

Messung des Adiabatenexponenten

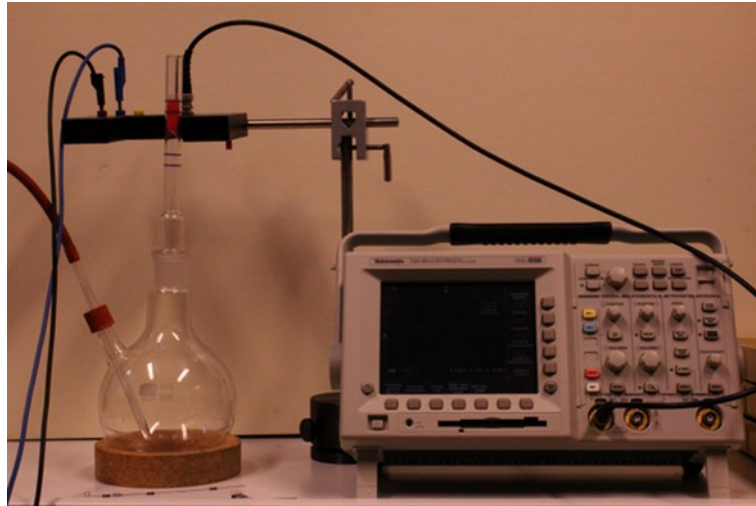


Abb. 1: Versuchsaufbau

Zubehör:

Druckluftversorgung (ggf. Gasflasche mit CO_2 oder Ar) und Gasversorgung (hoher Prozentsatz an Methan) über ein Nadelventil, Rundkolben mit seitigem Anschluss, Rohrzylinder mit Schlitz und entsprechendem Schwinger, Fotozelle, Oszilloskop oder Stoppuhr

Beschreibung:

Der Aufbau besteht aus einem Kolben mit einem Rohransatz auf dem ein Glasrohr mit zylindrischem Schwinger aufgesteckt ist. Zunächst wird ein schwacher Gasstrom eingestellt und der ganze Aufbau schräg ausgerichtet. Der Schwinger wird in das Rohr gesteckt und der Gasstrom so angepasst, dass sich bei senkrechtem Aufbau des Rohres eine Oszillation einstellt.

Über einen kleinen seitlichen Schlitz in dem Kolben kann Gas entweichen. Die Periodendauer der Schwingerbewegung wird mit Hilfe einer Fotozelle und einem Zeitnehmer (Stoppuhr, Oszilloskop) gemessen.

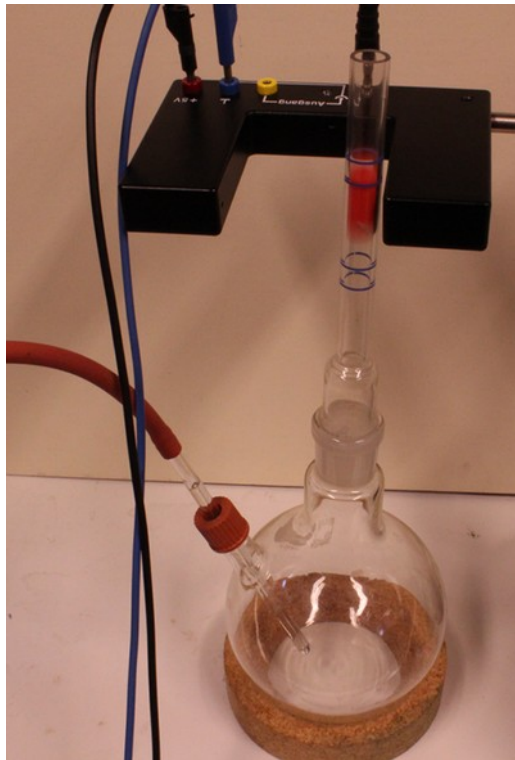


Abb. 2: Rundkolben mit Schwingeraufsatz und Fotozelle.

Bemerkungen:

Der Schwinger gleitet in dem Aufsatz sauber hin und her, er ist separat auf diese Vorrichtung angepasst. Bitte nur mit Handschuh berühren. Wenn die Schwingung störungsfrei verläuft zeigt sich folgendes Oszilloskopbild:

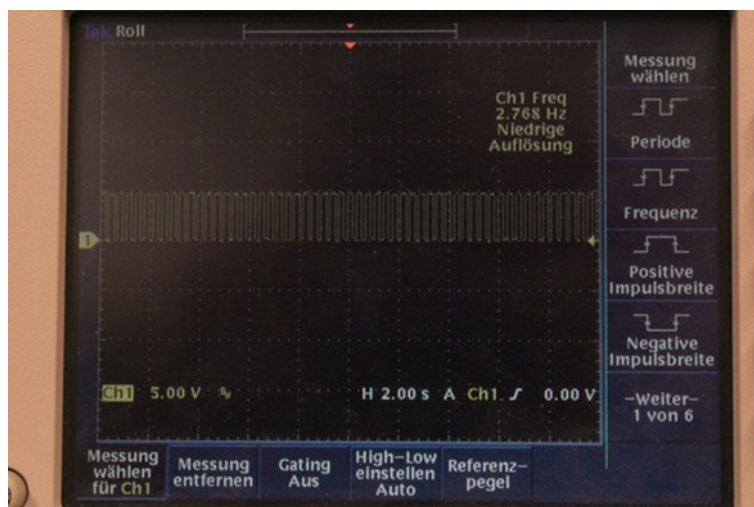


Abb. 3: Oszilloskopbild der Frequenzmessung mit der Lichtschranke.

Für CO_2 wurde eine Frequenz von $2,777 \text{ Hz}$ gemessen, für Luft $2,943 \text{ Hz}$ und für das „Erdgas“ aus der lokalen Versorgungsleitung ($> 90\%$ Methan) $2,842 \text{ Hz}$.

Der Adiabatenexponent (manchmal auch Adiabatenindex) $\kappa = \frac{C_p}{C_v}$ ist der Quotient der Wärmekapazitäten eines Gases bei konstantem Druck C_p und bei konstantem Volumen C_v . Bei adiabatischen Vorgängen wird „keine“ Energie mit der Umgebung ausgetauscht. Beschreibungen auf dieser Grundlage beziehen sich auf Prozesse die auf kleineren Zeitskalen stattfinden als der Temperatenausgleich mit der Umgebung. Beispiele sind Schallwellen oder einige Prozesse in der Atmosphäre, die in Beschreibungen atmosphärischer Luftbewegungen eine Rolle spielen. Auch manche Expansionen von Gasen in Kolbenanordnungen zählen dazu (Wärme­kraft­ma­schinen). Eine Messung von κ kann durch Bestimmung von C_p und C_v erfolgen oder direkt mit der hier vorgestellten Methode. Sie geht auf Rüchardt zurück.

Wird in dem Rohr­zylinder mit einem eige­schlos­se­nem Gasvolumen V ein Schwinger fallengelassen, wird das Gas darin adiabatisch komprimiert und expandiert. Die Schwingung ist dabei stark gedämpft und wird in dieser Versuchsanordnung sozusagen durch einen Trick aufrechterhalten. Das Fallenlassen wird periodisch wiederholt und die so ausgeführte Schwingbewegung passiert mit einer den Eigenschaften des Gases entsprechenden Periodendauer T .

Die Gleichgewichtsbedingung für den Schwinger berechnet sich über die Drücke im Gas, dem Luftdruck und dem Schweredruck des Schwingers.

Die Masse des Schwingers beträgt $m = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$, seine Fläche (Radius $r = 5,945 \cdot 10^{-3} \text{ m}$) $A = \pi \cdot r^2 = 1,11 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ und bei Normaldruck von $p_0 = 1013,25 \text{ hPa}$ folgt für den Gleichgewichtsdruck

$$p = p_0 + \frac{m \cdot g}{A}.$$

Eine kleine Druckänderung dp durch die Bewegung des Schwingers dx lässt sich mit $p = \frac{F}{A}$ schreiben als

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = A dp$$

Ein solcher Vorgang wird als adiabatisch betrachtet und somit kann die Poisson'sche Gleichung (Adiabatengleichung) $pV^\kappa = \text{const.}$ verwendet werden. Ableiten liefert

$$\frac{dp}{dV} = -\kappa \frac{p}{V}$$

und kann in die vorige Gleichung eingesetzt werden. Dafür wird zusätzlich die Volumenänderung dV als Bewegung x der Kreisscheibe mit Radius des Schwingers r ausgeschrieben:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -\pi^2 r^4 \kappa \frac{p}{V} x \quad \text{oder} \quad \ddot{x} + \frac{\pi^2 r^4 \kappa p}{m V} x = 0$$

Der Vergleich mit der Gleichung eines harmonischen Oszillators identifiziert die Frequenz

$\omega = \sqrt{\frac{\pi^2 r^4 \kappa p}{m V}}$ oder die Periodendauer $T = \sqrt{\frac{4 m V}{r^4 \kappa p}}$. Da alle Größen bekannt sind, kann über die Messung von T

$$\kappa = \frac{4 m V}{T^2 r^4 p}$$

erhalten werden. Das Volumen des Kolbens beträgt: $V = 1,1467 \cdot 10^{-3}$.

Die unterhalb von Abb. 3 gegebenen Frequenzen führen zu den in der Vorlesung messbaren Adiabatenexponenten.

- Luft: $\kappa_L = 1,43$ (1,40)
- Kohlendioxid $\kappa_K = 1,28$ (1,29)
- Methan (Erdgas) $\kappa_M = 1,34$ (1,31)

In Klammern sind die Literaturwerte bei 20 °C gegeben.