

6 Spezifische Wärme der Luft und Gasthermometer

Dieser Versuch gliedert sich in zwei Teile: Teil A behandelt das Gasthermometer und Teil B die Bestimmung der spezifischen Wärme c_V von Luft.

6.1 Stichworte

Teil A: Gasthermometer: Gasthermometer, absolute Temperatur, allgemeine (ideale) Gasgleichung, Temperatur-Ausdehnungskoeffizient.

Teil B: Bestimmung der spezifischen Wärme c_V von Luft: 1. Hauptsatz, allgemeine Gasgleichung, innere Energie, Freiheitsgrade, Energie eines geladenen Kondensators, 2. Hauptsatz.

6.2 Literatur

NPP: 14 und 17; Gerthsen, BS-1: X; Wal: 3.3; Dem-1; Geschke.

6.3 Zubehör

Bild 6.1 zeigt ein Foto des Versuches (Teil A) mit Zubehör: Gasthermometer mit Manometer, Wasserbad, Heizplatte, Eis, Rührstab, Thermometer (im Schrank), Luftdruckbarometer. Bild 6.2 zeigt ein Foto des Versuches mit Zubehör: Luftgefüllter Zylinder mit Heizdraht und Wassermanometer, Gleichspannungsquelle mit Voltmeter, Kondensator, Quecksilberschalter.

6.4 Grundlagen

6.4.1 Gasthermometer

Ziel dieses Versuches ist die Bestimmung des absoluten Temperatur-Nullpunktes, wodurch die Bestimmung einer absoluten Temperaturskala möglich wird. Außerdem wird der Ausdehnungskoeffizient von Luft bestimmt, der sich auf die ideale Gasgleichung zurückführen lässt.

Dazu wird das so genannte »JOLLYsche Luftthermometer« (Gasthermometer) benutzt. Die n mol Gas, die sich in einem Kolben mit konstantem Volumen V befinden, werden auf verschiedene Temperaturen T erhitzt und gleichzeitig der Druck $p(T)$ gemessen. Hierzu wird ein Differenzdruckmessgerät verwendet, welches die Druckdifferenz Δp zwischen den Gasdruck p und dem umgebenden Luftdruck p_L misst¹:

$$p = p_L + \Delta p. \quad (6.1)$$

¹ Die Messung erfolgt hierbei ohne Veränderung des Volumens.

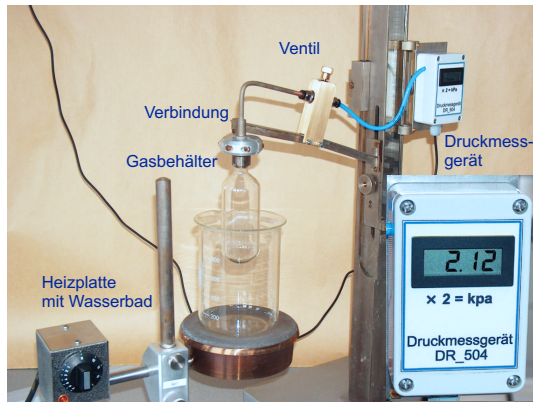


Bild 6.1: Der Versuch »Gasthermometer«.

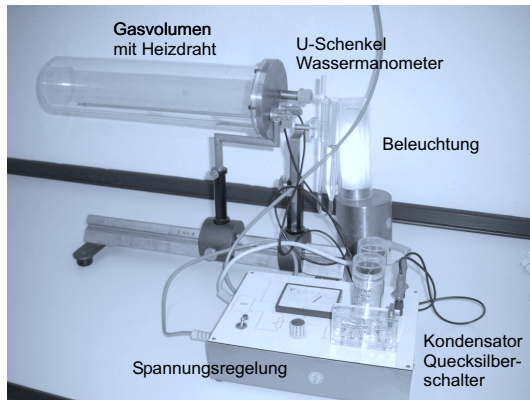


Bild 6.2: Der Versuch »Spezifische Wärme von Luft«.

Der absolute Temperaturnullpunkt ist erreicht, wenn ein Gas weder Volumen besitzt, noch einen Druck ausübt.

Diese Tatsache geht auch direkt aus den Gesetzen von GAY-LUSSAC und BOYLE-MARIOTTE hervor. Nach ihnen gilt sowohl für den Druck $p(\vartheta) = p_0 [1 + \beta \vartheta]$ (mit ϑ = Temperatur in $^{\circ}\text{C}$, p_0 =Druck bei 0°C), als auch für das Volumen $V(\vartheta) = V_0 [1 + \beta \vartheta]$ (mit ϑ = Temperatur in $^{\circ}\text{C}$, V_0 = Volumen bei 0°C) und schließlich $p \cdot V = \text{const.}$ Für ideale Gase gilt $\beta = 1/(273,15 \text{ K})$ und damit ist der absolute Temperaturnullpunkt definiert.

6.4.2 Spezifische Wärme der Luft

Dieser Teil soll die thermodynamischen Grundgesetze vertiefen. Ausgehend von der allgemeinen Gasgleichung

$$p \cdot V = nRT = Nk_B T, \quad (6.2)$$

mit n =Zahl der Mole und N =Teilchenzahl, werden weitere Größen und Zusammenhänge deutlich gemacht. Eine etwas detailliertere Herleitung der Gleichung 6.2 mit Hilfe der kinetischen Gastheorie sollte im Theorieteil des Protokolls erfolgen. Des weiteren steht der 1. Hauptsatz der

Wärmelehre

$$dQ = dU + dW \quad (6.3)$$

im Mittelpunkt dieses Versuches. Dabei ist U die innere Energie $U = \frac{f}{2}k_B T$ des Gases. In abgewandelter Form $dQ = dU + p dV$ wird der 1. Hauptsatz zur Herleitung von $c_p - c_V = R$ (bitte im Protokoll ausführen) benutzt.

6.5 Fragen

6.5.1 Gasthermometer

1. Wie lautet die allgemeine Gasgleichung? Welche Größe verhält sich somit unter welcher Voraussetzung proportional zur Temperatur?
2. Was ist ein ideales Gas, d.h. welche Näherungen werden gemacht?
3. Erklären Sie Aufbau und Funktionsweise eines Gasthermometers.
4. Wo liegen mögliche Fehlerquellen der Messmethode? Erwarten Sie die gemessene absolute Temperatur größer oder kleiner als den Literaturwert?

6.5.2 Spezifische Wärme der Luft

1. Erläutern Sie die spezifische Wärme c_V mit Hilfe des 1. Hauptsatzes und der idealen Gasgleichung.
2. Erläutern Sie die Unterschiede zwischen c_V und c_p und leiten Sie die Beziehung zwischen beiden Größen her.
3. Wie groß ist die Feldenergie eines Plattenkondensators?
4. Wie wird das Volumen des Gases im Versuch konstant gehalten?

6.6 Durchführung

6.6.1 Gasthermometer

Das Druckmessgerät kann nur positive Druckdifferenzen messen, öffnen Sie deshalb das Ventil und stellen so Luftdruck im Glaskolben her. Kühlen Sie den Glaskolben mit Eiswasser auf ca. 0°C ab. Schliessen Sie dann das Ventil. Das Druckmessgerät sollte etwa $0,00\text{ kPa}$ anzeigen.

Man bestimme den Druck p der Luft im Kolben $p_V(T)$ bei konstantem Volumen V für Temperaturen zwischen 0°C und 100°C (beim Erwärmen und beim Abkühlen!) . Die Schrittweite sollte nicht zu groß gewählt werden ($\Delta T \leq 5\text{ K}$). Wasserbad bitte dauernd rühren.

6.6.2 Spezifische Wärme der Luft

Ein mit Luft gefüllter Zylinder ist mit einem Wassermanometer verbunden. Über einen Kondensator und einen Glühdraht kann eine definierte Wärmemenge Q an das Gasvolumen abgegeben werden. Bei Vernachlässigung der Manometeränderung kann das Gasvolumen als konstant angenommen werden und die Druckänderung am Manometer abgelesen werden.

Laden Sie den Kondensator auf und entladen Sie ihn über den Heizdraht. Lesen Sie den maximalen Ausschlag Δp des Manometers ab. Für möglichst viele Spannungen zwischen 100 und 500 V mehrfach messen. Die Belüftungsöffnung des Zylinders ist bei der Messung mit dem Ventil zu verschließen und zwischen den Messungen während des Temperatenausgleichs zu öffnen. **Nach Beendigung der Messungen das Ventil bitte geöffnet zurücklassen.** Messen Sie das Innenvolumen V des Zylinders.

6.7 Angaben

Die SI-Definition des Kelvin lautet:

Definition 6.1: Das Kelvin

Das *Kelvin*, die Einheit der thermodynamischen Temperatur, ist der 273,16te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes von Wasser [7].

Die Celsius-Temperatur ϑ ergibt sich hieraus mit $\vartheta = T - T_0$ mit $T_0 = 273,15$ K. Die Temperatur $\vartheta = 0^\circ\text{C}$ entspricht damit $T = 273,15$ K. Die Dichte von Quecksilber beträgt $\rho_{\text{Hg}} = 13,546 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, die von Wasser beträgt $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1,0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Die Kapazität der Kondensatoren beträgt je $C = 10 \mu\text{F}$. Die Radien der Schenkel des Wasser-Manometers betragen $r_1 = 2,0 \text{ mm}$ und $r_2 = 9,2 \text{ mm}$.

6.8 Auswertung

6.8.1 Gasthermometer

1. Der Druck ist als Funktion der Temperatur separat für Erwärmung und Abkühlung grafisch aufzutragen ($p(T)$).
2. Aus der linearen Regression beider Kurven bestimmen Sie bitte, welcher absoluten Temperatur T die Celsius-Temperatur 0°C entspricht und vergleichen dies mit dem Literaturwert.

6.8.2 Spezifische Wärme der Luft

1. Tragen Sie bitte die Druckänderung Δp als Funktion der elektrischen Energie ΔQ auf.
2. Bestimmen Sie die Anzahl der Freiheitsgrade der Luft nach der Formel (bitte herleiten!):

$$\frac{f}{2} = \frac{c_V}{R} = \frac{\Delta Q - p\Delta V}{V\Delta p + p\Delta V} \quad (6.4)$$

Hinweis: Betrachten Sie die Differentiale der Gesamtenergie im ersten Hauptsatz bei konstantem Volumen, sowie das Differential der Temperatur anhand der idealen Gasgleichung. (ΔV ist die Volumenänderung bei Ausschlag des Manometers).

3. Die Molwärme c_V von Luft ist zu berechnen.