

Experimentelle Bestimmungen der Wellenlänge und Schwingungszahl höchster hörbarer Töne.

Mit Benutzung von Herrn Dr. Rudolph König brieflich mitgeteilter praktischer Anleitungen ausgeführt

von

Dr. A. Schwendt,

Privatdocent der Otologie und Laryngologie in Basel.

Vorgetragen am 8. Februar 1899.

(Mit 3 Tafeln.)

Die experimentelle Bestimmung der Schwingungszahl höchster hörbarer Töne ist für den Physiologen sowohl als für den Ohrenarzt wichtig. Denn es ist einerseits die normale hohe Hörgrenze noch nicht in übereinstimmender Weise festgestellt und es lassen sich andererseits unter Umständen aus Defekten des Gehörs für hohe Töne gewisse Lesionen des Gehörorgans diagnostizieren.

Wir müssen wissen, ob die angebliche Tonhöhe der Instrumente, welche diese höchsten hörbaren Töne hervorbringen, der Wirklichkeit entspricht oder ob wir, wie es schon vorgekommen ist, durch falsche Konstruktion der Instrumente oder durch falsche Tonhöhenbestimmung derselben getäuscht wurden.

Mit experimentellen Bestimmungen der Tonhöhe höchster hörbarer Töne beschäftigten sich bis jetzt folgende Autoren :

Zwaardemaker in Utrecht suchte die den einzelnen Teilstrichen der Galtonpfeife entsprechende Tonhöhe zu bestimmen oder, wie er sich ausdrückt, diese Pfeife zu „aichen.“

Er stützte sich dabei auf die Beobachtung, dass er die hohe Hörgrenze jugendlicher Individuen bei Königs Klangstab e^7 (mi^9) und bei Teilstrich 1,25 seiner Galtonpfeife gefunden habe. Mit dem Vorbehalt, dass diese Töne auch annähernd gleicher Intensität sein müssten, setzte er diese beiden Werte einander gleich.

Die Tonhöhe der übrigen Teilstriche der Galtonpfeife bestimmte er nach der Methode seines Freundes Dr. phil. J. D. *van der Plaats*, indem er die gleichen Teilstriche abwechselnd mit Luft und mit Leuchtgas anblies. Vorher war das spezifische Gewicht des benutzten Leuchtgases bestimmt worden. Die auf diese Weise gewonnenen Töne stehen zu einander im Verhältnis einer Quint. Der höhere dieser beiden Töne lässt sich immer durch Verkürzen der Pfeife oder durch Anblasen derselben mit Leuchtgas hervorbringen. Auf diese Weise bestimmte *Zwaardemaker* die jedem einzelnen Teilstrich der Galtonpfeife entsprechende Tonhöhe¹⁾.

Gegen diese Tonhöhenbestimmung *Zwaardemakers* machten die Physiologen *C. Stumpf* und *M. Meyer* in

¹⁾ Vergl. *Zwaardemaker*, das presbyakusische Gesetz. Z. f. O. XXIV. Band, viertes Heft, S. 284; ferner „Der Einfluss der Schallintensität auf die Lage der oberen Tongrenze.“ Z. f. O. Viertes Heft, S. 304. Die ursprüngliche holländische Mitteilung des gleichen Autors befindet sich in „Ned. Natuur- e Geneesk-Congress in Groningen, April 1893.“

Berlin geltend, dass die Stimmung des König'schen Klangstabs mi^9 (e^7) eine problematische sei, und dass mithin die Zwaardemakersche Tonhöhenbestimmung der Galtonpfeife nicht auf ganz soliden Füßen stehe.

Herr Professor *Melde* in Marburg prüfte eine Anzahl zur Bestimmung der hohen Grenze der Gehör-perception dienenden Instrumente mittelst zweier ihm eigenen Methoden¹⁾:

1^o Mittelst einer optisch-graphischen Methode.

2^o Mittelst seiner objektiven Resonanzmethode.

Letztere Methode kann auch von einem vollständig tauben Individuum benutzt werden.

Melde untersuchte folgende Instrumente:

1^o Den älteren von *Georg Appunn* senior konstruierten und von Preyer zu seinen physiologischen Versuchen benützten Stimmgabelapparat.

Die angebliche Tonhöhe der höchsten dieser Gabeln reicht bis zu 40000 V. D. und diese Gabel wurde von Preyer noch gehört.

2^o Einen im Preisverzeichnis über Spezialitäten in seinem akustischen Institut von Anton Appunn aufgeführten Hörprüfungsapparat nach Professor *Kessel* in Jena bestehend aus 11 Stimmgabeln, die von 2000 bis 50,000 Schwingungen reichen sollen.

3^o Die hohe Königsche Stimmgabelreihe ut^7 (c^5) bis fa^9 (f^7)²⁾.

Die Untersuchung der beiden Appunn'schen Apparate ergab, dass ihre angebliche Tonhöhe in Wirklichkeit von

1) Melde „Über einige Methoden der Bestimmung von Schwingungszahlen hoher Töne.“ Wiedemanns Annalen Bd. 51 und 52; ferner „Über einen neuen A. Appunn'schen Hörprüfungsapparat.“ Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie. Bd. 71, S. 441.

2) Siehe Note Seite 4.

denselben nicht erreicht wird. Die höchsten Stimmgabeln dieser Reihen erreichten keine 40000 V. D. Es hat somit auch Preyer keine 40000 V. D. gehört.

Ausserdem kam es vielfach vor, dass eine angeblich höhere Stimmgabel dieser Reihen in Wirklichkeit tiefer war als die vorhergehende. Hinsichtlich dieser wertvollen Kontrollversuche müssen wir auf die Arbeiten Meldes verweisen.

Die Stimmung der Königschen Stimmgabelreihe dagegen erwies sich nach Meldes Beobachtungen vollständig richtig, soweit die Tonhöhe dieser Gabeln mit den beiden Meldeschen Methoden bestimmt werden konnte. Dieses war bis zum Ton e^7 (ut^9) der Fall.

Die Tonhöhe der Königschen Stimmgabeln re^9 , mi^9 , fa^9 (d^7 , e^7 , f^7) war mittelst der von Melde angewendeten Methoden nicht mehr bestimmbar.

Mittelst der *Kundtschen* Staubfiguren war es, wie wir aus seiner Abhandlung entnehmen konnten, Herrn Prof. Melde möglich, Tonhöhen bis zu 8000 V. D. zu kontrollieren.

Als Ersatz für die hohen Stimmgabelreihen empfiehlt Herr Professor Melde bekanntlich seine Stimmplatten¹⁾.

Sie werden nach der Antolykschen Methode angestrichen und mittelst aufgestreutem Sand lässt sich erkennen, ob die Stimmplatte wirklich in Schwingungen versetzt wurde oder nicht. In dem Sand entsteht die dem Ton der Stimmplatte entsprechende Chladnische Klangfigur.

¹⁾ Melde „Über Stimmplatten als Ersatz für Stimmgabeln zur Erzeugung sehr hoher Töne.“ Sitzungsbericht der Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaft zu Marburg. Nr. 4. Mai 1898; ferner „Archiv für Ohrenheilkunde. 45. Band, 1. und 2. Heft,“ Referat von A. Fick in Würzburg.

Schon früher als die erwähnten Autoren hatte *Rudolph König* in Paris die Tonhöhe seiner hohen Stimmgabelreihe ut^7 — fa^9 (c^5 — f^7) bestimmt.

Die Tonhöhe des ut^7 (c^5) bestimmte er, wie er mir schrieb, mittelst mehrerer einander gegenseitig kontrollierender optischer und akustischer Methoden und gibt an, dass ihm diese Bestimmung mit mathematischer Genauigkeit gelungen sei.

Die Tonhöhe der übrigen Gabeln dieser Reihe bestimmte er, indem er die Stosstöne oder Schwebungen zählt, welche jeweilen eine dieser Gabeln mit einer um wenige Schwingungen tieferen bereits bestimmten Gabel ergibt.

Zum wirksamen gleichzeitigen Anstreichen zweier in einen eisernen Klotz eingeschraubten Stimmgabeln bedarf es eines besonderen Handgriffs, mittelst welchem Herr Dr. König diese Tonhöhenbestimmungen mit grosser Genauigkeit bis zur Tonhöhe f^7 inklusive, ja wie er mir kürzlich mitteilte, sogar noch etwas höher gelang. Es waren aber die Versuche in dieser Tonhöhe ausserordentlich anstrengend¹⁾.

Herr Professor *Edelmann*²⁾ in München konstruierte, auf Veranlassung von Bezold, ein verbessertes Galtonpfeifchen und bestimmte die den einzelnen Teilstrichen entsprechenden Tonhöhen nach zweierlei Methoden.

1^o Durch Berechnung aus der Konstruktion, indem er diese Pfeife mit einer grösseren nach ähnlichem Prinzip

1) Vergl. Rudolph König „*Quelques expériences d'acoustique*. Paris, 27 Quai d'Anjou“; ferner „*Catalogue des appareils d'acoustiques, construits par Rudolph König, docteur en philosophie*. Paris, 27 Quai d'Anjou, 1889, page 23.“

2) Verhandlungen der Deutschen Otologischen Gesellschaft in München 1896. Vortrag von *Denker* „Über die physiologische obere und untere Tongrenze. Seite 48.“

konstruierten, einer der beiden sogenannten Bezold'schen Pfeifen verglich.

2^o Bis zur Tonhöhe, die dem Teilstrich 5,0 entspricht, mittelst der Methode van der Plaats durch Anblasen mit Luft und mit Leuchtgas.

Hinsichtlich der Edelmanschen Tonhöhenbestimmungen müssen wir zwischen älteren und neueren Exemplaren unterscheiden.

Die maximale angebliche Tonhöhe der älteren Exemplare der Edelmanschen Galtonpfeife beträgt $a^8 = 55700$ V. D.; die maximale angebliche Tonhöhe der neueren Exemplare nur $a^7 = 27800$ V. D.

Diese Pfeife ist bekanntlich keine gedeckte Orgelpfeife, wie die ursprünglich von Tisley und von König konstruierten Galtonpfeifen, sondern sie besitzt wie die Lokomotivpfeife eine ringförmige Mundöffnung.

Die Tonhöhe ist sehr von der sogenannten Mundweite abhängig, d. h. von der Entfernung, welche die Mundöffnung der Pfeife von der Öffnung des zur Leitung des Luftstroms dienenden verschiebbaren Rohrs beträgt.

Bei grösserer Mundöffnung wird die Weite der Öffnung dieses Rohrs gleichzeitig grösser, bei engerer Mundöffnung dagegen geringer. Es soll zum Anblasen der tieferen Teilstriche dieser Pfeife die weite Mundöffnung benutzt werden, zum Anblasen der höheren Teilstriche dagegen die engere Mundöffnung.

Bei Benutzung einer zu engen Mundöffnung entstehen beim Anblasen der tieferen Teilstriche nur Ober-töne.

In letzter Zeit konstruierte Anton Appunn in Hanau eine Serie von 62 Pfeifen, die von Halbton zu Halbton fortschreiten und deren angebliche Tonhöhe bis $gis^8 = 50880$ V. D. betragen soll; später konstruierte er sogar

noch Pfeifen bis zur angeblichen Tonhöhe g^9 — und diese Pfeifen werden noch gehört!

Stumpf und Meyer¹⁾ in Berlin ergänzten die Versuche Melde's; sie bedienten sich dabei einer anderen Methode, der von Ihnen zuerst angewendeten Differenztonmethode und bei der Untersuchung der Pfeifen einer besonderen Methode des Anblasens.

Sie untersuchten 1^o die beiden schon von Melde geprüften hohen Appunnschen Stimmgabelreihen. 2^o Eine Anzahl hoher Königscher Stimmgabeln. 3^o Mehrere Exemplare der Edelmannschen Galtonpfeife. 4^o Die hohe Appunn'sche Pfeifenserie.

Ihre Untersuchungen der beiden Appunnschen und der Königschen Stimmgabelreihe bestätigten durchaus die Resultate Melde's.

Die Stimmung der Appunnschen Gabeln zeigte sich in dem vorher erwähnten Sinn als höchst mangelhaft, diejenige der Königschen Stimmgabeln dagegen richtig.

Was die Edelmannschen Galtonpfeifen betrifft, so waren die Resultate Stumpf und Meyers mit den Tonhöhenbestimmungen Edelmanns nur bis zur Tonhöhe 14000 V. D. entsprechend ungefähr dem Ton a^6 übereinstimmend. Die angebliche Tonhöhe der höheren Teilstriche dieser Pfeifen war nach Stumpf und Meyer viel zu hoch. Dieses lässt sich auch mittelst einer von Stumpf und Meyer empirisch konstruierten Formel²⁾ nachweisen.

1) C. Stumpf und M. Meyer „Schwingungszahlbestimmungen bei sehr hohen Tönen,“ Annalen der Physik und Chemie neue Folge, Band 61, 1897; ferner „Erwiderung,“ Annalen der Physik und Chemie, neue Folge, Band 65, 1898.

2) Die empirische Formel Stumpf und Meyer's lautet:

$$h = 3,2 + \frac{98000}{n} - \frac{28800000}{n^2}$$

wobei h = der Pfeifenlänge und n = der Schwingungszahl.

Diese Pfeifen können höchstens Töne bis zu 30000 V. D. liefern, also höchstens noch $a^7 = 27306,7$ V. D., aber niemals $c^8 = 32768$ V. D. oder gar $a^8 = 54613,3$ V. D.¹⁾

Hier muss ich nun ausdrücklich bemerken, dass die angeblichen Tonhöhen c^8 und a^8 auf einem von mir vor kurzer Zeit bezogenen Exemplar der Edelmanschen Galtonpfeife nicht mehr angegeben sind; als höchster Ton figurirt auf dieser Pfeife a^7 .

Die Untersuchung des aus 62 Pfeifen bestehenden Appunnschen Hörprüfungsapparats ergab, dass die Stimmung dieser Pfeifen nur bis zur Tonhöhe c^5 richtig ist; von dieser Höhe an aufwärts aber durchaus falsch. Das angebliche g^{18} Appunns, angeblich = 50880 V. D. hat in Wirklichkeit je nach der verwendeten Windstärke nur zwischen 10000 und 11,000 V. D. Es wäre also höchstens ein f^6 ; ein Unterschied von nahezu 40000 V. D.²⁾!

Der bei der Konstruktion dieser Appunnschen Pfeifenserie vorliegende Fehler ist der, dass bei der

1) Galton gibt an, dass sein Pfeifchen höchstens soweit verkürzt werden darf, dass seine Länge $1\frac{1}{2}$ mal so gross ist wie sein Durchmesser. Galton inquiries into human faculty pg. 375 ff. 1883 Die höchste Schwingungszahl der Galtonpfeife wird, wenn diese Annahme richtig ist, noch viel weniger hoch.

2) Gegen diese Befunde Stumpf und Meyers bemüht sich Herr A. Appunn Gegenbeweise aufzubringen. Wir müssen es dem Leser seiner Abhandlungen überlassen zu entscheiden, ob ihm die Entkräftigung der Stumpf- und Meyerschen Angaben gelungen ist. Vergl.: „Schwingungszahlbestimmungen bei sehr hohen Tönen von Anton Appunn,“ Annalen der Physik und Chemie, neue Folge, Band 64, 1898.

Ferner: „Über die Bestimmung der Schwingungszahlen meiner Pfeifen auf optischem Wege“ und „Warum können Differenzttöne nicht mit Sicherheit zur Bestimmung hoher Schwingungszahlen angewandt werden?“ von Anton Appunn, Annalen der Physik und Chemie, neue Folge, Band 67, 1899.

Konstruktion nur die Länge des Pfeifenkörpers, dagegen keineswegs die Weite desselben berücksichtigt wurde. Bei den höchsten dieser Pfeifen überwiegt sogar die Breite die Länge, so dass die erwähnte Fehlerquelle ganz besonders fühlbar wird.¹⁾

Herr Professor *Hagenbach-Bischoff*, welcher mir stets in freundlichster Weise in physikalischen Dingen seinen guten Rat erteilt hatte, riet mir an bei meinen klinischen Untersuchungen die hohen Königschen Stimmgabeln, welche die Bezeichnung Präzisionsinstrumente verdienen, zu gebrauchen. Er sagte mir auch einmal, dass es ihm gelungen sei, mit einer hohen Königschen Stimmgabel in einer Kundtschen Röhre die Staubfiguren darzustellen.

Dieses veranlasste mich, mit Hilfe dieser Methode, die Tonhöhe sämtlicher mir zur Verfügung stehender Instrumente zu prüfen, welche zur Bestimmung der hohen Grenze menschlicher Gehörperception dienen können.

Herr Dr. Rudolph König, von welchem ich eine Kundtsche Röhre bezog und welchen ich von meinem Vorhaben in Kenntnis gesetzt hatte, teilte mir sofort mit, dass ihm die Darstellung der Staubfiguren mittelst seiner hohen Stimmgabeln schon im Laufe des vorigen Sommers bis zur Tonhöhe c^7 (ut^9) gelungen sei.

Er schickte mir gleichzeitig zwei enge Röhren, die eine von 6 mm., die andere von 8 mm. lichtigem Durchmesser, in welchen die Staubfiguren dieser hohen Töne am leichtesten zustande kommen. Die Länge der Röhre

¹⁾ Eine von Helmholtz entwickelte Formel, aus welcher die Tonhöhe solcher Pfeifen berechnet werden kann, findet sich in Helmholtz „Lehre von den Tonempfindungen,“ fünfte Auflage, Beilage II.

soll eine solche sein, dass 10 bis 20 Wellen in derselben entstehen können.

Es müssen sowohl Röhre als auch der benutzte Korkstaub vollständig trocken sein.

Die Röhre wird mittelst eines Gestells mit dem offenen Ende möglichst nahe an die Schallquelle gebracht. Es ist zweckmässig, dieselbe so zu drehen, dass der gleichmässig verteilte Staub nicht ganz unten zu liegen komme, sondern etwas seitlich. Er gerät dann leichter in Bewegung und es bilden sich dann die Wellenbäuche in Form herabhängender Fäden oder Festons. Die Enden der Fäden bilden dann eine Wellenlinie, auf der man dann mit Leichtigkeit die Abstände der gleichen Höhen oder Tiefen messen kann.

Gegen das verschlossene Ende der Röhre befindet sich stets ein Knoten¹⁾, am offenen Ende oder in der Nähe desselben ein Wellenbauch. Zwei Wellenbäuche begrenzen eine halbe Welle.

Währenddem ich nun meine Versuche ausführte, schrieb mir Herr Dr. König, dass ihm nun auch die Staubfiguren beim Anstreichen seiner höchsten Stimmgabeln mit Einschluss von f^7 (fa^9) gelungen sei.

Dieses fa^9 wird, worüber ich noch berichten werde, auch von Normalhörenden nur selten und inkonstant gehört.

Herr Dr. König bediente sich zu seinen Versuchen des Korkstaubs und erhielt bei seinem ersten Versuch eine zusammenhängende Wellenlinie von 9 halben Wellen,

¹⁾ Die Wellenlinien entstehen auch in beidseits offenen, engen Röhren, dann befindet sich aber an dem der Tonquelle entfernteren Röhrende kein Knoten, sondern ein Wellenbauch.

deren Länge 0,069 Meter betrug. Die Länge der einzelnen halben Welle oder von $\frac{\lambda}{2}$ war mithin 0,00767 Meter oder 7,67 Millimeter. Diese halbe Wellenlänge entspricht sehr annähernd der theoretisch geforderten halben Wellenlänge von 7,79 Millimeter. Es muss also auch wenigstens annähernd die Schwingungszahl mit der theoretischen Schwingungszahl 43690 V. D. übereinstimmen.

Durch später ausgeführte Versuche war aber die Übereinstimmung eine viel genauere.

Die Schwingungszahl wird bekanntlich aus der Wellenlänge bei bekannter Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls nach der Formel berechnet:

$$N = \frac{C}{\lambda}, \text{ wobei } N = \text{ist der Schwingungszahl,}$$

C = der Fortpflanzungsgeschwindigkeit
des Schalls

und λ = der Wellenlänge ist.

Viel schöner als mit Korkstaub gelangen mir die Versuche mit semen Lycopodii; ich erhielt sofort eine sehr schöne regelmässige, die ganze Länge der Röhre einnehmende Wellenlinie.

Aus vielen Versuchen ergaben die genauesten 3 Messungen für die Staubfiguren des Tons fa⁹ (f⁷) die folgenden Werte, aus welchen ich das arithmetische Mittel zog.

$$34 \text{ halbe Wellen} = 26,45 \text{ cm.}, \quad \frac{\lambda}{2} = 0,7779 \text{ cm.}$$

$$34 \quad \text{''} \quad \text{''} \quad = 26,45 \quad \text{''} \quad \text{''} \quad = 0,7779 \quad \text{''}$$

$$34 \quad \text{''} \quad \text{''} \quad = 26,5 \quad \text{''} \quad \text{''} \quad = 0,7794 \quad \text{''}$$

Das arithmetische Mittel dieser Werte für die halbe Wellenlänge beträgt 0,778 Centimeter, welches

der theoretischen halben Wellenlänge überaus nahe kommt.

Die Messung der Wellenlinie wird mittelst eines Stangenzirkels oder auch nur eines genau gearbeiteten Masstabes vorgenommen, wobei die Röhre am besten auf schwarzem Untergrund zu legen ist.

Man misst am leichtesten die Abstände der prominentesten Partien der beiden von einander entferntesten Wellenbäuche. Es erfordert diese Messung allerdings ein gutes Augenmass und Beobachtungsfehler sind dabei immerhin möglich.

Die Resultate meiner Untersuchungen der hohen Königschen Stimmgabelreihe sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Ich rechnete dabei nach halben Wellenlängen, weil sich der Abstand zweier Bäuche in der Röhre am leichtesten abmessen lässt. Auch sind in dieser Tabelle einfache oder halbe Schwingungen V. S. oder 2 N aufgezeichnet, weil die Tonhöhe dieser Königschen Instrumente nach einfachen Schwingungen angegeben ist.

Der Wert von $\frac{\lambda}{2}$ ist immer ein aus mehreren wohlge gelungenen Versuchen und Messungen berechneter Mittelwert.

	Radius der Röhre cm.	$\left(\frac{\lambda}{2}\right)^{150}$ beobachtet cm.	2 N berechnet	2 N theoretisch	Diff.	Diff. in 0,00
fa ⁹	0,3	0,7784	43721	43690	+ 31	0,7
mi ⁹	„	0,8287	41066	40960	+ 106	2,6
re ⁹	„	0,9224	36894	36864	+ 30	0,8
ut ⁹	„	1,0367	32826	32768	+ 58	1,8
si ⁸	0,4	1,1119	30608	30720	- 112	3,6
la ⁸	„	1,2436	27366	27307	+ 59	2,2
sol ⁸	„	1,3820	24625	24576	+ 49	2,0
fa ⁸	„	1,5515	21935	21845	+ 90	4,1
mi ⁸	„	1,6558	20553	20480	+ 73	3,6
re ⁸	„	1,8435	18460	18432	+ 28	1,5
ut ⁸	„	2,0708	16433	16384	+ 49	3,0
si ⁷	„	2,2189	15337	15360	- 23	1,5
la ⁷	„	2,4910	13661	13653	+ 8	0,6
sol ⁷	„	2,7625	12319	12288	+ 31	2,5
fa ⁷	„	2,1141	10928	10923	+ 5	0,5
mi ⁷	„	3,3121	10274	10240	+ 24	2,3
re ⁷	0,5	3,6904	9221	9216	+ 5	0,5
ut ⁷	„	4,1500	8200	8192	+ 8	1,0

Die Differenzen der experimentell gefundenen resp. aus der Wellenlänge berechneten Schwingungszahl und der theoretischen Schwingungszahl sind, wie man sehen kann, sehr gering; diese Instrumente sind mithin ausserordentlich zuverlässig.

Einige etwas grössere Differenzen beruhen höchst wahrscheinlich zum grössten Teil auf Beobachtungsfehler während der Messung.

Ganz besonders genau wurde, wie mir Herr Dr König schreibt, die Tonhöhe des tiefsten Tons der Reihe c⁵ oder ut⁷ bestimmt, mittelst mehrerer einander

gegenseitig kontrollierender optischer und akustischer Methoden und es ist sehr wohl möglich, dass die geringe von mir gefundene Differenz von 1‰ nur auf einem Messungsfehler beruht.

Bei stärkerem Anstreichen der Stimmgabeln entsteht eine leichte Verschiebung des Staubs gegen das verschlossene Röhrendende, also *Verkürzung* der Wellenlinie bei gleich bleibender Wellenlänge. Dieses bildet eine Fehlerquelle, welcher man durch möglichst leises Anstreichen der Stimmgabeln zum grössten Teil ausweichen kann.

Den *Einfluss der Temperatur* auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls berechnete ich nach einer mir von Herrn Privatdozenten Dr. *Villon*, Assistent des hiesigen physikalischen Instituts, freundlichst mitgeteilten Formel¹⁾

$$C_t = 330,6 \cdot \sqrt{1 + 0,004 \cdot t}$$

bei welcher C_t = Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls bei bestimmter Temperatur, 330,60 = der Anzahl von Meter, welche der Schall bei 0° in einer Sekunde zurücklegt, 0,004 eine konstante und t = der Temperatur, bei welcher die Beobachtung vorgenommen wird.

Meine Untersuchung der hohen König'schen Stimmgabelreihe nahm ich stets bei 15° Celsius vor. Als Fortpflanzungsgeschwindigkeit bei 15° Celsius erhält man durch Berechnung aus der vorher erwähnten Formel $C. 15^\circ = 340,373$ Meter in der Sekunde.

In der Tabelle ist auch der Radius der benützten Röhre angeführt. Den *Einfluss der engen Röhren* auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls berechnet

¹⁾ Abgeleitet aus der Newton-La Place'schen Formel für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls.

Herr Dr. Veillon aus der von *Helmholtz* und *Kirchhof* konstruierten Formel):

$$c = C \left(1 - \frac{\gamma}{2 r \cdot \sqrt{\pi \cdot N}} \right)$$

wobei c = der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in engen Röhren, C = der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls im Freien, γ eine von Herrn Prof. Kaiser in Bonn berechnete konstante, $2r$ = dem Durchmesser der benutzten Röhre, π = der bekannten zur Berechnung des Kreisumfangs und Inhalts dienenden konstanten 3,1415926 und N = der Schwingungszahl ist.

Als Wert für γ fand Herr Professor Kaiser 0,0235; Helmholtz hatte einen grösseren Wert gefunden.

Die Photographien der Wellenlinie der drei höchsten Stimmgabeln dieser Königschen Reihe re^9 mi^9 fa^9 (d^7 e^7 f^7) sind in Tafel I zu sehen; sie wurden wie die Photographien der übrigen Präparate von Herrn H. Speiser, Mitglied unserer naturforschenden Gesellschaft, ausgeführt. Viel schwieriger als durch Anstreichen der Königschen Stimmgabeln gelang die Darstellung der Wellenlinien durch Anschlagen der Königschen Klangstäbe. Dieselben mussten in einem eisernen Rahmen mittelst stärkster Violinsaite möglichst unbeweglich fixiert werden.

Es gelang mir die richtige Stimmung derselben bis zur Tonhöhe c^7 , ut^9 nachzuweisen. Für c^7 war schon die Darstellung der Wellen sehr schwierig. Es erschien aber doch nach längerem Klopfen eine schöne, die ganze Länge der Röhre einnehmende Wellenlinie.

Sehr gern hätte ich auch die richtige Stimmung des Klangstabs mi^9 e^7 nachgewiesen, weil auf derselben die Zwaardemakersche Aichung der Galtonpfeife beruht.

¹⁾ Vergl. Melde Akustik.

Allein es zeigte sich gerade dieser Klangstab sehr verstimmt; der Ton entsprach eher einem d^7 als einem e^7 , vergl. Photographie. Allein ich muss bemerken, dass ich diese Klangstäbe schon seit mehr als 12 Jahren zu klinischen Zwecken gebrauche und dass sie während dieser Zeit schon Gelegenheit hatten, verstimmt zu werden.

Es erschien die Staubfigur für diesen Ton erst nach mehrfachen vergeblichen Versuchen, indem erst die Violinsaiten rissen, und dann erst nach ungefähr halbstündlichem, anhaltendem starkem Klopfen.

Bei dem Anblasen der Pfeifen, der Galtonpfeifen, der Appunnschen Pfeifen und der höheren Oktaven der Urbantschitschen Harmonika erschienen die Staubfiguren sehr leicht.

Es hatte schon am dritten Otologen Kongress zu Basel im Jahr 1885 Herr Professor Hagenbach-Bischoff mittelst der Tyndallschen empfindlichen Flammen gezeigt, dass die Galtonpfeife (das von Herrn Dr. Rudolph König fabrizierte Instrument¹⁾) Töne hervorbringt, welche jenseits der menschlichen Gehörperception zu liegen kommen. Durch diese Demonstration Herrn Professor Hagenbachs, sowie durch die Arbeiten *Burkhardt-Merians* wurde diese Pfeife bald unter Ohrenärzten populär. Das ursprünglich Tisleysche Instrument hatte Herr Professor Hagenbach aus England mitgebracht.

Bei dem Anblasen des der hohen Hörgrenze entsprechenden Teilstrichs meines Exemplars²⁾ der König'schen Galtonpfeife erhielt ich allerdings nur Andeutung von Wellen, keine messbaren Wellenlinien (bei

1) Die ersten Galtonpfeifen wurden bekanntlich nach der Angabe Galtons von Tisley in London fabriziert.

2) Mein Exemplar ist nicht direkt von König, sondern von Walter Biondetti in Basel bezogen, trägt aber die Marke R. Königs.

Teilstrich 2, 1). Es sind also offenbar die empfindlichen Flammen geeignet, die Existenz noch höherer Töne zu demonstrieren als die Staubfiguren, was uns ja nicht wundern darf. Dagegen gelingt es meines Wissens bis jetzt noch nicht, die Tonhöhe dieser nur mit den empfindlichen Flammen nachweisbaren Töne zu bestimmen.

Die höchste messbare Wellenlinie erhielt ich für diese Pfeife bei Teilstrich 2,3; die Wellenlinie entsprach dem Ton f^7 (fa^9).

Die höchsten bestimmbaren und noch sehr gut hörbaren Töne dieser Pfeife reichen also bis zur Tonhöhe der höchsten König'schen Stimmgabel bis zu 21,931 V D.

Von dem Teilstrich 2,3 bis Teilstrich 9,0 inklusive entsprachen die Tonhöhenbestimmungen meines Exemplars der König'schen Galtonpfeife¹⁾ ziemlich annähernd den Zwaardemaker'schen Aichungen.

Bei dem Anblasen der 3 tiefsten Teilstriche 10, 11 und 12 erhielt ich dagegen anfänglich nur Obertöne. Es kam wieder f^7 zum Vorschein. Erst als ich mich einer grösseren und weiteren Röhre bediente, erhielt ich eine sehr komplizierte Wellenlinie, in welcher man wohl einen Grundton erkennen kann. Derselbe ist aber der vielen in Form von Bäuchen und Knoten kleinerer Dimension hervortretenden Obertöne wegen nur äusserst schwer bestimmbar. Die Resultate meiner Tonhöhenbestimmung sind in folgender Tabelle mit derjenigen Zwaardemakers verglichen.

¹⁾ Es sind bekanntlich keine zwei Exemplare der Galtonpfeifen hinsichtlich der den einzelnen Teilstreichen entsprechenden Tonhöhen einander vollständig gleich. Ein Vergleich mit einem andern Exemplar ist deswegen immer nur annähernd durchführbar.

Königsche Galtonpfeife.

Bestimmung der Tonhöhe d. Exemplars von Zwaardemaker n. d. Methode van den Plaats	Teilstrich (Pfeifen- länge in mm)	Bestimmung der Ton- höhe meines Exemplars nach der Kundtschen Methode der Staubfiguren
f ⁷	1,0	—
e ⁷	1,25	—
d ⁷	1,8	—
—	2,3	f ⁴
c ⁷	2,4	—
—	2,5	e ⁷
b ⁶	2,8	—
—	3,0	d ⁷
—	3,5	c ⁷
a ⁶	3,7	—
—	4,0	h ⁶
g ⁶	4,8	—
—	5,0	a ⁶
—	5,6	g ⁶
f ⁶	6,1	—
—	6,5	f ⁶
e ⁶	6,8	—
—	7,0	e ⁶
—	7,5	d ⁶
d ⁶	8,0	—
c ⁶	9,0	c ⁶
h ⁵	10,0	} Obertöne
a ⁵	11,0	
gis ⁵	12,0	

Bei dem Anblasen meines älteren Exemplars der Edelmannschen Galtonpfeife erhielt ich die höchste messbare Wellenlinie bei Teilstrich 0,6 ziemlich genau der normalen hohen Grenze für dieses Exemplar entsprechend.

Die Wellenlinie war eine komplizierte und bestand aus längeren Wellen, entsprechend ungefähr dem Ton c^6 und kürzeren etwas unregelmässigen Wellen, welche einer Tonhöhe von nahezu c^8 entsprechen.

Fast ebenso verhielt sich mein neueres Exemplar der Edelmannschen Galtonpfeife. Die höchste, gut messbare Wellenlinie erhielt ich bei Teilstrich 0,5; ebenfalls war die Linie kompliziert, bestehend aus längeren Wellen entsprechend ungefähr der Tonhöhe e^6 und kürzeren Wellen, ziemlich genau a^7 . Es zeigt sich in beiden Fällen sehr deutlich, dass die kürzeren Wellen Teilwellen des Grösseren, also Obertöne der den grösseren Wellen entsprechenden Töne sind. Für mein neueres Exemplar befindet sich nach Edelmann die normale hohe Grenze bei Teilstrich 0,2. In dieser Höhe erhielt ich aber für beide Exemplare nur Andeutungen von Wellen, die nicht zu messen waren. Eine Wellenlinie erhielt ich für mein neueres Exemplar schon bei Teilstrich 0,4 (vergl. Photographie). Die Wellen waren aber noch nicht sehr genau messbar; sie erschienen ziemlich unregelmässig.

Eine schöne regelmässige, der Tonhöhe a^7 entsprechende Wellenlinie erhielt ich für beide Exemplare nur bei Teilstrich 1,3.

Von der Tonhöhe a^7 an abwärts entsprachen meine Tonhöhenbestimmungen ziemlich genau den Edelmannschen Aichungen des neueren Exemplars; diese stimmt auch ihrerseits ziemlich genau mit den Stumpf und Meyerschen Tonhöhenbestimmungen, wie aus folgender Zusammenstellung zu entnehmen ist, überein.

Edelmannsche Galtonpfeife

Teilstrich resp. Pfeifenlänge in mm	Tonhöhe		
	n. Edelman	n. Stumpf u. Meyer	best. mittelst Staubfiguren
0,5	—	30000 V. d. = h^7	$e^5 + a^7$ bis h^7
0,7	—	25000 V. d. = g^7	—
1,2	a^7	—	a^7
1,6	—	20000 V. d. = e^7	—
2,2	—	18400 V. d. = d^7	—
2,9	—	16000 V. d. = c^7	—
3,2	e^7	—	e^7
3,6	a^6	—	b^6
3,7	—	14000 V. d. = a^6	—
4,8	—	12000 V. d. = g^6	—
5,5	—	11000 V. d. = f^6	—
6,4	—	10000 V. d. = e^6	—
7,4	—	9000 V. d. = d^6	—
8,7	e^6	8000 V. d. = c^6	c^6
9,5	a^5	—	a^5
10,2	—	7000 V. d. = a^5	—
15,3	—	5000 V. d. = e^5	—
18,0	c^5	—	c^5
19,5	—	4000 V. d. = c^5	—
22,7	a^4	—	a^4

Sehr wichtig ist es bei dem Gebrauch der Edelmann'schen Galtonpfeife, sich der richtigen *Mundweite* zu bedienen. So entsteht bei grosser Mundweite bei dem Anblasen eines der tiefsten Töne der Edelmannschen Galtonpfeife, des Tons a^4 beider Exemplare in einer zirka 2 cm weiten Röhre wirklich die dem Ton a^4 entsprechende Wellenlinie. Nehmen wir dabei aber die enge Mundweite, so entstehen in der gleichen Röhre für den gleichen Teilstrich sehr hohe Obertöne.

Meine Studien über die Obertöne, die beim Überblasen der Pfeifen oder bei dem Gebrauch zu enger Röhren entstehen, sind vorläufig noch nicht abgeschlossen.

Die Photographien der Wellenlinien Königscher und Edelmannscher Galtonpfeifen sind in Tafeln II bis Tafel III zu sehen.

Sehr auffallend ist das Erscheinen der relativ tiefen Töne e^6 , in einem Fall sogar g^5 bei höchsten Teilstrichen der Edelmannschen Galtonpfeife.

Dieses stimmt mit einer Beobachtung Stumpf und Meyers überein, welche angaben, dass unmittelbar vor dem Erreichen der hohen Grenze, sie das Erscheinen eines tieferen Tons mit der Differenzton-Methode beobachten konnten. Die Tonhöhe desselben geben beide Autoren nicht an. Jedenfalls deutet das Erscheinen dieses tieferen Tons auf einen die Konstruktion oder Ausführung der Pfeife betreffenden Fehler.

Meine Untersuchung der hohen Appunnschen Pfeifenserie bestätigt diejenige Stumpf und Meyers. Die Tonhöhe des angeblichen gis^8 Appunns schwankt nach der Stärke des Anblasens. Sie beträgt zwischen 10,000 und 11,000 v. d.

Bei dem photographierten Versuch (Tafel III) beträgt diese Tonhöhe annähernd fis^6 .¹⁾ Die Tonhöhe ist von der Windstärke und von dem Durchmesser der benützten Röhre bis zu einem gewissen Grade abhängig.

Sehr schön waren auch die Wellenlinien der höheren Oktaven der *Urbantschitschschen Harmonika* darstellbar. Auffallender Weise kamen nie in der Wellenlinie Obertöne in Form kleinerer Bäuche zum Vorschein, obgleich die Töne der Harmonika musikalisch an Obertönen reiche Klänge sind. Obertöne kamen nur dann zum Vorschein, wenn ich mich einer zu engen Röhre bediente. Stets war dabei die Wellenlinie ganz regelmässig nur einen einzigen Ton darstellend.

Bei dem Hervorbringen von Geräuschen entsteht in der Kundtschen Röhre erst eine unregelmässig gezackte Linie, bei fortgesetzter Einwirkung des Geräusches eine Reihe regelmässiger, dicht neben einander liegender paralleler Fäden.

Fassen wir nun die Resultate dieser Untersuchungen zusammen, so ergibt sich zunächst, *dass man mit dieser Methode die Tonhöhe der zur Bestimmung der hohen Hörgrenze dienenden Instrumente in absolut sicherer und äusserst genauer Weise bestimmen kann.*

Es ist jeder Physiologe und jeder Ohrenarzt im Stande, mit einigen Glasröhren und etwas Lycopodiumstaub die Tonhöhe seiner Instrumente, hohe Stimmgabeln und Galtonpfeifen ohne grössere Mühe zu bestimmen.

Fehlerhafte Konstruktion und falsche Tonhöhenbestimmung der betreffenden Instrumente sind mittelst dieser Methode mit absoluter Sicherheit nachweisbar.

¹⁾ Die im Bernoullianum gemeinschaftlich mit Herrn Dr. Veillon vorgenommenen Versuche ergaben bei 500 mm Wasserdruck entsprechender Windstärke ebenfalls fis^6 .

Hinsichtlich der normalen hohen Hörgrenze gibt uns diese Methode Aufschluss, dass, wenn die hohe Hörgrenze für Königsche Klangstäbe bei jugendlichen Normalhörenden e^7 beträgt,¹⁾ der Ton f^7 (fa^9) der Königschen Stimmgabeln unter Umständen von Normalhörenden gehört wird.

Erforderlich ist dazu, dass die Gabel sehr gut angestrichen werde und dass der zu Prüfende den feinen spitzen Ton von dem schabenden Geräusch des Bogens zu unterscheiden gelernt habe.

Da nun, wie ich ad oculos demonstrieren kann, die Stimmung dieser Gabel ganz zweifellos richtig ist, so wird auch f^7 unter Umständen gehört.

f^7 hören aber Normalhörende auch, wenn der Ton von der Königschen Galtonpfeife ausgeht. Das mittelst der Staubfiguren nachgewiesene f^7 meiner Königschen Galtonpfeife Teilstrich 2,3 hören alle für hohe Töne Normalhörende und zwar sehr leicht. Die normale hohe Grenze liegt ja noch höher als 2,3.

Ganz zweifellos hören Normalhörende aber auch den Ton a^7 meiner Edelmannschen Galtonpfeife (Teilstrich 1,3). Die normale hohe Grenze für diese Pfeife liegt ja bei dem viel höheren Teilstrich 0,2; und bei Teilstrich 1,3 meines neueren Exemplars entsteht nachweislich kein anderer Ton als a^7 .

Es liegt somit nach neuesten Beobachtungen die normale hohe Hörgrenze:

- 1^o Für die Königschen Klangstäbe bei mi^9 (e^7) = 20480 v. d., wenn die Stimmung dieses Klangstabs richtig ist. Für mein Exemplar ist dieser Ton ein d^7 , re^9 = 18432 v. d.

1) Vergl. Untersuchungen von Zwaardemaker l. C. und von Siebenmann „Beiträge zur funktionellen Prüfung des normalen Ohres“, Z. f. O. XXII. Band, drittes und viertes Heft 1892.

- 2^o Für die Königschen Stimmgabeln bei f^7 (fa^9)
= 21845 v. d.
- 3^o Für die Königsche Galtonpfeife bei f^7 (fa^9)
= 21845 v. d., vielleicht aber auch noch etwas
höher.
- 4^o Für die Edelmannsche Galtonpfeife bei a^7 (la^9)
= 27361 v. d. Vielleicht gelangen mittelst dieser
Pfeife noch etwas höhere Töne zum Bewusst-
sein.¹⁾ Instrumente, welche *nachweisbar* 40000
v. d. geben, sind bis jetzt nicht konstruiert. Es
wurden Töne solcher Höhe auch noch nicht
gehört.

Diese Beobachtungen bestätigen die Ansicht *Meldes*,
dass die hohe Hörgrenze auch sehr von der Intensität
der geprüften Töne abhängig ist.

Diese Intensität können wir allerdings bis jetzt
nicht messen. Dadurch wird aber die Zuverlässigkeit
der bisherigen Versuche keineswegs in Frage gestellt.

Es steht nur noch die Frage offen, welche In-
tensität müssen diese höchsten Töne haben, um vom
normalhörenden Gehörorgan percipiert zu werden?

Vergleichen wir nun die Methode der Tonhöhen-
bestimmung höchster hörbarer Töne mittelst der
Kundtschen Staubfiguren mit einigen anderen vorhin
erwähnten Methoden, so verdient, glaube ich, die
Kundtsche Methode in vieler Beziehung vor den übrigen
den Vorzug. Denn es gelang weder Stumpf und Meyer
mit ihrer Differenztonmethode, noch Melde mit seiner

¹⁾ Da es nun sicher ist, dass die erwähnten Töne von einer
Anzahl von Personen gehört wurden, unter denen sich auch solche
befanden, die für tiefere Töne nicht normalhörend sind, so kann
eine später vorzunehmende Untersuchung Normalhörender nur noch
die Frage ins Auge fassen, ob nicht Normalhörende noch etwas
höhere Töne zu percipieren im Stande sind.

objektiven Resonanzmethode oder mit seiner optisch graphischen Methode, Tonhöhen von Stimmgabeln zu bestimmen, die höher waren als c^7 !¹⁾

Rudolph König reicht mit seiner Tonhöhenbestimmung durch die Stosstöne bis nahezu zur höchsten Grenze menschlicher Gehörperception, in letzter Zeit noch etwas höher als f^7 .

Mittelst dieser Methode reichen wir aber mit Leichtigkeit und Sicherheit bis a^7 , vielleicht unter günstigen Umständen noch etwas höher, was erst noch durch weitere Versuche ermittelt werden muss.

Es ist mir bis jetzt nicht bekannt, ob neuerdings die Tonhöhe höchster hörbarer Töne mittelst der manometrischen Flammen der Schwingungszahl nach bestimmt werden konnte; es hat aber jedenfalls die Kundtsche Methode den Vorzug, dass man ihre Resultate behufs genauerer Kontrolle mit der Photographie sehr leicht fixieren kann.

Ich ergreife mit grosser Freude diese Gelegenheit, um denjenigen Herren, die mir durch ihre guten Ratschläge das Gelingen dieser Versuche ermöglichten, Herrn Dr. *Rudolph König*, Herrn Professor *Hagenbach-Bischoff* und Herrn Privatdozenten Dr. *Veillon* meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

¹⁾ Die maximale Tonhöhe von Stimmlatten, welche *Melde* mittelst seiner Resonanzmethode bestimmen konnte, betrug 26731 v. d.

Erklärung der Tafeln.

Tafel I.

Königsche Stimmgabeln.

- Fig. 1 fa⁹ (f⁷).
 Fig. 2 mi⁹ (e⁷).
 Fig. 3 re⁹ (d⁷).

Königsche Klangstäbe.

- Fig. 4 mi⁹ (e⁷) untersucht bei 15⁰ C., verstimmt.
 Fig. 5 ut⁹ (c⁷) untersucht bei 20⁰ C., richtig.

Röhrendurchmesser bei allen Versuchen 6 mm. Bei den Figuren 1, 2 und 3 beträgt die Röhrenlänge auf der Photographie 28 cm. anstatt 29 cm., welches der natürlichen Grösse entsprechen würde. Figuren 4 und 5 sind von natürlicher Grösse.

Tafel II.

Edelmansche Galtonpfeife.

(Älteres Exemplar.)

- Fig. 6 Teilstrich 0,6 (angeblich a⁸), wirkliche Tonhöhe approximativ e⁶ + c⁸.
 Fig. 7 „ 1,3 (angeblich c⁸), wirkliche Tonhöhe approximativ a⁷.

Edelmansche Galtonpfeife.

(Neueres Exemplar.)

- Fig. 8 Teilstrich 1,2, approximative Tonhöhe g⁶ + a⁷.
 Fig. 9 „ 0,5, „ „ e⁶ + a⁷.
 Fig. 10 „ 0,4, „ „ g⁵ + c⁸.

Röhrendurchmesser für alle Versuche 6 mm. Röhrenlänge bei Figuren 6 und 7 28 cm. anstatt 29 cm. = natürlicher Grösse, bei Figuren 8, 9 und 10 entspricht die Röhrenlänge der natürlichen Grösse.

Tafel III.

Edelmansche Galtonpfeife.

(Neueres Exemplar.)

(a. *Grosse Mundweite.*)

Fig. 11 Teilstrich 22,7, angebliche Tonhöhe a^4 , wirkliche Tonhöhe a^4 .

(b. *Enge Mundweite.*)

Fig. 12 Der gleiche Teilstrich, der Staubfigur entsprechende Tonhöhen aus Obertönen zusammengesetzt.

Röhrendurchmesser für beide Figuren 2,0 cm.

Abbildungen in natürlicher Grösse.

Königsche Galtonpfeife.

Fig. 13 Teilstrich 2,3, Tonhöhe f^7 (fa^9).

Fig. 14 „ 3,0, „ d^7 (re^9).

Appunnsche Pfeife.

Fig. 15 Angebliches gis^8 , wirkliche Tonhöhe approximativ fis^6 .

Röhrendurchmesser bei Fig. 13 = 5 mm., bei allen anderen Figuren 6 mm. Alle Abbildungen sind von natürlicher Grösse.

Nachtrag.

Herr Anton Appunn gibt an, dass bei einem gewissen Winddruck, den er mittelst der von den Orgelbauern benutzten Wasserwage in mm. bestimmte, die wirkliche Tonhöhe seiner hohen Pfeifchen ihrer angeblichen Tonhöhe vollständig entspricht. (Vergl. Annalen der Physik und Chemie, neue Folge, Band 64, 1898.)

In der Hoffnung, dass sich diese Angaben Appunns bestätigen würden, nahm ich gemeinschaftlich mit Herrn Dr. Veillon im hiesigen physikalischen Institut eine Versuchsreihe vor. Herr Dr. *Veillon* hatte die Freundlichkeit, mittelst der im Bernoullianum befindlichen Kompressionspumpe den von Herrn Anton Appunn geforderten Winddruck herzustellen; derselbe wurde mittelst eines Manometers genau bestimmt und konnte beliebig lang auf die geforderte Höhe gehalten werden.

Mittelst dieses bekannten Winddrucks gerieten die Pfeifen zum Tönen und wurde die dem Ton entsprechende Staubfigur in der kleinen Kundtschen Röhre hervorgebracht.

Wir erhielten folgende Resultate:

Tabelle I.

Tonhöhe nach Appunn	$\frac{\lambda}{2}$ in cm.	Temp. Celsius	Radius der Röhre mm.	Winddruck mm.	Tonhöhe der zunächst liegenden Töne
gis ⁸	1,459	12 ^o ,9	3	500	f ⁶ = $\frac{\lambda}{2}$ 1,558
e ⁸	1,750	12 ^o ,4	3	400	e ⁶ = $\frac{\lambda}{2}$ 1,662
					d ⁶ = $\frac{\lambda}{2}$ 1,847
c ⁸	1,933	13 ^o ,0	3	304	d ⁶ = $\frac{\lambda}{2}$ 1,847
					c ⁶ = $\frac{\lambda}{2}$ 2,077
gis ⁷	2,080	13 ^o ,0	3	248	c ⁶ = $\frac{\lambda}{2}$ 2,077
e ⁷	2,411	13 ^o ,1	3	200	a ⁵ = $\frac{\lambda}{2}$ 2,493
c ⁷	2,625	13 ^o ,2	3	152	g ⁵ = $\frac{\lambda}{2}$ 2,770
gis ⁶	2,650	13 ^o ,2	3	124	f ⁵ = $\frac{\lambda}{2}$ 3,116
e ⁶	3,250	13 ^o ,2	3	100	e ⁵ = $\frac{\lambda}{2}$ 3,324

Mittelst der folgenden, in der Tonreihe tiefer gelegenen Pfeifen war es nicht möglich, bei dem von Appunn angegebenen Winddruck die Staubfiguren darzustellen. Der Druck war zu schwach, und es geriet der Lycopodiumstaub nicht in Bewegung. Dagegen kamen die Staubfiguren bei höherem Winddruck zu

stande und es konnten an demselben folgende Wellenlängen gemessen werden:

Tabelle II.

Tonhöhe nach Appunn	$\frac{\lambda}{2}$ in cm.	Temp. Celsius	Radius der Röhre mm.	Winddruck mm. Wasser	Tonhöhe der zunächst liegenden Töne
c ⁶	3,178	13 ^o ,2	6	315	f ⁵ = $\frac{\lambda}{2}$ 3,116
e ⁵	3,778	13 ^o ,2	6	290	} d ⁵ = $\frac{\lambda}{2}$ 3,693
gis ⁵	3,569	13 ^o ,2	6	230	
c ⁵	4,073	13 ^o ,2	6	280	c ⁵ = $\frac{\lambda}{2}$ 4,155
*gis ⁴	5,111	13 ^o ,2	6	200	g ⁴ = $\frac{\lambda}{2}$ 5,540
e ⁴	2,309	13 ^o ,2	6	370	} h ⁵ = $\frac{\lambda}{2}$ 2,216

Es folgt aus diesen Beobachtungen, dass die von Herrn Appunn angeblich bei dem von ihm bezeichneten Winddruck entstehenden Tonhöhen von c⁵ an aufwärts der Wirklichkeit leider nicht entsprechen.

In Pflügers Archiv für Physiologie erschienen. A. Schwendt.

* Von g⁴ an abwärts entstehen bei dem angegebenen Druck Obertöne.

© Biodiversity Heritage Library <http://www.biodiversitylibrary.org/> <http://www.zobodat.at>

Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3

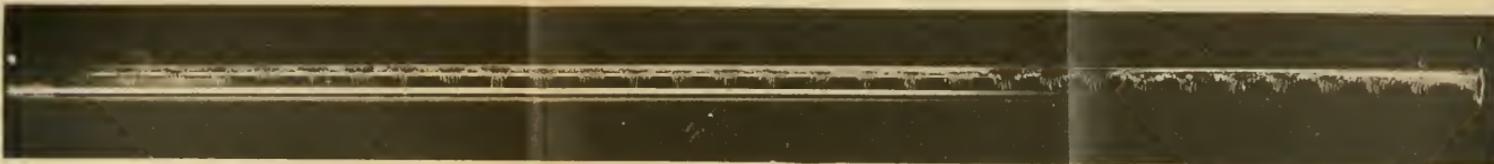


Fig. 4



Fig. 5



Fig. 6

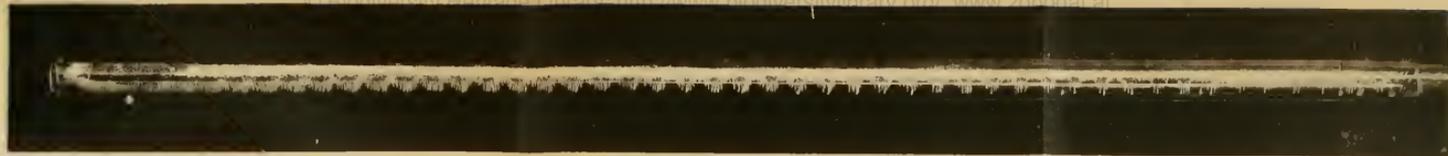


Fig. 7



Fig. 8



Fig. 9



Fig. 10



Fig. 11



Fig. 12



Fig. 13



Fig. 14



Fig. 15



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel](#)

Jahr/Year: 1900

Band/Volume: [12_1900](#)

Autor(en)/Author(s): Schwendt A.

Artikel/Article: [Experimentelle Bestimmungen der Wellenlänge und Schwingungszahl höchster hörbarer Töne 149-178](#)