X. *Zur Theorie der Orgelpfeifen;* *von H. Schneebeli.*

Die Pfeifen, die man in der Musik anwendet, bestehen im Allgemeinen aus einer cylindrischen oder prismatischen Röhre, die Luft enthält, welche durch einen Luftstrom, der durch das Mundstück geblasen wird, in Schwingungen geräth.

Je nach der Form, welche man dem Mundstück giebt, unterscheidet man *Flötenpfeifen* (Lippenmundstück), *Zungenpfeifen* (Zungenmundstück).

In den Zungenpfeifen wird die Luftsäule durch eine elastische Feder in Bewegung gesetzt, welche durch den Luftstrom aus ihrer Gleichgewichtslage abgelenkt, durch ihre eigene Elasticität wieder in dieselbe zurückgeführt und dadurch zu Oscillationen angeregt wird.

In den Flötenpfeifen besteht das Mundstück aus einer einfachen Kante, an welcher sich ein Luftstrom, der aus einer engen Spalte kommt, bricht und auf diese Weise Schwingungen der Luftsäule veranlaßt.

Ich lasse hier die Erklärungen folgen, die man gewöhnlich von diesen Anregungsarten der Luftsäulen giebt. In den Zungenpfeifen tritt der Luftstrom aus dem Windkasten zwischen Zunge und Rinne in das Rohr, indem er die Zunge hebt, welche aber bald wieder durch ihre eigene Elasticität in ihre Gleichgewichtslage zurückgeführt wird und dadurch den Luftstrom für einen Augenblick unterbricht.

Aber jedesmal, wenn die Luft in die Röhre tritt, hat man eine Compression der in derselben enthaltenen Luftsäule. Nach jeder Schwingung der Zunge haben wir eine neue Compression, welche der vorhergehenden mit der Geschwindigkeit des Tones folgt. Stimmen nun die Längen der so erhaltenen Wellen mit den Wellenlängen der Töne überein, deren die Luftsäule fähig ist, so wird die

Luftsäule in tönende Bewegung gerathen. Es ist daher nothwendig, daß, damit die Luftsäule in regelmäßige Schwingungen gerathe, die Schwingungen der Zunge mit denjenigen übereinstimmen, zu welchen die Luftsäule fähig ist.

Es gilt diese Theorie nicht bloß für die eigentlichen Zungenpfeifen, sondern auch für die trompetenartigen Blasinstrumente, in welchen die Lippen des Blasenden die Rolle der Zunge spielen. Indessen zeigt die Theorie für diese letzteren, wie Helmholtz gezeigt hat, doch bedeutende Unterschiede.¹⁾

In dieser zweiten Art der Zungenpfeifen bringt die verschiedene Spannung der Lippen des Blasenden die Coincidenz der Schwingungsdauern zwischen Zunge und Luftsäule zu Stande.

Was nun die Flötenpfeifen anbelangt, so nimmt man im Allgemeinen als plausible Vorstellung folgendes an: Der Luftstrom, der aus der engen Spalte austritt, trifft auf eine Kante, an welcher sich derselbe bricht und dadurch ein zischendes Geräusch erregt, das man als eine Menge unharmonischer Töne auffassen kann. Die Luftsäule verstärkt nun diejenigen Töne des Geräusches, die seinen eigenen Schwingungen entsprechen.

Eine andere verbreitete Hypothese ist folgende:

Der Luftstrom, der aus der Spalte tritt, bricht sich an der Kante und dringt theilweise in das Rohr und erzeugt dadurch in demselben eine Compression, welche ihre Reaction auch auf den Luftstrom ausübt und dadurch denselben abbiegt. Diese Erscheinung wiederholt sich periodisch in der Weise, daß die Periode durch die Schwingungszeiten der Töne der Säule bedingt ist.

Keine der beiden Theorien aber, die ich hier für die Flötenpfeifen angegeben habe, erklärt die Experimente, die ich in Folgendem beschreiben werde.

Die Aufgabe, die ich mir zuerst gestellt hatte, war:

1) Helmholtz: Zur Theorie der Zungenpfeifen. Pogg. Ann. Bd. 114, S. 321.

Die Bewegung der Luft in der Nähe des Mundstückes zu untersuchen.

Ich hatte mir zu dem Zwecke eine Pfeife anfertigen lassen, bei der sowohl die Spalte, als auch die Lippe verschiebbar waren.

Das Mundstück ist in Messing sehr solid und gut gearbeitet, während das Rohr, welches annähernd einen quadratischen Querschnitt hat, aus Eichenholz angefertigt ist, und eine Seite desselben aus einer Glasscheibe besteht.

Ich habe zuerst versucht, die Luftbewegung im Innern der Röhre nach der Kundt'schen Methode sichtbar zu machen, indem ich Korkfeile in dieselbe streute. Im Allgemeinen entstanden die Staubfiguren wie sie Kundt in diesen Annalen beschrieben hat. Indessen bilden sich die Figuren nicht sehr ausgeprägt in der Nähe der Spalte, wo unregelmäßige Wirbel entstehen, die man ziemlich gut verfolgen kann, wenn man anstatt eines bloßen Luftstroms einen mit Rauch imprägnirten Luftstrom in die Pfeife gelangen läßt. Aber auch dieses Mittel ist nicht genügend, um klaren Aufschluß über die Luftbewegung in der Nähe der Spalte zu erhalten. Ich habe mich daher vorläufig begnügt den Luftstrom näher zu untersuchen, der aus der Spalte austretend, die Schwingungen der Luftsäule bewirkt.

In den ersten Experimenten untersuchte ich hauptsächlich den Einfluß der verschiedenen Lage der Spalte in Beziehung auf die Lippe.

Ich stellte z. B. die Spalte so, daß der ganze Luftstrom außerhalb der Röhre ging, was ich leicht dadurch verificiren konnte, indem ich denselben mit Rauch imprägnirte. In dieser Stellung wurde die Röhre nicht in Schwingungen versetzt. Ich ließ alsdann auf diesen Luftstrom, ungefähr vertical von aussen, einen zweiten mäßig starken Luftstrom stoßen und sofort gerieth die Luftsäule in Vibration. Der Ton dauerte fort, selbst als man den zweiten Strom unterbrach, hörte aber sofort auf, sobald man von der andern Seite einen Druck auf den Luftstrom

austübte, indem man durch das offene Ende der Röhre blies, und fing sofort wieder an, sobald man von außen auf den Luftstrom blies. Ich will noch beifügen, daß hiebei selbst in dem Fall, wo die Pfeife ziemlich lange in Vibration war, nur äußerst selten eine Spur Rauch im Innern der Röhre zu entdecken war.

Es lag natürlich nahe das entsprechende Experiment zu wiederholen, indem man den Spalt ins Innere der Pfeife verlegte, und dadurch den gesammten Luftstrom unterhalb der Kante ins Innere der Pfeife treten ließ. Man konnte auf diese Weise keinen Ton erzeugen, doch hatte man sofort einen c-Ton, sobald man auf den Luftstrom einen Druck von Innen nach Außen ausübte, indem man durch das offene Ende des Rohres ein wenig hineinblies. Durch ein ganz analoges Procedere, wie schon im ersten Experiment angewendet, konnte man den Ton aufhören und wieder entstehen lassen, indem man einfach von oben gegen den Luftstrom blies und nachher wieder durch das offene Ende der Röhre ins Innere.

Nach diesen Resultaten scheint es mir nicht zu gewagt zu seyn, wenn ich folgende Erklärung der Lippenmundstücke aufstelle:

Der Luftstrom, der aus der Spalte austritt, bildet eine Art Luftlamelle und diese spielt in der Erregung der Schwingungen der Luftmasse eine den Zungen der Zungenpfeifen analoge Rolle.

Es wird diese Ansicht um so wahrscheinlicher durch die hydrodynamischen Untersuchungen von Helmholtz. ¹⁾ Helmholtz hat bewiesen, daß für Ströme im Innern, der Gase sowohl als auch der incompressiblen Flüssigkeiten stets eine gewisse Geschwindigkeit erreicht werden kann, bei welcher ein Zerreißen der Flüssigkeit statt hat. Es entstehen alsdann im Innern der Gase, denn bloß diese haben hier für uns Interesse, Discontinuitäten, die sehr merkwürdige Eigenschaften besitzen. Die bewegten Theile der Gase sind von den ruhenden durch sogenannte *Wirbel-*

1) Helmholtz: Berichte der Berliner Akademie 1868, 23. April. Crelle 60.

flächen getrennt. Die Luftströme sind von diesen Wirbelflächen umschlossen und selbst in unmittelbarer Nähe außerhalb derselben ist die Luft vollständig in Ruhe. Diese Luftkörper sind, wie man beweisen kann, im Stande unabhängige selbstständige Vibrationen zu machen.

Wenden wir nun diese Ueberlegungen auf unsern Fall an.

Die Luft tritt aus der Spalte mit einer Geschwindigkeit, die genügt, um Wirbelflächen und damit einen Luftkörper, wie wir ihn oben beschrieben haben, zu bilden.

Ist die Spalte in der normalen Lage, so stößt diese Luftlamelle gegen die Kante, ein Theil des Stromes dringt ins Innere und bewirkt eine Compression analog wie bei den Zungenpfeifen; die Reaction dieser Compression übt aber auch ihre Wirkung auf die Luftlamelle aus und biegt sie auswärts; sobald aber der Druck aufhört, wird die Lamelle zurückkehren und dasselbe Phänomen von Neuem beginnen.

Befindet sich die Spalte außerhalb der Pfeife, so daß die Lamelle erst durch einen Druck von Außen gegen die Kante und damit ein Theil des Stromes ins Innere der Röhre getrieben wird, so läßt sich das Forttönen der Pfeife, selbst wenn der äußere Druck aufhört, nach unserer Vorstellung leicht erklären. Die Dilatationen, welche den Compressionen folgen, nöthigen den Strom jedesmal denselben zu folgen, sich also gegen die Kante biegen und damit eine Compression zu erzeugen, ganz wie wir es für die normale Lage beschrieben haben. Nach unserer Vorstellung hätte also das Lippenmundstück sehr große Aehnlichkeit mit dem Zungenmundstück. Die schwingende Bewegung der Luft zwischen Spalte und Kante kann man auf sehr demonstrative Weise sichtbar machen, indem man, sey es auf die Kante, sey es auf einen Rand der Spalte, ein Blättchen Seidenpapier aufklebt. Stützt man eine Spitze gegen das schwingende Blättchen, so überzeugt man sich, daß der entstehende Ton mit demjenigen der Röhre übereinstimmt, wie mir verschiedene Personen constatirt haben.