University of Applied Sciences HOCHSCHULE EMDEN·LEER	Physikalische Chemie Praktikum	Vers. Nr. 8 Mai 2023
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

$$\kappa = \frac{5}{2} \cdot R \Big/ \frac{3}{2} \cdot R = \frac{5}{3} = 1{,}67$$

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 ν in einem Gas und dem adiabatischen Koeffizienten beruht:

Wie erklärt sich der physikalische Zusammenhang zwischen κ und ν?

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

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:

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

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)	$-149{,}7*10^{-6}\ m^3*mol^{-1}$

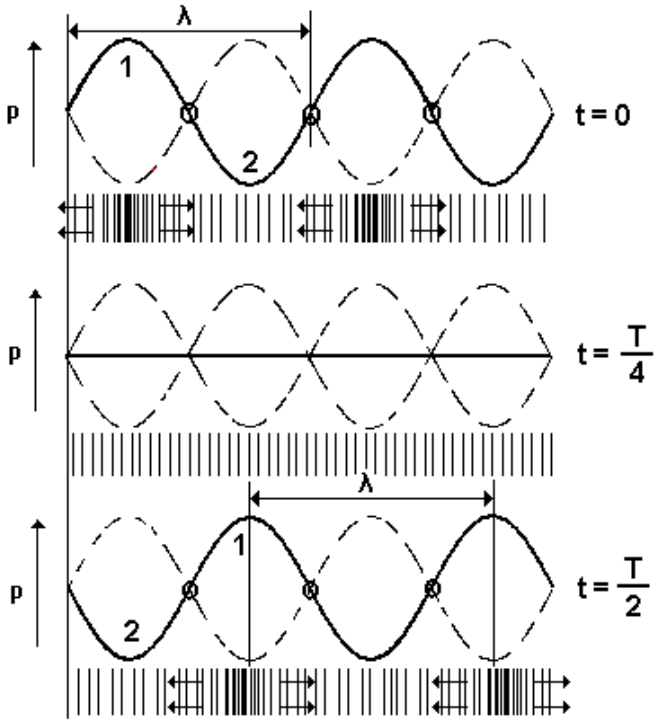
Die Schallgeschwindigkeit in einem Gas kann durch eine Longitudinalwelle beschrieben werden, für die die Beziehung gilt:

$$\nu = f * \lambda$$

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

<u>Stehende Schallwelle in Gasen:</u>

An den Knotenpunkten (o) bleibt der Druck konstant (ist gleich dem Umgebungsdruck). An den Druckbäuchen entsteht ab-wechselnd 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 ν und somit der Adiabatenkoeffizeint κ bestimmbar. Unter Verwendung von $C_p - C_v = n * R$ können C_p und C_v ebenfalls bestimmt werden.



Messmethode

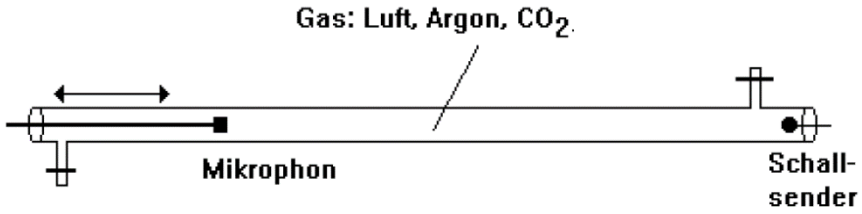
In einem Glasrohr werden mithilfe eines im Rohr eingebauten Schallsenders Schallwellen erzeugt, deren Intensität mit einem Mikrophon gemessen werden kann. Eine entstehende Schallwelle bildet sich nun gerade dann aus, wenn die Entfernung L zwischen Mikrophon und Sender $L = 1/2\ \lambda * n$ (mit n 0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

Der Versuchsaufbau sieht wie folgt aus:
Nach dem Einschalten des Frequenzgenerators und des Verstärkers kann mit der Messung begonnen werden. An dem Generator können die zur Messung geeigneten Frequenzen



eingestellt werden. Sie bestimmen die Lage der Intensitätsminima und -maxima einer stehenden Schallwelle im Glasrohr bei 10 verschiedenen Frequenzen von 800 Hz bis 2000 Hz. Aus technischen Gründen messen sie bitte z.Z. nur Frequenzen **> 1200 Hz** und bis zu 2300 Hz.

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

Der Abstand zwischen jeweils zwei aufeinanderfolgenden Maxima entspricht ½ · λ. Es können auch die Minima zur Auswertung benutzt werden. Der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Minima ist ebenfalls ½ · λ. Aus diesen lässt sich die Wellenlänge λ der stehenden Schallwelle bestimmen.

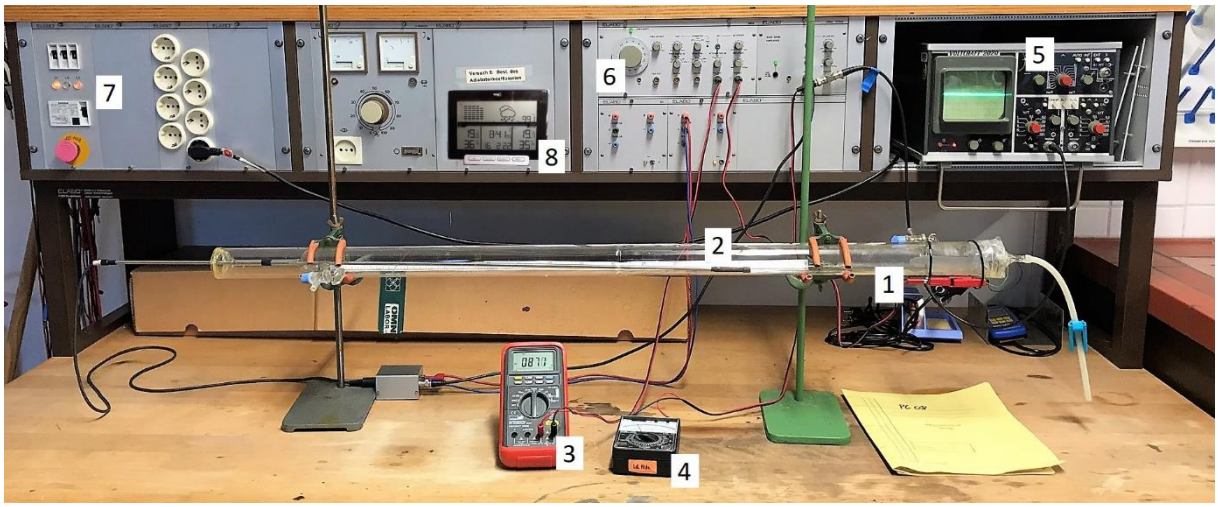
Nehmen Sie pro Frequenz so viele Werte auf, dass Sie 5 Wellenlängen ausrechnen können – mindestens jedoch 3, falls (frequenzabhängig) nicht mehr möglich sind. (Nutzen Sie nicht die Differenz zwischen einem Maximum und einem Minimum.)

Nutzen Sie folgenden Tabellenaufbau, um die Werte (Lage der Intensitätsminima und Intensitätsmaxima L1, L2, ... pro Frequenz v) zu notieren:

v [1/s]		L1 [cm]	L2 [cm]	L3 [cm]	L4 [cm]
1200	Min				
	Max				
1293	Min				
	Max				

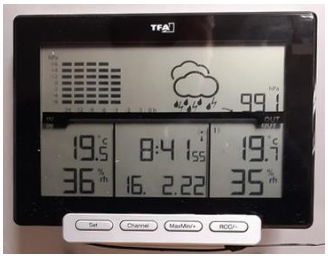
Raumtemperatur T und Luftdruck p am Versuchstag sind zu notieren.

Hier ist der Versuch im Gesamten dargestellt:



1 Glasrohr, 2 Mikrophon an verschiebbaren Stab mit Messskala im Hintergrund, 3 Multimeter zur Frequenzmessung, 4 Multimeter zur Messung des Mikrophon-Ausgangs, 5 Oszilloskop
6 Frequenzgenerator, 7 Stromversorgung, 8 Thermometer und Manometer

Das Anschalten (und auch Abschalten nach Beendigung des Versuches) der Werkbank erfolgt links über den Schalter (rechts):



Raumtemperatur und der Luftdruck am Versuchstag sind zu notieren (links).

Spülen mit Gas

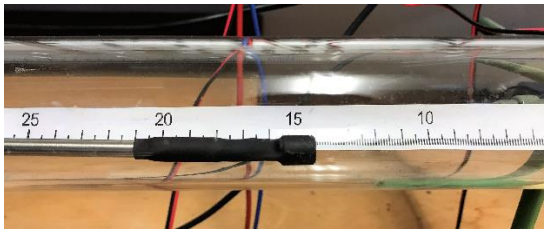
Vor einer Messreihe wird die Apparatur mittels eines Schlauches mit dem jeweiligen Gas (Druckluft, Kohlenstoffdioxid bzw. Argon) gespült und befüllt. Es ist darauf zu achten, dass alle drei Hähne für den Spülvorgang geöffnet sind (gelbe Markierung).
Zur Beendigung des Spülvorgangs wird zunächst der blaue Hahn auf der rechten Seite geschlossen. Das Abstellen des Gaszustroms über den Schlauch und das Schließen der beiden Glashähne erfolgt zeitgleich. Während der Messungen müssen alle drei Hähne geschlossen bleiben.

Einstellen der Frequenzen

Die Frequenzen werden am Frequenzgenerator eingestellt und die genaue Frequenz am Multimeter abgelesen und notiert. Die am Frequenzgenerator eingestellte Frequenz bestimmt die Frequenz der Schallwelle, die auf der rechten Seite des Rohres über den Schallsender ausgesendet wird.
Durch Verschieben des Stabes, an deren Spitze das Mikrophon befestigt ist, wird nun die Messskala abgerastert und die Lage aufeinanderfolgende Minima und Maxima der stehenden Schallwelle festgestellt.

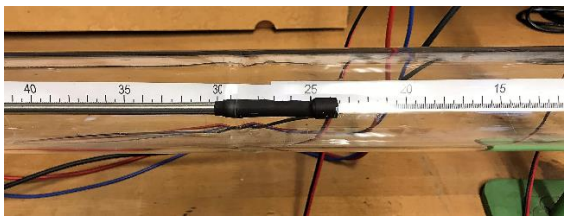
Identifizierung von Min/Max und Knotenpunkten der Schallwelle

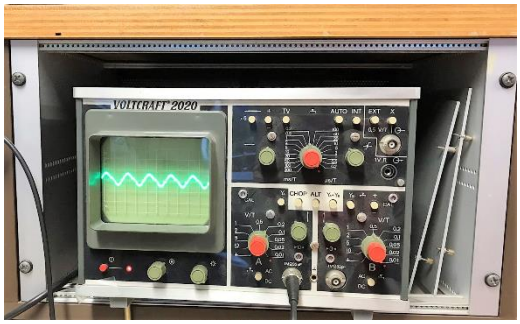
Folgend sehen sie nun die Identifikation eines Minimums (Knotenpunkt der Schallwelle) samt der Darstellung des Minimums am Oszilloskop:



Notiert wird hier die Lage des Minimums, hier bei etwa 14,0 cm.

Und daran anschließend die Identifikation des darauffolgenden Maximums (bezüglich Schallwelle Maximum/Minimum) samt der Darstellung des Maximums am Oszilloskop:





Notiert wird die Lage des Maximums, hier etwa bei 23,5 cm.

Parallel zur Identifizierung über das Oszilloskop können und sollten die Minima (Knotenpunkte der Schallwelle) und Maxima (bezüglich Schallwelle Maximum/Minimum) auch am analogen Multimeter identifiziert werden. Nutzen sie bitte beide Möglichkeiten parallel. Nach den entsprechenden Einstellungen liegt ein Minimum im unteren Bereich der Skala und ein Maximum (links) im oberen Bereich (rechts).

Der Ausgang wird so eingestellt, dass der maximale Zeigerausschlag im rechten Bereich der Analoganzeige und der minimale Zeigerausschlag im linken Bereich der Analoganzeige des Multimeters sind. Der Zeiger darf beim Verschieben des Mikrophonstabs nicht aus dem Messbereich rausgehen. Der Ausschlag zwischen Min. und Max. sollte aber auch nicht zu kein sein. Die Breite des Zeigerausschlags kann mit AMPLITUDE und Lage mit DC OFFSET (siehe Bild rechts) für die verschiedenen Frequenzen neu angepasst werden. Außerdem kann durch Wahl des Messbereichs am Analogmultimeter (V~ auf 1,5 V oder 5 V) noch angepasst werden.

Je 10 Frequenzen bei 3 Gasen

Es sind pro Gas 10 Frequenzen zwischen 800 und 2000 Hz zu untersuchen und pro Frequenz ausreichend Punkte aufzunehmen, um mind. fünf Wellenlängen aus den Werten berechnen zu können (d.h. z.B. 3 benachbarte Minima und 4 benachbarte Maxima oder umgekehrt).

Nach Aufnahme aller nötigen Werte wird analog für die beiden weiteren Gase verfahren.

Versuchsauswertung

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

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

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

ν [1/s]		ΔL1 [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 CO_2) 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 und Protokoll in *Moodle* 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