

# 202 – Gasthermometer

## 1. Aufgaben

- 1.1 Bestimmen Sie die Celsius-Temperatur des absoluten Nullpunktes!
- 1.2 Messen Sie mit dem Gasthermometer die Zimmertemperatur!

## 2. Grundlagen

### Stichworte:

Ideales Gas, Zustandsgleichung, Temperatur, Temperaturmessung, Manometer, Ausdehnungskoeffizient

### 2.1 Absoluter Nullpunkt, Kelvin- und Celsius-Temperatur

Der absolute Nullpunkt ist die untere Grenze der absoluten Temperaturskala (Null Kelvin). Er ist experimentell nicht erreichbar, man kann sich ihm aber durch spezielle Methoden beliebig weit annähern. Bei 0K befinden sich alle Stoffe mit Ausnahme von Helium im festen Aggregatzustand. Man beobachtet dabei besondere Eigenschaften wie z.B. Suprafluidität.

Die bei uns im Alltag gebräuchliche Celsius-Skala ist gegenüber der absoluten Temperatur um  $273.15^\circ$  verschoben ( $0^\circ\text{C} = 273.15\text{K}$ ). Die Einheit der Temperaturdifferenz (Grad) ist in beiden Skalen dieselbe und wird in der Physik mit K bezeichnet (nicht  $^\circ\text{K}$  oder  $^\circ\text{C}$ ). Als Formelzeichen werden zur Unterscheidung meist das große  $T$  (absolute Temperatur in K) sowie das kleine griechische Theta  $\vartheta$  (für Grad Celsius) verwendet.

Mit dem Gasthermometer kann die Lage des absoluten Nullpunktes ermittelt werden, ohne dass man sich in das Gebiet tiefer Temperaturen hineinbegeben muss.

### 2.2 Gasthermometer

In der Literatur erscheint das Gasthermometer (Aufbau vgl. Bild 2) im Zusammenhang mit dem Spannungskoeffizienten  $\beta$

$$p = p_0 (1 + \beta \cdot \Delta\vartheta) \quad (*)$$

der für das ideale Gas gleich dem Volumenausdehnungskoeffizienten  $\gamma$  ist

$$V = V_0 (1 + \gamma \cdot \Delta\vartheta) \quad (**).$$

Es gilt für ein ideales Gas:  $\beta = \gamma = (1 / 273,15) \text{K}^{-1}$  (\*\*\*)

wenn sich die Größen  $p_0$  und  $V_0$  auf  $0^\circ\text{C} = 273.15\text{K}$  beziehen.

Die historische Bedeutung besteht darin, dass mit dem Nachweis  $\beta = \gamma$  die Zustandsgleichung des idealen Gases experimentell bewiesen werden konnte (vgl. Lit.).

### 2.3 Messmethode

Das Gasthermometer nutzt die Eigenschaft aus, dass sich beim idealen Gas für ein gegebenes Volumen der Druck proportional zur absoluten Temperatur ändert.

$$p/T = \text{const} \quad \text{bzw.} \quad p_1/T_1 = p_2/T_2 \quad (1)$$

Es besteht also ein linearer Zusammenhang zwischen  $p$  und  $T$ .

Um die Lage des absoluten Nullpunktes zu bestimmen, brauchen wir zwei Temperaturfixpunkte, deren Wert uns (auf der Celsius-Skala) bereits bekannt ist. Geeignet dafür sind der Schmelz- bzw. Siedepunkt von  $\text{H}_2\text{O}$  ( $0^\circ\text{C}$  bzw.  $100^\circ\text{C}$  bei Normaldruck). Für beide Temperaturen  $T_1$  und  $T_2$  werden bei unverändertem Volumen die zugehörigen Drücke  $p_1$  und  $p_2$  gemessen. Bild 1 liefert die anschauliche Lösung.

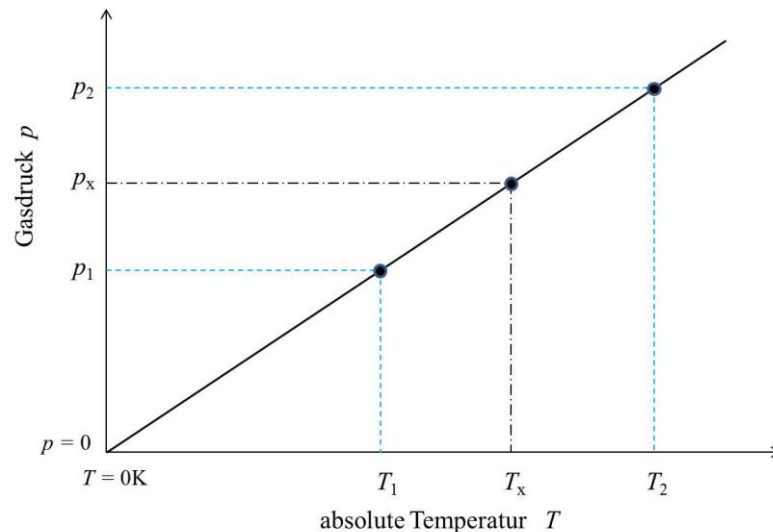


Bild 1: Grafische Darstellung von  $p(T)$  beim Gasthermometer.

Man zeichnet beide Messwertpaare in ein  $p$ - $T$ -Diagramm ein, legt durch die Punkte eine Gerade und verlängert diese bis zu  $p = 0$ . Der Schnittpunkt mit der  $T$ -Achse ist der absolute Nullpunkt.

Rechnerisch heißt das:

$$p_1 / T_1 = (p_2 - p_1) / (T_2 - T_1) = \Delta p / \Delta T \quad (2)$$

mit  $\Delta p / \Delta T = B$  (Anstieg) folgt

$$T_1 = 1 / B \cdot p_1 \quad (3)$$

Die Grafik zeigt auch das Prinzip der Temperaturmessung mit dem Gasthermometer (z.B. Zimmertemperatur  $T_x$ ). Wird zusätzlich zu den beiden Fixpunkten der zu  $T_x$  gehörende Druck gemessen, so gilt:

$$T_x - T_1 = 1 / B \cdot (p_x - p_1) \quad (4)$$

Für  $T_1$  (bzw.  $\vartheta_1 = 0^\circ\text{C}$ ) folgt daraus:

$$\vartheta_x = 1 / B \cdot (p_x - p_1) \quad (5)$$

Hinweis: Bei Temperatur-Differenzen ist es egal, ob in °C oder K gerechnet wird, damit kann man auch beliebig zwischen den Schreibweisen  $T_1, T_2, T_x$  und  $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_x$  wechseln. Sobald  $T$  oder  $\vartheta$  alleine stehen, ist es wichtig, zwischen °C und K zu unterscheiden.

## 2.4 Versuchsaufbau

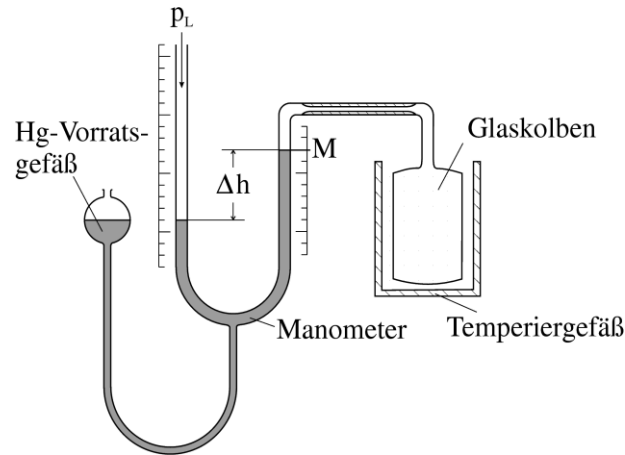


Bild 2: Aufbau des Gasthermometers.

Das Messobjekt ist die abgeschlossene Luftmenge im Glaskolben, welche in guter Näherung ein ideales Gas darstellt (Abweichung  $\ll 1\%$ ) und die im Temperiergefäß auf die gewünschte Temperatur gebracht wird. An den Glaskolben ist ein Hg-Manometer zur Druckmessung angeschlossen. Wesentlich ist, dass sich der Quecksilberspiegel im rechten Schenkel bei allen Messungen an derselben Stelle befindet (Messmarke  $M$ ), damit die Voraussetzung  $V = \text{const.}$  erfüllt bleibt.

Der Druck im Glaskolben errechnet sich aus dem Luftdruck  $p_L$  und der Druckdifferenz  $\Delta p$  im Manometer (Vorzeichen beachten!). Wegen der Beziehung

$$p = \rho_{\text{Hg}} \cdot g \cdot h \quad (6)$$

ist es möglich, die gemessenen Höhendifferenzen direkt als Druckdifferenzen in der Einheit mmHg (Torr) zu verwenden.

## 3. Versuchsdurchführung

### 3.1 Messungen

Beachten Sie die Hinweise am Versuchsplatz!

Zu messen sind der Luftdruck  $p_L$  (am Barometer  $h_L$  in mm Hg-Säule) sowie die Höhendifferenzen (am Manometer) für die Zimmertemperatur ( $\Delta h_x \rightarrow \Delta p_x$ ) und für die Schmelz- ( $\Delta h_1 \rightarrow \Delta p_1$ ) und Siedetemperatur ( $\Delta h_2 \rightarrow \Delta p_2$ ) des Wassers. Dabei ist der Luftdruck mehrfach, mindestens zu Beginn und Ende der Praktikumszeit abzulesen. Falls dabei Änderungen festgestellt werden, so sind diese bei der Auswertung zu berücksichtigen.

Da konstruktionsbedingt immer ein sogenanntes „schädliches Volumen“ zwischen

Quecksilberspiegel und Glaskolben existiert, welches nicht die Messtemperatur besitzt, ist es vorteilhaft, die Höhen  $\Delta h_x$ ,  $\Delta h_1$  und  $\Delta h_2$  für mehrere über die gesamte Manometerhöhe verteilte Marken zu messen und dann auf diejenige (fiktive) Messmarke zu extrapolieren, bei welcher dieses Volumen Null wäre.

Bei der Höhenbestimmung soll der Hg-Spiegel abwechselnd von oben und unten an die Marke angenähert werden.

Das Festlegen der Temperaturfixpunkte geschieht durch Eintauchen des Glaskolbens in ein mit einem Eis-Wasser-Gemisch gefülltes Thermosgefäß ( $\vartheta_1$ ) bzw. in einen Topf mit siedendem Wasser ( $\vartheta_2$ ). Vor dem Messen ist die Einstellung eines Temperaturgleichgewichtes abzuwarten. Zur Kontrolle der Temperatur im Eiswasser kann ein Laborthermometer verwendet werden. Die Siedetemperatur ist luftdruckabhängig und wird einer Tabelle entnommen.

### 3.2. Auswertung

Durch Addition der durch die Extrapolation erhaltenen Höhendifferenzen zum Luftdruck erhält man die Werte  $p_1$ ,  $p_2$  und  $p_x$ . Als erstes ist eine grafische Darstellung ( $p$  über  $T$ ) anzufertigen und aus dieser die Lage des absoluten Nullpunktes sowie die Zimmertemperatur grob abzuschätzen.

Die genauen Werte ergeben sich rechnerisch aus Gl.3 und Gl.5.

Führen Sie eine Fehlerabschätzung durch, und vergleichen Sie die Ergebnisse für  $T_1$  und  $\vartheta_x$  mit den erwarteten Werten. Diskutieren Sie evtl. vorhandene Abweichungen.

Hinweis: Neben dem bereits berücksichtigten Einfluß des schädlichen Volumens existiert bei diesem Versuch ein weiterer systematischer Fehler: Der Glaskolben ist bei  $T_2$  aufgrund seiner Wärmeausdehnung um den (Korrektur-) Faktor  $K = 1 + (3 \cdot \alpha_{\text{Gl}} \cdot \Delta\vartheta)$  größer als bei  $T_1$ . Mit  $\alpha_{\text{Gl}} \approx 10^{-5} \text{K}^{-1}$  und  $\Delta\vartheta \approx 100 \text{K}$  ergibt sich  $K = 1.003$ , d.h. der Wert für  $p_2$  muss um 0.3% vergrößert werden, um diesen systematischen Fehler wegzukorrigieren.

### Literatur:

siehe Link: [http://www.uni-jena.de/Literatur\\_p\\_131600.html](http://www.uni-jena.de/Literatur_p_131600.html)

/1/ Ilberg, Krötzsch, Geschke; *Physikalisches Praktikum*, Teubner-Verlag

/7/ Grimsehl; *Lehrbuch der Physik*, Teubner-Verlag