

1.6 Messung der Schallgeschwindigkeit in Gasen mit dem Quincke'schen Interferenzrohr

Stichwörter: Interferenz, Kohlendioxid, Luft, Helium, Schallgeschwindigkeit, Schallwelle, Freiheitsgrad, Adiabatenexponent, Wärmekapazität, Ideale Gase, Zustandsgleichungen, thermodynamische Prozesse, Lautsprecher, Mikrophon, elektrische Filter.

Hinweis: zu diesem Versuch wird kein Laborbericht verlangt. Daher wird eine sehr gute Vorbereitung erwartet. Lesen Sie mindestens die am Ende angegebene Literatur gut durch und recherchieren Sie in andere Quellen (z.B. andere Aufbauten, Erwartungswerte, usw.) vor dem Versuchstag.

1 Grundlagen

Schallwellen breiten sich in Gasen als elastische Longitudinalwellen aus. Für ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit c hat Pierre-Simon de LAPLACE 1816 die Beziehung

$$c = \sqrt{\kappa \frac{p}{\rho}} \quad (\text{LAPLACE'sche Formel}) \quad (1)$$

abgeleitet, wobei p den Druck, ρ die Dichte und κ den Adiabatenexponenten bedeuten, der sich aus den spezifischen Wärmen bei konstantem Druck c_p und bei konstantem Volumen c_v gemäß

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} \quad (2)$$

berechnet. LAPLACE ging dabei von der damals neuartigen Vorstellung aus, dass die schnell aufeinander folgenden Kompressionen und Dilatationen in den elastischen Schallwellen **adiabatisch** erfolgen und daher zu entsprechenden Erwärmungen bzw. Abkühlungen des Mediums führen. Damit war die Ursache für die erheblichen Diskrepanzen zwischen zahlreichen experimentellen Ergebnissen und den nach der von Isaac NEWTON 1710 angegebenen Formel

$$c = \sqrt{\frac{p}{\rho}} \quad (\text{NEWTON'sche Formel}) \quad (3)$$

berechneten Werten gefunden. NEWTON war bei seiner Ableitung von **isothermen** Vorgängen in der Schallwelle ausgegangen.

2 Messapparatur

Kernstück der Apparatur, wie sie in Abbildung 1 dargestellt ist, bildet das von Georg QUINCKE 1866 zur Untersuchung **akustischer Interferenzen** entworfene QUINCKE'sche Interferenzrohr. Es besteht aus zwei Rohrbögen, von denen der eine **posaunenartig** ausgezogen werden kann.

Der Generator **G** erzeugt eine sinusförmige Wechselspannung der Frequenz f und betreibt den elektroakustischen Wandler **S** als Schallsender. Die von ihm ausgehende Druckwelle spaltet sich am Reflektor **R**₁ in zwei

2 Versuch 1.6 - Messung der Schallgeschwindigkeit in Gasen mit dem Quincke'schen Interferenzrohr

Teilwellen auf. Sie durchlaufen die beiden verschiedenen Wege s_1 und s_2 und überlagern sich nach Spiegelung an R_2 vor dem Schallempfänger E .

Dieser wandelt die Summe der beiden Teildrücke in eine ihr proportionale Spannung um, die nach Passieren des Verstärkers V schließlich am Instrument J abgelesen werden kann.

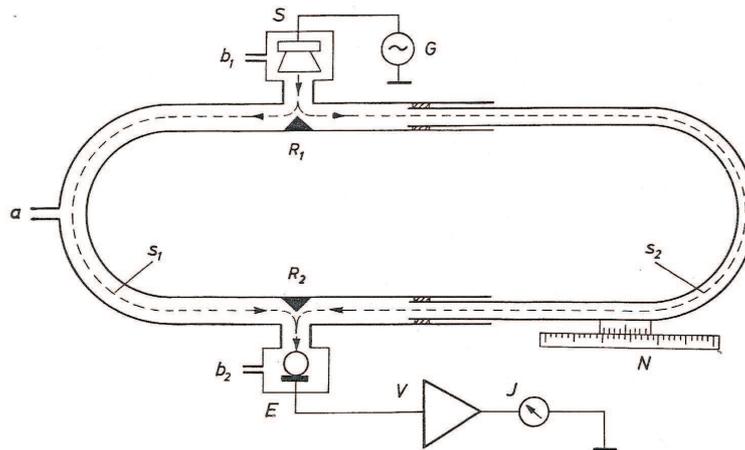


Abbildung 1: Schema des Versuchaufbaus mit dem QUINCKE'schen Interferenzrohr.

Der Gangunterschied der am Empfänger interferierenden Teilwellen kann durch Verändern von s_2 variiert werden. An der Noniuskala N wird diese Veränderung gemessen. Besonders gut lassen sich die Interferenzminima auswerten. Aus der Messung ihrer Abstände gemäß

$$s_2 - s_1 = (2n + 1) \frac{\lambda}{2} \text{ mit } n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

kann zunächst die Schallwellenlänge λ ermittelt und dann nach

$$c = \lambda \cdot f \quad (5)$$

die Schallgeschwindigkeit c berechnet werden.

Die Frequenz des Schallsenders ist für alle Messungen konstant und beträgt

$$f = (8000 \pm 0,8) \text{ Hz}$$

3 Vorbereitungsaufgaben

Vor dem Versuchstag, lesen Sie die angegebene Bibliographie und suchen Sie auch eigenständig andere zusätzliche Quellen um die Vorbereitungsfragen zu beantworten.

1. Leiten Sie Gleichung (4) her.

2. Zur genauen und schnellen Wellenlängenbestimmung ist es am günstigsten, die genauen Lagen der beiden Schallintensitätsminima nahe bei maximal und minimal möglichem Posaunenauszug mit höchstmöglicher Präzision einzustellen und auf der Noniusskala abzulesen, sowie sämtliche auf dieser Strecke liegenden Minima nur zu zählen. Der Abstand dieser beiden Extremlagen sei die Verschiebung δ . Die Anzahl **sämtlicher Minima** auf dieser Verschiebung sei m . Dann ist $\delta = (m-1)\frac{\lambda}{2}$ und somit die gesuchte Wellenlänge

$$\lambda = \frac{2\delta}{m-1} \text{ mit } m = 2, 3, 4, \dots \quad (6)$$

Leiten Sie Gleichung (6) her.

3. Bestimmen Sie die Freiheitsgraden und der Adiabatenexponent für: He, % CO₂, und Luft (bestehend aus Zweiatomigen Molekülen N₂ und O₂).
4. Beweisen Sie, unter Berücksichtigung der Zustandsgleichung für ideale Gase, dass Gleichung (1) auch folgendermaßen dargestellt werden kann:

$$c = \sqrt{\kappa \frac{R \cdot T}{A}} \quad (7)$$

wobei R ist die Gaskonstante (in J·mol⁻¹·K⁻¹), A ist die molare Masse des Gasmoleküls (in **kg/mol**).

4 Aufgaben

(Alle Werte müssen mit Fehler angegeben werden)

1. Man ermittle die Schallgeschwindigkeiten c_0 unter Normalbedingungen (0°C, Atmosphärendruck) für die ein-, zwei- und dreiatomigen Gase **Helium, Luft, Kohlendioxid**. Dazu bestimme man bei den jeweils bestehenden Raumtemperaturen T (in Grad Celsius) zunächst die Schallgeschwindigkeit c mit Hilfe der Formel (6) wobei man den **maximal möglichen Hub** des posaunenartigen Auszugs ausnutze. Zu den Werten für Normalbedingungen gelangt man dann über die Beziehung

$$c_0 = \frac{c}{\sqrt{1 + \alpha T}} \quad , \quad \alpha = \frac{1}{273,16^\circ\text{C}}$$

2. Mit den eben ermittelten Schallgeschwindigkeiten berechne man aus der Gleichung 7 für die drei Gase die Adiabatenexponenten κ und die Freiheitsgraden f .
3. Man stelle für die drei Gase die Resultate für c_0 , f und κ tabellarisch zusammen und füge zu Vergleichszwecken noch die nach der gaskinetischen Theorie unter Berücksichtigung des **Gleichverteilungsgesetzes** zu erwartenden Werte für κ und f hinzu (Vorbereitungsaufgabe 3).
4. Bestimmen Sie die Werte für C_p und C_v für alle drei Gase.

Vorsicht!

Um bei der Verschiebungsmessung immer eine vollständige Füllung des Interferenzrohres mit dem gewählten reinen Gas sicherzustellen, soll stets eine leichte, die Schallgeschwindigkeit nicht störende Gasströmung

4 Versuch 1.6 - Messung der Schallgeschwindigkeit in Gasen mit dem Quincke'schen Interferenzrohr

bestehen. Das Gas tritt ein bei a und tritt aus bei b_1, b_2, b_3 (siehe Abbildung1). Bei den Verschiebungsmessungen achte man darauf, das Vergrößern des Posaunenausuges so langsam vorzunehmen, dass unter keinen Umständen Luft durch die kleinen Gasaustrittsöffnungen b_1, b_2, b_3 des Interferenzrohres angesaugt wird!

5 Hinweise zur Aufgabenstellung

Zu 1: Es ist zweckmässig, zuerst mit der reichlich vorhandenen Pressluft zu beginnen, um sich mit den praktischen Details des Experiments vertraut zu machen und um sich zu trainieren, höchste Präzision zu erreichen. Danach messe man mit CO_2 und schließlich mit He. Beim Gaswechsel achte man auf sorgfältigen Austausch der Füllgase, so dass stabile Messungen der Minima möglich sind. Da in aller Regel die Raumtemperatur leicht ansteigt, messe man unmittelbar vor Beginn und nach Beendigung der Verschiebungsmessreihe möglichst genau die Anfangs- und Endtemperatur. Mit dem Mittelwert dieser Temperaturen berechne man die Schallgeschwindigkeit c_0 bei Normalbedingungen.

Zu 2: Zur Berechnung des Molekulargewichts der Luft berücksichtige man eine Volumenzusammensetzung von 79% N_2 und 21 % O_2 .

Zu 4: Für die Differenz der molaren spezifischen Wärmen bei konstantem Druck und konstantem Volumen gilt $c_p - c_V = R$.

Pro Freiheitsgrad, f , gibt es einen Beitrag von $1/2 R$ zur molaren spezifischen Wärme c_V .

Literatur Wolfgang Demtröder: *Experimentalphysik I. Mechanik und Wärme* Springer Verlag Berlin Heidelberg 2013. 6. Auflage. Kapitel 10.1, 10.3., 11.9 und 11.10.