

DER PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CXXVIII.

I. Ueber Interferenzapparate für Schallwellen;
von G. Quincke.

1. Dafs Schallwellen sich gegenseitig aufheben und zerstören können, ist schon seit langer Zeit bekannt und durch verschiedene Versuche bewiesen. An tönenden Klangscheiben hat es Vieth¹⁾ subjectiv, Hopkins²⁾ objectiv nachgewiesen. N. Savart³⁾ und A. Seebeck⁴⁾ haben gezeigt, dafs die directen Wellen einer Schallquelle mit den reflectirten interferiren können.

Aufser diesen Versuchen, welche sich auf die Fortpflanzung des Schalles in einem Raume mit drei Dimensionen beziehen, hat J. F. W. Herschel⁵⁾ einen Versuch für die Interferenz von Schallstrahlen vorgeschlagen, die sich nur in einer Richtung, nämlich in verzweigten Röhrenleitungen fortpflanzen. Den Vorschlag von Herschel haben Kane⁶⁾ und Nörremberg⁷⁾ auszuführen gesucht, indem sie Orgelpfeifen mit einem aus zwei Zweigen verschiedener Länge bestehenden Pfeifenrohr anbliesen, und verschiedene Klänge vernahmen, je nachdem die Luftschwingungen in

1) Gilb. Ann. Bd. XVII, S. 1804.

2) *Transact. Camb. Phil. Soc.* III. — Pogg. Ann. Bd. XLIV, S. 246.3) *Ann. d. chim et de phys.* (3) T. 14, p. 385. — Pogg. Ann. Bd. 66 S. 374.

4) Programm der technischen Bildungsanstalt. Dresden 1843, 8°. — Pogg. Ann. Bd. 59, S. 177; Bd. 67, S. 145; Bd. 68, S. 465.

5) *Phil. Mag.* (3), T. III, p. 405, 1833. — Pogg. Ann. Bd. 31. 1834 S. 252.6) *Phil. Mag.* (3) T. VII, p. 301, 1835. — Pogg. Ann. Bd. 37, 1836 S. 435.

7) J. Müller, Lehrbuch der Physik, Braunschweig 1856 Bd. I, S. 382.

einem einzelnen Zweige, oder in beiden Zweigen gleichzeitig erregt wurden.

Bei den Versuchen von Kane geschah das Anblasen mit dem Mundstück einer Zungenpfeife. Die Versuche sind mir jedoch zum Theil vollkommen unverständlich, und können nicht als eine Bestätigung der Theorie angesehen werden.

Der Apparat von Nörremberg scheint von ihm selbst nicht beschrieben worden zu seyn. Nach der von J. Müller gegebenen Zeichnung und Beschreibung wird die aus zwei Zweigen von 24" und 36" Länge bestehende hölzerne Interferenzröhre in eine Zimmerwand eingemauert, und der Ton durch eine offene Labialpfeife von 12" Länge erregt. Im Nebenzimmer hört dann ein Beobachter die Octave der Pfeife stärker, wenn beide Zweige, als wenn nur ein Zweig der Interferenzröhre geöffnet ist. Der Grundton der Pfeife wird dagegen nur gehört, wenn durch einen Schieber der eine Zweig geschlossen ist.

In neuerer Zeit hat Mach¹⁾ bei Versuchen über den Raumsinn des Ohres eine solche Nörremberg'sche Röhre benutzt, um den Grundton im Klange einer Stimmgabel oder der menschlichen Stimme zu schwächen und Dr. Lucae bei der Untersuchung Ohrenkranker nach einer neuen Methode einige Thatsachen beobachtet, die ebenfalls auf Interferenz von Schallwellen zurückzuführen sind.

Ich werde nun im Folgenden einige Apparate beschreiben, die zum Theil nichts weiter als eine Ausführung der von Herschel angegebenen Idee sind. Dieselben können leicht von Jedermann hergestellt werden, und sind nicht blofs für Klänge von Orgelpfeifen anwendbar, sondern auch für Klänge von Stimmgabeln, Saiten oder eines anderen tönenden Körpers. Sie löschen Töne von bestimmter Schwingungsdauer in derselben Weise aus, wie dünne Platten durchsichtiger Substanzen bestimmte Lichtfarben auslöschen. Es lassen sich daher auf dieselben auch neue akustische Untersuchungsmethoden begründen.

1) Pogg. Ann. 1865, Bd. 126, S. 331.

2. Fig. 1 Taf. VI stellt einen Apparat in $\frac{1}{16}$ natürlicher Größe dar, welcher dazu bestimmt ist den Grundton einer gewöhnlichen a_1 -Gabel (von 440 Schwingungen in der Secunde) auszulöschen. Zwei T-förmige Glasröhren CAC_1 und CBC_1 , sind an den Enden rechtwinklig umgebogen und bei C durch einen kurzen, bei C_1 durch einen langen Kautschuckschlauch verbunden. Der letztere ist etwa 390^{mm} lang, entspricht also einer halben Wellenlänge des Tones a_1 in Luft. Das mit einem kurzen Kautschuckrohr versehene Ende A des Apparates setzt man in den äußeren Gehörgang des einen Ohres, verstopft das andere mit einem Siegellackpfropfen oder sonst auf passende Weise und läßt den Klang der Stimmgabel durch den langen Kautschuckschlauch BB_1 und die verzweigte Röhrenleitung ins Ohr gelangen, indem man die Zinken der angeschlagenen Gabel vor das offene Ende B_1 des Kautschuckschlauches hält oder auch den Stiel der Gabel in den Schlauch steckt und die Gabel dann anschlägt.

Für gewöhnlich hört man dann nur die Octave des Grundtons der Stimmgabel, also a_{11} , da die beiden Wellenzüge des Grundtons a_1 , welche durch den Zweig C und C_1 zum Ohre gelangen, einen Gangunterschied von einer halben Wellenlänge haben, und sich an dem Eingange der Glasröhre A gegenseitig aufheben. Drückt man den Kautschuckschlauch C oder C_1 mit den Fingern zu, so daß der Schall nur auf einem Wege ins Ohr gelangen kann, so wird der Grundton a_1 laut und kräftig gehört werden und die Octave a_{11} in seiner Gegenwart kaum noch zu erkennen seyn.

Schlägt man die Zinken der Stimmgabel in der Mitte am Knotenpunkte der Octave an, so kann man es dahin bringen, daß die Octave schwach ist, und das Ohr nur einen schwachen Ton vernimmt, sobald der Schall durch beide Röhren C und C_1 ins Ohr gelangt. Am besten ist es, den Klang der Gabel längere Zeit nach dem Anschlagen zu untersuchen, da die Octave eher verklingt als der Grundton.

Steht die Stimmgabel auf einem Resonanzkasten, so kann man sie mit dem Bogen anstreichen und das offene Ende *B* der Interferenzröhre vor die Oeffnung des Resonanzkastens halten.

In dem Klange aller von mir untersuchten Stimmgabeln liefs sich auf die eben angegebene Weise stets die Octave erkennen. Im Allgemeinen wird man sogar über die Intensität derselben erstaunt seyn, da es selbst geübten Ohren sehr schwer ist die Octave neben dem Grundtone der Stimmgabel zu erkennen.

Die von einer Stimmgabel geschriebenen Curven lassen ebenfalls sehr häufig die Octave erkennen, welche übrigens früher schon von Röber¹⁾, Helmholtz²⁾ und Dove³⁾ im Klange der Stimmgabeln beobachtet worden ist.

3. Hat sich mit der Temperatur die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls, also auch die Wellenlänge des betreffenden Tones geändert, so kann man durch Verschieben des Kautschuckschlauches *C*, einen solchen Interferenzapparat leicht stimmen. Füllt man den Apparat mit Leuchtgas oder einem anderen Gase, in welchem der Schall eine andere Fortpflanzungsgeschwindigkeit hat, so löscht er nicht mehr denselben Ton aus, wie wenn er mit atmosphärischer Luft gefüllt ist.

Um einen Ton durch Interferenz auszulöschen, kann man der verzweigten Röhrenleitung eine beliebige Form geben, sobald nur der eine Zweig eine halbe Wellenlänge länger als der andere ist. Fig. 2 und 3 Taf. VI zeigen andere Formen von Interferenzröhren in $\frac{1}{10}$ natürlicher Gröfse. Je nach Bedürfnifs wird durch kürzere oder längere Kautschuckschläuche der Schall der Schallquelle dem Ende *B* der verzweigten Röhrenleitung zugeführt, und durch einen anderen Kautschuckschlauch von *A* zum Ohre des Beobachters geleitet. Man wählt zweckmäfsig bei dem Apparat Fig. 3 den kürzeren Zweig *C* ein wenig enger als den län-

1) Dove Repertorium Bd. III, S. 55, 1839.

2) Pogg. Ann. 1856, Bd. 99 S. 504.

3) Pogg. Ann. 1862, Bd. 115, S. 652.

geren Zweig C_1 , damit die beiden Schallwellen, welche in das Rohr A gelangen, gleiche Amplitude haben. Nöthigenfalls kann man durch theilweises Verengen des Kautschuckschlauches C oder C_1 beide Amplituden genau gleich machen. Für subjective Beobachtungen pflege ich Glasröhren von 8^{mm} bis 10^{mm} Durchmesser und der Form Fig. 3 Taf. VI zu nehmen; der in Fig. 2 dargestellte Apparat ist für den Ton c_{11} von 523 Schwingungen bestimmt, der in Fig. 3 dargestellte für c_1 von 261,7 Schwingungen¹⁾. Durch Verwechslung des U-förmigen Rohres C_1 läßt er sich leicht für jeden beliebigen Ton passend einrichten.

4. Einfache Töne werden durch einen solchen Interferenzapparat vollkommen ausgelöscht. Ich befestigte mit Wachs an der Zinke einer Stimmgabel ein Kartenblatt, und näherte diesem das offene Ende einer am anderen Ende geschlossenen Pappröhre, deren Länge $= \frac{1}{4}$ Wellenlänge des betreffenden Grundtones der Stimmgabel war. Wurde die Stimmgabel angestrichen, so wurde durch Resonanz der Luftsäule in der Pappröhre nur der Grundton verstärkt, und das Ohr nahm durch einen auf diesen Grundton abgestimmten Interferenzapparat keinen Ton wahr²⁾. Derselbe trat jedoch beim Schließen des einen Zweiges der Interferenzröhre deutlich hervor.

5. Der Natur der Sache nach löscht ein solcher Interferenzapparat nicht bloß Töne aus, für welche die Längendifferenz beider Röhrenzweige, d. h. der Gangunterschied, eine halbe Wellenlänge ist, sondern überhaupt alle Töne,

1) Hr. Glaskünstler Lucke, Wollank-Straße No. 23 in Berlin, liefert solche Interferenzapparate mit Kautschuckröhren complet zu 20 Sgr. das Stück.

Derselbe fertigt auch Pfeifen aus Glasröhren, die mit dem Munde angeblasen die Gesetze schwingender Luftsäulen sehr schön erläutern; den Satz von 9 Stück incl. Kästchen zu 15 Sgr.

2) Selbst wenn das eine Ohr durch den schallleitenden Kautschuckschlauch, das andere durch einen Siegellackpfropfen fest verschlossen ist, hört man gewöhnlich bei offener Interferenzröhre noch einen schwachen Ton. Diefs rührt von der Leitung des Schalles durch den Körper und die Kopfknochen her.

für welche die Differenz beider Zweige ein ungerades Vielfache einer halben Wellenlänge ist. Der Apparat zerstört also nicht bloß den Ton mit der Schwingungszahl n , sondern auch die Töne mit der Schwingungszahl $3n$, $5n$, $7n$ etc. d. h. also alle ungeraden Töne einer harmonischen Tonreihe.

Untersucht man den Klang einer gedeckten Pfeife mit einer Interferenzröhre, welche den Grundton auslöscht, so müßten der Theorie nach auch die Obertöne durch diesen Apparat ausgelöscht werden, und das Ohr dürfte durch die offene Interferenzröhre gar nichts wahrnehmen. Angenähert ist dies auch wirklich der Fall. Das Ohr vernimmt, selbst in dem Fall, wo das offene Ende der sorgfältig abgestimmten Interferenzröhre in dem aus der Mundöffnung der Pfeife entweichenden Luftstrom gebracht wird, nur das Geräusch des Windes und einen schwachen, oft unreinen, musikalischen Klang.

Versetzt man einen in der Mitte fixirten Glasstab (Fig. 5a Taf. VI) durch Reiben mit einem nassen Lappen in longitudinale Schwingungen, so würden in dessen Klange der Theorie nach, wie in dem einer gedeckten Pfeife, nur ungerade Partialtöne vorkommen können, also Töne mit der Schwingungszahl n , $3n$, $5n$ etc. Durch eine auf den Grundton des Stabes so sorgfältig wie möglich abgestimmte Interferenzröhre (Fig. 5b) konnte ich aber niemals den Klang des Stabes auslöschen. Im Gegentheil klang derselbe vielleicht noch unangenehmer, als ohne Interferenzröhre.

Zum Theil rührt die eben erwähnte Erscheinung von Combinationstönen her; zum Theil vielleicht auch davon, daß Erschütterungen verschiedener Periode sich in festen Körpern mit verschiedener Geschwindigkeit fortpflanzen, die Partialtöne des tönenden Glasstabes also nicht genau Töne einer harmonischen Tonreihe sind.

6. Andere Klänge, welche nicht wie die Klänge von gedeckten Pfeifen oder Stimmgabeln bloß aus ungeraden Partialtönen oder aus Grundton und Octave bestehen, machen einen eigenthümlichen Eindruck auf das Ohr, wenn sie

durch eine Interferenzröhre behorcht werden. Diese leisten gleichsam das umgekehrte, wie ein Helmholtz'scher Resonator¹⁾ und können zu ähnlichen Untersuchungen wie dieser benutzt werden.

Bei einer offenen Orgelpfeife wird durch Oeffnen oder vollständiges Abschließen des einen Zweiges der auf den Grundton abgestimmten Interferenzröhre (was in der Folge kurz mit »offener« oder »geschlossener« Interferenzröhre bezeichnet werden soll) nur der Charakter der Klänge geändert, da die geraden Partialtöne, welche im Klange der offenen Pfeife vorkommen, durch eine auf den Grundton abgestimmte Interferenzröhre nicht ausgelöscht werden.

Dasselbe bemerkt man an dem Klange von Zungenpfeifen, der Physharmonica (Zungen mit gemeinsamem Luftraum), der sogenannten chemischen Harmonica, oder dem Klange gespannter Saiten. Die Oeffnung des zum Interferenzapparate führenden Kautschuckschlauches bringt man in den aus den Pfeifen entweichenden Luftstrom, oder in die Nähe der Oeffnung des Resonanzkastens, wenn der Ton intensiv seyn soll. Bei einem Monochord wurde der Kautschuckschlauch mit einem durchbohrten Kork und Glasrohr in der Oeffnung des Resonanzkastens befestigt. Wenn man auf $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{4}$ der Saitenlänge zupfte, war der Unterschied des Klanges beim Oeffnen und Schließen der auf den Grundton der Saite abgestimmten Interferenzröhre am deutlichsten.

Wie sehr die Partialtöne den Klang einer Saite charakterisiren, läßt sich mit einer auf irgend einen höheren Partialton abgestimmten Interferenzröhre sehr gut wahrnehmen. Der Unterschied des Klanges bei offener und geschlossener Interferenzröhre tritt noch besser als bei gezupften Saiten bei Klaviersaiten hervor, da in deren Klange, wie Helmholtz gezeigt hat, neben dem Grundton die übrigen Partialtöne noch stärker entwickelt sind.

7. Man kann ferner zwei Interferenzröhren so combi-

1) Pogg. Ann. 1856, Bd. 99, S. 103. — Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen. Braunschweig 1863, S. 71.

niren, daß der Schall beide hintereinander durchläuft und in einem beliebigen Klange zwei Reihen Töne mit den Schwingungszahlen $n, 3n, 5n$ etc. und $m, 3m, 5m$ etc. ausgelöscht werden. Gewöhnlich empfiehlt es sich auf Grundton und Octave abgestimmte Interferenzröhren zu combiniren, also die Partialtöne 1, 3, 5 etc. oder 2, 6, 10 etc. auszulöschen.

Behorcht man den Klang einer Stimmgabel durch eine solche Combination von Interferenzröhren für Grundton und Octave, so treten die unharmonischen Nebentöne derselben sehr deutlich hervor. Wegen der Schalleitung durch den Körper hört man aber niemals Grundton und Octave vollständig verschwinden.

8. Unterdrückt man durch passend gewählte Interferenzröhren den größten Theil des musikalischen Klanges schwingender Luftsäulen, so treten die Geräusche, welche in dem Klange der verschiedenen Instrumente vorkommen, und den Klang derselben charakterisiren, sehr deutlich hervor. Auf diese Weise lassen sich auch bei der menschlichen Stimme die den Klang der verschiedenen Vocale begleitenden Geräusche untersuchen, besonders wenn der Vocal in der ihn charakterisirenden Tonhöhe gesungen wird¹⁾.

Löscht die Interferenzröhre alle Partialtöne aus, wie bei dem Klang von gedeckten Pfeifen oder einer Clarinette, so tritt natürlich das Geräusch besonders deutlich hervor.

9. Zur Untersuchung von Schwebungen und Combinationstönen eignen sich die Interferenzröhren ebenfalls. Zwei nahezu auf c , gestimmte Stimmgabeln geben, mit einer für ihren Grundton passenden Interferenzröhre untersucht, doppelt so schnelle Schwebungen bei offener, wie bei geschlossener Interferenzröhre, da man im ersten Falle nur die Schwebungen der Octave hört. Die letzteren treten dann bei geschlossener Interferenzröhre gegen die weit kräftigeren der Grundtöne zurück. Uebrigens kann man

1) Vergl. Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen, S. 172.

sie auch durch eine zweite, auf die Octaven abgestimmte Interferenzröhre zum Verschwinden bringen.

Zwei Stimmgabeln, deren Grundtöne nahe um eine Octave auseinander standen, gaben, wenn man sie mit einer auf den Grundton der tieferen Gabel gestimmten Interferenzröhre untersuchte, starke Schwebungen bei geschlossener, schwache Schwebungen bei offener Interferenzröhre. Die Anzahl der Schwebungen war in beiden Fällen ungeändert, wie es auch seyn mußte, da ein Ton dieselbe Anzahl Schwebungen giebt mit einem nahezu gleichgestimmten, oder dessen tieferer Octave.

Aehnliche Erscheinungen, wiewohl weniger deutlich, beobachtet man an den Schwebungen von Stimmgabeln, die nahezu im Intervall einer Quinte stehen. Man muß jedoch hierzu eine Combination von zwei auf den Grundton der Gabeln gestimmten Interferenzröhren anwenden.

Spannt man auf einen Monochord zwei Saiten, die langsame Schwebungen geben, und zupft dieselben auf $\frac{1}{4}$ der Länge, während man ihren Klang in der oben angegebenen Weise durch einen auf den Grundton abgestimmten Interferenzapparat behorcht, so hört man bei offener Interferenzröhre doppelt so viel Schwebungen als bei geschlossener Interferenzröhre. Der Versuch entspricht dem oben beschriebenen mit Stimmgabeln, indem man im ersten Falle die Schwebungen der Octaven, im zweiten daneben auch noch die der anderen Töne hört, und dann die Schwebungen des intensiveren Grundtones überwiegen.

Die Schwebungen zweier gedeckten Pfeifen hört man ungemein stark bei geschlossener, weit schwächer bei offener auf den Grundton gestimmter Interferenzröhre. Die Schwebungen folgen aber stets in denselben Zeitabschnitten auf einander. Dasselbe ist bei offenen Orgelpfeifen oder einer Physharmonica der Fall, doch sind die Schwebungen bei offener Interferenzröhre lauter, als bei gedeckten Pfeifen.

10. Hr. Prof. E. du Bois-Reymond hatte die Güte mir vier Stimmgabeln von Koenig in Paris zu leihen, welche einen reinen Dur-Accord geben (c, e, g, c''), sowie

eine rein in C-Dur gestimmte Physharmonica. Man strich zwei Gabeln gleichzeitig an und richtete die Aufmerksamkeit auf die auftretenden Combinationstöne, während der Schall durch eine auf den Grundton einer Gabel gestimmte Interferenzröhre ins Ohr gelangte. Der Combinationston (Differenzton) trat deutlich hervor, sobald die Interferenzröhre geschlossen wurde. Dasselbe, wiewohl viel weniger deutlich, glaube ich auch zuweilen bei Summationstönen wahrgenommen zu haben.

Anders war es, wenn ich statt der Stimmgabeln die Physharmonica benutzte. Der Combinationston trat dann mehr hervor, wenn die Interferenzröhre der einen Klangcomponente geschlossen wurde, war aber auch bei offener Interferenzröhre deutlich zu vernehmen.

Im Klange einer gedeckten Pfeife oder Clarinette bemerkt man, wenn sie stark angeblasen werden, die Octave des Grundtons mit einer offenen auf den letzteren abgestimmten Interferenzröhre. Die Octave muß in dem Klange dieser Instrumente als Combinationstons des ersten und dritten Partialtones vorhanden seyn.

Man sieht daraus, daß sowohl Schwebungen als Combinationstöne bei kleinen Amplituden der schwingenden Körper (Stimmgabeln) im Ohre erzeugt werden. Bei größeren Amplituden (Orgel- oder Zungenpfeifen) dagegen bilden sich die Combinationstöne schon in dem schwingenden Luftraume.

Diese letztere Bemerkung hat bereits Helmholtz¹⁾ gemacht auf Grund der Beobachtung, daß Resonatoren und passend gestimmte Membranen durch Combinationstöne in Mitschwingung versetzt werden können. Die bloße Analogie der Erscheinungen, welche Schwebungen und Combinationstöne bei der Untersuchung mit Interferenzröhren zeigen, würde demnach auch keinen hinreichenden Grund abgeben, die von Helmholtz²⁾ aufgestellte Theorie der Combinationstöne zu verwerfen gegenüber der älteren

1) Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen, 1863, S. 249.

2) Pogg. Ann., 1856, Bd. 99, S. 532.

zuerst von Lagrange ausgesprochenen und später auch von Thomas Young¹⁾ vertretenen Ansicht, nach welcher die Combinationstöne (Differenztöne) schnelle Schwebungen seyn sollen.

Objectiv lassen sich, wie schon bemerkt, mit einer dünnen abgestimmten Kautschuckmembran, die über eine Glasflasche ohne Boden gespannt und mit Sand bestreut wird, die Combinationstöne recht gut nachweisen. Ich habe auf diese Weise bei einer Physharmonica zuweilen sogar Differenz- und Summationstöne höherer Ordnung nachweisen können.

II. Die eben beschriebenen Versuche über die Interferenz von Schallwellen lassen sich mit einer solchen Membranflasche auch objectiv darstellen, sobald dieselbe genau auf den betreffenden Ton abgestimmt ist. Der von mir für diesen Zweck benutzte Apparat ist in Fig. 4a und b Taf. VI im Durchschnitt und perspectivischer Ansicht ($\frac{1}{3}$ nat. Gröfse) dargestellt. Eine Platte von sehr dünnem schwarzem Kautschuck ist über einen Messingring *R* gebunden. Mit drei in den breiten Rand des Ringes *R* eingreifenden Schrauben *s* läfst sich die Hülse *H* von 54^{mm} Durchmesser gegen die Membran pressen und dieser dadurch eine passende Spannung geben. Beim Nachlassen der Schrauben drücken kleine Spiralfedern die Hülse aus dem Ringe heraus. In die Hülse *H*, welche mit einem Träger an einem passenden Stativ befestigt wird, können nun Glasglocken *F* von verschiedener Höhe mit dem aufge kitteten Messingringe *G* eingeschoben werden. Durch passende Spannung der Membran und Ausziehen oder Einschieben der Glasglocke läfst sich ein solcher Apparat auf den betreffenden Ton abstimmen. Ich besitze drei Glocken von gleicher Weite und resp. von 125^{mm}, 92^{mm} und 64^{mm} Höhe, wodurch die Membranflasche auf die Töne *e*, *g*, oder *c*, gestimmt ist. Der Eigenton der Membran ohne Flasche ist auferordentlich tief und liefs sich nicht genau bestimmen.

1) *Misc. Soc. Taur.* I, 1759, p. 104. — Th. Young, *lect. nat. phil.* II, 1807, p. 544.

Wird der Ton, auf welchen die Membranflasche abgestimmt ist, vor der Oeffnung O derselben angegeben, so zeigt der auf die Membran aufgestreute Sand sofort die betreffende Klangfigur.

Ich verband nun eine auf den Grundton der Membranflasche abgestimmte Interferenzröhre von der Form Fig. 3 Taf. VI durch ein Kautschuckrohr mit der Oeffnung O der Membranflasche, während von dem anderen Ende der Interferenzröhre ein zweites Kautschuckrohr zu der Schallquelle führte. Die Länge der Röhrenleitung von der Schallquelle über den kurzen Schenkel der Interferenzröhre bis zur Membran muß nahezu $\frac{1}{2}$ Wellenlänge des betreffenden Tones betragen, damit der Versuch gut gelingt.

Bei offener Interferenzröhre wird dann der Sand wenig oder gar nicht bewegt; die Klangfigur erscheint aber, sobald man die Interferenzröhre schließt. Als Schallquelle für diese objectiven Versuche, die sich auch zu Vorlesungsversuchen eignen, habe ich vorzugsweise Stimmgabeln oder gedeckte Pfeifen benutzt, doch lassen sich dieselben auch an dem Klange der chemischen Harmonica, der menschlichen Stimme, einer Clarinette oder einer Physharmonica zeigen. Nur mit den kurzen (800^{mm} langen) Saiten eines Monochords ist mir die objective Darstellung dieser Interferenzversuche wegen der geringen Klangstärke nicht gelungen.

12. Mit der von Kundt ¹⁾ angegebenen Methode, die Longitudinalwellen eines Stabes in einer Luftsäule sichtbar zu machen, läßt sich ebenfalls die Interferenz von Schallwellen objectiv zeigen.

Fig. 5 *a* und 5 *b* Taf. VI stellen den dabei benutzten Apparat in $\frac{1}{10}$ natürlicher Gröfse dar, wenn das Ende B des Apparates Fig. 5 *a* in den Kautschuckschlauch A des Interferenzapparates Fig. 5 *b* eingeschoben wird. Der Glasstab GG_1 , der in seiner Mitte mit einem Kork in das Ende B einer weiteren Röhre RR_1 eingesetzt ist, wird durch Reiben mit einem nassen Lappen in Longitudinal-Schwingun-

1) Berl. Monatsber. 1865, S. 249. — (Pogg. Ann. Bd. 127, S. 497.)

gen versetzt, die sich durch die leichte Korkplatte G_1 an seinem Ende der Luft in der verzweigten Röhrenleitung mittheilen. Der Grundton des Stabes ist etwa g_{is_4} und die halbe Wellenlänge des Tones in Luft $\frac{\lambda}{2} = 50^{\text{mm}}$.

Die Dimensionen der Röhrenleitung sind so gewählt, daß der Zweig ACB $4\frac{\lambda}{2}$, der Zweig AC_1B $9\frac{\lambda}{2}$ Länge hatte, und der Wegunterschied der beiden Schallwellen $5\frac{\lambda}{2}$ d. h. ein ungerades Vielfache einer halben Wellenlänge ist. Der Kork K wird so geschoben, daß er sich um eine ganze Anzahl halber Wellenlängen von G_1 entfernt befindet. In der ganzen Röhrenleitung ist Lycopodium gleichförmig vertheilt, das sich beim Erregen der Longitudinalwellen des Glasstabes an den Knotenpunkten der in der Röhrenleitung enthaltenen Luftmasse ansammelt und die von Kundt a. a. O. beschriebenen Figuren bildet. Diese zeigen sich in der Röhre G_1R_1 und in der verzweigten Röhrenleitung von A bis B . Von der Kreuzungsstelle B an bis B_1 lassen sich keine Lycopodiumfiguren wahrnehmen. Sie erscheinen aber sofort auch hier, wenn man das U-förmige Rohr C_1 auszieht, und der Längenunterschied der beiden Zweige nicht genau $5\frac{\lambda}{2}$ ist. Natürlich sind sie am deutlichsten, wenn der Längenunterschied ein gerades Vielfache einer halben Wellenlänge beträgt.

Statt des kurzen U-förmigen Rohres C_1 läßt sich auch ein längeres Rohr (Fig. 5c Taf. VI) einsetzen, so daß der Gangunterschied der Schallwellen in beiden Zweigen $13\frac{\lambda}{2}$ beträgt. Erwärmt man dann den langen Zweig AC_1B mit einer Lampe und ändert dadurch die Schallgeschwindigkeit oder die Wellenlänge, so treten ebenfalls die Lycopodiumfiguren in dem Rohr BB_1 auf.

Ein gleiches ist der Fall, wenn man den Apparat (Fig. 5a Taf. VI) durch einen anderen ersetzt, bei dem der tönende Glasstab 1000^{mm} Länge hat, und $\frac{\lambda}{2}$ in atmosphärischer Luft von mittlerer Temperatur etwa 64^{mm} beträgt.

13. Man kann ferner Schallwellen, die direct von einer Schallquelle ausgegangen sind, mit solchen interferiren lassen, die reflectirt und dadurch gegen die ersteren verzögert worden sind.

In Fig. 6 Taf. VI ist der dazu benutzte Apparat in $\frac{1}{10}$ nat. Gröfse abgebildet. Der Schall wird mit einem Kautschuckschlauch dem Ende B des Glasrohres AB zugeführt, und gelangt von A aus durch einen zweiten Kautschuckschlauch zum Ohre des Beobachters. Bei C ist mit einem kurzen Kautschuckrohr ein Seitenzweig CC_1 angebracht, dessen Länge $= \frac{\lambda}{4}$ des betreffenden Tones ist. Der mit einem Drahtgriff verschiebbare Kork C dient zur Regulirung dieser Länge. Die Schallstrahlen theilen sich bei C in zwei Theile. Ein Theil geht direct über A zum Ohr; ein anderer Theil erst, nachdem er an dem Ende C_1 des Seitenrohres CC_1 reflectirt worden ist. Beide Theile haben einen Gangunterschied von einer halben Wellenlänge und würden sich vollständig zerstören, wenn nicht die Amplitude des zweiten Theiles kleiner als die des ersten wäre. Das Ohr vernimmt also einen schwachen Ton, der aber bedeutend stärker wird, sobald man durch Zudrücken des Kautschuckrohres bei C die reflectirten Schallwellen ausschließt.

Der Apparat der Zeichnung ist für den Ton ν_{523} von 523 Schwingungen bestimmt. Für andere Töne muß natürlich das Rohr CC_1 durch ein anderes von passender Länge ersetzt werden.

Statt des Glasrohres CC_1 kann man auch ein offenes Kautschuckrohr ansetzen, dessen Länge $= \frac{\lambda}{2}$ des betreffenden Tones ist. Verschiebt man dann das Ende C oder C_1 desselben, so wird der Ton verstärkt; drückt man dasselbe dagegen in der Mitte zwischen C und C_1 zu, so wird der Ton fast ganz ausgelöscht. Das Kautschuckrohr CC_1 kann dabei beliebige Gestalt haben.

Uebrigens läßt sich auch bei C der zur Schallquelle führende Kautschuckschlauch und bei B der Seitenzweig anbringen, welcher die reflectirten Wellen erzeugt.

Es möchte dieß wohl der einfachste Apparat seyn die Interferenz von Schallwellen nachzuweisen. Mit einer Membranflasche läßt sich ein solcher Apparat in derselben Weise, wie die früher beschriebenen Interferenzröhren (Fig. 2 und 3 Taf. VI) combiniren, doch sind die letzteren für objective Versuche vorzuziehen, weil bei ihnen die interferirenden Wellen nahe gleiche Amplituden haben und sich vollständiger zerstören.

14. Aus den eben erwähnten Versuchen folgt, daß die Apparate Fig. 2 und 3 nur dann gut wirken werden, wenn man beide Kautschuckröhren P und Q gleichzeitig zudrückt. Schließt man nur an einer Stelle, etwa bei P , so wirken sie nicht bloß schlechter, sondern löschen unter Umständen sogar einen falschen Ton aus, indem die von dem Seitenzweig $Q Q_1 P_1 P$ reflectirten Wellen mit den directen interferiren. Deshalb sind auch in den Apparaten Fig. 2 und 3 Taf. VI die Kautschuckröhren so nahe als möglich an den Kreuzungsstellen A und B angebracht. Der Apparat Fig. 2 erlaubt den Zweig C oder C_1 abzuschließen. Am Apparate Fig. 3 kann man zwar auch den kürzeren Zweig bei C schließen, dann stören aber unter Umständen, besonders bei hohen Tönen und kurzen Wellenlängen, die von den Seitenzweigen AB und BC reflectirten Wellen. Im Allgemeinen ist sonst die Form Fig. 3 vorzuziehen, da hier die Amplituden der beiden interferirenden Schallwellen am leichtesten gleich gemacht werden können.

Beide Arten von Interferenzröhren lassen sich übrigens in einen Apparat vereinigen. Bringt man z. B. an der für den Ton c_{11} ($\frac{\lambda}{4} = 163^{\text{mm}},3$) bestimmten Interferenzröhre Fig. 2 bei G einen Kautschuckschlauch an, so daß $AP_1G = 2 \frac{\lambda}{4}$ ist, so löscht der Apparat bei offenen Zweigen den Ton einer c_{11} -Gabel aus.

Wird ein Zweig, etwa C_1 , abgeschlossen, so geht der Ton dieser Gabel ungehindert hindurch. Andererseits läßt

die offene Interferenzröhre den Ton einer c_1 -Gabel, der tieferen Octave von c_1 , ungehindert hindurch; schließt man jedoch bei G , so zerstören die im Seitenzweig AP_1G reflectirten Wellen den größten Theil der directen. Der Ton der c_1 -Gabel verschwindet fast ganz, da $AP_1G =$ einer Viertel-Wellenlänge des Tones c_1 ist.

15, Es hat keine Schwierigkeit nach den bisherigen Angaben Interferenzapparate für beliebige Töne herzustellen, sobald man die Wellenlänge des betreffenden Tones kennt. Die Größe der Apparate Fig. 2 und 3 Taf. VI läßt sich dann sofort angeben, da PP_1 und $QQ_1 =$ einer Viertel-Wellenlänge des betreffenden Tones sind.

Um die Construction neuer und das Stimmen schon vorhandener Interferenzröhren zu erleichtern, was bei größeren akustischen Untersuchungen angenehm ist, lasse ich hier eine Tabelle für die in der Musik gebräuchlichen Töne nach gleichschwebender Temperatur berechnet, folgen. Unter n ist die Anzahl (Doppel-) Schwingungen des betreffenden Tones angegeben, unter $\frac{\lambda}{4}$ die dazu gehörige Viertel-Wellenlänge in atmosphärischer Luft bei 15°C. , wenn man die Schallgeschwindigkeit bei dieser Temperatur $= 341^m,77$ setzt.

Das eingestrichene a oder der Ton a_1 mit 440 Schwingungen in der Secunde ist dabei als Normalton zu Grunde gelegt, wie er auf Scheibler's Vorschlag von der Naturforscher-Versammlung zu Stuttgart im Jahre 1834 angenommen wurde. Für die neuere Stimmung der Französischen Oper vom 16. Febr. 1859 mit einem Normalton a_1 von 435 Schwingungen, welcher in einigen deutschen Opern eingeführt ist, würden also die Schwingungszahlen der folgenden Tabelle etwas zu groß und die Viertel-Wellenlängen etwas zu klein seyn.

(Hier folgt die Tabelle.)

Berlin, im Februar 1866.

Schwingungszahlen und Viertel-Wellenlängen
 der in der Musik gebräuchlichen Töne nach gleichschwebender Temperatur.
 Schallgeschwindigkeit bei 15° C. = 341^m,77 (log = 2,5337302).

Octave:	Doppelte Contra		Contra		Große		Kleine		Eingestrichene		Zweigestrichene		Dreigestrichene		Viargestrichene	
	C_{-2}		C_{-1}		C		c		c_1		c_2		c_3		c_4	
	n	$\frac{\lambda}{4}$	n	$\frac{\lambda}{4}$	n	$\frac{\lambda}{4}$	n	$\frac{\lambda}{4}$	n	$\frac{\lambda}{4}$	n	$\frac{\lambda}{4}$	n	$\frac{\lambda}{4}$	n	$\frac{\lambda}{4}$
C	16,35	5224,6 ^{mm}	32,70	2612,3 ^{mm}	65,41	1306,2 ^{mm}	130,8	653,1 ^{mm}	261,7	326,5 ^{mm}	523,3	163,3 ^{mm}	1046,6	81,6 ^{mm}	2093,2	40,8 ^{mm}
C ^{is}	17,32	4931,4	34,65	2465,7	69,3	1232,8	138,6	616,4	277,2	308,2	554,4	154,1	1108,8	77,1	2217,7	38,5
D	18,35	4654,7	36,71	2327,4	73,42	1163,7	146,8	581,8	293,7	290,9	587,4	145,5	1174,8	72,7	2349,6	36,4
D ^{is}	19,44	4393,6	38,89	2196,8	77,79	1098,4	155,6	549,2	311,2	274,6	622,3	137,3	1244,6	68,7	2489,3	34,3
E	20,60	4147,0	41,20	2073,5	82,41	1036,8	164,8	518,4	329,7	259,2	659,3	129,6	1318,6	64,8	2637,3	32,4
F	21,82	3914,2	43,65	1957,1	87,31	978,6	174,6	489,3	349,2	244,6	698,5	122,3	1397	61,2	2794	30,6
F ^{is}	23,12	3694,7	46,25	1847,4	92,5	923,7	185	461,8	370	230,9	740	115,5	1480	57,7	2960,1	28,9
G	24,50	3487,4	49	1743,7	98,0	871,8	196	435,9	392,0	218,0	784	109,0	1568	54,5	3136	27,2
G ^{is}	25,95	3291,7	51,91	1645,8	103,8	822,9	207,6	411,5	415,3	205,7	830,6	102,9	1661,2	51,4	3322,5	25,7
A	27,50	3107,0	55	1553,5	110	776,8	220	388,4	440	194,2	880	97,1	1760	48,5	3520	24,3
B	29,13	2932,6	58,27	1466,3	116,5	733,2	233,1	366,6	466,2	183,3	932,3	91,6	1864,6	45,8	3729,2	22,9
H	30,86	2768,2	61,73	1384,1	123,5	692,0	246,9	346,0	493,9	173,0	987,7	86,5	1975,5	43,2	3951	21,6
c	32,70	2612,3	65,41	1306,2	130,8	653,1	261,7	326,5	523,3	163,3	1046,6	81,6	2093,2	40,8	4186,4	20,4

Anmerkung. Für die verschiedenen Octaven habe ich in vorstehender Mittheilung die von Zamminer (die Musik und die musikalischen Instrumente, Gießen 1855, 8^o) angewandte Bezeichnung benutzt. Der Bequemlichkeit wegen mag hier eine Uebersicht der verschiedenen Bezeichnungen folgen:

Deutsche Bezeichnung:	$\underline{\underline{C}}$	\underline{C}	C	c	\overline{c}	$\overline{\overline{c}}$	$\overline{\overline{\overline{c}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}$
Französische »	ut ₋₂	ut ₋₁	ut ₁	ut ₂	ut ₃	ut ₄	ut ₅	ut ₆
Helmholtz	C_{II}	C_I	C	c	c'	c''	c'''	c^{IV}
Sondhaufs	c^{-3}	c^{-2}	c^{-1}	c^0	c^1	c^2	c^3	c^4
Zamminer	C_{-2}	C_{-1}	C	c	c_1	c_2	c_3	c_4

