

Versuchsprotokoll

Isentropenindex

von

John Schütte, Yupeng Yu

(ge6684fu@zedat.fu-berlin.de),(yupey43@zedat.fu-berlin.de)

Tutorin: Lisa Marie Burger

28.06.2023

Freie Universität Berlin

Fachbereich Physik

Contents

1	Einleitung	3
2	Physikalische Grundlagen	3
2.1	Grundbegriffe der Thermodynamik	3
2.1.1	Entropie	3
2.1.2	Ideale Gase	4
2.1.3	Zustandsänderungen	4
2.2	Poisson-Gleichungen	6
2.3	Aufgabe1:Methode nach Clement-Desormes	8
2.4	Aufgabe2:Methode nach Flammersfeld-Rüchert	9
3	Versuchsdurchführung	10
3.1	Methode nach Clement-Desormes	10
3.1.1	Aufbau	10
3.1.2	Durchführung	11
3.2	Methode nach Flammersfeld-Rüchert	11
3.2.1	Aufbau	12
3.2.2	Durchführung	12
4	Messprotokoll	13
5	Auswertung	16
5.1	Aufgabe 1	16
5.2	Aufgabe 2	16
6	Diskussion	18
7	Fazit	19

1 Einleitung

Im Themengebiet der Thermodynamik gibt es viele stoffspezifische Größen, welche bestimmte Materialeigenschaften charakterisieren. Die Bestimmung dieser Größen oder deren experimentelle Überprüfung ist eine der Aufgaben der Experimentalphysik.

In diesem Versuch geht es um die Bestimmung einer dieser Größen, nämlich des sog. Isentropenindex oder auch Adiabatenexponents, κ . Dazu werden zwei verschiedene Messmethoden betrachtet und auf ihre Genauigkeit auch im Vergleich miteinander untersucht.

2 Physikalische Grundlagen

2.1 Grundbegriffe der Thermodynamik

In der Thermodynamik wird zwischen offenen, geschlossenen und abgeschlossenen Systemen unterschieden: Bei offenen Systemen findet ein Austausch von Energie und Materie mit der Umwelt statt, im geschlossenen System findet kein Austausch von Materie mehr statt, nur noch ein Energieaustausch und im abgeschlossenen System findet weder Energie- noch Materieaustausch mit der Umwelt statt.

Für ein abgeschlossenes System gilt demnach, dass dessen innere Energie dU erhalten ist, welches den 1. Hauptsatz der Thermodynamik darstellt:

$$dU = dQ + dW \quad (1)$$

wobei dQ die Wärmemenge darstellt und dW die mechanische Arbeit.

2.1.1 Entropie

Die Entropie S ist eine thermodynamische Zustandsgröße, die die innere Unordnung eines Systems charakterisiert. Für die Entropie gilt der 2. Hauptsatz der Thermodynamik:

$$\frac{\Delta Q}{T} < dS \quad (2)$$

dabei ist T die Temperatur und dS die Änderung der Entropie.

Dieser Hauptsatz beschreibt, dass die Energie eines Systems nicht beliebig zwischen thermischer und mechanischer umgewandelt werden kann. Mechanische Energie lässt sich

zwar vollständig in eine Wärmeänderung übersetzen, umgekehrt geht dies jedoch nicht. Das liegt daran, dass thermische Energie gleich molekularer chaotischer Bewegungsenergie ist. Da sich Moleküle in alle Richtungen bewegen können, lässt sich ihre kinetische Energie technisch nicht gerichtet einfangen, beziehungsweise nur zum Teil.

2.1.2 Ideale Gase

Ideale Gase sind Modelle, in denen bestimmte Annahmen über das Verhalten der Moleküle getroffen werden, die die Herleitung der kinetischen Gasgleichung ermöglichen. In einem idealen Gas gibt es keine Wechselwirkung durch Bindungskräfte zwischen den Molekülen. Alle Stöße zwischen ihnen werden als komplett elastisch angenommen. Außerdem werden die Teilchen als punktförmig modelliert und angenommen, dass sie chaotische, freie Bewegungen vollführen. Unter diesen Annahmen lautet die ideale Gasgleichung:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (3)$$

Sie stellt einen Zusammenhang zwischen den Zustandsgrößen Temperatur T , Druck p und Volumen V her, n ist hier die Stoffmenge und R die Gaskonstante. Eine andere Variante der Gleichung lautet:

$$p \cdot V = N \cdot k_b \cdot T \quad (4)$$

hier ist N die Teilchenanzahl und k_b die Boltzmann-Konstante.

2.1.3 Zustandsänderungen

Es wird nun zwischen verschiedenen thermodynamischen Zustandsänderungen unterschieden, bei denen immer eine der drei Zustandsgrößen in der idealen Gasgleichung konstant bleibt: Isobar nennt man Zustandsänderungen bei denen der Druck konstant bleibt, isochor sind solche, bei denen das Volumen konstant ist und isotherm sind solche, bei denen die Temperatur konstant bleibt. Diese Zustandsänderungen ergeben folgende Diagramme und Proportionalitäten:

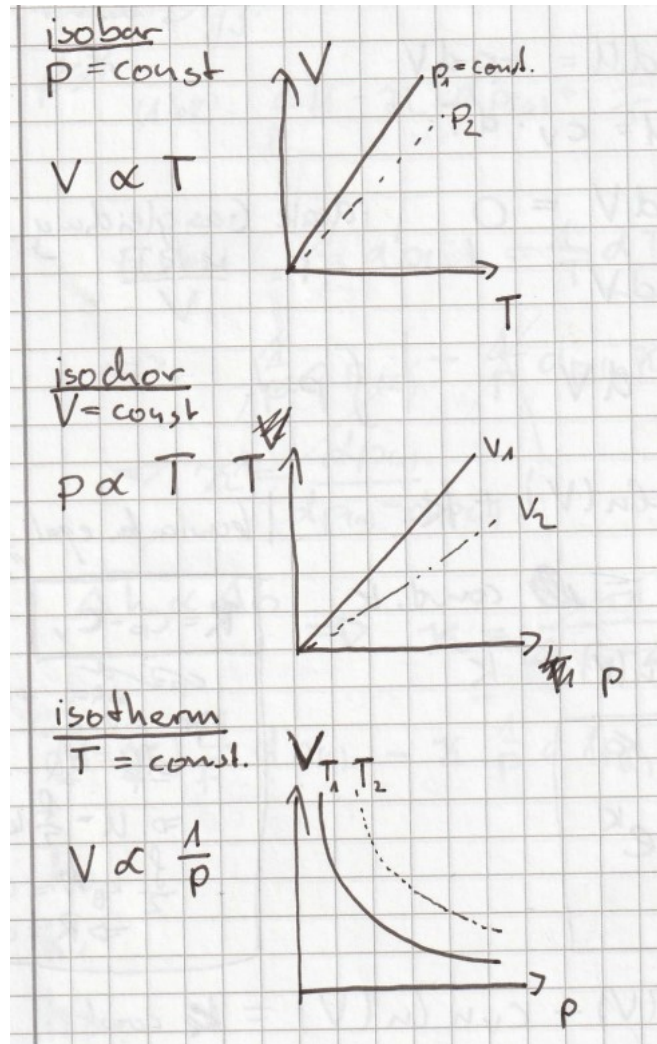


Figure 1: Prozessdiagramme der Zustandsänderungen

Bei sog. adiabatischen Zustandsänderungen gibt es keinen Energieaustausch mit der Umwelt, d. h. $\Delta Q = 0$. Dies ist natürlich in der realen Welt kaum realisierbar, da kein System perfekt isoliert ist. Um dem entgegenzuwirken kann man kleine Zeiträume betrachten, da in diesen erst sehr wenig Energie verloren gehen kann.

Als reversibel bezeichnet man Zustandsänderungen, wenn bei ihnen die Entropie konstant bleibt, d.h. $dS = 0$, sie also vollständig umkehrbar sind. auch das ist in der Realität nicht umsetzbar, denn es würde einen Widerspruch zum 2. Hauptsatz der Thermodynamik darstellen, es würde nämlich bedeuten, dass thermische Energie wieder vollständig in mechanische Arbeit umgewandelt würde. Stattdessen spricht man von quasi-reversiblen Zustandsänderungen, wenn sie so langsam ablaufen, dass in jedem kleinen Zwischenschritt

Reversibilität angenommen werden kann.

Zustandsänderungen, die sowohl adiabatisch als auch reversibel sind, nennt man isentrop.

2.2 Poisson-Gleichungen

Im adiabatischen Prozess gilt sowohl, dass die Änderung der Wärme verschwindet, als auch, dass keine Arbeit geleistet wurde, also:

$$dQ = 0 \quad (5)$$

$$dW = 0 \quad (6)$$

Mithilfe der idealen Gasgleichung (3) ergeben sich nun folgende Zusammenhänge:

Die Änderung der inneren Energie dU lässt sich über die Stoffmenge n und die spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen, c_v , ausdrücken:

$$dU = nc_v dT \quad (7)$$

Dadurch, dass $dQ = 0$ ist, gilt für die Änderung der inneren Energie dU außerdem:

$$dU = -p \cdot dV \quad (8)$$

$$c_v dT + p dV = 0 \quad (9)$$

Damit lassen sich die beiden Ausdrücke gleichsetzen und es findet sich:

$$P dV + nc_v dT = 0 \quad (10)$$

Nach thermischen Zustandsgleichung (3) idealer Gase und dem Zusammenhang $R = c_p - c_v$, bei dem c_p die Wärmekapazität bei konstantem Druck ist, gilt:

$$PV = nRT = n(c_p - c_v)T \quad (11)$$

Das bilden des totalen Differentials beider Seiten ergibt:

$$p dV + V dp = n(c_p - c_v) dT \quad (12)$$

Das Einsetzen von Gleichung (10) in (12) ergibt:

$$P dV + V dp + \frac{p(c_p - c_v)dV}{c_v} = 0 \quad (13)$$

Nun definiert man den Quotienten der spezifischen Wärmekapazitäten als:

$$\kappa = \frac{c_p}{c_V} \quad (14)$$

Mit diesem Ausdruck lautet die Gleichung also:

$$V dp + \kappa p dV = 0 \quad (15)$$

Daraus folgt:

$$\frac{dp}{p} + \kappa \frac{dV}{V} = 0 \quad (16)$$

Bringt man die Summanden auf verschiedene Seiten der Gleichung ergibt sich durch Integrieren beider Seiten:

$$\ln(p) + \kappa \ln(V) = \ln(pV^\kappa) = \text{const.} \quad (17)$$

Die Logarithmen lassen sich auflösen und es ergibt sich:

$$p \cdot V^\kappa = \text{const.} \quad (18)$$

Diese Gleichung lässt sich nun mithilfe von Gleichung (11) umformen und es ergibt sich zum einen:

$$p^{1-\kappa} \cdot T^\kappa = \text{const.} \quad (19)$$

und zum anderen aus der idealen Gasgleichung (3):

$$T \cdot V_{1-\kappa} = \text{const.} \quad (20)$$

Dies sind die drei Poisson-Gleichungen, auch Adiabatangleichungen genannt.

2.3 Aufgabe1:Methode nach Clement-Desormes

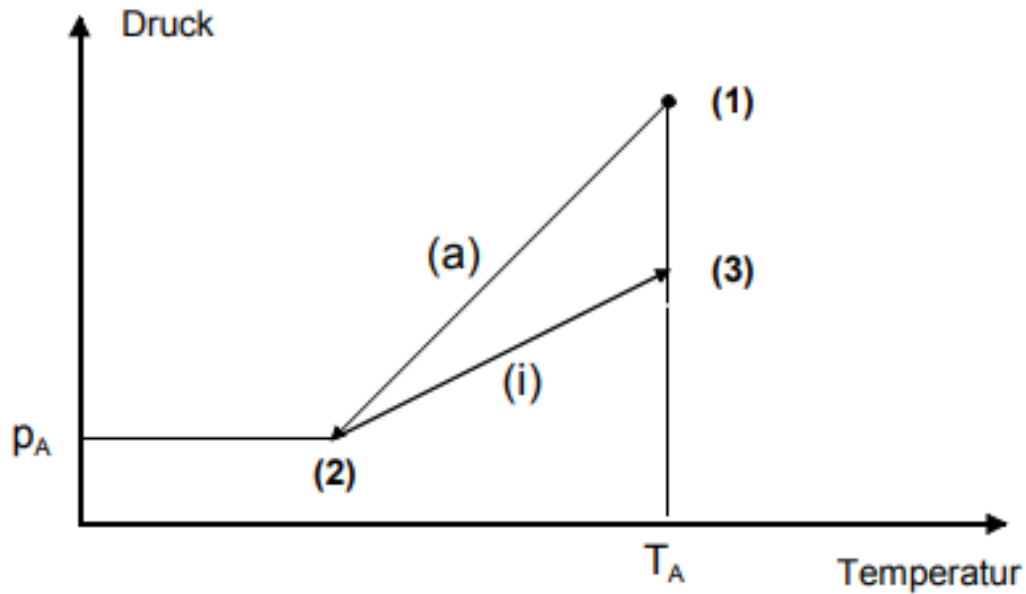


Figure 2: Prozess im Druck-Temperatur-Diagramm

In dieser Methode, die zur Bestimmung des Isentropenindex κ von Luft gedacht ist, wird zunächst ein adiabatischer Prozess (a in der Grafik) von einem Anfangsdruck (1), der über dem Außendruck p_A (2) liegt, durchgeführt. Dies geschieht durch schnelles Entweichen lassen des in einem Behälter enthaltenen Gases. Von diesem Punkt aus wird eine isochore Erwärmung zu Punkt (3) automatisch durchgeführt, welche nach sofortigem Verschließen des Behälters nach Erreichen von Punkt (2) erreicht wird.

Beim adiabatischen Prozess (a) gilt folgende der Poisson-Gleichungen:

$$P^{1-\kappa} T^\kappa = \text{const} \quad (21)$$

Bilden des totalen Differentials ergibt:

$$(1 - \kappa) \frac{dp_{(a)}}{p} + \kappa \frac{dT_{(a)}}{T} = 0 \quad (22)$$

Für den isochoren Prozess (i) gilt folgendes:

$$\frac{P}{T} = \text{const} \quad (23)$$

Hier lautet das totale Differential:

$$\frac{dp_{(i)}}{T} - p \frac{dT_{(i)}}{T^2} = 0 \quad (24)$$

Daraus folgt:

$$\frac{dT_{(i)}}{T} = \frac{dp_{(i)}}{p} \quad (25)$$

Einsetzen in die Gleichung (22) ergibt:

$$(1 - \kappa) \frac{dp_{(a)}}{p} - \kappa \frac{dp_{(i)}}{p} = 0 \quad (26)$$

Dies lässt sich nun nach κ auflösen, und die auftretenden Druckdifferenzen durch Höhendifferenzen, die in der Messung proportional zum Druck sind, ersetzen. Das liefert folgende Messgleichung:

$$\kappa = \frac{dp_{(a)}}{dp_{(a)} + dp_{(i)}} \approx \frac{\Delta h_1}{\Delta h_1 - \Delta h_3} \quad (27)$$

2.4 Aufgabe2:Methode nach Flammersfeld-Rüchert

In dieser Methode wird der Isentropenindex auf die harmonische Bewegung eines Kolbens zurückgeführt. Dabei handelt es sich im Prinzip um den gleichen Prozess wie in der ersten Methode, nur dass hier das Ventil durch den Kolben ersetzt wird und der Ballon zum Pumpen durch eine Gasflasche. Es gilt also wieder

$$\frac{dp}{p} + \kappa \frac{dV}{V} = 0 \quad (28)$$

Auf den Kolben wirkt durch den Druck folgende Kraft:

$$dF = -D \cdot dx \quad (29)$$

wobei D die Federkonstante des harmonischen Oszillators darstellt und dx dessen Auslenkung. Demnach gilt:

$$D = \omega_0^2 \cdot m \quad (30)$$

wobei m die Masse des Kolbens ist. Des Weiteren gilt also:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{\tau} \quad (31)$$

Hierbei stellt τ die Periodendauer dar.

Der Druck kann nun über die Kraft pro Fläche S ausgedrückt werden:

$$dp = \frac{dF}{S} \quad (32)$$

Das Volumen kann durch die Auslenkung und die Fläche beschrieben werden:

$$dV = S \cdot dx \quad (33)$$

Einsetzen dieser Größen in Gleichung (28) liefert folgende Zusammenhänge:

$$D = -\frac{dF}{dx} = -\frac{Sdp}{dx} = \kappa \frac{pS^2}{V} \quad (34)$$

Daraus folgt:

$$\omega_0^2 = \frac{D}{m} = \kappa \frac{pS^2}{mV} \quad (35)$$

Umstellen nach

$$k = \frac{4\pi^2}{T^2} \frac{mV}{pS^2} \quad (36)$$

3 Versuchsdurchführung

3.1 Methode nach Clement-Desormes

Mit dieser Methode soll der Isentropenindex κ über den in Grafik 1 beschriebenen Prozess bestimmt werden. Dafür muss die jeweilige Druckdifferenz zum Außendruck am Anfangs- und Endpunkt bestimmt werden, der im Aufbau auf eine Höhendifferenz zurückgeführt wird.

3.1.1 Aufbau

Der Versuchsaufbau bestand aus einem isolierten Glasgefäß in einer Holzbox. Es war zum einen über ein Glasrohr mit einem Ventil darin mit einem Ballon verbunden. Das Ventil ließ sich auf zwei Arten verschließen, da es sich um einen Glaspfropfen handelte. Er konnte in seiner Halterung gedreht werden und somit verschlossen werden, da er ein Loch besaß, welches bei geöffneter Stellung parallel zum Verbindungsrohr stand. Außerdem ließ sich der Pfropfen herausziehen, was eine wesentlich schnellere Öffnung des Ventils erlaubte.

Mit dem Glasgefäß war des Weiteren noch ein U-Rohr-Manometer verbunden. In ihm befand sich Wasser, welches je nach Druck im Glasgefäß anstieg oder abfiel. Hinter dem Glasrohr mit dem Wasser befand sich eine Skala, auf der die Höhe des Wasserstands abgelesen werden konnte. Der Messfehler der abgelesenen Werte ergab sich aus dem Gerätefehler der Skala von 0.5 mm und einem abgeschätzten Ablesefehler von 0.5 mm, der auch durch leichte Schrägstellung der Skala zustande kam. Somit betrug der Messfehler also 1 mm.

3.1.2 Durchführung

Zunächst wurde für jede Messung bei offenem Ventil der Stand der Skala als Nullpunkt für die Messwerte festgehalten. Dann wurde mit dem Luftballon mehr Luft in den Glasbehälter gepumpt, wobei darauf geachtet wurde, dass der Stand auf der Skala möglichst am obersten Ende dieser war. Das Ventil wurde nach mehreren Pumpstößen geschlossen und es wurde abgewartet, bis der Wasserspiegel sich nicht mehr bewegte. Der Wert auf der Skala wurde immer mit der obersten Wasserkante, dieses bildete nämlich eine leichte Kuhle durch die Oberflächenspannung, abgelesen. Danach wurde der Ventilpfropfen für einen kurzen Moment genügend herausgezogen, um das Ventil zu öffnen und sofort wieder verschlossen. Der Wasserstand im U-Rohr-Manometer fiel dadurch ab, stieg aber noch leicht wieder an. Der Anstieg wurde abgewartet, bevor der Messwert abgelesen wurde. Es wurden zehn dieser Messungen durchgeführt, wobei jeweils zwei nacheinander von einer der Zweiergruppen unserer Praktikumsgruppe gemacht wurden. Es wurde versucht, die Messungen genauso wie die anderen Gruppen durchzuführen.

3.2 Methode nach Flammersfeld-Rüchert

Mit dieser Messmethode soll der Isentropenindex mithilfe eines oszillierenden Kolbens und dessen Periodendauer τ bestimmt werden. Dabei werden drei verschiedene Gase betrachtet: Stickstoff, Kohlenstoffdioxid und Argon.

3.2.1 Aufbau

Der Versuchsaufbau bestand zunächst aus einer Gasflasche mit Drehventil, in der das jeweilige Gas enthalten war. Es wurde durch einen Schlauch in einen Glasbehälter geleitet, der einen runden Bauch und einen schmaleren, länglichen Hals hatte. Im Hals des Behälters befand sich nun ein kleiner Kolben. Er war beweglich und wurde mit steigendem Gasdruck im inneren des Behälters hochgedrückt. Dabei legte er einen Schlitz im Hals des Behälters frei, wodurch ein Druckausgleich mit der Umgebung durch entweichen des Gases entstand. Der hierdurch gefallene Druck führte dazu, dass der Kolben wieder hinunter fiel, bis der Schlitz wieder verschlossen war und der Druck sich im Inneren wieder aufbauen konnte. Eine Lichtschranke mit Periodenzähler konnte U-förmig um den Hals des Behälters angebracht werden, sodass der Kolben die Schranke bei jeder Periode einmal passierte. Die Lichtschranke konnte durch ein Netzteil aktiviert werden und verfügte über einen Knopf zum Nullen der gezählten Perioden. Die Zeit konnte mit einer Handstoppuhr gemessen werden, deren Fehler durch die menschliche Reaktionszeit 0.2 s betrug.

Es gab für jedes verwendete Gas einen eigenen Aufbau.

3.2.2 Durchführung

Zunächst wurden das Volumen V des Behälters, die Masse m des Kolbens und dessen Durchmesser d und deren Fehler aus den Plazzskripten entnommen und der Luftdruck p von der Website des deutschen Wetterdiensts¹ für Berlin Dalem entnommen.

Das Ventil an der Gasflaschen wurde geöffnet und der Kolben begann, auf und ab zu oszillieren. Es wurde darauf geachtet, dass er bei jeder Messung flüssig lief.

Es wurden jeweils 100 Perioden pro Messung gemessen, wobei es zehn Messungen pro Gas gab.

Für jede Messung wurde der Startknopf der Stoppuhr und der Nullknopf der Lichtschranke zugleich betätigt, was die Reaktionszeit beim Start vermindert. Gestoppt wurde, als die Lichtschranke bei 100 Perioden angekommen war.

¹Quelle: dwd.de

4 Messprotokoll

Messprotokoll – Deckblatt

Versuch-Titel:	ISE - Isentropenindex	Datum: 28.06.2023
Studierende ¹ :	John Schütte, Yupeng Yu	
Tutor*in:	Lisa Marie Burger (lisa.marie.burger@fu-berlin.de)	

¹ Verfasser*in unterstreichen

Jeder Studierende muss ein persönliches Protokollheft führen, in dem die Messprotokolle bei der Versuchsdurchführung einzutragen sind. Zu Beginn jedes Messprotokolls muss dieses Messprotokoll-Deckblatt in das Protokollheft eingeklebt sein.

In der linken Spalte der folgenden Tabelle sind die Informationen, die im Messprotokoll für jede Teilaufgabe zu dokumentieren sind, aufgeführt. Die weiteren Felder der Tabelle dienen als Checkliste zum Abhaken. Das Messprotokoll ist am Ende des Versuchstages von dem/der Tutor*in abzuzeichnen. Alle Aufgaben, Gleichungen, Tabellen, und Bilder im Messprotokoll bitte konsequent nummerieren.

Aufgaben-Nr.	1	2	3	4	5
Messaufgabe (z.B. Bestimmung der Brennweite einer Linse)					
Messgleichung und -größen (Symbole bezeichnen)					
Versuchsaufbau (Skizze mit Erläuterungen in sinnvoller Größe nach realem Aufbau – nicht vom Skript übernehmen,)					
Verwendete Geräte (kann mehrere Aufgaben gleichzeitig umfassen)					
Verwendete Messbereiche/Anschlüsse					
Beschreibung der Durchführung der Messung					
Messunsicherheiten der Messgrößen (Quantitative Abschätzung begründen z.B. Ablesegenauigkeit, Reaktionszeit, wiederholte Messungen, Angaben zu den Geräte, Einstellung/Justage, ...)					
Messdaten handschriftlich (vorzugsweise Tabellenform, alle eingehenden Parameter und resultierenden Messwerte, ggf. Kommentare, z.B. bei Messbereichsumstellung während der Messung)					
Im Computer abgelegte Messdaten (Name der Datei, Rechner auf dem die Daten abgelegt sind, Datum und Zeit der Speicherung, Benennung/-schreibung der gespeicherten Daten)					
Beobachtungen bei der Messung / Kommentare (z.B. Messwert nur mit bestimmter Genauigkeit reproduzierbar, Komponente wird warm,...)					
Hinweise zur Auswertung					
Termin für Feedbackgespräch					

Figure 3: Messprotokoll S.1

Messprotokoll

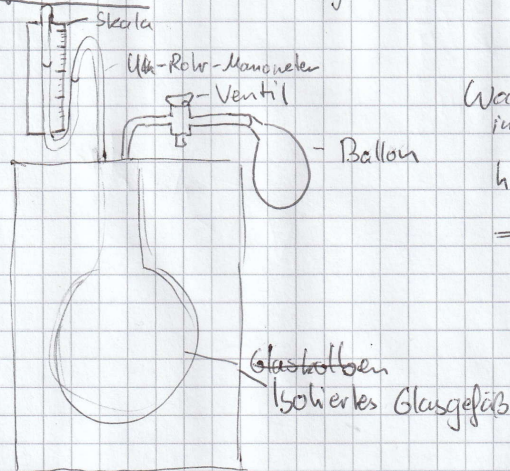
Ziel: Bestimmung des Isentropenindexes / Adiabatenexponenten κ

Messgleichungen

$$(1) \quad \kappa = \frac{\Delta h_1}{\Delta h_1 - \Delta h_3}$$

$$(2) \quad \kappa = \frac{4\pi^2}{\tau^2} \cdot \frac{mV}{pS^2}$$

Aufbau (1)



Messfehler Skala: 0,5 mm Fehle d. Skala
+ 0,5 mm Ablesefehler d. schrägen Stellung d. Skala
=> $\pm 1 \text{ mm}$ gen. Blickwinkel

Wasserstand ablesen: immer an der oberen Kante ablesen.

h_0 ablesen mit offenem Ventil

=> mit Ballon aufpumpen, bis möglichst am oberen Ende der Skala

=> h_1 ablesen

=> h_2 Ventil für 15. ziehen

=> h_3 nach Einpendeln ablesen.

k_0	h_0 / mm	h_1 / mm	h_3 / mm
1	55	115	93
2	56	114	93
3	56	97	72
4	55	94	70
5	55,5	107	77,5
6	56	106 106	66
7	56	103	82
8	56	102	80
9	56	109	88
10	56	108	85

z. Burg
28.06.2023

Figure 4: Messprotokoll S.2

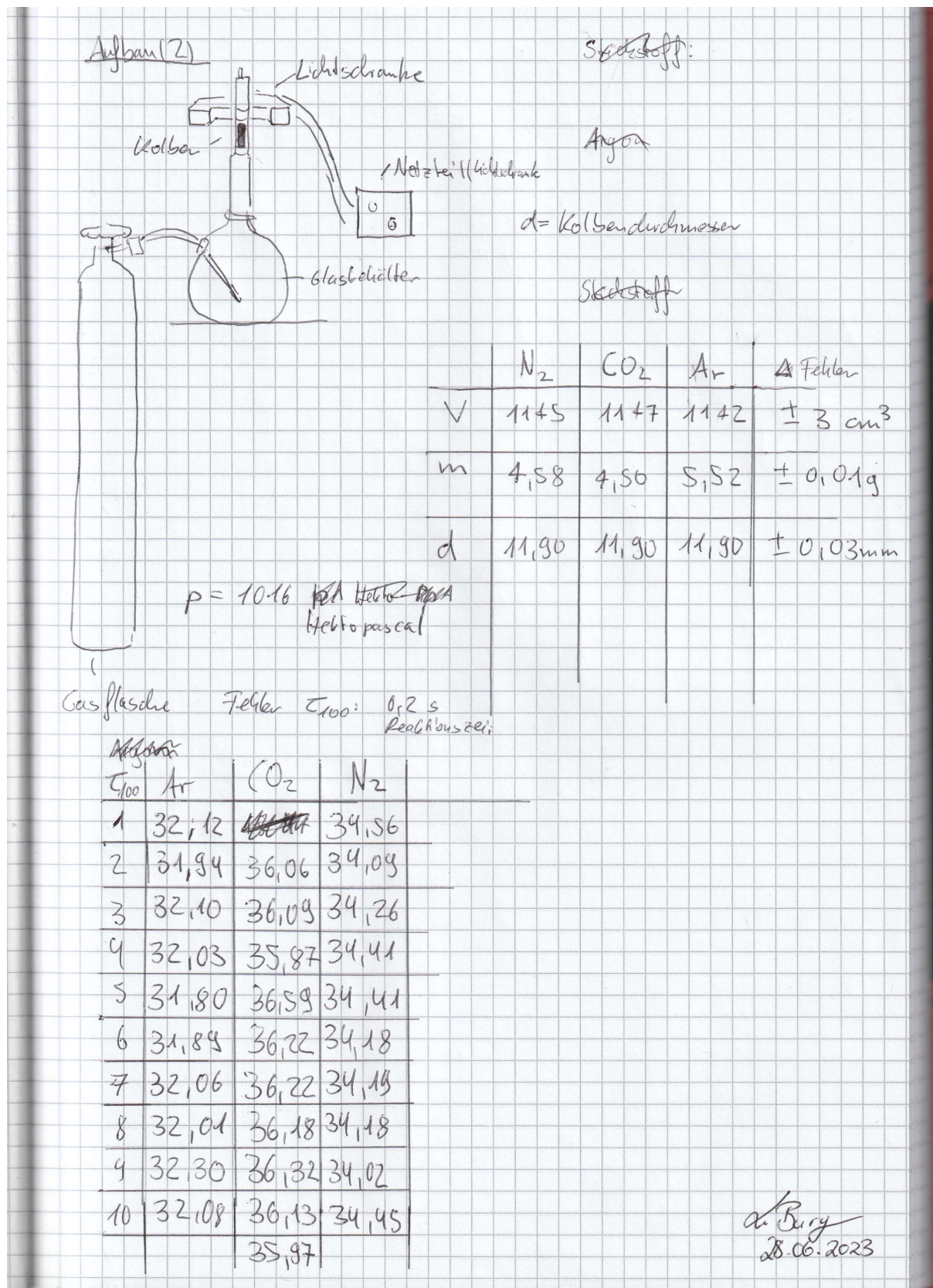


Figure 5: Messprotokoll S.3

5 Auswertung

5.1 Aufgabe 1

Nach (27) ist der Isentropenindex κ mit den von uns gemessenen Höhenunterschieden:

$$\kappa = \frac{\Delta h_1}{\Delta h_1 - \Delta h_3} = \frac{h_1 - h_0}{h_3 - h_1} \quad (37)$$

Damit sieht die Auswertung für alle Werte wie folgt aus:

h0(mm)	h1	h3	k	Δ (k)
55	115	93	2,7	
56	114	93	2,8	
56	97	72	1,6	
55	94	70	1,6	
55,5	107	77,5	1,7	
56	106	66	1,3	
56	103	82	2,2	
56	102	80	2,1	
56	101	88	3,5	
56	108	85	2,3	
			2,2	0,7

Figure 6: Auswertung 1

Der endgültige Wert für κ ergibt sich durch den Mittelwert über die einzelnen Werte, der Fehler ist die Standardabweichung des Mittelwerts. Damit lautet der entgültige Wert des Isentropenindex für Luft:

$$\kappa = 2.2 \pm 0.7$$

5.2 Aufgabe 2

Der Wert für κ ergibt sich aus der Messgleichung (36):

$$\kappa = \frac{4\pi^2}{T^2} \frac{mV}{pS^2} \quad (38)$$

Wir haben jeweils hundert Periodendauern gemessen, d.h. diese müssen für die Rechnung durch hundert geteilt werden, ebenso ihr Fehler. Mit allen im Messprotokoll festgehaltenen Größen ergeben sich aus der Messgleichung nun die einzelnen Werte für κ für die einzelnen Gase:

	/s						
	T100(co2)	T100(N2)	T100(Ar)	k(Co2)	k(N2)	k(Ar)	
	36,06	34,56	32,12	1,25	1,27	1,52	
	36,09	34,09	31,94	1,24	1,26	1,52	
	35,87	34,26	32,1	1,26	1,28	1,54	
	36,59	34,41	32,03	1,21	1,23	1,48	
	36,22	34,18	31,8	1,24	1,26	1,51	
	36,22	34,19	31,89	1,24	1,26	1,51	
	36,18	34,18	32,06	1,24	1,26	1,51	
	36,32	34,02	32,01	1,23	1,25	1,50	
	36,13	34,45	32,3	1,24	1,26	1,52	
	35,97	34,41	32,08	1,25	1,27	1,53	
				1,24	1,26	1,51	
				0,02	0,02	0,02	
V(cm ³)	1147	1145	1142				
m(g)	4,5	4,58	5,52				
d(mm)	11,9	11,9	11,9				

Figure 7: Auswertung 2

Der entgültige Wert für jedes Gas ist wieder der Mittelwert über die einzelnen Werte, der Fehler wieder die Standartabweichung:

$$\kappa_{Co_2} = 1.24 \pm 0.02$$

$$\kappa_{N_2} = 1.26 \pm 0.02$$

$$\kappa_{Ar} = 1.51 \pm 0.02$$

Die jeweiligen Theoriewerte lassen sich mit folgender Formel ermitteln:

$$k = \frac{f + 2}{f} \quad (39)$$

wobei f die Anzahl der Freiheitsgrade ist.

Die Anzahl der Freiheitsgrade hängt von der Struktur der jeweiligen Gasmoleküle ab. Es gibt drei Freiheitsgrade für die Translation. Für Rotationen gibt es drei mögliche zusätzliche Freiheitsgrade:

Argon als einatomiges Gas hat keinen weiteren Freiheitsgrad aufgrund der Rotation, Stickstoff als zweiatomiges Gas hat zwei weitere Freiheitsgrade durch die Rotation und Kohlenstoffdioxid als drei-atomiges, meist in Reihe angeordnetes Gas hat ebenfalls zwei, manchmal drei, wenn die Atome im Dreieck angeordnet sind. Desweiteren gibt es teils Freiheitsgrade in Schwingungen innerhalb des Moleküls. Bei Argon gibt es diese nicht, bei Stickstoff gibt es einen. Bei Kohlenstoffdioxid gibt es theoretisch zwei, jedoch ist die Energie, die in diesen steckt eher gering ausgeprägt, sodass man hier einen weiteren Freiheitsgrad annimmt. Damit ergeben sich folgende Theoriewerte:

	Co2	N2	Ar
f	6	5	3
k(Theorie)	1,3	1,4	1,7

Figure 8: Theoriewerte

6 Diskussion

Der nach der Methode von Clement-Desormes von uns bestimmte Wert für den Isentropenindex von Luft lautet $\kappa = 2.2 \pm 0.7$. Da Luft größtenteils aus zweiatomigen Gasen besteht, ist der Literaturwert der gleiche, wie der von Stickstoff, nämlich $\kappa = 1.4$. Damit liegt er im dreifachen Fehlerintervall unseres Wertes und ist somit verträglich. Das recht große Fehlerintervall kommt hier durch verschiedene Faktoren zusammen:

Zum einen wurden die Messungen von mehreren Zweier-Gruppen durchgeführt, weshalb die Vorgehensweise nicht immer gleich war, was sich auch schon an den Messwerten im Messprotokoll S.4 zeigt. Sowohl waren die Anfangsshöhen immer unterschiedlich, als auch die Zeitspanne, in der das Ventil kurz geöffnet war. Allgemein war es sehr schwierig, gleiche Bedingungen für jede Messung zu garantieren, die Messungen sind nicht gut reproduzierbar.

Die nach der Methode von Flammersfeld-Rüchert bestimmten Werte lauteten die einzelnen Gase $\kappa_{CO_2} = 1.24 \pm 0.02$, $\kappa_{N_2} = 1.26 \pm 0.02$ und $\kappa_{Ar} = 1.51 \pm 0.02$. Die Theoriewerte lauten der Reihe nach: $\kappa_{CO_2} = 1.3$, $\kappa_{N_2} = 1.4$ und $\kappa_{Ar} = 1.7$. Somit liegt keiner dieser

Werte im dreifachen Fehlerintervall und unsere Werte unterscheiden sich signifikant von den Literaturwerten. Dies kann verschiedene Gründe haben, zum Beispiel kann es sein, dass sich der Kolben im Glashals des Behälters nicht so reibungsfrei bewegen konnte, wie angenommen, wodurch sich ein systematischer Fehler in der gemessenen Periodendauer ergäbe. Außerdem kann der Fehler in der Reaktionszeit größer gewesen sein, als angenommen.

Vergleicht man jedoch die beiden Messmethoden, wird trotzdem sehr deutlich, dass die Methode nach Flammersfeld-Rüchert genauere Werte und kleinere Fehler liefert, die Fehler müssten bei Weitem nicht so groß sein wie der nach der ersten Methode, damit die Werte mit dem Literaturwert verträglich wären. Allgemein wurde deutlich, dass nach der Methode von Flammersfeld-Rüchert die Messungen deutlich leichter zu reproduzieren waren, als bei der Methode von Clement-Desormes, durch die große Ungenauigkeit beim Ziehen des Ventilpfropfens.

7 Fazit

In diesem Versuch haben wir den Isentropenindex verschiedener Gase mit zwei verschiedenen Messmethoden bestimmt: Zum einen mit der Methode von Clement-Desormes, und zum anderen mit der von Flammersfeld-Rüchert.

Dabei wurde deutlich, dass eine gut reproduzierbare Versuchsdurchführung essentiell für die Genauigkeit der Messergebnisse ist. Obwohl bei beiden Methoden die Reproduzierbarkeit unter systematischen Fehlern litt, war dennoch ein großer Unterschied in der Genauigkeit der Methoden zu erkennen.