

Ueber die Klangfarbe.

Von

L. DITSCHNEIDER.

Vortrag, gehalten am 10. Februar 1868.

Wenn wir die kleinsten materiellen Theilchen eines Körpers auf irgend eine Weise in Bewegung setzen, so überträgt sich diese Bewegung an das umgebende Medium, etwa die Luft, und wenn diese nur rasch genug vor sich geht, können wir sie mit Hilfe eines eigenen Sinnesorganes, des Gehörorgans, als Schall empfinden. Je nachdem nun die Bewegungen der kleinsten Theilchen und somit auch des umgebenden Mittels regelmässig und periodisch oder ganz unregelmässig auf einander folgen, unterscheiden wir den Klang von dem Geräusch. Die Empfindung eines Klanges wird nämlich durch schnelle periodische Bewegungen der tönenden Körper hervorgebracht, die eines Geräusches durch nicht periodische. Dass es solche schnelle Bewegungen des tönenden Körpers sind, die in uns die Empfindung des Schalles hervorrufen, kann man leicht an jeder tönenden Saite, Stimmgabel u. s. w. beobachten. Wenn bei diesen auch die Bewegungen selbst so rasch von Statten gehen, dass wir z. B. einen einzelnen Punkt der Saite bei seiner Bewegung nicht mehr verfolgen können, so sehen wir doch die ganze Saite zwischen zwei festen Grenzlagen in Bewegung.

Durch diese hin- und hergehenden Bewegungen der einzelnen Punkte eines tönenden Körpers werden an die umgebende Luft einzelne Stösse ausgeübt, die um so regelmässiger aufeinander folgen, je regelmässiger die Bewegung des Körpers ist. Durch solche regelmässig einander folgende Stösse wird die Luft in eine Wellenbewegung versetzt, ganz ähnlich wie durch einen, in ruhendes Wasser geworfenen Stein dieses in eine Wellenbewegung versetzt wird. Die einzelnen durch solche regelmässige Stösse hervorgerufene Klänge unterscheiden sich nun durch ihre Stärke, ihre Tonhöhe und ihre Klangfarbe. Je mehr die einzelnen Theilchen eines Körpers aus ihrer Ruhelage, die sie im nicht tönenden Zustande besitzen, heraus gebracht werden, desto stärker und intensiver ist der Klang. Die Tonhöhe eines solchen Klanges ist von der Schnelligkeit, mit der sich die einzelnen der Luft mitgetheilten Stösse folgen, abhängig. Die Tonhöhe hängt nur ab von der Schwingungsdauer des tönenden Körpers, von der Zeit nämlich, welche die einzelnen sich in Bewegung befindenden Theile brauchen, um in eine bestimmte Lage wieder zurückzukommen. Ich erinnere da an ein ganz allgemein bekanntes Beispiel einer solchen periodischen, oscillatorischen Bewegung, an die Pendelbewegung. Ein solches Pendel einer Uhr z. B. macht um seine vertikale Ruhelage ganz regelmässige Schwingungen und nach ganz gleichen Zeitintervallen kommt es bei dieser Bewegung immer wieder in eine Stellung, die es schon einmal

hatte. Die Schwingungsdauer selbst gibt die Schwingungszahl. Sie gibt an wie viele Schwingungen in der Zeiteinheit, z. B. einer Secunde gemacht werden, wie oft nämlich in der Zeiteinheit ein schwingender Punkt in eine bestimmte Stellung gelangt. Die Schwingungszahl selber kann also auch als Maass für die Tonhöhe gelten. Je grösser nun diese Schwingungszahl ist, desto höher ist der Ton. Dieser Satz lässt sich experimentell durch eine Reihe von Apparaten, in deren erster Linie die Sirene steht, feststellen. Bei ihr stehen nämlich zwei Scheiben über einander. Beide sind mit in Kreisen angebrachten Löchern versehen, die bei bestimmten Stellungen auf einander fallen, so zwar, dass die Luft aus einem Windkasten unter der ersten Scheibe durch ihre Löcherreihe und durch jene der zweiten hindurchgehen kann. Bei anderer Stellung der oberen Scheibe, wo die Löcher nicht auf einander fallen, kann dies nicht geschehen. Ist nun die obere Scheibe um eine vertikale Axe drehbar, so treten beim Drehen abwechselnd beide Stellen ein, so zwar, dass der umgebenden Luft durch die aus dem Windkasten und Löchern abwechselnd austretende Luft Stösse ertheilt werden. Je rascher sich nun die Scheibe dreht, um so rascher folgen sich die einzelnen Stösse, um so höher ist der durch sie erzeugte Ton. Durch ein Räderwerk, das mit der Drehungsaxe der oberen Scheibe verbunden, kann die Anzahl der Stösse in der Secunde gemessen werden, während der auftretende Ton durch das Ohr

gemessen werden kann. Mit Hilfe solcher Apparate ist nun gezeigt worden, dass ein Ton, der die doppelte Schwingungszahl wie ein anderer hat, genau die höhere Octave dieses Tones ist; dass bei zwei Tönen, die im Verhältnisse einer Quinte stehen, der eine höhere Ton genau in derselben Zeit drei Schwingungen, wo der tiefere zwei macht.

Die Schwingungszahlen der einzelnen Töne der diatonischen Tonleiter stehen in einem einfachen Zusammenhange. Um nämlich die Schwingungszahlen für

C, D, E, F, G, A, H, c

zu erhalten, brauchen wir nur jene von C mit den Zahlen

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

zu multipliciren. Die Schwingungszahlen für die gleichnamigen Töne der höheren Octave erhält man durch Multiplication mit 2, 3, 4 . . . jene der tieferen Octave durch Division mit eben diesen Zahlen 2, 3, 4 u. s. w.

Bei den neueren Clavieren und Orgeln hat der tiefste Ton C₁ 33 Schwingungen. Die Anzahl der Schwingungen der übrigen Töne ergibt sich aus folgender Zusammenstellung:

Noten	Contra-Octave C ₁ —H ₁	Grosse Octave C—H	Ungestrichene. Octave c—h	Eingestrichene Octave c'—h'	Zweigestrichene Octave c''—h''	Dreigestrichene Octave c'''—h'''	Viergestrichene Octave c''''—h''''
C	33	66	132	264	528	1056	2112
D	37·125	74·25	148·5	297	594	1188	2376
E	41·25	82·5	165	330	660	1320	2640
F	44	88	176	352	704	1408	2816
G	49·5	99	198	396	792	1584	3168
A	55	110	220	440	880	1760	3520
H	61·875	123·75	247·5	495	990	1980	3960

Bei grösseren Orgeln hat man wohl auch noch das CII mit $16\frac{1}{2}$ Schwingungen in der Secunde, aber der musikalische Charakter so tiefer Töne ist schon unvollkommen, da sie sich schon derjenigen Grenze nähern, bei welcher unser Ohr nicht mehr im Stande ist einen Ton wahrzunehmen.

Die musikalisch anwendbaren Töne liegen zwischen 40 bis 4000 Schwingungen in der Secunde, die überhaupt wahrnehmbaren aber zwischen 16 bis 38.000, ein Intervall, welches ungefähr 11 Octaven entspricht. Diese höchsten Töne sind für unser Ohr schon schmerzhaft unangenehm.

Der dritte Unterschied, den wir bei den Klängen gemacht haben, war die Klangfarbe*).

*) Die wichtigsten Untersuchungen über die Klangfarbe verdanken wir dem ausgezeichneten deutschen Natur-

Es ist eine längst bekannte Thatsache, dass ein und dieselbe Note auf verschiedenen Instrumenten angeschlagen bei gleicher Stärke und gleicher Tonhöhe doch eine wesentlich verschiedene Empfindung in uns hervorruft. Ich erinnere hier an das Clavier, an die Violine, die Orgelpfeife u. s. w. Diese Töne sind bei manchen Instrumenten von so verschiedenem Klang, dass wir oft leicht im Stande sind aus ihnen das Instrument selber sogleich zu erkennen. Aber auch an einem und demselben Instrument kann die Klangfarbe nach Verschiedenheit der Hervorrufung des Klanges sehr verschieden sein. Es sind in dieser Beziehung namentlich die Streichinstrumente zu nennen. Aber auch die menschliche Stimme ist reich an solchen Verschiedenheiten. Wenn eine und dieselbe Note mit den verschiedenen Vocalen gesungen wird, so ist es die Verschiedenheit der Klangfarbe, die uns die Verschiedenheit dieser Vocale erkennen lässt.

Die Klangfarbe selbst wird gegeben durch die Art der Bewegung, welche ein materielles Theilchen eines tönenden Körpers besitzt. Die oscillatorischen periodischen Bewegungen, welche solche Theilchen machen, können nämlich verschieden sein. Die Verschiedenheit dieser Bewegung mögen uns ein Paar Beispiele erläutern. Ein Pendel macht solche periodische

forscher Helmholtz in Heidelberg, dessen Meisterwerke über die „Lehre von den Tonempfindungen“ die in diesem Vortrage gegebenen Daten entnommen sind.

Bewegungen. Es steigt wie auf einer schiefen Ebene hinauf, wenn wir es aus seiner Ruhelage bringen, kehrt aber auf ganz dieselbe Weise wieder in seine Ruhelage zurück. Wie verschieden ist diese Bewegung gegen jene periodische, welche z. B. ein Eisenhammer macht. Dieser wird durch Zähne an der Welle langsam gehoben, von diesen Zähnen ausgelassen, fällt er dann unter dem Einflusse der Schwerkraft schneller zurück in seine ursprüngliche Lage, ganz verschieden vom Pendel, das zum Aufsteigen ebenso viel Zeit braucht, wie zum Niedersteigen.

Diese Verschiedenheit der Bewegung hat seinen Grund in dem Auftreten von sogenannten Obertönen neben dem Grundton. Ein tönender Körper gibt nämlich nur in den seltensten Fällen einen einzigen reinen Ton, dem eine einfach schwingende Bewegung zu Grunde liegt. Fast immer treten neben dem Grundtone noch andere oft sehr viele höhere Töne auf, denen jedem eine einfache Schwingungsform zu Grunde liegt, die aber doch in ihrer Gesammtheit es nothwendig machen, dass ein einzelnes Theilchen des tönenden Körpers oft sehr complicirte, zusammengesetzte Bewegungen macht.

Dass bei einem Klange mit ausgesprochener Klangfarbe solche Obertöne neben dem Grundton auftreten, kann oft, besonders bei einiger Uebung, schon mit freiem Ohre beobachtet werden, namentlich dann, wenn diese Obertöne mit bedeutender Stärke auftreten. Meistens aber sind diese Obertöne nur sehr

schwach, man muss sich anderer Mittel bedienen, um sie zu erkennen.

Ein solches Mittel liegt in der Resonanz des Schalles. Jeder Körper, der im Stande ist, durch eine eingeleitete Bewegung einen bestimmten Ton zu geben, wird in Schwingungen versetzt, er tönt mit, wenn in seiner Nähe derselbe Ton, den er zu geben vermag, angeschlagen wird. Die sogenannten Resonanzböden unserer musikalischen Instrumente gründen ihre Anwendung auf diese Thatsache. Wenn man zwei Saiten, welche ganz gleich gestimmt sind, neben einander aufstellt, und man bringt die eine etwa durch Zupfen mit dem Finger in Schwingungen, dass sie tönt, so wird dann gleich die zweite Saite in Bewegung versetzt, und da sie denselben Ton gibt, verstärkt sie den der ersten. Die Luftbewegung nämlich, die durch die Bewegung der ersten Saite eingeleitet wird, überträgt einen Theil ihrer lebendigen Kraft auf die zweite und bringt sie, da auch die Stösse der Luft auf die Saite periodisch wirken, in eine ähnliche periodische Bewegung. Bei den musikalischen Instrumenten benützt man die im Resonanzkasten befindliche Luft zur Verstärkung des Tones. Es muss aber dann die in diesem Kasten eingeschlossene Luft im Stande sein, angeblasen denselben Ton, den sie verstärken soll, selbst zu geben. Einer der gewöhnlichen Schulversuche zeigt die Resonanz der Luft sehr gut. In einer Glocke, die durch Streichen mit einem Geigenbogen zum Tönen gebracht wird, befindet sich eine Resonanz-

röhre aus Pappe, deren Länge veränderlich ist. Bei einer bestimmten Länge verstärkt sie den vielleicht schwachen Ton der Glocke so, dass er weithin hörbar ist.

Diese Eigenschaft solcher abgeschlossener Luftmassen hat Helmholtz bei seinen Resonatoren benützt zur Untersuchung der Klangfarbe. In cylindrischen oder kegelförmigen Gefässen aus Glas oder Metall, welche mit zwei Oeffnungen versehen, ist die resonierende Luft eingeschlossen. Die eine Oeffnung ist bestimmt, in den Gehörgang des Beobachters eingeführt zu werden, die zweite soll den Eintritt des zu untersuchenden Klanges in die abgeschlossene Luftmasse vermitteln. Helmholtz hatte eine Reihe solcher Gefässe zur Verfügung. Jedes derselben gab beim Anblasen einen eigenen Ton, die grösseren tiefere, die kleineren höhere Töne. Sobald in der Umgebung eines solchen Resonators derjenige Ton angeschlagen wird, den der Resonator beim Anblasen selbst gibt, wird die in ihm eingeschlossene Luft zum Tönen gebracht. Bei jedem anderen Tone bleibt sie vollkommen in Ruhe. Man hört also mit dem Resonator im Ohre nur jenen Ton, der mit dem Ton des Resonators in Uebereinstimmung ist. Es schmettert dieser Ton mächtig ins Ohr. Alle anderen Töne hört man nur sehr schwach. Will man also einen Klang auf seine Partialtöne untersuchen, so steckt man nach und nach alle vorhandenen Resonatoren ins Ohr. Alle jene Töne, bei welchen die Resonatoren mächtig mitönen, sind in dem untersuchten Klange vorhanden.

Diejenigen Töne, welche in einem Klange eines tönenden Körpers sich finden, können diesem Körper auch einzeln bald mehr, bald weniger rein entlockt werden. Eine bestimmte Saite gibt in der Mitte mit dem Finger gezupft einen bestimmten Klang, in dem ganz besonders der Grundton vorherrscht. Wenn man aber diese Saite in der Mitte festhält und etwa in einem Viertel ihrer Länge zupft, so gibt sie die nächst höhere Octave; der Grundton fehlt in diesem Klange ganz. Wenn man die Saite in $\frac{1}{3}$ ihrer Länge festhält und in $\frac{1}{6}$ derselben zupft, so gibt sie die Quinte dieser höheren Octave. Dabei bildet sich aber in dem zweiten Drittel der Saite von selbst ein sogenannter Knotenpunkt, der bei der Bewegung der Saite stets in Ruhe ist. Die Saite schwingt dann in drei aliquoten Theilen. Wenn man die Saite in $\frac{1}{4}$ ihrer Länge festhält und in $\frac{1}{8}$ derselben zupft, gibt sie die zweite Octave des Grundtons; gleichzeitig bilden sich noch zwei andere Knotenpunkte in je einem Viertel ihrer Länge. Sie schwingt dann in vier aliquoten Theilen u. s. w. Wir sind dadurch im Stande, einer und derselben Saite eine grosse Zahl von Tönen zu entlocken, die alle als Obertöne in dem Klange der Saite auftreten, selbst wenn diese nicht so absichtlich wie hier in einem ihrer Punkte festgehalten wird. Wir bezeichnen die Obertöne als ersten, zweiten, dritten . . . je nach ihrer Entfernung vom Grundton.

War unsere Saite auf C abgestimmt, so sind ihre Obertöne c, g, c', e', g' u. s. w. Die Schwingungszahlen

dieser Obertöne finden wir, wenn wir die Schwingungszahl des Grundtones mit 2, 3, 4, 5, 6, 7 . . . multipliciren. Wir nennen sie in diesem Falle harmonische Obertöne, da sie mit dem Grundtone im harmonischen Zusammenhang stehen, indem wenigstens die fünf ersten Töne dem Duraccord CEG angehören. Bei Saiten ist es Helmholtz gelungen, noch das Vorhandensein des 16. Obertones zu constatiren.

Bei vielen tönenden Körpern sind diese Obertöne aber mit dem Grundtone nicht in Harmonie. Wenn man nämlich zum Beispiele kreisrunde Metallplatten in ihrem Mittelpunkte befestigt, und mit den Fingern dann noch einen Punkt des Randes festhält, so kann man durch ein Streichen mit dem Geigenbogen in verschiedenen Punkten, auch verschiedene Töne erhalten. Aehnlich wie bei der Saite verschiedene Knotenpunkte bei verschiedenen Tönen auftreten, so zeigen sich auch hier bald mehr bald weniger symmetrisch angeordnete, durch den Mittelpunkt gehende Knotenlinien. Je mehr solcher Knotenlinien sich bilden desto höher ist der Ton. Die Knotenlinien selbst können durch aufgestreuten Sand sichtbar gemacht werden. Die einzelnen so erhaltenen Töne können nun als Obertöne auftreten, sie sind aber mit dem Grundton, welchen die Platte bei zwei Knotenlinien vornehmlich gibt, nicht mehr harmonisch. Eine solche Platte gab als Grundton c , ihr erster Oberton bei drei Knotenlinien (Durchmessern) war d' , der dritte bei vier Knotenlinien c'' , der vierte schon g'' — gis'' .

Tönende Körper mit solchen unharmonischen Obertönen, namentlich wenn sie nahe dem Grundton liegen und stark auftreten, können in der Musik keine Anwendung finden. Jene hingegen mit harmonischen Obertönen sind in der Musik sehr gesucht, ja manchmal bringt man, wie an einigen Saiten des Claviers, diese Obertöne absichtlich stärker hervor. Einfache Töne ohne Begleitung von Obertönen klingen wohl weich und angenehm, ohne alle Rauigkeit, aber unkräftig und in der Tiefe dumpf. Klänge aber, in denen neben dem Grundton die niederen Obertöne in mässiger Stärke, etwa bis zur sechsten, vorhanden ist, sind klangvoller, musikalischer. Sie haben mit den einfachen Tönen verglichen etwas Reichhaltiges und Prächtiges, sind auch wohl lautender und weich, so lange die höheren Obertöne fehlen. So am Clavier, den offenen Orgelpfeifen, dem Pianotone der menschlichen Stimme. Wenn nur die ungeradzahligen Obertöne vorhanden sind, also der 3., 5. u. s. w.; so ist der Klang hohl, von näselndem Charakter. Ist der Grundton vorherrschend, so ist der Ton voll, sind die Obertöne vorherrschend, nennt man den Klang leer. Wenn die Obertöne über den sechsten hinausreichen, so ist der Klang scharf und rauh wie bei den Streichinstrumenten, den Zungenpfeifen der Orgel, der Physharmonika, dem Fagot u. m. a.

Zu jenen wenigen Körpern, welche Klänge ohne Obertöne, also einfache Töne zu liefern vermögen, gehören die Stimmgabeln, die ähnlich wie die oben

betrachtete Glocke mit einer Resonanzröhre versehen sind. Es sind die Töne solcher Stimmgabeln weich und frei von allem Scharfen und Rauhen. Wegen des Mangels höherer Obertöne erscheinen ihre Klänge tiefer als alle anderen von gleichem Grundton. Einfache Töne, die nur etwas von einem Luftgeräusche begleitet sind, gleichen den beim Anblasen bauchiger Flaschen auftretenden. Solchen bauchigen Flaschen ähnlich sind die oben angeführten Resonatoren; diese geben auch wirklich beim Anblasen nur einen einfachen Ton, eine Eigenschaft, die sie gerade zur Erkenntniss der einfachen Partialtöne eines Klanges besonders befähigt.

Die Stimmgabeln ohne Resonanzröhren geben einen Klang mit, wenn auch schwachen, Obertönen. Diese Obertöne liegen gegen den Grundton sehr hoch, sie sind unharmonisch zu ihm. Der erste Oberton solcher Stimmgabeln besitzt ungefähr 6mal so viel Schwingungen wie der Grundton, der zweite schon ungefähr 30mal so viel. Solche Stimmgabeln finden in der künstlerischen Musik keine Anwendung, wie denn überhaupt solche Klänge mit unharmonischen Obertönen in derselben nur sehr selten in Anwendung sind.

Die elastischen Stäbe geben beim Anschlagen ebenfalls sehr hohe Obertöne. Da sich bei ihnen beim Anklingen ihres Grundtones zwei Knotenlinien senkrecht auf ihre Längenrichtung bilden, so kann man diese Stäbe durch passende Befestigung an diesen Kno-

tenlinien wohl zwingen, den Grundton ganz besonders zu geben. Aber zur eigentlichen künstlerischen Musik eignen sie sich wenig; ihr durchdringender Ton macht sie höchstens für Militär- und Tanzmusiken geeignet. Die Glasstabharmonika, die Strohfiedel und die Holzharmonika können hierher gezählt werden. Bei Holz- und Glasstäben verklingen die hohen Obertöne rascher wie der Grundton, namentlich bei Holz, wo die Elasticität wegen der groben inneren Structur unvollkommen ist. Es eignen sich solche Holzstäbe schon besser zu musikalischen Aufführungen, wie Metallstäbe, wo wegen der vollkommeneren Elasticität ein langandauerndes Mitklingen der hohen Obertöne eintritt. Der eigenthümliche Metallklang besteht eben in dem Vorhandensein so hoher, lang mitklingender Obertöne. Man hat bei diesen Instrumenten Hämmer von Holz oder Kork mit Leder überzogen. Es werden dadurch die hohen Obertöne schwächer angeregt, wie durch Metallhämmer.

Die elastischen Scheiben, die wir schon oben berührten, gehören auch hierher.

Der Klang der Glocken ist ebenfalls von unharmonischen Obertönen begleitet, die aber nicht so nahe aneinander liegen, wie bei ebenen Platten. Die Glocken schwingen so, dass sich 4, 6, 8, 10 u. s. w. Knotenlinien bilden, die vom Scheitel gegen den Rand in gleichen Abständen von einander herablaufen. Eine Glocke, welche C gab als Grundton, hatte c, d', c'', gis'', d''', als Obertöne. Diese Obertöne hängen

wesentlich davon ab, wie sich das Fleisch der Glocke vom Scheitel gegen den Rand verjüngt, ob dieses Dünnerwerden des Glockenmantels langsamer oder rascher geschieht. Die grosse Kunst des Glockengiessers besteht eben darin, durch eine passende Form der Glocke die Obertöne derselben zu einander harmonisch zu machen.

Die gespannten Membranen, die bei der Pauke, Trommel u. s. w. angewendet sind, verhalten sich bezüglich ihrer unharmonischen Obertöne ähnlich wie Platten.

Zu jenen elastischen, festen Körpern, welche Klänge mit harmonischen Obertönen geben, die also musikalisch brauchbar sind, gehören in erster Linie die Saiten. Wir betrachten zuerst die durch den Anschlag erregten Saiten. Es gehören hieher das Pianoforte, die Harfe, die Guitarre, die Cither und das Monochord, ein physikalischer Apparat zum genaueren Studium der Saitenbewegung. Ebenso das Pizzicato der Streichinstrumente.

Die Stärke der Obertöne im Klange einer angeschlagenen Saite hängt ab: 1. von der Art des Anschlages, 2. von der Stelle des Anschlages, 3. von der Dicke, Steifigkeit und Elasticität der Saite.

Man kann die Saite mit einem Stifte oder mit dem Finger reissen, indem man sie zur Seite zieht und dann loslässt, wie diess bei der Cither, Harfe und Guitarre der Fall ist, oder man kann sie schlagen

mit einem hammerartigen Körper, wie diess beim Fortepiano und dem Spinette der Fall ist. Es hat sich gezeigt, dass die Zahl der Obertöne und ihre Stärke um so bedeutender ist, je mehr und je schärfere Discontinuitäten die Bewegung des tönenden Körpers besitzt. Eine Saite mit einem Stift gerissen, besitzt an der Anschlagstelle eine Discontinuität, eine scharfe Ecke, welche viel bedeutender und schärfer ist, als wenn sie mit dem Finger gerissen wurde. Im ersteren Falle sind die höheren Obertöne im stärkeren Maasse vorhanden wie im zweiten. Bei der Cither, wo mit einem Stifte gerissen wird, ist der Ton in Folge dessen von einer Menge hoher, klimpernder Obertöne begleitet, die die eigenthümliche Klangfarbe der Cither bedingen. Viel weicher sind die Töne der Harfe und Guitarre; die Bewegung der Saite ist bei diesen weniger discontinuirlich, weil mit dem breiteren Finger gleichzeitig mehrere Punkte der Saite in Bewegung gesetzt werden, die höheren Obertöne sind in Folge dessen auch schwächer. Beim Schlagen mit einem scharfkantigen metallenen Hammer, der nach dem Schlag wieder abspringt, wird die Bewegung der Saite vornehmlich einem Punkte ertheilt, dieselbe wird also grössere Discontinuität zeigen, als jene einer Saite, die mit einem weichen, breiten, lange anliegenden Hammer geschlagen wird. Im ersteren Falle werden die Obertöne in reicherer Zahl und intensiver auftreten, wie im zweiten. Eine und dieselbe Saite kann verschieden angeschlagen oder gerissen ganz verschiedene Klang-

farbe besitzen. Man überzieht deshalb die Pianofortehämmer mit dicken Lagen von stark gepresstem elastischem Filz. Die äussersten Lagen sind weich und nachgiebig, die tieferen fester. Beim Anschlagen legt sich der Hammer ohne hörbaren Stoss an die Saite, bleibt dann längere Zeit an ihr liegen und springt endlich in Folge seiner Elasticität zurück. Je dicker die Filzlagen und je schwerer der Hammer, desto länger dauert die Berührung des Hammers und der Saite, desto später springt der Hammer zurück. Es hat sich aus der Theorie ergeben, dass diejenigen Obertöne ganz besonders begünstigt werden, deren halbe Schwingungsdauer nahe gleich ist der Zeit, während welcher der Hammer mit der Saite in Berührung ist, und dass diejenigen verschwinden, deren halbe Schwingungsdauer 3-, 5-, 7mal so gross ist. Der Einfluss, den solche verschiedene Hämmer auf die Klangfarbe ausüben, ist sonach ersichtlich. Beim Claviere z. B. sind die Hämmer für die verschiedenen Saiten verschieden construirt. Die Hämmer der höheren Octaven springen schneller zurück und haben dünnere Filzlagen. Diese Resultate haben die Erbauer solcher Instrumente offenbar auf empirischem Wege gefunden, indem sie, durch die Erfahrung geleitet, fanden, wie die Elasticität des Hammers dem Klange einer Saite am besten entspricht.

Von grosser Wichtigkeit für die Klangfarbe ist auch die Anschlagstelle. Diejenigen Obertöne einer Saite, die an der Anschlagstelle einen Knotenpunkt

besitzen, müssen ersichtlich ausbleiben, jene, welchen dort eine grösste Elongation entspricht, müssen besonders begünstigt werden. Wenn man eine Saite in der Mitte anschlägt, so fehlen in ihrem Klange ersichtlich ihre geradzahligen Töne. Es fehlen die höheren Octaven. Besonders aber treten die ungeradzahligen Töne hervor, also z. B. die Quinte der nächsthöheren Octave u. s. w. Wenn man die Saite dagegen in $\frac{1}{3}$ ihrer Länge anschlägt, so sind es gerade die höheren Octaven, die sich im Klange einfinden, während z. B. ihr 3. Ton, die Quinte der höheren Octave, fehlt. Es fehlt auch der 6., 9. u. s. w. Ton. Wenn man mit der Anschlagstelle sich dem Ende der Saite nähert, so werden die höheren Obertöne gegen den Grundton und die niederen Obertöne begünstigt, der Klang der Saite wird dadurch leer und klimpernd.

Beim Claviere ist bei den mittleren Saiten die Anschlagstelle auf $\frac{1}{7}$ bis $\frac{1}{9}$ ihrer Länge verlegt. Es fehlen in Folge dessen der 7. bis 9. Oberton. Diese durch die Erfahrung gefundene Stelle entspricht auch vollkommen der Theorie. Es bleiben nämlich in Folge dessen der 7. bis 9. Oberton weg oder treten doch nur sehr schwach auf. Diese noch ziemlich deutlich bei einer Saite wahrnehmbaren Töne sind aber die ersten Obertöne, welche gegen den Grundton nicht mehr sehr harmonisch sind, da sie dem Duraccord nicht mehr angehören. An Saiten, wo diese Obertöne nicht so stark auftreten, wie bei den höheren Octaven, wo die Saite schon zu kurz und zu steif ist, rückt

man die Anschlagstelle näher dem Ende, um so diese Obertöne zu begünstigen und einen helleren und durchdringenderen Klang zu erzielen.

Beim Claviere ist das Vorwiegen der Obertöne namentlich bei den tieferen Octaven sehr bedeutend. Die sechs ersten Töne treten sehr deutlich auf, der 7. bis 9. Ton fehlt wegen der Anschlagstelle fast gänzlich, die noch höheren Töne fehlen fast ganz. Um eine Vergleichung des Auftretens der Obertöne bei verschiedenen Anschlagweisen leicht möglich zu machen, hat Helmholtz nach der von ihm entwickelten Theorie die folgenden Zahlen berechnet. Da die Wirkung des Hammers von der Zeit, während welcher er an der Saite liegt, abhängt, so ist auch auf diese Rücksicht genommen. Sie ist in der Tabelle angegeben in Theilen der Schwingungsdauer des Grundtones. Es findet sich auch in derselben eine Berechnung für eine mit dem Finger gerissene Saite. Die Anschlagstelle ist stets in $\frac{1}{7}$ der Saitenlänge angenommen. Die Intensität des Grundtones ist gleich 100 angenommen.

Ordnungszahl des Partialtones	Anschlag durch Reissen	Anschlag durch den Hammer, dessen Berührung dauert				Anschlag mit einem ganz harten Hammer
		$\frac{3}{7}$ von der Schwingungsdauer des Grundtones c''	$\frac{3}{10}$ g'	$\frac{3}{14}$ C, — c'	$\frac{3}{20}$	
1	100	100	100	100	100	100
2	81·2	99·7	189·4	249	285·7	324·7
3	56·1	8·9	100·9	242·9	357·0	504·9
4	31·6	2·3	17·3	118·9	259·8	504·9
5	13·0	1·2	0·0	26·1	108·4	324·7
6	2·8	0·01	0·5	1·3	18·8	100·0
7	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0

Man ersieht aus dieser Zusammenstellung, dass beim Claviere die Saiten in der Gegend der C,, der Grundton und ihre Octave mit fast gleicher Stärke geben, dass aber die folgenden Obertöne fast verschwinden, vielmehr wenigstens als bei einer gerissenen Saite, wo die Obertöne wenigstens bis zum sechsten sehr hörbar auftreten. In der Gegend des g' sind die zwei ersten Obertöne sehr stark, d. s. die höhere Octave und ihre Quinte, die folgenden nur sehr schwach. Bei den tieferen Octaven C,—c' des Claviers zeigen sich die ersten beiden Obertöne sehr stark, mit mehr als doppelter Intensität des Grundtones, der dritte eben so stark wie der Grundton und die folgenden noch ziemlich erheblich. Die Obertöne überragen den Grundton ganz besonders beim Anschlag mit einem harten Hammer. Der dritte und vierte Ton sind fünfmal, der zweite und fünfte Ton dreimal, der sechste Ton einmal so stark wie der Grundton. Darin liegt eben der Unterschied der Klangfarbe des Claviers und der Harfe, Guitarre u. s. w., dass bei diesen letzten, wenn auch bei deutlich hörbaren Obertönen immer doch der Grundton vorherrschend ist, während beim Claviere der erste, ja auch die beiden ersten Obertöne den Grundton bedeutend überwiegen.

Was den Einfluss der Dicke und des Materiales der Saite auf die Klangfarbe anbelangt, so ist ersichtlich, dass dicke Saiten hohe Obertöne nicht so leicht geben wie dünne, da sie nicht leicht, ihrer Steifigkeit wegen, in einer grösseren Anzahl aliquoter Theile zum

Schwingen gebracht werden können. Bei dünnen Saiten kann man sehr hohe Obertöne noch entwickeln, die, da sie in einer höheren Octave schon sehr nahe aneinanderliegen, die Klänge, wie bei der Cither klimpernd machen. Die hohen Obertöne liegen vom 8. an schon nur mehr um eine Tonstufe entfernt, vom 15. an ist ihre Entfernung nur mehr ein halber Ton. Bei sehr dünnen und langen Saiten ist es noch möglich den 18. Partialton zu beobachten.

Die Darmsaiten sind bei gleicher Dicke leichter als Metallsaiten, geben also höhere Töne, und wegen ihrer geringen Elasticität werden die höheren Obertöne schneller verschwinden. Der Mangel solcher höheren Obertöne macht auch solche Darmsaiten weniger klimpernd als die Metallsaiten, ihr Ton ist weicher wie bei der Harfe und der Guitarre gegenüber der Zither.

Bezüglich der Klangfarbe mit dem Bogen gestrichener Saiten, in ihrer Anwendung bei Streichinstrumenten ist Folgendes zu bemerken: Spricht die Saite gut an, so sind in ihrem Klange alle Obertöne enthalten, welche die Saite nach ihrem Grade der Steifigkeit überhaupt zu geben vermag, ihre Stärke nimmt jedoch mit ihrer Höhe ab. Die Intensität des zweiten Tones, der höheren Octave ist ein Viertel jener des Grundtones, jene des dritten Tones aber ein Neuntel, des vierten ein Sechszehntel u. s. w. Man hört die Obertöne sehr gut, namentlich wenn man sie sich unmittelbar als Flageolettöne an der Saite angegeben hat, und dadurch das Ohr an den entspre-

ehenden Oberton gewöhnt hat. Bis zum sechsten Oberton sprechen die Saiten der Streichinstrumente leicht an, man bringt aber auch jene bis zum 10. Oberton hervor. Die tieferen Obertöne sprechen am leichtesten an, wenn man die Saite in $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{12}$ ihrer Länge streicht, für die höheren Töne muss man von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{6}$ ihrer Länge vom Ende sich entfernen. Der Grundton ist im Klange der Streichinstrumente verhältnissmässig kräftiger als in den nahe ihrem Ende geschlagenen oder gerissenen Saiten des Claviers und der Guitarre. Die ersten Obertöne sind verhältnissmässig schwächer, dagegen sind die höheren vom sechsten bis zehnten hin viel deutlicher. Diese letzteren sind es, welche die Schärfe des Klanges der Streichinstrumente bedingen.

Zu diesen Resultaten ist Helmholtz durch Beobachtung der Bewegung eines Punktes der Saite mit Hilfe seines Vibrationsmikroskopes gelangt. Die Okularlinse eines Mikroskopes war an dem Ende einer Zinke einer Stimmgabel befestigt, deren Schwingungsrichtung senkrecht zur Schwingungsrichtung der zu untersuchenden Saite war. Auf einem Punkt dieser Saite war das Mikroskop eingestellt. Waren Stimmgabel und Saite in Ruhe, so war der Punkt deutlich sichtbar. Bewegte sich eine von ihnen, so sah man den Punkt als eine gerade Linie, die Richtungen der Linien, die sich bei der alleinigen Bewegung der Saite oder der Stimmgabel zeigten, standen aufeinander senkrecht. Bewegten sich beide, und war die

Stimmung derselben gleich, ohne ihre Schwingungszahl im einfachen Verhältniss, so stellte sich der Punkt als eine in sich selbst zurückkehrende, scheinbar feststehende krumme Linie dar. War die Stimmgabel gegen die Saite oder umgekehrt etwas verstimmt, so wechselte die Form der Linie je nach dem Grade der Verstimmung rasch. Es hat sich dabei ergeben, dass die Punkte der Saite eine Zeitlang schneller, die übrige Zeit aber langsamer sich bewegen. Aus der Art dieser Bewegung eines Punktes schloss nun Helmholtz auf die Bewegung der ganzen und aus dieser auf das Vorhandensein der Obertöne.

Der Kasten der Streichinstrumente, der durch elastische Holzplatten abgegrenzt als Resonanzkasten dient, gibt beim Anblasen der Schallöffnungen einen gewissen Ton. So gibt die Luft im Kasten der Violine angeblasen nach Savart den Ton c' , am Violoncell fand Savart den tieferen Ton C , Zamminer den Ton G . Aber auch noch andere Töne können auf die Resonanz der Kästen verstärkt werden, so c' — cis' , a' — b' ; als Folge dieser eigenthümlichen Resonanz ergibt sich, dass diejenigen Töne der Saiten, welche dem eigenen Ton der Luftmasse nahe liegen, verhältnissmässig stärker hervortreten.

Schwingende Luft benützt man besonders bei den Orgelpfeifen als tönenden Körper. Zwei Arten solcher Orgelpfeifen sind besonders zu nennen: die Flöten- oder Lippenpfeifen und die Zungenpfeifen. Bei den Lippenpfeifen wird die aus dem Gebläse kommende

Luft durch eine enge Spalte einer Schneide gegenüber am untern Theile der tönenden Masse ausströmen gelassen. Durch das Anprallen der Luft an der Schneide wird ein Geräusch hervorgebracht, bestehend aus einer grossen Anzahl Töne. Dieses Luftgeräusch, welches bei allen Pfeifen mehr oder weniger deutlich hörbar ist, gibt der Klangfarbe etwas Eigenthümliches. Diejenigen dieser Töne nun, welche der im eigentlichen Orgelrohr eingeschlossenen Luft entspricht, wird durch diese nun besonders verstärkt und hörbar. Das Material, aus dem die Orgelpfeife besteht, ist bezüglich des Grundtones von sehr geringem Einfluss, es hängt dieser Ton nur von der Länge der Röhre ab. Auf den Grundton Einfluss nimmt es aber, ob die Röhre oben offen oder geschlossen ist. Die Orgelpfeifen unterscheidet man auch als offene und gedackte. Bei zwei gleich langen Pfeifen gibt die gedackte einen Grundton, der um eine Octave tiefer ist als jener der offenen. Die Welle der offenen Pfeife ist zweimal so lang als ihre Länge, jene der gedackten viermal so lang, aber je länger eine Welle ist, um so grösser die Schwingungszeit, um so kleiner die Schwingungszahl, der Ton also tiefer.

Die Orgelpfeifen selbst und die in ihnen sich befindende Luft besitzen Eigentöne, die man bestimmen kann, wenn man verschiedene Stimmgabeln der Mündung der Röhre nähert. Die Klangfarbe dieser Pfeifen hängt also wesentlich davon ab, ob die harmonischen Obertöne des angeblasenen Tones hinreichend

den eigenen Tönen der Pfeife entsprechen. Bei den engen cylindrischen offenen Pfeifen, z. B. bei den Flöten, den Geigenprincipalen der Orgel sind die höheren Eigentöne des Rohres den harmonischen Obertönen des Grundtones genau entsprechend. Durch stärkeres Blasen kann man die höheren Töne des Rohres allein hervorbringen. Bei scharfem Blasen werden bei engen Röhren neben dem Grundton noch eine Reihe von harmonischen Obertönen auftreten, es wird bei solchen Pfeifen eine geigenähnliche Klangfarbe gefunden. Bei weiteren Röhren sind die Eigentöne alle etwas höher als die harmonischen Obertöne des Grundtones, diese Obertöne werden also auch nicht im gleichen Maasse verstärkt werden. Die weiteren Pfeifen der Orgel, bei denen ein stärkeres Anblasen, ohne in einen Oberton überzuspringen, möglich ist, geben den Grundton stark und voll, ohne Begleitung von Nebentönen. Eine andere Veränderung bieten die sich kegelförmig zuspitzenden Orgelpfeifen (Spitzpfeifen). Bei diesen ist der 5. und 7. Theilton deutlicher als die niederen. Ihr Klang ist leer, aber eigenthümlich hell.

Die gedackten cylindrischen Pfeifen besitzen, wenn sie enge sind, eigene Töne, welche den ungradzahligen Partialtönen des Grundtones, also der 3. (Duodecime), 5., 7. u. s. w. entsprechen. Bei engen tritt namentlich die Duodecime auf, daher auch der Name Quintanten. Bei den weiteren Pfeifen treten die Obertöne aus demselben Grunde wie bei den offenen

nicht so stark hervor, sie geben den Grundton fast rein.

Die Rohrflöte besitzt ein beiderseits offenes Röhrcchen in dem Deckel einer gedeckten Pfeife, dessen Länge so gross ist wie jene einer offenen Pfeife, die den fünften Theilton des Grundtones der Pfeife gibt. Es wird dieser Theilton besonders stark hervortreten und dadurch der Klang hell.

Die Holzpfeifen geben kein so starkes Blasegeräusch als die metallenen, ihre Wände widerstehen nicht so gut den Erschütterungen durch die Schallwellen, es werden die höheren Obertöne leichter durch Reibung vernichtet. Holz gibt also auch eine weichere, dumpfe, nicht so scharfe Klangfarbe.

Bei den Zungenpfeifen der Orgel und ähnlichen Instrumenten wird durch Anwendung einer elastischen Platte der Zutritt der Luft aus dem Windkasten in das eigentlich tönende Rohr nur abwechselnd gestattet. Durch die Schwingungen einer solchen Platte wird nämlich die Zuströmungsöffnung abwechselnd geöffnet und geschlossen. Es werden also rasch aufeinanderfolgende Luftstösse erzeugt, ähnlich wie bei der Sirene. Diese Zungen können wie bei Orgelpfeifen durchschlagende oder aufschlagende sein, je nachdem sie genau in die sie verschliessende Oeffnung passen, also auch durch dieselbe hindurchgehen, oder grösser sind als diese und sie wie ein Deckel schliessen. Mittelst eines Stabes, der es ermöglicht, die schwingende Zunge grösser oder kleiner, also

mehr oder weniger elastisch zu machen, ist man im Stande den Ton zu reguliren. Die Zungen aus elastischen Rohrplatten der Clarinette, der Oboe, des Fagottes, gehören ebenfalls hieher. Bei der Clarinette hat man eine breite Zunge, welche nur sehr kleine Excursionen macht, und die Oeffnung des Mundstückes in Folge dessen nicht vollkommen schliesst, sondern nur erweitert und verengt. Bei der Oboe und dem Fagott stehen sich zwei solche Zungen gegenüber am Ende des Mundstückes, welche zwischen sich einen schmalen Spalt lassen, der sich beim Anblasen ebenfalls erweitert und verengt. Die membranösen Zungen gehören ebenfalls hieher. Sie lassen zwischen sich ebenfalls einen sich verengenden und erweiterten Spalt. Sie spielen eine wichtige Rolle als menschliche Lippen beim Anblasen der Streichinstrumente und als Kehlkopf beim Gesang.

Die Tonhöhe der hier betrachteten verschiedenen Zungenwerke kann auf die verschiedenste Art geändert werden. Bei den metallenen Zungen der Orgel und Physharmonika sind sie immer nur zur Erzeugung eines einzigen Tones bestimmt. Die schwingende Luft hat auf diese verhältnissmässig schweren und steifen Zungen keinen Einfluss, für jede Note müssen diese Instrumente also auch mindestens eine Zunge haben.

Bei den Holzblasinstrumenten hat man nur eine Zunge, die für sämtliche Noten dienen muss. Aber diese Zungen sind aus einem sehr elastischen Material verfertigt und die Luftschwingungen können auf die

Bewegung der Zunge Einfluss nehmen und sie so verändern.

Die Clarinette hat ein cylindrisches Rohr, dessen Eigentöne dem dritten, fünften, siebenten Theilton des Grundtones entsprechen. Durch verändertes Anblasen kann man vom Grundtone auf die Duodecime oder die hohe Terz übergehen, ausserdem lässt sich die acustische Länge des Rohres verändern, wenn man die Seitenlöcher der Clarinette öffnet, indem dann hauptsächlich nur die Luftsäule zwischen Mundstück und dem geöffneten Seitenloche schwingt.

Die Oboe und das Fagott haben kegelförmige Röhren. Solche kegelförmige Röhren, welche bis zur Spitze des Kegels geschlossen sind, haben Eigentöne, welche denen von gleich langen offenen Röhren gleich sind. Es sind also auch die Töne beider Instrumente nahe gleich den Tönen offener Pfeifen. Durch ein Ueberblasen geben sie den zweiten, dritten, vierten u. s. w. Partialton des Grundtones. Die dazwischen liegenden Töne werden durch Seitenöffnungen erhalten.

Die älteren Hörner und Trompeten bestehen aus langen kegelförmigen Röhren ohne Klappen und Ventile. Sie können nur die eigenen Töne des Rohres geben, welche hier wieder den harmonischen Obertönen des Grundtones gleich sind. Da der Grundton eines so langen Rohres tief ist, liegen die Obertöne in den mittleren Gegenden der Scala sehr nahe aneinander, so dass die meisten Stufen der Scala gegeben

sind. Ein Waldhorn hat ungefähr die Länge von 27 Fuss. Die Trompete war auf diese natürlichen Töne beschränkt, beim Horn konnte man mit der Faust den Schallbecher verengern, bei der Posaune durch ein Verlängern des Rohres die fehlenden Töne ersetzen oder die mangelhaften verbessern. Die neueren Trompeten und Hörner sind mit Klappen versehen, wobei man ähnlich wie bei der Clarinette den Ton zu ändern vermag, aber es leidet dadurch die Kraft des Tones und der Glanz der Klangfarbe. Die Schwingungen der Luft in diesen Instrumenten sind ungemein mächtig und nur feste, glatte, undurchbrochene Röhren können ihnen gehörigen Widerstand leisten, um nichts von ihrer Kraft zu verlieren. Beim Gebrauche der Blechinstrumente kommt die Form und Spannung der Lippen des Bläusers nur insofern in Betracht, als durch sie der eigene Ton des Rohres bestimmt wird, welcher ansprechen soll. Die Höhe der einzelnen Töne ist so gut wie unabhängig von der Spannung der Lippen.

Beim menschlichen Kehlkopf hingegen wird die Spannung der Stimmbänder, die hier als membranöse Zungen wirken, selbst verändert und bestimmt den Ton, denn die mit dem Kehlkopfe in Verbindung stehenden Luftmassen sind nicht geeignet, den Ton der Stimmbänder beträchtlich zu verändern. Die Wände derselben sind zu nachgiebig, als dass in ihnen Luftschwingungen zu Stande kommen könnten, die stark genug wären, um den Stimmbändern eine Schwin-

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: 1869

Band/Volume: [8](#)

Autor(en)/Author(s): Ditscheiner Leander

Artikel/Article: [Ueber die Klangfarbe. 337-375](#)