Nr. 12. Die Erzitterung des Stofflichen, der Schall und das Hören.

(Fortsetzung)

Der Schall und das Ohr.

Das Tönen ist, wie sich Rosenkranz ausdrückt, ein Anstecken alles Körperlichen mit seiner Bewegung. Diese geisterhafte Natur des Tones drückt sich besonders in der Musik und in der Sprache aus, welche letztere oft viel entschiedener, als das Auge, welches allerdings ein Spiegel der Seele sein kann, das Wesen eines Menschen, seine Gesinnung, offenbart. Durch Schall bezeichnet man jede Wahrnehmung der Erzitterung eines Stoffes durch den Gehörsinn. Er heißt Knall, wenn er stark und schnell vorübergehend ist, bei lebendigen Wesen Laut, Klang, wenn er gleichartig eine bemerkbare Zeit hindurch anhält. Der Klang erhält den Namen Ton, wenn er auf andere bezogen und nach Höhe und Tiefe geschätzt wird. Ein Schall, der nicht regelmäßig in seiner Entstehung und ungleichartig in seiner Dauer ist heißt Geräusch, und bei größerer Stärke Getöse. Die onomatopoëtischen Bezeichnungen desselben, wie Aechzen, Bellen, Blöcken, Brummen, Brüllen, Brausen, Donnern, Dudeln, Grunzen, Klatschen, Klirren u. s. w., an welchen die Sprachen so reich sind, sind wichtiger für die Rhetorik, als für die Physik.

A. Der Ton.

I. Der Ton als Folge der Schwingungen der festen Körper. (Schlag- oder Streichinstrumente.)

1. Schon Versuch 7. (Tafel 11.) zeigt, daß ein Ton um so höher ist, je größer die Zahl der Schwingungen der Saite ist.

2. Auf den tiefsten wahrnehmbaren Ton kommen nach Savart 7, auf den höchsten 24000 Schwingen in der Sekunde. Folgende Versuche dienen um die Möglichkeit diese Bestimmungen anschaulich zu machen.

3. Versuch. Eine sehr lange und ziemlich dicke Saite, welche an dem einen Ende befestigt und durch ein am andern Ende angehängtes Gewicht mäßig gespannt ist, läßt wahrnehmen, daß die Zahl der Schwingungen, welche die Saite in gleichen Zeiten macht, in demselben Verhältnisse wächst, in welchem die Länge der Saite abnimmt.

4. Versuch. Wenn man eine gehörig lange und schmale Stahlplatte mit ihrem einen Ende in einen Schraubstock klemmt, so kann man die Schwingungen in einer gegebenen Zeit zählen. Verkürzt man nun die Platte und läßt sie dann schwingen, so sind die Schwingungszahlen genau den Quadraten der Länge des Theils proportional, welchen man schwingen läßt. Dieses ist das Verfahren, welches sich Chladni zur Ermittlung der absoluten Schwingungszahl bediente.

5. Eine größere Genauigkeit giebt für diesen Zweck die von Cagniard de la Tour erfundene Sirene. Durch dieselbe hat man bestimmt, daß dem a der gewöhnlichen Stimmgabeln ungefähr 440 Schwingungen in der Sekunde entsprechen.

6. Savart bediente sich zu demselben Zwecke eines metallenen Rades mit etwa 600 Zähnen, welche auf die Kanten eines metallenen Blättchens stoßen.

7. Versuche mittelst des Monochords. Läßt man eine Saite ihrer ganzen Länge nach schwingen, und bemerkt man sich den Ton, welchen sie verursacht als Grundton, so hört man, wenn man die Saite um die Hälfte verkürzt, die Oktave. Der letztere Ton führt diesen Namen in der Musik deshalb, weil zwischen ihm und dem Grundtone noch 6 Töne liegen, deren Aufeinanderfolge dem Ohr eine gewisse Befriedigung gewähren. Die Namen und Zeichen der Vollständigkeit dieser Töne ist

Grundton,	Sekunde,	Terz,	Quart,	Quint,	Sext,	Septime,	Oktave,
C.	D.	E.	F.	G.	A.	H.	C.
und 24,	27,	30,	32,	36,	40,	45,	48.

sind die Zahlen, welche das Verhältniß der Schwingungen, welche die Seite macht, ausdrücken.

Wenn zwei Töne, welche zugleich gehört werden, eine angenehme Empfindung hervorbringen, so heißt dieses eine Consonanz, im entgegengesetzten Falle Dissonanz. Mehrere konsonirende Töne bilden einen Akkord. Consonanzen C : c = 1 : 2; C : G = 2 : 3; C : E = 4 : 5; C : E : G = 4 : 5 : 6 = 1 : 1¼ : 1½ heißen der große Dreiklang. (Die weitere Ausführung hiervon gehört in die Theorie der Musik.)

Der tiefste in der Musik gebräuchliche Ton ist der einer beiderseits offenen Pfeife von ungefähr 32 par. Fuß Länge. Folgende Zahlen drücken annäherungsweise die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde aus.

das 32füßige C, der tiefste gebräuchliche Ton macht	16 Schwingungen,	das ½füßige C, = dreigestrichene $\overline{\overline{\overline{C}}}$	1024 Schwingungen,
16 = C, das Contra-C.	32 =	¼ = C, = viergestrichene $\overline{\overline{\overline{\overline{C}}}}$	2048 =
8 = C, = große C	64 =	⅛ = C, = fünfgestrichene $\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{C}}}}}$	4096 =
4 = C, = ungestrichene oder kleine C .	128 =		
2 = C, = eingestrichene $\overline{C}$	256 =		
1 = C, = zweigestrichene $\overline{\overline{C}}$	512 =		

Unter den hier angegebenen Schwingungen ist ein Hin- und Hergang des schwingenden Körpers zu verstehen.

8. Der Ton einer Saite hängt aber nicht allein von der Länge und der Spannung, sondern auch von der Dicke und Dichtigkeit (Spez. Gew.) ab. Die Tonhöhe ist 1) der Länge umgekehrt proportional. 2) Sie wächst mit der Spannung. 3) Von zwei langen und aus demselben Stoffe bestehenden Saiten gibt die dickere den tieferen Ton. 4) Von zwei Saiten von gleicher Länge, Dicke und Spannung aber aus verschiedenen Stoffen gibt die dichtere den tiefern Ton. Bezeichnet man die Schwingungszahlen zweier Saiten durch N und N', die Längen durch L und L', die Dicken durch D und D', die Spannungskräfte durch K und K' und die spezifischen Gewichte die Stoffe, woraus sie bestehen, durch S und S', so verhält sich

$$N : N' = \frac{\sqrt{K}}{L\,D\,\sqrt{S}} : \frac{\sqrt{K'}}{L'\,D'\,\sqrt{S'}}$$

9. Versuch. Eine Saite kann aber nicht allein als Ganzes, sondern auch, wie sich durch Versuche zeigen wird, in aliquoten Theilen schwingen. Ist letzteres der Fall, so bleiben einige Stellen der Saite in Ruhe; diese heißen Schwingungsknoten. — Zuweilen schwingen Saiten als ein Ganzes und in aliquoten Theilen zugleich. (Nebentöne). — Flageolet-Töne. Aeols-Harfe.

10. Scheibenförmige Körper, welche zum Tönen veranlaßt werden, schwingen immer in aliquoten Theilen.

Die schwingenden Scheiben und die Chladnischen oder Klangfiguren.

Versuch. Eine Scheibe von Glas, Messing, oder Holz läßt sich mittelst eines Violinbogens zum Tönen bringen. Wird die Scheibe, wenn dieses geschehen, mit Sand bestreut, so wird dieser von den schwingenden Stellen weggeworfen und sammelt sich an den ruhenden an. Diese ruhenden Stellen heißen Knotenlinien. Sie bilden mehr oder weniger regelmäßige Figuren, welche von Chladni 1787 zuerst erfunden wurden und Chladnische oder Klangfiguren heißen. Die Gestalt der Scheiben hat einen großen Einfluß auf die Figuren. Je nachdem die Scheibe die Gestalt eines Gevierts, Rechtecks, Dreiecks, Kreises, einer Ellipse rc. hat, sind auch die Figuren, die sich auf ihr bilden, verschieden. Die Versuche ergeben nun

1., jede Scheibe kann verschiedene Töne geben. Hierbei theilt sie sich auf verschiedene Weise in schwingende Theile, und jedem Tone entspricht eine bestimmte Figur.

2., Zu jedem reinen Tone gehört eine regelmäßige Klangfigur; diese gestalten sich aber nicht eher, als bis der Ton rein klingt. — Wie unter den Tönen, so finden auch unter den Klangfiguren Uebergänge Statt.

II. Der Ton als Folge der Vibration der Luft in den Blaseinstrumenten.

1. Die Töne, welche mittelst der Blasinstrumente (Pfeifen, Flöten rc.) erregt werden, sind der Hauptsache nach Folge der Vibrationen der Luft in ihnen und der die Luft einschließenden Wand. Der Ton einer Pfeife ändert sich nicht, wenn man dieselbe anfaßt, auch bestehen die Wände derselben oft aus unvollkommen elastischem Material. — Indeß muß hier Klang und Ton auseinander gehalten werden. Die Höhe und Tiefe des Tones hängt allein von der Länge der vibrirenden Luftsäule ab, indeß ist der Klang einer messingenen Trompete spezifisch verschieden von dem einer silbern von gleicher Form und Größe.

2. Die tonerregenden Vibrationen der Luft bestehen in abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen, welche in der Richtung der Längsachse des Instruments erfolgen.

3. Sie werden auf verschiedene Weise erregt, vorzüglich durch das Einblasen eines schmalen Luftstroms. Diesen kann man auf doppelte Weise in die Pfeife einströmen lassen, a) so daß er allein die Vibration bewirkt; b) so daß er zuvörderst ein elastisches Blättchen in Schwingungen versetzt, welches dann durch seine Schwingungen die Luft in der Pfeife zu Vibrationen veranlaßt. Hierin ist der Unterschied zwischen Lippenpfeifen und Zungenpfeifen begründet.

4. Lippenpfeifen. Ein hohler Schlüssel, die hölzernen Pfeifen, womit die Kinder spielen, sind als solche zu betrachten. Bei den Orgeln heißen sie Flötenwerke. Bei diesen verdient das sogenannte Mundloch eine besondere Berücksichtigung. In einer Pfeife, welche überall gleiche Weite hat, schwingt die Luft in ihrer ganzen Ausdehnung. — Die Höhe des Tons oder die Zahl der in einer Sekunde gemachten Schwingungen ist der Länge der Pfeife umgekehrt proportional — von der Weite und Form ist sie unabhängig. Sie zerfallen a) in solche, deren Wände mit Seitenöffnungen versehen sind, wie die Flöten; b) in solche, bei denen dieses nicht der Fall ist. Diese sind wieder: α) gedeckte Pfeifen, welche am obern Ende geschlossen und nur am untern offen sind, β) offene Pfeifen, welche an beiden Enden offen sind.

Einfluß der Seitenöffnungen, der Beschaffenheit des Mundlochs und der Stärke des Anblasens auf den Ton.

Hopkins Vorrichtung um die Vibrationen der Luft in den Pfeifen zu veranschaulichen.

5. Als Zungenpfeifen sind zu betrachten: die Clarinette, die Hoboe, das Fagott, die Schnarrwerke der Orgeln. Bei ihnen wirkt der eingeblasene Luftstrom zunächst auf ein elastisches Blättchen.

B. Die Stimm- oder Lautorgane

sind ihrem wesentlichsten Theilen nach als Zungenpfeifen zu betrachten.

Die Theile des Stimmorgans sind die Luftröhre, der Schlund und der Mund. Der oberste Theil der Luftröhre heißt der Kehlkopf. Dieser ist inwendig mit einer Haut ausgekleidet und oben durch zwei elastische Bänder, die Stimmbänder, welche nur eine schmale Spalte, die Stimmritze zwischen sich lassen, geschlossen.

Beim gewöhnlichen Athmen sind die Stimmbänder schlaff, und die Luft strömt durch die Stimmritze in den Kehlkopf, die Luftröhre und die beiden Lungensäcke aus und ein ohne die Stimmbänder in Bewegung zu setzen. Beim Sprechen und Singen werden die Stimmbänder durch die Muskeln angespannt und werden durch die ausströmende Luft in Schwingungen versetzt, wodurch die im Kehlkopf und in der Mundhöhle eingeschlossene Luft in Vibration versetzt wird.

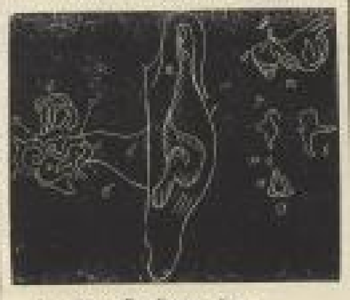
Der erzeugte Ton ist um so höher, je stärker die Stimmbänder angespannt sind, und je enger die Stimmritze ist.

Die Stimme umfaßt bei den meisten Menschen zwei Oktaven.

Auf die Artikulation der Töne beim Sprechen haben die Stellung der Zunge, der Zähne, der Lippen rc. den bedeutendsten Einfluß.

C. Das Ohr.

Das Ohr, das Organ des Gehörsinns liegt auf der Mittellinie der Schädelfläche. Es besteht aus drei von Außen nach Innen fast horizontal gelagerten Theilen.



1. Das äußere Ohr.

a., Der knorplich häutige Theil aus dem Leisten und Gegenleisten, Bock und Gegenbock bestehend, welche die Muschel einschließen;

b., der Gehörgang mit den Ohrenschmalz absondernden Drüsen;

c., das Pauken- oder Trommelfell.

2. Das mittlere Ohr, dessen Vorbau die Paukenhöhle ist, die durch die Eustachische Röhre mit dem Munde in Verbindung steht. An der innern Wand hat sie das eirunde Fenster (''), welches in den Vorhof führt und das kreisrunde, welches den Eingang zur Schnecke ist. Vom Trommelfell zum eirunden Fenster gehen durch die Paukenhöhle die Gehörknöchelchen: der Hammer ('), der Amboß ('), das Linsenbein (') und der Steigbügel ('').

3. Das innere Ohr, welches aus dem Vorhofe, der Schnecke (') und dem aus den Bogengängen zusammengesetzten Labyrinth ('), besteht, ist ein geschlossener Hohlraum tief im Felsenbein, mit gewundenen Gängen und knochigen Wänden. Das Labyrinth ist zum Theil mit einer Flüssigkeit ausgefüllt, in welcher sich frei schwebende, mit Flüssigkeit erfüllte und den Ohrsand oder die Ohrkrystalle enthaltende Säckchen befinden.

Die Hörnerven sind gespalten; ein Theil der Vorhofsnerven breitet sich in die Bogengänge aus, der andere, der Schneckennerv, zieht sich auf dem Spiralblatt der Schnecke netzförmig herum.

D. Das Hören.

Die bis zum äußern Ohr gelangenden Schallwellen werden von ihm unmittelbar aufgenommen und weiter geleitet. Das äußere Ohr leitet die gesammelten Schallwellen theils durch die äußere Luft, theils durch eigene Elastizität in den Gehörgang. Die vielfachen Krümmungen des Gehörganges leiten die Schallwellen durch Reflexion zum Trommelfell; die Schwingungen, in welche dieses versetzt wird, theilen sich der Paukenhöhle mit, deren Luft durch die Eustachische Röhre mit der äußern Luft im Gleichgewicht gehalten wird. In der Paukenhöhle wird die Bewegung weiter fortgesetzt, einestheils durch die Wände und die Luft in derselben, vorzüglich aber durch die Gehörknöchelchen. Von der Paukenhöhle aus wird das im Labyrinth enthaltene Wasser durch die beiden Fenster in vibrirende und oszillirende Bewegung gesetzt. Diese Bewegung wird in der Schnecke entweder direkt auf den Nerv geleitet, oder sie geht im Vorhof und in den Bogengängen auf das häutige Labyrinth über, wodurch dessen Flüssigkeit erschüttert wird und gelangt nun zu den Ohrkrystallen, wo sie Figuren zusammensetzt, welche der ursprünglichen Bewegung gleichen, die sich hier den Nervenfasern mittheilen, um so zum Nervenzentrum zu kommen und hier bestimmt zu werden. Im Nervenzentrum wird der Ton gebildet. Das Zusammenklingen zweier Töne macht auf den Menschen einen angenehmen, oder unangenehmen Eindruck nach dem Gesetz, daß nur diejenigen Töne, deren verhältnißmäßige Schwingungsmengen durch unmittelbar auf einander folgende und nicht zu große Zahlen ausgedrückt werden angenehm, die andern aber unangenehm klingen. Das Zusammenklingen der Töne ist der Akkord, die Folge angenehmer Töne die Melodie, eine Reihe richtiger Akkorde aber die Harmonie.