**14. Ueber Stimmplatten als Ersatz für
Stimmgabeln, besonders bei sehr hohen Tönen;
von F. Melde.¹⁾**

1. Die gewöhnlichen Chladni'schen Klangscheiben pflegt man wohl immer so herzurichten, dass man ihnen z. B. bei quadratischer Form eine Seitenlänge von ca. 15 cm und eine Dicke von ca. 2—3 mm giebt. Die Grundtöne solcher Scheiben, wobei das bekannte Knotenkreuz durch die Mitten der Seiten geht, sind dann keine hohen Töne. Auch will man ja mit solchen Scheiben nicht bloss die Grundschiwingung, sondern namentlich auch die immer höher werdenden Oberschwingungen herausbringen, um bei diesen die complicirteren Klangfiguren Chladni's zu erhalten. Will man nun aber höhere Töne haben, so hat man nur nöthig entweder die Seitenlängen zu verkleinern, oder die Dicken zu vergrössern, oder zur Erzeugung höchster Töne beides gleichzeitig zu thun. Bereits Chladni gab nun eine Formel, wonach die Schwingungszahlen N und N_1 zweier Scheiben von demselben Material, von derselben Gestalt und bei derselben Knotenlinienform sich umgekehrt verhalten wie das Quadrat der Seitenlängen l und l_1 und direct wie die Dimension der Dicken d und d_1 , d. h. es gilt hiernach die Gleichung:

$$(1) \quad \frac{N}{N_1} = \frac{l_1^2}{l^2} \cdot \frac{d}{d_1},$$

oder

$$(2) \quad N = N_1 \cdot \frac{l_1^2}{l^2} \cdot \frac{d}{d_1}.$$

Lassen wir demgemäss:

$$l = \frac{l_1}{2} \quad \text{und} \quad d = 2 d_1$$

werden, so wird:

$$(3) \quad N = N_1 \cdot \frac{l_1^2}{\left(\frac{l_1}{2}\right)^2} \cdot \frac{2 \cdot d_1}{d_1} = 8 \cdot N_1,$$

1) Eine frühere Abhandlung ist erschienen; Sitzungsber. d. Gesellsch. z. Beförd. d. ges. Naturwissensch. zu Marburg Nr. 4. 1898.

d. h. eine Scheibe N mit halb so grosser Seitenlänge und doppelter Dicke giebt schon die *dritte* Octave der Scheibe N_1 . Man sieht hiernach leicht ein, dass durch Veränderungen der beiden Dimensionen l und d sehr hohe Töne erzielt werden können und dies war die Veranlassung für mich: einmal zu probiren, ob sich solche dicke Scheiben mit kleiner Seitenlänge noch in Schwingung versetzen liessen und im Falle dies möglich war, ob ihre Schwingungszahlen auch wirklich experimentell zu bestimmen waren. Beides gelang mir vortrefflich und bin ich im Stande gewesen, Schwingungszahlen bis ca. 30000 zu erreichen, aber nicht bloss das, sondern auch den unumstösslichen Beweis zu liefern, dass Stimmplatten, die solche hohe Schwingungszahlen besitzen konnten, auch wirklich in Schwingung geriethen. Dieser letztere Punkt bedarf zunächst einer näheren Erläuterung.

2. Ob ein Körper durch irgend ein Mittel in eine Vibrationsbewegung mit grosser Schwingungszahl geräth, lässt sich auf verschiedenem Wege erkennen. Erstens kann das *Ohr* vielleicht einen Ton vernehmen. Ist dies der Fall, so bedarf es keines weiteren Beweises für das Vorhandensein einer Vibrationsbewegung. Für meine Person kann ich *bei Stimmgabeln* und *Stimmplatten* mit ca. 10000 Schwingungen ungefähr noch erkennen, dass ein Ton da ist; darüber hinaus aber fällt für mich das Erkennen einer Vibrationsbewegung direct durchs Ohr weg. Es entsteht daher für mich z. B. bei einem solchen Körper, der voraussichtlich 15000, 20000 etc. Schwingungen geben könnte, die Frage: schwingt denn dieser Körper auch wirklich? Bekannt sind z. B. die König'schen cylindrischen Stahlstäbe zur Erzeugung sehr hoher Töne. Bei ihnen lassen sich die Schwingungszahlen der Transversaltöne theoretisch *genau berechnen*, aber wenn nun auch die Berechnung sagt, der und der Stab müsse einen Grundton von 15000, 20000 etc. Schwingungen geben, so liegt darin für mich und andere durchaus noch nicht der Beweis, dass der Stab überhaupt schwingt, oder dass er hinreichend intensiv schwingt. Bekanntlich können solche Stäbe nur durch Schlagen mittels eines Metall- oder Holzhammers zum Schwingen gebracht werden. Hierbei müssen sie an den beiden Knotenstellen für den Transversalgrundton — und Grundtöne kommen selbstverständlich allein in Betracht —

unterstützt werden. Man könnte nun daran denken, man wolle Sand auf den Stab streuen und dieser solle dann beim Anschlagen an den beiden Knotenstellen auf der Oberfläche des Stabes liegen bleiben und dadurch die unumstössliche Anzeige von einer wirklich vorhandenen Vibrationsbewegung machen. Aber selbst wenn man diese Stäbe in parallel-epipedischer Form herstellte, würde beim kräftigen Anschlag mit dem Hammer der ganze Stab in Erschütterung gerathen und der ganze Sand verschwände sofort von der Oberfläche, ohne an den beiden Knotenstellen liegen zu bleiben. Man muss demnach darauf verzichten, mittels aufgestreuten Sandes die Schwingungen zu constatiren. Auch mittels des Mikroskops dürfte es nicht möglich sein die Vibrationsbewegung zu constatiren, da beim Anschlagen mit dem Hammer der *ganze Stab* auf und nieder ins Hüpfen kommt, sodass diese grobe Bewegung im Gesichtsfelde des Mikroskops, wenn es auf einen feinen Objectpunkt des Stabes gerichtet wurde, die sehr kleinen Vibrationsbewegungen vollständig überdeckt und verwirrt. Aus all diesen Gründen ergibt sich, dass die König'schen Stäbe kein allseitig ausreichendes Mittel zur Feststellung der oberen Hörgrenze und vor allem zur Bestimmung sehr hoher Schwingungszahlen auf *experimentellem* Wege abgeben können.

Wie sieht es denn nun mit den Stimmgabeln aus? Sie sind es ja vor allen tongebedenden festen Körpern bis vor kurzem gewesen, welche man verwendete, um auch sehr hohe Töne mit ihnen anzugeben. Sieht man die Sache etwas genauer an, so überzeugt man sich bald, dass die Stimmgabeln noch weniger wie die Stäbe sich zu dem bezeichneten Zwecke eignen. Denn die Stimmgabeln können ihren Schwingungszahlen nach auf theoretischem Wege, falls namentlich hohe Schwingungen in Betracht kommen, gar nicht erforscht werden. Ebensowenig ist dies durch Aufstreuen von Sand möglich, weil er an keiner Knotenlinie eine deutliche Ruhestelle einnimmt. Man sehe sich einmal die untenstehende Fig. 1 an. Sie versinnlicht in natürlicher Grösse, und zwar in *a* den oberen Querschnitt der Zinken, in *b* den Aufriss eines R. König'schen *C*⁷ mit 16384 ganzen Schwingungen. Eine so gestaltete Gabel kann, wie leicht begreiflich, ihrer Schwingungszahl nach auf theoretischem Wege nicht bestimmt werden, auch mit Aufstreuen

von Sand auf eine horizontal gehaltene Fläche der Gabel ist nichts zu erreichen. Man muss daher annehmen, dass König die Schwingungszahl des C^7 mittels der „Differenztöne“ zu bestimmen im Stande war. Nach der neuesten Untersuchung¹⁾ von Stumpf und Meyer, welche beiden Herren sich ganz besonders mit der Anwendbarkeit der Differenztöne beschäftigt

Fig. 1.

haben und sich ganz besonders auf die Verwendung dieser Töne eingeübt haben, muss angenommen werden, dass höchstens noch bis zu ca. 13000 Schwingungen hin die Methode der Differenztöne anwendbar ist. Da nun C^7 mit 16384 von König notirt wurde, so konnte allerdings eine briefliche Bemerkung Stumpf's, dass er darüber erstaunt sei, wie König noch bei C^7 eine Anwendung der Methode der Differenztöne fertig gebracht habe, auch mir einleuchtend erscheinen.

Hiernach war es zum Theil nur eine Folge der geringen Brauchbarkeit der Stimmgabeln zur Feststellung der oberen Tongrenze, wenn ich im Jahre 1894 zuerst nachweisen konnte²⁾, dass Appunn sen. bereits bei der Bestimmung der Schwingungszahl von C_0^6 mit 8162 Schwingungen sich um 1336 Schwingungen geirrt hatte, wenn er sich bei einem C_0^7 mit 16384 Schwingungen um 7821 Schwingungen, also beinahe um eine Octave und bei einem anderen C^7 sich um 4667 geirrt hatte. Ebenso waren es zum Theil Folgen der Natur der Stimmgabel, wenn ich bei einem sogenannten Hörprüfungsapparat von A. Appunn jun. nachwies³⁾, dass bei einer Gabel, die mit 40000 und 50000 signirt war, Fehler von — 28785 und — 36843 Schwingungen vorkamen.

3. Der Nachweis solcher Fehler konnte mir aber nur gelingen, wenn ich vorher im Stande war, zunächst bei Stimmgabeln

1) Stumpf u. Meyer, Wied. Ann. **61**. p. 760—779. 1897.

2) Melde, Wied. Ann. **52**. p. 257 u. fig. 1894.

3) Melde, Pflüger's Archiv f. d. gesammte Physiol. **71**. p. 441—456.

eine neue Methode zur Bestimmung ihrer Schwingungszahlen anzuwenden. Denn, wenn weder das Ohr dies fertig brachte, wenn auch das Aufstreuen von Sand nicht zum Ziele führte, wenn mich namentlich auch die Differenztöne schon bei Gabeln mit ca. 8000 Schwingungen im Stiche liessen, musste etwas Neues erfunden werden. Dieses bestand darin, dass ich die Stimmgabeln zwang, ihre Schwingungen auf einen parallelepipedischen Metallstab zu übertragen, welcher Stab an einem (linken) Ende in horizontaler Lage fest eingeklemmt wurde, während das andere (rechte) Ende mit einem Zinkenende der zu untersuchenden und in verticaler Ebene schwingenden Gabel in Berührung war. Die frei schwingende Länge L jenes Metallstabes konnte dann successiv solange verändert werden, bis sich auf letzterem sehr scharfe Knotenlinien, senkrecht zu seiner Längsrichtung bildeten. Waren solcher Knoten z. B. 10 vorhanden, so vollführte der Stab seine 11. Oberschwingung und konnte nun die Seebeck'sche theoretische Formel zur Anwendung kommen, welche schliesslich gestattete, die Schwingungszahl des 11. Obertons des Stabes zu bestimmen und welche identisch sein musste mit der Schwingungszahl der Gabel, indem die Knotenlinienbildung eine Folge der *Resonanz* war. Ich nannte daher diese meine Methode „*Resonanzmethode*“ und ist dieselbe von mir in verschiedenen Abhandlungen¹⁾²⁾³⁾ genau beschrieben und in ihren Anwendungen dargestellt worden. Aus diesen Abhandlungen wird man die Bedeutung der Methode erkennen und muss dieselbe zweifellos als ein Fortschritt auf dem Gebiete der experimentellen Akustik betrachtet werden, falls es sich um hohe Schwingungszahlen *beliebiger fester Körper* handelt.

Diese „*Resonanzmethode*“ war es denn nun auch, mit welcher ich ein neues Mittel zur Hervorbringung sehr hoher Schwingungen und zur Bestimmung der hierbei in Betracht kommenden Schwingungszahlen in Verbindung brachte, sodass beide Dinge, Methode und neues Tonmittel, zusammen ihre gegenseitige Bedeutung erkennen liessen. Das neue Mittel

1) F. Melde, Wied. Ann. 52. p. 238—262. 1894.

2) F. Melde, Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol. 71. p. 441—456. 1898.

3) F. Melde, Sitzungsberichte der Ges. z. Beförderung der gesammten Naturwissenschaften zu Marburg 4. p. 1—12. 1898.

habe ich eingangs dieser Abhandlung als in den „*Stimmplatten*“ gegeben schon deutlich bezeichnet. Diese Platten können in quadratischer und in kreisrunder Form hergestellt werden.

Fig. 2.

Ehe ich indess auf einige Unterschiede dieser verschieden geformten Platten eingehe, bitte ich die auf photographischem Wege und dann mittels Autotypie hergestellte Fig. 2 zu achten.

Sie wird das Aeussere der ganzen Zusammenstellung leicht erkennen lassen und wird von vornherein zur Einsicht führen, dass man es bei meiner Resonanzmethode nur mit einfachen Mitteln zu thun hat.

Der Maassstab der Figur ist $\frac{1}{10}$ linearer Grösse. Die auf ihr rechts sich zeigende kleine kreisförmige Stimmlatte hat in Wirklichkeit einen Durchmesser von 52,2 mm und eine Dicke von 5,1 mm. Mit ihrem Stiel ist sie zunächst in einen Holzklotz eingeschraubt und dieser dann mit einer eisernen Schraubzwinge auf einer starken Holzplatte (Tischplatte) befestigt. Letztere ist auf einem Steinpostament aufgeschraubt und wird die ganze Vorrichtung am besten auf einem Stein- oder Betonfussboden aufgestellt, denn es ist wesentlich, dass insbesondere die rechte Hälfte der ganzen Zusammenstellung, bei welcher das Anstreichen der Platte mittels eines nassen Glasstabes¹⁾ geschieht, unerschütterlich fest steht und die Vibrationsbewegung der Stimmlatte sich nicht auch mit gröberen Bewegungen des Fundaments combinirt. Die linke Seite zeigt eine Metallklemme, die in einen Sandstein eingegypst ist, welcher dann zunächst auf einem starken hölzernen Fussbrett mit drei Messingfusschrauben aufgesetzt ist. Dieses Fussbrett steht mit seinen drei Füßen dann auf einer dicken Glasplatte und diese ist auf ein solides Holzpostament aufgelegt. Da die ganze linke Seite auch auf solider Basis aufsteht, so ist der ganze Apparat hinreichend sicher postirt. Uebrigens bemerke ich, dass jedes Zimmer mit möglichst festem Fussboden ohne weiteres für die ganze Aufstellung dienen kann und habe ich alle meine Versuche in einem solchen ohne Steinfussboden gemacht. Man wird ja selbst hierbei gleich die nöthigen Erfahrungen machen. Das Holzbrett, welches mit seinen drei Fusschrauben auf eine dicke Glasplatte gesetzt ist, bildet mit dieser letzteren einen wesentlichen Theil der ganzen Zusammenstellung. Denn die glatte Glasplatte gestattet, dass das Holzbrett incl. Stein mit dem Resonanzstab leicht hin- und hergeschoben werden kann, während die eine Fusschraube senkrecht unter dem Resonanzstab vorzugsweise dazu dient, um leicht und sicher die entsprechende Berührung des freien

1) F. Melde, Wied. Ann. 51. p. 682. Abs. 12. 1894.

Endes von letzterem mit dem kleinen Korkstückchen β , Fig. 3a, herzustellen, welches an der linken Seite des Stimmplattenrandes mit Kitt befestigt werden muss, während 90° davon nach vorn hin das mit einer Kimme versehene Korkstückchen α befestigt ist, über welchem das Anstreichen der Stimmplatte geschieht. Es wird nun alles klar sein und kann selbstverständlich anstatt der kreisförmigen auch eine quadratische Platte oder eine Stimmgabel gedacht werden, womit ich ja zuerst meine entscheidenden Versuchsreihen anstellte.

Was nun den Unterschied zwischen der Empfehlung von runden Platten gegenüber den quadratischen oder umgekehrt anlangt, so bemerke ich noch folgendes. Vor allem wird man am Material des Gussstahles festhalten müssen, einmal weil dieses viel regelmässiger wie das des Eisens und Messings ist, und dann auch namentlich deshalb, weil der Elasticitätsmodulus des Stahles sehr wesentlich grösser ist wie der des Messings, was zur Folge hat, dass man bei Stahlplatten von derselben Grösse wie bei Messingplatten sehr viel höhere Töne erreichen kann, d. h. wenn eine Messingplatte vielleicht einen Ton von 25 000 Schwingungen liefern sollte, so müsste sie mit so kleiner Seitenlänge und so grosser Dicke hergestellt werden, dass sie bei diesen Dimensionen vielleicht gar nicht mehr zum Tönen gebracht werden kann.

Kreisförmige Platten lassen sich ferner technisch ungleich leichter herstellen wie quadratische, deshalb, weil sie auf der Drehbank ihren Dimensionen: Durchmesser und Dicke nach leichter und regelmässiger verringert und so leichter einer geforderten Tonhöhe genähert werden können.

Ein anderer Umstand empfiehlt indess die quadratischen Platten mehr wie die kreisrunden. Es ist längst bekannt, dass bei den Chladni'schen Klangscheiben beliebiger Form, ebenso wie bei glockenförmigen Körpern, sogenannte Schwebungen vorkommen. Sie rühren zum Theil daher, dass solche Scheiben und Glocken bei einer bestimmten Abtheilung nach einer bestimmten Knotenlinienfigur *zwei* Töne liefern, welche nahe zusammen liegen und daher Schwebungen geben. Mit diesen Schwebungen ist dann auch eine Oscillation der Knotenlinie um eine Mittellage verbunden, sodass diese Schwankungen beim Anstreichen eine stabile Knotenlinie mehr und mehr verhindern

können. Bei meinen dicken Platten mit kurzen Seitenlängen ist mir indess eine bemerkenswerthe Beeinflussung der Knoten auf dem Resonanzstab nicht begegnet. Man muss nur durch regelmässiges Anstreichen auf der Platte eine ruhige Sandfigur erzeugen, dann werden auch die Knotenlinien auf dem Resonanzstab völlig regelmässig sein. Es zeigte sich aber doch, dass bei quadratischen Platten solche Schwankungen überhaupt nicht vorkamen, sondern eher bei kreisförmigen eintreten, und das könnte ein Grund sein, erstere den letzteren vorzuziehen. Es liegt selbstverständlich hier nicht in meiner Absicht, auf das Phänomen der Schwebungen bei Platten weiter einzugehen und verweise ich nur auf einige Literaturstellen¹⁾, worin das betreffende Phänomen eine weitere Berücksichtigung erfahren hat.

4. Die theoretische Verwendung der Seebeck'schen Formel für die Berechnung der Schwingungszahl des Resonanzstabes — identisch mit der Schwingungszahl einer Stimmgabel, einer Stimmlatte oder irgend eines anderen schwingenden festen Körpers, der seine Schwingungen auf den Resonanzstab überträgt — habe ich in den drei oben citirten Abhandlungen nach verschiedenen Richtungen hin dargestellt. Auch jetzt gebe ich, um das Verständniss des Folgenden zu erleichtern, folgende weitere Erläuterung. Die Seebeck'sche Formel für die Berechnung der Schwingungszahlen eines einseitig eingeklemmten parallelepipedischen Stabes von der Länge L heisst bekanntermaassen

$$(4) \quad N = \frac{\varepsilon^2 \cdot K}{L^2}$$

worin K eine Constante bedeutet, in welcher die Grösse E das Elasticitätsmodulus, g die Constante der Schwere, s das specifische Gewicht des Stabes, h seine Dicke, π die Ludolph'sche Zahl und das Zahlenproduct $4 \cdot \sqrt{3}$ vorkommen. Da bei meiner Resonanzmethode ein schwingender Körper — Stimmgabel oder Platte — als „Vergleichskörper“ mit einer bekannten Anzahl Schwingungen gleich N_1 zu Grunde gelegt wird, für welchen die Resonanzstabsgleichung

$$(5) \quad N_1 = \frac{\varepsilon_1^2 \cdot K}{L_1^2}$$

1) Rayleigh, Theory of Sound, § 221 und 235, und Zenneck, Wied. Ann. 66. p. 170—176. 1898.

gilt, so ist die Gleichung

$$(6) \quad N = N_1 \cdot \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon_1^2} \cdot \frac{L_1^2}{L^2}$$

diejenige, aus welcher N berechnet werden kann. Da nun ferner ε und ε_1 nur von der Anzahl der Knoten des Resonanzstabes abhängen, so lässt es sich sehr wohl so einrichten, dass die Zahl der Knoten k und k_1 oder, was zu denselben Resultaten

Fig. 3 a.

Fig. 3 b.

taten führen würde, die Ordnungszahl der Oberschwingungen des Resonanzstabes $n = (k + 1)$ und $n_1 = (k_1 + 1)$ beiderseits dieselbe ist, d. h. dass $\varepsilon = \varepsilon_1$ angenommen werden kann. Hiernach würde die Gleichung (6) zu

$$(7) \quad N = N_1 \cdot \frac{L_1^2}{L^2}$$

werden und da nun für den Vergleichskörper N_1 und L_1 , letzteres als die Länge des freischwingenden Theiles des Resonanzstabes, falls der Vergleichskörper seine Schwingungen auf ihn überträgt, auch Constanten sind, so kann

$$(8) \quad K' = N_1 \cdot L_1^2$$

als eine weitere Constante eingeführt werden und folgt unter diesen Voraussetzungen

$$(9) \quad N = \frac{K'}{L^2}$$

als die sehr einfache Schlussgleichung zur Berechnung der Schwingungszahlen.

Zunächst gebe ich nun ein *Beispiel* der Berechnung von N für eine quadratische Stimmlatte mit einer Seitenlänge = 38,9 mm und Dicke = 8,00 mm. Dieselbe ist in Fig. 3 a im Grund = und Fig. 3 b im Aufriss in natürlicher Grösse dargestellt. Es bedeutet hierbei α das kimmförmig ausgeschnittene Korkstückchen, über welchem hier die Platte mit einem nassen Glasstab angestrichen wird, während β das zweite Korkstückchen darstellt, welches unten abgeschrägt ist und die Vibrationen der Platte auf den Resonanzstab überträgt.

Als Vergleichskörper wurde ein König'sches C^7 mit 16384 Schwingungen erwählt. Für diesen Körper war $L_1 = 153,4$ mm, während das Experiment für die Platte ein $L = 128,3$ ergab. Hiernach gestaltet sich die Rechnung wie folgt:

$$\begin{aligned}\log 16384 &= 4,21444 \\ \log 153,4 &= 4,37166 \\ \log K' &= 8,58610 \quad N = 23423 \\ \log 128,3^2 &= 4,21646 \\ \log N &= 4,36964\end{aligned}$$

Ausser dieser Platte wurden noch acht andere ihrer Schwingungszahl nach bestimmt und wurde auch für diese die Rechnung nach der Gleichung (9) ausgeführt. Die Resultate sind in folgender Tabelle enthalten.

Platte	l m/m	d m/m	k	L m/m	N	N^*	A
<i>A</i>	46,75	7,00	10	163,2	14476	14476	0
<i>X</i>	43,30	6,50	„	155,1	16028	15670	— 358
<i>Y</i>	41,35	6,45	„	149,3	17298	17050	— 248
<i>E</i>	49,95	10,05	„	146,7	17999	18206	— 207
<i>Z</i>	28,25	3,25	„	139,5	19813	18406	— 1407
<i>C</i>	41,80	8,10	„	135,8	20903	20953	+ 50
<i>F</i>	38,90	8,00	„	128,3	23423	23896	+ 473
<i>G</i>	40,00	10,05	„	120,1	26731	28390	+ 1659
<i>B</i>	35,00	8,00	—	—	—	29517	—

Nach den vorausgehenden Erläuterungen wird diese Tabelle verständlich sein und bedürfen nur noch die Columnen N^* und A Berücksichtigung. Nimmt man eine der Stimmlatten, z. B. *A* mit ihrer nach der Resonanzmethode gefundenen Schwingungszahl 14476 als die an, mit welcher eine andere, z. B. die Platte *E*

nach der Chladni'schen Formel Gleichung (2) verglichen werden soll, so lässt sich die Schwingungszahl der Platte E nach der Gleichung (2) berechnen, indem ja

$$N_E^* = 14476 \cdot \frac{46,75^3}{49,75^3} \cdot \frac{10,05}{7,00} = 18206$$

sein muss. Zieht man nun die Werthe N^* von den Werthen N ab, so erhält man die Zahlen der Columnne A . Die sehr grossen Differenzen für die Platte Z und G können auffällig erscheinen, doch lassen sie sich leicht erklären. 1. kann wohl angenommen werden, dass die Chladni'sche Formel der Gleichung (2) keine ganz strenge ist und namentlich bei dicken Platten mehr und mehr an ihrer strengen Gültigkeit verliert; 2. sind die Platten ihrer Form nach keine Ideale; 3. sind dieselben auch bezüglich ihrer Qualität als Stahlmassen und ebenso bezüglich ihrer durchgängigen Gleichmässigkeit des Stahls keine Ideale; 4. sind die Platten in Verbindung mit einem Stiel, der nothwendig die Schwingungszahlen beeinflussen muss, gerade so wie der Stiel bei Stimmgabeln von Einfluss ist; 5. leuchtet ein, dass auch die durch die Resonanzmethode gefundenen Schwingungszahlen der Columnne N mit gewissen Fehlergrenzen in Verbindung sein müssen. Jedenfalls aber sind diese letzteren Fehlergrenzen sehr viel kleiner als wie die grossen Abweichungen bei den Platten Z und G , welche die Columnne A zeigt, d. h. aber nur, wenn wir die *genaueren* Schwingungszahlen haben wollen, müssen wir die Zahlen, wie sie die Resonanzmethode liefert, und nicht wie sie die Chladni'sche Gleichung (2) liefern kann, gelten lassen.

Sodann veranlasst die Tabelle bezüglich der Platte B eine weitere Beachtung. Die Tabelle zeigt, dass ich bei B nicht mehr im Stande war, eine solche Resonanz zu erzielen, dass der Resonanzstab noch Knotenlinien zeigte. Denn wäre dies der Fall gewesen, so würden ja die Columnen k , L und N auch ihre entsprechenden Zahlen bekommen haben. Diese Platte liess aber bei kräftigem Anstreichen mit dem nassen Glasstab noch deutlich die Klangfigur des Eckenkreuzes auf ihrer Oberfläche zu Stande kommen und bewies diese Figur, dass wenigstens die Platte in eine Vibrationsbewegung für sich gebracht werden konnte. Bei ihr blieb demgemäss nur die Anwendung der Chladni'schen Gleichung (2) zur Berech-

nung der Schwingungszahl N^* übrig, welche gleich 29517 gefunden wurde. Bis jetzt kann daher meine Resonanzmethode bei *Stimmlatten* etwa bis zur Grenze von ca. 28000 Schwingungen eine Bestimmung der Schwingungszahlen ermöglichen, während dies bei *Stimmgabeln* etwa nur bis zu 17000 Schwingungen zu erreichen ist. Auch diese Thatsache beweist die Ueberlegenheit der ersteren Körper gegen die letzteren.

Wenn nun aber auch die bestimmte Platte B mit ca. 30000 Schwingungen nicht mehr im Stande war, den Resonanzstab ins Schwingen zu bringen, so ist damit noch nicht gesagt, dass 30000 Schwingungen überhaupt nicht mehr nach der Resonanzmethode nachgewiesen werden könnten. Die Chladni'sche Gleichung (2) belehrt uns nämlich, dass nicht *blos eine* Platte, sondern *sehr verschiedene* Platten dieselbe Schwingungszahl besitzen können, denn es muss nur die Bedingung erfüllt sein, dass der Quotient aus dem Quadrat der Seitenlänge und der Dicke der Platte eine constante Grösse bleibt. Nennen wir daher allgemein die betreffenden Grössen l und d , so muss für unser Beispiel der Platte B die Bedingung

$$\frac{35,00^2}{8,00} = \frac{l^2}{d}$$

erfüllt sein und alle die Platten, welche dieser Gleichung entsprechen, werden ca. 30000 Schwingungen liefern, so z. B. eine Platte von 9 mm Dicke mit einer Länge

$$l = 35,0 \cdot \sqrt{\frac{9}{8}} = 37,1 \text{ mm}$$

oder eine Platte von einer Dicke gleich 10 mm und einer Länge

$$l = 35,0 \sqrt{\frac{10}{8}} = 39,1 \text{ mm.}$$

Es ist daher leicht denkbar, dass eine Platte mit einer Seite gleich 39,1 mm und einer Dicke gleich 10 mm den Resonanzstab leichter ins Schwingen bringt wie die Platte B . In dieser Thatsache liegt wiederum eine Ueberlegenheit der Platten den Stimmgabeln gegenüber. Denn wenn wir wirklich feststellen könnten, dass eine Stimmgabel 30000 Schwingungen hätte, aber nicht mehr auf den Resonanzstab wirkte und wir wollten eine andere Gabel mit 30000 Schwingungen construiren, vielleicht mit längeren Zinken und grösserer Dicke, so fehlt uns

hierfür eine Gleichung wie die Chladni'sche, welche die Berechnung von einer der Dimensionen zulässt, wenn man die andere Dimension in angemessener Weise von vornherein annimmt.

Man kann versuchen, die Stimmplatten ihre Schwingungen nicht auf einen Metallstab, sondern einen *anderen* Körper übertragen zu lassen. Dies ist mir sehr gut mit *Papiermembranen*, welche über kleine Holzringe gespannt waren, gelungen. Da die Uebertragungsstelle der Mittelpunkt der Membranen war und vom Rande der Stimmplatte aus durch ein kleines, nach unten zugespitztes Korkstückchen geschah, so leuchtet ein, dass wegen des Stiels der Platte der Radius dieser Membranen noch kleiner sein musste, als der halbe Durchmesser der Platte. So benutzte ich eine Membran, über einen kleinen Holzring gespannt, dessen äusserer Durchmesser gleich 33 mm und innerer gleich 28 mm war, wobei also der letztere Durchmesser auch der der Membran war. Auf diese Membran wurden noch hinreichend gut die Schwingungen der in der obigen Tabelle aufgeführten Platte übertragen und bildeten sich um die Erregungsstelle herum deutliche concentrische Sandkreise. Es mag dahin gestellt bleiben, ob solche Schwingungsfiguren auch zu wirklichen Messungen benutzt werden können, aus denen sich vielleicht ebenfalls die Schwingungszahlen der Platten berechnen liessen.

Bezüglich einer Beschaffung von Stimmplatten, selbstverständlich aber nur für hohe Töne, etwa von 8000 Schwingungen aufwärtsgehend, bitte ich, sich nur zunächst direct an mich wenden zu wollen und etwaige besondere Wünsche auszusprechen.

Melde.

(Eingegangen 11. October 1898.)