vielleicht verdiente durch den Versuch oder die Rechnung aufgelöst zu werden, ist die, ob die an einander stoßenden verdünnten und verdichteten Portionen, welche ich in der Luft, in Gasen und in Dämpfen annehme, in Strahlen geordnet sind, wie die Riffe bei dem erwähnten Versuch, oder ob sie, verdünnt und verdichtet, eben sowohl in Richtung der Radian abwechseln, als sie es seitwärts thun.

III. Ueber die Fortpflanzung der Töne durch starre lineare Leiter, und die dadurch hervorgebrachte Resonanz;

von Hrn. Charles Wheatstone.

(Journ. of the Royal Institut. No. V. p. 223.)

Die Fortpflanzung des Schalls durch starre Körper, wie z. B. durch einen Stock oder Metallstab, der mit einem Ende an das Ohr gehalten, und am anderen Ende gestrichen oder geschlagen wird, war schon den alten Physikern bekannt; lange Zeit nahm man indess irriger Weise an, daß ein luftförmiges Mittel allein im Stande sey tönende Schwingungen aufzunehmen, und noch Baco sagt, bei Erwähnung der eben genannten Erfahrung, daß der Schall durch einen in den Poren der Körper enthaltenen Spiritus fortgepflanzt werde *). Die erste richtige

*) »If a rod of iron or brass be held with one end to the ear, and the other be struck upon, it makes a greater sound than the same struck upon the rod, when not so contiguous to the ear. By which, and other instances, it should seem that sounds do not only slide upon the surface of a smooth body, but also communicate with the spirits in the pores of the body» — Sylva Sylvarum. Phonics §. 3.

»The pneumatical part, which is in all tangible bodies, and has some affinity with air, performs, after a sort, the

Beobachtung über diesen Gegenstand scheint Dr. Hooke im J. 1667 gemacht zu haben, indem er mit einem hinreichend langen ausgespannten Draht einen Versuch anstellte, und dabei bemerkte, daß derselbe Ton schneller durch den Draht als durch die Luft fortgepflanzt wurde *). Einen ähnlichen Versuch machte im J. 1788 Professor Wünsch, zu Frankfurt a. d. O., nur nahm er statt des Drahts mehre mit einander verbundene Holzlatten von 1728 Fufs Länge; er fand Hook's Resultat bestätigt **). Fernere Versuche ähnlicher Art wurden späterhin von Herhold und Rafn ***), Hassenfratz und Gay-Lussac †) u. s. w. angestellt; allein die ersten Messungen über die Geschwindigkeit des Schalls in starren Körpern machte Biot, unterstützt von Bouvard und Mar-

office of the air. Thus the sound of an empty barrel is in part created by the air on the outside, and in part by that in the inside; for the sound will be less or greater, as the barrel is more or less empty; though it communicates also with the spirit in the wood, through which it passes from the outside to the inside — *Sylva Sylvarum, Phonics* §. 2.

*) *»And though some famous authors have affirmed it impossible to hear through the thinnest plate of Moscovy Glass yet I know a way by which 'tis easy to hear one speak through a wall a yard thick. It hat non yet been thoroughly examined, how far otacustics may be improved, nor what other ways there may be of quickening our hearing, or conveying sounds through other bodies than air; for that that is not the only medium I can assure the reader, that I have, by the help of a distended wire, propagated the sound to a very considerable distance in an instant, or with as seemingly quick a motion as that of light; at least, incomparably swifter than that which at the same time was propagated through the air; and this not only in straight line, or direct, but in one bended in many angles* — Vorrede zu Hooke's *Micrographia*.

**) Denkschriften der Berliner Acad. 1788, S. 87.

***) Reil's Archiv für Physiologie, Bd. III S. 178.

†) *Annal. de chim. T. LIII p. 64.*

tin. Sie wurden in Paris an 951,25 Meter langen gußeisernen Wasserleitungsröhren angestellt, und gaben im Mittel aus zwei Messungen für die Geschwindigkeit des Schalls in Gußeisen das Resultat: 3459 Meter oder 11090 engl. Fuß in der Secunde *).

Bereits vor diesen Beobachtungen hatte Chladni durch eine sinnreiche Methode die Geschwindigkeit des Schalls in verschiedenen starren Körpern aufgefunden, und seine Resultate wurden durch anderweitig begründete Rechnungen vollkommen bestätigt. Die von ihm angewandte Methode beruht auf dem Newton'schen Satz, daß die Töne einen lusterfüllten Raum von gegebener Länge in derselben Zeit durchlaufen, in welcher eine eben so lange Luftsäule in einer an beiden Enden offenen Röhre eine einfache Schwingung vollbringt **). Seine Entdeckung der Longitudinal Schwingungen starrer Körper, welche mit den gewöhnlichen Schwingungen einer Luftsäule vollkommen übereinstimmten, befähigten ihn, jenen Satz auf feste Körper auszudehnen, und das allgemeine Gesetz aufzustellen, daß der Schall ein jedes elastische Mittel in derselben Zeit durchläuft, in welcher dieses Mittel eine Längenschwingung vollbringt. Auf diese Weise bestimmte er die Schallgeschwindigkeit für eine Secunde unter andern für folgende Substanzen: Zinn = 7800, Silber = 9300, Kupfer = 12500, Glas und Eisen 17500, und verschiedene Holzsorten 11000 bis 18000 englische Fuß.

*) *Mém. d'Arcueil*, T. II p. 403.

**) Unter einfacher Schwingung ist hier die Bewegung des schwingenden Körpers von einer Gränze der Schwingungsweite zur andern verstanden, übereinstimmend mit Chladni. Andere Physiker betrachten, mit Newton und Sauveur, diesen Gang als eine halbe Schwingung, und nennen einfache Schwingung die Bewegung des Körpers von einer Gränze seiner Ausbiegung ab zu seiner Rückkehr dasselbst. Die Verschiedenheit des mit demselben Wort verbundenen Sinns hat zu mehreren Mißverständnissen Anlaß gegeben.

Aus Perolle's Versuchen würde hervorgehen, daß die Stärke, mit welcher sich ein Schall durch ein Mittel fortpflanzt, der Geschwindigkeit seiner Fortpflanzung proportional sey *).

Bei allen bis jetzt angeführten Versuchen bestand der fortgeleitete Schall aus einem bloßen Geräusch, z. B. aus einem Hammerschlag, oder, wie bei Herhold's und Rafn's Versuchen, aus einem einfachen musicalischen Ton, erzeugt durch Streichen eines an dem Leitungsdraht befestigten silbernen Löffels; in keinem Fall wurde aber irgend ein Mittel zur Verstärkung des durchgeleiteten Schalls angewandt. Ich glaube, daß vor den Versuchen, welche ich im J. 1820 begann, Niemand die Durchleitung modularter Töne von musicalischen Instrumenten beobachtet hat; und eben so wenig ist gezeigt worden, daß tönende Schwingungen, die durch feste Leiter von hinlänglicher Länge geleitet werden, im Stande sind, in den mit diesen Leitern verbundenen Flächen eine Schwingungsbewegung von solcher Stärke zu erregen, daß sie durch Vermittlung der Luft gut gehört werden kann. Die ersten Versuche dieser Art stellte ich im J. 1821 öffentlich an, und Berichte von ihnen finden sich in der *Literary Gazette*, in Ackerman's Repository und anderen periodischen Werken jenes Jahres. Am 30. Juni 1823 las Hr. Arago in der Academie der Wissenschaften zu Paris einen Aufsatz von mir vor, worin ich dieser und einer Menge anderer Versuche über den Durchgang des Schalls durch gerade und krumme Leiter erwähnt habe **). Gegenwärtig will ich diese Versuche mit größerer Ausführlichkeit, als es damals geschah, bekannt machen, und einige neue Thatsachen, die sich im Verfolg der Untersuchung darboten, hinzufügen.

*) *Journ. de Physique*, T. XLIX p. 382.

**) Ein Auszug davon erschien in den *Ann. de chim. et de phys.* Jul. 1823; vollständig findet sich der Aufsatz in den *Annals of Philosophy*, August 1823,

Bevor ich weiter gehe, scheint es mir nützig, einige Bemerkungen über die Verstärkung des Schalls zu machen, die durch die Verbindung des schwingenden Körpers mit andern, isochroner Schwingungen fähigen Körpern bewirkt, und gewöhnlich *Resonanz* genannt wird.

Tönende Schwingungen sind (bei Gleichheit der Ausbeugungen) desto hörbarer, je größer die schwingende Fläche ist. So kann eine Glas- oder Metallplatte ohne andere Hilfsmittel starke Töne erzeugen, während schwingende Körper von geringeren Dimensionen, z. B. eine einfache Saite, eine Stimmgabel, in einer mäßigen Entfernung vom Ohr kaum mehr hörbar sind. Allein die Töne der letzteren sind einer bedeutenden Verstärkung fähig, wenn man sie mit Flächen, z. B. einem Tische, oder dem Resonanzboden eines musicalischen Instruments in Verbindung setzt.

Mehre Umstände haben Einfluß auf die Stärke der Resonanz eines Resonanzbodens. Der hauptsächlichste besteht in der Lage der Ebene, in welcher die Schwingungen des tönenden Körpers geschehen, gegen die der resonirenden Fläche. Am meisten verstärkt wird der Schall, wenn man dieser Fläche die Schwingungen so zu-leitet, daß sie senkrecht auf ihr geschehen; am schwächsten ist er dagegen, wenn sie tangentiell, d. h. in der Fläche, eintreten. Der erstere Fall findet statt, wenn man eine erzitternde Stimmgabel senkrecht auf die Oberfläche, der zweite, wenn man sie seitwärts auf den Rand eines Resonanzbodens setzt. In intermediären Stellungen, d. h. wenn der Fläche die Schwingungen schief mitgetheilt werden, erlangt der Schall auch einen intermediären Grad von Stärke.

Wenn man diese That-sachen, welche übrigens durch die ausgedehnten Untersuchungen Savart's vollständig bewiesen sind, richtig verstanden hat, so sind die Eigenthümlichkeiten, welche die Resonanzböden der verschiedenen musicalischen Instrumente darbieten, leicht erklärlich.

Der Resonanzboden des Pianofort's hat eine bessere Einrichtung als der irgend eines anderen Saiteninstruments, weil die Saiten in solcher Richtung von den Hämmern geschlagen werden, daß ihre Schwingungen immer in senkrechten Ebenen gegen den Boden erfolgen. Der Unterschied in der Stärke, wenn eine Saite auf diese Weise, und wenn sie parallel mit dem Boden schwingt, ist sehr auffallend, und ergiebt sich leicht, wenn man sie in beiden Richtungen durch Abschnellen von den Fingern zum Tönen bringt *). Es giebt kein anderes jetzt gebräuchliches Instrument, bei dem die Saiten senkrecht gegen den Resonanzboden schwingen.

Bei der Guitarre, Laute und anderen Instrumenten sind zwar die Saiten auch dem Resonanzboden parallel; allein die Bequemlichkeit des Spielens derselben erfordert, daß die Schwingungen in schiefer Richtung gegen den Boden geschehen. Besitzt das Instrument eine unbeträchtliche Tiefe und einen flachen Rücken, so ist der Unterschied der Tonstärke zwischen senkrechten und schiefen Schwingungen sehr beträchtlich; sind dagegen die Seitenwände hoch, so ist der Unterschied sehr gering, indem die Schwingungen, welche tangentiell mit dem Resonanzboden sind, senkrecht gegen die Seitenwände liegen, und diese leicht in transversale Schwingungen versetzen. Man kann sich hievon überzeugen, wenn man das Ohr an eine Seitenwand der Guitarre legt, während eine Saite bald parallel, bald senkrecht gegen diese Wand in Schwingungen versetzt wird. Einige Instrumente, z. B. die

*) Zuweilen, wenn der Impuls eine schiefe Richtung hat gegen die, in welcher die Saiten auf den Steg drücken, nimmt die Schwingungsebene der Saiten eine rotirende Bewegung an. Dadurch entstehen periodische Veränderungen in der Stärke, welche ein ähnliches Schlagen bewirken, wie man bei zwei zugleich angeschlagenen, und nicht im Einklang stehenden Saiten wahrnimmt.

die Laute, Mandoline u. s. w., haben einen polygonalen und krummen Rücken, und bei dieser Construction geräth, bei schiefer Schwingen der Saiten gegen den Haupt-Resonanzboden, ein großer Theil der resonirenden Fläche in ganz oder fast transversale Schwingungen.

Diese Gesetze lassen sich nicht so geradezu auf die Violine und andere Instrumente der Art anwenden, und es wäre eine große Reihe von Versuchen erforderlich, wenn man die Eigenthümlichkeiten ihrer Gestalt, ihre mannigfachen Krümmungen und die Functionen jenes unregelmäßig geformten Leiters, welcher den Resonanzboden nur in zwei Punkten berührt, und Steg genannt wird, erklären wollte. Die Untersuchungen von Savart *) hierüber lassen noch viel zu wünschen übrig.

An keinem Instrumente stehen die Saiten senkrecht gegen den Resonanzboden, denn in einem solchen Fall würden die Saiten, wie man sie auch in Schwingungen versetzte (d. h. in welcher Ebene man sie *transversal* vibriren liesse, für *longitudinale* Vibrationen der Saiten würde die senkrechte Stellung gegen den Resonanzboden gerade am vortheilhaftesten seyn. P.) dem Boden tangentielle Schwingungen mittheilen. Dagegen stehen sie manchmal, z. B. bei der Harfe, schief gegen den Boden, und dann findet derselbe Wechsel der Tonstärke statt, welchen man bei den mit dem Boden parallelen Saiten bemerken kann; denn wenn die Ebene ihrer Schwingungen mit der der Neigung des Resonanzbodens zusammenfällt, so wird dieser schief gegen die ihm mitgetheilten Schwingungen stehen, und deshalb die Stärke des Tons am größten seyn; geschehen aber die Schwingungen senkrecht gegen jene Ebene, so erhält er sie in tangentieller Richtung, und folglich wird die Intensität ein Minimum.

Außer der zweckmäßigen Einrichtung des Resonanzbodens giebt es noch andere Umstände, die wesentlichen Einfluß auf den Ton der Saiteninstrumente haben; einer

*) Vergl. diese Ann. Bd. LXVIII S. 113.

Annal. d. Physik. B. 102. St. 2. J. 1832. St. 10.

der wichtigsten besteht darin, daß das in dem Resonanzkasten eingeschlossene Luftvolum die rechten Dimensionen habe. Mit den Gesetzen dieser Kasten hat sich Hr. Savart beschäftigt; allein der offenbare Nutzen der Stäbe, welche man in diesem Kasten anbringt, um die Luftmasse zu theilen und sie zum Schwingen in gesonderten Portionen geschickter zu machen, scheint ihm entgangen zu seyn.

Bei dem Pianoforte, der Guitarre u. s. w. stehen die Enden der Saiten nicht in unmittelbarer Berührung mit dem Resonanzboden, sondern ruhen vielmehr auf Holzstäben, den sogenannten Stegen, durch welche die Schwingungen dem Resonanzboden mitgetheilt werden. Bei diesen Instrumenten ist der Steg gewöhnlich einen halben Zoll hoch, beim Violoncell dagegen drei Zoll. Um zu sehen, wie sehr sich wohl bei einem Pianoforte der Abstand zwischen den Saiten und dem Resonanzboden ohne Schaden für den Ton vergrößern lasse, ersetzte ich den Steg durch einen fünf Fuß langen Glasstab, und führte über sein Ende eine durch einen Stahlstift befestigte gespannte Saite hinweg. Ich fand, daß ihr Ton eben so deutlich zu hören war, wie wenn sie sich in unmittelbarer Berührung mit dem Stege (*board*) befand; eine Stimmgabel, die auf das Ende des Stabes gesetzt wurde, gab dasselbe Resultat. Diese Versuche, welche meine ersten über diesen Gegenstand waren, und zu allen folgenden führten, wurden im Hörsaale der Royal-Institution in einem größeren Maasstabe wiederholt. Eine Reihe zusammengefügtter Tannenstäbe von 40 Fuß Länge wurde so aufgehängt, daß sie in gerader Linie von einem offenen Fenster der Kuppel fast bis auf den Boden des Locales reichte, und dann auf das obere Ende dieses Leiters, durch einen Gehülfen, der Stiel einer schwingenden Stimmgabel aufgesetzt. So lange der Resonanzboden nicht das untere Ende dieses Leiters berührte, war auch kein Ton hörbar; so wie aber beide in Berührung

gesetzt wurden, trat er sogleich deutlich hervor. Der Versuch wurde mit mehreren gleichzeitig oder einzeln aufgesetzten Stimmgabeln von hohem und von tiefem Ton wiederholt. Stimmgabeln sind zu diesen Versuchen über die Durchleitung des Tons am geeignetsten, weil ihre Schwingungen für sich fast un wahrnehmbar sind, und nur bei Verstärkung durch Resonanz gut hörbar werden.

Die Schwingungen des Resonanzbodens eines jeden Saiteninstruments lassen sich eben so wie die einer Saite oder Stimmgabel mittelst eines metallenen, gläsernen oder hölzernen Leiters einem benachbarten Resonanzboden mittheilen: allein in diesem Fall ist es nöthig eine Vorrichtung zu machen, daß die Töne des ersteren Bodens nicht durch die Luft gehört werden; denn sonst würde man die dem zweiten Boden mitgetheilten Töne nicht von jenen unterscheiden können. Dies läßt sich dadurch bewirken, daß man das ursprünglich ertönende und das resonirende Instrument in zwei anstossende oder ganz getrennte Zimmer bringt, und den Leiter durch die Scheidemauer oder das Zwischenzimmer gehen läßt. Da bei diesem Durchgang der leitende Draht die Wand nicht unmittelbar berühren darf, so kann man in das Loch der Mauer eine zinnerne Röhre stecken, diese an beiden Enden mit Leder oder Kautschuck verschließen, und durch eine kleine Oeffnung in dieser Bedeckung den Draht hindurch ziehen, so daß er die Röhre selbst nicht berührt.

Ein quadratisches Pianoforte ist das passlichste Instrument zu diesen Versuchen. Soll der Ton in die Höhe geleitet werden, so braucht man nur den Deckel zu öffnen oder abzunehmen und den Leiter auf den Resonanzboden zu setzen. Ein Metalldraht ist nicht steif genug, um ihn ohne Biegung zu tragen, daher ist ein Stab von einem geradfaserigen Holze besser zu diesem Versuche geschickt. Das untere Ende dieses Stabes muß etwas zugeschärft werden, so daß es zwischen zwei benachbarte Saiten geschoben werden kann; der beste Ort für den

Berührungspunkt liegt etwa ein Viertelzoll hinter dem Stege, zwischen den Mittelsaiten. Das resonirende Instrument in dem Zimmer darüber kann eine Guitarre oder eine Harfe seyn; im letzteren Fall kann man den Stab durch eine Oeffnung in dem Instrument mit der inneren Fläche seines Bauches in Berührung setzen. Unter dieser Gestalt wurden die Versuche in der Royal Society wiederholt.

Will man den Ton des Pianofortes herabwärts fortleiten, so reicht ein Metalldraht von etwa der Dicke einer Gänsepose zu der Verbindung hin, indem das Gewicht des daran gehängten resonirenden Instruments ihn hinreichend spannt. Um den Leitungsdraht mit der Unterfläche des Resonanzbodens eines Pianofortes in Berührung zu bringen, muß man in dem Boden des Instruments, gerade unter dem beabsichtigten Berührungspunkt ein Loch machen. Um sich der vollkommenen Berührung mit dem Resonanzboden zu versichern, ist es rathsam, den Draht dicht unter seinem Eintritt in die Oeffnung mit einer Warze zu versehen, ein durchlöchertes, über einen Ring gespanntes Stück Leder darunter zu schieben, und auf dieses das Ende einer starken Stahlfeder, deren anderes Ende an dem Boden des Instruments festgeschroben ist, von unten nach oben drücken zu lassen. Um dem Draht mehr Haltung zu geben, kann man denselben noch mit einem Vorsprung versehen, und diesen auf der oberen Bedeckung der isolirenden, durch den Fußboden des oberen Zimmers gehenden Röhre ruhen lassen; das resonirende Instrument wird dann an dem Draht aufgehängt, indem man das Ende desselben in dem Resonanzboden mit einer Schraube befestigt. Die Gestalt des resonirenden Instruments ist gleichgültig; allein um die Töne am vollsten und stärksten zu erhalten, ist es nöthig, daß dessen hauptsächlichste Schwingungsebene senkrecht auf dem Leitungsdraht stehe. Sehr belehrend ist die Beobachtung der allmäligen Veränderung in der

Stärke und dem Klange (*Quality*) der Töne, wenn man den Resonanzboden aus der senkrechten Lage gegen den Leitungsdraht nach und nach durch verschiedene Grade der Schiefe in Parallelismus mit demselben bringt, oder, wenn man, um Savart's Sprache zu reden, die mitgetheilten Schwingungen von normalen (transversalen) in tangentielle übergehen läßt. Im letzteren Fall sind die Töne gedämpft, und haben, wie man gemeiniglich sagt, Metallklang.

Bei meinen ersten, im J. 1821 gemachten Versuchen war das resonirende Instrument, eine Art von Lyra, so eingerichtet, daß tangentielle Vibrationen in ihm erregt werden mußten, und die Töne waren daher auch weit schlechter als die, welche ich seitdem hervorbrachte. Die durchgelassenen Töne werden nicht merklich geschwächt, wenn man den Draht an mehreren Stellen durchschneidet und die Stücke mechanisch wieder vereinigt. Figur 11 Taf. V, (Bd. XXIV dieser Annalen) zeigt die Stellen, wo, bei der ursprünglichen Form des Versuchs, der Draht zusammengefügt wurde, um den Apparat leichter fortschaffen und aus einander nehmen zu können; will man diesem aber einen festen Standpunkt geben, so ist es leichter und besser einen Draht aus einem Stück anzuwenden. Jener Draht bestand aus vier Stücken; das erste berührte den Resonanzboden des Pianoforte's und ging bis zum halben Abstand vom Fußboden; das zweite ging durch das isolirende Rohr in dem Fußboden und endigte unter der Decke des unteren Zimmers in einem Haken; das dritte hing in diesem Haken mittelst einer Schlinge; und das vierte ging von da bis zur Mitte des Resonanzbodens der Lyra herab, wo sein unteres Ende befestigt ward.

Hieraus erhellt, wie man zwei liegende Pianofortes oder zwei Harfen so mit einander verbinden könne, daß eins dieser Instrumente die Töne des andern wiedergiebt. Bei einer solchen Vorrichtung können zwei Personen in

zwei getrennten Sälen gemeinschaftlich ein Duett vor zwei Versammlungen vortragen, oder die eine kann auch das Spiel der andern wiederholen. Soll die Fortleitung in horizontaler Richtung geschehen, d. h. zwischen zwei Zimmern in demselben Stock, so müssen stehende Pianofortes angewandt werden.

Die Töne eines Instruments lassen sich gleichzeitig auch nach mehr als einem Orte hinleiten; so z. B. kann man ein liegendes Pianoforte nach oben und nach unten mit einem Resonanzinstrumente verbinden, und selbst die Töne durch eine Reihe mehrer resonirender Instrumente fortleiten. Befinden sich die Instrumente in Zimmern, die durch ein Zwischenzimmer getrennt sind, so wird eine Person in dem letzteren, durch welches der Leitungsdraht geht, keinen andern Ton als den auf gewöhnliche Weise fortgeleiteten hören. Auf solche Weise wird es möglich, einen horizontalen Leitungsdraht durch eine Reihe von Zimmern, mehre Häuser weit zu führen, und das Spiel auf dem mit dem Ende dieses Drahts verbundenen Instrument beliebig hörbar zu machen, indem man das resonirende Instrument an den Draht befestigt; entfernt man es aber wieder von ihm, so gehen die Schallwellen ungehört in's nächste Zimmer. Diefs gilt auch von der Fortpflanzung anderer musicalischer Töne, von denen späterhin die Rede seyn wird.

Eben so wirksam ist die Fortleitung solcher Töne, welche, wie die der Violine, des Violoncells u. s. w. ausdauernd sind. Man kann den Leitungsdraht an der Vorderfläche wie an der Hinterfläche dieser Instrumente befestigen; allein es läßt sich nicht bestimmt angeben, welcher Punkt am besten zu der Befestigung geeignet ist, wiewohl es mir im Allgemeinen geschehen hat, dafs er nicht weit vom Stimmstock liegen müsse.

Eben so vollkommen wie bei Instrumenten mit Resonanzböden ist mir auch die Fortleitung der Töne bei Blasinstrumenten von der Klasse der Zungenpfeifen ge-

lungen. In der Clarinette und dergleichen Instrumenten wirken die Luftsäule und die vibrirende Zunge in solcher Weise auf einander ein, daß der Klang (*Quality, Timbre*) des Tons keine Veränderung erleidet, er mag der Atmosphäre durch die Luftsäule oder einem festen Leiter durch die vibrirende Zunge mitgetheilt werden.

Um den Leitdraht, der von Messing und etwa ein Zehntelzoll dick seyn mag, mit der Zunge der Clarinette zu verbinden, muß der Draht etwa $\frac{1}{4}$ Zoll vom Ende umgebogen und dann dieß Stück flach gefeilt werden. Dieses breite Ende wird auf dem ruhenden Ende der Zunge festgebunden, mittelst des Seidenfadens, mit dem man sonst die Zunge für sich anzubinden pflegt, und der Draht wird dann so gebogen, daß er dem Spieler nicht hinderlich ist. Soll der Ton herabwärts fortgeleitet werden, so muß der Spieler das Mundstück der Klarinette auf die gewöhnliche Weise in den Mund nehmen, d. h. die Zunge des Instruments auf der Unterlippe ruhen lassen; soll aber der Ton in die Höhe fortgeleitet werden, so muß der Spieler, wie es einige ausgezeichnete Virtuosen auf diesem Instrumente thun, die Zunge des Mundstücks an die Oberlippe legen. Bei dem Fagot und der Hoboe ist es gleichgültig für den Spieler, ob die Zunge, an der der Leitdraht befestigt ist, oben oder unten liege.

Das resonirende Instrument kann hier, wie bei den vorhin erwähnten Versuchen, entweder eine Harfe, oder ein Pianoforte, oder eine Guitarre seyn. Es macht einen sonderbaren Eindruck, die Töne eines Blasinstruments auf diese Weise von einem Resonanzboden wiederholt zu hören.

Versuche, die ich mit anderen Blasinstrumenten anstellte, hatten keinen so günstigen Erfolg. Die Schwingungen der Luft lassen sich einem festen Leiter unmöglich anders als mit einem ungeheuren Verlust an Stärke mittheilen. Indefs kann man doch durch Vermittlung anderer Körper, die durch Lufterschütterungen leicht in

Schwingungen gerathen, bis zu einem gewissen Grade eine Fortleitung der Töne bewirken. Wenn so z. B. das Ende eines Leitdrahts in den stärkst schwingenden Theil der Luftsäule einer Flöte gebracht wird, findet eine nur schwach hörbare Fortleitung der Töne statt; läßt man aber den Draht die Seitenwand des Instruments berühren, so wird er, da diese in Schwingungen geräth, die Töne leichter fortleiten. Jedoch sind sie selbst in dem letzteren Fall kaum hörbar, wenn nicht das Ohr dicht an das resonirende Instrument gehalten wird.

Auf dieselbe Weise lassen sich die Töne eines ganzen Orchesters fortleiten, z. B. indem man den Leitdraht mit einem Ende an einen eigends construirten Resonanzboden anbringt, der so aufgestellt ist, daß er die Töne aller Instrumente durch Resonanz wiedergiebt. Die Wirkung eines solchen Versuchs ist wahrhaft ergötzlich. Zwar sind die Töne in einiger Entfernung vom resonirenden Instrumente so schwach, daß man sie kaum wahrnimmt; hält man aber das Ohr dicht an dasselbe, so hört man ein Orchester in Miniatur, worin alle Instrumente ihre eigenthümlichen Charactere, ihre Piano's und Forte's, ihre Crescendo's und Decrescendo's behalten haben. Im Vergleich mit einem wirklichen, in einiger Entfernung durch die Luft gehörten Orchester, verhält sich der Eindruck wie der Anblick einer Landschaft bei nebligem Wetter zu dem niedlichen Bilde derselben in einer concaven Linse.

Bei den vorhergehenden Versuchen waren die Leiter immer gerade; indess geht der Schall auch, wiewohl mit Verlust an Stärke, durch winkelförmig gebogene und gekrümmte Stäbe. Setzt man eine Stimmgabel auf das obere Ende eines geraden Messingstabs, dessen unteres Ende auf einem Resonanzboden ruht, so werden die Schallschwingungen, in Uebereinstimmung mit dem vorhin Gesagten, kräftig durchgeleitet. Biegt man den Stab allmählig an einer Stelle, und zwar in der Ebene, in welcher die Stimmgabel schwingt, so wird der durchgelas-

sene Ton nach und nach schwächer, und, wenn endlich der Stab unter einem rechten Winkel gebogen ist, wird er sehr schwach. Setzt man das Biegen fort, so daß der Winkel ein scharfer wird, so nimmt der Ton in derselben Weise, in der er vorhin schwächer wurde, an Stärke zu, und werden endlich die beiden Schenkel des Winkels einander parallel, so hat der Ton auch fast dieselbe Stärke wie vorhin bei geradliniger Fortpflanzung. Stellt man die Schwingungsebene der Stimmgabel senkrecht gegen die Ebene der Biegung des Stabes, so sind dieselben Veränderungen zu beobachten; allein viel deutlicher als vorhin; und wenn der Biegungswinkel ein rechter wird, ist der Ton kaum hörbar. Bei intermediären Neigungen der beiden Ebenen sind die durch das Biegen des Stabs bewirkten Abstufungen der Stärke auch intermediär.

Die Veränderungen der Tonstärke in Folge der veränderten Neigung der beiden Ebenen läßt sich auf belehrende Weise zeigen, wenn man den Stab rechtwinklig biegt, den einen seiner Schenkel auf den Resonanzboden stellt, und an den andern, in dessen Verlängerung, den Stiel der Stimmgabel ansetzt. Dreht man nun nach und nach die Stimmgabel um ihren Stiel wie um eine Axe, ohne sie gegen den Stab zu neigen, so nimmt die Schwingungsebene jeden Winkel gegen die Ebene der beiden Schenkel des Stabes an. Bei dieser Drehung wird man bemerken, daß die Tonstärke ihr Maximum erreicht, wenn die Ebenen zusammenfallen, und auf ihr Minimum gelangt, wenn die Ebenen rechtwinklig auf einander zu stehen kommen. Dieselben Erscheinungen bemerkt man, wenn man die Stimmgabel von der Seite her unter einem rechten Winkel an einen auf dem Resonanzboden stehenden Stab setzt, indem hier der Stiel der Stimmgabel als ein kurzer Leiter wirkt.

Wäre es für die Fortleitung des Schalles nöthig, daß die Wellen sich nur geradlinig fortpflanzten, so

würden sie offenbar nicht durch einen gebogenen Stab gegangen seyn, und andererseits, hätten sie die Fähigkeit sich mit gleicher Leichtigkeit nach allen Richtungen zu verbreiten, so würden wir bei den eben genannten Versuchen keine Unterschiede in der Tonstärke gefunden haben. Die obigen Versuche führen zu dem Schluss, daß der Schall sich zwar in allen Richtungen fortpflanzt, indess mit größerer Leichtigkeit und Stärke, wenn die Mittheilung in der Ebene der ursprünglichen Schwingungen erfolgt.

Bei vielen der obigen Versuche stand der Leiter senkrecht auf einer transversal schwingenden Fläche, so daß die Mittheilung der Töne durch longitudinale Schwingungen des Stabes geschah; hätte dagegen bei unveränderter Lage des Leiters die Fläche tangentiell oder schief gestanden, so würde die Mittheilung durch transversale oder schiefe Undulationen geschehen seyn.

In Praxis ist es vortheilhafter longitudinale Undulationen zur Fortleitung musicalischer Töne in einige Entfernung anzuwenden; denn erstlich ist die Fortleitung dann wirksamer, und zweitens haben die transversalen Undulationen eine große Neigung seitwärts von dem Leiter in das umgebende Mittel überzugehen, und deshalb ohne Hinzuziehung eines Resonanzinstrumentes hörbar zu werden. Diese Seitenzerstreuung ist bei dünnen Leitern zwar kaum wahrnehmbar, tritt aber sehr hervor, wenn ein Stab von beträchtlichem Durchmesser angewandt wird.

Ich hatte Gelegenheit dieses zu beobachten, als ich einige der obigen Versuche vor der Royal Institution wiederholte. Senkrecht auf den Resonanzboden eines Pianoforte's, das in einem Zimmer unter dem Hörsaale stand, war ein Leiter gestellt, und durch den Fußboden, der beide Zimmer trennte, geleitet, indess ohne sein oberes Ende mit einem Resonanzinstrument zu verbinden. Wurden bei dieser Vorrichtung dem Leiter, er mochte aus einem Messingdraht von $\frac{1}{16}$ Zoll Dicke oder einer qua-

dratischen Holzlatte von $\frac{1}{4}$ Zoll in Seite bestehen, longitudinale Schwingungen mitgetheilt, so schien die Isolation vollkommen zu seyn. Diefs war aber nicht mehr der Fall, wenn man denselben, statt ihn auf den Resonanzboden eines Pianofortes zu stellen, auf den Steg einer Violine setzte, und ihm nun, durch Streichen der Saiten mit dem Violinbogen, transversale Schwingungen mittheilte. Der Metalldraht isolirte den Ton zwar noch erträglich gut, allein bei Anwendung des Holzstabs wurde von dessen ganzer Oberfläche, so weit sie über den Fußboden hervorragte, der Ton in die umgebende Luft geleitet, und fast so stark gehört, wie wenn ein Resonanzboden an das Ende dieses Stabes gesetzt worden wäre.

Wenn der Schall sich von einem Punkte aus nach allen Seiten ausbreitet, so nimmt seine Stärke, zufolge der Theorie, wie das Quadrat der Entfernung ab; wird er aber gezwungen sich nur nach einer einzigen Richtung fortzupflanzen, so erleidet er keine Schwächung, vorausgesetzt, der leitende Körper ist vollkommen homogen, und von gleichförmigem Gefüge, eine Bedingung, die aber in Wirklichkeit nicht zu erhalten ist. In einer leitenden Substanz von vollkommen gleicher Dichte und Elasticität, worin sich also die Schwingungen mit gleichförmiger Schnelligkeit ohne Reflexionen und Interferenzen fortpflanzen würden, wäre es eben so leicht Töne von Aberdeen nach London als von einem Zimmer zum andern zu leiten. Ob man indess eine Substanz so homogen und gleichförmig machen könne, muß die Zukunft lehren.

Die Verstärkung musicalischer Töne und ihre Fortleitung nach entfernten Orten ist bei weiten nicht so wichtig als die von articulirten Lauten. Ich habe durch Versuche gefunden, dafs alle gesprochenen oder gesungenen Laute vollkommen, jedoch schwach, zu jedem der vorhin beschriebenen Resonanzinstrumente übergeführt werden können, indem man den Leiter entweder unmittel-

bar mit einem nahe am Kehlkopf liegenden Theil des Halses oder Kopfes verbindet, oder auch mit einem Resonanzboden, welchen man dem Mund des Sprechenden oder Singenden sehr genähert hat. Die fast unbesiegbare Schwierigkeit, Töne, die in der Luft erzeugt werden, mit hinreichender Stärke in feste Körper überzuführen, könnte uns an einem glücklichen Erfolg zweifeln lassen; wäre man indess einmal im Stande ähnliche articulirte Laute wie die der menschlichen Stimme in festen Körpern zu erregen, so würde man sie auch mit jedem erforderlichen Grad von Stärke fortleiten können. Gewisse neuere Untersuchungen erregen die Hoffnung, daß die Erfüllung dieser Wünsche nicht gar fern liege *), und sind einmal alle articulirten Laute einzeln erhalten, so wird die Construction einer Maschine, welche dieselben zu Sylben, Worten und Sätzen zusammenfügt, keine anderen als unsere bisherigen Kenntnisse verlangen.

*) Ohne Zweifel meint Hr. Wheatstone damit die früher in diesen Annalen (Bd. XXIV S. 397) mitgetheilten Versuche des Hrn. Willis. P.