

Belieben hebt oder senkt, die Natur des Tons plötzlich umwandeln. Diese Eigenschaft bietet dem Spieler viele Hülfquellen zur Vermannigfachung der musikalischen Effecte. Wenn man den Luftkasten in mehre für sich bewegliche Theile zerlegte, deren jeder eine Octave umfaßte, so würde es leicht seyn beide Tongattungen zusammenwirken zu lassen. Man könnte zum Beispiel den hohen Tönen den Klang des Piano lassen, und den tiefen Tönen den der Zungenpfeifen geben, oder umgekehrt. —

XVIII. *Ueber die Hervorbringung hörbarer Töne; von Robert Kane;*

(Aus den *Proceedings of the Royal Irish Academy; Phil. Mag.*
Vol. XIX p. 247.)

Die Wahrnehmung der Töne entsteht dadurch, daß das Trommelfell in eine schwingende Bewegung versetzt wird, die isochron ist mit den von dem tönenden Körper ausgehenden Schwingungen. Jeder Körper, welcher als eine einzige Masse schwingt, erzeugt gleichzeitig zwei Wellen, deren Bewegungen von entgegengesetzter Richtung sind, und von denen die eine verdünnt, die andere verdichtet ist. Wenn diese beiden Wellen gleichzeitig und mit gleicher Kraft zum Trommelfell gelangen, erfolgt eine vollkommene Neutralisation und kein Ton wird gehört. Wo also ein schwingender Körper die Wahrnehmung eines Tons im Ohr erzeugt, da ist eine der beiden Wellen entweder gänzlich aufgefangen oder wenigstens geschwächt worden, und die Stärke des Schalls ist proportional dem Intensitätsunterschiede der beiden Wellen, wann sie das Ohr erreichen.

Alle Instrumente zur Verstärkung der Töne und Hervorbringung von Resonanz wirken nach diesem Princip.

Die folgenden Thatsachen werden dieß im Detail

erläutern. Eine Stimmgabel ist das Centrum von vier Wellen, zwei $+$ und zwei $-$ (Fig. 12 Taf. II); allein, wenn sie nicht sehr dicht an's Ohr gebracht wird, hört man keinen Ton, weil alle vier Wellen mit ihren Centris sehr dicht aneinanderliegen, daher sämmtlich mit gleicher Kraft auf das Ohr wirken, und ihr Unterschied, wenigstens annähernd, Null ist.

Nähert man nun eine offene Röhre von gleicher Länge mit der Länge einer halben Welle (*a one-phase wave*) der Stimmgabel dem einen Centro, wie *A* in Fig. 13 Taf. II, so beginnt die Luft in Einklang mit der Gabel zu schwingen, da sie durch die erste eintretende Welle in Bewegung gesetzt wird. Die Schwingung aus der Röhre ist aber eine Phase hinter der der Gabel zurück, und wenn also eine $-$ Welle vom Centro *A* ausgeht, trifft sie eine $+$ Welle aus dem Ende *E* der Röhre, und beide werden zerstört. Das $-$ Centrum *C* zerstört auch ein $+$ Centrum, wie *D*, und es bleiben nur die Centra der $+$ Wellen, *B* von der Gabel und *F* von der Röhre, und diese wirken gemeinschaftlich auf das Trommelfell, um den von uns gehörten Ton zu erzeugen.

Ist die Röhre geschlossen und nur halb so lang, so wird die von *A* ausgehende und in die Röhre tretende Welle am Boden reflectirt; und sie tritt in dem Moment wieder aus, wann die nächste $-$ Welle von *A* eintreten will (Fig. 14 Taf. II). *E* und *A* zerstören alsdann einander, und da auch *C* und *D* interferiren, so bleibt nur die $+$ Welle *B*, welche ungehindert auf das Ohr wirkt. Der Ton einer offenen Röhre ist daher *ceteris paribus* weit stärker als der einer geschlossenen Röhre, da dort zwei Wellen statt einer vorhanden sind.

Dafs geschlossene Röhren, wenn sie resoniren, den Ton des ursprünglich vibrirenden Körpers zum Theil zerstören, und offene in Zusatz zu diesem ein neues Centrum einer Welle von gleicher Phase mit der übrigbleibenden liefern, läßt sich auf mancherlei Weise zeigen.

So hat Hr. Adams vor langer Zeit gezeigt, daß wenn zwei geschlossene Röhren unter rechten Winkeln gegen einander gestellt sind, sie interferiren, wenn man sie gegen eine Stimmgabel ansprechen läßt, was bisher noch nicht erklärt worden ist. Einleuchtend ist jedoch, daß wenn die Röhren rechtwinklich gegen einander liegen, die zerstörten Wellen sich in entgegengesetzten Phasen befinden, und die übrigbleibenden ebenfalls, so daß der Erfolg derselbe ist, wie wenn gar keine Röhren da wären. Derselbe Effect läßt sich durch eine einzige Röhre hervorbringen, wenn man sie so biegt, daß ihre Mündungen rechtwinklich gegen einander liegen (Fig. 15 Taf. II); die — und + Wellen, *D* und *C*, begegnen und neutralisiren einander in der Röhre, und da die Wellen *A* und *B*, auch + und —, welche übrig bleiben, ebenfalls interferiren, so wird kein Ton gehört ¹). In einer offenen, zu einem Kreise gebogenen Röhre, wie in Fig. 15, befinden sich die zerstörten Wellen (*A*, *C*) in gleicher Phase, wie die übrigbleibenden (*B*, *D*), und folglich ertönt eine solche Röhre mit fast der doppelten Kraft einer gewöhnlichen offenen Röhre.

Daß es der Ton der nicht in die Röhre tretenden Wellen ist, und nicht der der Wellen in der Röhre, welchen wir hören, zeigt sich, wenn man zwei geschlossene Röhren anwendet, wie Fig. 16. Wenn die beiden — Wellen durch die kreisrunde offene Röhre absorhirt werden, absorhirt jede geschlossene Röhre eine + Welle und folglich wird kein Ton gehört, ungeachtet so viel vibrirendes Material zugegen ist. Wenn aber die Röhren *A* und *B* offen wären (Fig. 17), dann müßten die vibrirenden Centra bloß zu deren abgewandten Enden verschoben werden, und die Röhren würden Töne aussenden, wie die Stimmgabel es ohne sie that in Fig. 16.

1) In der Figur fehlt der Buchstabe *B*, er muß rechts neben *A* über *C* stehen. *P.*

Hat die offene Röhre die doppelte Länge einer Phase, dann geschieht die Neutralisation wie in Fig. 18, indem die übrigbleibenden Wellen *B* und *F*, sich in entgegengesetzten Phasen befinden; da aber ihre Centra so weit auseinanderliegen, so interferiren sie nur in hyperboloidischen Flächen, welche man nur bei sorgfältiger Nachsichtung entdeckt, die indess von Savart beobachtet sind, obgleich er nicht auf ihre Ursache verfiel.

Alle diese Principien haben ihre vollständige Bestätigung erhalten durch ein zu diesem Zweck construirtes und *Chlorizophon* genanntes Instrument. Es besteht aus einer quadratischen Glasplatte, befestigt über einer Reihe geschlossener Röhren von solcher Größe, daß, wenn die Platte in vier Abtheilungen mit diagonalen Knotenlinien schwingt, die Länge jeder Röhre die Hälfte der Phasenlänge der erzeugten Welle ist; dabei haben sie einen dreiseitigen Querschnitt von gleicher Größe mit einer der schwingenden Abtheilung der Platte. Wenn eine dieser Röhren an die Platte gebracht, und diese durch einen auf die Mitte einer der Seiten aufgesetzten Violinbogen in Schwingung versetzt wird, so tönt die Röhre, und desto lauter, je näher ihre Mündung an die Platte gebracht wird. Nun wird hier die gesamte Welle der Platte von der Röhre aufgefangen, und je vollkommener ihr Entweichen in die Luft verhindert wird, desto lauter ist der entstehende Ton; er muß also aus Wellen entstehen, die nicht in die Röhre eintreten. Auf diese Weise kann man irgend eine oder mehrere Wellen durch die geschlossenen Röhren absorbiren lassen, und mit einer und derselben Platte eine Stufenfolge von Tonstärken mit einer oder mehreren der vier Röhren erzeugen, je nachdem diese folgendermaßen angeordnet sind:

Die schwingende Platte giebt acht Wellen, vier oben, vier unten, und zwar 4+ und 4—.

Mit einer Röhre wird eine Welle absorbirt, 3+ und 3— zerstören einander, und eine Welle, entgegen-

gesetzt in Phase mit der absorbirten, bleibt übrig, und giebt einen hörbaren Ton.

Mit zwei Röhren können die absorbirten Wellen entweder von entgegengesetzten oder gleichen Phasen seyn. Sind sie entgegengesetzt, so sind die übrigbleibenden Wellen $3+$ und $3-$, und man hört keinen Ton; sind aber die absorbirten Wellen von gleicher Phase, beide z. B. $+$, so bleiben $4-$ und $2+$, und folglich wird das Ohr doppelt afficirt durch $2-$. Die Röhren können entweder beide über oder unter der Platte seyn, oder blofs die eine darüber und die andere darunter.

Mit drei Röhren können die absorbirten Wellen entweder alle von gleicher Phase seyn, oder zwei von der einen und die dritte von der andern. Im ersten Fall werden $3+$ absorbirt; es bleiben also $4-$ und $1+$, und das Ohr empfängt den Impuls von $3-$. In dem andern Fall werden $2+$ und $1-$ absorbirt; es bleiben $2+$ und $3-$ übrig, und der Impuls auf das Ohr ist nur $1-$. Hierbei kann die Stellung der Röhren variiren wie in dem früheren Fall.

Mit vier Röhren kann die Absorption entweder Wellen sämmtlich von gleicher Phase oder $2+$ und $2-$ treffen. Im ersten Fall werden die übrigbleibenden Wellen entweder $4+$ oder $4-$ seyn, in welchem Fall man den lautesten Ton hört, den die Platte geben kann, oder es bleiben $2+$ und $2-$, in welchem Fall die Platte keinen Ton liefert. Diese Resultate beweisen genügend, dafs die Töne, welche man hört, die rückständigen und nicht die in die Röhre eintretenden sind.

Eine schwingende Platte giebt immer einigen Ton, selbst ohne Röhren, denn da sie wenigstens acht Wellen hervorbringt, so sind immer einige günstiger beumstandet zur Einwirkung auf das Ohr als andere. Dieser Unterschied wächst mit der Anzahl der Wellen, und deshalb wird der unabhängige Ton der Platte in dem Maafse stärker, als die schwingenden Abtheilungen, in welche er zerfällt, zahlreicher werden.

Eine im Freien schwingende Saite giebt wenig oder gar keinen Ton; wenn sie aber über ein elastisches Brett ausgespannt oder damit verbunden wird, bringt sie eine große Resonanz hervor. Diefes hat zwei Ursachen. Erstlich ist die Saite, für sich allein, der Mittelpunkt zweier ungemein dicht zusammenliegender Wellen, die also mit einander interferiren. Wenn aber die Saite *AB* nahe bei einer Fläche *C* schwingt, so wird die zu dieser Fläche gehende Welle -1 reflectirt; sie begegnet also die ihr folgende Welle $+2$, neutralisirt sie zum Theil und setzt die Welle -2 in den Stand das Ohr ohne Schwächung zu erreichen (Fig. 19). Wahrscheinlich entspringt jedoch der größte Theil des Tons dadurch, daß das Brett oder die Fläche selbst theilweise oder als Ganzes schwingt. Geschieht dies theilweise, so haben die Theile in Bezug auf das Ohr verschiedene Lage, und machen also einen Eindruck auf dasselbe. Schwingt sie aber als Ganzes, so ist die Platte *C* so breit, oder, wenn sie einen Kasten bildet, so begrenzt, daß die eine Welle durch innere Reflexion verloren geht, und nur die von der Außenseite abgehende Welle das Ohr erreichen kann.

Stellt man eine Stimmgabel auf einen Tisch, so geht eine Welle durch innere Transmission und Reflexion verloren, während die von der Außenseite herkommende das Ohr erreicht.

Bei Zungenpfeifen bringt die Zunge zwei Wellen hervor, welche, wenn sie frei schwingt, einander am Ohr neutralisiren; allein in Praxis ist der einen ein offener Austritt durch das Mundstück gestattet, während die andere in den Höhlungen der Lippen und des Mundes verloren geht. Bei Mundstück-Instrumenten, wie Jagdhörner und Trompeten, dient die Mundhöhle ebenfalls zur Absorption der einen Welle, während die andere frei entweicht.
