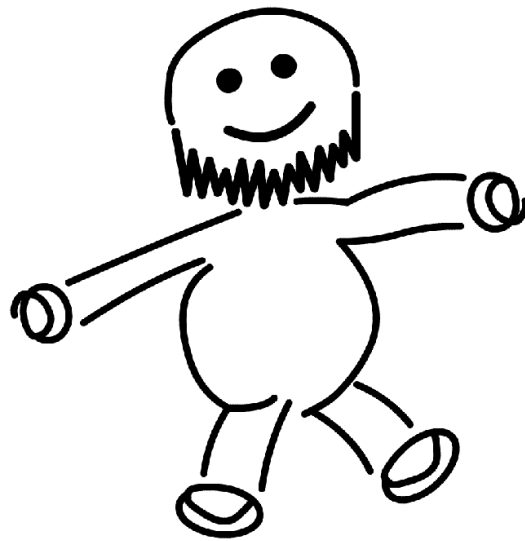


Physikalisches Praktikum für das Hauptfach Physik

Versuch 06

Spezifische Wärme der Luft und Gasthermometer

Sommersemester 2005



Name:	Daniel Scholz
Mitarbeiter:	Hauke Rohmeyer
E-Mail:	physik@mehr-davon.de
Gruppe:	13
Assistent:	Dagmar Steinhauser
Durchgeführt am:	30. Juni 2005
Protokoll abgeben:	7. Juli 2005
Protokoll verbessert:	14. Juli 2005

Unterschrift:

Testiert: _____

1 Einleitung

Der Versuch gliedert sich in zwei Teile.

Im ersten Teil wird das *Gasthermometer* behandelt. Es wird der Druck eines Gases in Abhängigkeit der Temperatur gemessen, um daraus den absoluten Temperaturnullpunkt zu bestimmen.

Der zweite Teil beschäftigt sich mit der *spezifischen Wärme der Luft*. Einem Gasgemisch wird eine bestimmte Menge Energie zugeführt, und die jeweilige Druckänderung gemessen.

2 Theorie

2.1 Das Gasthermometer

Beim Gasthermometer wird ein konstantes Gasvolumen V in einem Glaszylinder, der sich in einem Wasserbad befindet, durch eine Heizplatte erwärmt bzw. mit Eis abgekühlt. Ein digitales Differenzdruckmessgerät misst nun die Druckdifferenz Δp zwischen Gasdruck p und dem umgebenen Luftdruck p_0 . Somit herrscht bei der Temperatur T ein Druck von

$$p(T) = \Delta p + p_0,$$

wobei p_0 der äußere Gasdruck [Luftdruck] ist.

2.2 Die Temperatur

Die Temperatur ist ein Maß für die mittlere kinetische Energie der Moleküle. Die genaue Definition ist

$$E = \frac{1}{2} m \langle \vec{v}^2 \rangle = \frac{3}{2} k_b T$$

mit der Boltzmannkonstante $k_b = 1,381 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$.

Aus dieser Definition kann man erkennen, dass es eine Temperatur gibt, die nicht unterschreitbar ist, nämlich genau dort, wo die Geschwindigkeit der Moleküle [und somit ihre kinetische Energie] Null ist. Bei dieser Temperatur sind alle Moleküle völlig in Ruhe, sie liegt bei $-273,15^\circ C$ ¹.

Von diesem *absoluten Nullpunkt* zählt man die *absolute* oder *Kelvin Temperatur*. Die Skalenabschnitte sind wie bei der gewohnten Celsius Temperatur. Für die Umrechnung einer Celsius Temperatur zur Kelvin Temperatur gilt also

$$x^\circ C = (x + 273,15) K.$$

¹Nach Schaaf, P. (2005): "Das Physikalische Praktikum". Universitätsverlag Göttingen

2.3 Allgemeine Gasgleichung

Der Zustand einer gegebenen Gasmasse M wird durch die folgenden drei Größen vollständig beschrieben: Temperatur T , Druck p und Volumen V . Das Gesetz von Boyle-Mariotte liefert

$$p \sim \frac{1}{V} \quad \text{bei } T \text{ konstant,}$$

das Gesetz von Gay Lussac liefert

$$p \sim T \quad \text{bei } V \text{ konstant}$$

und das Gesetz von Charles liefert

$$V \sim T \quad \text{bei } p \text{ konstant.}$$

Es ergibt sich somit die Zustandsgleichung

$$p \cdot V = N \cdot k_b \cdot T.$$

Drückt man die Teilchenanzahl N in mol aus, so erhält man $n = N/N_A$ mit $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ Teilchen/mol und somit

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T,$$

dabei $R = N_A \cdot k_b = 8,31 \text{ J/K mol}$.

Dieses Gesetz gilt nur für ideale Gase. Es wird dabei angenommen, dass die Teilchen keine Kräfte aufeinander ausüben und selbst kein merkliches Eigenvolumen haben.

Nach den Gesetzen von Boyle-Mariotte und Gay Lussac gilt außerdem für den Druck

$$p = p_0(1 + \beta\vartheta)$$

und für das Volumen

$$V = V_0(1 + \beta\vartheta)$$

mit $\beta = 1/273 \text{ K}$ und der Temperatur ϑ in $^{\circ}\text{C}$. Erreicht die Temperatur des Gases den absoluten Nullpunkt, so besitzt dieses weder Volumen, noch übt es einen Druck aus. Dies geschieht genau bei $\vartheta = -273,15 \text{ }^{\circ}\text{C} = 0 \text{ K}$.

2.4 Freiheitsgrade

Der Freiheitsgrad eines Moleküls setzt sich aus der Summe der Freiheitsgrade der Rotation, der Translation und der Schwingung zusammen. Vernachlässigt man die Schwingungen von Gasmolekülen, so erhält man für einatomare Moleküle [z.B. He] den Freiheitsgrad 3, nämlich nur 3 Freiheitsgrade der Translation. Für geradlinige Moleküle [z.B. H_2 , CO_2] erhält man

den Freiheitsgrad 5, nämlich 3 für die Translation und 2 für die Rotation in einer Ebene. Nur für nicht lineare Moleküle [z.B. H_2O] erhält man alle 6 Freiheitsgrade.

Die Moleküle in einem homogenen Festkörper können nicht rotieren, aber dafür schwingen. Moleküle eines solchen Festkörpers haben also auch 6 Freiheitsgrade, 3 für die Translation und 3 für die potentielle Schwingung.

2.5 Energie des idealen Gases

Die innere Energie eines idealen Gases wird ausschließlich durch die Bewegungsenergie seiner Moleküle dargestellt.

Auf jeden Freiheitsgrad eines Moleküls entfällt nun die Energie

$$U = \frac{1}{2}k_b T.$$

Hat ein Molekül also f Freiheitsgrade, so beträgt seine Energie

$$U = \frac{f}{2}k_b T.$$

Für ein Gas mit N Molekülen gilt somit

$$U = \frac{f}{2}Nk_b T = \frac{f}{2}nRT.$$

2.6 Erster Hauptsatz der Wärmelehre

Die Änderung der inneren Energie ΔU eines Systems ist die Summe aus der Wärmemenge ΔQ und der mechanischen Arbeit ΔW :

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W.$$

Mechanische Arbeit ergibt eine Änderung des Volumens.

Bei einer adiabatischen Zustandsänderung, also bei $\Delta Q = 0$, gilt stets

$$\Delta U = \Delta W = -p \cdot \Delta V.$$

Bei konstanten Volumen, also wenn keine mechanische Arbeit geleistet wird und $\Delta V = 0$ gilt, folgt

$$\Delta U = \Delta Q.$$

2.7 Wärmekapazität

Um einen homogenen Körper der Masse M bestehend aus Molekülen der Masse m um ΔT zu erwärmen, braucht man also nach 2.5 die Wärmeenergie

$$\Delta U = \Delta Q = \frac{M}{m} \cdot \frac{f}{2} \cdot k_b \Delta T.$$

Dabei ist f die Anzahl der Freiheitsgrade der Moleküle und $N = M/m$ die Anzahl der Moleküle.

Das Verhältnis

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{Mf}{2m} k_b \quad \left[\frac{J}{K} \right]$$

ist die **Wärmekapazität** des Körpers.

Die **molare Wärmekapazität** c ist bezogen auf ein *mol* eines Gases, es gilt also

$$c = \frac{C}{n}$$

mit $n = N/N_A$.

2.8 Molare Wärme

Bei Gasen muss man unterscheiden, ob man die spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck [c_p] oder konstantem Volumen [c_V] berechnet. Bei konstantem Druck muss noch die Ausdehnungsarbeit $dW = -pdV$ beachtet werden, die das Gas bei der Erwärmung leistet.

Konstantes Volumen V

Wird einem System die Wärmemenge dQ zugeführt, dann gilt für kleine Temperaturänderungen bei konstantem Volumen V nach 2.7 gerade

$$dQ = C_V dT = c_V n dT$$

mit der Wärmekapazität C_V und der molaren Wärmekapazität c_V . Erhöht man nun die innere Energie U eines idealen Gases um dQ , so erhalten die Moleküle die Energie

$$\begin{aligned} dQ &= dU \\ c_V n dT &= \frac{f}{2} n R dT \\ \frac{c_V}{R} &= \frac{f}{2}. \end{aligned}$$

Für die am Gas verrichtete Arbeit gilt bei konstantem Druck p nach 2.6

$$dW = F ds = p A ds = p dV.$$

In einem idealen Gas ist die innere Energie die Bewegungsenergie der Moleküle, es gilt

$$(dU)_V = dQ = c_V n dT.$$

Nach der Zustandsgleichung für ideale Gase folgt

$$\begin{aligned} pV &= nRT \\ d(pV) &= V dp + p dV = nR dT \\ \Rightarrow n dT &= (V dp + p dV)/R. \end{aligned}$$

Setzt man nun alle bislang gewonnenen Beziehungen in den erster Hauptsatz der Wärmelehre ein, so erhält man

$$dQ = (dU)_V + p dV = c_V n dT + p dV = \frac{c_V (V dp + p dV)}{R} + p dV$$

und durch Umformungen ergibt sich

$$\frac{dQ - p dV}{(V dp + p dV)} = \frac{c_V}{R} = \frac{f}{2}.$$

Konstanter Druck p

Ist hingegen der Druck p konstant, so wird mehr Energie zum Erwärmen eines Gases benötigt, als bei konstantem Volumen.

Zusätzlich zur Wärmearbeit

$$c_V n dT = \frac{f}{2} n R dT$$

muss die mechanische Arbeit

$$p dV = n R dT$$

zum Vergrößern des Volumens geleistet werden:

$$(dW)_p = c_p n dT = \frac{f}{2} n R dT + n R dT = \left(\frac{f}{2} + 1 \right) n R dT.$$

Daraus ergibt sich nun die Beziehung

$$c_p = c_V + R = \left(\frac{f}{2} + 1 \right) R.$$

2.9 Energie eines Kondensators

Das Aufladen eines Kondensators bedeutet eine Potentialdifferenz aufzubauen. Das heißt, dass positive Ladungen von der einen Platte auf die andere Platte geleitet werden müssen, dabei muss dem Kondensator Energie zugeführt werden.

Für den Fluss einer kleinen Ladungsmenge dq gilt für die Energie, die zum Aufbau der Spannung benötigt wird

$$dW = U \cdot dq = \frac{q}{C} \cdot dq.$$

Der Gesamtbetrag der potentiellen Energie W ergibt sich nun als Integral über dW vom Anfang [$q = 0$] bis zum Ende [$q = Q$] des Ladevorganges:

$$W = \int dW = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} CU^2.$$

Beim Entladen des Kondensators gibt dieser seine Energie W wieder ab.

3 Versuchsdurchführung

3.1 Gasthermometer

Der umgebende Luftdruck sollte vor dem Versuch mit Hilfe eines Barometers bestimmt werden. Da das digitale Druckmessgerät nur positive Druckdifferenzen messen kann, wird zunächst das Ventil geöffnet. Nun wird der Glaskolben mit Eiswasser auf $0^\circ C$ abgekühlt. Die Temperatur wird mit einem Thermometer gemessen. Das Druckmessgerät sollte nun ca. 0,00 kPa anzeigen. Das Ventil wird geschlossen, und das Wasserbad auf der Heizplatte unter rühren zum Kochen gebracht. Der Druck im Glaskolben wird in ca. $5^\circ C$ großen Schritten in Abhängigkeit von der Temperatur notiert. Kocht das Wasser, wird die Heizplatte ausgeschaltet und das Wasserbad am Besten auf eine andere Unterlage gestellt. Nun wird das Wasserbad mit Eis auf $0^\circ C$ abgekühlt. Wieder wird in ca. $5^\circ C$ großen Schritten der jeweilige Druck im Gaskolben notiert.

3.2 Spezifische Wärme der Luft

Versuchsaufbau

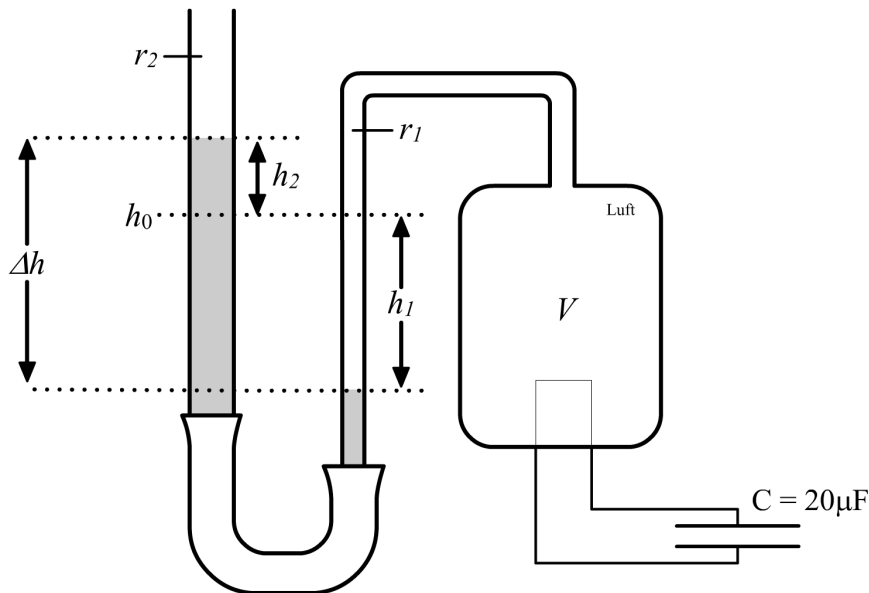


Abbildung 1: Schema des Versuchsaufbaus

Ein mit Luft gefüllter Zylinder ist an ein Wassermanometer angeschlossen. In dem Zylinder befindet sich ein dünner Metalldraht über den ein Kondensator entladen wird. Somit kann eine bestimmte Wärmemenge an das Gas abgegeben werden. Vernachlässigt man die Veränderung des Luftvolumens, so lässt sich der von der Luft ausgeübte Druck am Wassermanometer ablesen.

Versuchsdurchführung

Zuerst sollte der umgebende Luftdruck mit Hilfe eines Barometers bestimmt werden. Nun wird die Skala des Manometers auf Null gesetzt. Der Kondensator wird mit Spannungen zwischen 100 und 500 V geladen und die Belüftungsöffnung des Zylinders mit dem Finger verschlossen. Jetzt wird der der Kondensator entladen, und der Ausschlag des Manometers gemessen. Zwischen den Messungen sollte die Luft im Zylinder genügend Zeit haben, um sich wieder abzukühlen. Hierzu wird der Finger von der Belüftungsöffnung entfernt.

Der Ausschlag des Manometers sollte für möglichst viele Spannungen mehrfach gemessen werden. Zum Schluss wird noch das Volumen des Zylinders gemessen.

4 Auswertung

4.1 Gasthermometer

Da bei der Versuchsdurchführung im Praktikumsskript nicht erwähnt wurde, dass der Luftdruck gemessen werden sollte, haben wir dies vergessen. Glücklicherweise waren unsere Praktikumskollegen ein bisschen schlauer als wir: Ihren Aufzeichnungen zufolge herrschte ein Luftdruck von $p_0 = 970 \text{ hPa}$.

Der Druck im Gaskolben ergibt sich, wenn wir die gemessene Druckdifferenz zu dem Aussendruck addieren:

$$p = p_0 + \Delta p.$$

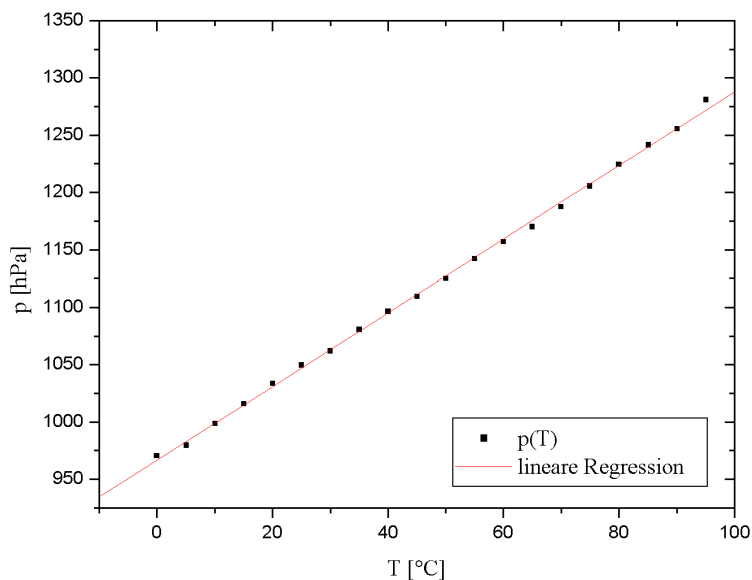


Abbildung 2: Erwärmen

Durch eine lineare Regression können wir nun den absoluten Nullpunkt bestimmen. Dies ist genau der Punkt, an dem das Gas in dem Kolben keinen Druck mehr ausüben würde. Für die Regressionsgerade gilt an diesem Punkt also

$$f(x) = 0 = a + b \cdot x \quad \Rightarrow \quad x = -\frac{a}{b}.$$

Bei dem Erwärmen ergeben sich die Werte $a = 966,64857 \text{ hPa}$ mit dem Fehler $\sigma_a = 1,43353 \text{ hPa}$ und $b = 3,21308 \text{ hPa}/^\circ\text{C}$ mit dem Fehler $\sigma_b = 0,0258 \text{ hPa}/^\circ\text{C}$. Der absolute Nullpunkt liegt also bei

$$T_0 = -\frac{a}{b} = -300,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

mit dem Fehler

$$\sigma_{T_0} = \sqrt{\sigma_a^2 \left(\frac{\partial T_0}{\partial a}\right)^2 + \sigma_b^2 \left(\frac{\partial T_0}{\partial b}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{b}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_b a}{b^2}\right)^2} = 2,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

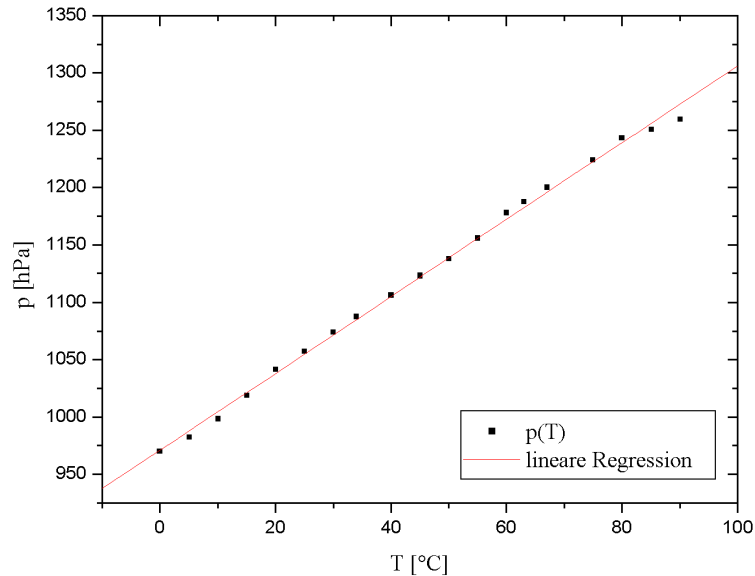


Abbildung 3: Abkühlen

Bei dem Abkühlen ergeben sich die Werte $a = 971,10198 \text{ hPa}$ mit dem Fehler $\sigma_a = 2,17844 \text{ hPa}$ und $b = 3,35107 \text{ hPa}/^\circ\text{C}$ mit dem Fehler $\sigma_b = 0,04165 \text{ hPa}/^\circ\text{C}$. Der absolute Nullpunkt liegt also bei

$$T_0 = -\frac{a}{b} = -289,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

mit dem Fehler

$$\sigma_{T_0} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{b}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_b a}{b^2}\right)^2} = 3,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Bildet man einen gewichteten Mittelwert ergibt sich aus unseren Messungen ein absoluter Nullpunkt bei

$$T_0 = -297,4 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{mit dem Fehler} \quad \sigma_{T_0} = 2,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

4.2 Spezifische Wärme der Luft

Die im Kondensator gespeicherte Energie ΔQ lässt sich durch

$$\Delta Q = \frac{1}{2} C U^2$$

mit dem Fehler

$$\sigma_{\Delta Q} = \sqrt{\sigma_U^2 \left(\frac{\partial \Delta Q}{\partial U} \right)^2} = \sigma_U \cdot CU$$

berechnen. Dabei ist $C = 2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \text{ F}$ die Kapazität der beiden Kondensatoren und U die jeweils angelegte Spannung. σ_U haben wir auf 2 Volt geschätzt.

Nun lässt sich die Druckänderung Δp als Funktion der elektrischen Energie ΔQ auftragen.

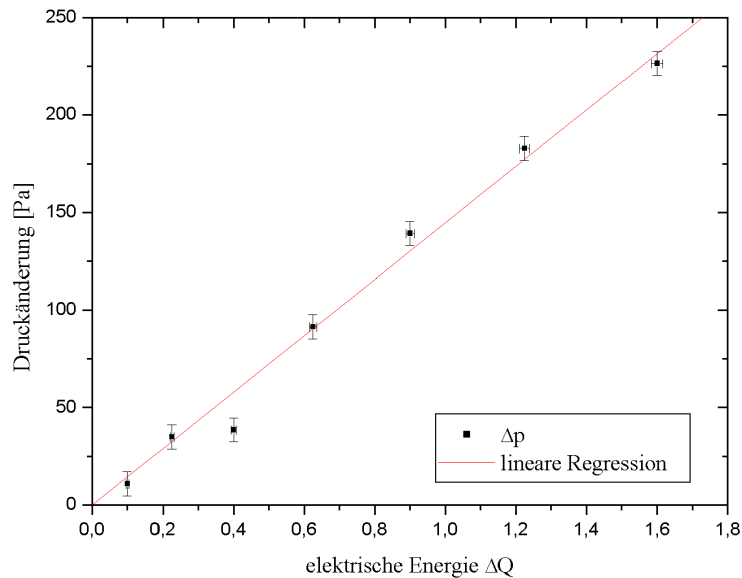


Abbildung 4: Druckänderung

Bei dem Zylinder maßen wir für die Länge $l = 0,0885 \text{ m}$ und für den Durchmesser $d = 0,4020 \text{ m}$ mit den Fehlern $\sigma_l = 0,0010 \text{ m}$ und $\sigma_d = 0,0005 \text{ m}$. Für das Volumen ergibt sich somit

$$V = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 l = 0,00247 \text{ m}^3$$

mit dem Fehler

$$\sigma_V = \sqrt{\sigma_d^2 \left(\pi \frac{d}{2} \right) + \sigma_l^2 \left(\pi \frac{d^2}{4} \right)} = 0,00003 \text{ m}^3.$$

Um die Höhenänderung h_1 am Wassermanometer zu berechnen, haben wir von den gemessenen Werten den Mittelwert berechnet. Dieser musste noch

mit 2 multipliziert werden, da ein Skalenteil 2 mm entsprach. Dabei haben wir für jede Messung $\sigma_{h_1} = 0,0006 \text{ m}$ geschätzt.

Die Volumenänderung des Gases lässt sich mit $\Delta V = \pi r_1^2 h_1$ berechnen, dabei ist $r_1 = 0,002 \text{ m}$ der Radius des rechten Manometerschenkels.

Für das vom Gas verdrängte Volumen gilt [siehe Abbildung 1]

$$V = \pi r_1^2 h_1 = \pi r_2^2 h_2 \quad \Rightarrow \quad h_2 = h_1 \frac{r_1^2}{r_2^2},$$

dabei ist $r_2 = 0,0092 \text{ m}$ der Radius des linken Manometerschenkels und h_2 die entsprechende Höhenänderung.

Somit gilt für die gesamte Höhenänderung Δh am Wassermanometer

$$\Delta h = h_1 + h_2 = h_1 + h_1 \frac{r_1^2}{r_2^2} = h_1 \left(1 + \frac{r_1^2}{r_2^2} \right).$$

Für die Druckänderung im Zylinder gilt schließlich

$$\Delta p = \rho g \Delta h = \rho g h_1 \left(1 + \frac{r_1^2}{r_2^2} \right)$$

mit dem Fehler

$$\sigma_{\Delta p} = \sigma_h \rho g \left(1 + \frac{r_1^2}{r_2^2} \right).$$

Dabei ist $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ die Erdbeschleunigung und $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ die Dichte von Wasser. Stellt man nun die in 2.8 hergeleitete Formel nach f um, lassen sich die Freiheitsgrade der Luft bestimmen. Es gilt

$$f = 2 \left(\frac{\Delta Q - p \Delta V}{V \Delta p + p \Delta V} \right)$$

mit dem Fehler

$$\sigma_f = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot \sigma_{\Delta Q}}{V \Delta p + p \Delta V} \right)^2 + \sigma_V^2 \left(\frac{2 \Delta p (\Delta Q - \Delta V)}{(V \Delta p + p \Delta V)^2} \right)^2 + \sigma_{\Delta p}^2 \left(\frac{2 V (\Delta Q - \Delta V)}{(V \Delta p + p \Delta V)^2} \right)^2}$$

Dabei ist p der umgebende Luftdruck, für den wir wieder $p = 970 \text{ hPa}$ annehmen.

Nun lässt sich aus dem Freiheitsgrad der Luft auch ganz einfach die Molwärme bestimmen. Nach 2.8 gilt

$$\frac{f}{2} = \frac{c_v}{R} \quad \Rightarrow \quad c_v = \frac{R f}{2},$$

mit dem Fehler

$$\sigma_{c_v} = \sqrt{\sigma_f^2 \left(\frac{\partial c_v}{\partial f} \right)^2} = \frac{\sigma_f R}{2}.$$

Dabei ist $R = 8,31447 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$ die Gaskonstante.

$\Delta Q [J]$	$\Delta p [Pa]$	$\Delta V \cdot 10^{-8} [m^3]$	f	σ_f	$c_v [\frac{J}{mol K}]$	σ_{c_v}
0.1	10.8	1.4	7.06	3.92	29.36	16.27
0.225	34.9	4.3	4.88	0.85	20.29	3.53
0.4	38.5	4.8	7.92	1.24	32.93	5.13
0.625	91.4	11.2	5.18	0.35	21.55	1.46
0.9	139.2	17.1	4.90	0.23	20.36	0.92
1.225	182.9	22.4	5.08	0.18	21.11	0.74
1.6	226.5	27.8	5.36	0.16	22.28	0.64

Bildet man nun den gewichteten Mittelwert von f ergibt sich

$$f = 5,18 \quad \text{mit dem Fehler} \quad \sigma_f = 0,10.$$

Für die Molwärme ergibt sich

$$c_v = 21,546 \left[\frac{J}{mol K} \right] \quad \text{mit dem Fehler} \quad \sigma_{c_v} = 0,404 \left[\frac{J}{mol K} \right].$$

5 Diskussion

5.1 Fehlerdiskussion Gasthermometer

Eine Fehlerquelle kann sein, dass das Gas durch ein Wasserbad erwärmt wurde. Die Temperatur, die das Thermometer im Wasserbad anzeigte, war also nicht der wahre Wert des Gases. Es kann sein, dass wir das Wasserbad zu schnell erwärmt haben und somit das Gas noch nicht komplett die neue Temperatur angenommen hatte. Beim Abkühlen war es schwer möglich die Temperatur gleichmäßig zu erniedrigen. Durch die Beziehung

$$p \sim T$$

haben wir somit auch einen tieferen Wert für den absoluten Temperaturnullpunkt erhalten als den Literaturwert [zur Erinnerung: $-273,15^\circ C$].

5.2 Fehlerdiskussion spezifische Wärme der Luft

Bedenkt man, dass der Ausschlag des Wassermanometers nur sehr ungenau gemessen werden konnte, sind unsere Ergebnisse erstaunlich gut. Eventuell haben wir den Fehler der abgelesenen Höhenänderung am Manometer noch zu gering eingeschätzt. Die Luft besteht hauptsächlich aus Stickstoff [78,084%], Sauerstoff [20,946%] und Argon [0,930%]. Stickstoff und Sauerstoff sind gradlinige Moleküle, haben somit 5 Freiheitsgrade. Argon ist ein

Edelgas ist also einatomig und hat 3 Freiheitsgrade. Da sein Volumenanteil jedoch unter 1% liegt, erwarten wir einen Freiheitsgrad der Luft von $f \approx 5$. Da sich die spezifische Wärme der Luft direkt aus den Freiheitsgraden ergibt, ist das Messergebnis ebenfalls gut, wenn man die Messungenauigkeit betrachtet. Der Literaturwert liegt bei $20,795 \text{ J}/(\text{mol K})^1$.

5.3 Verbesserungsvorschläge

Das Praktikumsskript sollte darauf hinweisen, dass der äußere Luftdruck während des Versuches gemessen werden sollte. Ausserdem sollten Barometer bereitliegen, damit man dies auch machen kann.

Eventuell sollte mehr Eis zur Verfügung gestellt werden. In einem anderen Versuchsraum gab es zwar noch Eis, welches wir uns geholt haben, doch wäre in diesem Raum auch ein Experimentatorenteam anwesend gewesen, die auf Eis angewiesen wären, so wäre es zwangszweise zu Engpässen gekommen.

Zusätzlich sollte ein Podest gebaut werden, auf das man das Wasserbad zum abkühlen stellen kann. Da die Heizplatte noch sehr heiß ist, ist sie nicht als Unterlage geeignet. Da durch die Zugabe von Eis auch das Volumen des Wasserbades zunimmt, wäre es gut, wenn man das Wasserbad ohne großen Aufwand [so wie wir ihn hatten] unter dem Glaskolben wegziehen könnte.

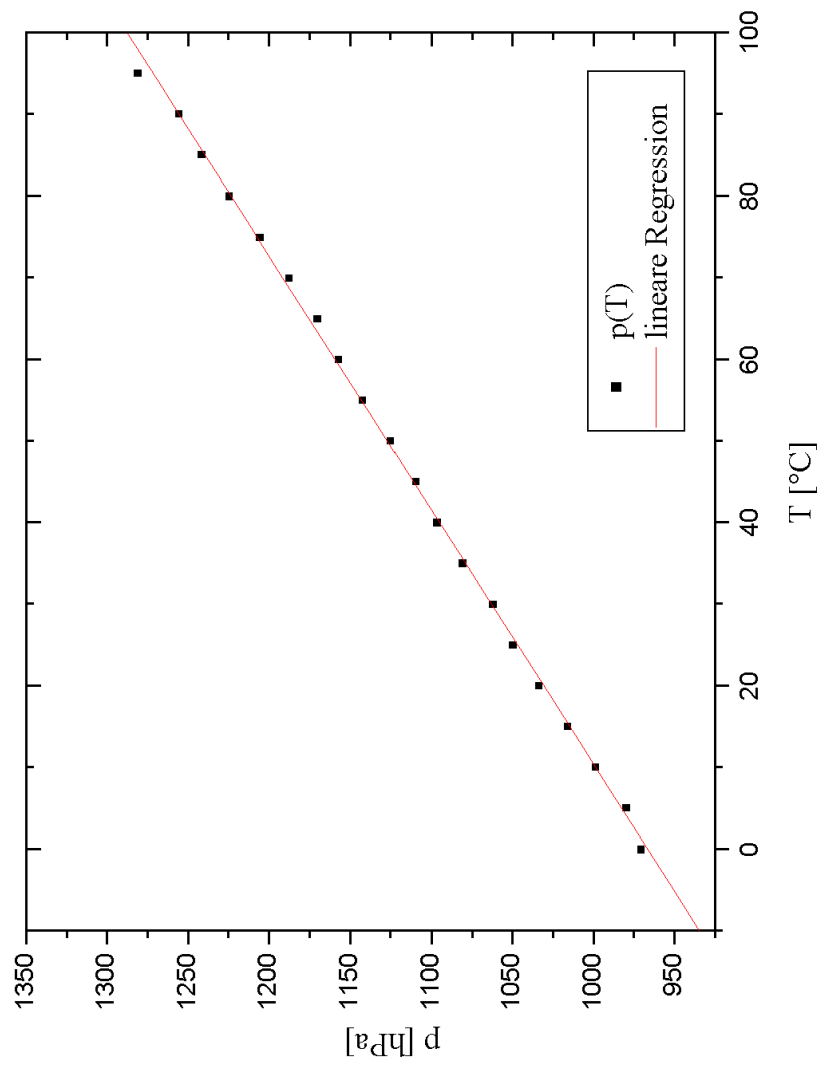
5.4 Abschließende Kommentare

Dieser Versuch war nach den vorhergehenden [Gravitationswaage, Dampfdruck von Wasser, Diffusion] fast wie ein kleines Highlight, da man endlich wieder ein bisschen was zu tun hatte. Leider war die Auswertung, vor allem die Fehlerbetrachtung ein wenig mühsam. [Hauke]

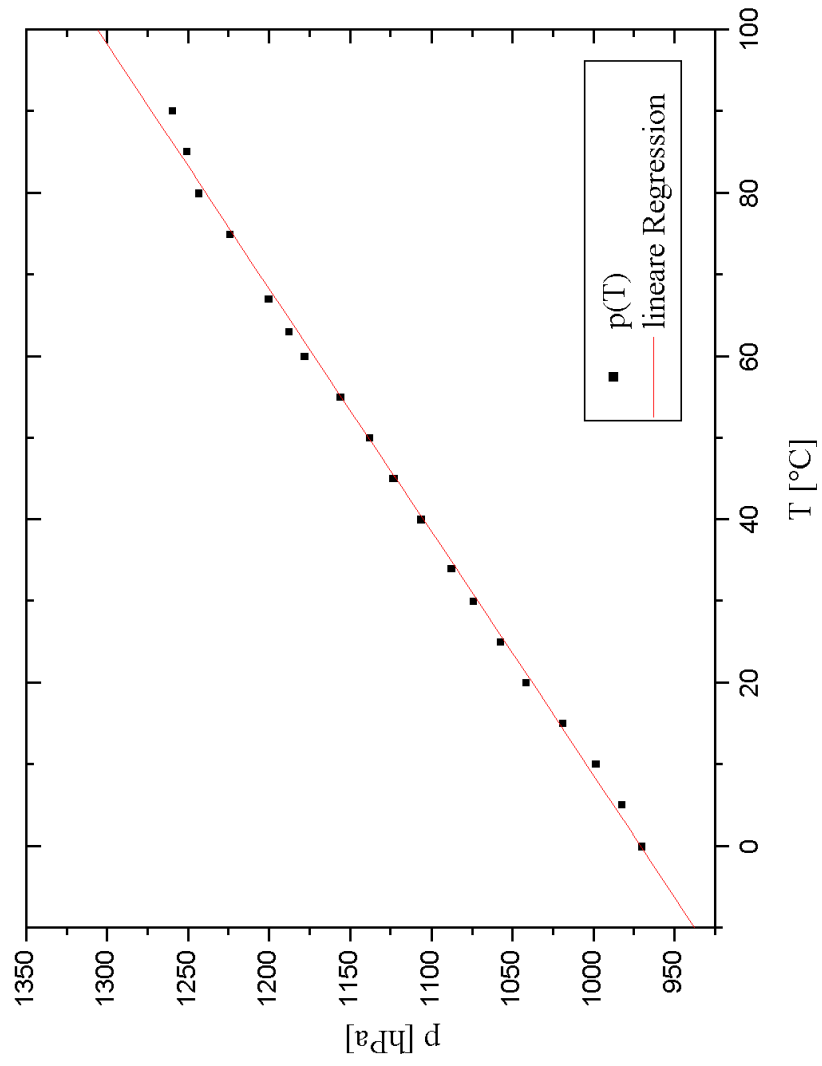
¹<http://www.wikipedia.de> aufgerufen am 06. Juli 2005 um 20:57 Uhr

6 Anhang

6.1 Abbildung 3 - Erwärmen



6.2 Abbildung 4 - Abkühlen



6.3 Abbildung 5 - Druckänderung

