11. Zur Erklärung schrägliegender Kundtscher Staubfiguren; von F. A. Schulze.

Im folgenden soll ein Versuch zur Erklärung einer eigentümlichen Art von schräg zur Röhrenachse liegenden Kundtschen Staubfiguren gegeben werden, die ich¹⁾ zum ersten Male beobachtet und mitgeteilt habe. Dieselben Figuren sind später von R. König²⁾ und darauf kürzlich wieder von J. Müller³⁾ beschrieben worden; beiden scheint meine frühere Arbeit entgangen zu sein.

Unter gewissen Umständen erhält man nämlich Kundtsche Staubfiguren, die nicht, wie gewöhnlich, sämtlich senkrecht zur Röhrenachse stehen, sondern zum Teil unter mehr oder weniger großem Winkel, bis zu 45° , gegen sie geneigt sind, und zwar in einer Anordnung, die am besten ohne längere Beschreibung aus der nebenstehenden Fig. 1 ersichtlich ist. Jede dritte

Fig. 1.

Staubfigur steht also senkrecht zur Röhrenachse, während die benachbarten sich dem unteren Ende (bb) dieser senkrecht stehenden zuneigen.

Ich erhielt damals diese Figuren bei der Messung der Schwingungszahlen der Töne von Galtonpfeifen. Zugleich ergab sich hierbei sofort eine Erklärung dieser Figuren als Superposition des Grundtones und des ersten Obertones der Pfeife. Bei einer Königschen Galtonpfeife z. B. entstand der erste Oberton (nächsthöhere Quinte $3n$ des Grundtones n) bei allen Pfeifenlängen zwischen 12,0 und 7,9 mm, bei einer Galtonpfeife in der verbesserten Edelmannschen Form nur bei Pfeifenlängen zwischen 18 und 16 mm, beide Male jedoch nur

1) F. A. Schulze, Wied. Ann. 68. p. 880. 1899.

2) R. König, Wied. Ann. 69. p. 654. 1899.

3) J. Müller, Ann. d. Phys. 11. p. 331—354. 1903.

bei Anblasen der Pfeifen mit dem Gummiball, also bei schnell verhallendem Ton, nicht bei gleichmäßig andauerndem Anblasen.

Zum Verständnis sei ein Teil der Tabellen meiner früheren Arbeit hier noch einmal mitgeteilt.

Schwingungszahlen der Königschen Galtonpfeife, mit Gummiball angeblasen.

Teilstrich (Länge der Pfeife in mm)	Schwingungs- zahl v. d.	Teilstrich (Länge der Pfeife in mm)	Schwingungs- zahl v. d.
12,0	18 360	7,9	9 420
11,0	19 530	7,8	9 490
10,0	21 200	7,0	10 400
9,0	23 890	5,0	12 550
8,0	26 130	3,0	16 950
7,9	26 480	1,8	32 240

1. Oberton

Grundton

Beim Teilstrich 7,9 wurde verschieden bald der erste Oberton mit den eigentümlich schräg gestellten Staubfiguren, bald nur der Grundton erhalten. Bei Pfeifenlängen über 7,9 mm entstand stets der erste Oberton, bei Pfeifenlängen unter 7,9 mm stets der Grundton; und zwar war im ersten Fall die schräge Lage der Staubfiguren nur bei Längen sehr nahe der kritischen von 7,9 mm ausgebildet, um so deutlicher, je mehr die Pfeifenlänge sich der Länge 7,9 mm näherte. Es lag also sehr nahe, anzunehmen, daß bei größeren Pfeifenlängen nur der erste Oberton, bei kleineren nur der Grundton entstand, daß dagegen bei der kritischen Länge von 7,9 mm beide Töne in ungefähr gleicher Intensität vorhanden waren und dann hierbei Anlaß zu der eigentümlichen Staubfigur gaben; in diesem Sinne wurden die Versuche damals von mir auch gedeutet.

In derselben Weise erklärt J. Müller diese Staubfiguren, die er bei seinen Versuchen erhalten hat, durch die Wirkung der Superposition von zwei Tönen, deren Schwingungszahlen sich verhalten wie 1:3. Allerdings ist nun aber bei den Versuchen von Müller die Erklärung der Herkunft des Tones mit der kleinen Schwingungszahl schwer zu geben. Während es bei meinen Versuchen an der Galtonpfeife ohne weiteres klar ist, daß man es mit Grundton und erstem Oberton zu tun hat, ist man bei den Versuchen von Müller, wo es sich

um den zweiten Transversalton der erregenden plattenförmigen Stäbe handelt, gezwungen, neben dem eigentlichen gemessenen Ton zur Erklärung der geneigten Staubfiguren noch das Vorhandensein eines Tones von der Schwingungszahl $n/3$ anzunehmen, der sich dem ersten superponiert, eines „Untertones“, wie J. Müller ihn nennt.

Nimmt man einen solchen an, so hat man denselben Fall wie bei einer Pfeife, die gleichzeitig Grundton und ersten Oberton gibt. Wie ein solcher „Unterton“ zustande kommen soll, ist freilich schwer einzusehen.

Vielleicht kann man mit J. Müller sich vorstellen, daß er nicht primär vorhanden ist, sondern erst sekundär als möglicher Eigenton der Kundtschen Röhre entsteht.

Es scheint mir nun aber, daß sowohl bei den Versuchen von J. Müller als bei meinen eigenen die bloße Superposition der beiden Töne von den Schwingungszahlen n und $3n$ noch nicht genügt, um die *schräge* Lage der Kundtschen Staubfiguren und zwar gerade in der Anordnung, wie sie hier auftreten, zu erklären.

Da hier nur longitudinale Bewegungen längs der Achse vor sich gehen, so sieht man nicht ein, wieso einige der Staubfiguren geneigt sein sollen, woher das nötige Drehungsmoment kommen soll, geschweige denn warum die Neigungen diese regelmäßige Abwechslung haben. Hr. J. Müller gibt eine Zeichnung, wonach dieses Hinneigen derjenigen Staubfiguren, die nur dem Ton $3n$ und nicht auch dem Ton n angehören, nach denjenigen, die auch dem Ton n angehören, direkt verständlich sein soll. Jedoch scheint mir seine Zeichnung dieses Hinneigen nicht zu erklären. Man ersieht daraus nur, daß in *einer bestimmten Phase* die Staubfiguren, die nur dem Ton $3n$ angehören, als Ganzes *ohne Drehung* oder Neigung nach dem Knoten *translatorisch in Richtung* der Röhrenachse hingebblasen werden. In der nächsten Phase jedoch, wo die durch den Ton n erzeugte Bewegung der stehenden Welle sich umkehrt, würden dieselben Staubfiguren von dem Knoten weggeblasen werden, ebenfalls *translatorisch ohne Drehung*. Der Effekt würde also sich aufheben und die Staubfiguren des Tones $3n$ allein ruhig ohne irgendwelche Veränderung oder Drehung an ihrem Platze bleiben.

Dagegen scheint mir die schräge Neigung der Staubfiguren und gerade in der richtigen Anordnung erklärbar zu sein, wenn man die Annahme macht, daß *die Schallintensität in der Richtung senkrecht zur Röhrenachse variabel ist* und zwar, daß sie *von der einen der Längsachse parallelen Röhrenwand aa in der zur Längsachse senkrechten Richtung zur anderen gegen-*

Fig. 2.

überliegenden Röhrenwand bb (also in Richtung der Pfeile) stetig zu- oder abnimmt. Wir wollen ferner annehmen, was bei meinen Versuchen durchaus plausibel ist, daß der Ton n noch vorhanden ist, nachdem der Ton $3n$ bereits aufgehört hat. Es ist ja bekannt, daß bei Pfeifen die Obertöne größere Intensität des Anblasestromes erfordern als der Grundton. Bei sehr kräftigem Anblasen einer Galtonpfeife mit dem Gummiball durch kurzen einmaligen Druck wird zu allererst der Grundton, gleich darauf der Oberton entstehen, und dann dieser beim Nachlassen des Anblasedruckes zuerst verschwinden, so daß zuletzt der Grundton allein übrig bleibt. Während des stärksten Anblasens sind also die Staubfiguren von $3n$ vorhanden. Nach Verschwinden dieses Tones findet nun der Ton n diese vor und es bilden sich nun die Staubfiguren des Tones n aus.

Nehmen wir jetzt noch die Erklärung der Rippen der Kundtschen Staubfiguren durch W. König¹⁾ zu Hilfe, wonach hier die hydrodynamische Abstoßung von Körpern vorliegt, die hintereinander in einem Flüssigkeitsstrom sich befinden; diese Abstoßung wird auch an denjenigen Staubfiguren erfolgen, die von dem Ton $3n$ vorhanden waren und nun an der Stelle eines Bauches der stehenden Welle des Tones n sich befinden. Wäre die Intensität des Tones n nun an allen Stellen der Röhre senkrecht zur Achse dieselbe, so würde nichts weiter erfolgen, als daß die gewöhnliche Rippenbildung der Kundtschen Staubfiguren an den zu $3n$ gehörigen Figuren auftritt. Wirkt die Abstoßung der Staubfiguren aufeinander als Ganzes, so würden sie einfach etwas auseinander treten.

Wenn aber, wie wir annehmen, die Schallintensität an der einen der Längsachse parallelen Röhrenwand größer ist

1) W. König, Wied. Ann. 42. p. 353 u. 513. 1891.

als an der anderen entgegengesetzten, so wird an der ersteren dieses Auseinandertreten größer sein als an der letzteren, d. h. auf der einen Seite der Röhre werden sich die beiden Staubfiguren, die eine dem Grundton n angehörende Staubfigur n einschließen, mehr von diesen entfernen als an der anderen; es wird eben genau die Figur entstehen, die man wirklich beobachtet.

Mit dieser Erklärung würde auch die Beobachtung übereinstimmen, die mir aus meinen früheren Versuchen in Erinnerung ist, daß, nachdem diese Figuren bei einem Versuch erzeugt waren, sie beim nächsten Versuch manchmal „umsprangen“, d. h. daß die schräg liegenden Staubfiguren sich nun dem anderen Ende der eingeschlossenen Staubfigur zuneigten, wie die Fig. 3 zeigt.

Fig. 3.

Es wird eben ganz zufällig sein, an welcher Seite der Röhre gerade die größere Schallintensität herrscht; also z. B. bei Pfeifen, welcher Röhrenwand gerade die Mundöffnung näher war. Bei Stimmgabeln, namentlich bei kleinen hohen, ist es ohne weiteres klar, daß auf der Längsseite der Röhre, an welcher die Enden der Zinken liegen, die Intensität größer ist als an der anderen.

R. König¹⁾ gibt ohne Begründung an, daß diese schrägen Figuren immer entstehen, wenn die Röhre zu weit ist. Auch dies ist erklärlich; ist die Röhre weit, so wird eher eine derartige Verschiedenheit der Tonintensität auftreten, als wenn sie eng ist. Allerdings können nach J. Müller die schrägen Figuren auch in engen Röhren entstehen; jedoch scheint mir gerade in dem von ihm angeführten Fall, wo sie in dem engen Zwischenraum zwischen zwei ungleich weiten Röhren entstanden, die Möglichkeit zu dem hier angenommenen Intensitätsunterschied auf verschiedenen Seiten der Röhrenachse in besonderem Maße gegeben zu sein.

Schließlich ist nach der hier gegebenen Erklärung auch plausibel, warum diese Art schräg liegender Staubfiguren nur bei kurzen, schnell verhallenden, mehr stoßartig auftretenden

Tönen auftritt. Ein Intensitätsunterschied der Art, wie er hier angenommen wird, wird sich wohl in Röhren nur kurze Zeit aufrecht erhalten.

In der Tat habe ich diese Staubfiguren nur bei ruckweisem Anblasen der Pfeifen mit dem Gummiball erhalten, nicht bei länger andauerndem gleichmäßigen Anblasen. Ebenso erhielt sie R. König bei Untersuchung der Schwingungszahl sehr hoher, also sehr schnell abklingender Stimmgabeln.

Ob bei den Versuchen von J. Müller ebenfalls nur verhältnismäßig kurzdauernde Töne bei der Entstehung dieser Staubfiguren vorlagen, ist mir nicht bekannt.

Marburg a. L., Physik. Institut.

(Eingegangen 22. Januar 1904.)