3. Ueber die verschiedenen Methoden der Bestimmung der Schwingungszahlen sehr hoher Töne; von F. Melde.

Seitdem ich in einer Abhandlung¹⁾ zwei Methoden beschrieb, welche gestatteten, die Schwingungszahlen sehr hoher Töne von *Stimmgabeln* mit genügender Sicherheit zu bestimmen, ist diese mehrfach wichtige Angelegenheit von verschiedenen Seiten weiter verfolgt worden und liegen nunmehr bereits so weit Resultate vor, dass man einmal versuchen kann, die verschiedenen Methoden, auf deren Anwendung sich rechnen lässt, zu schildern und weitere Bemerkungen anzuschliessen. Ich werde daher im Folgenden versuchen, die einzelnen Methoden, wie ja theilweise schon geschehen, mit Namen zu belegen, so dass man in Zukunft, falls man sich dieser Namen bedient, gleich weiss, was darunter zu verstehen ist.

Die verschiedenen Methoden gruppiren sich zunächst nach zwei Hauptabtheilungen, nämlich als:

A. subjective,

B. objective

Methoden. Zu den „*subjectiven*“ gehören alle diejenigen, bei welchen das *Ohr* zur *Entscheidung* über Schwingungszahlen herangezogen wird, und rechne ich dahin als erste Methode die „*directe Ohrmethode*“.

Ich verstehe darunter eine solche, bei welcher das Ohr direct aus dem *Nebeneinanderhören* zweier Töne im Stande ist, das *Intervall* der beiden Töne mit Bestimmtheit zu erkennen. Nimmt man dann hierbei z. B. ein C^5 als Vergleichston an, so wird ein Ton, der, vom Ohre hiermit verglichen, als die nächste Quinte erklärt wird, ein solcher von $4096 \cdot \frac{3}{2} = 6144$ Schwingungen sein. Leider wird nach meinen Erfahrungen diese Methode mehr und mehr unbrauchbar, wenn man zu

1) F. Melde, Wied. Ann. 51. p. 661—696. 1894. u. 52. p. 238 bis 262. 1894.

höheren und höheren Tönen kommt. Mir ist es z. B. nie gelungen, eine höhere Quinte von C^6 oder gar von C^7 direct durchs Ohr zu constatiren und zwar gleichgültig ob hierbei Töne von Stimmgabeln, Stimmpplatten oder Luftsäulen etc. in Betracht kommen. Damit stimmen mir gemachte Mittheilungen von Musikern überein, denen ich ein sehr scharfes Ohr für Intervallenunterschiede zurechnen muss.

Zu den subjectiven Methoden gehört zweitens die

„Differenzton-Methode“.

Sie besteht darin, dass zwei primäre Töne *nebeneinander* gehört werden und das *Ohr* im Stande ist: einen dritten Ton, den sogen. „Differenzton“ zu vernehmen und dann es vermag diesen dritten Ton, der als tieferer Ton seiner absoluten Tonhöhe nach leichter zu bestimmen sein muss, festzustellen. Gesetzt, man habe als tieferen primären *bekannten* Ton ein C^6 mit 8192 Schwingungen angenommen und hiermit einen höheren, zunächst unbekannten primären Ton; im Zusammenklang gehört und als Differenzton einen Ton von 500 Schwingungen, die sich ja mit jedem Sonometer nachweisen lassen, vernommen, so wäre der unbekannte primäre Ton ein solcher von $8192 + 500 = 8692$ Schwingungen.

Diese Methode ist seiner Zeit, wie ich glaube annehmen zu dürfen, insbesondere von G. Appunn (sen.) und zweifellos auch von A. Appunn (jun.) angewandt worden, um namentlich die Schwingungszahlen hoher *Gabeln*, die in alle Welt verbreitet wurden, zu bestimmen. Dass bei diesen Bestimmungen sehr grosse Fehler vorhanden waren, glaube ich durch meine objectiven Methoden nachgewiesen zu haben.¹⁾ Auch R. König handhabt diese Methode und ich glaube annehmen zu müssen, dass er im Stande ist, bis etwa zum C^7 mit 16384 Schwingungen hinauf noch zum erwünschten Ziele zu kommen.

Auch Stumpf und Meyer haben diese Methode angewandt und sind bis etwa zu einer Tonhöhe von 13000 Schwingungen zu brauchbaren Resultaten²⁾ gekommen. Meine Be-

1) F. Melde, l. c.

2) C. Stumpf u. F. Meyer, Wied. Ann. 61. p. 760–779. 1897.

denken gegen diese Methode habe ich bereits in der oben citirten Abhandlung ausgesprochen. Wenn nun dem gegenüber A. Appunn in zwei jüngsten Abhandlungen¹⁾ in seinen Literaturcitaten und im Texte auch *mich* als denjenigen bezeichnet, der ihm bei seinen *Stimmgabeln* Fehler bis zu 40000 Schwingungen nachgewiesen habe, so ist dies ein Irrthum. Ich habe ihm solche Fehler nicht unter Anwendung der Methode der Differenztöne, sondern unter Anwendung der von mir erfundenen objectiven „Resonanzmethode“ nachgewiesen²⁾ und das ist eine wesentlich andere Sache. Wie gesagt, mir scheint die Anwendung der Differenztöne bei hohen Tönen nicht viel versprechend und wenn nun gar, was A. Appunn in der zweiten soeben citirten Abhandlung von der Differenztonmethode behauptet, sich bestätigen sollte: nämlich man könne sich bei ihr in dem Numer der Differenztöne irren, d. h. man könne zweifelhaft sein, ob man es mit einem Differenzton I., II. etc. Ordnung zu thun habe, was ich indess bei hohen Primartönen bezweifle, so dürfte dieser Methode der Differenztöne der Abschied vollständig gegeben sein.

Hiermit ist aber der Beweis geliefert, dass die *subjectiven* Methoden überhaupt bei der Bestimmung sehr hoher Töne keine grosse Rolle spielen können und wird man naturgemäss auf die Abtheilung „B“ nämlich die „*objectiven*“ Methoden hingewiesen.

Hier kommen zunächst die

„einfach graphischen Methoden“

in Betracht. Ich verstehe darunter alle diejenigen, bei welchen ein schwingender Körper veranlasst wird: seine an sich sehr kleinen Schwingungen auf einen unter oder neben ihm sich vorbei bewegenden Körper aufzuschreiben, wobei bekanntlich Wellenzüge entstehen, deren Wellen sich insbesondere unter Anwendung eines Mikroskops zählen lassen. Hierbei können nun Einrichtungen zum Ziel führen, wobei direct die „*absoluten*“ Schwingungszahlen erhalten werden. Ueber eine solche Methode

1) A. Appunn, Wied. Ann. 67. p. 217—221. 1899 u. p. 222—226. 1899.

2) F. Melde, Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiologie. 71. p. 441 bis 456. 1898.

habe ich mich in meiner oben citirten Abhandlung¹⁾ bereits ausgesprochen. Soll sie genau zum Ziele führen, so müssen folgende Bedingungen erfüllt sein. Erstens, es muss der schwingende Körper mit einem geeigneten Schreibfederchen versehen werden; zweitens muss dieses letztere in einen feinen Ueberzug, am besten von einer dünnen Fettschicht, einschreiben können, welcher Ueberzug sich drittens auf einer rotirenden Trommel oder einer progressiv geradlinig bewegten, ebenen Glasplatte befindet, bei welcher Trommel man genau die Umdrehungsgeschwindigkeit, oder bei welcher ebenen Platte man genau die Progressivgeschwindigkeit zu bestimmen im Stande sein muss. In diesen letzten Forderungen läge aber eine Schwierigkeit für die Realisirung der Methode. Eine rotirende Trommel mit genau bestimmbar gleichmässiger Rotation setzt eine Art Uhrmechanismus voraus und zwar einen solchen, wobei auch eine *rasche* Umdrehung der Trommel eintritt. Denn wenn die sehr zahlreichen Wellen bei sehr hohen Tönen deutlich nebeneinander gezählt werden sollen, so muss deren Wellenlänge gross genug sein, um unter dem Mikroskop deutlich beobachtet werden zu können. Die gewöhnlichen rotirenden Trommeln mit geringer Rotationsgeschwindigkeit, wie sie bei tieferen Tönen oder sonst bei Bewegungen benutzt werden, mit denen sich namentlich auch die Physiologie beschäftigt, können hier nicht zum Ziel führen. Aber noch ein anderer Umstand kommt bei einer rotirenden Trommel in Betrachtung. Eine solche wird, wie bekannt, bei grösserem Umfang, z. B. von 40 und mehr Centimetern, nur aus Metall hergestellt werden können, welches schliesslich auf der Drehbank eine glatte Cylinderfläche darbietet. Bringt man nun auf dieser den Fettüberzug an, so kann man die feinen Wellenzüge in diesem nur bei auffallendem Lichte mit dem Mikroskop beobachten, was vielleicht schwierig ist, zumal die Trommel ja ein sehr unbequem zu handhabender Körper ist. Dieser missliche Umstand lässt sich aber, wie ich glaube, beseitigen, wenn man eine ganz dünne Glimmerplatte über ein Stück der Trommeloberfläche umlegt und in passender Weise auf dieser befestigt. Die Glimmerfläche bekommt dann den Fettüberzug

1) F. Melde, Wied. Ann. 51. p. 679. Abs. 10. 1894.

und kann hernach mit der auf ihr erfolgten Wellenaufschrift abgenommen werden, um bequem unter dem Mikroskop mit durchfallendem Licht beobachtet zu werden. Vielleicht lässt sich anstatt der Glimmerplatte auch ein glattes Oelpapier um die Trommel legen, wobei dann ja auch durchfallendes Licht benutzt werden kann.

Schwieriger dürfte es sein, wenn eine ebene Glasplatte neben oder unter dem schwingenden Körper mit rascher und dabei völlig gleichförmiger Geschwindigkeit vorbei gezogen werden soll.¹⁾

Die Methode selbst erfordert also: Bestimmung der Zeit t , in welcher die Länge l der Schreibfläche vorbei läuft und Zählen der Wellenmenge m auf dieser Länge l . Die absolute Zahl der Schwingungen wird dann aus der Gleichung:

$$(1) \quad N = \frac{m}{t}$$

berechnet. Die Länge l ist also gleichgültig und muss selbstverständlich nur nicht zu klein genommen werden.

Bei näherer Betrachtung zeigt sich indess, dass die Rotationsbewegung der Trommel bez. die Progressivbewegung einer Glasplatte gar nicht einmal mit gleichförmiger Geschwindigkeit vor sich zu gehen braucht, sondern dass nur dafür gesorgt werden muss, dass man die Zeit t , innerhalb welcher die Länge l unter dem Schreibstiftchen vorbei geht, genau messen kann. Ob dann diese Länge an einer Stelle schneller wie an anderen Stellen vorbeiläuft, ist gleichgültig. Man braucht offenbar nur zu wissen, wieviel Schwingungen innerhalb der Zeit t erfolgen, was ja identisch ist mit der Zahl der Wellen m in der Zeit t .

Bei diesen „absoluten“ Methoden bedarf es also keines „Vergleichskörpers“, sondern der bezüglich seiner Schwingungszahl in Betracht kommende Körper wird allein als aufschreibender Körper benutzt.

Anders ist es bei den *relativen*, graphischen Methoden. Sie setzen einen Vergleichskörper voraus und wenn er seiner Schwingungszahl N' nach bekannt ist und dann auf eine

1) Man beachte hierbei eine Abhandlung von Krass u. Landois, Pogg. Ann. 150. p. 565. 1873.

Strecke l einer Schreibfläche in ihrer Bewegung m' Wellen schreibt, so kann dann *nach* ihm ein seiner Schwingungszahl N nach unbekannter Körper seine Schwingungen auf *dieselbe* Strecke l der Schreibfläche in derselben Zeit t seine Schwingungen mit m Wellen aufschreiben und berechnet sich das N aus der Gleichung:

$$(2) \quad N = N' \cdot \frac{m'}{m}.$$

Es fragt sich dann weiter, muss sich die Schreibfläche durchgängig mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegen? Dies ist nicht erforderlich, denn wenn an irgend einer Stelle der Progressivbewegung die Schreibfläche sich rascher bewegt, so wird diese raschere Bewegung sich für den fraglichen Körper gerade so von Einfluss zeigen wie für den Vergleichskörper, d. h. wenn bei diesem letzterem an der betreffenden Stelle sich längere Wellen bilden, so werden an derselben Stelle auch längere Wellen bei dem fraglichen Körper eintreten, die relative Zahl der Wellen wird aber dieselbe bleiben.

Eine brauchbare Anwendung dieser Methode ist von mir nach verschiedenen Richtungen hin versucht worden, schliesslich bin ich dazu gekommen, eine Art ballistischen Pendels zu verwenden, das unten an seinem Pendelkörper einen Glasstreifen befestigt erhält, der die Schwingungen mitmacht und auf welchen der schwingende Vergleichskörper und nach ihm der zu untersuchende Körper seine Schwingungen aufschreibt. Die ganze Sache ist nun von einem meiner Schüler zum Gegenstand einer Doctorarbeit gemacht worden, deren Resultate in Kürze zur Veröffentlichung kommen werden. Ich möchte den hierbei maassgebenden Apparat mit dem Namen

„Pendelvibrograph“

belegen. Selbstverständlich erfolgt die Beobachtung und Zählung der Wellen unter Zuhülfenahme eines Mikroskops.

Eine andere relative vibrographische Methode wurde von mir in der Weise eingerichtet und zur Anwendung¹⁾ gebracht, dass ich den Vergleichskörper und *gleichzeitig* neben ihm den zu untersuchenden Körper auf eine Glasplatte ihre Wellenzüge aufschreiben liess. Man bekommt dann zwei

1) F. Melde, Wied. Ann. 51. p. 661 ff. 1894.

parallel nebeneinander liegende Wellenzüge, auf denen man für ein und dieselbe Strecke l und dieselbe Zeit t die Zahl m' und m der Wellen feststellen kann. Man könnte den Apparat dieser Methode mit dem Namen

„Parallelvibrograph“

belegen und habe ich die ganze Methode genau im Jahre 1894 beschrieben¹⁾ und ihre Brauchbarkeit dargethan. Ihre Mängel wurden aber später die Veranlassung zu der Erfindung des Apparates, der im unmittelbar Vorausgehenden mit dem Namen „Pendelvibrograph“ belegt und in seiner Einrichtung vorläufig angedeutet wurde.

Im Jahre 1876 hat S. Th. Stein²⁾ eine Abhandlung mit der Aufschrift: „Photographie der Töne“ veröffentlicht, welche interessante und wichtige Abhandlung die Darstellung einer graphisch-objectiven Methode enthält. Dieselbe gestattet die Schwingungszahlen beliebiger fester schwingender Körper mit Hilfe einer photographischen Aufnahme zu bestimmen und hierbei auch selbstverständlich dauernd zu fixiren. Man kann daher den Apparat dieser Methode mit dem Namen

„Photovibrograph“

bezeichnen. Das Wesen dieser interessanten Methode besteht in Folgendem. Durch einen Heliostaten wird ein Sonnenstrahlenbündel in ein Zimmer geworfen und fällt zunächst auf den schwingenden Körper, z. B. eine in verticaler Ebene schwingende Stimmgabel, welche an einem ihrer Zinkenenden ein ganz dünnes Glimmerblättchen trägt, das bis auf ein ganz kleines rundes Fleckchen mit Tusche geschwärzt ist oder auch mit einem feinen Löchelchen durchbohrt ist, sodass das Lichtbündel, welches auf dieses Glimmerblättchen gelenkt wird, in einem feinen Strahl dieses durchsetzt. Fällt nun dieser Strahl auf eine photographisch präparirte Platte, so würde hier ein feiner schwarzer Punkt bei der photographischen Aufnahme entstehen. Wenn aber die photographische Platte entsprechend rasch geradlinig fortbewegt wird, so leuchtet ein, dass dann auf derselben eine Wellencurve gebildet wird, deren Wellen man nur zu zählen braucht, um zur Bestimmung der Schwingungs-

1) F. Melde, l. c.

2) S. Th. Stein, Pogg. Ann. 159. p. 142—151. 1876.

zahl zu gelangen. Hierbei kommt es dann darauf an, ob man in absoluter oder in relativer Weise zum Ziel gelangen will. Ist ersteres der Fall, so braucht man keinen Vergleichskörper, muss aber dann die Zeit, welche die betreffende Strecke der photographischen Platte, auf welcher die Wellentrace entsteht, bestimmen können. Wird die Bestimmung auf relativem Wege erreicht, so muss der Versuch erst mit dem Vergleichskörper und dann mit dem zu untersuchenden angestellt werden; bewegt sich dann die photographische Platte genau um dieselbe Strecke und genau in derselben Weise wie beim Vergleichskörper, so genügt es, die Wellen für beide Wellenzüge auf derselben Strecke zu zählen, da ja, wie leicht begreiflich, dann die Gleichung (2) zur Anwendung kommt. Stein berechnete, dass mit seiner photographischen Methode Schwingungszahlen bis zu 38000 bestimmt werden könnten, „ja sogar solche, welche die obere Grenze des menschlichen Hörens überschritten“. Das Werthvolle der Methode liegt dann noch darin dass zunächst *alle* festen Körper untersucht werden können, da ein so kleines leichtes Glimmerblättchen sich überall anbringen lässt, ohne dass die Schwingungszahlen merklich alterirt werden.

In jüngster Zeit hat nun auch A. Appunn eine photovibrographische Methode benutzt, um zu richtigen Schwingungszahlen zu gelangen. Er wandte diese Methode nur auf die Untersuchung seiner hohen gedeckten Pfeifchen an. Diese Pfeifchen befreite er oben von ihren festen Metalldeckelchen und ersetzte diese durch sehr dünne Glimmerblättchen, welche geschwärzt wurden und nur in ihrer Mitte ein kleines, kreisrundes, blankes Fleckchen behielten. Auf dieses Fleckchen lenkte er dann von einem Heliostaten aus ein Sonnenstrahlenbündel, welches vom Blättchen auf einen rotirenden Spiegel und von diesem auf eine feststehende photographische Platte gelenkt wurde. Beim Anblasen des Pfeifchens schwang das kleine Glimmerdeckelchen mit; schon der Spiegel lieferte dann in bekannter Weise eine nach der Zahl der Schwingungen in kleine Wellenabtheilungen zerlegte Wellencurve, welche dann auch auf der photographischen Platte in vergrössertem Maassstabe ihre Fixirung erhielt. Auf diese Weise will Appunn im Stande gewesen sein, noch Schwingungszahlen der Pfeifchen

bis zum $C^9 = 65536$ nachzuweisen. Denn auf einer bestimmten Länge des photographischen Bildchens gleich 22 mm zählte er beim C^5 eine Anzahl von 5 Wellen, bei C^7 eine Zahl von 20 Wellen und bei C^9 eine Zahl von 70 Wellen, sodass, wenn C^5 als Vergleichskörper mit 4000 Schwingungen zu Grunde gelegt wird, das C^7 dann 16000 und C^9 dann 56000 geben würde. Die ganze Einrichtung der Methode kann wohl noch mit grösserer Sicherheit und Präcision der Aufstellung der einzelnen Theile in Verbindung treten. Jedenfalls aber darf jetzt schon angenommen werden, dass die Photographie auch auf dem Gebiete der Akustik hierbei einen Triumph feiert darin, dass sie das Vorhandensein von Tonschwingungen bildlich darthut, wo das Ohr längst ausser Stande ist, Schwingungen zu erkennen, oder gar noch Tonintervalle festzustellen.

An dieser Stelle sehe ich mich veranlasst, folgendes hervorzuheben. Appunn sagt in den einleitenden Worten in der zuletzt citirten Abhandlung:

„Die Angriffe, welche meine „praktischen“ Erfahrungen in Bezug auf Bestimmung höchster Töne „mittels des Ohres“ erfahren haben (nämlich durch Melde, Stumpf und Meyer), mussten naturgemäss den lebhaften Wunsch in mir erregen, eine Methode ausfindig zu machen, welche es ermöglichte, die Richtigkeit meiner Behauptungen auf einem vom Gehöre unabhängigen Wege zu beweisen.“ Hierzu bemerke ich:

1. Die Einführung der Photographie verdanken wir schon vor mehr wie 20 Jahren Stein.

2. Die photographischen Bilder Appunn's, welche er in seiner Abhandlung mittheilt, beweisen für die Richtigkeit des Appunn'schen *Hörens* gar nichts. Sie beweisen nur, was vorläufig zugegeben werden soll, dass die Schallschwingungen in den kleinen gedeckten Pfeifchen wohl annähernd sich wie die Längen dieser Pfeifchen verhalten. Wenn nun Appunn ein C^7 -Pfeifchen gegenüber einem C^6 als die Octave angiebt und wenn C^6 , auf anderem Wege gefunden, wohl richtig mit 8196 Schwingungen angenommen wird, das C^7 durch sein *Ohr* als Octave mit 16384 Schwingungen erkennen liess, so waren diese 16384 eine nach dem von Appunn als richtig vorausgesetzten Längengesetz der Pfeifchen *errechnete* Zahl.

Dagegen, dass er diese Zahl durch das Ohr feststellen konnte, spricht, dass ich ihm für seine hohen Stimmgabeln durch meine objective Resonanzmethode Fehler bis zu 40000 nachweisen konnte. Sein Versuch, sich nach dem Augenschein, nach den Grössenverhältnissen zweier Gabeln, z. B. C^6 und C^7 zu helfen, ist nicht hinreichend zulässig, denn es fehlt hier ein gültiges, einfaches Dimensionengesetz, wie es bei seinen Pfeifchen wohl annähernd als richtig gelten kann.

3. Bezüglich dieses Längengesetzes bei den Appunn'schen Pfeifchen müssen zweifellos noch genauere Untersuchungen durchgeführt werden. Bei den Galtonpfeifchen ist die Labiumöffnung unten eine ringsum gleichmässig verlaufende kreisrunde Spalte, während bei Appunn diese Oeffnung eine einseitig eingefeilte schiefe Oberlippe besitzt, und kann man wohl kaum annehmen, dass bei solchen Pfeifchen ein so einfaches Längengesetz gelten kann, schon deshalb nicht, weil man vor allem fragen muss, von welcher Stelle des Labiums aus soll denn die Länge des Luftsäulchens gemessen werden?

Diesen graphischen Methoden gegenüber stehen nun diejenigen Methoden, wobei Resonanz in Betracht kommt, vor allem die von mir eingeführte und genau entwickelte¹⁾

„Resonanzmethode“.

Der schwingende Körper theilt hierbei seine Transversalschwingungen einem anderen festen Körper mit; dieser letztere lässt durch aufgestreuten Sand auf seiner Oberfläche eine Knotenlinienfigur entstehen, aus welcher nach einer *theoretischen* Formel die Schwingungszahl sich berechnen lässt. Dieser resonirende Körper ist bis jetzt von mir nur als in einer Form brauchbar erkannt worden, nämlich in Form eines regelmässigen, nicht zu dicken Metallstabes, welcher senkrecht zu seiner Längsrichtung scharfe Transversalknoten zeigt. Eine Saite kann nicht benutzt werden, da sie das Aufstreuen von Sand nicht gestattet, und auch aus anderen Gründen unbrauchbar ist. Scheiben und Membranen eignen sich auch nicht, da für sie keine theoretischen Formeln existiren, welche gestatten, aus der Knotenfigur und den Dimensionen der Scheibe oder der Membran die Zahl der Schwingungen zu berechnen.

1) F. Melde, Wied. Ann. 52. p. 238 ff. 1894.

Die Methode geht, soweit ich sie bis jetzt beschrieben und angewendet habe, von einem „Vergleichskörper“ aus; liefert er eine *bekannte* Zahl Schwingungen N' , bei einer frei schwingenden Länge des Resonanzstabes gleich L' eine Anzahl Knoten gleich k' , so ergibt sich bei demselben Stab für einen anderen Körper mit einer unbekannten Zahl von N Schwingungen bei einer Stablänge L und einer Zahl Knoten gleich k das gesuchte N aus der Gleichung:

$$(3) \quad N = N' \cdot \frac{L'^2}{L^2} \cdot \frac{\epsilon^2}{\epsilon'^2},$$

wobei bekanntermaassen die Grössen ϵ und ϵ' von der Zahl der Knoten abhängen, Zahlenwerthe, welche aus jeder vollständigeren Darstellung der Akustik entnommen werden können.

Die Methode ist demgemäss auch eine relative Methode, da sie einen Vergleichskörper voraussetzt. Es leuchtet aber ein, dass die Seebeck'sche Formel auch unmittelbar benutzt werden kann, um die Schwingungszahl einer Stimmgabel etc. direct ohne Benutzung eines Vergleichskörpers, also sofort in absolutem Sinne zu berechnen. Es kommt hierbei darauf an, dass man den Elasticitätsmodulus des Resonanzstabes als bekannt voraussetzen darf. Wenn dieser Stab aus Stahl besteht, so kann man ja diesen Elasticitätsmodulus wohl hinreichend genau zu 20000 Kilo annehmen. Dies zuzugeben, erkennt man aus der Seebeck'schen Formel

$$(4) \quad N = \frac{\epsilon^2 \cdot h}{4\sqrt{3} \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot g}{s}},$$

dass, wenn noch das spec. Gewicht s des Resonanzstabes bekannt ist, rechts alle Grössen bekannt sind und kann somit N ohne weiteres durch Rechnung gefunden werden. Es kann auch leicht, wenn man eine Gabel, z. B. $C^5 = 4096$ Schwingungen, als bekannt annimmt und mit ihr einmal eine Resonanzfigur auf dem Resonanzstab, z. B. mit 10 Knoten, bei der Länge L erhält, die rechte Seite der Gleichung unter Zugrundelegung von E , g , s , h , L und ϵ berechnet werden und wird man ja dann erkennen: inwieweit dieses berechnete N mit dem als bekannt vorausgesetzten $N = 4096$ übereinstimmt. Bekanntermaassen ist dieses ja auch der Weg, den man ein-

schlagen muss, um umgekehrt den Elasticitätsmodulus aus Transversalschwingungen zu berechnen. Es ist dann

$$(5) \quad E = \frac{N^2 48 \cdot L^4 \cdot s}{\epsilon^4 \cdot h^2 \cdot g}.$$

Würde man nun E auf diesem Wege vielleicht für *drei* bekannte N , etwa für C^4 , C^5 , C^6 berechnen, so erhielt man drei E , deren Mittelwerth dann wohl ein genaueres E wie das als 20000 vorausgesetzte lieferte, welches genauere E dann wiederum unter Anwendung der Gleichung (4) benutzt werden könnte, um ein unbekanntes N genauer zu berechnen.

Ich komme nun noch zur Hervorhebung einer anderen Thatsache, deren weitere Verfolgung möglicherweise zu einer neuen Methode führt, um die Schwingungszahlen sehr hohen Töne genau bestimmen zu können. Es ist bekannt, dass die sogen. „sensitiven“ Flammen auf sehr hohe Klänge, wie z. B. Zischlaute etc. reagiren, d. h. bedeutende Deformationen bekommen, wenn selbst aus weiter Ferne solche Klänge erregt werden. Die bekannten sensitiven Flammen sind ja die, welche entstehen, wenn z. B. aus einem Specksteinbrenner mit feiner Oeffnung unter erhöhtem Druck Leuchtgas ausströmt. Diese Flammen sind dann wohl 30—40 cm hoch und bilden ziemlich durchweg schmale Lichtcylinder, die auch ziemlich ruhig fortbrennen, ohne auffällige Geräusche zu erregen. Sobald man aber neben einer solchen Flamme einen Zischklang erregt, wird dieselbe sofort sehr auffällig verändert. Die Höhe der Flamme nimmt bis etwa auf die Hälfte ab und der obere Theil derselben nimmt die Form eines Flammenbüschels, ähnlich bekannten Federbüscheln an, während der untere Theil noch cylindrisch, wie der Stiel eines Federbusches verbleibt. Ich kam nun auf den Gedanken, auf diese Flammen einmal die regelmässigen sehr hohen Töne meiner Stimmgabeln und meiner Stimmpplatten, ebenso aber auch die Töne von Galtonpfeifchen und Appunn'schen Pfeifchen einwirken zu lassen. Es zeigte sich, dass die *höchsten* Töne der Stimmpplatten und ebenso der Pfeifchen die stärkste Reaction auf die Flammen ausübten, indem sofort die Büschelflammen eintraten. *Die sensitiven Flammen sind daher ein ausgezeichnetes Mittel, um das Vorhandensein von den höchsten Tönen, ja von den höchsten auch*

vom Ohre längst nicht mehr wahrgenommenen Schwingungen in auffälliger Weise zu constatiren. Schon diese Eigenschaft der Flammen ist von besonderem Werthe.

Wenn man weiter eine sensitive Flamme in einem rotirenden Spiegel beobachtet und auf sie einen hohen Ton einwirken lässt, so zeigt das Spiegelbild die bekannten sägezahnartigen Gestalten. Es entsteht nun die Frage: ob es möglich ist, bei der Erregung eines *bestimmten* hohen Tones auf die Flamme diese Einwirkung so für sich erkenntlich zu machen und gewissermaassen zu isoliren, dass man im Stande ist, die dem hohen Tone allein oder vorzugsweise neben etwaigen anderen Einwirkungen diesem hohen Tone allein zukommenden Flammenzähne mit dem Auge zu erkennen, sie auf einer bestimmten Länge des Wellenzuges zu zählen und vielleicht auch auf photographischem Wege zu fixiren. Gelingt dies, so würde selbstverständlich eine sehr werthvolle Methode, in *objectiver* Weise die Schwingungszahlen sehr hoher Töne zu bestimmen, gewonnen sein.

Marburg, im Februar 1899.

(Eingegangen 11. Februar 1899.)