

Mechanik

Akustik

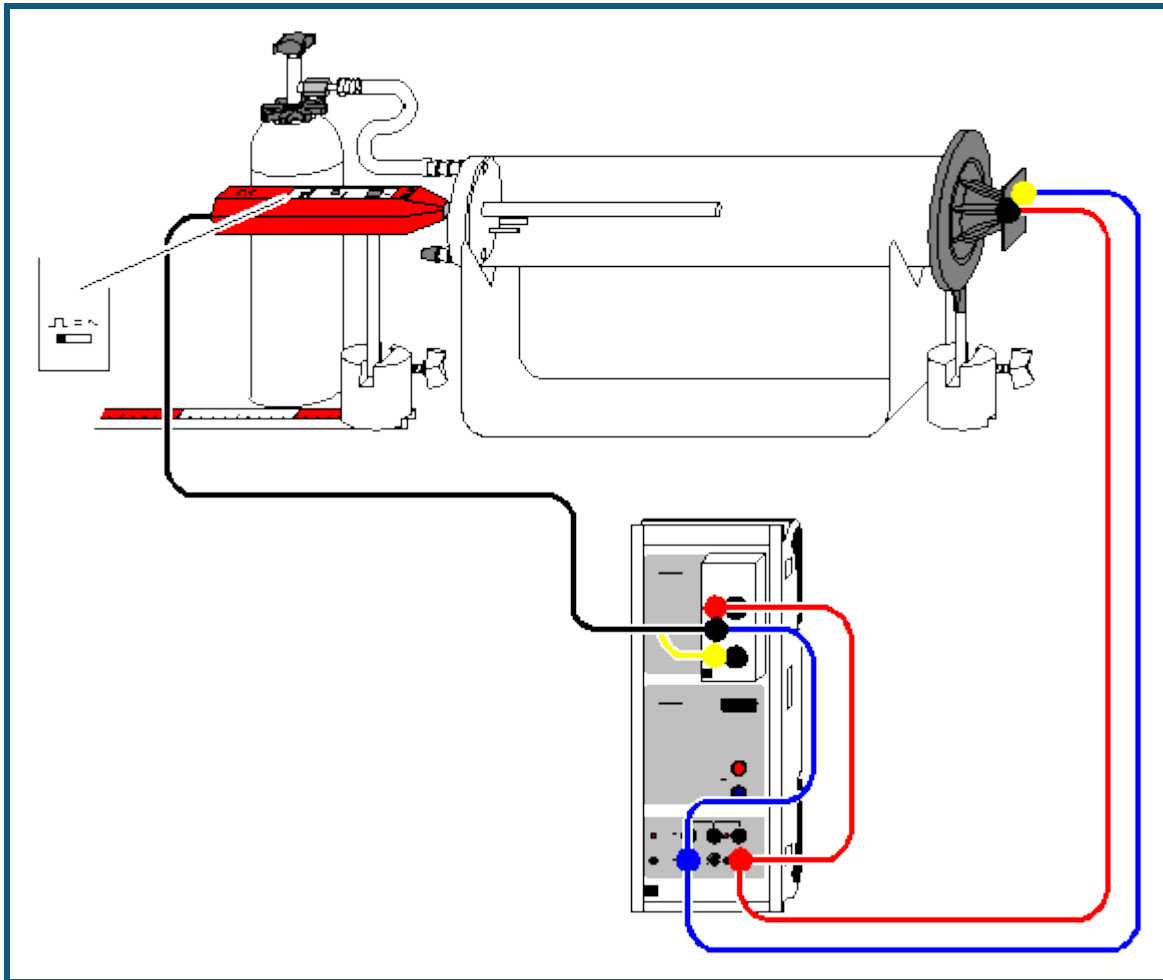
Wellenlänge und Schallgeschwindigkeit

Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Gasen

Beschreibung aus CASSY Lab 2

Zum Laden von Beispielen und
Einstellungen bitte die CASSY Lab 2-Hilfe
verwenden.

Schallgeschwindigkeit in Gasen



Vorsicht beim Umgang mit Minican-Druckgasflaschen

- Behälter stehen unter Druck; zur Gasentnahme nur Feinregulierungsventil (660 980) verwenden.
- Behälter vor Sonnenbestrahlung oder Erwärmung über 50 °C schützen.
- Behälter nicht gewaltsam öffnen.
- Behälter nur völlig entleert entsorgen.
- Behälter niemals wiederbefüllen.

Versuchsbeschreibung

Im Versuch wird die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Schallimpulses in Kohlendioxid und in den Edelgasen Helium und Neon bestimmt. Da Schallwellen in Gasen nur eine geringe Dispersion zeigen, – d. h. bei der Schallausbreitung in Gasen stimmen Gruppen- und Phasengeschwindigkeit in guter Näherung überein – kann im Versuch die Schallgeschwindigkeit c einfach aus der Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Schallimpulses bestimmt werden:

$$c^2 = p \kappa / \rho \quad \text{mit} \quad \kappa = C_p / C_V$$

κ : Adiabatenexponent

ρ : Dichte

p : Druck

C_p, C_V : spezifische Wärmekapazität

Der Schallimpuls wird erzeugt, indem eine steile Spannungsflanke die Membran eines Lautsprechers ruckartig bewegt. Diese Bewegung der Membran bewirkt eine Druckschwankung im Gas, welche mit einem Mikrofon registriert werden kann.

Zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit c in einem gasförmigen Medium wird die Laufzeit t zwischen der Impulszeugung am Lautsprecher und der Registrierung am Mikrofon gemessen. Da der genaue Startort des Schallimpulses am Lautsprecher nicht direkt gemessen werden kann, wird zunächst für die Bestimmung der effektiven Mess-

strecke die Schallgeschwindigkeit c_{Luft} in Luft bestimmt. Dazu werden zwei Laufzeitmessungen durchgeführt, bei denen sich das Mikrophon einmal am Ort s_{A1} und einmal am Ort s_{A2} befindet. Aus der Wegdifferenz $\Delta s = s_{A1} - s_{A2}$ und der zugehörigen Laufzeitdifferenz $\Delta t = t_1 - t_2$ ergibt sich dann die Schallgeschwindigkeit in Luft zu $c_{\text{Luft}} = \Delta s / \Delta t$. Damit kann dann für den Ort s_{A1} die effektive Messstrecke $s_{\text{eff}} = c_{\text{Luft}} \cdot t_1$ bestimmt werden, was schließlich eine direkte Messung der Schallgeschwindigkeit in einem Gas ermöglicht.

Benötigte Geräte

1	Sensor-CASSY	524 010 oder 524 013
1	CASSY Lab 2	524 220
1	Timer-Box	524 034
1	Gerät zur Schallgeschwindigkeit	413 60
1	Ständer für Rohre und Spulen	516 249
1	Hochtonlautsprecher	587 07
1	Universalmikrofon	586 26
1	Maßstabschiene, 0,5 m	460 97
2	Sockel	300 11
1	Minican-Druckgasdose, Kohlendioxid	660 999
1	Minican-Druckgasdose, Helium	660 984
1	Minican-Druckgasdose, Neon	660 985
1	Feinreguliergerät zu Minican-Druckgasdosen	660 980
1	Silikonschlauch, 7 x 1,5 mm, 1 m	667 194
1	Gummischlauch, d = 4 mm	604 481
1	Schlauchverbinder	604 510
1	Paar Kabel, 25 cm, rot und blau	501 44
1	Paar Kabel, 100 cm, rot und blau	501 46
1	PC mit Windows XP/Vista/7/8	

Versuchsaufbau (siehe Skizze)

- Kunststoffrohr (ohne Heizkörper) auf den Ständer für Rohre und Spulen legen und so drehen bis sich die beiden Schlaucholiven senkrecht übereinander befinden.
- Lautsprecher so an das Kunststoffrohr heranschieben, dass das Kunststoffrohr möglichst dicht abgeschlossen ist.
- Universalmikrofon ca. 1 cm weit in die mittlere Bohrung des Deckels schieben und so ausrichten, dass es sich beim Verschieben parallel zum Kunststoffrohr bewegt. Funktionsschalter des Universalmikrofons auf Betriebsart "Trigger" stellen und Einschalten nicht vergessen.
- Maßstabschiene direkt unter den Sockel legen.
- Timer-Box auf Eingang A des Sensor-CASSYs stecken und Schaltung gemäß Versuchsskizze herstellen; Spannungsquelle S auf maximale Ausgangsspannung stellen.

Experimentierhinweise

Um einen ungewollten Gasverlust zu vermeiden, das Handrad des Feinregulierventils bis zum Anschlag nach rechts drehen, bevor das Feinregulierventil auf die Druckgasdose geschraubt wird.

Jede Undichtigkeit der Messapparatur führt zum Entweichen des Gases und damit zu einer Verfälschung des Messergebnisses; deswegen den Lautsprecher so nah wie möglich an das Kunststoffrohr schieben.



Zum Einfüllen von Kohlendioxid den Silikonschlauch auf die untere Schlaucholive des Kunststoffrohres stecken. Damit wird ein annähernd vollständiger Gasaustausch erreicht, da beim Einfüllen von Kohlendioxid die leichtere Luft durch die obere Schlaucholive hinausgedrückt wird. Entsprechend ist bei der Messung mit den Edelgasen Helium und Neon umgekehrt zu verfahren: Helium bzw. Neon durch obere Schlaucholive einströmenden lassen, so dass die schwere Luft durch die untere Schlaucholive hinausgedrückt wird.

Für die Messungen mit Helium und Neon ist ferner zu beachten: Da die Messapparatur nicht absolut dicht sein kann, entweicht ein Teil des eingefüllten, sehr leicht flüchtigen Gases. Die Messungen werden durch den so bedingten relativ hohen Luftanteil verfälscht - deshalb die Messungen zügig durchführen.

Versuchsdurchführung

■ Einstellungen laden

Zunächst die effektive Messstrecke s_{eff} bestimmen:

- Universalmikrofon ca. 1 cm in das Kunststoffrohr schieben, Position s_{A1} ablesen und in die erste Tabellenzeile eintragen. Die Laufzeit Δt_{A1} mit  in die Tabelle eintragen. Zur Verbesserung der Messgenauigkeit die Laufzeitmessung mehrmals wiederholen.
- Universalmikrofon ganz in das Kunststoffrohr schieben, Position s_{A2} ablesen und in der nächsten Tabellenzeile eintragen. Die Laufzeit Δt_{A1} mit  in die Tabelle eintragen. Zur Verbesserung der Messgenauigkeit die Laufzeitmessung mehrmals wiederholen.
- Zur Bestimmung der mittleren Laufzeiten t_1 und t_2 [Mittelwert einzeichnen](#) und Schallgeschwindigkeit in Luft bestimmen $c_{\text{Luft}} = \Delta s / \Delta t = (s_{A1} - s_{A2}) / (t_1 - t_2)$.
- Effektive Messstrecke $s_{\text{eff}} = c_{\text{Luft}} \cdot t_1$ bestimmen; dazu in den [Einstellungen seff](#) (rechte Maustaste auf s_{eff}) die ermittelten Laufzeiten t_1 und t_2 in der angegebenen Formel $(s_{A1} - s_{A2}) / (t_1 - t_2) \cdot t_1$ eintragen.

Nun kann die Schallgeschwindigkeit in Kohlendioxid, Helium und Neon direkt gemessen werden:

- Universalmikrofon wieder auf die Position s_{A1} schieben
- Gas in die Schlaucholive einlassen, dazu sehr vorsichtig Feinregulierventil öffnen, bis das Gas hörbar aus der Druckdose strömt.
- Schallgeschwindigkeit abgelesen und in der vorbereiteten Darstellung **Eingabe** in die Tabelle eintragen oder mit Drag & Drop ziehen. Dort auch die Dichte ρ des verwendeten Gases angeben:

Gas	Dichte ρ	Adiabatexponent $\kappa = C_p / C_v$
Kohlendioxid	1,98 kg/m ³	1,29
Stickstoff (Luft)	1,25 kg/m ³	1,40
Neon	0,90 kg/m ³	1,64
Helium	0,18 kg/m ³	1,63

Auswertung

In der vorbereiteten Darstellung **Auswertung** wird der Zusammenhang zwischen c^2 und $1/\rho$ dargestellt. Dort kann man z. B. durch Angabe der Formel $101300 \cdot 1,4 \cdot x$ in der [freien Anpassung](#) die Gerade einzeichnen, die bei normalem Luftdruck $p = 1013 \text{ hPa}$ dem mittleren Adiabatexponenten $\kappa = 1,4$ entspricht.

Abweichungen der Messwerte von dieser Gerade sind insbesondere beim extrem leicht flüchtigen Helium normal, weil dann die tatsächliche Dichte des Gases höher ist.

Die großen Unterschiede in den Schallgeschwindigkeiten von Gasen sind im Wesentlichen durch die unterschiedlichen Dichten ρ der Gase begründet, da die Unterschiede in den Adiabatexponenten C_p / C_v vergleichsweise gering sind.