
Spezifische Wärme der Luft und Gasthermometer Protokoll:

Praktikant: Skrollan Detzler
Felix Kurtz
E-Mail: skrollan.detzler@stud.uni-goettingen.de
felix.kurtz@stud.uni-goettingen.de
Betreuer: Martin Ochmann
Versuchsdatum: 02.06.2014

Testat:

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Theorie	3
2.1	Ideales Gas und Absoluter Temperaturnullpunkt	3
2.2	Spezifische Wärme der Luft	3
3	Durchführung	4
3.1	Gasthermometer	4
3.2	Spezifische Wärme der Luft	5
4	Auswertung	6
4.1	Gasthermometer	6
4.1.1	Erwärmung des Gases	6
4.1.2	Abkühlung des Gases	7
4.1.3	gewichteter Mittelwert	8
4.2	Spezifische Wärme von Luft	8
4.2.1	Freiheitsgrade der Luft	8
4.2.2	Spezifische Wärme c_v	9
5	Diskussion	10
5.1	Gasthermometer	10
5.2	Spezifische Wärme der Luft	10
	Literatur	10

1 Einleitung

Der erste Teil des Versuches dient der Bestimmung des absoluten Temperatur-Nullpunktes, eine der wichtigsten Naturkonstanten in der Thermodynamik. Dies geschieht mithilfe eines Gasthermometers.

Im zweiten Teil bestimmt man die spezifische Wärme c_V von Luft. Diese gibt an, wie viel Energie pro Kilogramm benötigt wird, um sie um ein Kelvin zu erwärmen.

2 Theorie

2.1 Ideales Gas und Absoluter Temperaturnullpunkt

Um Gase zu beschreiben benutzen wir hier das einfachste Modell, nämlich das des idealen Gases. Dabei geht man von Punktteilchen aus. Für mehratomige Gase wird diese Annahme immer ungenauer.

Die Abhängigkeiten zwischen Druck p , Volumen V und Temperatur T eines idealen Gases wird durch die folgende *universelle Gasgleichung* [1, S.261] beschrieben.

$$p \cdot V = nRT \quad (1)$$

Dabei ist $R \approx 8.314 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ die universelle Gaskonstante und n die Stoffmenge in Mol. Hält man neben der Stoffmenge noch V oder p konstant, erhält man folgende Abhängigkeiten (Gesetze von Gay-Lussac [1, S.261]):

$$p(\vartheta) = p_0[1 + \beta\vartheta] \quad , \quad V = \text{const.} \quad (2)$$

$$V(\vartheta) = V_0[1 + \beta\vartheta] \quad , \quad p = \text{const.} \quad (3)$$

Hierbei wird die Temperatur ϑ in Celsius gemessen, sodass p_0 der Druck und V_0 das Volumen bei 0°C ist. Außerdem ist der Faktor $\beta = 1/(273.15^\circ\text{C})$ der Umrechnung zwischen der Kelvin- und der Celsius-Skala geschuldet.

Aus obigen Gesetzmäßigkeiten kann der absolute Nullpunkt abgeleitet werden, der den Ursprung der absoluten Temperaturskala definiert, also $0 \text{ K} = -273.15^\circ\text{C} = -1/\beta$. Bei dieser Temperatur hätte jeder Stoff keine Ausdehnung. Er ist jedoch experimentell nicht zu erreichen und kann per Extrapolation berechnet werden.

2.2 Spezifische Wärme der Luft

Die innere Energie U eines Gases hängt proportional von seiner Temperatur ab [1, S.257].

$$U = \frac{f}{2}nRT \quad (4)$$

Dabei ist f die Anzahl der Freiheitsgrade des Gases. Bei einem idealen Gas sind dies die 3 Raumrichtungen. Mehratomige Gase können noch rotieren, etc. So erhöht sich die

Zahl der Freiheitsgrade entsprechend.

Der 1. Hauptsatz der Wärmelehre besagt nach [1, S.262f.]

$$dQ = dU + dW = dU + p dV \quad (5)$$

Aus der idealen Gasgleichung folgt mit der Produktregel $R \Delta T = p \Delta V + V \Delta p$. Außerdem gilt für ideale Gase $U = c_V n T$ mit der spezifischen Wärme c_V [1, S.263]. Mit diesen Gleichungen sowie dem ersten Hauptsatz kann man nun die Anzahl der Freiheitsgrade bzw. die spezifische Wärme eines Gases berechnen:

$$\begin{aligned} \frac{f}{2} &= \frac{c_V}{R} = \frac{\Delta U}{R \Delta T} \\ &= \frac{\Delta Q - p \Delta V}{p \Delta V + V \Delta p} \end{aligned} \quad (6)$$

Die in einem *Kondensator* gespeicherte Energie lässt sich durch Integration von $Q = CU$ nach U berechnen [1, S.329].

$$W = \int_0^U Q dU' = \frac{1}{2} C U^2 \quad (7)$$

3 Durchführung

3.1 Gasthermometer

Bevor man mit dem eigentlichen Versuch beginnt, liest man am Barometer den Umgebungsdruck ab. Dies wird später für die Auswertung benötigt.

Zuerst wird das Ventil des Druckmessgerätes geöffnet, um im Gaskolben Umgebungsdruck herzustellen. Nun wird der Gaskolben durch Eiswasser auf etwa 0°C heruntergekühlt. Das Druckmessgerät sollte ungefähr 0 kPa anzeigen, da es nur Differenzen zum Umgebungsdruck angibt. Danach das Ventil schließen.

Nun wird die Heizplatte angeschaltet und damit das den Gaskolben umgebende Wasser auf bis zu 100°C erhitzt. Dabei misst man in 5°C Schritten den Überdruck im Kolben. Es ist also immer auf das Thermometer zu achten. Außerdem muss das Wasser ständig umgerührt werden, um eine möglichst homogene Temperatur sicherzustellen. Ferner sollte man bei hohen Temperaturen aufpassen, dass man sich nicht verbrüht. Dann wird die Platte abgeschaltet, das Gefäß von dieser herunterbewegt und das Wasser mit Eis heruntergekühlt. Dabei muss auf die Menge geachtet werden, da man auch beim Abkühlen den Druck in Abhängigkeit von der Temperatur messen soll. Deshalb ist auch das Umrühren unerlässlich. Des weiteren muss dafür gesorgt werden, dass das überlaufende Wasser aufgefangen wird.

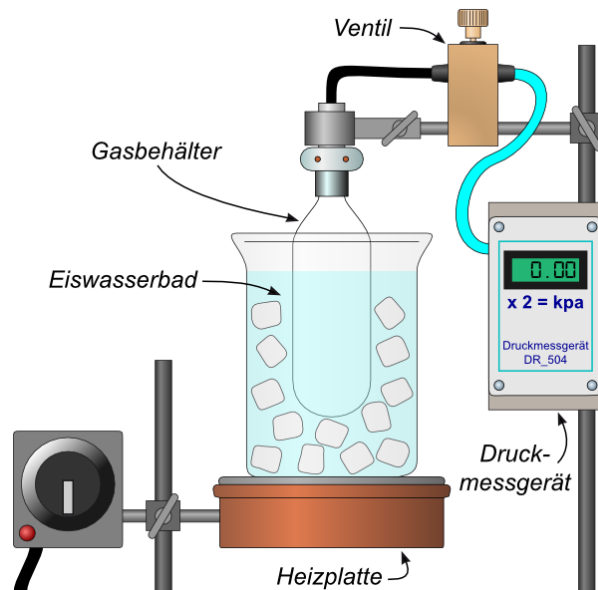


Abbildung 1: Skizze des Gasthermometers [2]

3.2 Spezifische Wärme der Luft

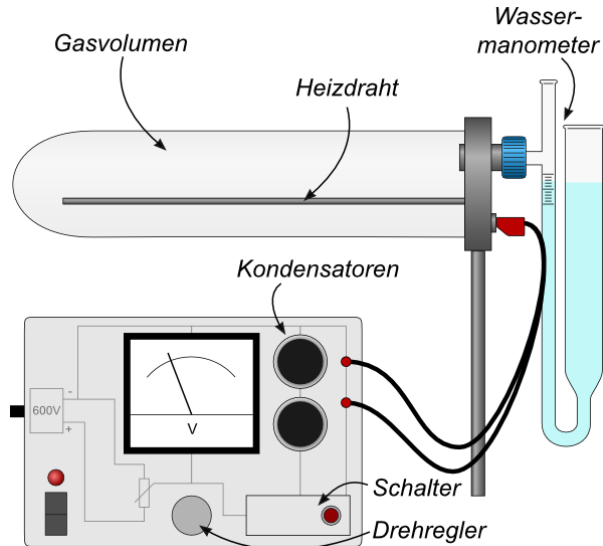


Abbildung 2: schematischer Aufbau, um die spezifische Wärme von Luft zu messen [2]

Zuerst wird der Kondensator mit einer voreingestellten Spannung zwischen 100V und 500V geladen. Diesen entlädt man daraufhin über den Heizdraht, während man parallel den Maximalausschlag des Manometers abliest. Dieser Vorgang wird für mehrere

Spannungen je dreimal wiederholt. Zwischen den Messungen wird der Zylinder belüftet. Zuletzt sollte das Ventil geöffnet zurückgelassen werden. Ferner wird das Volumen des Zylinders gemessen.

4 Auswertung

4.1 Gasthermometer

4.1.1 Erwärmung des Gases

Da die Werte vom Druckmessgerät in kPa/2 ausgegeben werden, müssen alle Werte zum Druck aus dieser Messung mit Faktor zwei multipliziert und dazu der Normaldruck von 1013 hPa addiert werden.

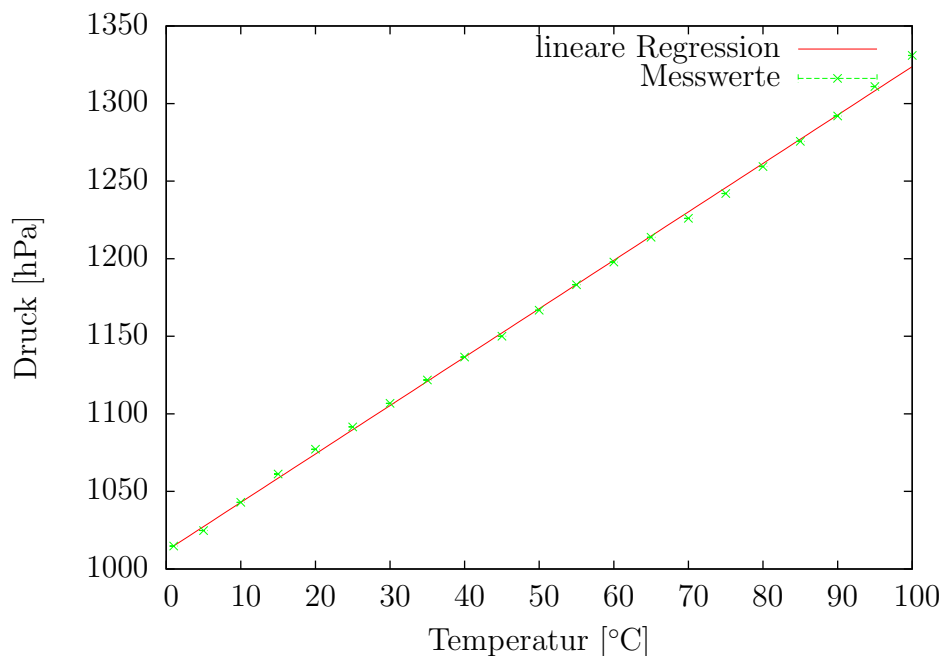


Abbildung 3: Der Druck ist in der Abbildung als Funktion für die Erwärmung aufgetragen. Mit Fehlerbalken von ± 0.08 (Annahmemessfehler) und einer linearen Regression durch die Messpunkte

Aus der Graphik 3 ergeben sich die hier aufgeführten Werte.

$$m = (312.1 \pm 2) \text{ Pa/}^\circ\text{C}$$

$$b = (101173 \pm 112) \text{ Pa}$$

Die Geradengleichung $y = mx + b$ wird nun nach x umgestellt. Es ergibt sich $x = (y - b)/m$. Zu berechnen ist nun die Temperatur bei einem Druck von $p=0$. Diese Temperatur wird aus als Nullpunktstemperatur bezeichnet, da nichts kälter werden kann. Dazu berechnen wir einfach den x-Achsenabschnitt und setzen dafür $y=0$.

$$T = (-308.5 \pm 2.1)^\circ\text{C}$$

Unter der Annahme eines idealen Gases ergibt sich folgende Fehlerfortpflanzung.

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_b^2 \left(\frac{-1}{m}\right)^2 + \sigma_m^2 \left(\frac{b}{m^2}\right)^2} \quad (8)$$

4.1.2 Abkühlung des Gases

Da sich bei den Messgeräten zur Abkühlung des Gases nichts verändert hat, werden hier auch wieder die Messwerte mit 2 multipliziert und der Normaldruck (1013hPa) hinzu addiert. In der Graphik 4 aufgetragen ist der Druck p gegen die jeweilige Temperatur. Wie bei der Erwärmung ist die Rechnung für die Nullpunktstemperatur die gleiche. Die

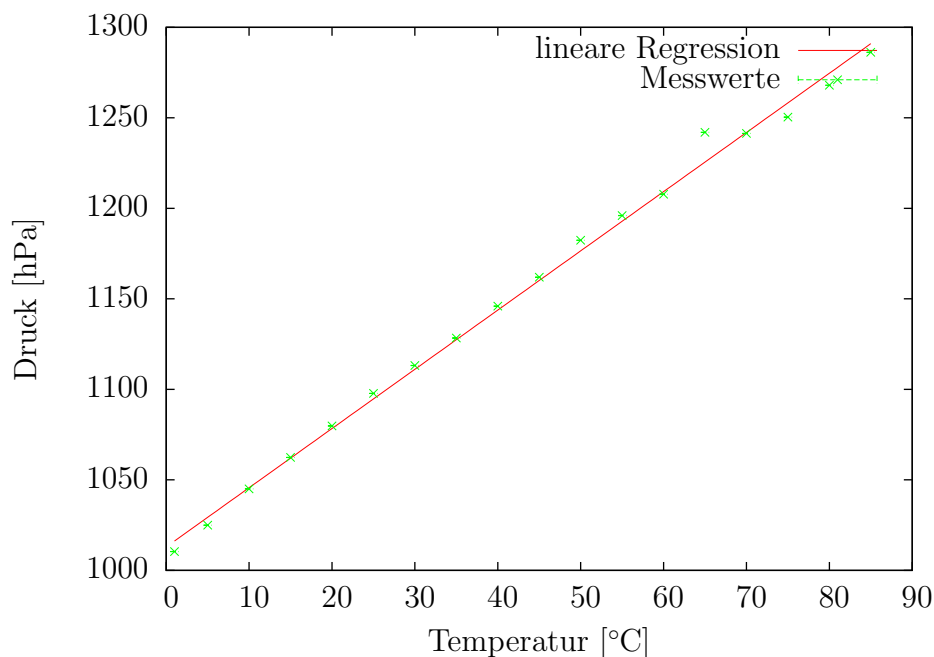


Abbildung 4: lineare Regression der Temperatur gegen den Druck für die Abkühlung

Fehlerfortpflanzungsformel ist weiterhin:

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_b^2 \left(\frac{-1}{m}\right)^2 + \sigma_m^2 \left(\frac{b}{m^2}\right)^2} \quad (9)$$

Aus der linearen Regression der Graphik, ergeben sich folgende Werte.

$$m = (327 \pm 5) \text{ Pa}/^\circ\text{C} \quad (10)$$

$$b = (101296 \pm 260) \text{ Pa} \quad (11)$$

Setzt man wieder $y=0$, so ergibt sich die folgende Nullpunktstemperatur.

$$T = (-322.8 \pm 5.2)^\circ\text{C}$$

4.1.3 gewichteter Mittelwert

Der gewichtete Mittelwert von der Erwärmung und der Abkühlung des Gases ist:

$$\bar{T} = (-310.1 \pm 1.9)^\circ\text{C}$$

Der Literaturwert von $T = -273.15^\circ\text{C}$ an hat somit zu unserem Wert eine Abweichung von 12%.

4.2 Spezifische Wärme von Luft

4.2.1 Freiheitsgrade der Luft

Für den zweiten Teil und der Errechnung der Molwärme c_V von Luft muss zunächst aus den gemessenen Daten die Druckänderung jeder Entladung ausgerechnet werden. Mit der Formel $\Delta p = \rho_{H_2O} g h (1 + r_1^2/r_2^2)$, lässt sich die Höhe der Wassersäule ausrechnen. Die Werte für $r_1 = 2.0 \text{ mm}$ und $r_2 = 9.2 \text{ mm}$ sind in der Praktikumsanleitung [S.73] zu finden. ΔQ , also die Änderung der Energie lässt sich mit der Formel aus der Theorie berechnen. Die Kapazität berechnet sich aus zwei parallel geschalteten Kondensatoren mit jeweils $10 \mu\text{F}$. Mit der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung ergibt sich für ΔQ ein Fehler von:

$$\sigma_{\Delta Q} = \sigma_U \cdot CU$$

Der Fehler für Δp ist:

$$\sigma_{\Delta p} = \sigma_h \rho g (1 + r_1^2/r_2^2)$$

Die Graphik 5 zeigt die Druckänderung von Luft gegen die Kondensatorenergie aufgetragen. Mit der Steigung, $m = (142.7 \pm 5.5) \frac{\text{J}}{\text{Pa}}$ lässt sich über die Formel aus der Theorie die Freiheitsgrade des Gases bestimmen. .

Es wird angenommen, dass $\Delta V = 0$ ist, da das Volumen konstant bleibt. Setzt man $\frac{\Delta Q}{\Delta p} = \frac{1}{m}$ gilt:

$$f/2 = \frac{\Delta Q}{V \cdot \Delta p} = \frac{1}{V \cdot m} \quad (12)$$

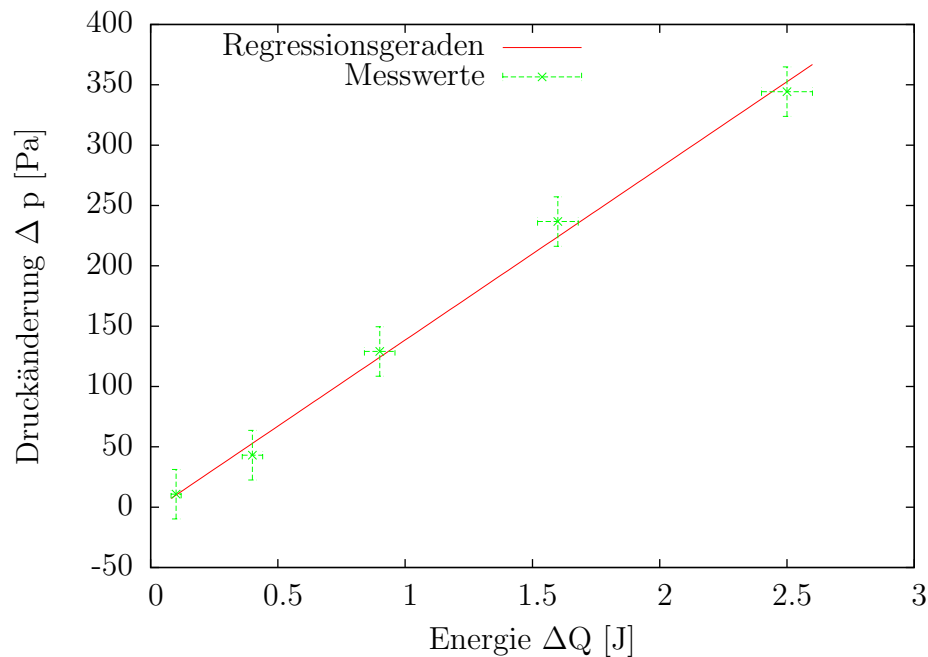


Abbildung 5: Energie des Kondensators aufgetragen gegen die Änderung im Druck

Die gegebenen Maße für das Volumen des Zylinders sind $r=0.044\pm0.002\text{m}$ und eine Höhe $h=0.4\pm0.005$

Es ergibt sich mit der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung .

$$\sigma_f = \sqrt{\sigma_V^2 \left(\frac{-2}{V^2 \cdot m} \right)^2 + \sigma_m^2 \left(\frac{-2}{V \cdot m^2} \right)^2} \quad (13)$$

Es ergibt sich für Luft folgende Freiheitsgrade:

$$f = (6.4 \pm 1.8)$$

Dies entspricht eine Abweichung von 21.9% zu den angenommenen 5 Freiheitsgraden die Luft in idealisierter Form hat.

4.2.2 Spezifische Wärme c_v

Da man die Freiheitsgrade von Luft nun berechnet hat, lässt sich die Spezifische Wärme c_v der Luft darauf berechnen. Dafür nutzt man die Formel:

$$c_v = \frac{f \cdot R}{2} \quad (14)$$

Die ist mit einem Fortpflanzungsfehler für f behaftet.

$$\sigma_{c_v} = \sqrt{\sigma_f^2 \left(\frac{R}{2}\right)^2} \quad (15)$$

Der Wert für die spezifische Wärme von Luft ist dann:

$$c_v = (26.6 \pm 7.5) \text{ J/molK}$$

Der Literaturwert ist $c_v = 20.7 \text{ J/molK}$ [1, S.260].

5 Diskussion

5.1 Gasthermometer

Die Abweichung des gewichteten Mittelwertes der beiden Messungen zu dem Literaturwert, beträgt 12%. Der Literaturwert liegt nicht im Fehlerintervall des aus dem experimentell bestimmten Wert. Dies könnte verschiedene Ursachen haben: Wir gehen davon aus, dass eine der möglichen Fehlerquellen das nicht vollständige Eintauchen des Glasbehälters in das Eiswasser sein könnte. Das Thermometer sehen wir auch als mögliche Fehlerquelle an, da es im Vergleich zu dem Druckmessgerät ziemlich schwer abzulesen war. Trotzdem ist eine Abweichung von ca. 9 % aus unserer Ansicht nicht zu groß, eher hätten wir größere Annahmefehler abschätzen sollen.

5.2 Spezifische Wärme der Luft

Die Abweichung unseres Wertes zum Literaturwert beträgt 22.1% dieser Wert ist zwar recht groß, jedoch liegt der Literaturwert in dem Fehlerintervall woher wir davon ausgehen können, dass die Annahmefehler gut abgeschätzt wurden. Eine Abweichung von 22.1% ist wohl durch den Versuch an sich zu begründen, da es nur sehr schwer war die Höhe der Wassersäule abzulesen. Hier ist es offensichtlich zu größeren Ablesefehler gekommen.

Literatur

- [1] DIETER MESCHDE (2010): *Gerthsen Physik*, 24. Auflage, Springer Heidelberg Dordrecht London New York
- [2] *Lehrportal der Universität Göttingen, Spezifische Wärme der Luft und Gasthermometer*, <http://lp.uni-goettingen.de/get/text/3643>, abgerufen 23.07.14 11:13 Uhr