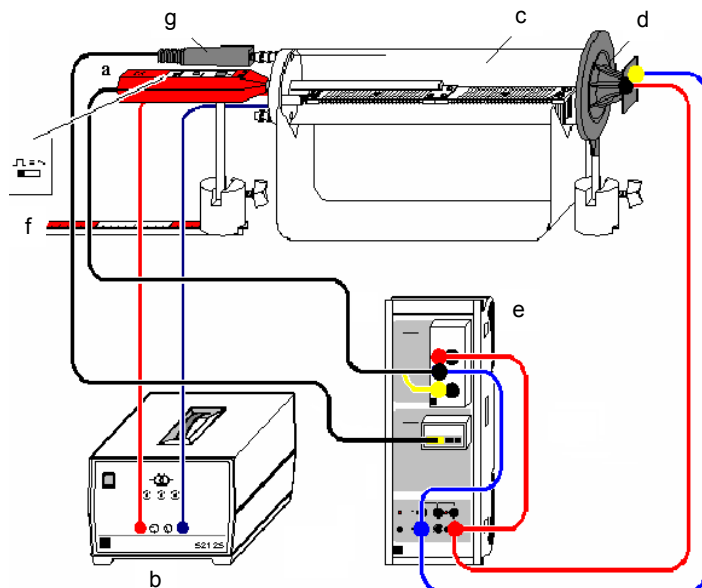


## Labor für Technische Physik

Prof. Dr.-Ing. Dieter Kraus, Dipl.-Ing. W.Pieper

### Versuch 6b:

### Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Temperatur



- |                         |                             |
|-------------------------|-----------------------------|
| a: Universalmikrofon    | e: Sensor-CASSY             |
| b: Netzgerät, 12V, 3,5A | f: Maßstabschiene           |
| c: Kunststoffrohr       | g: Temperaturfühler NiCr-Ni |
| d: Hochtוןlautsprecher  |                             |

### 1. Versuchsziele

Die Schallgeschwindigkeit  $c$  in Luft soll in Abhängigkeit der Temperatur  $\vartheta$  ermittelt werden. Anschließend kann der Adiabatenexponent von Luft aus der Schallgeschwindigkeit bestimmt werden.

### 2. Theoretische Grundlagen

Für die Schallgeschwindigkeit  $c$  in Gasen gilt

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

wobei  $K$  den Kompressionsmodul und  $\rho$  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  $\kappa$  wie folgt ausgedrückt werden.

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

Für die Schallgeschwindigkeit  $c$  gilt dann:

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

Der Quotient aus Druck und Dichte ist von der Temperatur  $\vartheta$  wie folgt abhängig

$$\frac{p}{\rho} = \frac{p_0}{\rho_0} \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta) \quad \text{mit } \alpha = \frac{1}{273^\circ\text{C}}. \quad (4)$$

Durch Einsetzen in Gleichung (3) folgt für kleine  $\vartheta$ :

$$c_\vartheta = c_0 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{2} \cdot \vartheta\right) \quad (5)$$

wobei  $c_0$  die Schallgeschwindigkeit bei  $0^\circ\text{C}$  angibt.

Zur Ermittlung des Adiabatenexponenten wird die allgemeine Zustandsgleichung eines idealen Gases zugrundegelegt:

$$p \cdot V = n \cdot R_m \cdot T = \frac{m}{M} \cdot R_m \cdot T = m \cdot R_s \cdot T \quad (6)$$

mit  $p$  – Druck,  $V$  – Volumen,  $n$  – Stoffmenge,  $R_m$  – molare Gaskonstante,  $T$  – Temperatur,  $m$  – Masse,  $M$  – molare Masse,  $R_s$  – spezifische Gaskonstante

Mit der Dichte  $\rho = \frac{m}{V}$  folgt: 
$$\rho = \frac{m \cdot p}{n \cdot R_m \cdot T} = \frac{M \cdot p}{R_m \cdot T} \quad (7)$$

Durch Einsetzen in Gleichung (3) und Quadrieren folgt

$$c^2 = \kappa \cdot \frac{R_m}{M} \cdot T = \kappa \cdot R_s \cdot T \quad (8)$$

Das Quadrat der Schallgeschwindigkeit in Gasen steigt linear mit der Temperatur.

Der Adiabatenexponent kann auch bei Kenntnis der spezifische Wärmekapazitäten ermittelt werden und ergibt sich für ideale Gase aus

$$\kappa = \frac{C_p}{C_v}, \quad (9)$$

wobei  $C_p$  bzw.  $C_v$  die spezifische Wärmekapazität von Gasen bei konstantem Druck bzw. konstantem Volumen angibt.

Im Versuch wird die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Schallimpulses gemessen. Daraus kann bei Vernachlässigung der Dispersion (Gruppen- und Phasengeschwindigkeit stimmen in guter Näherung überein) die Schallgeschwindigkeit bestimmt werden. Der Schallimpuls wird erzeugt, indem eine Spannungsflanke die Membran eines Lautsprechers ruckartig bewegt; diese Bewegung bewirkt die Druckschwankung im jeweiligen Gas. In einem definierten 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 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  $\Delta t = |t_1 - t_2|$ :

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (10)$$

Die Temperatur der Luft in dem Rohr kann mit Hilfe eines Heizkörpers erhöht werden. Durch die Verwendung des Kunststoffrohres als Wellenleiter werden störende Umgebungseinflüsse wie Temperaturunterschiede sowie Luftkonvektionen minimiert. In diesem System bleibt der Druck  $p$  konstant (tatsächlicher Umgebungsluftdruck). Mit steigender Temperatur  $\vartheta$  sinkt die Dichte  $\rho$ , die Schallgeschwindigkeit  $c$  nimmt zu.

### 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	NiCr-Ni-Adapter S	524 0673
1	Temperaturfühler NiCr-Ni	529 676
1	Transformator, 12 V, 3,5 A	521 25
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 etwa 1 cm weit in die mittlere Bohrung des Deckels schieben und so ausrichten, dass es sich beim Verschieben parallel zum Kunststoffrohr bewegt.
- Den Funktionsschalter des Mikrofons auf Betriebsart „Trigger/ Rechtecksignal“ stellen.
- Die Komponenten gemäß der auf der Titelseite dargestellten Abbildung mit Kabeln verbinden.
- Das Netzgerät noch nicht einschalten.
- 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 Stopzeit 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“
  - Timer-Box anwählen
    - *Messgröße:* Laufzeit  $\Delta t_{A1}$  (E  $\rightarrow$  F)
    - *Messbereich:* 0,002
    - *Messparameter:* Flanken invertieren (0  $\leftrightarrow$  1) aktivieren
  - NiCr-Ni-Adapter S anwählen
    - *Messwerverfassung:* Momentanwerte
  - R1/S1 anwählen
    - *Relais R1:* 0
    - *Spannungsquelle S1:*  $\text{frac time} < 0,8$
  - *Darstellung*
    - *x-Achse:*  $n$  (Darstellungsart  $x$ )
    - *y-Achsen:*  $\Delta t_{A1}$  (Darstellungsart  $y$ ),  $\vartheta_{B11}$  (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****a) Messung der Schallgeschwindigkeit in Luft**

- Das Mikrofon durch Drücken der Einschalttaste aktivieren; den Funktionsschalter auf Betriebsart „Trigger/ Rechtecksignal“ stellen.
- Den Drehregler an der Spannungsquelle S1 soweit aufdrehen, bis ein periodisches Impulssignal zu hören ist.

- Die Verstärkung am Mikrofon auf ca. 70% einstellen und die Spannung an S1 so abgleichen, dass eine störungsfreie Laufzeitmessung  $\Delta t_1$  erfolgt.
- Messen Sie die Laufzeit  $\Delta t_1$  an der Position  $s_1 = 40$  cm (Distanz vom Rand des Lautsprechers).
- Messen Sie ebenfalls die Laufzeiten  $\Delta t$  an den Positionen  $s_2 = 30$  cm und  $s_3 = 20$  cm (jeweils Distanz vom Rand des Lautsprechers).

**b) Messung der Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur**

- Führen Sie den Temperaturfühler NiCr-Ni möglichst ganz in das Rohr ein. Achten Sie darauf, dass die Spitze des Messfühlers in der Luft schwebt.
- Positionieren Sie das Mikrofon wieder an die Stelle  $s_1 = 40$  cm.
- Messen Sie die Laufzeit  $\Delta t$  an der Position  $s_1 = 40$  cm in Abhängigkeit der Lufttemperatur in dem Rohr. Schalten Sie hierzu das Netzgerät ein und nehmen die Messwerte für die Temperatur und die Laufzeit in Abständen von ca. 2,5°C auf. Die Temperatur bis max. 65°C erhöhen.

**5. Auswertung**

Stellen Sie ihre Messergebnisse grafisch in Diagrammen dar und kennzeichnen Sie die ermittelten Parameter. Geben Sie Erläuterungen und vergleichen Sie die Ergebnisse.

- Ermitteln Sie aus den Messungen zu a) die Schallgeschwindigkeit in Luft.
- Berechnen Sie die Strecke zwischen Lautsprecher und Mikrofon bei Position  $s_1 = 40$  cm
- Stellen Sie die Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Temperatur grafisch dar. Ermitteln Sie aus den Messungen durch Kurvenanpassung in Cassy Lab die Formel für das Temperaturverhalten der Schallgeschwindigkeit in Luft und vergleichen Sie diese mit dem Literaturwert.  $c_{\text{Luft}} = 331,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{\vartheta}{^\circ\text{C}}$
- Stellen Sie die  $c^2$  in Abhängigkeit der Temperatur grafisch dar. Ermitteln Sie aus dieser Darstellung mit Hilfe der Kurvenanpassung in Cassy Lab und Zugrundelegung von Gleichung (8) den Adiabatenexponent  $\kappa$  von Luft.

Literatur

- [1] Hering, Martin, Stohrer: Physik für Ingenieure, Springer-Lehrbuch
- [2] Kuchling: Taschenbuch der Physik, Fachbuchverlag Leipzig
- [3] Eichler, Kronfeld, Sahn: Das Neue Physikalische Grundpraktikum, Springer-Lehrbuch