

1. Versuchsziele

In diesem Versuch soll die Schallgeschwindigkeit c in Luft bei Raumtemperatur ermittelt und daraus die effektive Länge der Messstrecke s bestimmt werden. Anschließend soll die Schallgeschwindigkeit unterschiedlicher Gase gemessen und Aussagen über den Einfluss der Gasdichte auf die Schallgeschwindigkeit getroffen werden.

2. Theoretische Grundlagen

Für die Schallgeschwindigkeit c in Gasen gilt

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}}, \quad (1)$$

wobei K den Kompressionsmodul und ρ die Dichte des Gases bezeichnet.

Da die durch eine Schallwelle hervorgerufenen Druckänderungen nahezu adiabatisch ablaufen, kann der Kompressionsmodul durch den Druck p und den Adiabatenexponenten κ wie folgt ausgedrückt werden.

$$K = p \cdot \kappa \quad (2)$$

Für die Schallgeschwindigkeit c gilt also

$$c = \sqrt{\frac{p \cdot \kappa}{\rho}} \quad (3)$$

Da die Gruppen- und die Phasengeschwindigkeit in guter Näherung übereinstimmen (keine Dispersion) kann die Schallgeschwindigkeit (Phasengeschwindigkeit) über die Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Schallimpulses ermittelt werden. Der Schallimpuls wird erzeugt, indem eine steile Spannungsflanke die Membran eines Lautsprechers ruckartig bewegt; diese Bewegung bewirkt die Druckschwankung im jeweiligen Gas. In einem gewissen Abstand zum Lautsprecher wird der Schallimpuls mit einem Mikrofon registriert.

Zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit c wird die Zeit t zwischen der Impulserzeugung am Lautsprecher und der Registrierung am Mikrofon gemessen. Da der genaue Startort des Schallimpulses am Lautsprecher nicht direkt bestimmt werden kann, werden zwei Messungen in Luft durchgeführt, wobei sich das Mikrofon einmal am Ort s_1 und einmal bei s_2 befindet. Die Schallgeschwindigkeit ergibt sich aus der Wegdifferenz $\Delta s = |s_1 - s_2|$ und der dazugehörigen Zeitdifferenz $\Delta t = |t_1 - t_2|$ zu

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (4)$$

Durch Multiplikation der so bestimmten Schallgeschwindigkeit c mit der gemessenen Laufzeit t wird die effektive Messstrecke s gemäß

$$s = c \cdot t \quad (5)$$

berechnet.

Durch die Verwendung des Kunststoffrohres als Wellenleiter werden störende Umgebungseinflüsse minimiert. So ist es möglich, die Schallgeschwindigkeit in unterschiedlichen Gasen durch Austausch des Gases zu bestimmen.

3. Versuchsaufbau

Geräteliste

1	Gerät zur Schallgeschwindigkeit	413 60
1	Ständer für Rohre	516 249
1	Hochtonlautsprecher	587 07
1	Universalmikrofon	586 26
1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Timer-Box	524 034
1	Druckgasflasche CO ₂	661 0081
1	Druckgasflasche He	661 0084
1	Druckminderventil	661 017
1	Silikon-Schlauch	667 194
2	Sockel	300 11
1	Maßstabschiene, 500 mm	460 97

Den Versuch entsprechend dem Bild auf der Titelseite dieser Anleitung aufbauen.

- Das Kunststoffrohr auf den dafür vorgesehenen Ständer legen und den Lautsprecher so heranschieben, dass das Kunststoffrohr möglichst dicht abgeschlossen ist.
- Das Universalmikrofon so einrichten, dass die Innenkante des Sockels bei $s_1 = 40$ cm liegt, und dass es sich beim Verschieben parallel zum Kunststoffrohr bewegt. Den Funktionsschalter des Mikrofons auf Betriebsart „Trigger“ stellen.
- Die Komponenten gemäß der auf der Titelseite dargestellten Abbildung mit Kabeln verbinden
- Das Mikrofon verfügt über eine Abschaltautomatik, deshalb die Betriebsbereitschaft regelmäßig kontrollieren.

Hinweis: Bei falscher Polung des Lautsprechers weichen die Messwerte systematisch von den tatsächlichen Werten ab, da falsche Flanken für die Start- und/oder die Stoppzeit genommen werden.

Einstellungen in Cassy Lab:

Die Voreinstellungen sind in der Versuchsparameterdatei

„V6 - Schallgeschwindigkeit - Einstellungen für CASSY-Lab.lab“
im Verzeichnis „Voreinstellungen für CASSY-Lab“ gespeichert.

- *Fenster „Einstellungen“*
 - *CASSY*
 - *Anordnung aktualisieren* anklicken
 - Timer-Box anwählen
 - *Messgröße:* Laufzeit Δt_{A1} (E \rightarrow F)
 - *Messbereich:* 0,002
 - *Messparameter:* Flanken invertieren (0 \leftrightarrow 1) aktivieren
 - R1/S1 anwählen
 - *Relais R1:* 0
 - *Spannungsquelle S1 :* frac time < 0,8
 - *Darstellung*
 - *x-Achse:* n (Darstellungsart x)
 - *y-Achse:* Δt_{A1} (Darstellungsart y)
- *Messparameter*
 - *manuelle Aufnahme* aktivieren

Bedienungshinweise zum Programm ‚Cassy Lab‘:

- Messung starten oder stoppen: Button  oder Taste F9.
- Messdaten speichern: Button  oder Taste F2
- Fenster „Einstellungen“ aufrufen: Button  oder Taste F5
- Auswertungen: Kontextmenu über rechte Maustaste: z.B. Zoomen, Markierung setzen, Mittelwert einzeichnen, Anpassung durchführen oder Diagramm kopieren
- Markieren eines Kurvenbereiches: Mauszeiger bei gedrückter linker Maustaste über Kurvenbereich ziehen oder Anfangs- und Endpunkt anklicken.

4. Versuchsdurchführung

- Positionieren Sie das Mikrofon an die Stelle $s_1 = 40$ cm und protokollieren die Laufzeit Δt für das Medium Luft.
- Zum Befüllen des Rohres mit Gas den Schlauch von Gasbehälter und Kunststoffrohr verbinden.
- Achten Sie auf die Lage der Rohröffnung je nach zu befüllendem Gas entsprechend der folgenden Tabelle:

Gas	offene Rohröffnung	Dichte ρ (0 °C, 1013 hPa)	Schallgeschwindigkeit c	Adiabatenexponent κ
Luft		$1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$331,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{\vartheta}{\text{°C}}$	1,4
Kohlendioxid	oben	$1,98 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$258 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{\vartheta}{\text{°C}}$	1,29
Helium	unten	$0,18 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$965 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{\vartheta}{\text{°C}}$	1,63

Hinweis: Das Befüllen des Rohres mit Gas soll nur vom Laborbetreuer oder einem Tutor vorgenommen werden.

Das Gas für ca. 5 Sekunden stoßweise in das Rohr einströmen lassen. Anschließend den Gashahn wieder zudrehen.

- Messen Sie jeweils die Laufzeit Δt direkt nach dem Befüllen des Rohres mit den verfügbaren Gasen an der Position $s_1 = 40$ cm.

5. Auswertung

- Berechnen Sie die Schallgeschwindigkeiten in den gemessenen Gasen (Kohlendioxid, Helium und Luft).
- Vergleichen Sie Ihre ermittelten Schallgeschwindigkeiten mit den Werten, die sich aus den Literaturangaben sowie aus Formel (3) ergeben und erläutern Sie mögliche Abweichungen.
- Diskutieren Sie Ihre Messergebnisse kritisch.