

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

Es wurden die Experimente nach Rüchardt-Flammersfeld und Clément-Desormes durchgeführt, um den Adiabatenexponenten und daraus die angeregten Freiheitsgrade verschiedener Gase zu bestimmen. Untersucht wurden Luft, Argon und Kohlenstoffdioxid. Dabei wurde erwartet, dass die so bestimmten Freiheitsgrade innerhalb der Unsicherheiten eine natürliche Zahl enthielten. Dies konnte teilweise aufgrund von zu großen Messunsicherheiten und teilweise wegen abweichenden Messwerten nicht bestätigt werden. Außerdem wurde erwartet, dass bei Luft, für die beide Experimente durchgeführt wurden, die Ergebnisse aus beiden Experimenten innerhalb der Unsicherheiten übereinstimmen. Dies konnte experimentell bestätigt werden. Zuletzt wurde angenommen, dass die gemessene Zahl der angeregten Freiheitsgrade mit den gemäß der Einführung bei Raumtemperatur angeregten übereinstimmt, was ebenfalls nicht gezeigt werden konnte.

## 2 Methoden

Es wurden zwei verschiedene Experimente zur Bestimmung des Adiabatenexponenten durchgeführt:

### 2.1 Rüchardt-Flammersfeld

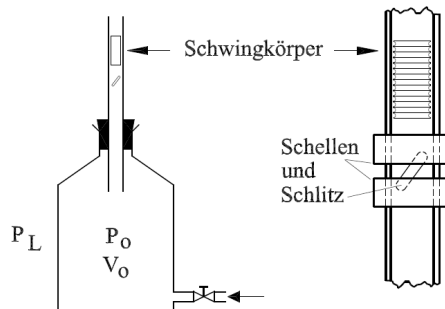


Abbildung 1: Experiment nach Rüchardt und Flammersfeld. [1]

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

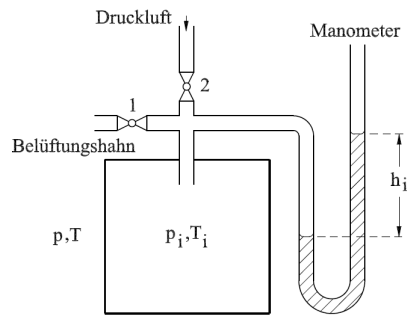


Abbildung 2: Experiment nach Clément und Desormes. [1]

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.

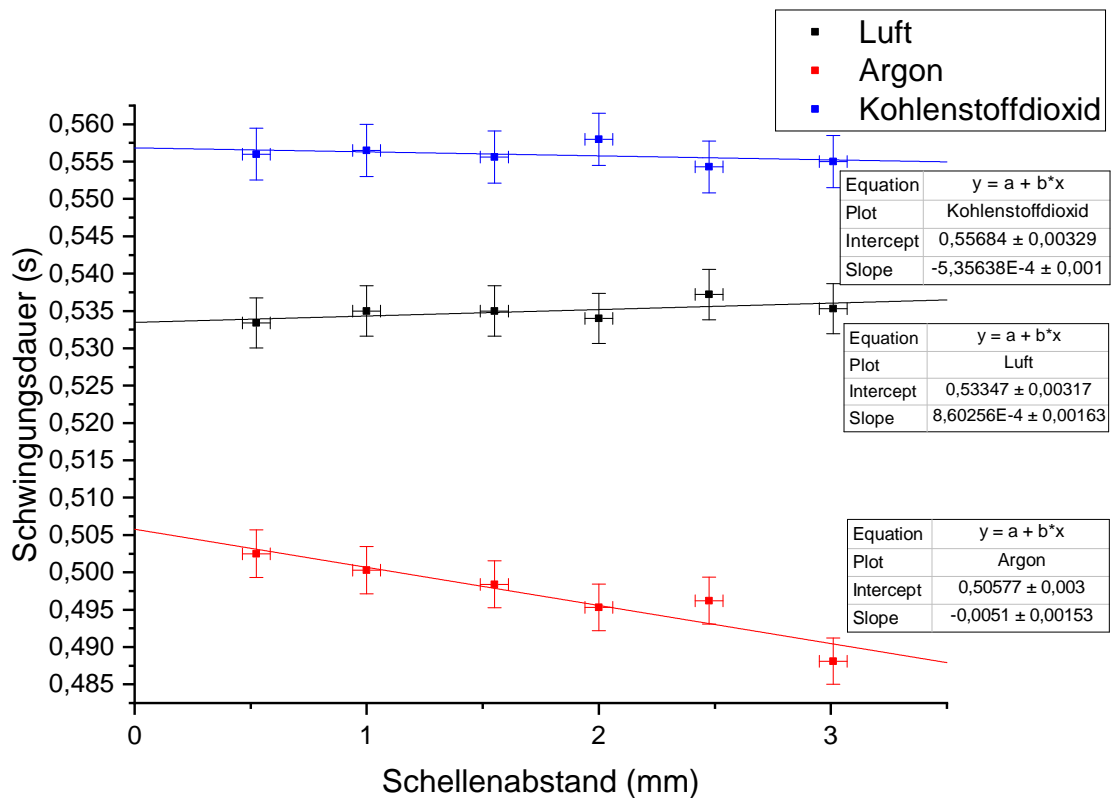


Abbildung 3: Gemessene Schwingdauern in Abhängigkeit vom Abstand der Schellen.

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. 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. Diese Erwartungen sind ebenfalls 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

Diese Ergebnisse stimmen nicht mit den Erwartungen überein. Für Luft stimmen zwar die Messwerte nach Rüchardt-Flammersfeld mit denen nach Clément-Desormes innerhalb der Unsicherheiten überein, aber sie entsprechen weder dem erwarteten Wert von fünf, noch sind sie eine natürliche Zahl. Prinzipiell ist ein höherer Wert nicht unmöglich, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass mehr Zustände angeregt waren, aber die nicht natürliche Zahl kann höchstens von den Einflüssen anderer Gase in dem Gasgemisch Luft stammen. Der Messwert von Argon stimmt ebenfalls nicht innerhalb der Unsicherheiten mit der Erwartung überein und da ein einatomiges Gas maximal drei angeregte Freiheitsgrade besitzen kann, lässt sich auch nicht vermuten, dass tatsächlich vier Freiheitsgrade angeregt waren. Mögliche Erklärungen umfassen hier die Tatsache, dass nicht gemessen wurde wie groß der Anteil des Argons in der Flasche tatsächlich war. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass das Argon nicht den gesamten Inhalt der Flasche verdrängt hat und noch große Anteile von Stickstoff und Sauerstoff enthält. Gerade weil Argon eine höhere Dichte als Luft hat, steigt es nicht zwangsläufig bis in den oberen Bereich der Flasche auf. Außerdem war in der Anleitung nicht hinreichend begründet, wieso eine Gerade als Fit angenommen werden kann, um den y-Achsenabschnitt zu erhalten. Dies hat besonders bei Argon einen Einfluss, da aufgrund der nicht verschwindenden Steigung das Bilden eines Mittelwertes einen deutlich anderen Wert ergeben hätte. Der Messwert für Kohlenstoffdioxid weicht noch stärker von der Erwartung ab. Grundsätzlich kann dies daran liegen, dass mehr Freiheitsgrade angeregt waren, als in der Einführung angegeben. Allerdings ist hier der Fehler so groß, dass zwei natürliche Zahlen (acht und neun) innerhalb des Fehlerintervalls liegen, weshalb keine eindeutige Aussage getroffen werden kann, wie viele Freiheitsgrade tatsächlich angeregt waren.

Insgesamt kann bei Rüchardt-Flammersfeld ein zusätzlicher Fehler dadurch entstanden sein, dass das Gas im Zuflussschlauch ebenfalls gestaucht wurde, sodass es einen zusätzlichen Einfluss auf die Schwingung hatte. Bei Clément-Desormes bestand das Gasgefäß aus Plastik, weshalb hier eine leichte Dehnung nicht ausgeschlossen werden kann. Dies bedeutet, dass die Annahme, dass die Prozesse bei geschlossenem Belüftungshahn und geschlossener Druckluftzufuhr bei konstantem Volumen erfolgen, nicht erfüllt ist, was ein weiterer Grund für die Abweichung sein kann.



## 4 Schlussfolgerung

Insgesamt lässt sich nicht sagen, dass die Annahmen bestätigt werden konnten. Keine der Annahmen für die Freiheitsgrade konnte bestätigt werden. Im Fall von Luft bestätigten sich die Messwerte der beiden Versuchsaufbauten zwar gegenseitig, aber nicht den erwarteten Wert. Bei Argon und Kohlenstoffdioxid wurden mehr Freiheitsgrade gemessen als erwartet, was sich nur für Kohlenstoffdioxid physikalisch erklären ließ. Der Nachweis, dass die Freiheitsgrade nur ganze Zahlen annehmen, hätte einen erheblich präziseren Versuchsaufbau erfordert. Beim Experiment nach Rüchardt-Flammersfeld hätte man das Volumen des Schwingenden Gases präziser bestimmen können, indem man die Flasche nach dem Versuch mit einer Flüssigkeit (z.B. Wasser) füllt und dann dieses in einen Messzylinder abfließen lässt. Außerdem hätte bei man bei Argon den experimentellen Aufbau umdrehen können, sodass der Flaschenhals nach unten zeigt. Dies hätte dafür gesorgt, dass das Argon erst die Flasche ausfüllt und dann durch das Rohr aufsteigen kann. Ein Spiegel hinter der Flüssigkeit im Manometer beim Experiment nach Clément-Desormes hätte ein präziseres, parallaxenfreies Ablesen ermöglicht.

## 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).