz. Eine Konsonanz ist erfahrungsgemäß um so vollkommener, je einfacher das Verhältnis der Schwingungszahlen der beiden zusammenklingenden Töne sich ausdrücken läßt. Nächst dem Einklang (1 : 1) bilden Oktave und Grundton die vollkommenste Konsonanz, denn ihr Schwingungsverhältnis ist das denkbar einfachste, nämlich 2 : 1. Die nächst vollkommene Konsonanz wird erhalten durch die erste und dritte Lochreihe; der von letzterer erzeugte Ton steht zum Grundton in dem Schwingungsverhältnis 12 : 8 oder 3 : 2 und heißt die Quinte des Grundtones. Die erste und zweite Lochreihe geben das schon etwas rauher klingende Schwingungsverhältnis 10 : 8 oder 5 : 4. Der höhere Ton wird die große Terz des Grundtones genannt. Wir wollen den Grundton mit dem Buchstaben *C*, seine große Terz mit *E*, die Quinte mit *G*, die Oktave mit *c* bezeichnen. Den angenehmen Zusammenklang dreier oder mehrerer Töne nennt man einen Akkord. Grundton, große Terz und Quinte (*C E G*) bilden zusammen den Dur-Akkord. Indem man je zwei Lochreihen der Sirene noch in anderer Weise zusammenklingen läßt, ergeben sich noch andere Konsonanzen. Die vierte und dritte Lochreihe geben das Schwingungsverhältnis 16 : 12 oder 4 : 3, dasjenige der Quarte; wir bezeichnen die Quarte von *C* mit *F*. Die dritte und zweite Reihe liefern das Verhältnis 12:10 oder 6:5. Wir nennen hier den höheren Ton die kleine Terz des tieferen und bezeichnen ihn in Beziehung auf den Grundton *C* mit *Es*. Überblicken wir vorläufig diese Reihe von Klängen, welche auch bei geänderter Drehungsgeschwindigkeit ihre musikalische Eigenart beibehält, so erhalten wir, wenn die kleine Terz weggelassen wird, folgende Zusammenstellung, bei der unter der Bezeichnung des Klanges sein Schwingungsverhältnis zum Grundton angegeben ist:

$$\begin{array}{ccccc} C & E & F & G & c \\ 1 & ^5/_4 & ^4/_3 & ^3/_2 & 2. \end{array}$$

Um den Anforderungen der Musik zu genügen, muß jeder Klang wieder der Grundton eines Dur-Akkordes sein, d. h. man muß von jedem Ton aus wieder in Terzen und Quinten aufsteigen können. Nun müßte die Quinte von *G* $^3/_2$ mal soviel Schwingungen machen wie *G*, also $^3/_2 \times {}^3/_2 = {}^9/_4 = 2^1/_4$. Der so gefundene Klang ist höher als die Oktave *c*; die nächst niedere Oktave des Tones $^9/_4$ dagegen hat die Schwingungszahl $^9/_8$ und liegt innerhalb unserer Oktave; den entsprechenden Klang bezeichnet man mit *D* und nennt ihn die Sekunde von *C*. Die große Terz von *G* hat die Schwingungszahl $^3/_2 \times {}^5/_4 = {}^{15}/_8$; sie heißt die Septime des Grundtones und wird mit *H* bezeichnet. Der Quinte des Tones *F* entspricht die Schwingungszahl $^4/_3 \times {}^3/_2 = 2$; die Oktave von *C* ist also zugleich die Quinte von *F*. Die große Terz von *F* besitzt das Schwingungsverhältnis $^4/_3 \times {}^5/_4 = {}^5/_3$, wird mit *A* bezeichnet und Sexte genannt. So erhalten wir die diatonische (Dur-) Tonleiter, welche innerhalb einer Oktave aus folgenden Tönen: Grundton oder Prime *C*, Sekunde *D*, große Terz *E*, Quarte *F*, Quinte *G*, Sexte *A*, Septime *H*, Oktave *c* besteht, mit den in der folgenden Reihe darunter gesetzten zugehörigen Schwingungsverhältnissen:

$$\begin{matrix} C & D & E & F & G & A & H & c \\ 1 & ^9/_8 & ^5/_4 & ^4/_3 & ^3/_2 & ^5/_3 & ^{15}/_8 & 2. \end{matrix}$$

Dividiert man die Schwingungszahl jedes dieser Töne durch die des vorhergehenden, so erhält man das Intervall der beiden Töne, d. h. die Zahl, welche angibt, wievielmal größer die Schwingungszahl des Tones ist als die des nächst niedrigeren. In der folgenden Reihe sind die Werte dieser Intervalle in der zweiten Zeile zwischen die in der ersten Zeile stehenden Tonzeichen gesetzt:

$$\begin{matrix} C & & D & & E & & F & & G & & A & & H & & c \\ & ^9/_8 & & ^{10}/_9 & & ^{16}/_{15} & & ^9/_8 & & ^{10}/_9 & & ^9/_8 & & ^{16}/_{15}. & \end{matrix}$$

Man sieht, daß die Intervalle in der diatonischen Tonleiter keineswegs gleich sind. Die Intervalle zwischen Terz und Quarte und zwischen Septime und Oktave ($^{16}/_{15}$) sind bedeutend kleiner als die übrigen. Man sagt daher, das Intervall von *E* zu *F* und von *H* zu *c* betrage einen halben Ton, während man die übrigen Intervalle als solche ganzer Töne rechnet. Um ein Fortschreiten nach gleichmäßigeren Intervallen möglich zu machen, müssen daher zwischen den ganzen Tönen noch halbe Töne eingeschaltet werden, und die ganze aus zwölf Tönen bestehende Tonreihe einer Oktave (die chromatische Tonleiter) lautet alsdann:

C Cis D Dis E F Fis G Gis A B H c.

Da jedoch auch die ganzen Töne keine gleichen Intervalle besitzen, sondern von *C* zu *D*, von *F* zu *G*, von *A* zu *H* um einen großen ganzen Ton ($^9/_8$), von *D* zu *E* und von *G* zu *A* um einen kleinen ganzen Ton ($^{10}/_9$) fortgeschritten wird, so sind auch in der chromatischen Tonleiter die Intervalle nicht einander gleich, ein Übelstand, der es unmöglich macht, von jedem beliebigen Ton als Grundton aus in gleicher Weise aufzusteigen. Schreitet man z. B. in reinen Terzen fort, so kommt man zu einer unreinen Oktave, ebenso beim Fortschreiten in reinen Quinten. Da aber die Oktave die vollkommenste Konsonanz bildet, deren Unreinheit am unangenehmsten empfunden wird, so opfert man lieber die Reinheit der übrigen Töne, indem man sie, wie die Musiker sagen, etwas ober- oder unterhalb ihrer von der diatonischen Tonleiter geforderten Höhe „schweben" läßt, und hält die Reinheit der Oktaven mit Strenge aufrecht. Eine solche Ausgleichung heißt Temperatur. Die gleichschwebende Temperatur, welche die einfachste und verbreitetste ist und bei allen musikalischen Instrumenten mit fester Stimmung (z. B. dem Piano) angewandt wird, nimmt alle Intervalle einander gleich; da in der chromatischen Tonleiter 12 Tonstufen vorhanden sind, so muß das Intervall eines Halbtones so gewählt werden, daß es, zwölfmal wiederholt, zur reinen Oktave führt, d. h. zu einer Schwingungszahl, welche doppelt so groß ist wie diejenige des Grundtones; wenn also x das gesuchte Intervall bezeichnet, so muß $x^{12} = 2$ sein. Dieses Intervall wird daher ausgedrückt durch die Zahl $\sqrt[12]{2} = 1{,}05946$. Man gelangt so zur gleichschwebenden Tonleiter mit folgenden Schwingungsverhältnissen (die reinen Verhältnisse der diatonischen Tonleiter stehen in Klammern daneben):

C	1,00000	*G* (1,500) . .	1,49831
Cis	1,05946	*Gis*	1,58740
D (1,125) . .	1,12246	*A* (1,667) . .	1,68179
Dis	1,18921	*B*	1,78180
E (1,250) . .	1,25992	*H* (1,875) . .	1,88775
F (1,333) . .	1,33484	*c*	2,00000
Fis	1,41421		

in welcher jede Schwingungszahl aus der des vorhergehenden Halbtones durch Multiplikation mit der Zahl 1,05946 erhalten wird.

294. **Absolute Schwingungszahlen.** Bisher wurden bloß die Schwingungsverhältnisse der Töne innerhalb einer Oktave, nicht aber ihre absoluten Schwingungszahlen in Betracht gezogen. Kennt man aber für einen dieser Töne die absolute Schwingungszahl, d. h. die Anzahl seiner Schwingungen in einer Sekunde, so kennt man sie für alle, weil ja die Schwingungsverhältnisse bekannt sind.

Zur Bestimmung absoluter Schwingungszahlen kann die Sirene dienen. Gesetzt, man wollte die Schwingungszahl einer Stimmgabel ermitteln, so gibt man der Sirene eine solche Umdrehungsgeschwindigkeit, daß eine ihrer Löcherreihen denselben Ton gibt wie die Stimmgabel; aus der am Zählwerk abgelesenen Anzahl der Umdrehungen pro Sekunde und der Anzahl der Löcher ergibt sich alsdann die Anzahl der Schwingungen der Stimmgabel in einer Sekunde.

Als Grundlage für die Stimmung der musikalischen Instrumente