

Laufzeitmessung

Ziel dieses Versuches ist es, die Schallgeschwindigkeit in der Luft mittels einer Laufzeitmessung zu bestimmen. Dazu wurde eine Lichtquelle (Taschenlampe) und das Messgerät auf einem Tisch positioniert und in einem Abstand von 3 m vom IOLab wurde eine Markierung am Tisch vorgenommen. An diese Markierung wurde mit einem Brett der Lichtstrahl unterbrochen und gleichzeitig am Tisch ein lautes Geräusch erzeugt. Beide Signale kommen am IOLab an, wobei der Schlag vom Brett zeitlich leicht verzögert ankommt, da die Geschwindigkeit des Schalls wesentlich kleiner als die des Lichts ist. Aus dieser Zeitdifferenz lässt sich die Schallgeschwindigkeit berechnen.

Für die Distanz wurde ein Fehler von 1 cm angenommen, um für den Ablesefehler, die Genauigkeit beim herunterschlagen der Brettes und die Positionierung des Sensors im IOLab zu kompensieren. Die Daten wurden bei einer Abfragerate von 2400 Hz aufgezeichnet, weshalb die Unsicherheit in der Zeit auf $1/2 * 2400 \text{ 1/Hz} = 0.21 \text{ } \mu\text{s}$ geschätzt wurde.

Resonanzmessung

Dafür wurde ein Kartonrohr der Länge $L = 81.60(10) \text{ cm}$ und einem Durchmesser $d = 0.40(10) \text{ cm}$ hergenommen. Ein Ende wurde mit dem IOLab abgedichtet und das Andere wurde offen gelassen und über Kopfhörer Töne reingespielt. Da das Rohr an einem Ende offen, muss man Korrekturen an der Länge vornehmen, sodass für die effektive Länge gilt $L_{\text{eff}} = L + 0.6d = 81.84(12) \text{ cm}$.

Die von den Lautsprechern erzeugten Schallwellen werden am geschlossenen Ende des Rohres reflektiert und interferieren mit den gegenläufigen Schwingungen. Bei bestimmten Frequenzen interferieren die Wellen maximal konstruktiv und kommt es zu stehenden Wellen. Aus der Schwingungsgleichung für Druckwellen kann man sich die Frequenzen ausrechnen, bei welchen stehende Wellen entstehen und man erhält

$$f_n = (2n + 1) \frac{c}{4L_{\text{eff}}} \quad (1)$$

beziehungsweise für aufeinanderfolgende Frequenzen

$$f_{n+1} - f_n = \frac{c}{2L_{\text{eff}}} \quad (2)$$

Berechnung der Schallgeschwindigkeit

Die Schallgeschwindigkeit lässt sich für ideale Gase mittels dem adiabatischen Kompressionsmodul berechnen

$$c_{\text{ad}} = \sqrt{\gamma RT/M} \quad (3)$$

wobei $\gamma \approx 1.4$ der Adiabatenindex, $R = 8.3143 \text{ J/K/mol}$ die allgemeine Gaskonstante, T die Temperatur und $M \approx 0.028973 \text{ kg/mol}$ die molare Masse des Gases beschreiben. Die Temperatur wurde mittel eines Thermometers auf $297(1) \text{ K}$ gemessen. Setzt man nun Werte in Gleichung (3) ein, erhält man

$$c_{\text{ad}} = 345.45(6) \text{ m/s} \quad (4)$$

Der Adiabatenindex γ , auch Wärmekapazitätsverhältnis genannt, wird durch das Verhältnis zwischen der Wärmekapazität eines Gases bei konstantem Druck zur Wärmekapazität bei konstantem Volumen beschrieben. Für Luft gilt $\gamma \approx 1.4$ unter der Voraussetzung, dass der Luftdruck ungefähr bei 1 atm und die Temperatur um 300 K liegt.

Aus $\rho c \zeta_0 \omega = p_0$ und $\omega = 2\pi f$ folgt für ζ_0 und v_0

$$\zeta_0 = \frac{p_0}{2\pi f \rho c} = 3.8394(6) \cdot 10^{-5} \text{ m} \quad (5)$$

$$v_0 = \zeta_0 \omega = \frac{p_0}{2\rho c} = 0.24123(4) \text{ m/s} \quad (6)$$

Substituiert man in der Zustandsgleichung für ideale Gase $V = m/\rho$ erhält man für die Dichte

$$\rho_0 = \frac{p_0 M}{RT} = 0.01742 \text{ kg/m}^3 \quad (7)$$