Über die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Gasen bei verschiedenen Temperaturen.

Von F. Himstedt und R. Widder.

Mit einer Abbildung. (Eingegangen am 13. Januar 1921.)

Die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Gasen erfolgt durch Vergleichung mit der Geschwindigkeit in Luft. Man geht aus von der Gleichung $v = n \cdot \lambda$, hält n konstant und erhält dann die einfache Beziehung $v_1 : v_2 = \lambda_1 : \lambda_2$.

Für die Ermittlung der Wellenlängen kann man entweder das Quinckesche Interferenzrohr oder die Kundtsche Staubröhre benutzen.

Beide Verfahren verlangen, um λ mit genügender Genauigkeit bestimmen zu können, die Anwendung verhältnismäßig langer Röhren (etwa 1 m lang). Die Schwierigkeiten, solche Röhren ihrer ganzen Länge nach auf konstanter höherer oder tieferer Temperatur zu erhalten, sind hinreichend bekannt. Wir brauchen nur auf die Untersuchungen von Kundt und Warburg¹⁾ über c_p/c_v für Hg-Dampf zu verweisen, oder auf die neueren, sehr sorgfältigen Versuche von P. P. Koch²⁾ über c_p/c_v bei -79°C , bei denen mehr als 17 Liter Kohlensäure-Äthergemisch erforderlich waren, um die 1 m lange Versuchsröhre auf dieser tiefen Temperatur zu erhalten. Es ist wohl nicht zu viel behauptet, wenn wir sagen, daß diese Versuchsanordnung für die Temperaturen der flüssigen Luft oder des flüssigen Wasserstoffs auf nahezu unüberwindliche Schwierigkeiten stoßen würde. Andererseits wird man zugeben müssen, daß die Kenntnis aller physikalischen Konstanten gerade bei tiefen Temperaturen, besonders durch die Arbeiten von Nernst und seiner Schüler große Bedeutung gewonnen hat, und wir haben deshalb versucht, eine Versuchsanordnung für die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit auszubilden, bei welcher der Versuchskörper bequem in ein Dewarsches Gefäß eingeschlossen werden kann. Dies läßt sich erreichen, indem man λ konstant hält und n variiert, bis die Versuchsröhre auf Resonanz anspricht. Stellt man zwei Versuche bei den Temperaturen t_0 und t_1 an, so ergibt sich

$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{n_1}{n_0}.$$

¹⁾ Kundt und Warburg, Pogg. Ann. **157**, 353, 1876.

²⁾ P. P. Koch, Ann. d. Phys. **27**, 311, 1908.

In ganz derselben Weise lassen sich die Schallgeschwindigkeiten in verschiedenen Gasen miteinander vergleichen.

Thiesen¹⁾ hat einen dahin gehenden Vorschlag schon früher gemacht. Er verwendet ein etwa 1 m langes Messingrohr und ändert den Ton einer Sirene so lange ab, bis das Rohr auf Resonanz anspricht. Das Ansprechen wird mit dem Ohre, in das wie bei dem Quinckeschen Interferenzrohr der Schall durch einen Schlauch geleitet wird, beurteilt. Es ist ohne weiteres verständlich, daß bei dieser Anordnung auch ein verhältnismäßig langes Rohr benutzt werden

muß, denn nur wenn ein größeres Luftvolumen zum Mitschwingen kommt, läßt sich der Resonanzpunkt mit genügender Schärfe durch das Ohr bestimmen.

Wir haben das Ohr durch ein Mikrophon mit Gleichrichter und empfindlichem Galvanometer ersetzt und dadurch erreicht, daß mit einer verhältnismäßig kleinen Resonanzröhre sogar eine größere Genauigkeit erzielt werden kann.

Die von uns benutzte Versuchsanordnung ist die folgende: Die Resonanzröhre AB (s. Figur) ist an den Enden durch zwei Messingplatten A und B geschlossen, welche in ihrer Mitte eine, wie in der Figur angedeutet, konische Bohrung von 1 mm Durchmesser haben.

¹⁾ Thiesen, Ann. d. Phys. 25, 506, 1908.

An die Platten sind zwei etwa 1 cm weite Röhren angelötet, welche seitliche Ansatzröhren haben für Zu- und Ableitung der zu untersuchenden Gase, und welche gasdicht abgeschlossen sind durch die dünnen Metallmembranen M_1 und M_2 . An M_1 setzt sich das Rohr an, durch welches der Schall von einer Galtonpfeife P eingeleitet wird, an M_2 ein solches, welches zu einem Kohlenkörnermikrophon M führt. Die Verbindung zwischen dem Rohr und dem Mikrophon war durch einen Gummischlauch hergestellt, so daß der Abstand zwischen Pfeife und Mikrophon mindestens 1 m war.

Die in dem Mikrophonkreise entstandenen Stromschwankungen gehen durch die Primärspule des Transformators T , dessen sekundäre über den Bleiglanzdetektor Gl zu einem Siemensschen Drehspulengalvanometer mit objektiver Spiegelablesung führen. Als Lichtzeiger wurde der Faden einer Nernstlampe benutzt. Zum Anblasen der Pfeife haben wir eine Gaedescche Kapselpumpe verwendet. Um einen möglichst konstanten Luftstrom zu erhalten, arbeitete die Pumpe auf ein größeres Gasometer, und erst aus diesem gelangte die Luft zur Pfeife.

Die Resonanzschärfe war bei richtiger Anordnung ganz vorzüglich, die geringste Drehung an der Mikrometerschraube der Galtonpfeife gab einen plötzlichen großen Abfall des Galvanometerausschlags. Damit diese Resonanzschärfe vorhanden ist, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

1. Die Bohrungen in den Metallscheiben A und B müssen, worauf schon Thiesen aufmerksam gemacht hat, sehr klein sein.
2. Der Abstand von A bis M_1 bzw. B bis M_2 muß kleiner sein als $\frac{1}{2}\lambda$ des benutzten Tones, am besten nahe gleich $\lambda/4$.
3. Das Zuleitungsrohr für den Schall muß ziemlich eng sein. Bei einer Weite von 0,7 cm abwärts bis zu kapillarer Weite konnte die Länge desselben von 10 cm bis 0,3 cm geändert werden, ohne daß die Resonanzschärfe gelitten hätte. War das Rohr dagegen weiter, so war seine Länge von Einfluß auf die Resonanzschärfe, das Resonanzmaximum verbreiterte sich bzw. es traten zwei nahe beieinander liegende Resonanzmaxima ein.

4. Kalähne¹⁾ hat schon darauf aufmerksam gemacht, daß bei derartigen Resonanzerscheinungen Störungen auftreten können durch Reflexion des Schalles an dem nicht immer in der gleichen Stellung zum Apparat befindlichen Körper des Beobachters. Diese wurden dadurch vermieden, daß zwischen der Pfeife und dem Beobachter in

¹⁾ Kalähne, Ann. d. Phys. **11**, 225, 1903.

unveränderlicher Stellung ein großer Blechschirm aufgestellt wurde, der eine kleine Öffnung besaß, durch welche ein an dem Kopfe der Pfeife angekitteter Stab hindurchging, durch dessen Drehung die Mikrometerschraube der Pfeife betätigt werden konnte.

War die Einstellung der Pfeife gefunden, bei welcher Maximum des Galvanometerausschlages erfolgte, so wurde die Schwingungszahl des Tones in folgender Weise bestimmt: Während die Pfeife fortgesetzt weiter tonte, wurde der Versuchsapparat ersetzt durch eine etwa 1 m lange Kundtsche Staubröhre und mit dieser die Wellenlänge des benutzten Tones bestimmt. Es zeigte sich bald, daß die Genauigkeit dieser Bestimmung geringer war, als die Genauigkeit der Resonanzbestimmung. Es wurde deshalb dieses λ' nur als erste Annäherung betrachtet und eine genauere Bestimmung in der Weise erreicht, daß das eben benutzte Rohr ersetzt wurde durch ein etwa 1 m langes Glasrohr, das an dem einen Ende durch eine plane Platte mit einer 1 mm großen zentralen Bohrung verschlossen war. Am anderen Ende des Rohres befand sich ein mit Mikrometerschraube verschiebbarer Stempel, der ebenfalls eine 1 mm große Bohrung besaß. Der Stiel dieses Stempels war ein Röhrchen, das durch einen Schlauch mit dem Mikrophon der oben beschriebenen Anordnung verbunden werden konnte. Es wurde dann der Stempel so lange verschoben, bis Maximum des Galvanometerausschlages eingetreten war, und es wurde die Länge des Rohres l vom geschlossenen Ende bis zum Stempel gemessen. Es muß nun l ein ganzes Vielfaches von $\lambda/2$ des benutzten Tones sein, und diese ganze Zahl wird gefunden durch Division mit dem vorher mit der Kundtschen Röhre gemessenen $\frac{1}{2} \lambda'$ in l .

Ergibt sich hierbei z. B. 24,05, so weiß man, daß die gesuchte Zahl $a = 24$ ist, daß folglich $\lambda/2 = l/a$ und dann $n = v/\lambda$, wo v die zu der Zimmertemperatur gehörende Schallgeschwindigkeit in Luft ist. Die Übereinstimmung der auf diese Weise bei einem Versuch wiederholt bestimmten Schwingungszahl war eine ganz vorzügliche.

Die Bestimmung mit der Kundtschen Staubröhre ist dabei selbstverständlich nur einmal auszuführen, so daß dann jede Messung nur aus zwei Resonanzbestimmungen besteht.

Wir haben, um die Methode zu erproben, Messungen mit Luft, die von CO_2 und Wasserdampf befreit war, angestellt, und zwar bei Temperaturen zwischen $+20^\circ\text{C}$ und Kohlensäure-Äthergemisch. Die letztgenannte Temperatur wurde berechnet nach der Formel $t = -78,5 + 0,0159 h$, wo h gegeben ist durch Barometerstand $b = 760 + h$.

Als Verhältnis der Schallgeschwindigkeiten bei 20°C und bei $-78,73^{\circ}\text{C}$ ergab sich $v_2:v_1 = 0,8147$, während aus der Newton-Laplaceschen Formel folgt $v_2:v_1 = \sqrt{194,27}:\sqrt{293} = 0,8142$.

Wenn wir die Schallgeschwindigkeit in Luft von 0°C als bekannt voraussetzen, so liefert die Versuchsanordnung ein sehr bequemes Verfahren, die Schallgeschwindigkeiten der verschiedenen Gase bei tiefen und hohen Temperaturen zu bestimmen. Es bedarf dazu nur verhältnismäßig geringer Mengen der zu untersuchenden Gase, und die einzige Korrektur, die, wenn größte Genauigkeit verlangt wird, anzubringen ist, ist die wegen der Längenänderung der kleinen Resonanzröhre mit der Temperatur, die, da der Ausdehnungskoeffizient des Röhrenmaterials als bekannt vorausgesetzt werden darf, keine Schwierigkeiten bereiten wird.

Wir hoffen mit dieser Versuchsanordnung auch die von Einstein¹⁾ aufgeworfene Frage einer experimentellen Untersuchung unterwerfen zu können, ob in einem teilweise dissoziierten Gase, z. B. $\text{N}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$, die Schallgeschwindigkeit von der Tonhöhe abhängt.

Freiburg i. B., Dezember 1920.

¹⁾ Einstein, Ber. d. Berl. Akad. d. Wiss. 1920, S. 380.