

Grundpraktikum

T7 spezifische Wärmekapazität idealer Gase

Julien Kluge

11. Mai 2015

Student: Julien Kluge [REDACTED]

Partner: [REDACTED]

Betreuer: Maximilian Kockert

Raum: 215

Messplatz: 2 (Clément-Desormes Versuch)



es gab halt wirklich ein Smiley drauf

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	1
2	Versuchsdurchführung	2
2.1	Clément-Desormes Versuch	2
2.2	κ -Bestimmung nach Rüchardt	2
3	Mess/-Fehlerwerte und Auswertung	2
3.1	Clément-Desormes Versuch	2
3.2	Bestimmung nach Rüchardt	3
4	Fehleranalyse und Ergebniseinschätzung	4
5	Anlagen	5
5.1	Abbildungen	5
6	Quellen	5

1 Abstract

eventuell schon zuviel

Die Wärmemengenänderung dQ eines idealen Gases ist nach dem ersten Satz der Thermodynamik aus der Summe der Änderung der inneren Energie und der verrichteten Arbeit beschrieben ($dQ = dU + dW$). Die innere Energie setzt sich dabei aus der Summe der Einzelenergien aller Freiheitsgrade f zusammen. Diese Freiheitsgrade beschreiben einen Adiabatenexponent (auch Isotropenexponent genannt) nach $\kappa = \frac{f+2}{f}$ welcher in dem sogenannten Boyle-Mariotteschen Gesetz wiederzufinden ist ($pV^\kappa = \text{const.}$). Mithilfe dieses Exponenten lassen sich daraufhin die spezifischen (oder molaren) Wärmekapazitäten bei Kenntnis des isobaren C_p oder isochoren C_V Gegenpartners berechnen nach $\kappa = \frac{C_p}{C_V}$. Nach der Gleichung $R = C_{mp} - C_{mV}$ (R : Allgemeine Gaskonstante) lässt sich diese Abhängigkeit auflösen und die spezifischen Wärmekapazitäten berechnen.

Durch experimentelle Überprüfung wurde dabei der Wert für Luft auf $\kappa \approx 1.342 \pm 0.006$ und für Argon auf $\kappa \approx 1.554 \pm 0.007$ bestimmt.

☀️ gab auch noch zwei Sterne drauf

2 Versuchsdurchführung

2.1 Clément-Desormes Versuch

Der Clément-Desormes Versuch bestimmt durch eine isochore Zustandsänderung den Adiabatenexponenten. Er wird als erstes in einem festen Volumen der Druck erhöht. Dem Gas wird 300s Zeit gegeben, sich in einem adiabatischen Prozess in einen Gleichgewichtszustand zwischen dem Druck p und der Temperatur T zu begeben. Nun findet ein plötzlicher isochorer Druckausgleich statt welcher das Gas abkühlen lässt. Das System wird nach dem Ausgleich geschlossen und es wird weitere 300s gewartet bis die Apparatur zu einem Gleichgewichtszustand gefunden hat welcher nahezu isotherm abläuft. Ein angeschlossenes Manometer (U-förmiges Wasserrohr) misst während des gesamten Vorgangs den Druckunterschied zwischen Umgebungsdruck und Systemdruck.

Der Adiabatenexponent kann nun nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$\kappa = \frac{dp_{\text{adiabatisch}}}{dp_{\text{isotherm}}} = \frac{\Delta p_{\text{adiabatisch}}}{\Delta p_{\text{isotherm}}} \quad (1)$$

$$= \frac{h_1}{h_1 - h_2} \quad (2)$$

wobei h_1 und h_2 die Höhen der Wassersäule am Manometer sind. Die Bestimmung dieser Werte wird über zwei lineare Regressionen der von den beiden Hälften, aufgenommenen Druckwerten bestimmt, indem die entstehende Funktion am Punkt des Druckausgleiches ausgewertet wird. Eine Grafische Repräsentation dieses Sachverhaltes ist in der Abbildung (1) dargestellt.

2.2 κ -Bestimmung nach Rüchardt

Dieser Versuch bestimmt den Adiabatenexponent nach einer Schwingung einer Testmasse. Der Aufbau besteht aus einem Glaskolben in dem ein dauerhaft, gleichmäßiger Gasstrom eingeführt wird. Am Glaskolben ist ein Präzisionsglasrohr angebracht indem sich eine Testmasse befindet. Es findet sich des Weiteren ein kleiner Schlitz im Rohr. ~~Steigt nun die Masse, aufgrund des sich erhöhendes Druckes durch das einströmende Gas, über den Punkt des Loches, fällt der Druck und die Masse beschleunigt~~ in die entgegengesetzte Richtung. Dieser Vorgang wiederholt sich periodisch und führt damit eine gleichmäßig wiederholende ungedämpfte Schwingung aus. Durch aufstellen und lösen der Schwingungsdifferentialgleichung findet man folgende Formel zur Berechnung des Adiabatenexponenten:

$$\kappa = \frac{4V \cdot m}{r^4 \cdot p \cdot T^2} \quad (3)$$

adiabatische
Expansion

3 Mess/-Fehlerwerte und Auswertung

3.1 Clément-Desormes Versuch

Es wurden 4 Messreihen durchgeführt und alle zugehörigen linearen Funktionen bestimmt und am Druckausgleichspunkt ausgewertet, dabei konnte von den zwei letzten Reihen, bei der ersten Regression kein R^2 -Test gemacht werden, da die Werte dort konstant blieben. Der angegebene $\overline{R^2}$ Wert wurde für jede Reihe wenn möglich gemittelt.

Es wurden des Weiteren jeweils der erste Wert der ersten fünf Minuten von der ersten und letzten Reihe entfernt, um die Regression nicht zu stören, da dieser eine Druckabfall zeigte welche auf eine Einpendelung des Systems zurückzuführen ist. Anschließend wurde der Isotropenexponent nach der Gleichung (2) bestimmt.

Folgende Werte wurden damit berechnet:

Reihe	$\overline{R^2}$	κ
1.	0.847	1.37 ± 0.16
2.	0.762	1.42 ± 0.59
3.	0.333	1.30 ± 0.39
4.	0.857	1.29 ± 0.12

Die Fehler von κ sind mit der Gaußschen Fehlerfortpflanzung abgeschätzt:

$$u_\kappa = \sqrt{\left(\left(-\frac{h_1}{(h_1 - h_2)} + \frac{h_1}{h_1 - h_2}\right) \cdot u(h_1)\right)^2 + \left(\frac{h_1}{(h_1 - h_2)^2} \cdot u(h_2)\right)^2} \quad (4)$$

Der Exponent wurde nun durch ein gewichtetes Mittel berechnet. Als Gewichtung wurden nicht die Unsicherheiten von κ genommen sondern das Reziproke des R^2 -Wertes. Dies ist darin begründet, dass die Zuverlässigkeit der Werte selbst nicht über die Unsicherheiten der Werte bestimmt sind, sondern über den Erfolg der Regression welcher über den R^2 Test bestimmt ist. Die Gewichtung folgt damit:

Ich verstehe bis heute noch nicht, wieso ich dafür nicht 20.000 mal durch den Fleischwolf gedreht worden bin. Das ist sowas von Unsinn, dass darf man eigentlich niemandem zeigen...

$$C = \frac{1}{(R_1^2)^2} \quad (5)$$

$$u_i = \frac{C}{\left(\frac{1}{R_i^2}\right)^2} = C \cdot (R_i^2)^2 \quad (6)$$

Wobei R_1^2 der Wert von $\overline{R^2}$ der ersten Reihe ist und R_i^2 der Wert von der i-ten Reihe von $\overline{R^2}$ ist. Damit ergibt sich der Adiabatenexponent des Clément-Desormes Versuchs zu $\kappa \approx 1.35 \pm 0.17$

3.2 Bestimmung nach Rüchardt

Es wurden jeweils 6 Messreihen mit 2 verschiedenen Gasen durchgeführt. Jede Messreihe besteht aus 100 Schwingungen. Die Zeit wurde über eine Präzisionsmessuhr mit Laserschranke durchgeführt welche selbstständig die Schwingungen gezählt hat. Damit ergab sich keinerlei Ablesefehler. Für die Berechnung nach (3) wurden einige gesonderte Betrachtungen durchgeführt. Die schwingende Masse m setzt sich zusammen aus der Summe der Masse m_1 des schwingenden Körpers, als auch die schwingende Gasmasse m_2 im Präzisionsgaskolben. Während m_1 gegeben war musste m_2 bestimmt werden.

Mit der gemessenen Länge und gegeben Radius des Rohrs konnte nach $V_2 = \pi r^2 \cdot l$ das Volumen bestimmt werden. Die Abweichungen wurden über die Gaußsche Fehlerfortpflanzung berechnet. Mithilfe dieses Volumens kann die ungefähre Masse über $m_2 = \rho \cdot V$ bestimmt werden. Die Dichte wurde über folgende Gleichung berechnet:

$$\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} \quad (7)$$

Wobei p der Druck (abgeschätzt mit dem Umgebungsdruck), m die Molare Masse des Gases, R die Allgemeine Gaskonstante und T die absolute Temperatur in Kelvin ist. Die durchschnittlichen Molaren Massen und allgemeine Gaskonstante wurden aus Quelle 2 entnommen. Die Temperatur wurde im Experimentierraum mit $T \approx (25.3 \pm 0.1)^\circ\text{C} = (298.45 \pm 0.1)\text{K}$ gemessen. Der Umgebungsdruck wurde per Barometer auf ($p \approx 104200 \pm$

100Pa) bestimmt. Die Unsicherheiten wurden per Gaußscher Fehlerfortpflanzung berechnet. Für Luft bestimmt sich die Dichte damit zu $\rho_L \approx (1.2156 \pm 0.0017)\text{kg/m}^3$ und für Argon zu $\rho_A \approx (1.6775 \pm 0.0012)\text{kg/m}^3$.

Mit bestimmten Volumen und Dichte lässt sich nun die eingeschlossene mitschwingende Gasmasse berechnen. Addiert mit der Masse des schwingenden Körpers ergeben sich folgende Massen:

- m_{ges} **mit Luft:** $(6.27 \pm 0.01) \cdot 10^{-3}\text{kg}$
- m_{ges} **mit Argon:** $(6.17 \pm 0.01) \cdot 10^{-3}\text{kg}$

Auch wenn die Änderung des Volumens welches durch die Schwingung verursacht wird recht gering ist, muss es betrachtet werden (nicht zuletzt deswegen, da die Unsicherheiten praktisch gleichgroß sind und somit keine Verschlechterung der Werte zu erwarten ist). Die beiden Volumina berechnen sich somit zu $V_{Luft} \approx (4.04 \pm 0.01) \cdot 10^{-3}\text{m}^3$ und $V_{Argon} \approx (4.36 \pm 0.01) \cdot 10^{-3}\text{m}^3$. Die Periodendauer wurde gemittelt mit circa $(574.65 \pm 0.39) \cdot 10^{-3}\text{s}$ für Luft und mit $(531.07 \pm 0.37) \cdot 10^{-3}\text{s}$ für Argon bestimmt.

Der Adiabatenexponent kann nun nach (3) berechnet werden. Die Unsicherheiten werden über die Gaußsche Fehlerfortpflanzung bestimmt:

$$\sqrt{\left(\frac{4m}{p \cdot r^4 T^2} u_V\right)^2 + \left(\frac{4V}{p \cdot r^4 T^2} u_m\right)^2 + \left(\frac{4m \cdot V}{p^2 r^4 T^2} u_p\right)^2 + \left(\frac{16m \cdot V}{p \cdot r^5 T^2} u_r\right)^2 + \left(\frac{8m \cdot V}{p \cdot r^4 T^3} u_T\right)^2}$$

Die endgültigen Werte für κ sind damit:

- **Für Luft:** $\kappa \approx 1.342 \pm 0.006$
- **Für Argon:** $\kappa \approx 1.554 \pm 0.007$

4 Fehleranalyse und Ergebniseinschätzung

Vergleich mit Literatur?

Vergleicht man den Wert vom Adiabatenexponent vom Clément-Desormes Versuch mit dem des Versuches nach Rüchardt, stellt man fest, dass beide nicht sehr weit auseinander liegen und in ihren Grenzen übereinstimmen. Lediglich der Fehler vom Clément-Desormes Versuch ist deutlich höher. Das basiert auf den Werten, die wider Erwarten, kaum Anstieg gezeigt haben. Dies kann auf mehreren Faktoren basieren wie Druck- und vor Allem Temperaturschwankungen im Versuchsraum. Der Ablesefehler könnte mit $\pm 1\text{mm}$ auch zu klein eingeschätzt worden sein.

Um einen tatsächlich aussagekräftigen Versuch zu erlangen, muss der Versuchsaufbau mit einem größeren Volumen, und besseren Druckmesser durchgeführt werden. Das vergrößerte Volumen führt zu einer besseren adiabatischen Zustandsänderung da die Fläche die Wärme austauschen kann im Quadrat steigt, während das Volumen welches Wärmeenergie aufnehmen kann in der dritten Potenz größer wird.

Beim Versuch nach Rüchardt, liegen die Hauptfehler in den schwer zu bestimmenden Volumen und der schwingenden Masse. Beide ändern sich während der Schwingung und können deshalb nicht auf einen festen Wert gelegt werden. Außerdem sorgt einströmendes Fremdgas beim Versuch mit Argon zu verfälschten Messwerten. Alle diese Fehler führen zu einem kleineren κ als dem Wahrheitswert. Dies bestätigt sich, wenn die Ergebnisse mit den Literaturwerten aus Quelle 3 verglichen werden.

welches
Fremdgas

5 Anlagen

5.1 Abbildungen

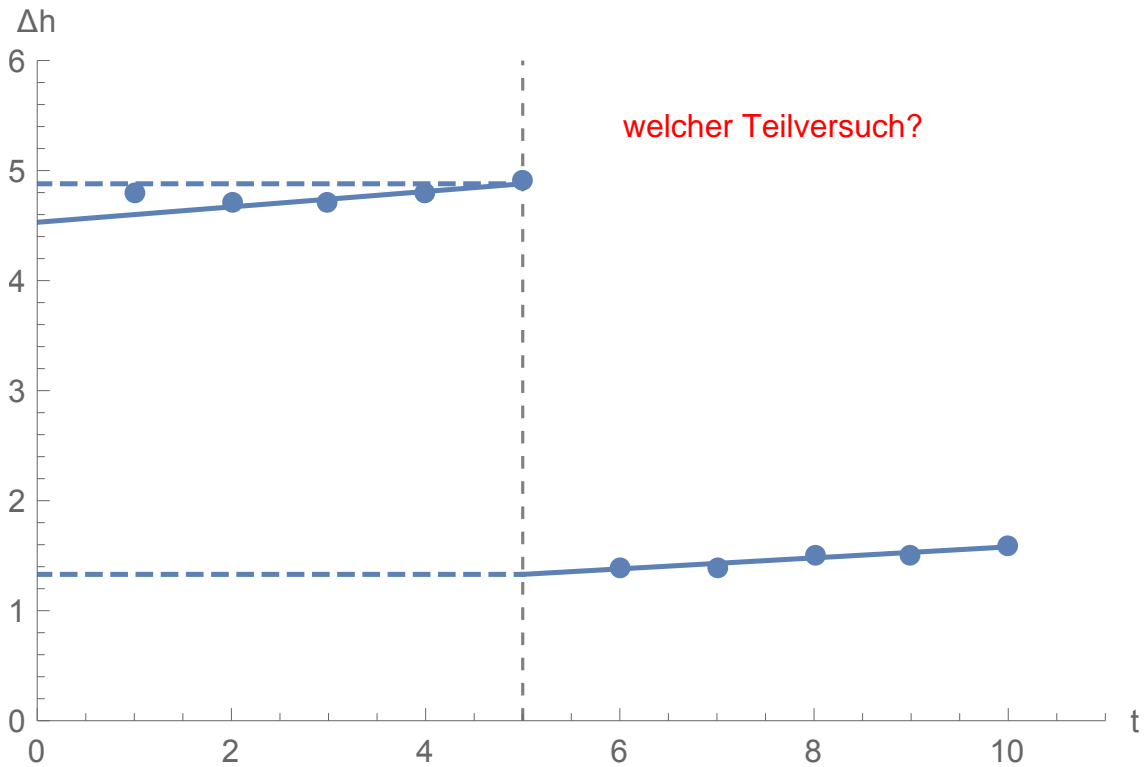


Abbildung 1: Höhenunterschied Δh in Abhängigkeit zur Zeit t und zwei lineare Regressionen mit den dazugehörigen Schnittgeraden beim Druckausgleich

6 Quellen

1. Script zum Grundpraktikum (*Formeln*)
<http://gpr.physik.hu-berlin.de/Skripten/Mechanik%20und%20Thermodynamik/PDF-Dateien/Mechanik%20und%20Thermodynamik.pdf> **Datum, Uhrzeit, Autor, Jahr**
2. Detlev Möller: Luft: Chemie, Physik, Biologie, Reinhaltung, Recht. Walter de Gruyter; 2003. ISBN 978-3-11-016431-2. S. 173
3. <http://catalog.conveyorspneumatic.com/Asset/FLS%20Specific%20Heat%20Capacities%20of%20Gases.pdf>
Datum, Uhrzeit

Tf-spezifische Wärmekapazität

4 Durchgänge aber behandeln (math.) als 6 Versuche
 $\alpha = \frac{5}{T_m}$!!!

Ableitungen aufschreiben!

~~104³ hPa~~ ± 1 hPa / 1043 / 1042 / 1042

23,5°, 23,5°, 23,5°, 23,4° / 25,3°C

Reihe 1: Schwingversuch - Argon

Messplatz II: T3 am Kolbenausblick

Schwingkörper: $m_1 = (6,237 \pm 0,005) \text{ g}$ / $D = (13,95 \pm 0,07) \text{ mm}$

Glas Kolben: $V = (4325 \pm 10) \text{ cm}^3$ / $(16 + 6,2) \text{ cm} = 22,2 \text{ cm}$

Reihe 1.1	Reihe 1.2	Reihe 1.3	Reihe 1.4
50,66 s	52,00 s	53,28	53,26

Reihe 2.1	Reihe 2.2	Reihe 2.3	Reihe 2.4
57,11	57,16	57,20	57,77

SK: $m_1 = (6,122 \pm 0,005) \text{ g}$ $D = (13,93 \pm 0,07) \text{ mm}$

GK: $V = (4381 \pm 10) \text{ cm}^3$ / 20 cm

Reihe 3! Druckausgleich

h_1	8	7,9	8	8	8	7,9	11,9	9,6	9,6	9,6	9,6	9,5
h_2	13	12,7	12,7	12,7	12,8	12,8	11,0	11,0	11,1	11,1	11,1	11,1
Δh	5	4,8	4,7	4,7	4,8	4,9	7,4	7,4	7,5	7,5	7,6	7,6

↙
O nicht
hier

V. Beobachtungen auf T3 da
 SK Schwingt aus Kolben
 Druck gemittelt durch T3-Einstellung

h_1	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	10,9	11	11,7	11,1	11,1
h_2	9,5	9,5	9,6	9,6	9,6	7,0	9,9	9,9	9,8	9,8
Δh	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9	:	:	:	:	:

h_1	12	12,1	12,7	12,7	12,7				
h_2	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6					
Δh	.....	.....	.....	.....	.....

h_1	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	10,8	10,9	10,9	10,9	10,9
h_2	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	9,9	9,8	9,8	9,8	9,8
Δh	4,1	:	:	:	:	0,9	1,1	1,1	1,1	1,1

Luftreihe:

57,47 ; 57,47 ; 57,45 ; 57,46 ; 57,47 ; 57,47

Argonreihe:

53,72 ; 53,72 ; 53,70 ; 53,72 ; 53,70 ; 53,68

h_1	13,4	13,3	13,3	13,3	13,3	11,1	11,1	11,1	11,1	11
h_2	7,5	7,6	7,6	7,6	7,6	9,8	9,7	9,7	9,6	9,6
Δh	5,9	5,7	.....	.....	.....	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5

M.K.

Versuch 5 Platz II