

# Grundpraktikum der Physik

## Versuch X

### Adiabatexponent

Oliver Heinrich (oliver.heinrich@uni-ulm.de),  
Bernd Kugler (bernd.kugler@uni-ulm.de)

Versuchsdatum: 09. Oktober 2006

Betreuer: Thomas Bschorr

20. Oktober 2006

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>3</b>
1.1	Definitionen und Begriffe . . . . .	3
1.1.1	Das thermodynamische System . . . . .	3
1.1.2	Zustandsgrößen . . . . .	3
1.1.3	Freiheitsgrade . . . . .	3
1.2	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik . . . . .	4
1.3	Die Zustandsgleichungen . . . . .	5
1.3.1	Gleichung für das ideale Gas . . . . .	5
1.3.2	Gleichung für das reale Gas . . . . .	5
1.3.3	Die Poisson-Gleichung . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Versuchsbeschreibung</b>	<b>6</b>
2.1	Versuch von Clément - Desormes . . . . .	6
2.2	Versuch von Rüchardt . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Versuchsauswertung</b>	<b>10</b>
3.1	Veruch von Clément - Desormes . . . . .	10
3.2	Versuch von Rüchardt . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Fehlerdiskussion</b>	<b>14</b>
4.1	Clément-Desormes . . . . .	14
4.2	Rüchardt . . . . .	14
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>15</b>

# 1 Theoretische Grundlagen

## 1.1 Definitionen und Begriffe

### 1.1.1 Das thermodynamische System

Ein **thermodynamisches System** ist ein System von Atomen oder Molekülen, das in Wechselwirkung zur Umgebung steht. Dabei wird Energie in Form von Wärme oder mechanischer Arbeit ausgetauscht. Solch ein System kann durch die Größen Temperatur, Druck, Volumen, Teilchendichte und weitere beschrieben werden. Ein thermodynamisches System kann *offen*, dh. ein Stoffaustausch mit der Umgebung ist möglich, wobei aber die Masse des Systems erhalten bleibt, *geschlossen*, dh. kein Stoffaustausch, jedoch ein Energieaustausch mit der Umgebung, ist möglich, *adiabatisch*, dh. kein Wärmeaustausch mit der Umgebung ist möglich, und *abgeschlossen*, dh. es besteht keine Wechselwirkung zwischen System und Umgebung, sein.

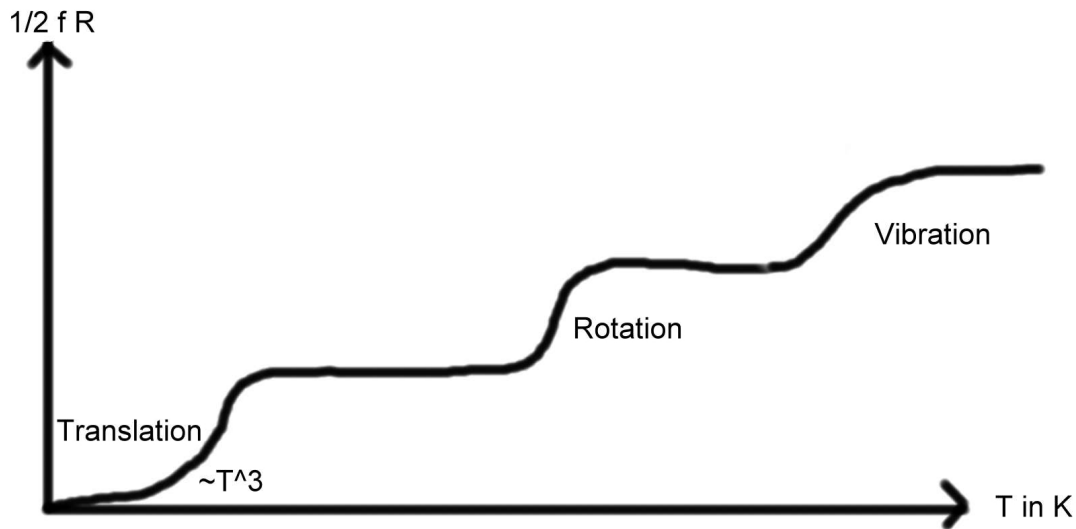
### 1.1.2 Zustandsgrößen

Der Zustand eines Systems beschreibt die Gesamtheit seiner Eigenschaften, die durch die äußeren Bedingungen festgelegt sind. Es ist vollständig bestimmt durch seine chemische Zusammensetzung, den Druck  $p$ , das Volumen  $V$  und die Temperatur  $T$ . Sind diese Größen zeitlich konstant, so ist das System im *Gleichgewichtszustand* und es heißt *stationär*. Die drei Eigenschaften Volumen, Druck und Temperatur heißen **Zustandsgrößen**, weil durch sie ein Gleichgewichtszustand eindeutig bestimmt ist. Die Zustandsgrößen werden durch die Zustandsgleichungen verknüpft .

### 1.1.3 Freiheitsgrade

Die **Freiheitsgrade**  $f$  eines Systems sind Parameter, in denen es sich frei bewegen kann. Man unterscheidet Translations-, Rotations- und Schwingungsfreiheitsgrade. Die Freiheitsgrade der Translation sind die in die drei Raumrichtungen  $x, y, z$ . Der Rotationsfreiheitsgrad beschreibt die Anzahl der möglichen Drehrichtungen und der Schwingungsfreiheitsgrad bezeichnet die Anzahl der möglichen Schwingrichtungen. So hat zum Beispiel ein freier starrer Körper 6 Freiheitsgrade, 3 der Translation und 3 der Rotation. Ein einzelnes Heliumatom hat 3 Freiheitsgrade, 3 der Translation, 0 der Rotation, da die Masse der sich um den schweren Atomkern kreisenden Elektronen zu gering ist, um ein Trägheitsmoment zu erzeugen und 0 der Vibration. Ein Wasserstoffmolekül, das sich aus zwei Atomen zusammensetzt, hat hingegen 7 Freiheitsgrade. Drei der Translation in alle Raumrichtungen, 2 der Rotation in 2 Raumrichtungen, die Drehrichtung um die Verbindungsachse fällt, aus dem selben Grund, weshalb das Heliumatom keinen Rotationsfreiheitsgrad besitzt, raus, und zwei der Vibration, die sich aus der Schwingung der beiden Atome aufgrund elektromagnetischer Anziehung und Abstoßung gegeneinander ergeben. Jedoch sind nicht alle Freiheitsgrade bei jeder Temperatur wirksam. Deshalb hat das Kohlenstoffdioxid ( $CO_2$ ) bei Raumtemperatur ungefähr 6,857, der Stickstoff  $N_2$

5 und das Argon  $Ar$  3 aktive Freiheitsgrade. Die Energie verteilt sich nach dem *Äquipartitionsprinzip* gleichmäßig auf die einzelnen Freiheitsgrade.



## 1.2 Der erste Hauptsatz der Thermodynamik

Der erste Hauptsatz ist ein Energieerhaltungssatz und lautet:

$$dU = \delta Q + dW \quad (1)$$

In Worten: Die Summe der einem System von außen zugeführten Wärme und der zugeführten Arbeit ist gleich der Zunahme seiner inneren Energie.

Die innere Energie kann auch so angegeben werden:

$$U = \frac{1}{2} \cdot \nu \cdot f \cdot R \cdot T \quad (2)$$

Aus dem ersten Hauptsatz folgt die Unmöglichkeit, ein *Perpetuum Mobile erster Art*, also eine Maschine, die mehr Energie abgibt, als ihr zugeführt wird, zu bauen.

Bei idealen Gasen gilt für die Arbeit, die gegen den Druck  $p$  eine Expansion um  $dV$  leistet:

$$dW = -p \cdot dV \quad (3)$$

Somit gilt für den **ersten Hauptsatz idealer Gase**:

$$dU = \delta Q - p \cdot dV \quad (4)$$

Die Größe  $Q$  ist keine Zustandsgröße, weil sich der Zustand eines Systems nicht durch  $Q$  eindeutig definieren lässt, da sich sowohl  $U$  als auch  $V$  ändern können. Das bedeutet, dass  $\delta Q$  kein totales Differential ist ( $dQ \neq \delta Q$ ).

Bleibt das Volumen konstant (isochorer Prozess), dann ist die Volumenänderung  $dV$  Null. Somit gilt:

$$dU = \delta Q \quad (5)$$

$$U = \frac{1}{2} \cdot \nu \cdot f \cdot R \cdot T = C_V \cdot T \quad (6)$$

$C_V$  gibt die Wärmekapazität an.

Insgesamt ergibt sich dann:

$$C_V = \frac{1}{2} \cdot f \cdot R \quad (7)$$

Für  $C_p$ , die Wärmekapazität bei konstantem Druck (isobarer Prozess), ergibt sich:

$$C_p = \frac{f + 2}{2} \cdot R \quad (8)$$

Der Adiabatenkoeffizient ist wie folgt definiert:

$$\kappa = \frac{C_p}{C_V} = 1 + \frac{2}{f} \quad (9)$$

### 1.3 Die Zustandsgleichungen

Zustandsgleichungen sind der funktionale Zusammenhang zwischen den thermodynamischen Zustandsgrößen. Durch sie lässt sich der Zustand eines thermodynamischen Systems beschreiben.

#### 1.3.1 Gleichung für das ideale Gas

Das ideale Gas besteht aus Massepunkten, die aufeinander keine Wechselwirkung haben. Als Vertreter des idealen Gases werden gern einatomige Gase wie Helium (He) oder Edelgase herangezogen. Die Zustandsgleichung für das ideale Gas lautet:

$$p \cdot V = \nu \cdot R \cdot T \quad (10)$$

$N$ : Anzahl der Moleküle

$N_A$ : Avogadrokonstante  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

$R$ : allgemeine Gaskonstante  $R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$

$\nu = \frac{N}{N_A}$

#### 1.3.2 Gleichung für das reale Gas

Die Moleküle des realen Gases besitzen ein Eigenvolumen und haben Anziehungskräfte aufeinander. Die **van-der-Waals-Gleichung** lautet:

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right) \cdot (V - b) = R \cdot T \quad (11)$$

Hierbei wurde die Zustandsgleichung um zwei Korrekturterme erweitert.

$b$  ist das Vierfache der Eigenvolumina der  $N_A$  Teilchen

$a$  ist eine Konstante, die von der Art und Stärke der anziehenden Wechselwirkung zwischen den Atomen bzw. Molekülen des realen Gases abhängt

### 1.3.3 Die Poisson-Gleichung

Bei einem *adiabatischen Prozess* findet kein Wärmeaustausch mit der Umgebung statt. Also ist:  $dQ = 0$ . Der erste Hauptsatz für adiabatische Vorgänge lautet:

$$dU = C_V \cdot dT = -p \cdot dV \quad (12)$$

Löst man die Gleichung (5) nach  $p$  auf und setzt es in Gleichung (7) ein, so folgt:

$$C_V \cdot \frac{dT}{T} = -R \cdot \frac{dV}{V} \quad (13)$$

Durch Integration folgt:

$$C_V \cdot \ln T = -R \cdot \ln V + \text{const} \quad (14)$$

$$\Rightarrow \ln(T^{C_V} \cdot V^R) = \text{const} \quad (15)$$

Da  $R = C_p - C_V$  folgt:

$$T^{C_V} \cdot V^{C_p - C_V} = \text{const} \quad (16)$$

Durch Ziehen der  $C_V$ -ten Wurzel und den *Adiabatindex*  $\kappa = \frac{C_p}{C_V}$  folgt:

$$T \cdot V^{\kappa - 1} = \text{const} \quad (17)$$

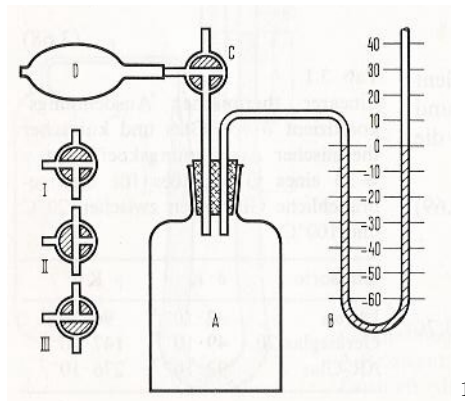
Da  $T = \frac{p \cdot V}{R}$  ergibt sich:

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

Die Gleichungen (11) bis (13) heißen **Poissonsche Gleichungen** oder **Adiabatengleichung**. Für ein ideales Gas ist  $f = 3$  und  $\kappa = \frac{f+2}{f} = \frac{5}{3}$ . Für Stickstoff ist  $f = 5$  und  $\kappa = \frac{7}{5}$ .

## 2 Versuchsbeschreibung

### 2.1 Versuch von Clément - Desormes



<sup>1</sup>Walcher

- A: Rezipient
- B: U-Rohrmanometer
- C: Dreiweghahn mit den Stellungen I, II und III
- D: Blasebalg

Zur Bestimmung des Adiabatenexponenten der Luft mittels der *Clément-Desormes-Methode* benötigt man einen Rezipienten, der auf der einen Seite mit einem Blasebalg, auf der anderen mit einem U-Rohrmanometer abgeschlossen ist. Der Blasebalg ist durch einen Dreiweghahn mit dem Gefäß verbunden. Zunächst kennzeichnet man die Nullstellung am Manometer. Dann pumpt man den Rezipient auf (Stellung I). Die Flüssigkeitssäule steigt (rechts). Nun schließt man den Hahn. Die Säule sinkt etwas, da sich das Gas, das sich durch den Überdruck erwärmt hat, wieder abkühlt und so das Volumen kleiner wird. Nach Markierung dieser Stellung wird das Volumen kurz (adiabatisch), entweder durch Ziehen eines Dichtungspfropfens oder durch Öffnen des Hahns (Stellung II), geöffnet. Das Gas entweicht, die Flüssigkeitssäule sinkt. Nach kurzer Zeit steigt sie aber wieder an, da sich die Temperatur wieder auf Zimmertemperatur erwärmt. Die letzte Stellung wird auch markiert. Zuletzt muss man noch  $\Delta h_1$  und  $\Delta h_2$  ablesen und kann durch die Formel (25) den Adiabatenexponenten bestimmen.  $\Delta h_1$  ist der Abstand des Punktes nach dem Aufpumpen und einer kurzen Abkühlungszeit von der Nullstellung und  $\Delta h_2$  ist der Abstand von der Stellung nach dem Öffnen und dem Ansteigen der Flüssigkeitssäule vom Nullpunkt. Die folgende Herleitung stammt weitgehend aus dem Walcher.

- Stellung I: Gefäß nach dem Aufpumpen verschlossen

$$V = V_0 \quad T = T_0 \quad p = b + \Delta p_1 \quad (19)$$

- Stellung II: Verbinden des Rezipienten mit der Außenluft  $\Rightarrow$  Druckausgleich durch Expansion des Gases wird Arbeit gegen den Umgebungsdruck geleistet. Die Temperatur des Gases sinkt.

$$V = V_0 + \Delta V \quad T = T_0 - \Delta T \quad p = b \quad (20)$$

- Stellung III: Absperren des Rezipienten sofort nach dem Druckausgleich

$$V = V_0 \quad T = T - \Delta T \quad p = b \quad (21)$$

- Nach der Erwärmung der Luft im Gefäß steigt der Druck um  $\Delta p_2$  an. Der Hahn ist dabei geschlossen (isochor).

$$V = V_0 \quad T = T_0 \quad p = b + \Delta p_2 \quad (22)$$

Der Übergang von Zustand (14) zu Zustand (15) sind durch die *Poisson-Gleichung* verknüpft. Aufgrund des kurzen Druckausgleichs und dem damit verbundenem geringen Wärmeaustausch, kann der Vorgang genähert als *adiabatisch* betrachtet werden. Daher ergibt sich:

$$(b + \Delta p_1)V_0^\kappa = b(V_0 + \Delta V)^\kappa \quad (23)$$

und

$$(T_0 - \Delta T)(V_0 + \Delta V)^{\kappa-1} = T_0 V_0^{\kappa-1} \quad (24)$$

Da  $\Delta V \ll V_0$  gilt:

$$(V_0 + \Delta V)^\kappa = V_0^\kappa \left(1 + \frac{\Delta V}{V_0}\right)^\kappa \approx V_0^\kappa + \kappa V_0^{\kappa-1} \Delta V \quad (25)$$

Mit den Näherungen (18) und (19) wird:

$$\frac{\Delta p_1}{b} = \kappa \frac{\Delta V}{V_0} \quad \frac{\Delta T}{T_0} = (\kappa - 1) \frac{\Delta V}{V_0} \quad (26)$$

Zusammen:

$$\frac{\Delta T}{T_0} = \frac{\kappa - 1}{\kappa} \frac{\Delta p_1}{b} \quad (27)$$

Die Gleichungen (16) und (17) sind über die *Zustandsgleichung idealer Gase* miteinander verknüpft:

$$\frac{b}{b + \Delta p_2} = \frac{T_0 - \Delta T}{T_0} = 1 - \frac{\Delta T}{T_0} \quad (28)$$

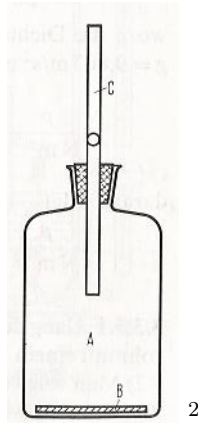
Durch Einsetzen von (22) in (23) und nach Auflösen nach  $\kappa$  ergibt sich, weil  $\Delta p_1 \ll b$ :

$$\kappa = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_1 - \Delta p_2} \quad (29)$$

Da  $p = \rho gh$ :

$$\kappa = \frac{\Delta h_1}{\Delta h_1 - \Delta h_2} \quad (30)$$

## 2.2 Versuch von Rüchardt




---

<sup>2</sup>Walcher



A: Rezipient

C: Präzisionsglasrohr mit Schwinger

Bei der Bestimmung des Adiabatenexponenten  $\kappa$  nach *Rüchardt* wird ständig ein Gas in einen Rezipienten mit veränderlichem Volumen gepumpt, um die Dämpfung der Schwingung möglichst klein zu halten. Das Volumen ist bis auf ein kleines Loch im Glasrohr abgeschlossen. In dem Rohr befindet sich ein Schwinger, der dieses abschließt. Mittels einer Lichtschranke wird die Periodendauer des Schwingers bestimmt, mit der man den Adiabatenexponent des jeweiligen Gases (Gleichung (39)) berechnen kann.

$$p \cdot V^\kappa = \text{const} \quad (31)$$

$$p_0 \cdot V_0^\kappa = (p_0 + dp) \cdot (V_0 + dV)^\kappa = (p_0 + dp)V_0^\kappa \left(1 + \frac{dV}{V_0}\right) = (p_0 + dp)(V_0^\kappa + V_0^{\kappa-1}dV) \quad (32)$$

$$p_0 V_0^\kappa = p_0 V_0^\kappa + \kappa p_0 V_0^{\kappa-1} dV + dp V_0^\kappa + \kappa V_0^{\kappa-1} dp dV \quad (33)$$

$$0 = \kappa p_0 V_0^{\kappa-1} dV + dp V_0^\kappa \quad (34)$$

$$-dp V_0^\kappa = \kappa p_0 V_0^{\kappa-1} dV \quad (35)$$

$$-dp = \frac{\kappa p_0 dV}{V_0} \quad (36)$$

$$p = \frac{F}{A} \quad (37)$$

$$dF = dp \cdot A = \ddot{x} \quad (38)$$

$$-\frac{\kappa p_0}{V_0} A^2 x = m \ddot{x} \quad (39)$$

$$\ddot{x} + \underbrace{\frac{\kappa p_0 A^2}{V_0 m}}_{\omega^2} x = 0 \quad (40)$$

$$\omega^2 = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = \frac{\kappa p_0 A^2}{V_0 m} = \frac{\kappa p_0 A^2}{m} \cdot (V_1 + V_2) \quad (41)$$

$$V_1 + V_2 = \frac{1}{4\pi^2} T^2 \frac{\kappa p_0 A^2}{m} \quad (42)$$

$$V_2 = \frac{\kappa p_0 A^2}{4\pi^2 m} T^2 - V_1 \quad (43)$$

$$\kappa = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot \frac{1}{A^2} \cdot \frac{V_0 m}{p_0} \quad (44)$$

### 3 Versuchsauswertung

#### 3.1 Veruch von Clément - Desormes

$\Delta h_1$ in cm	$\Delta h_2$ in cm	$h_1/(h_1-h_2)$	$\pm\Delta h$	Messfehler
Pfropfen raus:	10,0 3,0	Kappa:	1,429	0,1 cm
	9,7 2,3		1,311	0,1 cm
	10,2 4,1		1,672	0,1 cm
	12,2 5,3		1,768	0,1 cm
	9,7 4,6		1,902	0,1 cm
Hahn drehen:	9,3 2,1		1,292	0,1 cm
	10,5 2,1		1,250	0,1 cm
	9,4 1,9		1,253	0,1 cm
	9,6 1,9		1,247	0,1 cm
	9,4 1,9		1,253	0,1 cm
	10,4 2,2		1,268	0,1 cm
		Mittelwert:	Pfropfen	1,562
			Hahn	1,254
			gesamt	1,422

Für den *Gauß-Fehler* benötigt man die partiellen Ableitungen:

$$\frac{\partial \kappa}{\partial h_1} = -\frac{h_2}{(h_1 - h_2)^2} \quad (45)$$

$$\frac{\partial \kappa}{\partial h_2} = \frac{h_1}{(h_1 - h_2)^2} \quad (46)$$

Diese Ableitungen und die Messungenauigkeit von einem Millimeter kommen in die Gauß-Formel:

$$|\Delta f| = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2} \quad (47)$$

Somit ergibt sich für den Mittelwert aus dem Gauß-Fehler von allen elf Messungen: 0,0217  
Das Ergebnis lautet:

Der Adiabatenindex $\kappa = 1,422 \pm 0,0217$
---

Der Stöcker gibt einen Wert für den Adiabatenexponenten von 1,40 an. Die relative Abweichung zu unserer Messung beträgt 1,5 % .

#### 3.2 Versuch von Rüchardt

Der 0,0165 kg schwere Schwinger hat einen Durchmesser von 0,0165 m. Somit ergibt sich für die Fläche A vom Rohr C 0,00021382 m<sup>2</sup>. Der Stempel zur Variation des Volumens hat

einen Durchmesser von 0,103 m. Die Messung von 25 Periodendauern bei unterschiedlich weit eingedrückten Stempeln, also unterschiedlichen Volumina, ergab folgendes:

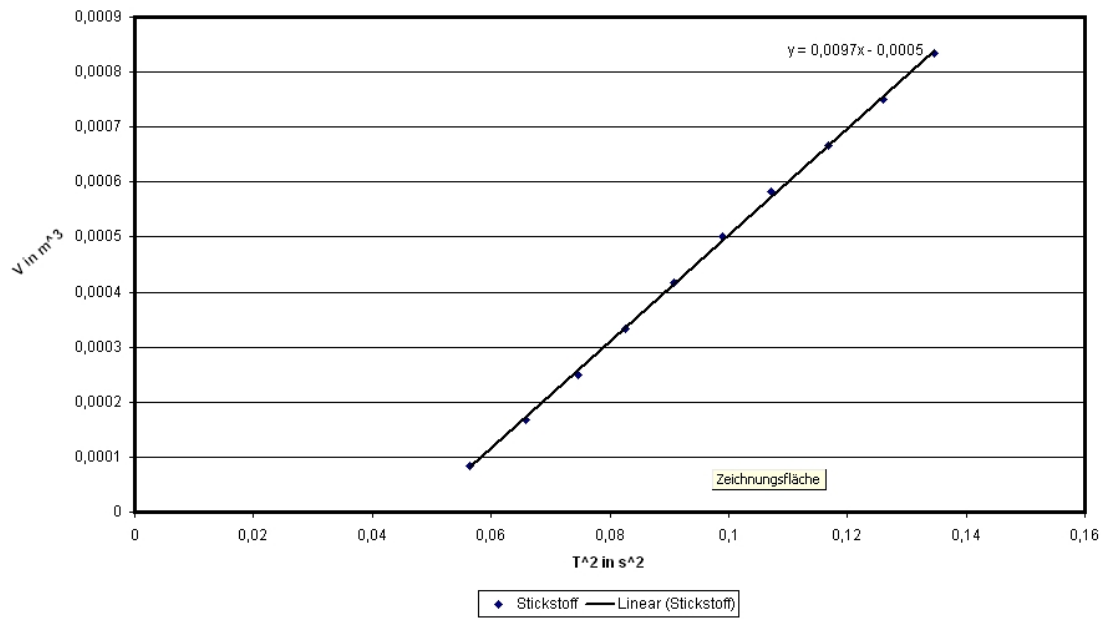
<b>25 Perioden</b>								
	Stempellänge	T in ms		Stempellänge	T in ms		Stempellänge	T in ms
	in cm			in cm			in cm	
$CO_2$	1	6163	Ar	1	5726	$N_2$	1	5940
	1,5	6395		2	6105		2	6419
	2	6613		3	6462		3	6828
	2,5	6834		4	6785		4	7190
	3	7029		5	7111		5	7533
	4	7419		6	7407		6	7866
	5	7766		7	7693		7	8182
	6	8147		8	7971		8	8545
	7	8507		9	8237		9	8876
	8	8834		10	8476		10	9172

Nun nur noch eine Periodendauer, die Zeit in Sekunden und das Volumen:

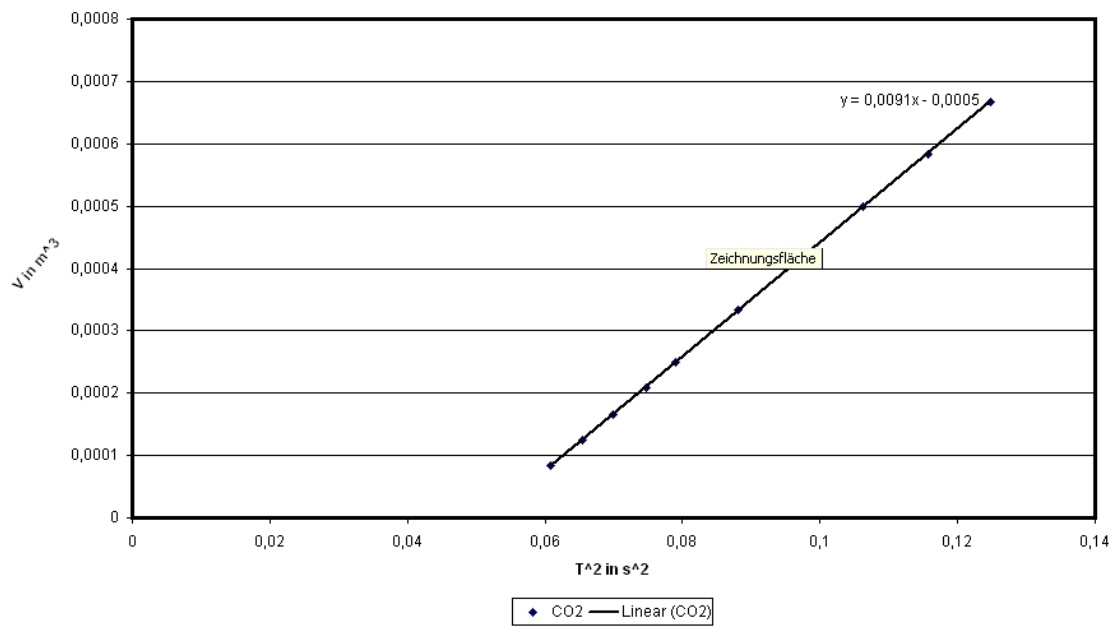
<b>1 Periode</b>					
$CO_2$		Ar		$N_2$	
$T^2$ in s	V	$T^2$ in s	V	$T^2$ in s	V
0,06076	8,3322E-05	0,0524593	0,000083322	0,05645376	0,000083322
0,06542	0,00012498	0,0596336	0,000166644	0,065925698	0,000166644
0,06997	0,00016664	0,0668119	0,000249966	0,074594534	0,000249966
0,07473	0,00020831	0,073658	0,000333288	0,08271376	0,000333288
0,07906	0,00024997	0,0809061	0,00041661	0,090793742	0,00041661
0,08806	0,00033329	0,0877818	0,000499932	0,09899833	0,000499932
0,0965	0,00041661	0,0946916	0,000583254	0,107112198	0,000583254
0,10619	0,00049993	0,1016589	0,000666576	0,11682724	0,000666576
0,11578	0,00058325	0,1085571	0,000749898	0,126053402	0,000749898
0,12487	0,00066658	0,1149481	0,00083322	0,134600934	0,00083322

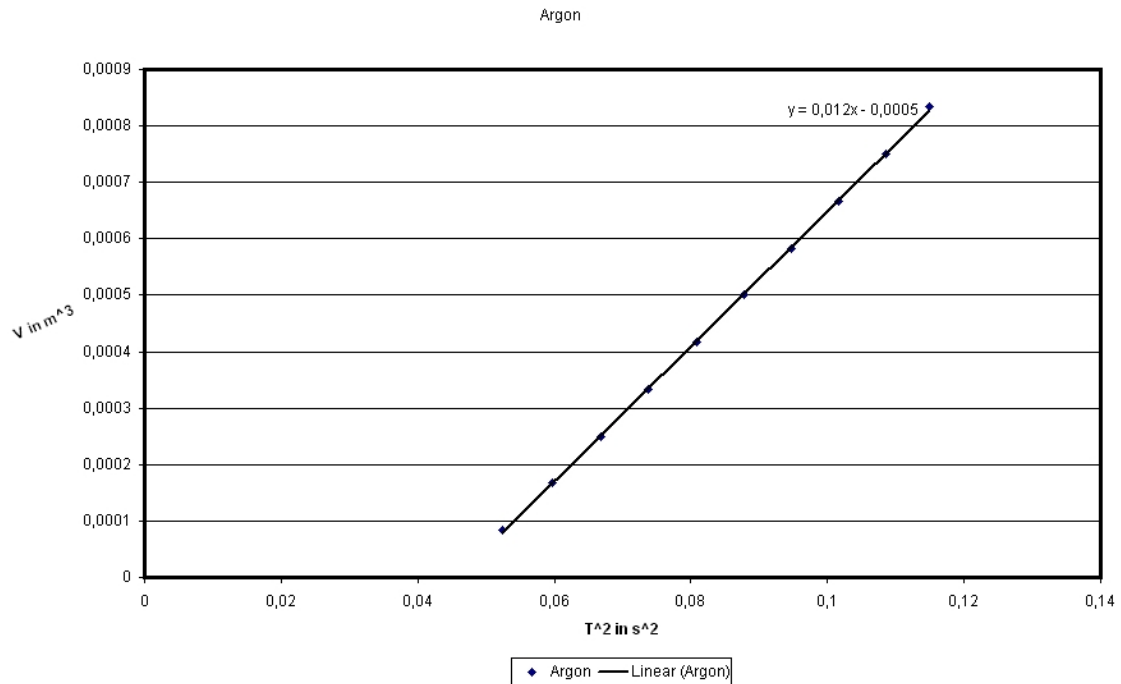
Trägt man die Messwerte in ein  $T^2$ -V-Diagramm und lässt sich die lineare Regression ausgeben, so ergibt sich:

Stickstoff



Kohlenstoffdioxid





Nun kann man den Adiabatenindex mit der Formel  $\kappa = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot \frac{1}{A^2} \cdot \frac{V_0 m}{p_0}$  ausrechnen. Für  $\frac{V_0}{T^2}$  setzt man die jeweilige Geradensteigung ein und  $p_0$  ist die Summe aus dem gemessenen Luftdruck (712 torr) und dem Druck, der durch die Gewichtskraft des Schwingers entsteht.

$$p_0 = 95680,855 \text{ Pa.}$$

Der Gaußfehler errechnet sich mit der Formel (47). Die Messungenauigkeiten sind für den Druck 13,33 Pa, für die Masse des Schwingers 0,1 g und für die Fläche 0,00001 m<sup>2</sup>. Somit ergibt sich:

Gas	$\kappa$ gemessen	$\kappa_{Lit}$	Gaußfehler	relativer Fehler
N <sub>2</sub>	1,444	1,401	0,09	+ 3,07 %
CO <sub>2</sub>	1,355	1,293	0,08	+ 4,80 %
Ar	1,787	1,648	0,10	+ 8,43 %

Literaturwerte der Adiabatenexponenten			
Gas	Freiheitsgrade	mit $\kappa$ berechnet	$\kappa_{Lit}$
CO <sub>2</sub>	6,9	1,29	3
N <sub>2</sub>	5,0	1,40	
Ar	3,1	1,65	
Luft	5,0	1,40	

<sup>3</sup>Stöcker: „Taschenbuch der Physik“

## 4 Fehlerdiskussion

### 4.1 Clément-Desormes

Der Wert, den man für den Adiabatenexponent erhält, stimmt mit dem Literaturwert sehr gut überein. Der Literaturwert liegt im Intervall des Gaußfehlers. Dennoch sieht man, dass der Wert, den man durch Ziehen des Pfropfens erhält, meist über dem Literaturwert liegt, und der, den man durch Drehen des Hahnes bekommt unter dem Literaturwert. Dies könnte folgenden Grund haben: Beim Öffnen des Gefäßes zwecks Druckausgleich waren die Öffnungszeiten bei beiden Methoden nicht gleich lang. Beim Ziehen des Pfropfens war die Öffnungszeit offenbar zu kurz, um den gesamten Überdruck ausgleichen zu können. Umgekehrt verhielt es sich beim Drehen des Hahnes. Dieser muss zu lange geöffnet gewesen sein, so dass schön etwas Wärme ausgetauscht werden konnte und die Flüssigkeitssäule nicht mehr so stark anstieg. Dieser Vorgang kann nicht mehr als adiabatisch betrachtet werden.

### 4.2 Rüchardt

Bei dem Versuch von Rüchardt könnte ein Problem gewesen sein, dass der Schwingvorgang durch die Reibung nicht ganz harmonisch war. Zudem ist darauf zu achten, dass der Zylinder vollständig mit dem jeweiligen Gas befüllt ist. Dies wurde so umgesetzt, dass man vor dem Messen der Periodendauern das Gas einige Zeit in den Zylinder einströmen lies.

## 5 Literaturverzeichnis

- W. Walcher: „Praktikum der Physik“, 5. Auflage, 1985, Teubner Studienbücher
- Demtröder: „Experimentalphysik 1“, 3. Auflage, 2003, Springer
- Stöcker: „Taschenbuch der Physik“, Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt am Main, 2. Auflage, 1994
- <http://ap.physik.uni-konstanz.de/Anleitungen/Adiabatensexponent.pdf>