6. Ueber die *Ermittelung von Obertönen*; von C. Stumpf.

Um das Vorhandensein von (objectiven) Obertönen in einem Klange zu erkennen, gibt es bekanntlich zahlreiche Mittel. Man kann das blossе Ohr oder das mit einem Resonator bewaffnete Ohr benutzen, auch wohl einen Resonator mit der breiten Oeffnung an die Klangquelle halten, während die schmale Oeffnung mit dem Finger abwechselnd verschlossen und wieder geöffnet wird; man kann durch die mitschwingende Luftmasse des Resonators Flammen in Vibration setzen; man kann einen oder mehrere Theiltöne durch Interferenz ausschliessen, um die übrigen besser hervortreten zu lassen; man kann eine auf einem Resonanzkasten befestigte Stimmgabel¹⁾ von gleicher Höhe mit dem gesuchten Oberton durch diesen in Mitschwingung versetzen lassen; man kann den Oberton mit einer gleichzeitig tönenden Gabel von etwas abweichender Höhe Schwebungen bilden lassen.²⁾

Die beiden hier zuletzt genannten Methoden aber, die sonst wohl die feinsten wären, sind nicht ohne weiteres beweiskräftig. Sei die Schwingungszahl des gesuchten Obertones n , die der gleichzeitig tönenden Hülfs-gabel bei der letzten Methode $n \pm h$, so können, wenn R. König Recht hat³⁾, die Schwebungen nicht blos vom Zusammenwirken des Tons $n \pm h$ mit n , sondern auch mit $n/2$, $n/3 \dots$, also in unserem Falle auch durch das Zusammenwirken der Hülfs-gabel mit dem Grundton des untersuchten Klanges hervorgerufen werden, ohne dass überhaupt der fragliche Oberton in diesem enthalten

1) Solche wollen wir im Folgenden kurz als „Resonanzgabeln“ bezeichnen.

2) Vgl. A. M. Mayer's Uebersicht und Discussion der verschiedenen Methoden, Americ. Journ. of Science 8. Nr. 44. p. 30. 1874. Von der Analyse durch gespannte Fäden sehen wir hier ab, weil die Bedingungen dabei doch wesentlich andere sind als bei der Luftleitung, auf die es uns hier allein ankommt.

3) R. König, Pogg. Ann. 157. p. 177 f. 1867; Wied. Ann. 12. p. 335 f. 1881.

ist. Nun ist zwar König's Behauptung der geltenden Theorie der Schwebungen kaum einzufügen; aber es fragt sich eben, wer von beiden, die Theorie oder die König'sche Behauptung, einer Revision unterzogen werden muss.

Einem ähnlichen Einwand ist die Beweiskraft der mitschwingenden Gabeln von gleicher Höhe mit dem Oberton unterworfen: das Mitschwingen einer Gabel von n Schwingungen könnte nicht bloß von einem in der Klangmasse enthaltenen Ton n , sondern auch von $n/2$, $n/3$. . . , also auch vom Grundton des zu analysirenden Klanges hervorgerufen werden. Theoretisch wird dies gemeinhin nicht bloss als möglich, sondern (mit Berufung auf die Analogie eines nach je 2, 3 . . . Eigenschwingungen angestossenen Pendels) als selbstverständlich angesehen. Ob mit Recht, könnte wohl gefragt werden. Helmholtz wenigstens u. A., die aus dem Mitschwingen unbedenklich auf den betreffenden Oberton geschlossen haben, scheinen hierüber anders gedacht zu haben. Jedenfalls bleibt eine experimentelle Prüfung auch hier erwünscht, ob in Wirklichkeit jemals ein Grundton innerhalb der Stärkegrenze, wie sie in der akustischen Praxis eingehalten zu werden pflegt, direct das Mitschwingen einer auf einen seiner Obertöne abgestimmten Gabel zu bewirken vermag.¹⁾

1. Man kann zunächst diese letzte Frage durch Ausschaltung des bezüglichen Obertones mit Hülfe von Interferenzröhren zur Entscheidung bringen.

Ich leitete den mächtigen Klang einer Zunge von 50 Doppelschwingungen pro Secunde, die in einem auf dem Blasetisch

1) Nach Versuchen glaubten bereits Seebeck und Wheatstone, dann R. König (Wied. Ann. 11. p. 857. 1880) directes Mitschwingen auf Untertöne behaupten zu dürfen, wenngleich König die Behauptung mit einiger Reserve ausspricht. Ferner vgl. zu der Frage Bosanquet, Report of British Association 1876, Transactions of Sections p. 45 (wo eine Umwandlung einfacher in zusammengesetzte Schwingungen in der Luft angenommen wird) und Bosanquet, Philosophical Magazine 12. p. 280. 1881 (wo König's Versuche besprochen und auf die mathematische Unmöglichkeit hingewiesen wird, so lange nur Kräfte im Spiele sind, die proportional der Ablenkung wirken). Endlich führte W. Wundt in der 2. und 3. Auflage seiner „Physiolog. Psychologie“ (in der 3. s. Bd. I p. 443) ein „entscheidendes“ Experiment für die directe Erregung an. In der 4. Aufl. findet sich aber an der Stelle nur eine theoretische Erwägung.

aufsitzenden, mit einer oberen Oeffnung versehenen Kasten befestigt war, vermittelst eines 3 cm weiten Schlauches durch eine ebenso breite Oeffnung in der 60 cm dicken Zimmerwand in einen zweiten Raum und fügte hier einen Interferenzapparat ein, durch welchen der Oberton 400 (achter Theilton) ausgeschlossen wurde. Verschliesst man die Leitung in dem zweiten Raum, so wird der Klang zwar noch herübergehört, aber er setzt eine Resonanzgabel von 400 Schwingungen nicht mehr in Mitschwingung, wie er dies thut, wenn sie sich in dem gleichem Raum mit der Klangquelle und in deren Nähe befindet.

Wenn man nun den einen der beiden, um die halbe Wellenlänge des Tones 400 differirenden Leitungsschläuche des Interferenzapparates zudrückt, sodass also durch die andere Leitung der Gesamtklang herüberkommt, so erfolgt starkes Mitschwingen der dicht vor die Mündung des Interferenzapparates gehaltenen Gabel 400. Dagegen erfolgt *kein* Mitschwingen, wenn beide Leitungen offen, also der Theilton 400 ausgeschlossen ist, obgleich in diesem Falle der Klang doch noch stärker zur Gabel 400 geleitet wird.

Man muss hierbei aber sehr vorsichtig mit der Gabel umgehen. Die geringste Berührung der Gabel oder ihres Resonanzkastens, ja eine rasche Bewegung derselben durch die Luft (um sie vor die Mündung des Apparates zu bringen), auch das Sprechen einer Person kann sie in Schwingung versetzen. Ebenso kann das Ticken einer Wanduhr, Strassengeräusch u. dgl., während man den Resonanzraum vor das Ohr hält, den Ton wahrnehmbar machen. Auch ist es nothwendig, sich vorher mit dem leisen Geräusch bekannt zu machen, das bei völliger Ruhe der Gabel vernommen wird, wenn man den Kasten an das Ohr hält, und in welchem leicht auch der bezügliche Ton minimal enthalten sein oder in welches er durch die Vorstellungsfähigkeit gleichsam hineingehört werden kann. Diesen Eindruck muss man dann eben beim Versuche selbst in Abzug bringen; man wird finden, dass das Minimum des Tones 400, welches man etwa zu hören glaubt, sich genau deckt mit dem, das man schon vorher in dem Kasten hörte, dass also die Gabel daran ganz unschuldig ist.

Hieraus könnte man nun schon schliessen, dass ein Grund-

ton von der Stärke, wie er im Beobachtungszimmer aus dem Schlauche dringt, nicht im Stande ist, eine Resonanzgabel von multipler Schwingungszahl bei blosser Luftleitung in Erregung zu versetzen, dass wir also dieses Reagens unbedenklich benutzen dürfen, um das Vorhandensein von Obertönen festzustellen. Der Schluss erscheint umso überzeugender, als ausser dem Grundton 50 auch noch die sehr starken Theiltöne 100 und 200 in dem Klange der Zunge enthalten sind, die gleichfalls die Gabel 400 in Mitschwingung versetzen müssten, wenn sie überhaupt durch tiefere Töne erregbar wäre.

Dennoch liesse sich zunächst noch einwenden, dass der stärkste Theilton des Klanges, der Grundton 50, bei dem angegebenen Versuch (welchen ich schon 1893 in München anstellte) nur *eine* Schwingung auf je 8 der Gabel machte. Hier ist, könnte man sagen, kein merklicher Einfluss mehr zu erwarten, und der dem Eigenton der Gabel zunächstliegende Theilton 200 ist doch vielleicht schon zu schwach, um die Wirkung auszuüben.

Ich befestigte daher statt der Zunge von 50 eine solche von 200 Schwingungen in dem obigen Kasten, benutzte aber wieder die nämliche Gabel zum Mitschwingen. Das Ergebniss war dasselbe. Ebenso bei dem Klange 150 und der Gabel 300. Ich löschte hier auch statt des bezüglichen Obertones vielmehr den Grundton des Klanges durch Interferenz aus: es zeigte sich, dass dies auf die Intensität des Mitschwingens der höheren Gabel gar keinen Einfluss hat; sie schwingt ebenso stark, wie beim unveränderten Klang. Der Grundton trägt also zum Mitschwingen nichts bei.

Ich verglich weiterhin die Stärke des durch die Leitung herüberkommenden Grundtones des Zunge 200 mit der Stärke des Tones, der unmittelbar vor der Oeffnung des Resonanzkastens einer so kräftig als möglich gestrichenen Gabel 200 erklingt, wobei ich als gemeinschaftliches Maass die Stärke des Mitschwingens einer zweiten Gabel 200 benutzte, die ich mit der Oeffnung ihres Kastens einmal dicht vor dem Kasten der ersten hielt, ein anderes mal an die Mündung des Interferenzapparates, aus welcher der Zungenklang kam, während die Interferenz auf 400 gestellt war. Es zeigt sich, dass die Hilfs-gabel im letzten Falle etwa ebenso stark mitschwang als im ersten.

Endlich nahm ich an Stelle der Zunge eine an Schallkraft noch ergiebigere Klangquelle. Ein Bombardon- und ein Posaunenbläser aus der Kapelle des Berliner Gardefüsiliers-Regiments bliesen zusammen den Ton 100 und bei anderen Versuchen 200 (welche Töne nach der Stimmung ihrer Instrumente gerade mit ihrem *G* bez. *g* zusammenfielen) in einen grossen Schalltrichter, der den Schall in die Oeffnung der Wand leitete, während die Einrichtung sonst die nämliche blieb. Auch der Ton 50 konnte so erzeugt werden, aber nur durch den Bombardon allein, da die Bassposaune nicht so tief hinabreicht. Ich untersuchte nun wieder das Mitschwingen der Gabeln 200—600 für die genannten drei Klänge. Der bei geschlossener Leitung direct durch die Wand herüberkommende Schall setzte keine Gabel in irgend deutliche Mitschwingung, ausgenommen eine auf 600 Schwingungen gestimmte König'sche Gabel, welche schwach erregt wurde. Der bei offener Leitung durch den Schlauch kommende Klang dagegen machte, wenn keine Interferenz vorlag, alle Obertongabeln sehr kräftig erklingen. Wurde nun die Interferenzröhre für den Ton einer Gabel eingestellt, so erfolgte wieder *kein* Mitschwingen; nur die obenerwähnte König'sche Gabel zeigte sich wieder schwach erregt, *aber nicht stärker* als es schon durch die directe Leitung des unveränderten Klanges durch die Wand geschehen war. In allen übrigen Fällen konnte man höchstens, wenn ich so sagen soll, einen Soupçon von Ton an der Gabel bemerken, bei dem man dauernd zweifelhaft blieb, ob überhaupt etwas von Ton vorhanden war oder nicht, und den man *genau ebenso* auch bei vollständigem Verschluss der Röhre, beim Herüberdringen des Gesamtklanges durch die Wand zu hören glauben konnte.

Es fand sich also auch hier das Vorhergehende bestätigt: das Mitschwingen einer Gabel war *ausschliesslich* Folge des Vorhandenseins eines Obertones von gleicher Höhe.

Auch hier verglich ich die Stärke des durch die Röhre herüberkommenden Grundtones mit der Stärke des Tones einer möglichst kräftig angestrichenen Gabel unmittelbar vor der Oeffnung ihres Resonanzkastens, indem ich zur Vergleichung das Mitschwingen einer und derselben Gabel (200) anwandte. Der erste Klang zeigte sich wider Erwarten nicht stärker als

der zweite; er war also durch die Leitung doch so abgeschwächt, dass er etwa mit derselben Stärke aus der Röhre drang, wie der vorher angewandte Zungenklang. In den Fällen, wo die Interferenz nur durch eine Verbindung zweier Röhrensysteme vollständig erzielt werden konnte (vgl. unten), war er sogar etwas schwächer. Diese letzteren Versuche lieferten also zwar eine Bestätigung, aber keine Erweiterung der früheren Ergebnisse.

Daher möchte ich nach wie vor den Satz nicht gerade ganz allgemein aussprechen (wenigstens so lange wir von theoretischen Erwägungen absehen): dass niemals durch einen Ton $n/2$, $n/3$. . . die Gabel n in Mitschwingung versetzt werden könne. Aber mit Sicherheit behaupte ich für die Fälle, wo der Ton die Intensität nicht überschreitet, wie sie eine starke, so kräftig als möglich mit dem Bassbogen gestrichene Gabel 200 dicht vor der Oeffnung des Resonanzkastens gibt, und die immerhin schon eine *sehr beträchtliche* genannt werden muss: *dass das Mitschwingen einer Resonanzgabel von multipler Schwingungszahl ausschliesslich durch einen Oberton von gleicher Höhe verursacht ist*. Und wenn man in Betracht zieht, dass in meinen Versuchen, wenn die bezüglichen Obertöne ausgeschlossen wurden, auch nicht einmal eine *schwache* Miterregung der Gabel stattfand, dass ferner, wenn der Grundton ausgeschlossen wurde, die Mitschwingung nicht im geringsten abgemindert wurde, so wird man auch noch so viel schliessen dürfen, dass der Grundton nur etwa bei ganz exorbitanter Stärke einen irgend erheblichen Einfluss auf das Mitschwingen höherer Gabeln gewinnen könnte, dass also der obige Satz wenigstens für alle Klangquellen, die bisher bei Versuchen über Tonempfindungen verwendet worden sind, Geltung habe.

Noch einige Bemerkungen über die Apparate. Als mitschwingende Gabeln wähle man solche zwischen etwa 300 und 600 Schwingungen, weil diese am kräftigsten mitschwingen. Damit der zu untersuchende Klang durch die Leitung nicht zu sehr geschwächt werde, muss der Leitungsschlauch die angegebene Weite haben, nahe an der Oeffnung des Zungenkastens aufgesetzt oder, wenn diese Oeffnung weiter ist, in den Kasten hineingeführt werden. Doch muss immer zwischen der Luft im Kasten und ausserhalb desselben eine Communi-

cation bleiben, sonst geräth die Zunge nicht in Schwingungen oder nur in Theilschwingungen. Auch die Interferenzröhren oder -schläuche dürfen nicht zu schmal sein. Ist die vollständige Auslöschung eines bestimmten Tones nicht zu erzielen, so verbinde man zwei Interferenzsysteme miteinander. Ich habe nach dem Princip der Quincke'schen Interferenzröhren eine Einrichtung aus Messingröhren herstellen lassen, die man bequem auf jede beliebige Tonhöhe richten kann (wobei auch zu beachten, dass durch die Differenz einer halben Wellenlänge auch solche Töne mit ausgeschlossen werden, bei denen die nämliche Differenz $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$. . . Wellenlängen entspricht, also z. B. mit dem Ton 100 zugleich 300, 500, 700 etc.). Die eine der beiden Leitungen hat einen Auszug nach Art der Posaunen, ausserdem kann jede der beiden Leitungen durch Einsatzröhren um einen Meter vergrössert werden, so dass Wegdifferenzen von 0 bis zu 312 cm (und mit Hülfe von Schlauchstücken natürlich auch grössere) herstellbar sind.¹⁾ Ausserdem benutzte ich öfters mit Vorthail bei tieferen Tönen Schläuche und Glasröhren von 3 cm Weite zur Interferenz. Man kann durch die erwähnte Vervielfältigung der Einrichtung sowohl die Auslöschung, wo es nöthig ist, vollständig machen, als auch nach Bedarf mehrere beliebige Theiltöne zugleich auslöschen.

Um zu prüfen, ob die für einen bestimmten Ton berechnete Stellung der Röhren den Ton wirklich vernichtet, und sie eventuell durch kleine Verschiebungen zu corrigiren, benutzt man am besten als Klangquelle von gleichmässiger Stärke eine durch Eingiessen von Wasser auf den gewünschten Ton abgestimmte, aus dem schmalen Spalt eines Glas- oder Metallröhrchens angeblasene Flasche. Der Wind wird durch Schlauchleitung aus dem Gebläse zugeführt. Durch Regulirvorrichtungen²⁾ und vorsichtiges Balgtreten wird gleichmässiger Winddruck erzielt. Man hört dann bei vollständiger Interferenz im Beobachtungszimmer an der Oeffnung der Interferenzröhre nur

1) Hr. Hofinstrumentenmacher Paulus in Berlin, Artilleriestr. 31, liefert eine solche Einrichtung zu 20 M.

2) Eine solche hat mir Hr. Mechaniker Oehmke in Berlin nach dem Princip der bei den Appunn'schen Zungeninstrumenten angewandten Regulatoren geliefert.

mehr das Blasegeräusch statt des Tones. Noch entscheidender ist der Beweis der Vernichtung, wenn man an die Oeffnung eine tönende Gabel hält, deren Höhe nur wenig von der des auszulöschenden Tones abweicht, und wenn dann keine Spur von Schwebungen auftritt.

Glaubt man bei Wiederholung der beschriebenen Versuche gelegentlich ein anderes Ergebniss, nämlich ein Mitschwingen auch bei Ausschluss des Obertones, zu finden, so wird man sich jedesmal bei genauerer Nachprüfung überzeugen, dass die Interferenz nicht vollständig oder dass das directe Herüberdringen des Gesamtklages Schuld war. Ich spreche dies mit solcher Bestimmtheit aus, weil ich selbst und alle zur Beobachtung herangezogenen Personen immerfort diese Erfahrung gemacht haben.

2. Mit den nämlichen Mitteln kann man nun auch die Frage untersuchen, ob die Schwebungen einer Gabel von der Schwingungszahl $n \pm h$ mit einem Klang von dem Grundton $n/2$, $n/3$. . . stets durch einen in diesem Klang enthaltenen Theilton n verursacht sind oder ob sie auch direct durch das Zusammenklingen von $n \pm h$ mit dem Grundton des Klages entstehen.

Nur war es hier nothwendig, noch ein drittes Zimmer zu benutzen, das mit dem zweiten durch eine Thür verbunden war. Während nämlich der bei verschlossener Zuleitungsröhre durch die Wand ins zweite Zimmer dringende Anthell des Schalles im allgemeinen nicht im Stande war, eine Gabel zum Mitschwingen zu bringen, bildete er doch mit einer nahe gleichgestimmten Gabel Schwebungen; ebenso entstanden Schwebungen mit einer Gabel, die einem Oberton des Klages nahezu gleich war. Es wurde daher der Schall vermittelt eines 3 cm weiten Schlauches durch das zweite $8\frac{1}{2}$ m lange Zimmer zur obigen Thür geleitet, in diese (deren Schlüsselöffnung verstopft wurde) eine Oeffnung gebohrt und eine Röhre aus Pappe eingesetzt, durch die der Schall in das dritte, in gleicher Flucht liegende Zimmer dringen konnte. Die Stärke des Klages wurde so regulirt, dass sich bei Verschluss dieser Röhre im dritten Zimmer keine Spur davon geltend machte, während er aus der geöffneten Röhre kräftig genug herauskam. Benutzt man zu enge Schläuche, so wird der Schall zu sehr

geschwächt, oder man muss ihn im ersten Zimmer so verstärken, dass er auch direct herüberdringt, was hier durchaus vermieden werden muss. Und zwar kommt es in letzterer Beziehung für die gegenwärtigen Versuche darauf an, dass der Klang nicht bloß unhörbar ist, sondern sich auch nicht durch Schwebungen mit einer Gabel verräth. Es können unter Umständen (wenn z. B. der Ton 600 im ersten Zimmer mit einer constant tönenden Flasche angegeben und die oben erwähnte König'sche Gabel, auf etwa 605 gestimmt, im dritten Zimmer in leise Schwingung versetzt wurde) bei scharfer Aufmerksamkeit noch merkliche Schwebungen am Resonanzkasten der Gabel beobachtet werden, wenn vom Ton der Flasche selbst im Zimmer keine Spur zu hören ist. Besonders ist dies der Fall beim Ausschwingen der Gabel, weil dann die Intensitäten des Flaschen- und des Gabeltones einander gleich werden, was für die Merklichkeit der Schwebungen günstig ist.¹⁾ Nimmt man dagegen weite Schläuche, so kann man diese Fehlerquelle vermeiden. Der Interferenzapparat, und zwar diesmal immer der doppelte, wurde im mittleren Zimmer in die Leitung eingeschaltet.

Es wurden wiederum als Klangquellen Zungen und zwar der Reihe nach solche mit den Schwingungszahlen 50, 100, 200, 300, als schwebende Gabeln solche mit den Schwingungszahlen 200—600, vorzüglich aber die erwähnte König'sche mit 600 benutzt. Diese Resonanzgabeln wurden so verstimmt, dass sie 4—5 Schwebungen mit dem bezüglichen Theilton des Zungenklanges bildeten. Bei dieser Anzahl sind Schwebungen, wenigstens in der tieferen und mittleren Region, am besten zu beobachten. Schwebungen höherer Töne sind merklicher, wenn sie zahlreicher sind und den Charakter des Schwirrens tragen.

Die Ergebnisse betreffend bemerke ich zunächst, dass wir „hohe“ und „tiefe“ Schwebungen unterscheiden müssen. Ich meine damit den Unterschied, je nachdem sie als Stärkeschwankungen des bezüglichen Obertones (bez. Gabeltones)

1) Man hört oft nur während eines bestimmten kurzen Abschnittes der Klangdauer die Schwebungen, wenn gerade die Intensitäten der ausschwingenden Hilfsgabel und des bezüglichen Obertones einander gleich sind.

oder des Grundtones des Klanges gehört werden. Man kann dies bei einiger Uebung sehr genau unterscheiden, obschon beiderlei Schwebungen denselben Rhythmus haben. Schwebungen des tieferen Tones wird man *immer* vernehmen, wenn auch mehr oder weniger deutlich und stark. Dagegen in Bezug auf die Schwebungen des hohen Tones zeigen sich die Verschiedenheiten der eingeführten Versuchsumstände. Die tiefen Schwebungen rühren von der Bildung eines Differenztones her, der dem tieferen Primärton nahe liegt und mit diesem schwebt. Die hohen Schwebungen rühren, wie sich aus den sogleich zu erwähnenden Beobachtungen ergibt, von einem Oberton der Klangquelle her, der mit dem höheren Primärton (dem der Gabel) schwebt. Die Anzahl der Schwebungen in der Secunde ist beiderseits nothwendig dieselbe. Wenn z. B. die Zunge 200 und die Gabel 405 zusammenwirken, entsteht als Differenzton 205, der mit 200 fünf Schwebungen gibt: ebensoviele entstehen aber durch die Collision des zweiten Theiltones der Zunge (wenn er nicht angeschlossen wird) mit dem Grundton der Gabel. Wenn die Zunge 100 mit der Gabel 605 zusammenwirkt, entstehen die fünf tiefen Schwebungen durch die Collision des Differenztones 105, der durch das Zusammenwirken des fünften Theiltones der Zunge und des Gabeltones entsteht, mit dem Grundton der Zunge; die fünf hohen Schwebungen durch die Collision des sechsten Theiltones der Zunge mit dem Gabelton.

Mit den „oberen und unteren Stößen“ R. König's fällt die erwähnte Unterscheidung nicht zusammen. Diese haben ja im allgemeinen einen ungleichen Rhythmus.

Bei unseren Beobachtungen ist nun also durchaus auf die *hohen* Schwebungen zu achten. Von den tiefen muss abstrahirt werden, ihr Vorhandensein ist für die vorliegende Frage irrelevant. Man wird aber, wie ich nochmals ausdrücklich hervorhebe, bei einiger Uebung nicht der geringsten Täuschung ausgesetzt sein, ob die beobachteten Schwebungen solche des tieferen oder des (mindestens um eine Octave) höheren Primärtones sind.¹⁾

1) Das nämliche bemerkte schon Bosanquet, Phil. Mag. 11. p. 428. 1881.

Das Ergebniss der mit aller Sorgfalt durchgeführten Beobachtungen (woran sich, wie auch schon an der vorher beschriebenen Reihe, besonders Hr. stud. Max Meyer mit grossem Geschick und dankenswerther Ausdauer betheiligte) ist nun dieses: *dass die hohen Schwebungen immer bemerkbar sind, wenn der bezügliche, der Gabel nahezu gleiche Oberton der Zunge in dem aus der Röhrenöffnung dringenden Klange vorhanden ist, dass sie dagegen verschwinden, wenn er durch Interferenz beseitigt wird.*

Dies zeigte sich übereinstimmend bei den Zungen 50, 100, 200 und 300 mit der Gabel 605 (wobei also im ersten Falle noch der zwölfte Theilton Schwebungen, und zwar sehr merkliche, mit der Gabel erzeugte); ebenso bei der Zunge 200 mit der Gabel 405.

Nur die Zunge 100 mit der Gabel 205 machte zuerst zu unserem Befremden eine Ausnahme: hier traten auch bei vollständiger Auslöschung des in der Zunge enthaltenen Theiltones 200 (controllirt in der obigen Weise durch das völlige Verschwinden des Tones, wenn er selbständig durch eine Flasche angegeben wurde) immer noch hohe Schwebungen auf. Bei weiterer Beobachtung zeigte sich aber, dass diese Schwebungen doppelt so schnell waren wie die tiefen, während sie die gleiche Schnelligkeit mit ihnen besitzen mussten. Dies führte auf die Erklärung: sie stammten von dem in der Zunge enthaltenen, durch die Interferenz nicht ausgeschiedenen Oberton 400 und dem zweiten Theilton der Gabel (410). In der That, wenn man statt der Gabel mit 205 eine mit 410 Schwingungen, ihre genaue Octave, einsetzte, war der Rhythmus der vernommenen Schwebungen genau der nämliche wie vorher. Dass bei der Zunge 200 mit der Gabel 405 nichts Analoges bemerkt wurde, erklärt sich aus der verschwindend geringen Stärke des zweiten Theiltones bei sehr schwach angeschlagenen Gabeln dieser Höhe.

Auch folgender Versuch ist noch von Interesse. Ich nahm statt der Zunge eine Gabel 200 und setzte unmittelbar davor, aber nicht auf denselben Tisch, um die Uebertragung der Erzitterungen durch die Unterlage auszuschliessen, eine verstimmte Gabel 600, sodass die Oeffnungen der beiden Kästen sich dicht gegenüberstanden. Durch starkes Streichen

der ersten Gabel wird dann die zweite von selbst mit in Schwingung versetzt, was nach den Untersuchungen unter 1. auf dem Vorhandensein des dritten Theiltones in der ersten Gabel beruhen muss; und es sind nun sowohl tiefe als hohe Schwebungen hörbar. Noch deutlicher, wenn die zweite Gabel selbständig, aber ganz schwach, angeschlagen wird. Ebenso ist es der Fall bei den Gabeln 300 und 600.

Wenn ich nun die Gabel 300 in das erste, die verstimmt Gabel 600 in das zweite, durch die Mauer abgetrennte und nur durch Röhrenleitung verbundene Zimmer brachte und die doppelte Interferenzröhre für 600 einschaltete, so trat das nämliche ein wie bei der Zunge als Klangquelle: fand Interferenz statt, so waren nur die tiefen Schwebungen vorhanden, fand keine statt, auch die hohen. Bei der Gabel 200 liessen sich dagegen in beiden Fällen keine hohen Schwebungen mit der verstimmt 600 beobachten; höchstens konnte man im Anfang, wenn 200 noch sehr stark tönte und gleichzeitig 600 nur sehr schwach angegeben wurde, bei Abstellung der Interferenz eine Spur beobachten.

Offenbar liegt der Grund darin, dass 600 als dritter Theilton in der Gabel 200 nur so schwach enthalten ist, dass er durch die Leitung in das andere Zimmer und die Röhren des Interferenzapparates, auch wenn dieser nicht auf 600 eingestellt ist, so gut wie ganz verschluckt wird, während er als zweiter Theilton (Octave) in 300 kräftiger enthalten ist.

Ich führe diese Modificationen an, weil gerade solche anfängliche Ausnahmen, indem sie sich einfach lösen und der Regel einfügen, nicht wenig zur Ueberzeugung beitragen.

Auch hier seien noch einige Bemerkungen über die Ausführung der Versuche und das Verhalten des Beobachtenden beigefügt. Es war bei diesen Versuchen besonders günstig, dass der Resonanzraum der König'schen Gabel 600 auf beiden Seiten offen war. Man hält die eine Oeffnung dicht vor die Röhrenmündung, die andere dicht vor das Ohr. Bei gehöriger Stille der Umgebung kann dann dem Beobachter, besonders wenn er sich zuvor mit dem Rhythmus der zu erwartenden Schwebungen vertraut gemacht hat, nicht die geringste Spur von solchen entgehen. Bei der Schwäche des Tones, mit dem die Gabel erklingen muss, um dem aus der Röhre kommenden

Oberton an Stärke nicht überlegen zu sein, muss man sich hüten, nicht gewisse unperiodische Schwankungen, wie sie bei sehr schwachen Empfindungen immer vorkommen, mit Schwebungen zu verwechseln. Sonst kann man allerdings auch gelegentlich bei Ausschluss des bezüglichen Obertones noch Schwebungen zu hören glauben. Endlich wird man bei lang fortgesetzter Beobachtung eine Art von Nachempfindung der Schwebungen haben, die selbst Stunden später noch wiederkehren kann (Empfindungen des Henle-Fechner'schen sogenannten Sinnengedächtnisses).¹⁾ Wenn solche auftreten, ist natürlich die Beobachtung zu unterbrechen.

Die Erwähnung dieser Fehlerquellen soll aber nicht den Eindruck erwecken, als wenn die Sache selbst für einen in solchen Dingen geübten Beobachter irgend zweifelhaft sein könnte. Ich glaube es vielleicht nach allem mit voller Bestimmtheit aussprechen zu dürfen, *dass ein Klang mit einer Gabel, die ein um wenige Schwingungen alterirtes Multiplum seiner Schwingungszahl gibt, nur durch den entsprechenden in ihm enthaltenen Oberton Schwebungen bilden kann, nicht aber durch seinen Grundton*; dass somit schwebende Gabeln als ein sicheres Kriterium für die Erkennung vorhandener Theiltöne dienen können.

Und zwar ist dieses Kriterium, im allgemeinen gesprochen, sicherlich das feinste. In einzelnen Fällen allerdings kann das Mitschwingen noch deutlich sein, wenn Schwebungen es nicht mehr sind. Das Mitklingen wird Gegenstand akustischer Beobachtung, nachdem der erregende Klang selbst beseitigt ist und die Aufmerksamkeit ausschliesslich und ungetheilt auf den zurückbleibenden Ton der mitklingenden Gabel gerichtet werden kann, während man bei den Schwebungen diese Erscheinung von den gleichzeitig gehörten Tönen sondern und die Aufmerksamkeit speciell auf sie concentriren muss. Die Leistungen eines geschulten Ohres endlich im directen Herausheören von Obertönen verhalten sich zu diesen beiden objectiven Kriterien (objectiv in dem Sinne, dass zunächst irgend eine

1) Ich habe, wie auch ein anderer Beobachter (Hr. Stud. Deetjen, der mich 1893 unterstützte), besonders bei Schwebungen tiefer Töne, auch öfters eine Wiederkehr im Laufe der Nacht erlebt.

objective Wirkung des Obertones hervorgebracht und diese zum Gegenstand der Beobachtung gemacht wird) verschieden, je nachdem es sich um dissonante oder mehr oder weniger consonante Obertöne handelt. Der stärkste, die Octave, wird im allgemeinen am schwersten herausgehört, leichter die Duodecime, sehr leicht der fünfte und der siebente Theilton.¹⁾

Die sorgfältige Anwendung der hier discutirten Kriterien, eventuell in Verbindung mit der Ausschaltung bestimmter Theiltöne durch Interferenz, wird, wie ich glaube, zur Lösung mancher bisher noch schwebenden Frage der Akustik hinführen. Ich will hier nur noch die Ergebnisse zweier Experimentalstudien anführen, welche unmittelbare Anwendungen der vorhergehenden waren.

1. Ueber die Zusammensetzung einiger relativ einfachen Klangquellen.

Bei der immer mehr hervortretenden Wichtigkeit der Verwendung einfacher Klänge für akustische Principienfragen schien es mir nothwendig, die verfügbaren Klangquellen und vor allem die bequemste und am meisten gebrauchte, die *Stimmgabeln*, aufs neue zu prüfen. v. Helmholtz glaubte in den Resonanzgabeln, die er in die Akustik einführte, wirklich einfache Klangquellen zu besitzen.²⁾ Bei sehr tiefen und sehr stark angeschlagenen Gabeln erklärte er jedoch später mit Resonatoren Theiltöne bis zum fünften zu hören.³⁾ Quincke erwähnt bei seinen Untersuchungen mit Interferenzröhren⁴⁾, dass er bei Resonanzgabeln stets die Octave gefunden, scheint aber ausser dieser keine weiteren Theiltöne anzunehmen (nach p. 182 u.). Stefan weist darauf hin⁵⁾, dass bei stärkeren Excursionen in der umgebenden Luft eines Stabes periodische Druckvermin- derungen in der Mittelebene eintreten, die der höheren Octave entsprechen, die denn auch bei Stimmgabeln an den äusseren

1) Hierüber vgl. meine Tonpsychologie 2. p. 127 f. u. 232 f.

2) v. Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen. 4. Aufl. p. 94—95.

3) v. Helmholtz, l. c. p. 263. (Zusatz der 4. Aufl.)

4) Quincke, Pogg. Ann. 128. p. 177 f. 1866.

5) Stefan, Sitzungsber. der Wien. Akad. Math.-nat. Klasse. 61. 2. Abth. p. 491. 1870.

Kanten ihrer Zinken zu beobachten sei (zu unterscheiden von der Entstehungsweise, die v. Helmholtz annahm). Preyer¹⁾ behauptete, durch mitschwingende Gabeln Theiltöne bis zum vierten nachgewiesen zu haben; allerdings setzte er die Hülfs-gabel auf den Kasten der Hauptgabel, wobei auch andere Gabeln, deren Schwingungszahl nicht ein Multiplum derjenigen der Hauptgabel bildet, in Schwingung versetzt werden können. Selbst wenn man die Hülfs-gabel neben die Hauptgabel, aber auf eine gemeinsame Unterlage setzt, kann die Erschütterung hinreichen; so konnte ich z. B. 300 durch 200 oder eine *b*-Gabel durch eine *c*-Gabel (7 : 4) in Schwingung setzen. Man muss also reine Luftübertragung anwenden. Dass aber auch dann in der That die vier ersten Theiltöne Resonanzgabeln erregen können, habe ich bereits früher erwähnt.²⁾ Preyer gibt ausserdem an, dass er bei einer Gabel $c = 128$ unter Anwendung verschiedener Kriterien (worunter aber nicht die Schwebungen) sogar alle Theiltöne bis zum zehnten habe nachweisen können. Für diese Angabe, die ich bis vor kurzem für das Ergebniss einer subjectiven Täuschung hielt, habe ich doch auch kürzlich einige sogleich zu erwähnende Seitenstücke gefunden.

Im Folgenden ist im Auge zu behalten, dass die Gabeln zunächst *möglichst stark* gestrichen wurden (die drei allertiefsten wurden durch kräftiges Einwärtsbiegen der Zinken in Schwingung versetzt). Auch dann treten die höheren Theiltöne doch meist nur im Anfang auf. Bei geringerer Grösse der Excursionen kann man einfachere Töne erzielen. Ueber den Sitz und die Entstehungsweise der multiplen Schwingungen soll hier nichts behauptet werden; die Beobachtungen lehren nur, dass sie in der Luft objectiv vorhanden sein müssen. Ich bemerke ferner, dass wir uns in allen irgend zweifelhaften Fällen durch Angabe des Rhythmus der Schwebungen gegenseitig vergewisserten, dass keine Täuschung obwaltete.

An drei freischwingenden (ans Ohr zu haltenden) Gabeln von Edelmann in München, die durch schwere Laufgewichte verstimmbar sind und die Töne der tiefsten Region von 18,5 bis

1) Preyer, *Akustische Untersuchungen*. p. 15 f. 1879.

2) Stumpf, *Tonpsychologie* 2. p. 233 f.

50 Schwingungen umfassen, konnte der zweite Theilton constatirt werden; bei der höchsten, wenn sie auf 50 Schwingungen gestellt war, auch der dritte, dieser aber nur sehr schwach.

Für die Region zwischen 100 und 700 Schwingungen standen mir eine grosse Anzahl von Resonanzgabeln von Appunn jun. und R. König zu Gebote. Bei den Gabeln von 100 bis 500 waren überall der zweite, dritte und vierte Theilton nachweisbar, bei den Gabeln 600 und 700 der zweite und dritte, doch könnte hier wohl der vierte auch noch vorhanden sein.¹⁾

Bei freischwingenden Gabeln resultiren natürlich dieselben Theiltöne, der Unterschied liegt nur darin, dass die Resonanzgabeln den Grundton relativ stärker und den ganzen Klang länger und auf weitere Entfernungen hören lassen. Der Nachweis der einzelnen Theiltöne ist aber wegen des rascheren Verklingens schwerer, namentlich bei Grundtönen über 200; am besten steckt man den Gabelstiel in einen Schlauch und leitet diesen ins Ohr.

Ein ganz überraschender Reichthum an Theiltönen fand sich bei einer König'schen *C*-Gabel (64 Schwingungen) aus dem Strassburger physikalischen Institut, die mit dem Fuss in ein eisernes Gestell eingeschraubt wurde und ohne Resonanzkasten einen kräftigen Ton gab: sie enthielt alle Theiltöne bis zum *zwölften*, den zweiten bis vierten sehr stark, unter den höheren noch besonders stark den zehnten, der auch mit blossem Ohr leicht während der ganzen Klangdauer herauszuhören war. Die Zinken dieser Gabel sind 10 mm dick und 15 mm breit. Solche Klangquellen kann man freilich (bei entsprechender Intensität) nicht einmal zu den *relativ* einfachen mehr rechnen.

Eine gleichfalls dem Strassburger Institut gehörige Resonanzgabel von Marloye in Paris für den Ton $c = 128$, mit

1) Als Hilfspgabeln diene vorzugsweise eine Serie äusserst empfindlicher König'scher Resonanzgabeln, die die chromatische Leiter $c^2 - c^8$ und die diatonische $c^8 - c^4$ umfassen ($c^4 = 2100$); für den vierten Theilton von 600, der schon über diese Grenze hinausliegt, eine Appunn'sche Gabel aus einer Serie, die sich nicht in solchem Maasse mitschwingungsfähig erwies; für den vierten Theilton von 700 fehlte es überhaupt an einer Hilfspgabel. So winzige Gäbelchen verklingen auch schleunigst und die Verbindung mit einem Resonanzraum nützt nichts mehr.

sehr starken Zinken (13:23 mm) und mächtigem Klang, liess alle Theiltöne bis zum achten noch ganz deutlich durch Schwebungen, theilweise auch durch Mitschwingen erkennen; der neunte machte sich nur bei stärkster Elongation kurze Zeit merklich.

Aehnliches fand sich bei einer *electromagnetisch* erregten Gabel für $c = 128$. Hier war mit blossem Ohr leicht der fünfte und sechste Theilton zu hören, mit Hülfsabeln waren alle bis zum neunten nachweisbar.

Bei einer electrischen Gabel für den Ton 100 mit dünnen Schenkeln, die auf einen dazu passenden Resonanzkasten gesetzt einen kräftigen Klang gab, fanden wir sogar noch den 16. Theilton deutlich schwebend, den 17. noch eben erkennbar.

Bei einer dritten, für $c' = 256$, mit verhältnissmässig (für Gabeln dieser Tonhöhe) starken Zinken 9:13 mm waren alle bis zum 8. nachzuweisen.

Bernstein's „akustischer Stromunterbrecher“¹⁾, eine ebenfalls auf electromagnetischem Wege in Schwingung versetzte Feder, die auf beliebige Tonhöhe eingestellt werden kann, gab, auf den Ton 200 gestellt, Schwebungen mit 400 und 600, aber nicht mehr mit 800. Der Klang ist allerdings auch sehr schwach. Bei Einstellung auf 100 war auch der vierte Theilton noch schwach vorhanden. Immerhin wäre dieses Instrument, mit Resonanzvorrichtungen verbunden, für akustische Studien in Betracht zu ziehen.

Ein von Hrn. Oehmke construirter Unterbrecher mit dicker Stahlsaite, die durch eine Schraube und durch zwei unter der Saite befindliche kleine Stützen sich etwa von $c=128$ bis zur höheren Octave bequem verstimmen lässt, gab bei c die Theiltöne bis zum zwölften, bei c' bis zum sechsten.

Dass die Dicke der Zinken bei Gabeln einen Unterschied macht, hat R. König richtig bemerkt.²⁾ Bei einer ausserordentlich dicken, frei schwingenden Gabel für den Ton $a^2=880$ (die Zinken hatten im Querschnitt $13\frac{1}{2}:20$ mm, was für Gabeln von dieser Tonhöhe enorm ist) fand sich sogar von der Octave so gut wie nichts. Freilich verklingt der Ton

1) J. Bernstein, Untersuchungen über den Erregungsvorgang im Muskel- und Nervensystem p. 98 f. 1871.

2) R. König, Wied. Ann. 12. p. 337 f. 1881.

auch schnell und lässt sich nicht so gut untersuchen, wie der von tiefen Resonanzgabeln.

Zu den einfachsten Klangquellen gehören sodann angeblasene Flaschen. Aber auch hier waren beim Grundton 100 die Theiltöne bis zum fünften, bei höheren Grundtönen bis zum dritten nachweisbar und der letztere auch mit blossem Ohr deutlich zu hören. Den vierten konnte ich dagegen bei höheren Grundtönen nicht mehr deutlich constatiren.

Eine von Hrn. Appunn zur Probe übersandte Metallpfeife von konischer Form, deren obere schmale Oeffnung angeblasen wird, während das untere breite Ende offen ist und durch Eintauchen in Wasser der Pfeife verschiedene Tonhöhe ertheilt, liess für den Grundton 300 nur den zweiten und dritten Theilton erkennen.

Endlich haben wir R. König's kleine Wellensirene¹⁾ untersucht, wovon uns ein Exemplar durch die Güte des Hrn. Prof. Hermann in Königsberg aus dem dortigen physiologischen Institut zugesandt war. Zunächst setzten wir an die Stelle einer der drei Blechscheiben, mit denen der Apparat geliefert wird, eine andere, auf der eine genaue Sinuscurve ausgeschnitten war (wie solche von König bei der grossen Wellensirene gebraucht werden). Es ergab sich aber keineswegs ein einfacher Ton, obschon der Klang *sehr schwach* war, sondern es waren der zweite, dritte und vierte Theilton noch deutlich durch Schwebungen mit den bezüglichen Gabeln nachzuweisen. Die Octave ist hier relativ so stark, dass man sie auch mit blossem Ohr unschwer heraushören kann.²⁾

1) R. König, Wied. Ann. 12. p. 344 f. 1881.

2) König äusserte (Wied. Ann. 12. p. 348. 1881) bezüglich der aus zwei Sinuscurven combinirten Curven, die wir nachher besprechen, Bedenken, ob die theoretischen Bedingungen praktisch hinreichend ausführbar seien, um (zwei) einfache Töne zu erzeugen, die Spaltöffnung sei nicht unendlich klein etc. „Doch scheint in Wirklichkeit — fährt er fort — die dadurch veranlasste Störung nur äusserst gering zu sein, da ich sie durch directe Analyse mit Resonatoren nicht bemerken konnte.“ — In seiner neuesten sorgfältigen Untersuchung über die (grosse) Wellensirene, die ich nur eben noch bei der Correctur verwerthen kann (Wied. Ann. 57. p. 339 f. 1896), bekämpft König die Vermuthung, dass Luftstauungen, Wirbelbewegungen u. dgl. die Tonerscheinungen compliciren könnten, erwähnt jedoch, dass nach Prüfung mit Resonatoren der durch

Es ergab sich ferner, dass die beiden Curven König's die ihrer Construction nach nur die vier ersten ungeradzahligen harmonischen Theiltöne geben sollen, auch die drei ersten geradzahligen 2, 4, 6 liefern; wenngleich schwächer als jene, sind sie doch durch Schwebungen evident nachweisbar. (Es dürfte nach meinen Erfahrungen überhaupt keine Klangquelle geben, die nicht wenigstens den ersten geradzahligen Theilton, die Octave, miterzeugte).

Bei schneller Drehung hört man sogar, wenn sämtliche Blaseöffnungen geschlossen sind, ein Octavenintervall leise erklingen, und zwar ist dabei die Octave etwa ebenso stark, wie der Grundton. Diese Octave muss natürlich auch mitgehört werden, wenn eines der Ventile geöffnet ist.

Im Anschluss hieran untersuchte ich nun noch (stets mit Hrn. stud. Meyer) die Frage, zu deren Entscheidung die kleine Wellensirene besonders dienen sollte, und erwähne hier die Ergebnisse, weil gerade an dieser Frage, auf deren principielle Wichtigkeit v. Helmholtz mit Recht hingewiesen, sich die Nothwendigkeit genauester Untersuchung der Obertöne sofort demonstrieren lässt:

2. Ueber Klangfarbenänderung bei Phasenverschiebung.

Die kleine Wellensirene sollte dem Nachweis dienen, dass Klangfarbenänderungen durch blosse Phasenverschiebung der Theilschwingungen eintreten können, ohne dass die relative Intensität der Theiltöne sich veränderte. Es sind zu diesem Zwecke die drei Blechscheiben mit je zwei Curven angebracht, deren Beschreibung in König's Abhandlung nachzulesen ist.

Wir fanden nun, dass factisch den Veränderungen der Klangfarbe beim Uebergang von der einen zur anderen Curve Veränderungen in der Intensität der Theiltöne entsprechen, derart, dass die Erscheinungen sich vollkommen unter das v. Helmholtz'sche Erklärungsprincip für die Klangfarbenunterschiede subsumiren. So ist z. B. bei der untersten Scheibe,

Anblasen von Sinuscurven erzeugte Ton bei geringer Intensität und mittlerer Tonhöhe von einer leisen Octave, bei tieferen Tönen auch wohl von einer schwächeren Duodecime begleitet sei; nur bei sehr grosser Intensität könne man mitunter die Theiltöne noch bis zum fünften erkennen.

deren beide Curven die aus den ersten acht harmonischen Theiltönen (mit abnehmender Intensität) resultirende Schwingung darstellen, und zwar die eine (*a*) mit Phasendifferenz $\delta = \frac{1}{4}$, die andere (*b*) mit $\delta = 0$, die Veränderung der Klangfarbe allerdings sehr auffallend. Bei *a* ist der Klang stärker und schärfer, bei *b* schwächer und milder. Aber schon mit blossem Ohre kann man erkennen, dass die relative Intensität der Theiltöne in der Luft trotz der gleichen Gestalt der Curven in beiden Fällen keineswegs die gleiche ist. Bei *a* kann man z. B. den fünften Theilton sehr kräftig heraushören, bei *b* nur äusserst schwach. Und das Nämliche lehren die Schwebungen mit einer nahe gleich gestimmten Gabel. Auch der siebente Theilton ist bei *a* noch gut mit dem Ohr erkennbar, bei *b* kaum mehr. Ferner wenn man durch langsame Drehung einen tiefen Grundton erzeugt, etwa 100, so ist schon mit blossem Ohr zu erkennen, dass dieser Grundton bei *a* *relativ* bedeutend schwächer ist als bei *b*, dagegen schon der dritte Theilton relativ kräftiger; was wiederum durch die Schwebungen bestätigt wird. Analoge Unterschiede finden sich auch bei den übrigen Curven. Es wäre ja auch von vornherein nicht wahrscheinlich, dass bei der bedeutenden Verstärkung und Schwächung des Grundtones, die von König selbst hervorgehoben wird, die Intensitäten der sämtlichen Theiltöne genau proportional sich veränderten und nicht auch Verschiebungen ihrer Stärkeverhältnisse einträten: ist es doch bei keiner bekannten Klangquelle anders. Weiter tragen zur Klangfarbenänderung aber auch die Unterschiede in der Beimischung des Blasegeräusches bei, das bei den schwächeren Klängen relativ mehr hervortritt.¹⁾ —

Man wird nun auch aufs Neue die Frage aufwerfen, ob nicht ebenso König's berühmte Beobachtungen über Entstehung von Stosstönen und von Schwebungen bei Intervallen über eine Octave²⁾ auf der Mitwirkung unbemerkt gebliebener Theiltöne beruhen, wie dies von Helmholtz angenommen

1) Ueber weitere positive Beweise für die Einflusslosigkeit der Phasenverschiebungen als solcher vgl. Hermann, Pflüger's Archiv f. Physiologie 56. p. 467 f. 1894.

2) R. König, Pogg. Ann. 157. p. 177 f. 1876.

wurde.¹⁾ Was die Schwebungen betrifft, so wird man begreifen, dass ich nach den obigen Ergebnissen nun doppelt zu dieser Annahme hinneige. Jedenfalls ist aber sehr zu bedauern, dass König die Prüfung der angewandten Klänge nur durch Resonatoren bewirkte²⁾ und dass er nicht die Probe angestellt hat, ob bei Einfügung von Interferenzröhren für die bezüglichen Theiltöne seine Schwebungen bestehen blieben. Bei der grossen Stärke der angewandten Klänge musste sich ja die dazu erforderliche Ueberleitung in einen zweiten Raum ausführen lassen.³⁾

Dennoch möchte ich nicht urtheilen, ehe ich nicht so aussergewöhnlich dickzinkige Gabeln aus der tiefen Region, wie sie König benutzte, direct auf ihre Theiltöne untersucht habe.

Von der Frage der Schwebungen ist dann aber die der resultirenden Töne („Stosstöne“) noch wohl zu scheiden. Beobachtungen hierüber wird Hr. Meyer in anderem Zusammenhange veröffentlichen.⁴⁾ —

Für künftige Untersuchungen ergeben sich aus allem Vorangehenden die Regeln:

1. dass in jedem einzelnen Falle, wo Obertöne einen Einfluss auf das Ergebniss haben können, die benutzte Klangquelle besonders auf ihre Zusammensetzung geprüft werden muss, und dass man sich nicht mit der theoretischen Deduction, wonach solche Klangquellen einfache Töne oder Klänge mit

1) v. Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen 4. Aufl. p. 263 und 264. 1877.

2) Auch Bosanquet verwendete bei seiner Nachprüfung der König'schen Ergebnisse nur Resonatoren (Phil. Mag. 11. p. 426 f.). Dazu kommt noch, dass Bosanquet als Klangquelle angeblasene Flaschen benutzte und das Gebläse mit einer Dampfmaschine verbunden hatte, deren Lärm, wie er selbst sagt, bedeutend störte. Damit mag es auch zusammenhängen, dass von den hohen Schwebungen so wenig zu hören war, da sie doch bei Flaschen sonst noch deutlich sind.

3) Die Bemerkungen König's über die bei Anwendung von Interferenzröhren unter Umständen eintretenden Fehlerquellen, Wied. Ann. 14. p. 377. 1881, können doch nur veranlassen, auf diese Fehlerquellen, die sich ausschliessen lassen, Rücksicht zu nehmen, aber nicht, das wichtige Untersuchungsmittel ausser Spiel zu lassen.

4) Vgl. Zeitschr. f. Psychologie u. Physiologie der Sinnesorgane. 1896.

blos gradzahligen oder blos ungeradzahligen Theiltönen geben „müssen“, beruhigen darf;

2. dass, wo es auf einfache Töne ankommt, die Stärke des Klanges so gering genommen werden muss, als es sich nur immer mit dem Zweck der Untersuchung verträgt (und in der That kann man z. B. bei Studien über die Unterschiedsempfindlichkeit u. dgl. in ruhiger Umgebung ohne Nachtheil sehr schwache Töne benutzen), oder dass die Obertöne durch Interferenz ausgeschlossen werden müssen.¹⁾

1) Wie ich nach Abschluss dieser Abhandlung bemerke, hat kürzlich Sauberschwarz (in Pflüger's Archiv f. Physiol. **61**. p. 1 f. 1895), der selbst wieder Grützner als Vorgänger citirt (Naturforscherversammlung zu Halle 1892), von dem Princip der Interferenz auch bereits für die Frage nach der Natur der Vocalklänge Gebrauch gemacht. Es wurde dabei eine andere Interferenzeinrichtung benutzt, die nach der Beschreibung erhebliche Vorzüge besitzen muss. Doch kann ich darüber noch nicht aus Erfahrung urtheilen. Ich will nur noch ausdrücklich betonen, dass die dort erwähnte Fehlerquelle der älteren Vorrichtung in meinen Versuchen durchweg vermieden ist, da wir die Auslöschung des bezüglichen Tones niemals blos auf Grund einer bestimmten Einstellung des Apparates *annahmen*, sondern in jedem einzelnen Falle durch besondere Beobachtung und vornehmlich durch den Wegfall aller Schwebungen mit einer nahe gleichgestimmten Gabel feststellten.