

### III. *Ueber eine neue Art der Ton-Erzeugung; von Hrn. August Pinaud.*

(*L'Institut*, No. 131 p. 366.)

Vor einiger Zeit war ich beschäftigt, vor der Glasbläserlampe ein Differentialthermometer zu verfertigen. Ich blies an dem Ende einer ungefähr drei Millimeter dicken Glasröhre eine kleine Kugel aus. Die Kugel war noch sehr heiß, als ich die Röhre bei Seite legte; sogleich vernahm ich einen zwar schwachen, aber sehr reinen Ton, welcher allmählig verhallte und mit der Wärme der Kugel ganz verschwand. Ich wiederholte den Versuch mit Röhren von verschiedener Länge und verschiedenem Durchmesser, und erhielt immer Töne, bald tiefere, bald höhere, je nach den Dimensionen des kleinen Apparates, der sie hervorbrachte.

Diese Erscheinung liefs sich mit solcher Sicherheit und Leichtigkeit hervorbringen, dafs es mich wunderte, wie die, welche täglich mit Glasblasen beschäftigt sind, dieselbe nicht schon wahrgenommen haben sollten. Indefs wird es dadurch begreiflich, dafs man beim Ausblasen einer Kugel am Ende einer Röhre gewöhnlich so lange hineinzublasen pflegt, bis die Kugel erkaltet ist, um so eine Mißgestaltung derselben zu verhüten; während der von mir beschriebene Versuch erfordert, dafs man mit dem Blasen einhalte, wenn die Kugel fast noch braunroth glüht.

Bei dem Bemühen, diese Thatsache zu erklären, bemerkte ich, dafs die tönende Röhre, welche ich *Kugelhöhre* nennen will, inwendig mit Feuchtigkeit bekleidet war; entweder weil diese schon vor dem Einblasen vorhanden, oder durch dasselbe hineingekommen war. Von diesem Augenblick an vermuthete ich, dafs Wasserdampf

die Hauptursache der Erscheinung sey. Um mich davon zu überzeugen, nahm ich eine Röhre, trocknete die Luft in derselben aus, schmolz sie darauf an ihrem Ende und bliefs mit trockner Luft eine Kugel daran aus. Nun konnte ich keinen Ton mehr vernehmen. Darauf wiederholte ich den Versuch, nachdem ich dieselbe Röhre und Kugel inwendig befeuchtet hatte, und sogleich liefs sich der Ton wieder deutlich hören.

Die Erklärung der Erscheinung aus dieser Ursache schien mir ungemein einfach. Der durch die feuchte Luft in die Kugel gebrachte Wasserdampf dehnt sich durch die Wärme aus und verdichtet sich darauf an den Wänden der kalten Röhre. Durch diese Verdichtung entsteht ein leerer Raum, und die feuchte Luft tritt, um ihn zu füllen, schnell hinein. Der durch diese Luft hineingeführte Dampf dehnt sich sogleich aus und verdichtet sich zum Theil in der Röhre; es entsteht ein neues Vacuum, und abermals ein plötzliches Eindringen der Luft. Es ist also ein zwischen dem Wasserdampf der Kugel und der feuchten Luft der Röhre fortwährend unterbrochenes Gleichgewicht, woraus die Tonschwingungen entspringen.

Die Aehnlichkeit dieser Erscheinung mit der beim Ausströmen eines angezündeten Stroms von Wasserstoffgas aus einer Glas- oder Metallröhre ist unverkennbar. In beiden Fällen wird offenbar der Ton durch dieselbe Ursache erzeugt; nur ist in dem einen der Wasserdampf schon fertig gebildet da, in der an einem Ende verschlossenen Röhre; während in dem andern der Dampf seine constante Quelle in der Verbrennung des Wasserstoffgases hat, und die Röhre an beiden Enden offen ist.

Nachdem ich die Ursache der Erscheinung ausgemittelt, hatte ich noch das Gesetz derselben zu bestimmen. Ich hielt diese Bestimmung anfangs für schwierig, weil ich glaubte, das Phänomen erzeuge sich nur auf einige Augenblicke nach dem Ausblasen der Kugel; allein bald fand ich, dafs man die schon erkaltete Kugel nur

in die Flamme einer Weingeistlampe zu halten brauche, um sogleich den Ton hervorzurufen und sehr lange zu unterhalten. Wenn er zufällig nicht zum Vorschein kommt, so rührt dies davon her, daß die Röhre nicht feucht genug ist; und man braucht alsdann nur die Röhre oder selbst die Kugel inwendig zu befeuchten.

Für das Folgende setze ich immer voraus, daß man die Röhre durch Eintauchung in die Flamme einer Weingeistlampe zum Tönen gebracht habe. Diefes ist die einfachste und bequemste Art einen gleichmäßigen und anhaltenden Ton zu erlangen.

Die Beschaffenheit des in der Kugelhöhle erzeugten Tons hängt offenbar wesentlich von drei Elementen ab, nämlich: 1) von der Länge der Röhre, 2) vom Durchmesser der Kugel, und 3) vom Durchmesser der Röhre. Die anzustellenden Versuche bieten sich also von selbst dar: man muß folgeweise die Länge der Röhre, den Durchmesser derselben, und den Durchmesser der Kugel abändern, und untersuchen, wie dadurch der Ton verändert werde.

Auf solche Weise habe ich folgende drei allgemeine Gesetze aufgefunden:

I. *Der Ton, der in einer durch eine erhitzte Kugel verschlossenen Glasröhre erzeugt wird, ist, bei Gleichheit aller übrigen Umstände, desto tiefer, je länger die Röhre ist.*

II. *Bleiben Länge und Durchmesser der Röhre gleich, so ist der Ton desto tiefer, je größer die Kugel am Ende der Röhre ist.*

III. *Endlich ist der Ton, bei Gleichheit aller übrigen Umstände, desto höher, je größer der Durchmesser der Röhre.*

Dieses letztere Gesetz ist sehr merkwürdig, weil es von dem abweicht, was uns die Theorie über die Luftschwingungen in Röhren lehrt. Um es in dem Sinn zu bestätigen, wie es eben aufgestellt ist, hätte man zwei

Röhren von gleicher Länge, und Kugeln daran von gleichem Durchmesser haben müssen. Da es aber leichter ist, die Ungleichheit zweier Kugeln, als die vollkommene Gleichheit derselben zu beurtheilen, so bliefs ich einerseits eine kleine Kugel an dem Ende einer kurzen und engen Röhre aus, und andererseits eine grössere Kugel an dem Ende einer längeren und weiteren Röhre. Nach den beiden ersten Gesetzen hätte der Ton der zweiten Röhre tiefer seyn müssen, als der Ton der ersten Röhre, sowohl wegen des gröfseren Volums der Kugel, als wegen der grösseren Länge der Röhre. Allein statt deß erhielt ich mit der ersten Röhre einen höheren Ton. Aus doppeltem Grunde ist hieraus also zu schliesen, dafs, bei gleicher Länge der Röhren und bei gleichem Durchmesser der Kugeln, der Ton desto höher ist, je weiter die Röhre, und desto tiefer, je enger die Röhre.

Zur Erzeugung eines Tons in der Kugelröhre ist es keineswegs nöthig, dafs die Röhre überall einen gleichen Durchmesser habe. Nachdem ich eine Röhre, die mir wohl kalibriert zu seyn schien, zum Tönen gebracht, erhitze ich sie dicht an der Kugel, und zog sie daselbst aus, um sie zu verengern. Darauf schnitt ich so viel von der Röhre ab, dafs sie ihre ursprüngliche Länge wieder bekam, und tauchte sie nun in die Flamme einer Weingeistlampe. Die Röhre gab nun wieder einen Ton, aber einen etwas tieferen, als zuvor; ein Resultat, das leicht vorauszusehen war, da das Ausziehen die Röhre verengert hatte. Auch diesen Versuch kann man als eine Bestätigung des dritten Gesetzes ansehen.

Nachdem ich die drei obigen Gesetze experimentell erwiesen hatte, beschlofs ich die Zahl der in der Kugelröhre von der Luft ausgeführten Tonschwingungen zu bestimmen, und zwar in Function: 1) der Länge der Röhre, 2) des Durchmessers derselben, und 3) des Durchmessers der Kugel. Bezeichnet man mit  $n$  die Anzahl der Schwingungen, mit  $l$  die Länge der Röhre, mit  $r$  den

Durchmesser derselben, mit  $R$  den Durchmesser der Kugel, und mit  $C$  einen constanten Coëfficienten, so, glaube ich, muß man folgende Formel aufstellen:

$$n = C \frac{r^\alpha}{\beta R^\gamma},$$

wo  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  unbekannte, noch zu bestimmende Exponenten sind.

Ich glaubte überdies, daß es sich mit dem Ton der Kugelhöhre wie mit dem Ton einer gewöhnlichen Pfeife verhalten würde, d. h. daß bei Verkürzung der Röhre auf die Hälfte ihrer Länge der Ton auf die höhere Octave übergehen würde; allein, als ich den Versuch machte, erhielt ich zu meinem anfänglichen Erstaunen ein ganz anderes Resultat. Statt der Octave erhielt ich sehr deutlich die Quinte. Ich wiederholte den Versuch mehrmals mit Röhren von verschiedener Länge und verschiedenem Durchmesser, und verschiedenem Volum der Kugel; allein immer, wenn ich die Röhre in der Mitte, von der Kugel ab, durchschnitt, erhielt ich die höhere Quinte von dem Ton der ganzen Röhre. Jetzt schien es mir wichtig, die wirklichen Längen einer und derselben Röhre zu messen, die, bei ungeändertem Durchmesser derselben, und bei ungeänderter GröÙe der Kugel, alle Töne der Skale geben könnten. Ich unternahm daher die Reihe von Versuchen, deren Resultate in folgender Tafel zusammengestellt sind.

Bei diesen Versuchen sah ich darauf, Röhren von verschiedenem Durchmesser, mit verschiedenen Kugeln daran, und von sehr verschiedener Glasdicke zu nehmen. Allein bei allen Versuchen mit einer und derselben Röhre veränderte ich nur die Länge dieser Röhre; auch gab ich der Kugel immer eine solche Glasdicke, daß sie durch die Hitze der Lampe ihre Gestalt, und folglich ihr Volumen nicht verändern konnte. Die erhaltenen Töne wurden mit den Tönen einer Geige oder Flöte verglichen.

## 1ster Versuch.

Röhrenlänge.	Töne <sup>1)</sup> .	Längenver- hältniß.	Musikalische Intervalle.
6 Zoll	<i>c</i>	1	Einklang
5 -	<i>d</i> (zweifelhaft)	$\frac{5}{6}$	Secunde
4 -	<i>e</i>	$\frac{2}{3}$	Große Terz
3 -	<i>g</i>	$\frac{1}{2}$	Quinte
2 -	<i>h</i>	$\frac{1}{3}$	Septime

## 2ter Versuch.

8 -	<i>gis</i>	1	Einklang
6 -	<i>h</i> (natürlich)	$\frac{3}{4}$	Kleine Terz
4 -	<i>dis</i>	$\frac{1}{2}$	Quinte

## 3ter Versuch.

12 -	<i>d</i>	1	Einklang
10 -	<i>e</i> (zweifelhaft)	$\frac{5}{6}$	Secunde
9 -	<i>f</i> (natürlich)	$\frac{3}{4}$	Kleine Terz

## 4ter Versuch.

10 -	<i>g</i>	1	Einklang
3 -	<i>g</i> (bis auf ein Komma)	$\frac{3}{10}$	Octave

## 5ter Versuch.

6 -	<i>h</i>	1	Einklang
5 -	<i>cis</i>	$\frac{5}{6}$	Secunde
4 -	<i>dis</i>	$\frac{2}{3}$	Große Terz
3 -	<i>fis</i>	$\frac{1}{2}$	Quinte
8 -	<i>b</i> oder <i>aïs</i>	$\frac{1}{3}$	Septime

## 6ter Versuch.

9 -	<i>f</i>	1	Einklang
8 -	<i>fis</i> (zu hoch)	$\frac{8}{9}$	Verminderte Secunde

1) Bei Uebertragung der französischen Tonbenennungen ist hier *ut*, durch *c*, *ut*, durch *c* u. s. w. wiedergegeben. P.

Röhrenlänge.	Töne.	Längenver- hältniß.	Musikalische Intervalle.
6 Zoll	$a$	$\frac{2}{3}$	Große Terz
$4\frac{1}{2}$ -	$\overline{c}$	$\frac{1}{2}$	Quinte
3 -	$e$	$\frac{1}{3}$	Septime

Berichtigt man die unvermeidlichen Fehler dieser Versuche, so wird die Zusammensetzung der von den Kugelhörn gegebenen Tonleiter folgende:

Töne	$c$	$d$	$e$	$f$	$g$	$a$	$h$	$\overline{c}$
Röhrenlänge	1	$\frac{4}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{5}{6}$

und die Intervalle zwischen zwei auf einander folgenden Tönen werden

von $d$ auf $c$	$\frac{4}{3}$	großer Ton
- $e$ - $d$	$\frac{5}{6}$	kleiner Ton
- $f$ - $e$	$\frac{1}{1\frac{5}{6}}$	großer halber Ton
- $g$ - $f$	$\frac{4}{3}$	großer Ton
- $a$ - $g$	$\frac{5}{6}$	kleiner Ton
- $h$ - $a$	$\frac{4}{3}$	großer Ton
- $\overline{c}$ - $h$	$\frac{1}{1\frac{5}{6}}$	großer halber Ton

Was die erhöhten oder erniedrigten Töne betrifft, so würde, da das Intervall einer kleinen Terz durch  $\frac{3}{4}$  ausgedrückt wird, man haben:

$$es = \frac{3}{4} \quad aes = \frac{1}{3\frac{1}{2}} \quad b = \frac{3}{8} \quad \text{u. s. w.}$$

Eben so sieht man, daß das charakteristische Verhältniß von  $\overline{d}$ , der Octave von  $d$  und der Quinte von  $g$  gleich ist  $\frac{1}{4}$ , daß das Verhältniß  $\frac{1}{6}$  entsprechen würde  $\overline{a}$ , der Quinte von  $\overline{d}$  und der Octave von  $a$  u. s. w.

Bisher habe ich nur die Länge der Kugelhörn abgeändert; es bleibt nun noch der Einfluß des Durchmessers der Kugel und der der Röhre zu untersuchen, welche einander entgegengesetzt wirken. Ich habe nun untersucht, wie sich der Ton mit dem Volum der Kugel verändert, indess dabei noch nicht alle Vorsichtsmaßregeln angewandt, welche eine so delicate Untersuchung

erfordert. Dessenungeachtet will ich diesen Versuch hier anführen, weil der Weg, den ich dabei einschlug, mir geeignet scheint, ziemlich scharfe Resultate zu geben.

An dem Ende einer 4 bis 5 Zoll langen und 2 bis 3 Linien weiten Röhre blies ich eine ziemlich große Kugel aus, von solcher Dünnhcit im Glase, daß sie durch die Hitze der Weingeistlampe eine bedeutende Volumsverringerung erleiden mußte. Ich merkte mir den Ton, welchen diese Kugel sogleich nach ihrem Ausblasen gab, und füllte sie darauf, nachdem sie erkaltet war, bis zu einem am Anfange der Röhre gemachten Strich, mit Quecksilber. In diesem Zustande wägte ich den Apparat; dann wägte ich ihn leer, so daß also der Gewichtsunterschied mir das Gewicht des die Kugel füllenden Quecksilbers gab. Ich tauchte nun diese Kugel in die Flamme einer Weingeistlampe, nachdem ich zuvor das Innere der Röhre sorgfältig befeuchtet hatte. Alsbald liefs sich ein Ton hören; Anfangs war er Unisono mit dem ursprünglichen Ton, allein so wie die Kugel durch anfangende Schmelzung ihr Volum verringerte, stieg er merklich. In dem Augenblick, wo der Ton die große Terz des ursprünglichen Tons erreicht hatte, hörte ich mit dem Erhitzen der Kugel auf; sie behielt nun ihr Volum bei, abgerechnet die kleine Zusammenziehung, die sie durch's Erkalten erlitt. Ich wägte nun wie zuvor die Quecksilbermenge, welche zur Füllung der Kugel bis zum Strich am Beginn der Röhre nothwendig war, und das Verhältniß der beiden Gewichte Quecksilber gab mir das Verhältniß der Volume der Kugel. Bei diesen Versuchen hatten sich die Länge und der Durchmesser der Röhre nicht verändert; die Steigerung des Tons erfolgte alleinig aus der Zusammenziehung der Kugel.

Bei einem nach dieser Methode angestellten Versuch war der erste Ton der Kugelhöhre ein *g*, und das Gewicht des die Kugel füllenden Quecksilbers betrug 20,3 Grm. Der Ton derselben Röhre bei verkleinerter Ku-

gel war  $h$ , und das Gewicht des füllenden Quecksilbers 10,5 Grm. Hiernach scheint es mir wahrscheinlich, dafs, bei Verringerung des Volums der Kugel auf die Hälfte, der entstehende Ton die grofse Terz des ursprünglichen ist. Indefs, wiederhole ich, der Versuch war nicht sorgfältig genug angestellt, um diesen Resultaten volles Vertrauen schenken zu können. Bis neue Versuche sie bestätigt haben, halte ich sie nur für annähernd.

Am Schlusse dieses Aufsatzes will ich noch einer Beobachtung erwähnen, die mir die in Rede stehenden Untersuchungen scheint erleichtern zu müssen, weil sie die Tonerzeugung in der Kugelhöhle bequemer macht. Damit der Ton entstehe, mufs die Kugel eine hohe Temperatur haben; allein, wenn man, ehe die Kugel die zum Tönen nothwendige Temperatur erreicht hat, oder nachdem sie bis unter dieselbe erkaltet ist, in die Röhre bläst, auf die Weise, wie man einem hohlen Schlüssel einen Ton entlockt, so kommt der Ton in unveränderter Höhe oder Tiefe wieder zum Vorschein. Nachdem die Kugel vollständig erkaltet ist, wird es unmöglich der Röhre denselben Ton zu entlocken; wenn es dann überhaupt gelingt, einen reinen und gleichmäfsigen Ton zu erhalten, so ist derselbe weit höher.

#### IV. *Versuch zur Aufstellung einer Theorie der Dispersion des Lichts; von Hrn. Baden Powell.*

(*Phil. Transact.* 1836. *pt. I* p. 17. Auszug.)

Diese Abhandlung bildet eine Fortsetzung von der in diesen Annalen, Bd. XXXVII S. 352, mitgetheilten, und bezweckt einen Vergleich der von Rudberg am Kalkspath, Bergkrystall, Arragonit und Topas gemessenen