

AUFGABEN:

- Messung der Laufzeit t eines Schallimpulses in Luft bei Raumtemperatur in Abhängigkeit vom Abstand s zwischen zwei Mikrofonsonden.
- Bestätigung des linearen Zusammenhangs zwischen s und t .
- Messung der Laufzeit t eines Schallimpulses in Luft in Abhängigkeit von der Temperatur T bei festem Abstand zwischen zwei Mikrofonsonden.
- Bestimmung der Schallgeschwindigkeit (Gruppengeschwindigkeit) in Abhängigkeit von der Temperatur.
- Vergleich mit dem Ergebnis der Laplace'schen Herleitung.



ZIEL

Messung der Laufzeiten von Schallimpulsen in einem Kundt'schen Rohr.

ZUSAMMENFASSUNG

Schallwellen breiten sich in Gasen als Longitudinalwellen aus. Die Gruppengeschwindigkeit stimmt mit der Phasengeschwindigkeit überein. Im Experiment wird in einem Kundt'schen Rohr die Laufzeit eines Schallimpulses zwischen zwei Mikrofonsonden gemessen und daraus die Schallgeschwindigkeit berechnet. Zwischen Raumtemperatur und 50 °C wird die Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit überprüft. Das Messergebnis stimmt mit dem Ergebnis der Laplace'schen Herleitung überein.

BENÖTIGTE GERÄTE

Anzahl	Geräte	Art.-Nr.
1	Kundt'sches Rohr E	1017339
1	Impulsbox	1017341
1	Mikrofonsonde, lang	1017342
1	Mikrofonsonde, kurz	4008308
1	Mikrofonbox (230 V, 50/60 Hz)	1014520 oder
	Mikrofonbox (115 V, 50/60 Hz)	1014521
1	Mikrosekundenzähler (230 V, 50/60 Hz)	1017333 oder
	Mikrosekundenzähler (115 V, 50/60 Hz)	1017334
1	Heizstab K	1017340
2	HF-Kabel, BNC/4-mm-Stecker	1002748
1	DC-Netzgerät 0-20 V, 0-5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 oder
	DC-Netzgerät 0-20 V, 0-5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Digital-Sekunden-Taschenthermometer	1002803
1	Tauchfühler NiCr-Ni Typ K -65-550°C	1002804
1	Paar Sicherheitsexperimentierkabel, 75 cm	1002849

Zusätzlich empfohlen:

diverse technische Gase ***

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Schallwellen sind elastische Wellen in deformierbaren Medien. Ihre Wellengeschwindigkeit hängt von den elastischen Eigenschaften des Mediums ab. In einfachen Gasen breiten sie sich ausschließlich als Longitudinalwellen aus, die Gruppengeschwindigkeit stimmt mit der Phasengeschwindigkeit überein.

In einer Herleitung nach Laplace werden Schallwellen in Gasen als adiabatische Druck- bzw. Dichteänderungen betrachtet. Für die Schallgeschwindigkeit erhält man

$$(1) \quad c = \sqrt{\frac{C_p \cdot p}{C_v \cdot \rho}}$$

p : Druck, ρ : Dichte,
 C_p, C_v : Wärmekapazitäten des Gases

Für ein ideales Gas mit der absoluten Temperatur T ist

$$(2) \quad \frac{p}{\rho} = \frac{R \cdot T}{M}$$

$$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{Mol} \cdot \text{K}} : \text{Universelle Gaskonstante,}$$

$$M: \text{Molmasse}$$

Also ist seine Schallgeschwindigkeit gegeben durch

$$(3) \quad c = \sqrt{\frac{C_p \cdot R \cdot T}{C_v \cdot M}}$$

Für nicht zu große Temperaturdifferenzen ΔT im Vergleich zu einer Referenztemperatur T_0 , hängt die Schallgeschwindigkeit linear von der Temperaturänderung ΔT ab:

$$(4) \quad c = \sqrt{\frac{C_p \cdot R \cdot T_0}{C_v \cdot M}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta T}{2 \cdot T_0}\right)$$

Für trockene Luft als ideales Gas findet man daher häufig folgende Angabe zur Schallgeschwindigkeit

$$(5) \quad c(T) = \left(331,3 + 0,6 \cdot \frac{\Delta T}{\text{K}}\right) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$T_0 = 273,15 \text{ K} = 0^\circ\text{C}$$

Im Experiment wird in einem Kundt'schen Rohr die Laufzeit t eines Schallimpulses zwischen zwei Mikrofonsonden mit dem Abstand s gemessen. Der Schallimpuls entsteht durch die ruckartige Bewegung einer Lautsprechermembran, die von einem Spannungspuls mit steiler Flanke angesteuert wird. Die hoch aufgelöste Laufzeitmessung mit einem Mikrosekundenzähler startet, wenn der Schallimpuls die erste Mikrofonsonde erreicht, und stoppt, wenn die zweite Mikrofonsonde im Abstand s erreicht wird. Mit einem Heizstab wird die Luft im Kundt'schen Rohr für Laufzeitmessungen in Abhängigkeit von der Temperatur auf bis zu 50°C erwärmt. Beim Abkühlvorgang ist die Temperaturverteilung genügend homogen. Daher reicht es, die Temperatur an einem Punkt im Kundt'schen Rohr zu messen. Über eine Schlaucholive können auch andere technische Gase als Luft in das Kundt'sche Rohr eingeleitet werden.

AUSWERTUNG

Die Schallgeschwindigkeit errechnet sich aus dem Quotient von Laufstrecke s und Laufzeit t :

$$c = \frac{s}{t}$$

In Abb. 2 ist sie der Kehrwert der Geradensteigung. Die Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit lässt sich durch Gleichung 3 beschreiben mit den Parametern

$$M = 28,97 \frac{\text{g}}{\text{Mol}}, \quad \frac{C_p}{C_v} = \frac{7}{5} \text{ beschreiben.}$$

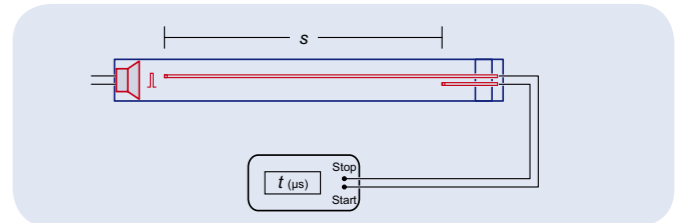


Abb. 1 Schematische Darstellung des experimentellen Aufbaus.

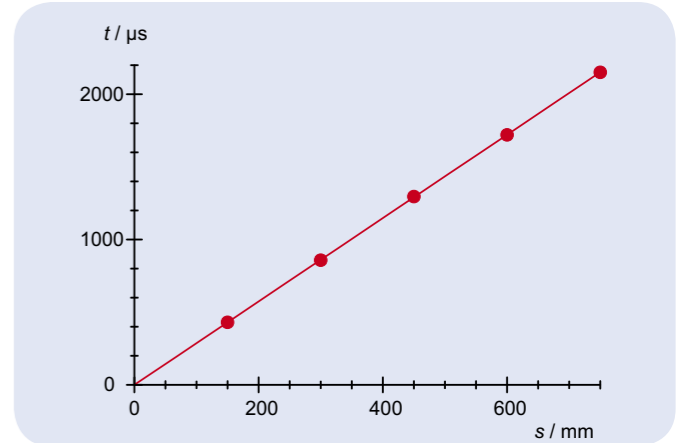


Abb. 2 Schalllaufzeit t in Luft in Abhängigkeit von der Laufstrecke s bei Raumtemperatur.

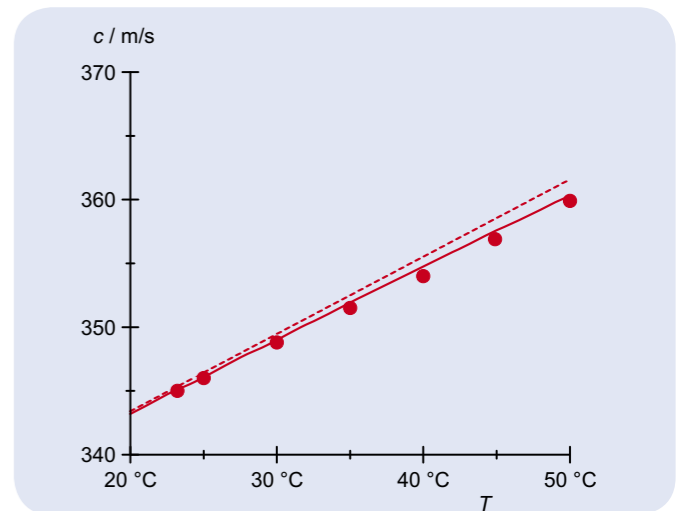


Abb. 3 Schallgeschwindigkeit c in Luft in Abhängigkeit von der Temperatur T . durchgezogene Linie: berechnet gemäß Gleichung 3, gestrichelte Linie: berechnet gemäß Gleichung 5.