

VERSUCHSBERICHT ZU

W2 - ADIABATENEXPONENT  $c_p/c_v$  VON  
GASEN

Gruppe 14Mo

Alexander Neuwirth (E-Mail: a\_neuw01@wwu.de)  
Leonhard Segger (E-Mail: l\_segg03@uni-muenster.de)

durchgeführt am 28.05.2018  
betreut von  
Pascal Grenz

3. Juni 2018

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Methoden</b>	<b>3</b>
2.1	Rüchardt-Flammersfeld . . . . .	3
2.2	Clément-Desormes . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>4</b>
3.1	Beobachtungen und Datenanalyse . . . . .	4
3.1.1	Unsicherheiten . . . . .	4
3.1.2	Bestimmung von $\kappa$ nach Rüchardt-Flammersfeld . . . . .	5
3.1.3	Bestimmung von $\kappa$ nach Clément-Desormes . . . . .	6
3.2	Diskussion . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Schlussfolgerung</b>	<b>8</b>

# 1 Kurzfassung

## 2 Methoden

Es wurden zwei verschiedene Experimente zur Bestimmung des Adiabatenexponenten durchgeführt:

### 2.1 Rüchardt-Flammersfeld

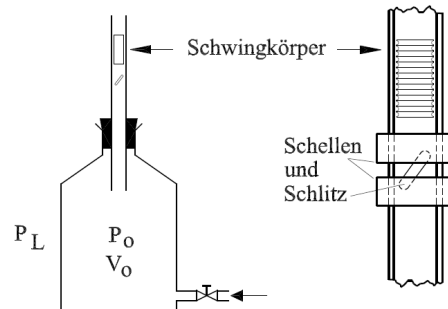


Abbildung 1: Experiment nach Rüchardt und Flammersfeld. [1]

Das Experiment wurde wie in Abb. 1 aufgebaut. Ein Gasstrom strömte in eine Flasche, auf die ein Glasrohr aufgesetzt war. Dieses Glasrohr war mit einem Schlitz versehen, dessen wirksame Lochgröße durch zwei verschiebbare Schellen begrenzt wurde. Nun wurde ein Schwingkörper in das Glasrohr gebracht und der Gasstrom so eingestellt, dass der Schwingkörper eine symmetrische Schwingung um das Loch ausführt. Für die Gase Luft, Argon und Kohlenstoffdioxid wurde die Zeit für je 100 Schwingungen und sechs verschiedene Abstände der Schellen gemessen. Zwischen dem Wechseln des Gases wurde das Glasrohr und der Schwingkörper mit einem Lederlappen gereinigt, um Abweichungen durch elektrische Ladungen zu minimieren. Außerdem wurde die Masse des Schwingkörpers bestimmt.

## 2.2 Clément-Desormes

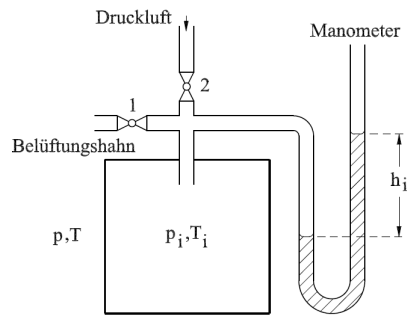


Abbildung 2: Experiment nach Clément und Desormes. [1]

Das Experiment wurde gemäß Abb. 2 aufgebaut, wobei das Gasgefäß durch eine Plastiktonne realisiert wurde. Das Manometer war mit einer gefärbten Flüssigkeit gefüllt und die Druckluft durch einen Handblasebalg zugeführt. Belüftungshahn 1 wurde geschlossen und Druckluft durch den geöffneten Hahn 2 zugeführt. Dann wurde dieser auch geschlossen und gewartet, bis sich der Stand des Manometers nicht mehr änderte. Sobald dies der Fall war, wurde dieser gemessen und dann der Belüftungshahn so kurz geöffnet, dass der Druckausgleich mit der Umgebung gerade möglich war. Erneut wurde gewartet, bis sich das Manometer nicht mehr änderte und dann dieses abgelesen. Dies wurde fünf mal durchgeführt.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Beobachtungen und Datenanalyse

#### 3.1.1 Unsicherheiten

Die Unsicherheiten wurden gemäß GUM ermittelt. Außerdem wurde für Unsicherheitsrechnungen die Python Bibliothek „uncertainties“ verwendet.

**Waage:** Die Waage zeigt das Gewicht mit einer Nachkommastelle an, woraus eine Unsicherheit von 0,03 g folgt (rechteckige WDF).

**Stoppuhr:** Die Zeit wurde in Sekunden mit zwei Nachkommastellen gemessen. Folglich beträgt die Unsicherheit 0,003 s (rechteckige WDF), jedoch hat die Reaktionszeit einen größeren Einfluss, weshalb eine Unsicherheit von 0,1 s angenommen wird.

**Messschieber:** Die Unsicherheit des Messschiebers wurde auf 0,06 mm abgeschätzt (dreieckige WDF).

**Maßstäbe:** Analoge Messung zum Messschieber, wobei die Unsicherheit 0,04 cm beträgt.

**Schwingungszählung:** Beim Zählen der 100 Schwingungen wird von maximal einer Schwingung zu viel bzw. zu wenig ausgegangen, sodass die Unsicherheit 0,6 beträgt (rechteckige WDF).

**Luftdruck:** Der Umgebungsdruck wurde anhand eines Barometers mit einer Unsicherheit von 0,4 kPa ermittelt.

**Glasflasche:** Auf der Glasflasche war keine Unsicherheit angegeben. Außerdem war unklar, ob das Volumen des Stöpsels, der die Flasche mit dem Glasrohr verbunden hat, mit in die Angabe von  $5450 \text{ cm}^3$  eingegangen ist. Deshalb wurde die Unsicherheit des Volumens mit  $30 \text{ cm}^3$  abgeschätzt.

### 3.1.2 Bestimmung von $\kappa$ nach Rüchardt-Flammersfeld

Es wurde, wie in Abschnitt 2 beschrieben, die Zeit für 100 Schwingungen bei unterschiedlichen Abständen der Schellen gemessen. In Abb. 3 sind die Schwingdauern von Luft, Argon und Kohlenstoffdioxid gegen den Abstand der Schellen aufgetragen. Es wurde ein linearer York-Fit verwendet, da dieser auch die X-Fehler berücksichtigt. Aus den Y-Achsenabschnitten der Fit-Funktionen lassen sich die Schwingdauern für einen auf Null extrapolierten Wert des Schellenabstands bestimmen. Diese sind in Tabelle 1 aufgeführt.

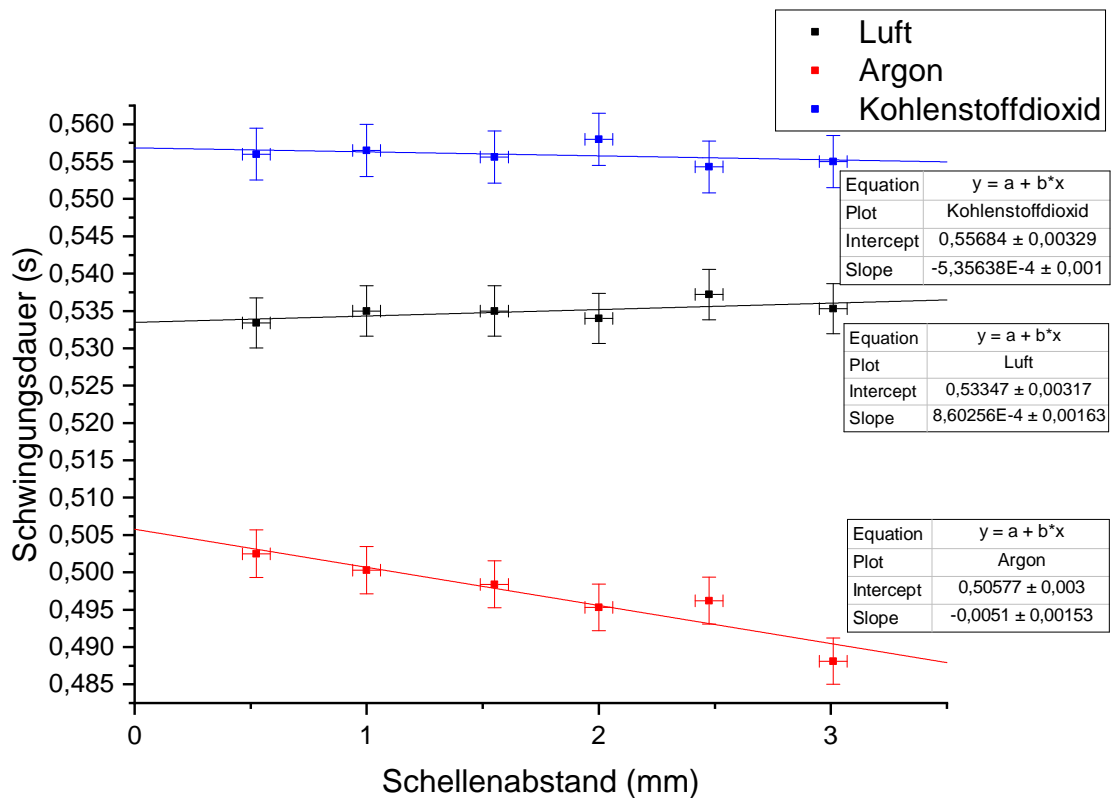


Abbildung 3: Gemessene Schwingdauern in Abhängigkeit vom Abstand der Schellen.

In der Einführung wurde folgende Formel zur Bestimmung des Adiabatenexponenten hergeleitet:

$$\kappa = \frac{4\pi^2 m V_0}{p_0 A^2 T^2} \quad (1)$$

$$u(\kappa) = \kappa \sqrt{\left(\frac{u(m)}{m}\right)^2 + \left(\frac{u(V_0)}{V_0}\right)^2 + \left(\frac{u(p_0)}{p_0}\right)^2 + \left(\frac{2u(T)}{T}\right)^2 + \left(\frac{2u(A)}{A}\right)^2} \quad (2)$$

Das Volumen  $V_0$  setzt sich zusammen aus dem der Glasflasche  $V_F = (5450 \pm 30) \text{ cm}^3$  und dem des Glasrohrs mit einem Radius  $r = (0,798 \pm 0,003) \text{ cm}$  und einer Höhe zum Spalt  $h = (10,05 \pm 0,06) \text{ cm}$ .

$$V_0 = V_F + r^2 \pi h \quad (3)$$

Somit betragen:

- Volumen  $V_0 = (5470 \pm 30) \text{ cm}^3$ .
- Fläche  $A = r^2 \pi = (1,998 \pm 0,015) \text{ cm}^2$
- Masse  $m = (7,20 \pm 0,03) \text{ g}$  (Messung)
- Umgebungsdruck  $p_L = (101,2 \pm 0,4) \text{ kPa}$  (Messung)
- Innendruck  $p_0 = p_L + \frac{m \cdot g}{A} = (101,5 \pm 0,4) \text{ kPa}$

In Tabelle 1 sind die berechneten Adiabatenkoeffizienten zu den jeweiligen Schwingdauern aufgelistet.

Tabelle 1: Extrapolierte Schwingdauern sowie resultierende Adiabatenkoeffizienten.

	Luft	Argon	Kohlenstoffdioxid
Schwingungsdauer $T$ in s	$0,533 \pm 0,003$	$0,506 \pm 0,003$	$0,557 \pm 0,003$
Adiabatenkoeffizient $\kappa$	$1,351 \pm 0,028$	$1,499 \pm 0,031$	$1,237 \pm 0,025$

### 3.1.3 Bestimmung von $\kappa$ nach Clément-Desormes

In der Einführung wurde folgende Formel zur Bestimmung des Adiabatenexponenten hergeleitet:

$$\kappa = \frac{h_1}{h_1 - h_3} \quad (4)$$

$$u(\kappa) = \kappa^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{h_3}{h_1}\right)^2 + 1} \cdot \frac{u(h)}{h_1} \quad (5)$$

Dabei ist  $h_1$  die Höhe der Flüssigkeitssäule im Manometer nach der Erhöhung des Drucks im Gefäß und dessen folgender Temperatenausgleich mit der Umgebung.  $h_3$  ist die Höhe, die sich ergibt, wenn man den Druck im Gefäß an den der Umgebung anpasst und sich, unter Druckänderung, ein (adiabatischer) Temperaturgleichgewicht einstellt.

In Tabelle 2 sind die Messwerte und die Adiabatenkoeffizienten aufgeführt. Es folgt ein Mittelwert für  $\kappa_{\text{Luft}}$  von  $1,355 \pm 0,004$ .

Tabelle 2: Gemessene Höhe der Flüssigkeitssäule im Manometer und nach Gleichung (4) berechnete Adiabatenexponenten  $\kappa_{\text{Luft}}$  von Luft.

$h_1$ in cm	$h_3$ in cm	$\kappa_{\text{Luft}}$
$16,64 \pm 0,06$	$4,35 \pm 0,06$	$1,354 \pm 0,007$
$20,63 \pm 0,06$	$5,52 \pm 0,06$	$1,365 \pm 0,006$
$25,34 \pm 0,06$	$6,72 \pm 0,06$	$1,361 \pm 0,005$
$36,70 \pm 0,06$	$9,41 \pm 0,06$	$1,345 \pm 0,003$
$10,98 \pm 0,06$	$2,84 \pm 0,06$	$1,349 \pm 0,010$

## 3.2 Diskussion

Es wurde erwartet, dass, wenn man gemäß Gleichung (7) aus den Adiabatenexponenten, die sich aus den Messungen ergaben, die Freiheitsgrade des jeweiligen Gases bestimmt, sich innerhalb der Messunsicherheiten eine natürliche Zahl ergibt, die mit den in der Regel bei Raumtemperatur angeregten Freiheitsgraden, die in der Einführung gegeben waren, übereinstimmt. Außerdem wurde angenommen, dass die hier die Freiheitsgrade im Fall von Luft bei der Messung durch das Experiment nach Rüchardt-Flammersfeld innerhalb der Unsicherheiten mit denen durch das Experiment nach Clément-Desormes übereinstimmen. In der Einführung wurde folgende Formel zum Zusammenhang zwischen Adiabatenexponent und angeregten Freiheitsgraden angegeben:

$$\kappa = \frac{f + 2}{f} \quad (6)$$

Oder umgeformt:

$$f = \frac{2}{\kappa - 1} \quad (7)$$

$$u(f) = \frac{2}{(\kappa - 1)^2} u(\kappa) \quad (8)$$

Die so berechneten angeregten Freiheitsgrade sind in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3: Experimentell bestimmte angeregte Freiheitsgrade von Luft, Argon und Kohlenstoffdioxid nach Rüchardt-Flammersfeld und nach Clément-Desormes sowie die nach der Einführung erwarteten angeregten Freiheitsgrade.

Gas	Rüchardt-Flammersfeld	Clément-Desormes	Erwartung
Luft	$5,698 \pm 0,455$	$5,634 \pm 0,063$	5
Argon	$4,008 \pm 0,249$	-	3
Kohlenstoffdioxid	$8,439 \pm 0,890$	-	5

Luft besteht zum größten Teil aus Stickstoff und Sauerstoff, was beides zweiatomige Gase sind, weshalb gemäß der Einführung fünf angeregte Freiheitsgrade zu erwarten sind. Argon ist ein einatomiges Gas. Daher sind drei Freiheitsgrade zu erwarten.

Kohlenstoffdioxid liegt als dreiatomiges, gestrecktes Molekül vor. Also erwartet man fünf Freiheitsgrade

## 4 Schlussfolgerung

### Literatur

- [1] WWU Münster. *Adiabatenerponent von Gasen Einführung*. URL: [https://sso.uni-muenster.de/LearnWeb/learnweb2/pluginfile.php/1334774/mod\\_resource/content/1/Adiabatenerponent\\_von\\_Gasen\\_Einf.pdf](https://sso.uni-muenster.de/LearnWeb/learnweb2/pluginfile.php/1334774/mod_resource/content/1/Adiabatenerponent_von_Gasen_Einf.pdf) (besucht am 03.06.2018).