Sound & Science: Digital Histories

Edelmann, Max Thomas. “Studien über die Erzeugung sehr hoher Töne vermittelst der Galtonpfeife (Grenzpfeife).“ Annalen der Physik 2, no. 4 (1900): 469-482.

https://acoustics.mpiwg-berlin.mpg.de/node/396

Scan licensed under: CC BY-SA 3.0 DE | Max Planck Institute for the History of Science

4. *Studien über die Erzeugung sehr hoher Töne vermittelst der Galtonpfeife (Grenzpfeife); von M. Th. Edelmann.*

Die sogenannte Galtonpfeife ist seit einiger Zeit den Ohrenärzten und Physiologen allgemeiner, jedoch den Physikern, wie mir scheint, noch wenig bekannt geworden. Dieses Instrument soll zur bequemen Erzeugung einer möglichst hoch hinaufreichenden Folge von hohen und auch ultramusikalischen Tönen, etwa von $a^4 = 3280$ g. S. angefangen, dienen und ist ursprünglich nur für ohrenärztliche Untersuchungen bestimmt gewesen. Die neueren Untersuchungen mit dieser Pfeife sind jedoch auch für den Physiker von hohem Interesse, weshalb ich eine von mir kürzlich in der „Zeitschrift für Ohrenheilkunde" veröffentlichte Arbeit mit einigen Abänderungen und Ergänzungen hier wiedergebe.

Nach der ursprünglichen Angabe Galton's [1]) ist die nach ihm benannte Pfeife als gedackte Orgelpfeife kleinsten Kalibers construirt, und mit einem durch Mikrometerschraube längs Maassstab verstellbaren Stempel versehen. Die Angabe über Tonhöhe geschah nur nach Pfeifenlängen in Millimetern. Gewöhnlich wird sie vermittelst eines kleinen Gummiballes, den man in der hohlen Hand hält und mit der Daumenspitze drückt, angeblasen und erzeugt auf diese Weise kurzdauernde (deshalb sehr gut zu unterscheidende) und verhältnismässig starke Töne, deren Schwingungszahl beim Hineinschrauben des Stempels continuirlich wächst und für die älteren Constructionen bei etwa 25000 g. S. sichere Töne zu geben aufhört.

Bei meiner neuen Form der Grenzpfeife geht der Ton bedeutend weiter in die Höhe und überschreitet für ausgezeichnet Hörende mit etwa 50000 g. S. die Hörgrenze, worauf kein Ton, sondern nur mehr das Blasegeräusch gehört wird. Bei Pfeifen mit sehr kleinem Lumen ist jedoch die

1) Galton, Inquiries into human faculty, p. 375 ff. 1883.

Bildung regelmässiger Luftschwingungen bei 110000 g. S. (etwa 3 mm Wellenlänge) experimentell leicht zu verfolgen und zwar vermittelst der von Schwendt zuerst bekannt gemachten Anwendung von Kundt'schen Staubfiguren zur Bestimmung sehr hoher Töne, welche auch von R. König[1]) angegeben und benutzt wurde.

Die ausserordentlich interessante Arbeit von Herrn A. Schwendt-Basel: „Experimentelle Bestimmung der Wellenlänge und Schwingungszahl höchster hörbarer Töne“[2]) hat in Bezug auf die Herstellung und Aichung der „Grenzpfeife“ wesentliche Erfolge gebracht. Bei deren Anfertigung war man früher fast ganz allein darauf angewiesen, die Beurteilung über ihre Brauchbarkeit oder Mängel dem Ohre anzuvertrauen; d. h. man laborirte so lange an jeder Pfeife herum, bis jemand, von dessen tadellosem Hörvermögen man überzeugt zu sein glaubte, bei einer Pfeifenlänge von etwa einem Millimeter und möglichst verkleinerter Maulweite einen recht spitzen Ton hörte. Bei gleicher Maulweite wie vorher, aber noch kürzerem Rohre, durfte schliesslich, wenn die Pfeife tadellos sein sollte, nichts weiter gehört werden, als bloss das reine Fauchen des austretenden Luftstromes.

Das Aichen war *noch* unsicherer. Ich bediente mich hierzu einer im Vergleiche zum Galton etwa fünffach vergrösserten, aber dieser vollkommen formähnlichen Pfeife. Bis zu gewissen Grenzen darf angenommen werden, dass sich die *gleichwertigen* Intervalle stimmen, wenn geometrische Formähnlichkeit der in beiden Pfeifen tönenden Luftsäulen eingehalten wird. Während nun das Durchstimmen der Grenzpfeife mit dem Ohre unmöglich und mit anderen Mitteln sehr schwierig ist, sind die viel tieferen (bezüglichen) Töne der *grossen* Pfeife mit den gewöhnlichen Mitteln ganz gut einzustellen und so ergiebt sich aus der Aichung der grossen Pfeife eine fünffach vergrösserte Aichung der Grenzpfeife.

Um ein erläuterndes Beispiel für diese Aichungsweise anzuführen, will ich zunächst annehmen, man habe für die Galtonpfeife (4 mm Durchmesser) mit einer Pfeifenlänge von

1) R. König, Wied. Ann. **69.** p. 626 u. 721. 1899.
2) A. Schwendt, Verhandl. d. naturf. Gesellsch. Basel **12.** Heft 2.

22,35 mm den Ton a^4 gefunden. Auf diesen Ton lässt sich noch leicht mit den sonst für das „Stimmen" gebräuchlichen Mitteln einstellen. Der 5,4 mal dickeren Pfeife giebt man nur eine Pfeifenlänge von $5{,}4 \times 22{,}35 = 120{,}7$ mm. Die tönenden Luftsäulen beider Pfeifen sind jetzt (in geometrischem Sinne) einander ähnlich. Bläst man unter solchen Verhältnissen die grosse Pfeife an, so ertönt sie mit dem Tone c^2. Dieselbe Pfeife besitzt für c^3 die Länge von 56,7 mm; sie stimmt c^4 bei 22,8 mm und c^5 bei 6,5 mm Pfeifenlänge. Dem angedeuteten Proportionalitätsgesetz entsprechend ist also beim Galton die Pfeifenlänge

$$\begin{aligned} \text{für } a^5 &= 56{,}7 : 5{,}4 = 10{,}5 \text{ mm} \\ a^6 &= 22{,}8 : 5{,}4 = 4{,}2 \text{ „} \\ a^7 &= 6{,}5 : 5{,}4 = 1{,}2 \text{ „} \end{aligned}$$

Mit Hülfe der Kundt'schen Staubfiguren sind später die wahren bezüglichen Längen zu 22,36—10,7—4,4 und 1,23 mm gefunden worden. Man ersieht aus diesen Zahlen, dass die angegebene Aichungsmethode noch bis a^7 gute Resultate liefern *kann*. Für noch höhere Töne wird jedoch diese Aichungsmethode unzuverlässig, weil die (günstigsten) Maulweiten *nicht* dem angegebenen Proportionalitätsgesetze für die übrigen Pfeifenausmaasse folgen. Die Tonhöhe ist von der Maulweite sehr abhängig, wie die nachstehend angegebenen Versuche beweisen.

Bei einer als gut erkannten Grenzpfeife wurden successive (von 24 mm an) zuerst von 2 zu 2 mm abnehmend bis 4 mm herab alle Pfeifenlängen eingestellt; hierauf wurden noch kleinere Pfeifenlängen näher aneinander stehend experimentirt, wie dies in der ersten, mit L bezeichneten Columne der nachstehenden Tab. I angegeben ist.

Für jede dieser Pfeifenlängen wurden die Maulweiten M variirt und mit Hülfe der Kundt'schen Staubfiguren festgesetzt, ob und welche Schwingungszahlen N zum Vorscheine kamen. Es zeigte sich z. B., dass für eine Pfeifenlänge von 24 mm zuerst ein reiner Ton auftrat, wenn man die Maulweite so vergrösserte, dass man am Mikrometer B, Fig. 1, den Wert 1,2 erreichte; dieser Ton kam zur Entwickelung bis $M = 1{,}4$. Er ist ein Oberton und hat 10 010 g. S. in der Secunde. Bei

successive erweitertem Maule erzeugte die Pfeife unklare Figuren, d. h. unreine Töne. Sie ertönt erst wieder mit regelmässigen Schwingungen bei Maulweiten zwischen 1,8 und 3,8, wobei aber ihr Ton (der Grundton) nach und nach von 3340 v. d. bis 3782 g. S. steigt. Bei noch mehr vergrösserter Maulweite wird die Pfeife zur Erzeugung reiner Töne wieder unbrauchbar.

Tabelle I.

L	*M*	*N*	*M*	*N*
24	1,2—1,4	10 010	1,8—3,8	3 340— 3 782
22	1,0—1,4	10 980	1,6—4,2	3 400— 3 546
20	0,8—1,0	20 020	1,4—4,0	3 780— 3 870
18	0,6—1,0	22 690	1,4—3,6	4 100— 4 480
16	0,9—1,0	24 310	1,4—3,2	4 600— 4 860
14	0,9—1,2	17 020	1,4—3,0	5 240— 5 490
10	0,8—1,0	18 910	1,3—3,0	5 972— 6 360
12	0,75—0,9	22 700	1,1—3,0	7 090— 7 560
8	0,5—0,6	25 220	0,7—3,0	8 110— 9 080
6	—	—	0,6—2,8	10 160—11 160
4	—	—	0,5—2,3	13 090—16 060
3	—	—	0,4—2,5	15 130—20 020
2	—	—	0,3—2,0	20 600—24 310
1,5	—	—	0,3—1,8	23 480—28 360
1	—	—	0,3—1,7	26 180—32 420
0,8	—	—	0,2—1,3	30 940—39 580
0,6	—	—	0,2—1,3	34 040—42 550
0,4	—	—	0,2—1,3	36 600—45 380
0,3	—	—	0,3—1,1	38 680—52 370
0,2	—	—	0,4—1,1	41 510—54 900
0,1	—	—	0,6—1,0	41 010—48 620
0,05	—	—	0,75—1,1	38 680—48 620

Die in der Tab. I niedergelegten Versuchsreihen zeigen: dass das untersuchte Galton nur bis zu einer Pfeifenlänge von 8 mm herab *reine* Obertöne bei enger Maulweite messen lässt. Ferner: dass, wie oben schon erwähnt, beim Anblasen des Grundtones eben dieser um so tiefer wird, je mehr man das Labium dem Mundstücke nähert. Es zeigt die Tab. I aber auch, dass das untersuchte Exemplar den höchsten durch

dasselbe erreichbaren Ton (54 000 g. S.) bei 0,2 mm Pfeifenlänge und 0,6 Maulweite giebt. Eine weitere Reduction der Pfeifenlänge erzeugte nicht nur keinen höheren, sondern sogar tiefere Töne. Woher dies kommt, weiss ich noch nicht; es zeigen indessen dieses Verhalten sehr viele Grenzpfeifen der älteren und auch der neuen Construction — aber nicht an derselben Stelle.

So wie oben geschildert war Herstellung und Aichung der Tongrenzpfeifen, bis die Arbeit Schwendt's bekannt wurde. Ich experimentirte sofort die Methode der Wellenlängebestimmung vermittelst Kundt'scher Staubfiguren unter Zuhülfenahme einer grossen Anzahl vorrätiger Pfeifen, und war darauf hin bei Gelegenheit der Naturforscherversammlung in München im September 1899 im stande, der ohrenärztlichen Section wesentliche Fortschritte vorzuführen. Dass Schwendt nicht selbst schon zum Nachweise der Entstehung ganz reiner sehr hoher Töne mit Hülfe meiner Tongrenzpfeife gekommen ist, liegt *nur* daran, dass er selbstverständlich noch mit solchen Instrumenten experimentirt hat, bei deren Herstellung nur das Ohr und nicht schon die Kundt'schen Staubfiguren mitgewirkt hatten; *darin* aber liegt gerade der grosse Erfolg der Anwendung dieser Staubfiguren, dass man durch dieselben endlich ein Mittel an der Hand hat [1]), mit unfehlbarer Sicherheit zu untersuchen, ob eine Pfeife taugt oder nicht: d. h. ob Mundstück und Pfeifenrohr genau conaxial sind; ob die cylindrische Schneide am Pfeifenrohr tadellos ist; ob der Stempel dicht etc. Dies alles ist erreicht, d. h. man hat ein brauchbares Instrument vor sich, wenn die Figuren *sofort* und bei verhältnismässig geringer Windpressung — ferner in regelmässiger, stehenbleibender Form in *allen* Tonhöhen, die man erreichen kann oder will, entstehen.

Bezüglich der Güte der Grenztonpfeifen war nicht ganz unwichtig, dass ich für dieselben schon seit Jahren die Form der Locomotivpfeife (kreisförmiges Mundstück, cylindrische Labie) gewählt habe; diese Wahl geschah aus dem einfachen Grunde,

1) A. Schwendt sagt in seiner Arbeit, p. 22, ganz richtig: „Fehlerhafte Construction und falsche Tonhöhebestimmung der betreffenden Instrumente sind mittels dieser Methode mit absoluter Sicherheit nachweisbar."

weil von allen mir bekannten Pfeifenformen diese allein für vollkommen exacte Herstellung durch das Werkzeug des Präcisionsmechanikers geeignet ist: alle wesentlichen Teile derselben können auf der Drehbank und durch Cylinderschliff hergestellt werden. Bei dieser Form der Pfeife ist ausserdem, was wohl zu bemerken ist, die Tonhöhe *sehr* wenig abhängig vom Winddruck.

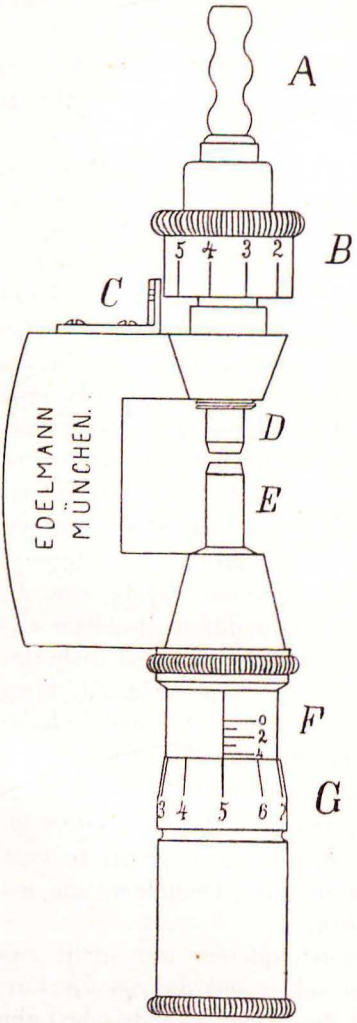

Fig. 1.

Nebenstehende Fig. 1 zeigt die Ansicht der neuen Form der Tongrenzpfeife. Die beiden wesentlichen Teile der Pfeife sind das Mundstück *D* und der Pfeifenkörper *E*. Das Mundstück ist ein ringförmiger Schlitz, aus welchem die Luft unter Druck ausströmt. Als Pfeifenkörper dient ein cylindrisches gedacktes Rohr, welches mit einer messerscharfen kreisförmigen Schneide bei *E* (Labie) beginnend, der kreisförmigen Stimmritze in passender Entfernung (Maulweite) genau gegenüber liegt. Die aus der Stimmritze ausströmende Luft trifft rings auf die Schneide am Pfeifenrohr, wodurch die in ihr abgegrenzte Luftsäule in intensiv tönende Vibration gerät.

Die Speisung mit Pressluft wird durch einen Schlauchansatz *A* vermittelt, über welchen man ein beigegebenes kleines Gummiballgebläse stülpt. Der Ball wird in der hohlen Hand gehalten und mit der Daumenspitze stossweise entsprechend stark gedrückt.

Auch andere Vorrichtungen, welche Pressluft liefern, könnte man zum Anblasen der Grenztonpfeifen verwenden, z. B. das Wassertrommelgebläse; allein die in solchen Apparaten behufs Förderung der Luft sich abspielenden mechanischen Vorgänge geschehen nicht lautlos und es tritt dabei ein Luftstrom in unsere Tonquelle, der schon mit Schallwellen belastet zu sein scheint; es ergiebt der Versuch, dass solche fremden Geräusche der normalen Tonentwickelung im Galton störend gegenübertreten. Man kann wenigstens so hohe Töne, wie sie vorher Niemand hervorgebracht hat (170000 g. S.) nur in der Nacht, wenn alles ruhig ist, *sicher* erhalten. Ein Gummiballgebläse ist von vorstehend geschilderten Nachteilen ganz frei und eine sehr einfache Sache; noch dazu scheinen die mit dem Gummiball hervorgebrachten, nur kurz dauernden Töne für das Ohr recht wahrnehmbar und unterscheidbar zu sein; sie sind bei weitem nicht so ermüdend als langanhaltende Töne, wenn es sich, wie hier fast stets, um obere Grenztöne oder diesen nahe liegende Schwingungszahlen handelt.

Mundstück *D* und Pfeifenkörper *E* sind in einen kräftigen Bügel eingeschraubt, an welchem das Instrument in die Hand genommen wird. Das Mundstück *D* trägt eine Teilungstrommel *B*, in Zehntel geteilt; diese Trommel läuft mit ihrem unteren Rande an einer Teilung *C* (es sind nur drei Scalenteile notwendig) vorüber; man kann vermittelst dieser Mikrometervorrichtung die Entfernung des Mundstückes von der Schneide am Pfeifenrohre — die sogenannte Maulweite — in ganzen und Zehntel-Schraubenumgängen variiren und ablesen. In der Fig. 1 ist beispielsweise die Maulweite auf 0,6 Schraubenumgänge (von einer in Wahrheit nicht ganz Null betragenden Anfangsstellung weg) eingestellt. Es hat sich diese neuere Einrichtung als unbedingt notwendig erwiesen, weil, wie wir oben in Tab. I gesehen, jeder Ton der Tongrenzepfeife eine Function von Pfeifenlänge *und* Maulweite ist.

Der Pfeifenkörper *E* ist ein gedacktes Rohr; d. h.: ein Stempel dichtet dem Mundstück gegenüber das Rohr immer ab. Jedoch ist dieser Stempel längs der Röhre zu verschrauben und seine jeweilige Höhe über dem Labium in Millimetern und deren Zehntel vermittelst Maassstab *F* und Trommel *G* abzulesen; beispielsweise sitzt bei der in der Fig. 1 gezeich-

neten Stellung die begrenzende Ebene des Stempels 4,5 mm unterhalb der Maulöffnung.

Sehr wesentlich ist es in Bezug auf den guten Zustand der Pfeife, dass die hauptsächlichsten Teile derselben (Stimmritze, Rohr und Stempel) recht rein gehalten werden. Das Reinigen darf jedoch nur mit ganz weichem Leder vorgenommen werden, damit Schärfe und Form des Labiums nicht leiden.

Mit solchen vollkommeneren Pfeifen kann man ohne Mühe constatiren, dass die äusserste Gehörgrenze bei manchen Personen an 50000 g. S. und noch etwas darüber hinaufreicht. Die Wahrnehmbarkeit von so hohen Tönen wird von Manchem bezweifelt, allein Melde urteilt sehr richtig, wenn er sagt, dass die Gehörgrenze von der Tonstärke abhängt und dass sich diese Grenze um so mehr nach oben erstreckt, je stärker die Töne sind. Die Töne der neuen Pfeife sind jedoch ausnehmend stark; dies lässt sich sehr leicht daraus schliessen, mit welcher Vehemenz der Figuren bildende Staub auf den ihm zukommenden Platz hingerissen wird, und wie bei richtiger Dimensionirung der Resonanzröhre und günstiger Stellung der Pfeife zu ihr sich die Fransen der Figuren im Rohre aufstellen: mitunter wie feststehende Membranen aussehend und bis über die Röhrenmitte aufsteigend. Erlischt der Ton, so sinken diese wunderschönen Gebilde in sich zusammen, um beim neuen Erklingen des Tones genau an derselben Stelle wie vorhin sich wieder aufzurichten.

Schwendt hat in seiner mehrfach citirten Arbeit ausführlich angegeben, wie man mit Hülfe der Kundt'schen Staubfiguren die Schwingungszahl hoher Töne findet; nachdem ich sehr viele solcher Versuche gemacht habe, möchte ich dessen Vorschriften noch ein weniges erweitern, hauptsächlich im Hinblick auf die Erzeugung von Figuren, welche sehr hohen Schwingungszahlen entsprechen.[1])

Man trägt in eine Glasröhre, welche an einem Ende mit Kork oder (bei engen Röhrchen) mit Klebwachs verschlossen,

1) Solche Bestimmungen eignen sich vortrefflich als Uebungsaufgabe im physikalischen Prakticum. (Preis der Pfeife 45 Mk.; Klemme und mehrere Röhrchen 8 Mk.)

wohl gereinigt und sorgfältig ausgetrocknet ist, trockenes Lycopodium ein und zwar kein grösseres Quantum, als zum Gelingen des Versuches eben unbedingt nötig ist. Hierauf wird das Pulver am verschlossenen Ende durch Verticalhalten der Röhre (und Klopfen) angehäuft. Jetzt hält man die Röhre mit dem offenen Ende schief nach abwärts, als wie wenn man das Pulver ausgiessen wollte. Es wird nach geringer Uebung und hauptsächlich dann, wenn alles recht trocken ist, sehr leicht gelingen, das Pulver in Form eines langen Streifens im Rohr zu verteilen. Bei sehr hohen Tönen empfiehlt es sich, das gröbere Pulver aus der Röhre fallen zu lassen und nur das allerfeinste, das an der Röhrenwand hängen bleibt, zu verwenden. Durch Klopfen mit einem Holzstäbchen an der Röhre kann man das gleichmässige Zurechtlegen des Pulvers noch unterstützen. Zuletzt muss man aber einen schwachen Schlag in der Richtung der Röhrenaxe machen, damit das Pulver sich lockert. Nun spannt man das Röhrchen in ein passendes Gestell horizontal ein und verdreht das Rohr so, dass der Staubstreifen nicht ganz unten, sondern etwas erhöht seitwärts liegt; das Pulver wird dann bei der leisesten Erschütterung herabgleiten können. Bläst man das Grenzpfeifchen in solcher Lage an, dass sich das Maul der Pfeife direct und mitten vor dem offenen Ende des Resonanzröhrchens befindet, so kommt die eingeschlossene Luftsäule zum Mitschwingen: natürlich im Tone der Pfeife. Da wo die Luftbewegungen am stärksten sind, fällt der Staub am weitesten herab — umgekehrt da, wo Schwingungsknoten sind, bleibt er oben liegen. Es bilden sich Wellenbäuche in Form herabhängender Fäden oder Festons und die Enden der Fäden bilden eine Wellenlinie, auf der man mit Leichtigkeit die Abstände der gleichen Höhen oder Tiefen messen kann. *Zwei* Wellenbäuche begrenzen eine *halbe* Welle.

Wie schon erwähnt, ist es unbedingt notwendig, dass sowohl die Röhren, als das Lycopodium ganz rein und trocken seien; das Pulver soll in der Röhre beim Neigen derselben leicht hin und her laufen, fast wie eine Flüssigkeit. Die Röhren werden zu diesem Zwecke zuerst mit rauchender Salpetersäure, dann mit destillirtem Wasser, endlich mit Alkohol ausgewaschen und im warmen Luftstrom getrocknet. Auch ist

anzuraten, Röhren und Pulver stets in einem gut schliessenden Gefäss aufzubewahren, in welche man irgend ein Trocknungsmittel, z. B. gebrannten Kalk, Phosphorsäure, Chlorcalcium oder dergl. giebt. Das Lycopodium trockne ich unter der Luftpumpe über Schwefelsäure (wobei durch Platzen der einzelnen Pollenkörner höchst eigentümliche Erscheinungen kommen). Man bedient sich zum Hervorbringen guter Staubfiguren einer Auswahl von Röhren, die zwischen einer Länge von 300 mm mit einem Lumen von 8 mm bis zur Länge von 20 mm und 1,5 mm lichter Weite variiren. Sehr hohe Töne erzeugten klare Figuren nur in sehr engen, kurzen (und dünnwandigen) Röhrchen; es muss selbstverständlich die Luftsäule im Röhrchen so erraten werden, dass sie auf den jeweils zu bestimmenden Ton *leicht* anspricht. Zum bequemen Einspannen der Röhrchen habe ich die in Fig. 2 abgebildete einfache Klemme construirt. Die Kundt'sche Röhre wird zwischen zwei Korkstöpseln *a* und *b* festgehalten, die vermittelst der Schraube *d* einander genähert werden. Mit der Zwinge bei *e* wird das Ganze an eine Tischplatte geklemmt.

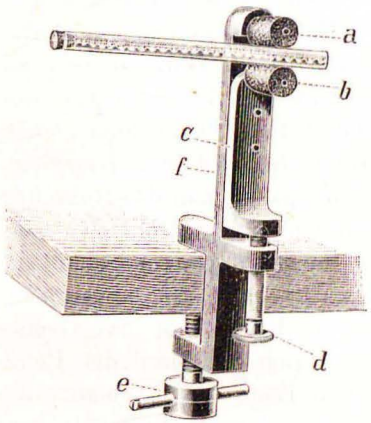

Fig. 2.

Sehr enge kurze Resonanzröhrchen jedoch klebt man am besten auf das obere Ende einer etwa 10 cm langen Klebwachsstange; deren unteres Ende wird nach dem Zurechtklopfen des Staubstreifens an die Tischkante festgedrückt. Das Röhrchen wird bequemer Weise während der Versuche *nicht* vom Klebwachs abgenommen, sondern letzteres samt der Röhre immer vom Tisch abgelöst, wenn der Staubstreifen neu geordnet werden soll. Die Klebwachsstange bildet sodann einen bequemen Handgriff zum Manipuliren mit dem Röhrchen.

Bezeichnet man mit N die Schwingungszahl des zu bestimmenden Tones pro Secunde; mit C die Fortpflanzungs-

geschwindigkeit des Schalles bei mittlerer Temperatur in der Luft während einer Secunde = 340400 mm; endlich mit λ die Länge der *ganzen* Welle, die man mit Hülfe von Zirkel und Maassstab sehr leicht an den Kundt'schen Staubfiguren abmessen kann, dann stehen bekanntlich diese drei Grössen unter sich in der durch beifolgende Gleichung gegebenen Beziehung:

$$N = \frac{C}{\lambda}.$$

Sehr häufig erscheint die ganze Röhre mit Staubfiguren gefüllt und man misst zur Erzielung grösserer Genauigkeit die Abstände der klarsten Partien der beiden voneinander möglichst entfernt stehenden Wellenbäuche, wobei man schwarzes Papier unterlegt. Je höher die Töne werden, desto schöner ausgeprägt sind die Kundt'schen Figuren, die man mit Hülfe der Grenzpfeifen hervorbringen kann.

Seit der Bekanntgabe der Schwendt'schen Arbeit wird jeder aus meinen Werkstätten zur Ablieferung kommenden Grenzpfeife eine Tabelle beigegeben, deren Herstellung und Zweck folgend angegeben ist.

Vermittelst Kundt'scher Staubfiguren wird zunächst eine Reihe von Bestimmungen der Schwingungszahlen für verschiedene Maulweiten und Pfeifenlängen vorgenommen und das Resultat dieser eingehenden Versuchsreihe zur zeichnerischen Ausführung zweier Curven benutzt:

1. Ordinaten: Schwingungszahlen, Abscissen, dazu gehörige Maulweiten.

2. Ordinaten: Schwingungszahlen, Abscissen, dazu gehörige Pfeifenlängen.

Durch messende Auswertung dieser Curven auf bekannte Weise erhält man umgekehrt für jede Pfeife Zahlenangaben, wie solche als Beispiel nachfolgend (Tab. II) angegeben sind; in Gemeinschaft mit einer solchen Aichungstabelle ist das neu construirte Grenzpfeifchen ohne Zweifel ein sehr bequemes und zuverlässiges Mittel zur Erzeugung sehr hoher hörbarer und nicht mehr hörbarer Töne. Die Tabelle besteht aus zwei Abteilungen und enthält:

1. Die zusammengehörigen Einstellungen von Pfeifenlängen (in Millimetern) und Maulweiten (in Schraubenumgängen) behufs Tonerzeugung von a^4 angefangen und in der C-dur-Scala fort-

Tabelle II.

Galtonpfeife Nr. 331.

Tonbezeichnung	Pfeifenlänge	Maulweite	Schwingungszahl pro Secunde	Schwingungszahl pro Secunde	Pfeifenlänge	Maulweite
a^4	22,4	2,3	3480	10000	7,18	1,6
h^4	19,06	2,3	3906,16	11000	6,38	1,6
c^5	17,7	2,3	4133	12000	5,72	1,6
d^5	15,75	2,3	4645,28	13000	5,13	1,6
e^5	14,02	2,3	5213,68	14000	4,65	0,9
f^5	13,3	2,3	5524,16	15000	4,21	0,9
g^5	11,9	1,6	6200,6	16000	3,81	0,9
a^5	10,63	1,6	6960	17000	3,48	0,9
h^5	9,42	1,6	7812,3	18000	3,17	0,9
c^6	8,88	1,6	8276	19000	2,99	0,9
d^6	7,8	1,6	9290,6	20000	2,7	0,9
e^6	6,8	1,6	10424	21000	2,49	0,9
f^6	6,3	1,6	11048	22000	2,3	0,9
g^6	5,5	1,6	12401	23000	2,12	0,9
a^6	4,7	0,9	13920	24000	1,96	0,9
h^6	3,95	0,9	15625	25000	1,8	0,9
c^7	3,68	0,9	16435	26000	1,67	0,9
d^7	3,01	0,9	18581	27000	1,54	0,9
e^7	2,51	0,9	20854	28000	1,43	0,9
f^7	2,3	0,9	22097	29000	1,34	0,9
g^7	1,83	0,9	24803	30000	1,26	0,9
a^7	1,47	0,9	27840	31000	1,17	0,9
h^7	1,13	0,9	31249	32000	1,08	0,9
c^8	1,0	0,9	32870	33000	0,99	0,9
d^8	0,67	0,9	37162	34000	0,90	0,9
e^8	0,4	0,9	41708	35000	0,82	0,9
f^8	0,3	0,9	44193	36000	0,74	0,9
.	.	.	.	37000	0,66	0,9
.	.	.	.	38000	0,6	0,9
.	.	.	.	39000	0,53	0,9
.	.	.	.	40000	0,47	0,9
				41000	0,41	0,9
				42000	0,37	0,9
				43000	0,33	0,9
				44000	0,305	0,9
				45000	0,27	0,9
				46000	0,23	0,9
				47000	0,22	0,9
				48000	0,21	0,9

schreitend, bis zu jener Grenze hinauf, bei welcher das jeweils untersuchte Instrument noch zuverlässige Bestimmungen giebt.

2. Die Pfeifenlängen nebst den dazu notwendigen Einstellungen für die Maulweiten zur Erzeugung aller Töne: von 10000 Schwingungen pro Secunde angefangen, von 1000 zu 1000 Schwingungen fortschreitend, bis zu jener Grenze, bei welcher die bezügliche Pfeife zuverlässige Bestimmungen nicht mehr ergiebt.

Zu bemerken ist noch, dass die Stimmungen der einzelnen Grenzpfeifen, obwohl sie möglichst gleich gemacht werden, nicht ganz gleich ausfallen; mit anderen Worten: Jede Pfeife bedarf ihrer eigenen Tab. II.

Von besonderem Interesse erschien es mir endlich, zu versuchen, wie sich die Grenzpfeifen der neueren Construction verhalten, wenn ihr Durchmesser mehr und mehr abnimmt. Die für ohrenärztliche Untersuchungen bestimmten Instrumente haben nach meinen bisherigen Erfahrungen am besten eine Rohrweite von 4 mm, weil man möglichst starker Töne bedarf und die Tonintensität bei kleinerem Durchmesser abzunehmen scheint. Ich liess nun noch eine Pfeife ausführen von 3 mm und endlich glückte nach Aufwand von viel Sorgfalt und Mühe sogar eine solche von nur 2 mm Durchmesser.

Die Versuche mit solchen Pfeifen haben nun das sicher interessante Resultat ergeben, dass man mit sehr engen Pfeifen Schwingungszahlen von so enormer Grösse erhalten kann, wie solche bis jetzt noch nie beobachtet worden sind: nämlich bis 170000 g. S. in der Secunde ($e^{10} = 163840$, $f^{10} = 174760$ g. S.), also noch nahezu eine Octave höher, als sie von R. König[1]) an seinen kleinen Stimmgabeln gemessen wurden.

In der folgenden Tab. III sind die Versuchsergebnisse mit diesen drei Pfeifen niedergelegt. In der ersten Columne sind die Pfeifenlängen angegeben, bei welchen ein Ton in jeder der drei Pfeifen zu erzeugen versucht wurde; die Maulweiten wurden so lange variirt, bis die Töne möglichst hoch (dritte, fünfte, siebente Columne für 4, 3, 2 mm) und die Figuren (ihre Länge ist in der zweiten, vierten, sechsten Columne angegeben) recht deutlich geworden waren. Die eingeklammerten

1) R. König, Wied. Ann. **69.** p. 626 u. 721. 1899.

Werte beziehen sich auf Versuche, die nur unter sehr günstigen Bedingungen oder selten erhalten werden konnten, während die freistehenden sofort und ganz regelmässig auftreten.

Tabelle III.

Pfeifenlänge	Durchmesser 4 mm		Durchmesser 3 mm		Durchmesser 2 mm	
	Wellenlänge	Schwingungszahl	Wellenlänge	Schwingungszahl	Wellenlänge	Schwingungszahl
5	25,7	13240	24,3	14010	22,8	14930
4,5	23,2	14670	21,4	15910	20,8	16370
4	21,9	15540	20,3	16770	18,9	18010
3,5	20,1	16940	18,5	18400	17,1	19910
3	18,2	18700	16,5	20630	15,2	22390
2,5	16,3	20880	14,6	23320	13,2	25790
2	14,4	23640	12,7	26800	11,1	30670
1,5	12,3	27670	10,7	31810	9,2	36990
1	10,2	33370	8,9	34380	7,1	47940
0,8	9,6	35450	8,4	40520	6,8	50050
0,8	9,1	37400	8,1	42020	6,4	53180
0,7	8,6	39580	7,6	44780	6,0	56730
0,6	8,4	40520	7,2	47240	5,6	60780
0,5	8,2	42020	6,8	50050	5,2	65460
0,4	7,8	43640	6,4	53180	4,8	70930
0,3	7,4	45990	5,8	58690	4,4	77360
0,2	6,8	50050	5,2	65460	3,9	87280
0,15	(6,3)	(54030)	(4,7)	(72420)	3,5	97260
0,1	(5,5)	(61890)	(4,1)	(83020)	3,0	113460
0,09	(5,3)	(64230)	(3,5)	(97260)	(2,8)	(121670)
0,08	(5)	(68080)	(3,1)	(109800)	(2,5)	(136200)
0,075	—	—	—	—	(2,2)	(154700)
0,07	—	—	—	—	(2,0)	(170200)

(Eingegangen 15. Mai 1900.)

ANNALEN
DER
PHYSIK.

Signatur Nr. G 11/2

BEGRÜNDET UND FORTGEFÜHRT DURCH

F. A. C. GREN, L. W. GILBERT, J. C. POGGENDORFF, G. UND E. WIEDEMANN

VIERTE FOLGE.

BAND 2.

DER GANZEN REIHE 307. BAND.

KURATORIUM:

F. KOHLRAUSCH, M. PLANCK, G. QUINCKE,
W. C. RÖNTGEN, E. WARBURG.

UNTER MITWIRKUNG

DER DEUTSCHEN PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT

UND INSBESONDERE VON

M. PLANCK

HERAUSGEGEBEN VON

PAUL DRUDE.

MIT FÜNF FIGURENTAFELN.

Verein. Askan. u. Tempelh. Gymnasium
Lehrerbücherei

LEIPZIG, 1900.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

Universitätsbibliothek
Freie Universität Berlin

2 ZR 266 - 4,2

Zd 1955.1601

Inhalt.

Vierte Folge. Band 2.

Fünftes Heft.

Seite

1. G. Tammann. Ueber die Grenzen des festen Zustandes IV 1
2. M. Abraham. Elektrische Schwingungen in einem frei endigenden Draht 32
3. J. Stark. Aenderung der Leitfähigkeit von Gasen durch einen stetigen elektrischen Strom 62
4. N. Umow. Ueber eine Methode objectiver Darstellung der Eigenschaften des polarisirten Lichtes 72
5. H. du Bois und A. P. Wills. Ueber magnetische Schirmwirkung 78
6. H. du Bois und H. Rubens. Panzergalvanometer 84
7. G. Jaumann. Rotirendes Magnetfähnchen 96
8. E. Gehrcke. Ueber die Wärmeleitung verdünnter Gase. Mit einer Einleitung von E. Warburg 102
9. Th. Middel. Deformation durch Erwärmung als Ursache für die thermische Veränderung der Empfindlichkeit von Waagen 115
10. St. Meyer. Ueber die Additivität der Atomwärmen . . . 135
11. H. Wanner. Photometrische Messungen der Strahlung schwarzer Körper 141
12. W. Kaufmann. Elektrodynamische Eigentümlichkeiten leitender Gase 158
13. K. R. Johnson. Ueber den Extrastrom beim Unterbrechen eines elektrischen Stromkreises 179
14. C. Bender. Brechungsexponenten normaler Salzlösungen . . 186
15. M. Eschenhagen. Werte der erdmagnetischen Elemente zu Potsdam für das Jahr 1899 197
16. E. Pringsheim. Bemerkungen zu einem Versuche des Hrn. Mathias Cantor 199

Ausgegeben am 16. Mai 1900.

Sechstes Heft.

Seite

1. G. Mie. Elektrische Wellen an zwei parallelen Drähten . . 201
2. L. Kallir. Ueber den Verlauf des Unterbrechungsfunkens im Wechselstromkreise bei Metallelektroden, insbesondere bei Quecksilberelektroden 250
3. A. Abt. Thermoelektromotorische Kraft einiger Metalloxyde und Metallsulfide in Verbindung miteinander und mit einfachen Metallen bei 100° Temperaturunterschied der Berührungsstellen 266
4. A. Schmauss. Ueber anomale elektromagnetische Rotationsdispersion 280
5. E. Warburg. Ueber die Spitzenentladung 295
6. H. du Bois. Magnetische Präcisionswaage 317
7. G. A. Hemsalech. Ueber das Bandenspectrum des Aluminiums 331
8. O. Behrendsen. Das Verhalten des „Radiums" bei tiefer Temperatur 335
9. H. Frank. Ueber den Einfluss des Härtens, Abschreckens und der Temperaturcyklen auf das magnetische Moment und den Temperaturcoefficienten permanenter Stahlmagnete . . . 338
10. P. Lenard. Erzeugung von Kathodenstrahlen durch ultraviolettes Licht 359
11. A. Lindemann. Untersuchungen über die Beeinflussung der Länge der von einem Righi'schen Erreger ausgesandten elektrischen Wellen durch Drähte, welche der Primärleitung angehängt werden 376
12. M. Reinganum. Theoretische Bestimmung des Verhältnisses von Wärme- und Elektricitätsleitung der Metalle aus der Drude'schen Elektronentheorie 398
13. Zemplén Győző. Ueber die Grundhypothesen der kinetischen Gastheorie 404
14. G. Quincke. Ueber die Dicke der Uebergangsschichten (couches de passage) und die Wirkungsweite der Molecularkräfte . . . 414
15. K. v. Wesendonck. Ueber Einwirkung eines Glühkörpers auf leuchtende Entladungen 421
16. G. Tammann. Berichtigung zur Arbeit: „Ueber die Grenzen des festen Zustandes IV" 424

Ausgegeben am 15. Juni 1900.

Siebentes Heft.

Seite

1. J. Elster und H. Geitel. Ueber Elektricitätszerstreuung in der Luft 425
2. P. Lewis. Ueber den Einfluss kleiner Beimengungen zu einem Gase auf dessen Spectrum 447
3. P. Lewis. Ueber Fluorescenz und Nachleuchten bei der elektrischen Entladung in Stickstoff 459
4. M. Th. Edelmann. Studien über die Erzeugung sehr hoher Töne vermittelst der Galtonpfeife (Grenzpfeife) 469
5. R. Lang. Ueber die magnetische Kraft der Atome 483
6. K. R. Johnson. Ueber den Oeffnungsstrom in einem verzweigten Stromkreise 495
7. L. Holborn und A. Day. Ueber das Luftthermometer bei hohen Temperaturen 505
8. F. Kurlbaum. Temperaturdifferenz zwischen der Oberfläche und dem Innern eines strahlenden Körpers 546
9. M. Toepler. Ueber die Abhängigkeit des Charakters elektrischer Dauerentladung in atmosphärischer Luft von der dem Entladungsraume continuirlich zugeführten Elektricitätsmenge, nebst einem Anhange zur Kenntnis der Kugelblitze 560
10. C. Liebenow. Zur Thermodynamik der Thermoketten, Erwiderung auf die Bemerkungen des Hrn. W. Voigt 636

Ausgegeben am 11. Juli 1900.

Achtes Heft.

1. O. Lehmann, Structur, System und magnetisches Verhalten flüssiger Krystalle und deren Mischbarkeit mit festen 649
2. H. Ebert und B. A. Hoffmann, Elektricitätserregung in flüssiger Luft 706
3. Victor Hensen. Die Triebkraft für die Tonschwingung in den Labialpfeifen und die Lamellentöne 719
4. C. Runge. Ueber das Spectrum des Radium 742
5. K. v. Wesendonck. Weiteres zur Thermodynamik 746
6. A. Winkelmann. Einwirkung einer Funkenstrecke auf die Entstehung von Röntgenstrahlen 757
7. E. Marx. Ueber den Potentialfall und die Dissociation in Flammengasen 768
8. E. Marx. Ueber das Hall'sche Phänomen in Flammengasen 798

Seite

9. E. Riecke. Ueber das Verhältnis der Leitfähigkeiten der Metalle für Wärme und für Elektricität 835
10. F. M. Exner. Notiz zu Brown's Molecularbewegung . . . 843
11. I. Klemenčič. Ueber den inneren Widerstand des Westonelementes 848
12. W. König. Zwei Erwiderungen 854
13. E. Cohen. Elektromotorische Kraft des Westonelementes, Bemerkung zu einer Arbeit des Hrn. W. Marek 863

Ausgegeben am 9. August 1900.

Nachweis zu den Figurentafeln.

Taf. I. Umow, Figg. 1—5.
„ II. Schmauss.
„ III u. IV. Lehmann, Figg. 1—169.
„ V. Hensen, Figg. 2—19.