

The Virtual Laboratory

Max-Planck-Institute for the History of Science, Berlin
ISSN 1866-4784 - http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/

Helmholtz, Hermann. 1865. Über den Einfluss der Reibung in der Luft auf die Schallbewegung. Verhandlungen des naturhistorisch-medizinischen Vereins zu Heidelberg 3: 16-20

http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/references?id=lit29000

$$\text{oder: } \overbrace{O_3\begin{Bmatrix}C_6H_6\\H_2\end{Bmatrix}, O_5\begin{Bmatrix}C_6H_6\\H_4\end{Bmatrix}}^{Ox,\ Cn\,H_2\,n-2}$$

$$\text{oder: } \overbrace{O_4\begin{Bmatrix}C_6H_6\\H_3\end{Bmatrix}, O_7\begin{Bmatrix}C_6H_6\\H_6\end{Bmatrix}}^{Ox,\ Cn\,H_2\,n}$$

$$\text{oder: } \overbrace{O_5\begin{Bmatrix}C_6H_6\\H_4\end{Bmatrix}}^{Ox,\ Cn\,H_2\,n+2}$$

Und in ähnlicher Weise werden andere Körper, die Elemente von Wasserstoffsuperoxyd oder Unterchlorigsäurehydrat assimiliren können, so lange bis sie der Grenzformel Ox, Cn H_2 n + 2 entsprechende Körper bilden.

Die ausgedehnte Anwendung dieser neuen Reactionen wird noch deutlicher, wenn man sie mit andern schon bekannten combinirt; so z. B. erhält man durch Addition von Unterchlorigsäurehydrat chlorhaltige Körper, welche bei Behandlung mit Metalloxyden ihr Chlor gegen die Elemente des Wasserstoffsuperoxydes, bei Behandlung mit Wasserstoff im Entstehungsmomente aber gegen Wasserstoff austauschen. So kann man z. B. aus Maleinsäure folgende Körper darstellen:

$O_2\begin{Bmatrix}C_4H_2O_2\\H_2\end{Bmatrix}$, $O_2\begin{Bmatrix}C_4H_2O_2\\O\\Cl\end{Bmatrix}\begin{matrix}H_2\\H\end{matrix}$, $O_3\begin{Bmatrix}C_4H_3O_2\\H_3\end{Bmatrix}$, $O_4\begin{Bmatrix}C_4H_2O_2\\H_4\end{Bmatrix}$.

Maleinsäure — Aepfelsäure — Weinsäure

Auf dieselbe Weise habe ich schon aus der mit Maleinsäure homologen Citrakonsäure die mit diesen Säuren homologen erhalten:

$O_2\begin{Bmatrix}C_5H_4O_2\\H_2\end{Bmatrix}$, $O_2\begin{Bmatrix}C_5H_4O_2\\O\\Cl\end{Bmatrix}\begin{matrix}H_2\\H\end{matrix}$, $O_3\begin{Bmatrix}C_5H_5O\\H_8\end{Bmatrix}$, $O_4\begin{Bmatrix}C_5H_4O_2\\H_4\end{Bmatrix}$.

Citrakonsäure — Citramalsäure — Citraweinsäure

10. Vortrag von Herrn Professor Helmholtz „über den Einfluss der Reibung in der Luft auf die Schallbewegung", am 27. Februar 1863.

(Das Manuscript wurde am 18. März 1863 abgeliefert.)

Der Vortragende hat in einer früheren Arbeit die mathematische Theorie der Schallschwingungen in cylindrischen Röhren gegeben. Er hat damals gezeigt, warum ein Unterschied zwischen der wirklichen Länge der Orgelpfeifen und ihrer nach der älteren Theorie berechneten Länge existiren muss. Der Grund war darin zu suchen, dass an einem offenen Ende einer solchen Röhre die

ebenen Schallwellen des Innern nicht plötzlich in die kugeligen Wellen des freien Raumes übergehen können, und sich daher noch etwas über die Mündung der Röhre hinaus ausbreiten. Die Theorie erlaubte für einzelne Gestalten der Röhrenmündungen diesen Unterschied der wahren und reducirten Länge zu berechnen. Bei cylindrischen Röhren vom Radius R, deren kreisförmige Oeffnung in einer weit ausgedehnten ebenen Platte liegt, fand er sich gleich $\frac{1}{4}\pi$ R.

Es wurden durch diese Untersuchung die auffallendsten Unterschiede zwischen der Theorie und der Erfahrung zwar beseitigt, indessen konnte man nicht sagen, dass die Uebereinstimmung dadurch eine vollständig genaue geworden wäre. Namentlich zeigten die Versuche von Zamminer, dass der Unterschied zwischen der wahren and reducirten Länge bei engen Röhren merklich grösser war, als die Theorie erwarten liess, und gerade bei solchen, hätte man die beste Uebereinstimmung erwarten dürfen.

Der Vortragende hat nun gefunden, dass die Uebereinstimmung viel vollständiger wird, wenn man die Reibung in der Luft mit in Rechnung zieht, sich dabei stützend auf die theoretischen Untersuchungen und die Bestimmung der Reibungsconstante von Stokes.

Der erste Theil der Untersuchung bezog sich auf die Fortpflanzung kugeliger oder ebener Wellen in unendlich ausgedehnten, mit Luft gefüllten Räumen. Es zeigt sich, dass die Reibung dabei die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls der Theorie nach zwar etwas vermindern müsse, aber in einer praktisch ganz unerheblichen Weise. Ausserdem hat die Reibung zur Folge, dass die Schallwellen, indem sie fortlaufen, etwas an Intensität abnehmen. Der Ausdruck für ihre Intensität findet sich nämlich mit dem Factor

$$e^{-\frac{4\pi^2 n^2 k^2 z}{a.a.a}}$$

multiplicirt, worin n die Schwingungszahl, a die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, z die Länge des Weges und k die Reibungsconstante bezeichnet, welche nach Stokes gleich 2,946 Millimeter ist, wenn man die Secunde als Zeiteinheit benutzt.

Jener Ausdruck lässt erkennen, dass die Abnahme desto bedeutender ist, je grösser n, also je höher der Ton ist. Bei den Tönen der gewöhnlichen musikalischen Scala ist jene Abnahme äusserst unbedeutend, bei sehr hohen Tönen kann sie aber sehr merklich werden. Wenn man berechnet, wie weit sich ein Zug ebener Schallwellen fortpflanzen muss, ehe seine Intensität durch Reibung auf die Hälfte vermindert wird, so findet man:

Ton	Schwingungszahl	Weglänge in Metern
a_1	440	383545
a_5	7040	1498
d_8	38016	52,7
a_{11}	450560	0,365

Darin ist a_1 das gewöhnlich bei der Stimmung der Instrumente gebrauchte eigestrichene a, a_5 der höchste Ton der Pianofortes, d_8 der höchste Ton, der bisher erreicht worden ist bei Despretz's Versuchen mit kleinen Stimmgabeln. Man sieht, dass eine merkliche Abnahme des letzteren schon eintreten könnte bei einer nicht übermässig grossen Weglänge. Dagegen würden noch höhere Töne, wenn sie sich auch hervorbringen liessen, unfähig sein, sich durch längere Luftstrecken fortzupflanzen. Das a_{11} der Tabelle würde nach einem Wege von 1 Fuss schon fast auch die Hälfte reducirt sein.

Es ist dieser Umstand wichtig, weil er eine obere Grenze für die Höhe physikalisch möglicher Töne anzeigt.

Der zweite Theil meiner Untersuchung betrifft die Fortpflanzung ebener Wellen in cylindrischen Röhren. Hierbei zeigt sich, dass sowohl die Abnahme der Intensität als auch namentlich die Verzögerung der Fortpflanzung in solchen Röhren wegen der Reibung an den Wänden viel bedeutender werden, als bei der Fortpflanzung im freien Raume. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in einer cylindrischen Röhre vom Radius R ist mit Beibehaltung der oben gebrauchten Bezeichnungen:

$$a\left[1 - \frac{k}{2R\sqrt{\pi n}}\right]$$

Der Coefficient, welcher die Abnahme der Intensität anzeigt, ist

$$e^{-\frac{2kz\sqrt{\pi n}}{aR}}$$

Wegen der verminderten Fortpflanzungsgeschwindigkeit müssen Orgelpfeifen ebenfalls kürzer gemacht werden, als die ältere Theorie verlangt, und zwar ist der Unterschied bei engeren Röhren gar nicht unbedeutend. Die Rechnung ergab für einige der von Zamminer gebrauchten Röhren folgende Correctionen; wobei die Längen in Millimetern gegeben sind:

Röhren-		Verkürzung wegen Reibung, wenn	
Länge	Durchmesser	offen	gedeckt
522	25	4	5,4
207,6	10	2,4	3,4
229	59	0,5	

Man sieht, dass bei den engeren Röhren die Verkürzung zum Theil über ein Procent der ganzen Länge beträgt, während sie bei den weiteren Röhren fast unmerklich ist.

Was die Stärke der Resonanz in solchen Röhren betrifft, wenn ein schwingender fester Körper ihrer Mündung genähert wird, so habe ich in meiner früheren Untersuchung bei Vernachlässigung der Reibung mit der Erfahrung übereinstimmend gefunden, dass die Resonanz einer an beiden Seiten offenen Röhre am stärksten ist, wenn ihre reducirte Länge gleich einer geraden Anzahl von Viertelwellenlängen des betreffenden Tones ist, bei einer gedeckten Röhre, wenn ihre reducirte Länge einer ungeraden Anzahl von Viertelwellenlängen gleich ist. Aber in Bezug auf den Einfluss der Weite der Röhre widersprach die Theorie der Erfahrung. Der Theorie nach hätte die Resonanz desto stärker sein sollen, je enger die Röhre, weil die Reflexion der Wellen an den offenen Enden desto vollständiger ist, je enger diese sind. Dagegen zeigte die Erfahrung, dass enge Röhren namentlich für tiefe Töne schlecht resoniren. Wenn man die Reibung der Luft berücksichtigt, erklärt sich dieser Unterschied, In engen Röhren erlöschen die Schallwellen bald, wenn sie oft hin und her reflectirt werden, wegen der starken Reibung an den nahen Wänden. Es gibt daher eine gewisse mittlere Weite, bei welcher die Resonanz am stärksten ist. Die Theorie ergiebt für die vortheilhafte Weite, wenn m bezeichnet, wie viel Schwingungen des angegebenen Tons auf eine Schwingung des Grundtons der Röhre kommen, und λ die Wellenlänge:

$$R^3 = \frac{m\,k\,\lambda^2\sqrt{\lambda}}{16\,\pi\sqrt{\pi a}}$$

Diese Gleichung zeigt, dass wir den Radius R der Röhre kleiner machen müssen für höhere Töne, sowohl wenn wir m unverändert lassen, also die Röhre im Verhältniss der abnehmenden Wellenlänge verkürzen, als auch, wenn wir die Röhrenlänge, welche gleich $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{2}\,m\,\lambda$ ist, unverändert lassen, und einen höheren Oberton derselben hervorrufen. Im letzteren Falle müsste R^2 in demselben Verhältnisse abnehmen wie λ.

Obgleich wir den mechanischen Vorgang beim Anblasen der Röhren noch nicht genau zergliedern können, so zeigt sich doch allgemein, dass das Anblasen diejenigen Töne hervorbringt, welche in der Röhre die stärkste Resonanz finden. Das bestätigt sich auch für den Einfluss der Weite. Die obige Gleichung gibt nämlich ziemlich genau die Höhe der Töne an, welche in Röhren von gegebenem Radius und Länge am leichtesten ansprechen.

Am überraschendsten ist aber die Uebereinstimmung mit der von dem berühmtesten Orgelbauer des vorigen Jahrhunderts, Silbermann, gegebenen Regel, dass man, um Register von gleichmässiger Klangfarbe zu erhalten, die Weite der Pfeiffen bei ab-

nehmender Länge so abnehmen lassen müssen, dass die None den halben Durchmesser bekomme. Gleichbleibende Klangfarbe bedeutet gleichbleibende relative Stärke der Obertöne. Soll $R = \frac{1}{2}$ werden, bei gleichbleibend guter Resonanz, so zeigt unsere Formel, dass werden müsse:

$$\lambda = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{6}{5}} = 0{,}435$$

während für die None $\lambda = 0{,}444$.

Wir erhalten also durch die Berücksichtigung der Reibung auch die Erklärung für den Umstand, dass eine gewisse Weite für die Pfeifen nöthig ist, und dass engere Pfeifen leichter höhere Töne ansprechen lassen, weitere tiefe, eine Thatsache, für welche bisher noch jede Erklärung fehlte.

11. Vortrag des Herrn J. L. Soret aus Genf „über die elektrolytische Darstellung des Ozons und über die Natur dieses Körpers", am 27. Februar 1863.

(Das Manuscript wurde eingereicht am 9. März 1863.)

Vor einigen Jahren habe ich schon in einer kleinen Abhandlung*) darauf aufmerksam gemacht, dass man weit grössere Mengen von Ozon erhält, wenn man das Wasser bei niedrigeren als bei gewöhnlichen Temperaturen elektrolytisch zersetzt. Das haben auch andere Beobachter bemerkt, doch wie ich glaube, ohne quantitative Bestimmungen zu machen. Ich habe auch damals die Mengen des Ozons bezeichnet, welche ich durch eine Methode gefunden hatte, die, wie ich selbst angegeben habe, nicht sehr genau war.

Ich habe neulich wieder Versuche über diesen Gegenstand mit Anwendung der weit genaueren Bunsen'schen Methode unternommen, bei welcher man schweflige Säure und eine titrirte Jodlösung zur Bestimmung der oxidirenden Körper gebraucht. Der durch einen elektrischen Strom entwickelte, Ozon enthaltende Sauerstoff wirkte auf eine neutrale Jodkaliumlösung, welche das Ozon vollkommen absorbirt, indem eine äquivalente Menge von Jod frei wird, die man nachher durch die erwähnte Methode analysirte.

Es ist mir gelungen bei der Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure (1 Volumen reiner concentrirten Schwefelsäure auf 5 Vol. destillirtes Wasser) viel bedeutendere Mengen von Ozon zu erhalten als bei meinen früheren Versuchen.

Die Bedingungen, welche die Zersetzungsapparate darboten und

---

*) Archives des Sc. Phys. et Nat. de Genève 1854. Bd. XXV. S. 263 — Poggendorff's Annalen. Bd. XCII. S. 304.