Schallgeschwindigkeit in Luft

MESSUNG DER LAUFZEITEN VON SCHALLIMPULSEN IN EINEM KUNDT'SCHEN ROHR.

- 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.

UE1070310

06/16 UD

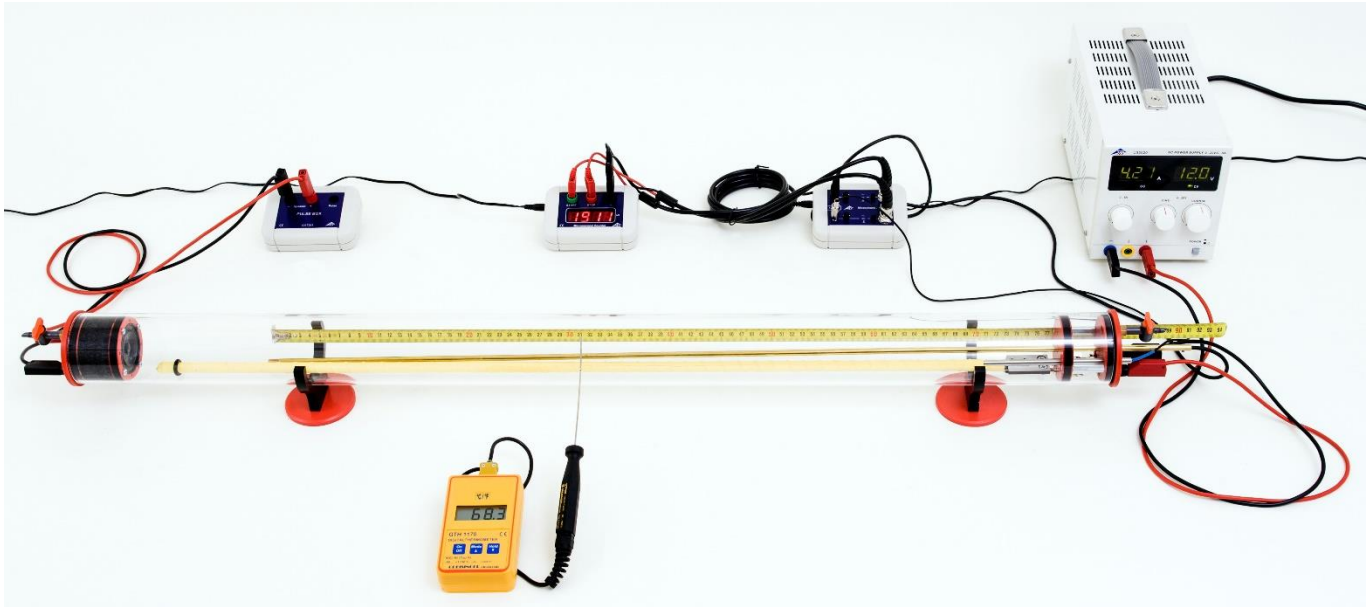

Fig. 1: Messanordnung.

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

$$(1) \quad c = \sqrt{\frac{C_P}{C_V} \cdot \frac{p}{\rho}} \, .$$

p: Druck, ρ: Dichte,
C_P, C_V: Wärmekapazitäten des Gases

Für ein ideales Gas mit der absoluten Temperatur T ist

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

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

M: Molmasse

Also ist seine Schallgeschwindigkeit gegeben durch

$$(3) \quad c = \sqrt{\frac{C_P}{C_V} \cdot \frac{R \cdot T}{M}}.$$

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

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

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

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

T_0 = 273,15 K = 0°C

GERÄTELISTE

1	Kundt'sches Rohr E	1017339 (U8498308)
1	Impulsbox K	1017341 (U8498281)
1	Mikrofonsonde, lang	1017342 (U8498282)
1	Mikrofonsonde, kurz	4008308 (U8498307)
1	Mikrofonbox @230V	1014520 (U8498283-230)
oder		
1	Mikrofonbox @115V	1014521 (U8498283-115)
1	Mikrosekundenzähler @230V	1017333 (U8498285-230)
oder		
1	Mikrosekundenzähler @115V	1017334 (U8498285-115)
1	Heizstab K	1017340 (U8498280)
2	HF-Kabel, BNC/4-mm-Stecker	1002748 (U11257)
1	DC-Netzgerät 0-20 V, 0-5 A @230V	1003312 (U33020-230)
oder		
1	DC-Netzgerät 0-20 V, 0-5 A @115V	1003311 (U33020-115)
1	Digital-Sekunden-Taschenthermometer	1002803 (U11853)
1	Tauchfühler NiCr-Ni Typ K -65–550°C	1002804 (U11854)
1	Paar Sicherheits-experimentierkabel, 75 cm	1002849 (U13812)

Zusätzlich empfehlenswert:

Diverse technische Gase

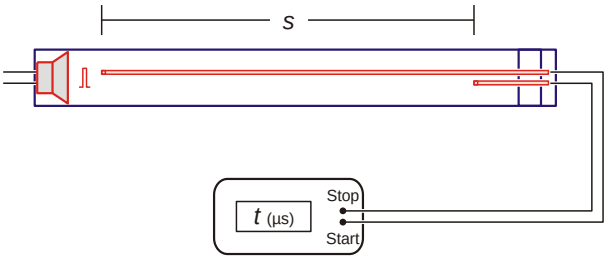

Fig. 2: Schematische Darstellung des experimentellen Aufbaus.

AUFBAU

- Schallrohr mittels der Standfüße aufstellen (Fig. 1).
- Abschlusskappe mit Anschlussbuchsen für Lautsprecher in das Schallrohr einsetzen.
- Heizstab K in die Abschlusskappe mit Anschlussbuchsen für Heizstab stecken und in das Schallrohr einsetzen.

Hinweis:
Ggf. etwas Glyzerin oder Seife auf die Dichtungsringe auftragen, um das Einsetzen der Anschlusskappen zu erleichtern.

- Mikrofonsonden durch die Bohrungen bis zum Anschlag in die Abschlusskappe und in die Führungsscheibe einführen.
- Verschiebbare Skala in der Halterung der Standfüße festklemmen.
- Impulsbox an das Buchsenpaar zur Versorgung des Lautsprechers anschließen. Maximalleistung des Lautsprechers beachten (U_{eff} = 6 V max.). Beide Ausgänge auf Trigger stellen, Verstärkung für beide Kanäle mittig einstellen.
- DC-Netzgerät an die Anschlussbuchsen für Heizstab anschließen.
- Lange Mikrofonsonde an Eingang Kanal A der Mikrofonbox und kurze Mikrofonsonde an Eingang Kanal B anschließen.
- Ausgang Kanal A der Mikrofonbox mittels BNC / 4-mm Adapterkabel an Start-Eingang des Mikrosekundenzählers anschließen. (Roter Stecker in güne Buchse, schwarzer Stecker in schwarze Massebuchse,)
- Ausgang Kanal B der Mikrofonbox an Stop-Eingang des Zählers anschließen. (Roter Stecker in rote Buchse, schwarzer Stecker seitlich in ersten schwarzen Stecker).
- Steckernetzgeräte an Mikrosekundenzähler und Mikrofonbox anschließen und mit dem Netz verbinden.

Hinweis:
Bei Experimenten mit anderen technischen Gasen als Luft Schallrohr über die Schlauchanschlüsse befüllen. Dabei ist die Ausrichtung der Hähne entsprechend der Gasdichte zu beachten.

DURCHFÜHRUNG

Schalllaufzeit in Luft bei Raumtemperatur

- Mit Hilfe der verschiebbaren Skala einen Abstand von 750 mm ziwschen langer und kurzer Mikrofonsonde einstellen. Der Abstand entspricht gerade der Laufstrecke des Schalls. Wert in Tab 1 eintragen.
- Mit der Impulsbox einen Schallimpuls auslösen und die Zeit für die Schallausbreitung von der langen zur kurzen Mikrofonsonde am Mikrosekundenzähler ablesen. Die Zeit entspricht gerade der Laufzeit des Schalls. Wert in Tab. 1 eintragen.

Hinweis:
Der Schallimpuls entsteht durch die ruckartige Bewegung einer Lautsprechermembran, die von einem Spannungspuls mit steiler Flanke angesteuert wird. Die hoch aufgelöste Laufzeitmessung mit dem Mikrosekundenzähler startet, wenn der Schallimpuls die lange Mikrofonsonde erreicht, und stoppt, wenn die kurze Mikrofonsonde im Abstand *s* erreicht wird.

- Durch sukkzessives Herausziehen der langen Mikrofonsonde weitere Abstände einstellen, Messung wiederholen und Werte für Laufstrecke und Laufzeit jeweils in Tab. 1 eintragen.

Schalllaufzeit in Luft in Abhängigkeit von der Temperatur

- Festen Abstand *s* = 600 mm zwischen langer und kurzer Mikrofonsonde einstellen.
- Tauchfühler an das Taschenthermometer anschließen, durch die Bohrung in das Schallrohr einführen und in der Mitte des Schallrohrs platzieren.
- Mit Hilfe des Heizstabes, der an das DC-Netzgerät angeschlossenen ist, die Luft im Schallrohr auf 50°C aufheizen.
- Beim Abkühlvorgang bis auf Raumtemperatur z.B. in 5°C-Schritten wie oben beschrieben die Schalllaufzeit messen. Werte für Temperatur und Schalllaufzeit jeweils in Tab. 2 eintragen.

Hinweise:
Die Temperatur darf 50°C nicht überschreiten.

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.

MESSBEISPIEL UND AUSWERTUNG

Tab. 1: Laufstrecke *s* und Laufzeit *t* des Schalls in Luft bei Raumtemperatur.

s / mm	*t* / µs
750	2150
600	1720
450	1295
300	858
150	431

Tab. 2: Schalllaufzeit *t* und Schallgeschwindigkeit *c* in Luft in Abhängigkeit von der Temperatur *T*. Laufstrecke *s* = 600 mm.

T / °C	*t* / µs	*c* / m/s
50,0	1668	359,7
45,0	1681	356,9
40,0	1694	354,2
35,0	1707	351,5
30,0	1720	348,8
26,1	1731	346,6
22,4	1742	344,4

Schalllaufzeit in Luft bei Raumtemperatur

- Die gemessenen Laufzeiten *t* gegen die eingestellten Abstände *s* in einem Diagramm auftragen (Fig. 3).
- Eine Gerade $t = a \cdot s$ an die Messpunkte anpassen.

Die Schallgeschwindigkeit entspricht dem Kehrwert der Geradensteigung *a*:

$$(6) \quad c = \frac{1}{a} = \frac{1}{2{,}868}\,\frac{\text{mm}}{\mu\text{s}} = 348{,}7\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\,.$$

Der Wert stimmt sehr gut mit dem Literaturwert *c* = 346,4 m/s bei *T* = 25°C überein.

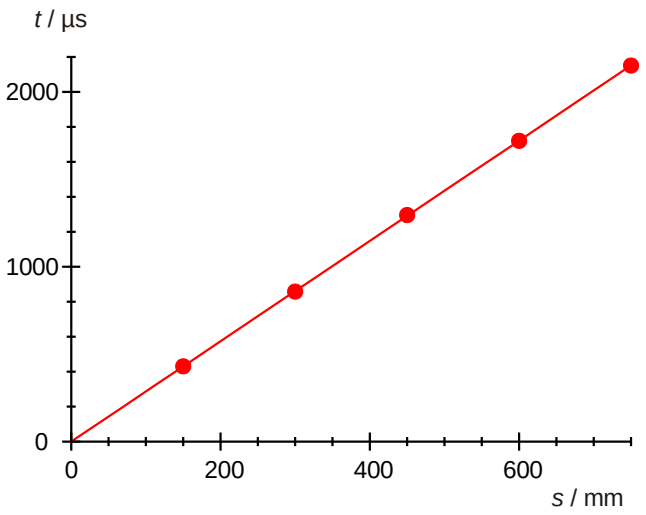

Fig. 3: Schalllaufzeit *t* in Luft in Abhängigkeit von der Laufstrecke *s* bei Raumtemperatur.

Schalllaufzeit in Luft in Abhängigkeit von der Temperatur

- Die Schallgeschwindigkeit für jede Temperatur aus dem Quotient

  (7) $c = \frac{s}{t}$

  von Laufstrecke s und Laufzeit t (Tab. 2) berechnen und die Werte in Tab. 2 eintragen.

- Die Schallgeschwindigkeiten c gegen die Temperaturen T in einem Diagramm auftragen (Fig. 4).
- Die Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit mit den Parametern

  (8) $M = 28{,}97 \frac{\text{g}}{\text{Mol}}$ und $\frac{C_\text{p}}{C_\text{V}} = \frac{7}{5}$

  gemäß Gleichung (3) und gemäß Gleichung (5) berechnen, und die Werte in das $c(T)$-Diagramm (Fig. 4) eintragen.

Die Messpunkte werden durch Gleichung (3) mit den Parametern (8) gut beschrieben. Die näherungsweise Beschreibung durch Gleichung (5) zeigt dagegen eine Abweichung.

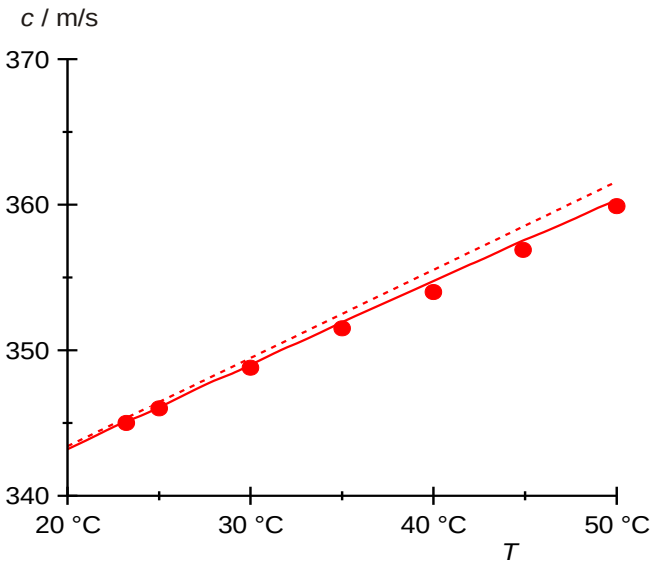

Fig. 4: Schallgeschwindigkeit c in Luft in Abhängigkeit von der Temperatur T.
Durchgezogene Linie: berechnet gemäß Gleichung (3).
Gestrichelte Linie: berechnet gemäß Gleichung (5).

© Copyright 2016 3B Scientific GmbH