Anfängerpraktikum der Fakultät für Physik,
Universität Göttingen

Spezifische Wärme der Luft und Gasthermometer

Praktikanten: Silke Andrea Teepe
Gerald Loitz
Marcel Kramer
Betreuer: Alexander Schmelev

Testat:

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

2 Theorie

2.1 Gasthermometer

Das Gasthermometer oder auch JOLLYsche Luftthermometer ist ein Glaskolben der luftdicht an digitales Differenzdruckmessgerät angeschlossen ist. Das Messgerät zeigt nun die Druckdifferenz Δp zwischen Umgebungsdruck p_0 und dem Druck p im Glaskolben an. Im Kolben herscht folglich ein Druck von

$$p = p_0 + \Delta p$$

Durch Temperaturänderungen ändert sich der Druck im Kolben und man kann mittels der in Kapitel 2.3 beschrieben Formeln u.A. die Temperaturänderungen berechnen.

2.2 Innere Energie eines Gases

Die Moleküle in einem Idealen Gas werden als Punktförmig angesehen und es wird davon ausgegangen, dass es keine Wechselwirkungen innerhalb des Gases gibt. Folglich ist die gesammte innere Energie U des Gases die Summe der kinetischen Energie E_{kin} der Moleküle. Mit der Temperatur T als Maß der mittleren Energie der Moleküle gilt somit

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{3}{2} \cdot k_B \cdot T$$

mit der Bolzmannkonstante $k_B = 1.381 \cdot 10^{-23} \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}}$
Für einen realen Stoff gibt es neben den 3 Freiheitsgraden für Translation noch bis zu 3 Freiheitsgrade für Rotation bzw. 3 für Schwingungen. Auf jeden dieser Freiheitsgrade entfällt somit die Energie

$$E = \frac{1}{2} \cdot k_B \cdot T$$

Folglich hat ein Gas mit N Molekülen und f Freiheitsgraden die innere Energie

$$U = \frac{f}{2} \cdot N \cdot k_B \cdot T = \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot T \tag{1}$$

mit $n = \frac{N}{N_A}$ der Stoffmenge in mol und der Gaskonstanten $R = N_A \cdot k_B$

2.3 Eigenschaften eines Idealen Gases

Der Zustand eines Idealen Gases kann durch die Größen Druck p, Volumen V und Temperatur T vollständig beschrieben werden. Für eine Stoffmenge n eines Idealen Gases gilt die Zustandsgleichung

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \tag{2}$$

Folglich gilt

$$\begin{aligned} p &\propto T \quad \text{bei konstantem Volumen } V, \\ V &\propto T \quad \text{bei konstantem Druck } p \end{aligned}$$

und nach den Gesetzen von Gay-Lussac und Boyle-Mariotte gilt

$$\begin{aligned} p(\vartheta) &= p_0 \cdot [1 + \beta\vartheta] \\ V(\vartheta) &= V_0 \cdot [1 + \beta\vartheta] \end{aligned}$$

mit der Temperatur ϑ in °C und $\beta = \frac{1}{273.15°\mathrm{C}}$ [1]. Folglich hat ein Ideales Gas beim absoluten Nullpunkt von $-\frac{1}{\beta} = -273.15$ °C weder ein Volumen noch übt es einen Druck aus.

2.4 Spezifische Wärme

Isochore Temperaturänderung

Der erste Hauptsatz der Wärmelehre besagt für die Änderung der inneren Energie ΔU eines abgeschlossenen Systems

$$\begin{aligned} \Delta U &= \Delta Q + \Delta W \\ \Leftrightarrow \Delta Q &= \Delta U - \Delta W \end{aligned} \tag{3}$$

mit ΔQ der hinzugefügten Wärmeenergie und $\Delta W = -p\Delta V$ der aufgebrachten Arbeit. Bei einer isochoren Erwärmung, also bei $V = \text{const}$ und damit $\Delta W = -p\Delta V = 0$, ist $\Delta U = \Delta Q$. Aus Gleichung (1) folgt für eine Temperaturänderung ΔT somit

$$\Delta Q = \Delta U = \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T \tag{4}$$

Das Verhältnis

$$c_V = \frac{\Delta Q}{\Delta T \cdot n} = \frac{f}{2} \cdot R$$

bezeichnet die spezifische Wärmekapazität von einem Mol eines Gases (in $\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K \cdot mol}}$). Damit ergibt sich die Gleichung für die benötigte Energie einer isochoren Erwärmung um ΔT

$$\Delta U = (\Delta Q)_V = n \cdot c_V \cdot \Delta T \tag{5}$$

[1] Nach P. Schaaf (2014): "Das Physikalische Praktikum", Universitätsverlag Göttingen

Isobare Temperaturänderung

Wenn der Druck konstant beleibt aber nicht das Volumen, also eine isobare Erwärmung, muss zusätzlich noch die Volumenarbeit $p \cdot \Delta V$ aufgebracht werden. Nach der Gleichung (2) ergibt sich

$$p \cdot \Delta V = n \cdot R \cdot \Delta T \tag{6}$$

Aus dem Hauptsatz folgt somit

$$\begin{aligned} \Delta Q &= \Delta U - \Delta W \\ &= \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T + n \cdot R \cdot \Delta T \\ &= \left(\frac{f}{2} + 1\right) \cdot n \cdot R \cdot \Delta T \\ &= c_p \cdot n \cdot \Delta T \end{aligned} \tag{7}$$

Damit ergibt sich die Beziehung zwischen c_p und c_V:

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

Gleichung für Freiheitsgrade

Wenn keine Zustandgröße konstant beleibt gilt nach der Zustandsgleichung

$$\begin{aligned} \mathrm{d}\,(p \cdot V) &= n \cdot R \cdot \mathrm{d}\,T \\ \Rightarrow \frac{\mathrm{d}\,p \cdot V + p \cdot \mathrm{d}\,V}{R} &= n \cdot \mathrm{d}\,T \end{aligned} \tag{8}$$

Aus den Gleichungen (8), (5) und dem Hauptsatz folgt

$$\begin{aligned} \Delta Q &= \Delta U - \Delta W \\ &= c_V \cdot n \cdot \Delta T + p \cdot \Delta V \\ &= c_V \cdot \frac{\Delta p \cdot V + p \cdot \Delta V}{R} + p \cdot \Delta V \\ \Rightarrow \Delta Q - p \cdot \Delta V &= (\Delta p \cdot V + p \cdot \Delta V) \cdot \frac{c_V}{R} \\ \Rightarrow \frac{\Delta Q - p \cdot \Delta V}{\Delta p \cdot V + p \cdot \Delta V} &= \frac{c_V}{R} = \frac{f}{2} \end{aligned} \tag{9}$$

2.5 Kondensator

Beim Aufladen eines Kondensator mit der Kapazität C muss die Ladung Δq die bereits aufgebaute Spannung $U = \frac{q}{C}$ überwinden. Dazu wird die Energie $\Delta E = \Delta q \cdot \frac{q}{C}$ benötigt.

Somit ist die Gesamtenergie E im Kondensator der von $Q_0 = 0$ bis $Q_{max} = U \cdot C$ aufgeladen wird

$$\begin{aligned} E &= \int_0^{Q_{max}} \frac{q}{C} \cdot \mathrm{d}\, q \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{Q_{max}^2}{C} \\ &= \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 \end{aligned} \tag{10}$$

3 Durchführung

3.1 Gasthermometer

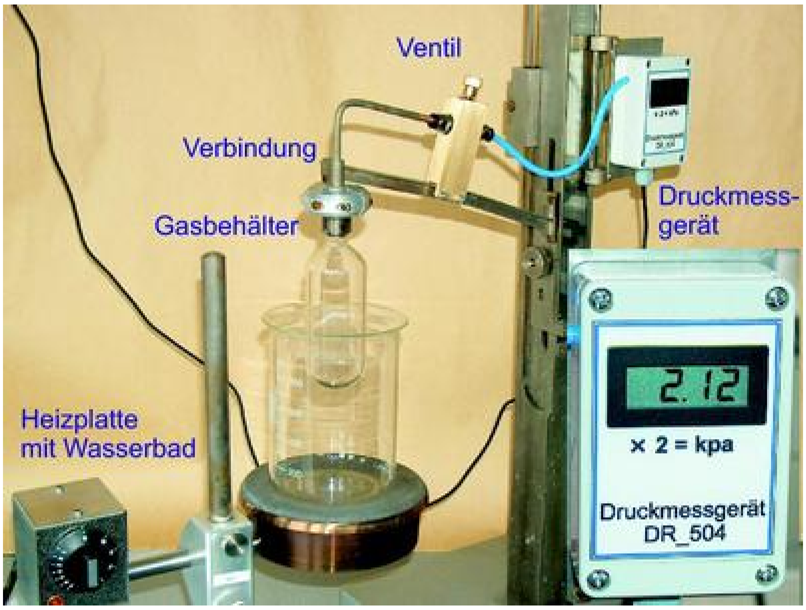

Abbildung 1: Versuchsaufbau Gasthermometer[2]

Da das Druckmessgerät nicht in der Lage ist, negative Druckdifferenzen zu erfassen, wird zunächst das Ventil geöffnet und im Glaskolben Luftdruck hergestellt. Mit Hilfe von Eiswasser wird dann der Kolben auf etwa 0 °C abgekühlt und anschließend das Ventil wieder verschlossen. Das Druckmessgerät sollte nun ca. 0.00 kPa anzeigen.
Nun bestimmt man den Druck $p_V\left(T\right)$ der Luft im Kolben für konstantes Volumen V und Temperaturen zwischen 0 °C und 100 °C, sowohl für Erwärmen, als auch Abkühlen des Kolbens. Dabei sollten Schritte von $\Delta T \leq 5K$ gewählt werden. Um eine möglichste gleichförmige Temperaturänderung zu gewährleisten sollte das Wasserbad dauernd umgerührt werden.

[2] https://lp.uni-goettingen.de/get/text/3643 Abb.3723

3.2 Spezifische Wärme der Luft

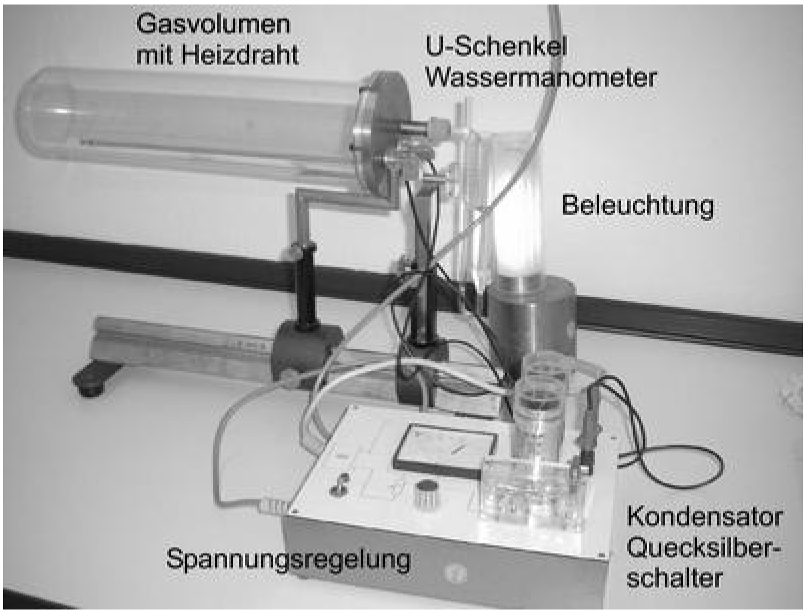

Abbildung 2: Versuchsaufbau Spez. Wärme d. Luft [3]

Ein Zylinder gefüllt mit Luft ist mit einem Wassermanometer verbunden. An dass Gasvolumen kann über einen Kondensator und einen Glühdraht eine spezifische Wärmemenge Q abgegeben werden. Das Gasvolumen kann bei Vernachlässigung der Manometeränderung als konstant angesehen werden und somit die Druckänderung am Manometer abgelesen werden.
Der Kondensator wird aufgeladen und dann über den Heizdraht entladen. Dabei wird der maximale Ausschlag Δp des Manometers abgelesen. Dieser wird für mehrfach für möglichst viele Spannungen zwischen 100V und 500V gemessen. Außerdem ist das Innenvolumen V des Zylinders zu messen.
Während der Messung ist mit dem Ventil die Belüftungsöffnung des Zylinders zu verschließen und zwischen den Messungen beim Temperaturausgleich zu öffnen. Nach Beendigung der Messungen ist das Ventil geöffnet zurückzulassen.

4 Auswertung

5 Diskussion

[3]https://lp.uni-goettingen.de/get/text/3643 Abb.3724