

Aufbau der Materie: Bestimmung des Adiabatenkoeffizienten

Allgemeine Grundlagen

C_p , C_v , harmonische Schwingungen, Eigenschwingungen, C_p/C_v von Gasen, C_p von Festkörpern, Freiheitsgrade

Grundlagen zum Versuch

Zur Beschreibung adiabatischer Zustandsänderungen benötigt man den Koeffizienten

$$\kappa = C_p/C_v$$

Für ideale Gase gilt $C_p - C_v = n * R$.

Bei idealen einatomigen Gasen erhält man für

$$\kappa = (5/2 * R) / (3/2 * R) = 1,67$$

Bei zweiatomigen Gasen beträgt $\kappa = 1,4$, wenn der Schwingungsanteil nicht berücksichtigt wird.

Bei dreiatomigen Gasen ist κ von der Molekülstruktur abhängig (linear: $\kappa = 1,4$; gewinkelt: $\kappa = 1,33$) und wird bei Erhöhung der Temperatur kleiner. Diese Beobachtung ist auf den steigenden Einfluss des Schwingungsanteils zurückzuführen.

Im Prinzip lässt sich C_p von Gasen mit einer kalorimetrischen Methode (Überström-Verfahren) messen und daraus κ berechnen. Wegen der geringen Dichte eines Gases ist die Genauigkeit jedoch gering. Deshalb wird eine indirekte Methode verwendet, die auf dem Zusammenhang zwischen der Schallgeschwindigkeit v in einem Gas und dem adiabatischen Koeffizienten beruht:

Wie erklärt sich der physikalische Zusammenhang zwischen κ und v ?

$$v = \left(\frac{\kappa * R * T}{M} \right)^{\frac{1}{2}}$$

mit M = Molmasse

M (Luft)	28,96 g* mol^{-1}
M (Argon)	39,95 g* mol^{-1}
M (CO_2)	43,99 g* mol^{-1}

Die obige Gleichung gilt für ideale Gase. Bei realen Gasen mit dem 2. Virialkoeffizienten B erhält man:

$$v = \left(\frac{\kappa * R * T + \kappa * B * P}{M} \right)^{\frac{1}{2}}$$

B (Luft, 20°C)	-13,5*10 ⁻⁶ m ³ *mol ⁻¹
B (Argon, 20°C)	-21,7*10 ⁻⁶ m ³ *mol ⁻¹
B (CO ₂ , 20°C)	-149,7*10 ⁻⁶ m ³ *mol ⁻¹

Die Schallgeschwindigkeit in einem Gas kann durch eine Longitudinalwelle beschrieben werden, für die die Beziehung gilt:

$$v = f * \lambda$$

mit v = Schallgeschwindigkeit, λ = Wellenlänge, f = Frequenz

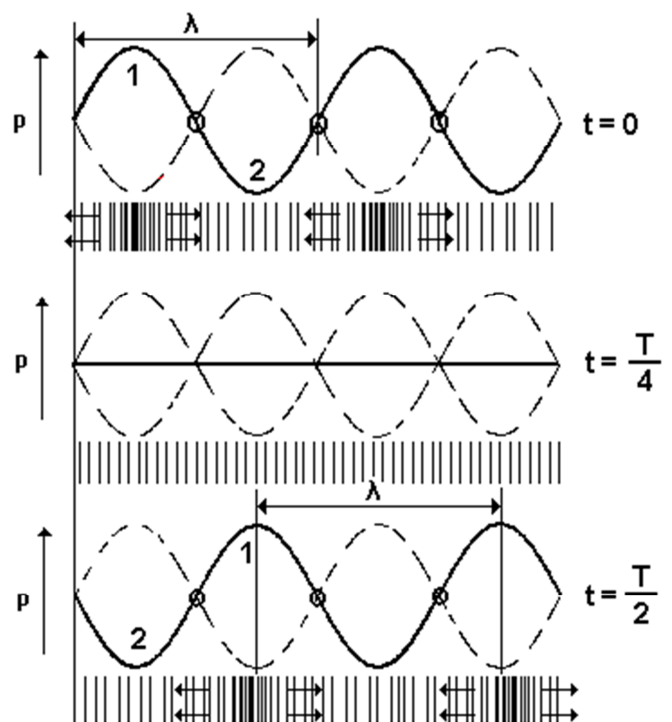
Stehende Schallwelle in Gasen:

An den Knotenpunkten (o) bleibt der Druck konstant (ist gleich dem Umgebungsdruck).

An den Druckbäuchen entsteht abwechselnd ein Druckmaximum (1) und -minimum (2).

Das Messgerät zeigt an den Punkten 1 und 2 jeweils ein Maximum und an den Knoten o ein Minimum an. Der Abstand zwischen 2 Druckbäuchen sowie Druckknoten beträgt jeweils eine halbe Wellenlänge.

Durch Messung der Wellenlänge des Schalls bei gegebener Frequenz ist die Schallgeschwindigkeit v und somit der Adiabatenkoeffizient κ bestimmbar. Unter Verwendung von C_p – C_v = n * R können C_p und C_v ebenfalls bestimmt werden.



Messmethode

In einem Glasrohr werden mithilfe eines im Rohr eingebauten Schallsenders Schallwellen erzeugt, deren Intensität mit einem Mikrophon gemessen werden kann. Eine entstehende Schallwelle bildet sich nun gerade dann aus, wenn die Entfernung L zwischen Mikrophon und Sender $L = 1/2 \lambda * n$ (mit n 0, 1, 2, 3 ...) beträgt.

Für diesen Fall ist ein Maximum der Schallintensität zu beobachten. Bei Veränderung von l (durch Verschieben des Mikrophons im Rohr) erhält man bei konstanter Frequenz demnach mehrere Maxima, die jeweils im Abstand $1/2 \lambda$ auftreten. Hierdurch lässt sich bei bekannter Schallfrequenz f die Schallgeschwindigkeit v und damit der Adiabatenkoeffizient κ bzw. die molare Wärmekapazität bestimmen.

Aufgabenstellungen

Es ist der Adiabatenkoeffizient κ von Luft, Argon und CO_2 zu bestimmen.

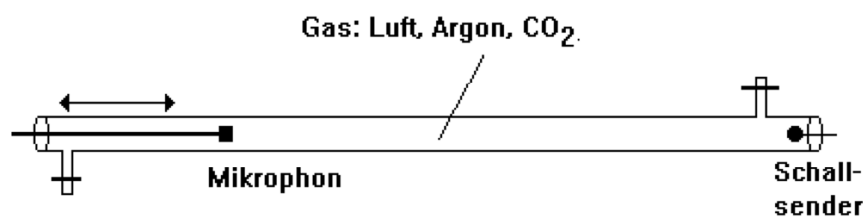
Versuchsdurchführung

Nach dem Einschalten des Generators und des Verstärkers kann mit der Messung begonnen werden. An dem Generator können die zur Messung geeigneten Frequenzen eingestellt werden. Sie messen λ bei 10 verschiedenen Frequenzen von 800 Hz bis 2000 Hz.

Durch Verschieben des Mikrophons im Glasrohr werden die Intensitätsmaxima oder -minima festgestellt. Sie werden mit einem analogen Multimeter erfasst. Notieren Sie jeweils die Lage der Intensitätsmaxima oder -minima (Position des Mikrophons an einer Messskala abzulesen).

Der Abstand zwischen jeweils zwei aufeinanderfolgenden Maxima entspricht $\lambda/2$. Es können auch die Minima zur Auswertung benutzt werden. Der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Minima ist ebenfalls $\lambda/2$.

Nehmen Sie pro Frequenz so viele Werte auf, dass sie 5 Wellenlängen ausrechnen



können – mindestens jedoch 3, falls (frequenzabhängig) nicht mehr möglich sind. (Nutzen Sie nicht die Differenz zwischen einem Maximum und einem Minimum.)

v [1/s]		L1 [cm]	L2 [cm]	L3 [cm]	L4 [cm]
800	Min				
	Max				
920	Min				
	Max				

Versuchsauswertung

1. Berechnen Sie für die verschiedenen Frequenzen jeweils die Werte des Adiabatenkoeffizienten κ (ideal und real) mithilfe der Formeln:

a) ideal: $v = f * \lambda$ und $v = \left(\frac{\kappa * R * T}{M}\right)^{\frac{1}{2}}$

b) real: $v = f * \lambda$ und $v = \left(\frac{\kappa * R * T + \kappa * B * P}{M}\right)^{\frac{1}{2}}$

v [1/s]		ΔL_1 [cm]	...	ΔL_{mittel} [cm]	λ [cm]	v in [m/s]	κ (ideal)	κ (real)
800	Min							
	Max							

2. Die Genauigkeit der ermittelten Werte für κ (ideal) bzw. κ (real) ist anhand einer Fehlerrechnung (Mittelwert und Standardabweichung der berechneten κ für Luft, Argon und CO₂) zu überprüfen:

$$\kappa = \bar{\kappa} \pm \Delta\kappa$$

Da zur Bestimmung der Messgröße κ Messreihen mit $n \geq 10$ aufgenommen wurden, können die systematischen Fehler gegenüber den zufälligen Fehlern vernachlässigt werden und die Standardabweichung als Messunsicherheit $\Delta\kappa$ für den Mittelwert $\bar{\kappa}$ wie folgt bestimmt werden:

$$\Delta\kappa = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{\kappa} - \kappa_i)^2}{n(n-1)}}$$

3. Vergleichen Sie Ihre ermittelten κ -Werte (ideal und real)
 - a) mit den theoretischen Werten (Modell – siehe Seite 1)
 - b) mit (experimentellen) Literaturwerten
 und interpretieren Sie die Ergebnisse.
4. Laden Sie Ihre Excel-Tabelle bei *Moodle* → *Physikalische Chemie Fortgeschrittenenpraktikum* hoch.

Zubehör

- Apparatur zur Bestimmung der Wellenlänge von Schallwellen (Glasrohr mit verschiebbarem Mikrophon und Lautsprecher)
- Multimeter zur Frequenzmessung
- Multimeter zur Messung des Mikrophon-Ausgangs
- Frequenzgenerator
- Verstärker
- Messschnüre
- Schlauch (ca. 7m , d=8mm)
- Pressluft
- Argon
- Kohlenstoffdioxid