

Der Adiabatenexponent von Luft

BESTIMMUNG DES ADIABATENEXPONENTEN C_p/C_v VON LUFT NACH RÜCHARDT.

- Messung der Schwingungsdauer des Aluminiumkolbens.
- Bestimmung des Gleichgewichtsdrucks im eingeschlossenen Luftvolumen.
- Bestimmung des Adiabatenexponenten von Luft und Vergleich mit dem Literaturwert.

UE2040200

03/15 UD

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

In einer klassischen Anordnung nach Rüchardt lässt sich der Adiabatenexponent von Luft aus den vertikalen Schwingungen eines Kolbens bestimmen, der in einem Rohr mit konstantem Querschnitt auf einem Luftvolumen ruht und dieses nach oben abschließt. Eine Auslenkung des Kolbens aus der Ruhelage erzeugt einen Über- oder Unterdruck im Luftvolumen, der den Kolben in seine Ruhelage zurücktreibt. Die zurücktreibende Kraft ist proportional zur Auslenkung aus der Ruhelage; der Kolben schwingt daher harmonisch.

Da kein Wärmeaustausch mit der Umgebung stattfindet, sind die Schwingungen mit adiabatischen Zustandsänderungen verbunden. Zwischen dem Druck p und dem Volumen V der eingeschlossenen Luft besteht der Zusammenhang

$$(1) \quad p \cdot V^\gamma = \text{const.}$$

Der Adiabatenexponent γ ist dabei das Verhältnis der spezifischen Wärmekapazitäten bei konstantem Druck C_p und bei konstantem Volumen C_v :

$$(2) \quad \gamma = \frac{C_p}{C_v}.$$

Aus (1) folgt für die Druck- und Volumenänderungen Δp und ΔV

$$(3) \quad \Delta p + \gamma \cdot \frac{p}{V} \cdot \Delta V = 0.$$

Durch Einsetzen der Innenquerschnittsfläche A des Rohres lässt sich aus der Druckänderung die zurücktreibende Kraft ΔF und aus der Volumenänderung die Auslenkung Δs des Kolbens aus der Ruhelage berechnen.

Somit ergibt sich

$$(4) \quad \Delta F = -\gamma \cdot \frac{p}{V} \cdot A^2 \cdot \Delta s = 0$$

und schließlich als Bewegungsgleichung für den schwingenden Kolben

$$(5) \quad m \cdot \frac{d^2 \Delta s}{dt^2} + \gamma \cdot \frac{p}{V} \cdot A^2 \cdot \Delta s = 0.$$

m : Masse des Kolbens

Die Lösungen dieser klassischen Bewegungsgleichung eines harmonischen Oszillators sind Schwingungen mit der Schwingungsdauer

$$(6) \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{\gamma} \cdot \frac{V}{p} \cdot \frac{m}{A^2}},$$

aus der sich der Adiabatenkoeffizient berechnen lässt, wenn die übrigen Größen bekannt sind.

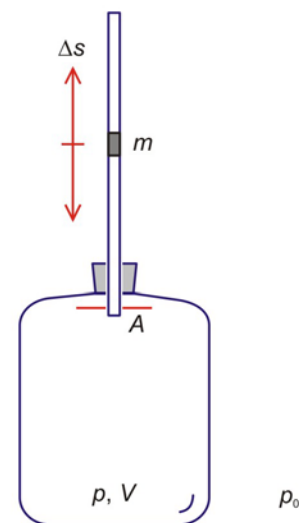


Fig. 1: Schematische Darstellung der Messanordnung.

Im Experiment setzt man ein Präzisionsglasrohr mit kleinem Querschnitt A senkrecht in den durchbohrten Gummistopfen einer Glasflasche mit großem Volumen V und lässt als Kolben einen passenden Aluminiumzylinder bekannter Masse m in das Glasrohr gleiten. Der Aluminiumzylinder führt harmonische Schwingungen auf dem durch das abgeschlossene Luftvolumen gebildeten Luftpolster aus. Aus der Schwingungsdauer des Aluminiumzylinders lässt sich der Adiabate-nexponent errechnen.



Fig. 2: Messanordnung.

GERÄTELISTE

1	Mariotte'sche Flasche	1002894
1	Schwingungsröhre	1002895
1	Mechanische Stoppuhr, 15 min	1003369
1	Hand-Vakuumpumpe	1012856

Zusätzlich empfohlen zur Messung von äußerem Luftdruck, Innendurchmesser der Schwingungsröhre und Masse des Aluminiumzylinders:

1	Aneroid-Barometer F	1010232
1	Messschieber, 150 mm	1002601
1	Elektronische Waage 200 g	1003433

DURCHFÜHRUNG

- Luftdruck, Innendurchmesser der Schwingungsröhre, Masse des Aluminiumzylinders und Volumen der Mariotte'schen Flasche bestimmen.
- Einen der beiden konischen Gummistopfen der Schwingungsröhre mit dem größeren Durchmesser voran in die konische Öffnung des Gummistopfens der Mariotte'schen Flasche einführen und leicht andrücken. Dadurch wird verhindert, dass der Aluminiumzylinder in die Flasche fällt.
- Die Mariotte'sche Flasche sollte zusätzlich mit einer Gummimatte oder ähnlichem ausgelegt sein, um eine Beschädigung sowohl der Flasche als auch des Aluminiumzylinders zu verhindern, wenn der Aluminiumzylinder dennoch in die Flasche fallen sollte.
- Schwingungsröhre auf die Mariotte'sche Flasche aufsetzen, senkrecht ausrichten, ggf. an einem Stativ befestigen.
- Eine Öffnung des langen Schlauchs (850 mm, 6,5 mm Innendurchmesser) aus dem Lieferumfang der Hand-Vakuumpumpe an den 3-Wege-Hahn der Mariotte'schen Flasche anschließen. Den 3-Wege-Hahn schließen.
- Den Aluminiumzylinder mit einem fusselfreiem Tuch und etwas Waschbenzin säubern und bei geschlossenem 3-Wege-Hahn nicht verkantet in die Schwingungsröhre einführen und fallen lassen. Den Aluminiumzylinder nur am Handgriff anfassen, um Verunreinigungen zu vermeiden.
- Mit der mechanischen Stoppuhr die Zeit für fünf Schwingungen messen. Die Zeitmessung starten, wenn der Aluminiumzylinder zum ersten Mal abgebremst wird und sich an der tiefsten Stelle befindet. Zeitmessung stoppen, wenn der Aluminiumzylinder zum sechsten Mal am tiefsten Punkt angekommen ist.
- Den 3-Wege-Hahn vorsichtig öffnen, so dass der Aluminiumzylinder langsam auf den Gummistopfen am Boden der Schwingungsröhre gleiten kann.
- Die Hand-Vakuumpumpe über den Schlauch am 3-Wege-Hahn an die Mariotte'sche Flasche anschließen. Den Aluminiumzylinder bei geöffnetem Hahn in der Schwingungsröhre hochpumpen und entnehmen. Darauf achten, dass der Aluminiumzylinder nicht herausfällt und beschädigt wird.
- Den Aluminiumzylinder ganz aus der Schwingungsröhre entnehmen und so den herrschenden Luftdruck im System wieder herstellen. Den 3-Wege-Hahn wieder schließen und die Hand-Vakuumpumpe vom Schlauch trennen.
- Neun weitere Messungen durchführen.

Wichtiger Hinweis: Die Qualität der Messungen hängt stark von folgenden Bedingungen ab:

- Die Schwingungsröhre muss extrem sauber sein. Schwingungsröhre ggf. mit Seidenpapier reinigen.
- Der Aluminiumzylinder muss ebenfalls extrem sauber sein. Schon geringste Verunreinigungen wie Hautfettablagerungen führen zu starker Reibung. Den Aluminiumzylinder deshalb vor jeder Messung mit einem fusselfreiem Tuch und etwas Waschbenzin säubern.

- Geringste Verformungen des Aluminiumzylinders (z.B. verursacht durch Fallenlassen) führen zu Beeinträchtigungen bei der Messung.
- Die Schwingungsröhre muss senkrecht ausgerichtet sein.
- Alle Gummistopfen müssen luftdicht sein.
- Die Zeitmessung muss sorgfältig durchgeführt werden, da die Schwingungsdauer quadratisch in die Messgleichung (8) eingeht (siehe Messbeispiel und Auswertung).
- Der Innendurchmesser der Schwingungsröhre muss sehr genau gemessen werden, weil der Radius über die Innenquerschnittsfläche A in vierter Potenz in die Messgleichung (8) eingeht.

MESSBEISPIEL UND AUSWERTUNG

Äußerer Luftdruck p_0 :	1018 mbar
Innendurchmesser d der Schwingungsröhre:	16 mm
Masse m des Aluminiumzylinders:	15,2 g
Volumen V_0 der Mariotte'schen Flasche:	10400 cm ³

Dauer T_5 für 5 Schwingungsperioden (10 Messungen):

5,172 s	5,276 s	5,259 s	5,224 s	5,305 s
5,175 s	5,231 s	5,241 s	5,191 s	5,175 s

Mittelwert der Dauer T_5 aus 10 Messungen:	5,225 s
Schwingungsdauer T :	1,045 s

Der Gleichgewichtsdruck p ergibt sich aus dem äußeren Luftdruck p_0 und dem Druck, den der ruhende Aluminiumzylinder auf die eingeschlossene Luft ausübt:

$$(7) \quad p = p_0 + \frac{m \cdot g}{A}, \quad g: \text{ Fallbeschleunigung.}$$

Das Gleichgewichtsvolumen V entspricht dem Volumen V_0 der Mariotte'schen Flasche, da das Volumen der Schwingungsröhre vernachlässigt werden kann.

Für die Bestimmung des Adiabatenexponenten folgt aus (6):

$$(8) \quad \gamma = \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \cdot \frac{m}{A^2} \cdot \frac{V}{p} = 1,39.$$

Der gemessene Wert entspricht sehr gut dem theoretischen Wert $\gamma = 7/5 = 1,4$ für ein zweiatomiges Molekül mit 3 Translations- und 2 Rotationsfreiheitsgraden.

