



Universität Freiburg

Kleines Physiklabor für Anfänger*innen
Ferienpraktikum im Sommersemester 2022

Versuch 36

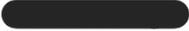
Adiabatexponent



(Gruppe )

06. Oktober 2022

Datum der Durchführung: 05. Oktober 2022

Assistent: 

braucht ihr im AP nicht

Inhaltsverzeichnis

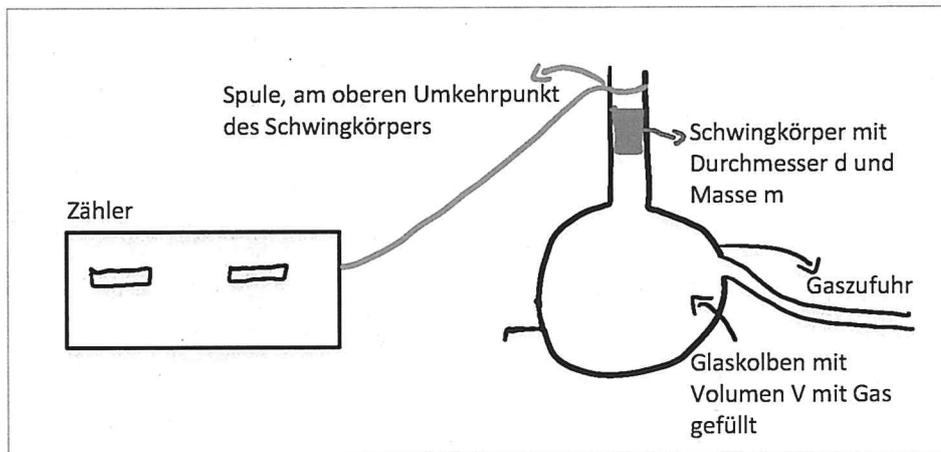
1	Ziel des Versuchs	2
2	Versuch	2
2.1	Aufbau	2
2.2	Durchführung	3
3	Auswertung und Fehleranalyse	3
3.1	Luft	3
3.1.1	Verteilung der Werte $T_{L,10}$	3
3.1.2	Bestimmung der Periodendauer T_L	4
3.1.3	Bestimmung Adiabatenexponent Luft γ_L	5
3.1.4	Bestimmung und Analyse γ_f	5
3.2	CO ₂	7
3.2.1	Bestimmung der Periodendauer T_{CO_2}	7
3.2.2	Bestimmung Adiabatenexponent Kohlenstoffdioxid γ_{CO_2}	8
3.2.3	Bestimmung und Analyse γ_f für CO ₂	8
4	Diskussion der Ergebnisse	10
4.1	Verteilung der Werte $T_{L,10}$	10
4.2	Vergleich Adiabatenexponent γ	10
4.3	Verbesserung der Messmöglichkeiten	10
A	Abbildungsverzeichnis	12
B	Tabellenverzeichnis	12
C	Literaturverzeichnis	12
D	Foto Versuchsaufbau	13
E	Tabellen	13
F	Ableitungen	14
G	Laborbucheintrag	15

1 Ziel des Versuchs

In dem Versuch wird der Adiabatenexponent von Luft und CO_2 durch einen Aufbau nach Rüchardt/Flammersfeld bestimmt, bei dem aufgrund eines von unten wirkenden Druck eines Gases ein Körper in einer Frequenz schwingt, die vom Adiabatenexponent des Gases abhängt. Zunächst wird die statistische Verteilung der Messung der Periodendauer betrachtet, danach die beiden Adiabatenkoeffizienten, und deren Verträglichkeit mit verschiedenen Freiheitsgraden. ✓

2 Versuch

2.1 Aufbau



Memvorgang wird hier leider nicht deutlich

Abbildung 1: Skizze Versuchsaufbau und Definition der Variablen

Ein Glaskolben mit bekanntem Volumen $V = (2220 \pm 10) \text{ cm}^3$ und verschließbarem Gasauslass kann über ein Nadelventil mit Gas gefüllt werden. Auf dem Glaskolben befindet sich ein zylinderförmiges Präzisionsrohr, in dem sich ein ebenso zylinderförmiger Schwingkörper aus Aluminium befindet, dessen Durchmesser $d = 13.95 \text{ mm}$ mit der Bügelmessschraube bestimmt wird, was zu einer Unsicherheit von $\Delta d = 0.01 \text{ mm}$ führt. Die Masse $m = 5.82 \text{ g}$ dieses Schwingkörpers wird mit der Waage gemessen, weswegen auf $\Delta m = 0.01 \text{ g}$ geschlossen wird. Sobald Gas über das Nadelventil in den Glaskolben stößt, beginnt der Schwingkörper zu schwingen. Eine Spule wird so an das Präzisionsrohr angebracht, dass sie der Schwingkörper beim Schwingen immer genau am oberen Punkt der Schwingung einmal durchläuft. Durch Induktion registriert die Spule den Schwingkörper und gibt ein Signal an ein Zählgerät weiter, sodass Anzahl der Schwingungen n und zugehörige Periodendauer $T_{L,n}$ bzw. $T_{\text{CO}_2,n}$ bei Luft bzw. CO_2 abgelesen werden können.

weitere angeben stelle

Für die Messung mit Luft steht eine Membranpumpe, die maximal $500 \frac{1}{h}$ Luft fördern kann zur Verfügung, für die Messung mit CO_2 wird eine zylindrische Gasflasche mit Druckminderer verwendet. In der Versuchsanleitung ist außerdem gegeben, dass mit einer Erdbeschleunigung $g = (9.808 \pm 0.001) \frac{m}{s^2}$ gerechnet werden soll.

1.0.

2.2 Durchführung

Als Erstes wird der Luftdruck $p_{L,1} = 987 \text{ mbar}$ mit einer Unsicherheit $\Delta p_{L,1} = 1 \text{ mbar}$ abgelesen, da dies für spätere Berechnungen relevant ist. Dann wird, während Luft in den Glaskolben gepumpt wird, 80 Mal die Zeit $T_{L,10}$ für $n = 10$ Schwingungen gemessen. Da das Messgerät jedes Signal der Spule und somit auch das Signal bevor die erste Schwingung die Spule durchlaufen hat, zählt, entspricht dies einer angezeigten Anzahl $n' = n + 1$. Des Weiteren werden nun die Zeiten für 17 verschiedene Schwingungszahlen n im Bereich $n = 2$ bis $n = 1000$ abgelesen. ✓

Die Luft wird nun durch CO_2 ersetzt, da etwas Zeit vergangen ist, wird der Luftdruck $p_{L,2} = 988 \text{ mbar}$ erneut abgelesen. Nun werden, wie im Versuch mit Luft, für 13 verschiedene Schwingungszahlen im Bereich von $n = 2$ bis $n = 102$ die zugehörigen Zeiten abgelesen. ✓

3 Auswertung und Fehleranalyse

3.1 Luft

3.1.1 Verteilung der Werte $T_{L,10}$

Die Zeitmessungen der zehn Perioden $T_{L,10}$ (s. Anhang G) werden in einem Histogramm (Abb. 2) analysiert um die Verteilung der gemessenen Werte festzustellen und folgend eine sinnvolle Unsicherheit auf die Messung der Zeiten zu bestimmen (s. Abschnitt 4.1). ✓

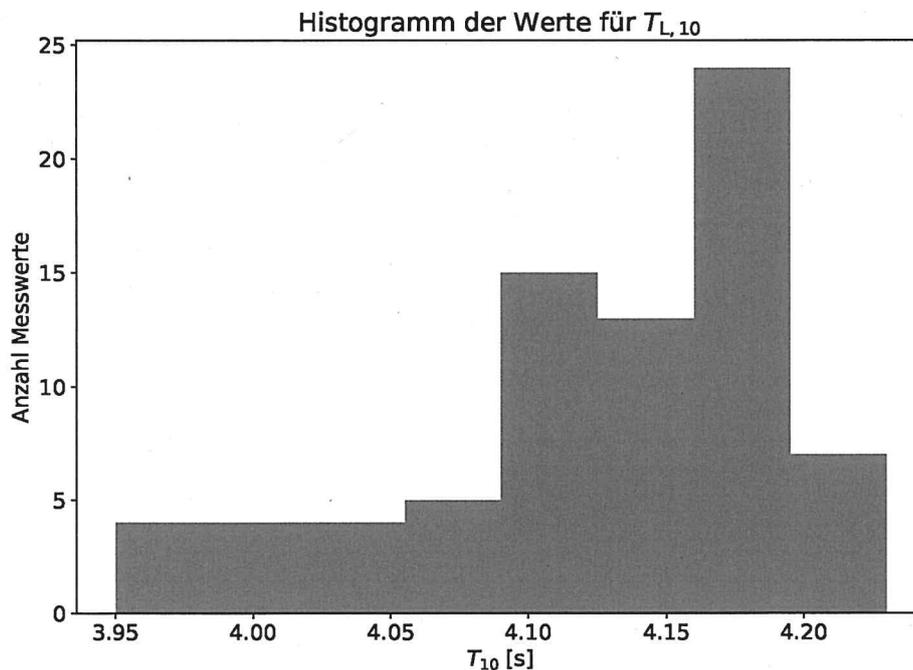


Abbildung 2: Histogramm der Werte $T_{L,10}$

3.1.2 Bestimmung der Periodendauer T_L

Um die Periodendauer für den Schwingkörper in Luft zu messen, wird für verschiedene n die Zeit T_n gemessen (siehe Anhang G). Die Werte werden mit ihren jeweiligen Fehlerbalken, die jeweils einer halben Periodendauer entsprechen (Begründung in Abschnitt 4.1), in einem Diagramm (Abb. 3) aufgetragen. Außerdem wird über

$$\overline{T_L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{T_{L,i}}{i} = 0.40805 \text{ s}$$

?

der Mittelwert berechnet. Aus Abb. 3 kann man allerdings direkt schließen, dass die Unsicherheiten für die ersten gemessenen Werte sehr groß sind und der Mittelwert über alle Messwerte nicht repräsentativ scheint (Begründung in Abschnitt 4.1). Aus diesem Grund wird noch der gewichtete Mittelwert \hat{T}_L sowie dessen Unsicherheit ΔT_L berechnet:

$$\hat{T}_L = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\Delta T_{L,i}^2} T_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\Delta T_{L,i}^2}} = 0.40064 \text{ s}$$

$$\Delta T_L = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\Delta T_{L,i}^2}}} = 0.00017 \text{ s}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta T_L}{\hat{T}_L} = 0.04\%$$

$\Delta T_L = ?$

Trägt man diesen Wert auch noch in Abb. 3 auf, so erkennt man, dass das die Messwerte gegen \hat{T}_L konvergieren. Dieser Wert liefert also eine genauere Periodendauer der Schwingung in Luft und wird im Folgenden auch verwendet, um den Adiabatenexponenten γ_L zu bestimmen. Um die Werte für größere n noch besser ablesen zu können, wird außerdem noch ein Diagramm mit eingeschränkter y -Achse angegeben (Abb. 4).

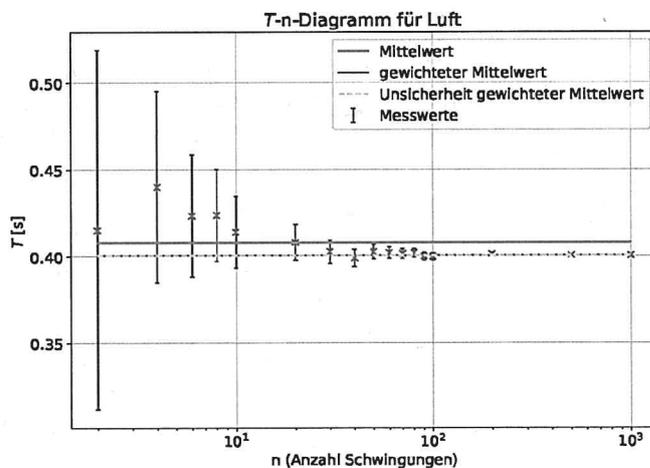
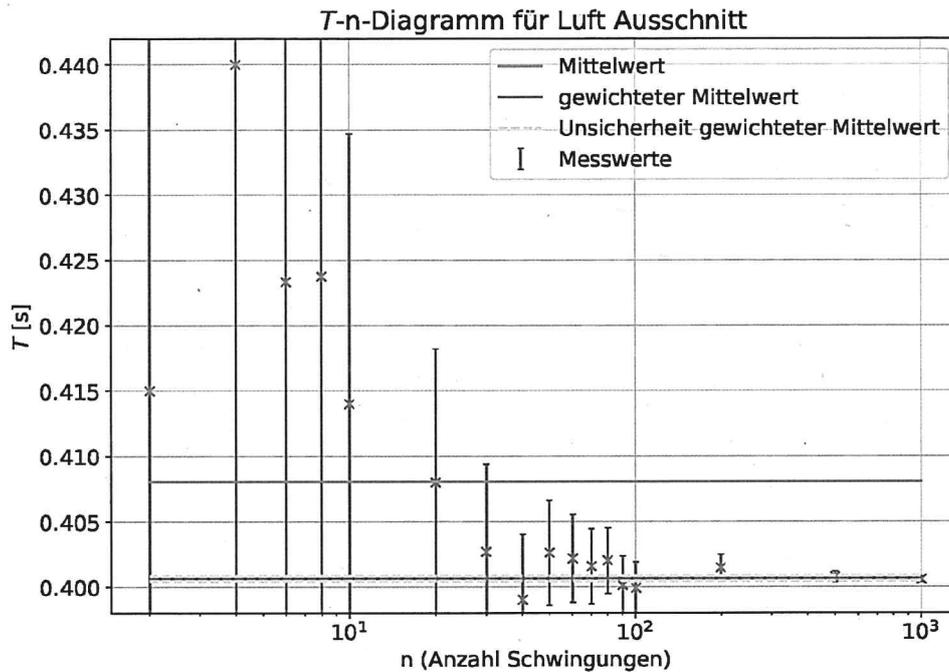


Abbildung 3: T_L - n -Diagramm für Luft



Fehlerbalken komplett darstellen (zu Not skalieren)

Abbildung 4: T_L - n -Diagramm für Luft Ausschnitt

3.1.3 Bestimmung Adiabatenexponent Luft γ_L

Der dimensionslose Adiabatenexponent γ wird wie in der Versuchsanleitung auf Ilias berechnet durch

$$\hat{\gamma} = \frac{64mV}{T^2 d^4 p} \quad (1) \quad \checkmark$$

mit dem Druck p , der sich aus dem von oben wirkenden Luftdruck p_L und dem von unten wirkenden Druck des Gases zusammensetzt:

$$p = p_L + \frac{4mg}{\pi d^2} \quad \checkmark$$

Über Gaußsche Fehlerfortpflanzung lässt sich die Unsicherheit des Adiabatenkoeffizienten bestimmen (Ableitungen siehe Anhang F):

$$\Delta\gamma = \sqrt{\left(\frac{\partial\gamma}{\partial T_L} \Delta T_L\right)^2 + \left(\frac{\partial\gamma}{\partial V} \Delta V\right)^2 + \left(\frac{\partial\gamma}{\partial m} \Delta m\right)^2 + \left(\frac{\partial\gamma}{\partial g} \Delta g\right)^2 + \left(\frac{\partial\gamma}{\partial p_L} \Delta p_L\right)^2 + \left(\frac{\partial\gamma}{\partial d} \Delta d\right)^2} \quad (2) \quad (\checkmark)$$

Für den Adiabatenkoeffizient von Luft erhält man somit:

$$\gamma_L = 1.373 \pm 0.008 \quad \checkmark$$

3.1.4 Bestimmung und Analyse γ_f

Wie im Theorieteil der Versuchsanleitung hergeleitet, lässt sich der Adiabatenkoeffizient eines Gases auch über dessen Freiheitsgrad f berechnen durch

$$\gamma_f = \frac{f+2}{f} \quad (3) \quad \checkmark$$

Um auf den Freiheitsgrad von Luft zu schließen, werden nun für $f = 1, \dots, 8$ die zugehörigen γ_f berechnet (s. Tabelle 2) und für $f = 3, \dots, 8$ zusammen mit dem ermittelten Wert für γ_L in Abb. 5 auf f aufgetragen. Hier lässt sich gut erkennen, dass bei einem Freiheitsgrad von $f = 5$ γ_f am nächsten am ermittelten γ_L liegt. Um die Verträglichkeit der Werte zu überprüfen wird für alle Freiheitsgrade ein t -Test durchgeführt:

$$t_f = \frac{|\hat{\gamma} - \gamma_f|}{\Delta\gamma} \tag{4}$$

Die ermittelten Werte für t_f werden in einem Diagramm auf f aufgetragen, wie es in Abb. 6 dargestellt ist (konkrete Werte s. Tabelle 2). Bei einem Signifikanzniveau von 5% sind wie in Abb. 6 erkennbar keine Werte verträglich. Dies lässt sich allerdings dadurch erklären, dass der relative Fehler von γ_L sehr gering ist, was zustande kommt, da der Fehler für die Messung der Periodendauer eine große Auswirkung auf die Ungenauigkeit von γ_L hat. Dieser ist in dieser Messung bei Luft sehr gering, da ein gewichteter Mittelwert betrachtet wird und der Fehler für $n = 1000$ verschwindend gering ist. Vermutlich ist die tatsächliche Unsicherheit größer, da es noch systematische Fehler geben könnte, die nicht beachtet wurden. Dies würde zu einer besseren Verträglichkeit mit Referenzwerten führen. Wenn man die ermittelten t -Werte betrachtet ergibt sich aber auch hier, dass die beste Verträglichkeit mit $t = 3.4$ bei $f = 5$ gegeben ist. Vermutlich hat Luft, ein Gemisch aus Stickstoff, Sauerstoff und CO_2 , also einen Freiheitsgrad von 5.

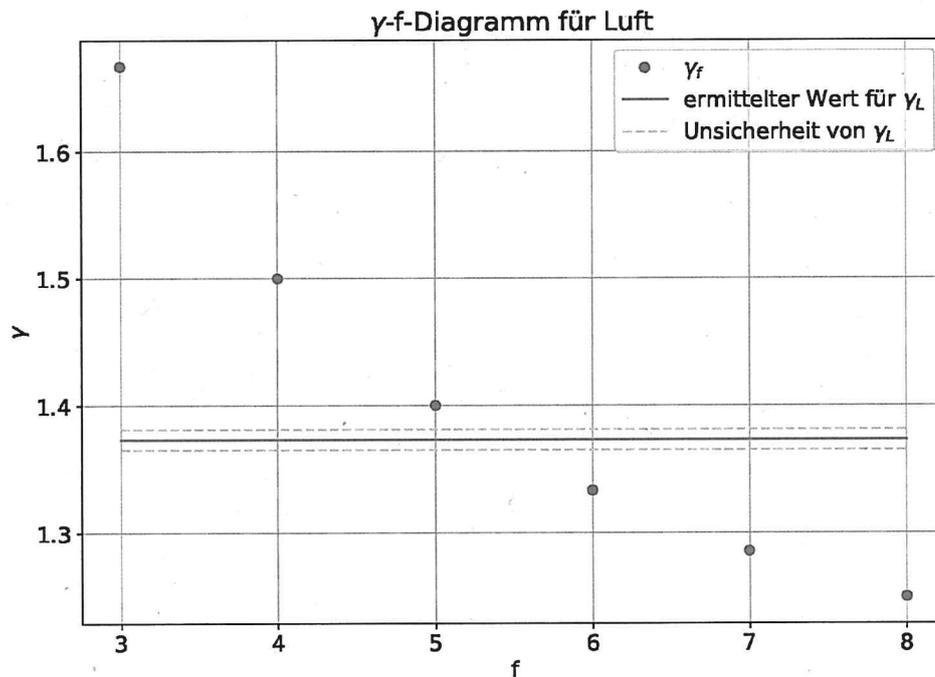


Abbildung 5: γ_f - f -Diagramm für Luft

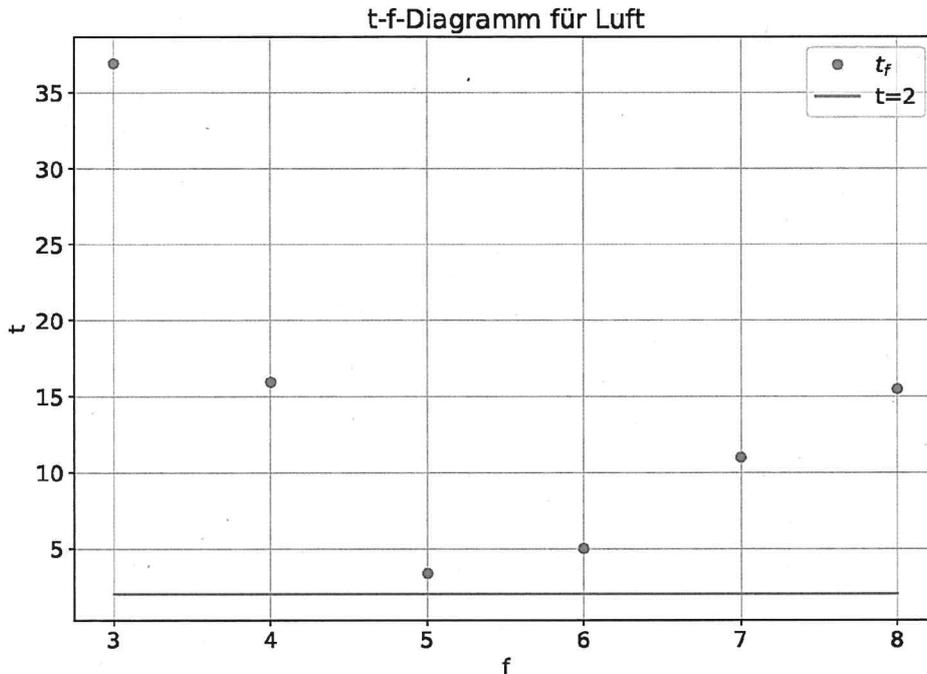


Abbildung 6: t_f - f -Diagramm für Luft

3.2 CO₂

3.2.1 Bestimmung der Periodendauer T_{CO_2}

Analog zu Abschnitt 3.1.2 wird nun die Periodendauer T_{CO_2} für Kohlenstoffdioxid bestimmt. Für den Mittelwert aller Messwerte ergibt sich hier:

$$\overline{T_{CO_2}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{T_{CO_2,i}}{i} = 0.4243 \text{ s}$$

Trägt man hier die Periodendauer der n Messwerte auf n , sowie $\overline{T_{CO_2}}$ in einem Diagramm (Abb. 7), so erkennt man auch hier, dass der Wert für $\overline{T_{CO_2}}$ nicht repräsentativ ist. Auch hier wird also analog zu Abschnitt 3.1.2 der gewichtete Mittelwert \hat{T}_{CO_2} sowie dessen Unsicherheit ΔT_{CO_2} berechnet:

$$\hat{T}_{CO_2} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\Delta T_{CO_2,i}^2} T_{CO_2,i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\Delta T_{CO_2,i}^2}} = 0.4141 \text{ s} \quad \checkmark$$

$$\Delta T_{CO_2} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\Delta T_{CO_2,i}^2}}} = 0.0012 \text{ s} \quad \checkmark$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta T_{CO_2}}{\hat{T}_{CO_2}} = 0.28\%$$

Trägt man nun auch \hat{T}_{CO_2} in Abb. 7 auf, so erkennt man wie oben, dass dieser Wert exakter ist als $\overline{T_{CO_2}}$.

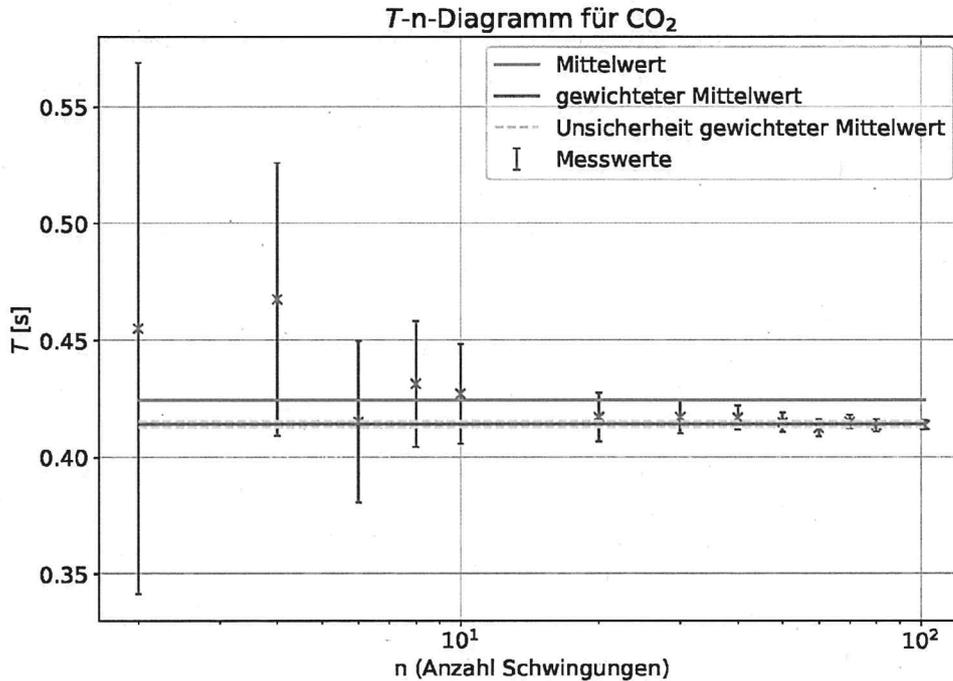


Abbildung 7: T_{CO_2} - n -Diagramm für CO₂

3.2.2 Bestimmung Adiabatenexponent Kohlenstoffdioxid γ_{CO_2}

Mit Gleichung (1) und Gleichung (2) kann analog zu Abschnitt 3.1.3 der Adiabatenexponent von CO₂ berechnet werden. Hier wird nun allerdings mit dem Luftdruck $p_{L,2}$ gerechnet. Es ergibt sich:

$$\gamma_{CO_2} = 1.285 \pm 0.010$$

3.2.3 Bestimmung und Analyse γ_f für CO₂

Wie in Abschnitt 3.1.4 wird nun mithilfe von Gleichung (3) und Gleichung (4) auch das ermittelte γ_{CO_2} mit den Werten für γ_f verglichen (s. Abb. 8 und Abb. 9, konkrete Werte in Tabelle 2). Daraus lässt sich erkennen, dass γ_{CO_2} mit $\gamma_{f=7}$ am verträglichsten ist, was sich auch im t-Test widerspiegelt. Hier sind die Werte mit $t = 0.2$ sehr verträglich, wenn man allerdings beachtet, dass eventuell auch hier wie in Abschnitt 3.1.4 das Signifikanzniveau etwas zu klein gewählt wurde, könnten auch die Werte für $f = 6$ und $f = 8$ noch verträglich sein.

Allgemein fällt auf, dass γ_{CO_2} wesentlich besser verträglich ist mit den Werten für γ_f . Dies lässt sich dadurch erklären, dass hier aufgrund der Dämpfung keine Messungen für $n > 102$ durchgeführt werden konnten, weswegen die Ungenauigkeit auf dem gewichteten Mittelwert und somit auch auf γ_{CO_2} größer ist. Es ist also wahrscheinlich, dass CO₂ einen Freiheitsgrad zwischen 6 und 8 hat.

Handwritten signature

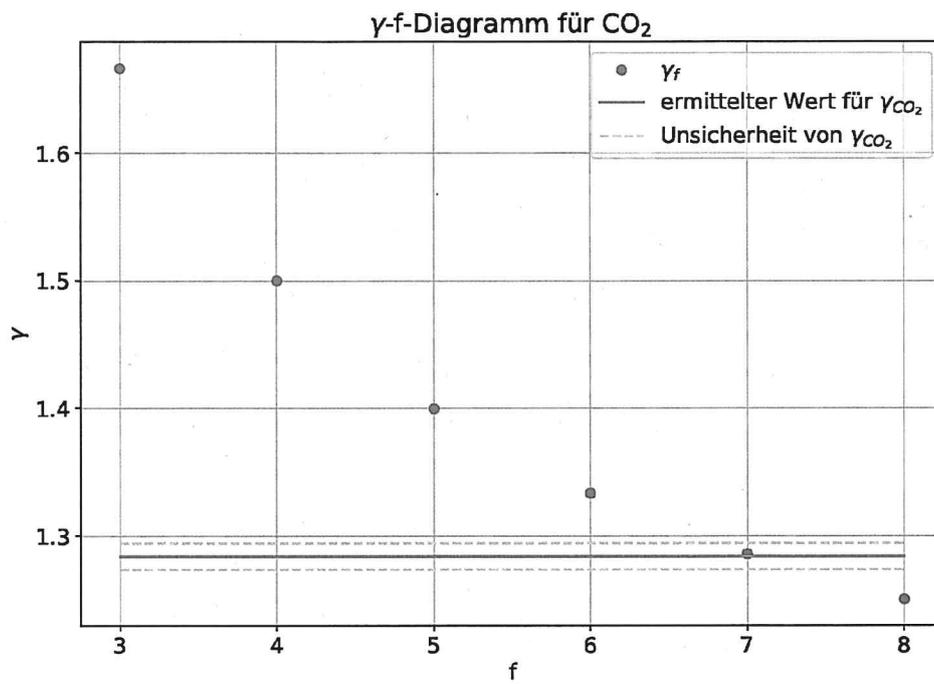


Abbildung 8: γ_f -f-Diagramm für CO₂

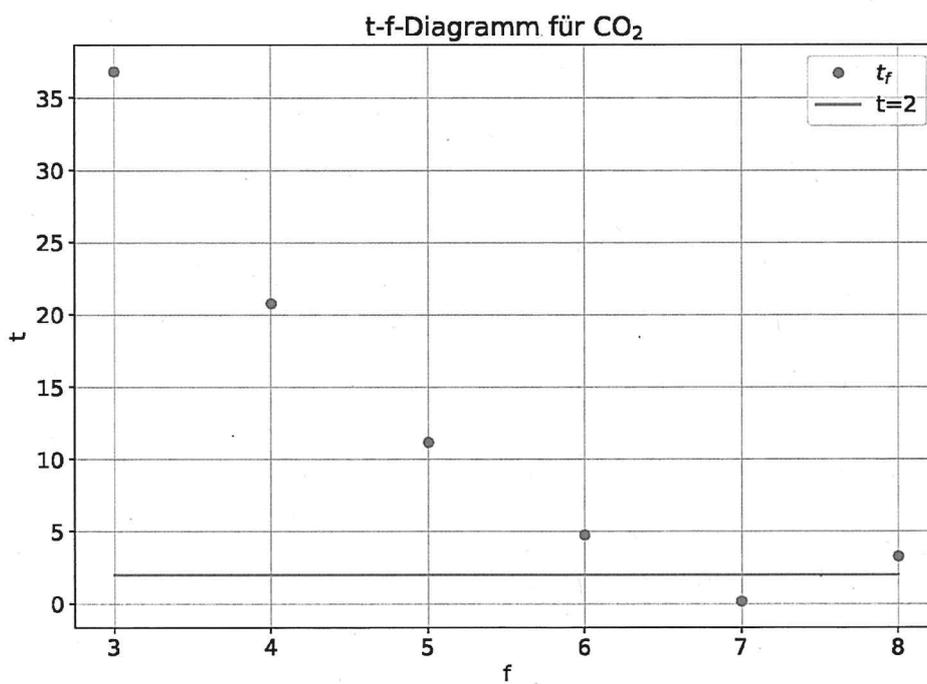


Abbildung 9: t_f -f-Diagramm für CO₂

4 Diskussion der Ergebnisse

4.1 Verteilung der Werte $T_{L,10}$

In Abschnitt 3.1.1 wurden die Werte $T_{L,10}$ in Abb. 2 als Histogramm dargestellt. Die Verteilung der Werte kommt einer Poisson-Verteilung sehr nahe, man erkennt eine Tendenz zu einer Gauß-Verteilung, jedoch ist die Symmetrie nicht gegeben. Des Weiteren ist neben dem Peak des Intervalls [4.160 s, 4.195 s] ein etwas kleinerer Peak beim Intervall [4.090 s, 4.125 s] zu erkennen. Dies lässt eine relativ große systematische Unsicherheit vermuten. Aus diesem Grund wird die Schwingung und die Messung ihrer Periodendauer genauer betrachtet. Um Messwerte ohne Ungenauigkeiten zu bestimmen müsste man immer im selben Moment zweier Schwingungen die Zeit messen. Das Messgerät zählt eine Schwingung, wenn es ein Spannungssignal der probeerregten Spule erhält. Das bedeutet, dass die erste erfasste Schwingungsdauer teilweise keiner gesamten Periode entspricht. Zusätzlich wird die Zeit zwischen der zehnten und elften Schwingung gestoppt. Auch hier entsteht dementsprechend ein systematischer Fehler, der theoretisch annähernd bis zu einer Periodendauer länger entsprechen könnte. Im Endeffekt bedeutet dies, dass tendenziell die gemessenen Zeit etwas länger ist, als die eigentliche Periodendauer. Dies hat auch Auswirkung auf die Werte der Periodendauer, die in Abschnitt 3.1.2 und Abschnitt 3.2.1 behandelt werden. Man sieht, dass diese von oben Richtung dem ermittelten Bestwert konvergieren, da die systematische Unsicherheit bei vielen gemessenen Schwingungen sehr klein wird und somit die errechnete Periodendauer T genauer wird. ✓

Beachtet man nun die Reaktionszeit bei der Messung, den Unterschied der Peaks im Histogramm und die Ungenauigkeit der Beobachtung der Schwingung wird eine Ungenauigkeit ΔT von einer halben Periodendauer geschätzt und angenommen. ✓

4.2 Vergleich Adiabatenexponent γ

In Abschnitt 3.1.3 und Abschnitt 3.2.2 wurden die Adiabatenexponenten γ_L und γ_{CO_2} anhand der gemessenen Daten bestimmt. Diese werden in einem t-Test auf ihre Verträglichkeit mit den Literaturwerten $\gamma_{L,lit} = 1.40$ [1] und $\gamma_{CO_2,lit} = 1.30$ [1] überprüft:

$$t_L = \frac{|\hat{\gamma}_L - \gamma_{L,lit}|}{\Delta\gamma_L} = 3.39$$

$$t_{CO_2} = \frac{|\hat{\gamma}_{CO_2} - \gamma_{CO_2,lit}|}{\Delta\gamma_{CO_2}} = 1.55$$

Die t-Tests zeigen, dass der errechnete Wert des Adiabatenexponenten von CO_2 mit dem Literaturwert $\gamma_{CO_2,lit}$ verträglich ist, da $t_{CO_2} < 2$. Jedoch ist $t_L > 2$, was anzeigt, dass der Wert des Adiabatenexponenten von Luft T_L nicht mit dem Literaturwert $\gamma_{L,lit}$ verträglich ist. Hierbei ergibt sich wieder das selbe Problem der kleinen Unsicherheiten der Messungen mit Luft wie in Abschnitt 3.1.4, wobei manche systematische Fehler vermutlich unbedacht sind und der t-Test bei der Berücksichtigung dieser Unsicherheiten keine Unverträglichkeit liefern würde. ✓

4.3 Verbesserung der Messmöglichkeiten

Durch den Versuchsaufbau und die Versuchsdurchführung entstehen mehrere systematische Fehler. Hierbei handelt es sich um die Zeitmessung und die Dämpfung der Schwingung. Die Zeitmessung ließe sich durch Aufzeichnung der Zeiten der einzelnen Schwingungen verbessern. ✓

Hierzu könnte das Signal der Spule digital verarbeitet und jede Zeit der Signale gespeichert werden. Hierbei würde das Problem der menschlichen systematischen Unsicherheit ausgeschlossen werden.

Des Weiteren wurde bei der Messung mit CO_2 beobachtet, dass sich nach ca. 700 Schwingungen die Amplitude der Schwingung so stark verringert hatte, dass manche Schwingungen nicht mehr gezählt werden konnten. Dies deutet auf eine Dämpfung der Schwingung hin. Demensprechend könnte man durch ein neues Einlegen des Kolbens nach jeder Messung eine Ungenauigkeit durch die Dämpfung minimieren.

Abbildungsverzeichnis

1	Versuchsaufbau	2
2	Histogramm der Werte $T_{L,10}$	3
3	T_L - n -Diagramm für Luft	4
4	T_L - n -Diagramm für Luft Ausschnitt	5
5	γ_f - f -Diagramm für Luft	6
6	t_f - f -Diagramm für Luft	7
7	T_{CO_2} - n -Diagramm für CO_2	8
8	γ_f - f -Diagramm für CO_2	9
9	t_f - f -Diagramm für CO_2	9
10	Foto Versuchsaufbau	13

Tabellenverzeichnis

1	Werte Periodendauern T_L und T_{CO_2}	13
2	Werte für f , γ_f , $t_{f,L}$ und $t_{f,L}$	14

Literatur

- [1] "Isentropenexponent". In: (5. Okt. 2022). URL: [https://www.chemie.de/lexikon/Isentropenexponent.html#:~:text=Der%20Isentropenexponent%20von%20\(trockener\)%20Luft,gr%C3%B6%C3%9Feren%20Molek%C3%BClen%20gibt%20es%203.](https://www.chemie.de/lexikon/Isentropenexponent.html#:~:text=Der%20Isentropenexponent%20von%20(trockener)%20Luft,gr%C3%B6%C3%9Feren%20Molek%C3%BClen%20gibt%20es%203.)

D Foto Versuchsaufbau

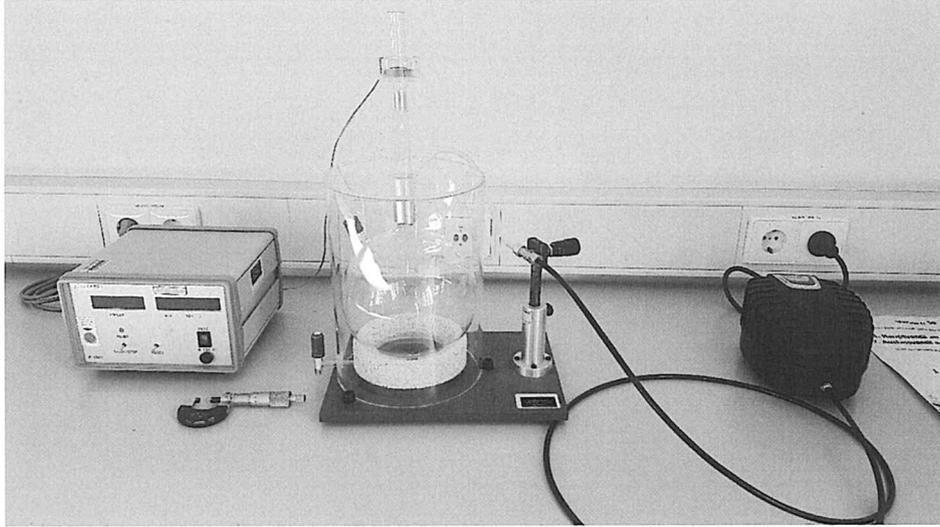


Abbildung 10: Foto Versuchsaufbau

E Tabellen

Tabelle 1: Werte der gemessenen Zeiten $T_{L,n}$ und $T_{CO_2,n}$, der Periodendauern T_L und T_{CO_2} und deren relative Unsicherheiten

n	$T_{L,n}$ [s]	T_L [s]	$\frac{\hat{T}_L}{\Delta T_L}$ [%]	n	$T_{CO_2,n}$ [s]	T_{CO_2} [s]	$\frac{\hat{T}_{CO_2}}{\Delta T_{CO_2}}$ [%]
2	0.7(2)	0.42(10)	25.0	2	0.9(2)	0.46(11)	25.0
4	1.8(2)	0.44(6)	12.5	4	1.9(2)	0.47(6)	12.5
6	2.5(2)	0.42(4)	8.33	6	2.5(2)	0.42(3)	8.33
8	3.4(2)	0.42(3)	6.25	8	3.5(2)	0.43(3)	6.25
10	4.1(2)	0.41(2)	5.0	10	4.3(2)	0.43(2)	5.0
20	8.2(2)	0.408(10)	2.5	20	8.3(2)	0.417(10)	2.5
30	12.1(2)	0.403(7)	1.67	30	12.5(2)	0.417(7)	1.67
40	16.0(2)	0.399(5)	1.25	40	16.7(2)	0.417(5)	1.25
50	20.0(2)	0.403(4)	1.0	50	20.7(2)	0.415(4)	1.0
60	24.0(2)	0.402(3)	0.83	60	24.7(2)	0.412(3)	0.83
70	28.1(2)	0.402(3)	0.71	70	29.1(2)	0.415(3)	0.71
80	32.2(2)	0.402(3)	0.62	80	33.1(2)	0.413(3)	0.62
90	36.0(2)	0.400(2)	0.56	102	42.2(2)	0.414(2)	0.49
100	40.0(2)	0.3999(20)	0.5				
199	79.8(2)	0.4014(10)	0.25				
500	200.3(2)	0.4007(4)	0.1				
1000	400.6(2)	0.4006(2)	0.05				

Tabelle 2: Werte für f , γ_f , $t_{f,L}$ und t_{f,CO_2}

f	γ_f	$t_{f,L}$	t_{f,CO_2}
1	3.0	204.7	165.2
2	2.0	78.9	68.9
3	1.7	36.9	36.8
4	1.5	16.0	20.8
5	1.4	3.4	11.2
6	1.3	5.0	4.8
7	1.3	11.0	0.2
8	1.2	15.5	3.3

F Ableitungen

$$\frac{\partial \gamma}{\partial T} = -\frac{128Vm}{d^4 \left(p_L + \frac{4d^4 gm}{\pi} \right) T^3}$$

$$\frac{\partial \gamma}{\partial V} = \frac{64m}{T^2 d^4 \left(p_L + \frac{4d^2 gm}{\pi} \right)}$$

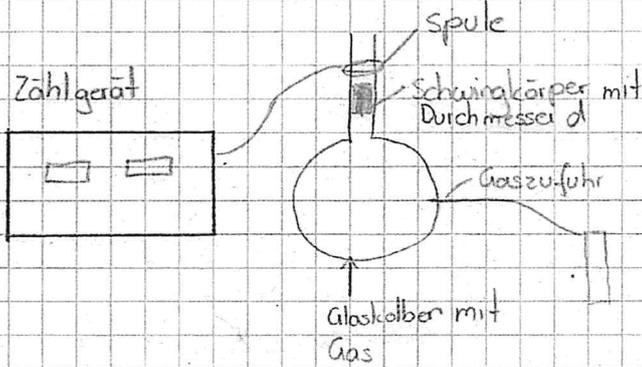
$$\frac{\partial \gamma}{\partial d} = -\frac{256\pi Vm (6gmd^2 + \pi p_L)}{T^2 d^5 (4gmd^2 + \pi p_L)^2}$$

$$\frac{\partial \gamma}{\partial g} = -\frac{256Vm^2}{\pi T^2 d^2 \left(\frac{4d^2 mg}{\pi} + p_L \right)^2}$$

$$\frac{\partial \gamma}{\partial m} = \frac{64\pi^2 V p_L}{T^2 d^2 (4d^2 gm + \pi p_L)^2}$$

$$\frac{\partial \gamma}{\partial p_L} = -\frac{64Vm}{T^2 d^4 \left(p_L + \frac{4d^2 gm}{\pi} \right)^2}$$

G Laborbucheintrag



Luftdruck 9.18 Uhr

$$p_0 = \frac{982(1) \text{ mb}}{987(1) \text{ mb}}$$

1. Messung T_{10} $n' \equiv$ Zähler

~~Druck im Kolben:~~

~~p_f~~

Wir messen immer 11 Schwingungen, da die 1 der Nullpunkt

$$n = n' - 1$$

Messung	T_n [s]
1	4,18
1	4,07
2	4,17
3	3,95
4	3,96
5	4,20
6	4,16
7	4,15
8	4,12
9	4,01
10	4,09
11	4,09
12	4,09
13	4,12
14	4,17
15	4,09
16	4,13
17	4,10
18	4,07
19	3,97
20	4,09
21	4,12
22	4,10
23	4,05
24	3,96
25	4,17
26	4,09
27	4,13
28	4,18
29	4,15
30	4,22
31	4,16
32	4,16

Messung	T_n [s]		
34	4,01	60	4,17
35	4,09	61	4,07
36	4,14	62	4,14
37	4,17	63	4,16
38	4,20	64	4,17
39	4,21	65	4,08
40	4,02	66	4,19
41	4,12	67	4,15
42	4,05	68	4,15
43	4,13	69	4,18
44	4,21	70	4,17
45	4,17	71	4,14
46	4,01	72	4,16
47	4,22	73	4,13
48	4,18	74	4,10
49	4,07	78	4,16
50	4,19	79	4,17
51	4,16	80	4,16
52	4,16		
53	4,13		
54	4,23		
55	4,13		
56	4,05		
57	4,04		
58	4,10		
59	4,17		

2. Messung → Verschiedene n für Luft

n	T_n [s]
2	0,48
4	0,83
6	1,76
8	2,45
10	3,39
20	4,14
30	8,16
40	12,08
50	15,96
60	20,13
70	24,13
80	28,11
90	32,16
100	36,01
199	39,99
1000	79,89
500	400,55
	200,39

$$m = 5,82(1)g$$

$$d = 13,95(1)mm$$

ΔT_n aus Reaktionszeit nicht relevant, weil wir später $\Delta T = \frac{T}{2}$ annehmen und ~~das ist~~ ~~das ganze~~ da Zeit ~~ist~~ in den Bereich des Messens wurde indem die entsprechenden n Gegenstände wurden. Reaktionszeit nicht relevant ist

$$p_i = 388(1) \text{ um } 70.47$$

3. Messung → Verschiedene ω

n	T [s]
32	0,91
4	1,87
6	2,49
8	3,45
10	4,27
20	8,34
30	12,51
40	16,67
50	20,74
60	24,98
70	29,05
80	33,07
102	42,18

→ Dämpfung ist auffällig

Wenn Schwinkkörper frisch eingesetzt werden wird, erhalten wir $n=500$

$$206,86s$$

