

Tönende Stäbe, Flüssigkeits- und Gassäulen.

Von

Prof. Dr. Gustav Jäger.

Vortrag, gehalten den 14. November 1900.

Mit 2 Abbildungen im Texte.

Hochverehrte Anwesende!

Es kann wohl als allgemein bekannt vorausgesetzt werden, dass jeder Ton durch die Schwingungen eines Körpers verursacht wird, und dass die Tonhöhe durch die Zahl der Schwingungen in der Secunde bestimmt ist. Haben wir es mit einem langgestreckten Körper zu thun — nur mit solchen wollen wir uns beschäftigen — so können wir an einem solchen im allgemeinen dreierlei Schwingungen unterscheiden. Schwingen die einzelnen Theilchen des Körpers parallel zu dessen Längsrichtung, so nennen wir diese Schwingungen Längs- oder Longitudinalschwingungen. Schwingen die einzelnen Theile in einer Richtung senkrecht darauf, so haben wir es mit Quer- oder Transversalschwingungen zu thun. Die dritte Art von Schwingungen, die sogenannten drehenden oder Torsionsschwingungen sind vorhanden, wenn die einzelnen Theile des Körpers um dessen Achse eine drehende Bewegung beschreiben. Man kann sich leicht diese drei Arten von Schwingungen vorführen, wenn man ein Gewicht an einer elastischen Kautschukschnur aufhängt. Bringt man das Gewicht aus der Ruhelage, indem man ihm einen Zug senkrecht nach abwärts gibt und es dann loslässt, so

macht es auf- und abgehende Schwingungen in der Richtung des Kautschukfadens selbst, also Längsschwingungen. Bringen wir es hingegen durch einen seitlichen Stoß aus seiner Ruhelage, so macht es die gewohnten Querschwingungen eines Pendels. Geben wir schließlich dem Gewichte eine drehende Bewegung, so macht es drehende Schwingungen um eine Achse, die durch den Kautschukfaden selbst dargestellt wird. Alle drei Arten von Schwingungen kann der Körper auch gleichzeitig vollführen.

Schwingt ein Körper, so ist nicht die Regel, dass alle seine Theile sich in Bewegung befinden, sondern es sind gewisse Punkte dabei in Ruhe. Diese nennt man die Knotenpunkte. Bei unserem Pendel ist demnach der Aufhängepunkt ein Knotenpunkt. Sind längs des schwingenden Körpers mehrere Knotenpunkte vorhanden, so befinden sich die übrigen Theile in umso lebhafterer Bewegung, je weiter sie von den Knotenpunkten entfernt sind. Die Stellen stärkster Schwingung nennt man Schwingungsbäuche. Schwingungsknoten und Schwingungsbäuche lassen sich mit Leichtigkeit an den Querschwingungen eines Kautschukschlauches zeigen, dessen eines Ende man befestigt, während man das andere Ende mit der Hand derartig bewegt, dass Querschwingungen entstehen. Schwingt der ganze Schlauch als ein Stück, so haben wir Knotenpunkte nur an den beiden Enden. Wir können aber dem Schlauch auch leicht derartige Schwingungen ertheilen, dass in dessen Mitte ein Knotenpunkt entsteht, oder dass zwei, drei und mehr Knoten-

punkte zwischen den Enden auftreten. Die Schwingungen des Schlauches nehmen dann Formen an, wie sie aus bestehender Fig. 1 zu ersehen sind.

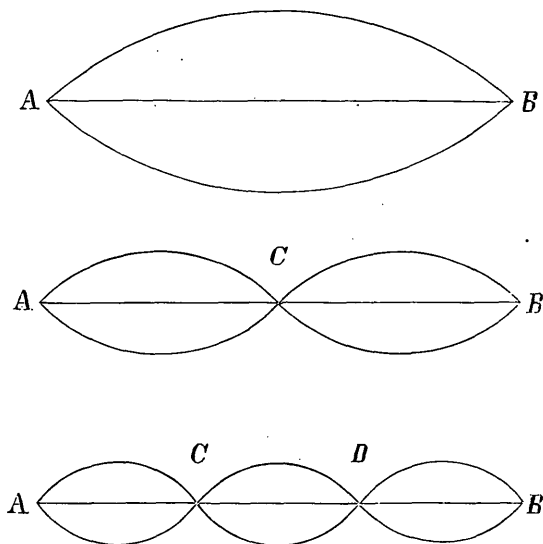


Fig. 1.

Halten wir einen Holzstab in seiner Mitte und reiben wir ihn mit einem Tuchlappen, der mit Kolophonium eingerieben ist, vom Ende gegen die Mitte, so gibt er einen Ton. Er muss also Schwingungen machen. Denselben Versuch können wir mit einem Metallstabe, oder besser noch mit einem Metallrohre ausführen, oder mit einem Glasstabe, den wir mit einem nassen Tuchstück anreiben.

Der entstehende Ton sagt uns, dass die Stäbe auf diese Art in Schwingungen gerathen. Wir können ferner leicht uns überzeugen, dass die Mitte des Stabes dabei in Ruhe bleiben, also einen Knoten bilden muss, indem ja der Stab seinen Ton rein gibt, wie immer man ihn in der Mitte auch befestigt. Die Enden befinden sich jedoch in starker Schwingung, was man besonders leicht an einem Glasrohre nachweisen kann, dessen eines Ende zugeschmolzen ist. Geben wir in die Röhre eine kleine Metallkugel, die sich also am verschlossenen Ende befindet, so macht diese Kugel beim Anreiben des Rohres heftige Bewegungen. Dass die Mitte des Rohres sich nicht zu bewegen braucht, sehen wir ohne weiteres ein, wenn wir uns vorstellen, dass die Schwingungen der einzelnen Stabtheile symmetrisch zur Mitte erfolgen, dass also gleichzeitig die beiden Enden von der Mitte weg oder gegen die Mitte hin schwingen. Die Schwingungen werden durch die Elasticität des Stabes hervorgebracht. Eine je größere elastische Kraft bei der Dehnung des Stabes auftritt, desto rascher werden die Schwingungen erfolgen können. Die Schwingungszahl wird ebenfalls umsomehr erhöht werden, je kleiner die in Bewegung zu setzende Masse ist, das heißt der Ton wird umso höher sein, je kürzer der Stab. Die Abhängigkeit der Tonhöhe von der Länge des Stabes ist eine sehr einfache: es wächst nämlich die Schwingungszahl im selben Maße, als die Länge abnimmt: Die Zeit, welche während einer Schwingung verfließt, nennen wir die Schwingungsdauer. Wir können somit auch sagen,

dass die Schwingungsdauer und die Stablänge stets im selben Verhältnis stehen. Es zeigt sich nun in der Musik, dass die Schwingungszahlen eines bestimmten Tones und dessen höherer Octave sich immer wie 1 : 2 verhalten. Es müssen demnach die Töne zweier Stäbe, deren Längen sich wie 1 : 2 verhalten, im Verhältnis der Octave stehen. In der That, wenn wir einen Stab mitten zerschneiden, so geben die neuen Stäbe Töne, welche die Octave zum Ton des alten Stabes sind. Auch für die übrigen musikalischen Intervalle lässt sich leicht zeigen, dass immer die Stablängen mit den Schwingungsdauern der Töne in gleichem Verhältnisse stehen. Dabei ist natürlich immer vorausgesetzt, dass die Stäbe von demselben Material sind. Welchen Querschnitt sie haben, ist in der Regel vollkommen gleichgiltig, wenn dieser nur klein gegenüber der Länge ist. Freilich würde der Querschnitt einen Einfluss auf den Ton haben, falls er sehr groß würde, indem nämlich bei der Dehnung eines Stabes sein Querschnitt etwas kleiner wird. Wir nennen diese Erscheinung die *Querc contraction*, welche bei jeder Dehnung auftritt, und die man z. B. besonders gut beobachten kann, wenn man ein breites Kautschukband in seiner Längsrichtung dehnt. Ist demnach der Querschnitt klein, so ist auch die *Querc contraction* entsprechend klein, sodass die neben den Längsschwingungen auftretenden Querschwingungen der Theilchen ganz außer Betracht fallen. Wächst jedoch der Querschnitt derart, dass er gegenüber der Länge des Stabes nicht mehr vernachlässigt werden kann, dann bewirken die

Querschwingungen eine Vertiefung des Tones, sodass also eine dicke Säule bei gleicher Länge mit einem dünnen Stabe nicht mehr denselben Ton geben würde.

Wir haben schon gesehen, dass hauptsächlich die Elasticität und das Gewicht oder die Masse der Stäbe die Tonhöhe bestimmen. Daraus folgt, dass ganz gleichgeformte Stäbe dennoch verschiedene Töne geben müssen, wenn sie aus verschiedenem Material bestehen. Wir bemerken dies auch ohne weiteres, wenn wir etwa zwei gleich lange Stäbe, deren einer aus hartem und der andere aus weichem Holz besteht, zum Tönen bringen, oder wenn wir Metall-, Holz- und Glasstäbe mit einander vergleichen.

Bisher nahmen wir immer an, dass ein tönender Stab in der Mitte einen Knoten besitze, während seine Enden in Schwingungen versetzt sind. Es kann der Stab aber auch zwei und mehrere Knoten besitzen. Denken wir uns z. B. einen Stab in der Mitte zerschnitten, so wird jede dieser Hälften für sich wieder tönen können, indem jede in der Mitte einen Knoten hat und die Enden frei schwingen. Denken wir uns nun die Stäbe wieder aneinander gesetzt, so ist die Möglichkeit vorhanden, dass sie auch jetzt noch in ihrer früheren Art schwingen, sobald sich nur die zusammenstoßenden Enden bei ihren Schwingungen nicht stören. Dies ist thatsächlich möglich, wenn die Enden der einen Stabhälfte immer gegen ihren Knoten schwingen, sobald die Enden der anderen Stabhälfte vom Knoten wegschwingen. In diesem Falle ist es also ganz gleichgiltig, ob die beiden Stäbe getrennt für sich schwin-

gen oder zusammen einen einzigen Stab bilden. Es wird also auch ein Stab derart schwingen können, dass er im ersten und dritten Viertel einen Knoten besitzt; nur ist dann sein Ton um eine Octave höher als jener, bei welchem ein Knoten in der Mitte auftritt. Es lassen sich diese Überlegungen fortsetzen auf drei, vier, fünf Knoten u. s. w. Es verhalten sich dann die Schwingungszahlen wie die Zahl der Knoten, das heißt es werden immer höhere Töne auftreten, welche man die Obertöne nennt, während der tiefste Ton der Grundton heißt. Wir können auch sagen, es sind die Obertöne eines Stabes zum Grundton harmonisch, da sie mit diesem keine Dissonanzen bilden. Praktisch können wir den ersten Oberton bei einem Holzstabe leicht erhalten, wenn wir ihn im ersten Viertel seiner Länge mit der Hand ergreifen und ihn mit der anderen Hand in der Mitte anreiben. Auch bei einem Glasrohre lässt sich dies leicht bewerkstelligen. Auch noch höhere Obertöne lassen sich thatsächlich hervorbringen, falls man nur immer den Stab dort festhält, wo er einen Knoten haben soll, und dort anreibt, wo der Schwingungsbauch auftreten soll.

Ein an beiden Enden freier Stab gibt, wie wir gesehen haben, seinen tiefsten Ton, wenn er in der Mitte einen Knoten besitzt. Wir können sonach die Mitte des Stabes fest einklemmen, ohne dadurch den Ton zu stören, können aber dann auch die eine Hälfte des Stabes weglassen und nur für sich fortönen lassen; es kann ja der Ton des Stabes dadurch nicht gestört werden, weil jetzt

das Ende, welches früher die Mitte bildete, fest ist und sonach an derselben Stelle wie früher einen Knotenpunkt bildet. Wir haben jetzt einen Stab mit einem festen Ende, während wir bisher nur Stäbe mit freien Enden betrachteten. Dieser Stab gibt demnach bei halber Länge denselben Ton wie ein Stab mit freien Enden. Diese Betrachtung können wir auch auf die Obertöne übertragen, indem wir ja immer, so oft ein Stab mit freien Enden in der Mitte einen Knoten hat, ihn dort fixieren und dann jede Hälfte als Stab mit festem Ende betrachten können. Diese Übertragung ist nur möglich, wenn der an zwei Enden freie Stab mit drei, fünf, sieben Knoten u. s. w. schwingt. Es fallen somit bei den Stäben mit einem festen Ende eine Reihe von Obertönen heraus. Die übrigbleibenden sind jedoch harmonisch zum Grundtone. Wir können uns dies thatsächlich leicht vor Augen führen, wenn wir einen Bleiklotz mit einer Bohrung versehen, in welche das Ende eines Holzstabes fest eingepresst werden kann. Es ergibt sich dann leicht, dass der Stab die tiefere Octave des Tones gibt, den wir bei zwei freien Enden erhalten. Auch lassen sich in ähnlicher Weise wie bei einem Stabe mit freien Enden die Obertöne erzeugen.

Schwingt ein an beiden Enden freier Stab mit zwei Knoten, so befinden sich diese im ersten und dritten Viertel der Stablänge. Die Länge zwischen den zwei Knoten ist also gleich der halben Länge des Stabes. Klemme ich den Stab an den beiden Knoten fest, so kann ich mir das erste und letzte Viertel des Stabes auch ab-

geschnitten denken, während das zwischen den beiden fixen Stellen befindliche Stück ungestört weiter schwingen kann. Dieses Stück gibt demnach die höhere Octave zum Grundton des ursprünglichen Stabes bei zwei freien Enden, hat aber nur die halbe Länge des früheren Stabes. Die halbe Stablänge gibt aber ebenfalls die höhere Octave, wenn sie als Stab mit freien Enden schwingt, der in der Mitte einen Knoten hat. Es ist also für die Tonhöhe gleichgiltig, ob ein Stab mit zwei freien oder zwei festen Enden schwingt. Wir erhalten einen Stab mit zwei festen Enden, wenn wir diesen nach der oben angegebenen Art mit Bleiklötzen versehen. Es zeichnet sich ein derartiger Stab dadurch aus, dass bei ihm besonders leicht sowohl der Grundton als Obertöne hervorzurufen sind.

Wenn wir also von einem Stabe mit einem festen Ende zu einem mit zwei festen Enden übergehen, so macht der Ton einen Sprung um eine Octave nach oben. Machen wir das eine Ende jedoch nur theilweise fest, indem wir es etwa an einen Bleiklotz anpressen, der von einem Tuche oder von einer Kautschukplatte bedeckt ist — es eignen sich besonders dazu dünnwandige Glasröhren, deren Enden zugeschmolzen sind — so wird der dadurch entstehende Ton zwar nicht die höhere Octave werden, aber eine wenn auch geringere Erhöhung erfahren. Es ist dies wohl nicht besonders auffallend. Befremdlicher hingegen erscheint es, wenn wir das eine Ende eines Stabes, der ursprünglich zwei freie Enden hatte, in ein elastisches verwandeln. Auch in diesem Falle tritt eine

Erhöhung des Tones ein. Und zwar geschieht dies in den beiden erwähnten Fällen nicht nur mit dem Grundtone sondern auch mit den Obertönen.

Gehen wir von einem festen Ende zu einem elastischen über, so tritt die ebenfalls auffallende Erscheinung ein, dass der Ton vertieft wird. Es lässt sich dies sehr leicht zeigen, wenn man einen Holzstab mit einem Ende an einen Bleiklotz festpresst und so ein fixes Ende erzeugt, das zweitemal hingegen zwischen Bleiklotz und Holzstab einen Tuchlappen bringt. Es lassen sich alle diese Erscheinungen mathematisch strenge wiedergeben, doch ist hier nicht der Ort für derartige Auseinandersetzungen.

Kittet man zwei Stäbe verschiedenen Materials zusammen, so gibt auch dieses System Töne, doch sind im allgemeinen die Obertöne nicht mehr harmonisch zum Grundtone. Von einem derartigen aus zwei verschiedenen Stücken bestehenden Stabe können wir unmittelbar übergehen zu den schwingenden Flüssigkeitssäulen. Haben wir nämlich ein einseitig zugeschmolzenes Glasrohr, das theilweise mit Wasser gefüllt ist, so lässt sich auch diese Anordnung zum Tönen bringen, indem man das Glasrohr in der gewöhnlichen Weise anreibt. Man bemerkt dabei jedoch, dass die Töne andere sind, als die, welche das leere Rohr angibt. Daraus ersehen wir, dass die Wassersäule mitschwingen muss und in ähnlicher Weise die Töne ändert, wie es ein angekitteter Stab aus anderem Material thut. Auch hier finden wir, dass die Obertöne nicht harmonisch zum Grundtone

sind. Ein Mitschwingen der Wassersäule tritt jedoch nur dann ein, wenn der Boden des Glasrohres ein freies Ende bildet. Wird aber dieses Ende des Glasrohres etwa in einen Bleiklotz festgekittet, so hat das Eingießen von Wasser auf die Töne des Rohres gar keinen Einfluss; sie bleiben dieselben wie beim leeren Rohre. Daraus geht hervor, dass das Wasser nur dann ins Mitschwingen gerathen kann, wenn es durch die Schwingungen des Bodens, das heißt des Endpunktes der Wassersäule zum Mitschwingen angeregt wird, während das Haften an den Seitenwänden des Glasrohres nicht genügt, die Flüssigkeitssäule zum Mitschwingen anzuregen.

Die experimentellen Schwierigkeiten, welche bei der Erzeugung der Töne von Flüssigkeitssäulen vorhanden sind, fallen vollständig weg bei den Luftsäulen. Eine Luftsäule ist ohne weiteres gegeben durch die Luft, welche sich in einem festen Rohre befindet. Da die festen Körper eine sehr stark überwiegende Dichte gegenüber der Luft haben, so sind Schwingungen von Luftsäulen nicht imstande, die Röhren merklich zum Mitschwingen zu bringen, während dies Flüssigkeiten vermöge ihrer größeren Dichte sehr leicht bewerkstelligen können. Während wir es also bei Flüssigkeitssäulen immer mit verhältnismäßig verwickelten Systemen schwingender Körper zu thun haben, können wir bei Luftsäulen die Verhältnisse ebenso einfach darstellen wie bei tönenden Stäben. Es lassen sich demnach auch alle Überlegungen, die wir bei den Stäben gemacht haben, ohne weiteres auf tönende Luftsäulen übertragen. Eine

fast tagtäglich beobachtbare Anregung einer Luftsäule zum Tönen finden wir schon beim Anfüllen eines Gefäßes mit Wasser. Durch den einströmenden Wasserstrahl kommt die Luftsäule ins Schwingen und gibt einen umso höheren Ton, je kürzer sie wird. Dass dem wirklich so ist, erkennt man leicht daran, wenn man die Luftsäule eines Gefäßes durch eine Stimmgabel zum Mitschwingen bringt. Es ist das nur dann möglich, wenn die Schwingungen der Luftsäule mit jener der Stimmgabel gleich rasch erfolgen, das heißt wenn die Luftsäule den Ton der Stimmgabel besitzt. Lässt man daher ein Gefäß langsam von einem Wasserstrahle anfüllen und unterbricht das Weiterfüllen in dem Moment, wo die Tonhöhe der Luftsäule mit jener der Stimmgabel übereinstimmt, und bringt dann die schwingende Stimmgabel an die Öffnung des Gefäßes, so ergibt sich ein Mitschwingen der noch vorhandenen Luftsäule, die wir als deutliche Verstärkung des Stimmgabeltones wahrnehmen.

Die gewöhnlichste Art, Luftsäulen zum Tönen zu bringen, finden wir in den Pfeifen und den verschiedensten Blasinstrumenten. Wir können Pfeifen ebenso einteilen wie Stäbe. Einem an zwei Enden freien Stabe entspricht eine sogenannte offene Pfeife, indem die Luft beim Mundloch und am offenen Ende frei schwingen kann, während eine gedeckte Pfeife einem an einem Ende festen Stabe entspricht. Es zeigt demnach die offene Pfeife einen Grundton nebst harmonischen Obertönen, der um eine Octave höher ist als der Grundton einer ebenso langen gedeckten Pfeife. Desgleichen stehen die

Schwingungsdauern in demselben Verhältnis wie die Pfeifenlängen, und sie sind unabhängig vom Querschnitt der Pfeife, vorausgesetzt, dass dieser gegenüber der Länge sehr klein ist. Bei Pfeifen von großem Querschnitt trifft dieses einfache Verhältnis ebenso nicht mehr zu wie bei Stäben von großer Dicke. Es zeigt sich mit der Vergrößerung des Querschnittes eine Vertiefung des Tones. Wie die Tonhöhe eines Stabes mit dem Material sich ändert, so ändert sich auch die Tonhöhe einer Pfeife mit dem Gase, durch welches sie angeblasen wird. Befestigen wir z. B. das eine Ende eines langen Kautschukschlauches an der Gasleitung, während in das andere Ende das Mundstück einer Pfeife gesteckt wird, so hören wir beim Öffnen des Gashahnes einen Ton von bestimmter Höhe, der jedoch nach kurzer Zeit in einen höheren Ton übergeht. Es rührt dies davon her, dass die Pfeife zuerst von der im Schlauche befindlichen Luft angeblasen wurde, sodann von dem nachfolgenden dünneren Leuchtgas. Zünden wir ausserdem das auströmende Leuchtgas an, so wird durch die Erhitzung das Gas noch mehr verdünnt, der Ton infolge dessen noch mehr erhöht. Es lässt sich dies leicht an einer Metallpfeife bewerkstelligen.

Alle diese Verhältnisse an den Pfeifen sind, wie gesagt, nur deshalb so einfacher Natur, weil in der Regel das Material der Pfeife genügend fest und diese selbst genügend dickwandig ist, dass sie von der schwingenden Luftsäule nicht ins Mitschwingen versetzt werden kann. Stellen wir jedoch eine Pfeife etwa aus Papier her, und

geben wir ihr die Größenverhältnisse einer anderen Pfeife aus Holz oder Metall, so finden wir, dass sie einen tieferen Ton gibt als diese. Es bietet nämlich die Papierwand den Schwingungen der Luftsäule nur einen geringen Widerstand dar, kommt daher ins Mitschwingen, sodass unter sonst gleichen Verhältnissen jetzt eine größere Masse in Bewegung gesetzt werden muss als bei der Holz- oder Metallpfeife, die Schwingungen daher langsamer erfolgen müssen.

Anstatt durch Anblasen einer Pfeife lassen sich auch durch Flammen Luftsäulen in einem Rohre zum Tönen bringen. So wird z. B. ein sehr lauter Ton erzeugt, wenn man ein Glasrohr über die Flamme eines Bunsenbrenners stülpt. Es tritt dies häufig ein beim Abdrehen einer Auerlampe, indem dann die zurücktretende Flamme den im Glascylinder aufsteigenden Luftstrom zum Tönen bringt. Ein schöner Versuch ist auch der, dass man im Innern eines weiten Glasrohres nahe am einen Ende ein Drahtnetz anbringt, welches man durch eine Flamme erhitzt. Hebt man dann das Rohr von der Flamme ab und hält es senkrecht, so bewirkt das heiße Drahtnetz ein Aufsteigen des Luftstromes im Rohre und erzeugt dadurch häufig einen sehr reinen lauten Ton. Halten wir das Rohr horizontal, so hört der Ton auf; stellen wir es vertical, so beginnt er von neuem, was sich solange fortsetzen lässt, bis das Drahtnetz abgekühlt ist.

Die Töne von Stäben und Luftsäulen lassen sich auf leichte Weise erhöhen, indem man immer kürzere Stäbe oder Pfeifen wählt. Es eignen sich dazu besonders Stäbe,

welche an zwei Enden fix gemacht sind, die man mit wachsender Tonhöhe entsprechend dünner wählt. Auch hier lassen sich die fixen Enden am leichtesten erzeugen, wenn man die Stabenden in die Bohrungen kleiner Bleiklötze steckt. Auf diese Weise kann man mit der Tonhöhe bis zur Hörgrenze fortschreiten, indem ja bekanntlich von einer gewissen Höhe ab, die allerdings für verschiedene Menschen verschieden ist, die Töne nicht mehr wahrnehmbar sind. Bei den gewöhnlichen Instrumenten lässt sich der schwingende Körper nicht genügend klein herstellen, um diese höchsten Töne erzeugen zu können. Wohl geht es aber sehr gut bei Stäben, welche an zwei Enden fix sind, da man bei Längen von 100 bis 150 mm je nach Wahl des Materials die Grenze der Hörbarkeit schon erreicht hat. Ausserdem bieten diese Stäbe den Vortheil, dass man die Tonhöhe durch Rechnung leicht bestimmen kann, indem ja diese in demselben Maße wächst, wie die Länge abnimmt. Auch die Pfeifen eignen sich zu diesem Zwecke, und es wird in neuester Zeit ein derartiges Instrument, die sogenannte Galton-Pfeife für den Gebrauch der Ohrenärzte hergestellt. Diese Pfeife besteht im wesentlichen aus einem einseitig mit einem verschiebbaren Stempel *A* verschlossenen Cylinder *C*, so dass man die Länge der schwingenden Luftsäule beliebig verändern kann, während das Anblasen durch einen feinen

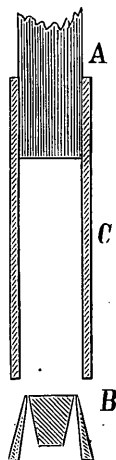


Fig. 2.

kreisförmigen Schnitt *B* (s. Fig. 2) geschieht, der dem Querschnitt der Luftsäule entspricht. Es ist dieses Instrument von praktischer Bedeutung, weil es sich gezeigt hat, dass bei beginnenden Geisteskrankheiten, welche auf Gehörleiden zurückzuführen sind, die Grenze der Hörbarkeit höchster Töne mit einer bestimmten Tonhöhe abbricht, dass jedoch bei weiterer Erhöhung des Tones wieder Hörbarkeit auftritt.

Wir sehen somit, wie man von einem scheinbar weit abseits liegenden wissenschaftlichen Gebiete plötzlich mitten ins praktische Leben hineinversetzt wird, und dies ist es ja stets, was den wissenschaftlichen Forscher mit Befriedigung erfüllt und andererseits die Verantwortung denen gegenüber bildet, welche die wissenschaftliche Forschung unterstützen.

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: 1901

Band/Volume: [41](#)

Autor(en)/Author(s): Jäger Gustav

Artikel/Article: [Tönende Stäbe, Flüssigkeits- und Gassäulen. 53-70](#)