Versuch P2 - 47,48,49: Ideales und reales Gas

Vorbereitung

Von Jan Oertlin und Ingo Medebach

13. April 2010

Inhaltsverzeichnis

1 Jollysches Gasthermometer

Das Jollysche Gasthermometer nutzt den Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur bei konstantem Volumen bei einem Gas. Das Thermometer besteht aus einem Rezipient K, das über ein Rohr mit einem beweglichen „Schlauch“ verbunden ist, indem sich Quecksilber befindet. Auf der linken Seite des U-Rohres befindet sich eine Markierung, um das Volumen im Rezipient und im Rohr gleich zu halten. Bei Temperaturänderung muss dann die Höhe der rechten Seite des U-Rohrs angepasst werden.

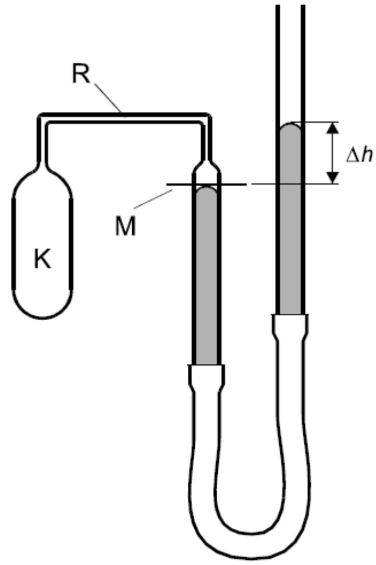

Abbildung 1: Jollysches Gasthermometer[1]

Um den Spannungskoeffizienten α zu bestimmen benutzen wir folgende Gleichung:

$$p = p_0(1 + \alpha T)$$

Da wir p_0 nicht kennen, bestimmen wir mit zwei Messungen den Druck bei bekannten Temperaturen. Dazu senken wir einmal die Temperatur des Gases auf 0°C ab und bestimmen über die Veränderung der Höhe der Quecksilbersäule die Änderung des Innendruckes. Mit der Addition des Umgebungdrucks erhalten wir den Innendruck.
Für den zweiten Messpunkt legen wir die Gaskugel in kochendes Wasser. Rechnerisch ergibt sich dann:

$$\Delta p = \frac{A \cdot \Delta h \cdot \rho_{Hg}}{A} = \Delta h \cdot \rho_{Hg}$$

$$p_i = b + \Delta p$$

$$\alpha = \frac{p_2 - p_1}{p_1 \cdot T_2}$$

[1]Quelle: 14. April 2010, 17:00 Uhr, http://gpr.physik.hu-berlin.de/Skripten/Mechanik%20und%20Thermodynamik/PDF-Dateien/T4.pdf

Über den Spannungskoeffizienten können wir den absoluten Nullpunkt bestimmen. Dieser ist erreicht, wenn der Druck 0 ist:

$$0 \stackrel{!}{=} p_0(1 + \alpha T_{abs})$$
$$T_{abs} = -\frac{1}{\alpha}$$

2 Bestimmung des Verhältnisses der spezifischen Wärme κ von Luft

2.1 Nach Clement-Desormes

Für die Methode nach Clement-Desormes brauchen wir ein Gefäß A, welches mit einem Manometer verbunden ist. Außerdem ist das Gefäß noch durch einen Dreiweghahn mit der Außenluft als auch mit einem Blasebalg verbunden.
Man geht wie folgt vor:

1. Man bringt den Dreiweghahn so in Stellung, dass das Gefäß mit dem Blasebalg verbunden ist. Dann erzeugt man einen kleinen Überdruck Δp_1 in A (etwa 10 cm im Manometer).
   Dabei haben wir folgende Zustandsgrößen:
   $$V = V_0,\ p = b + \Delta p_1,\ T = T_0$$
   Dabei ist T_0 die Anfangstemperatur, V_0 das Gefäßvolumen und b der Umgebungsdruck.
2. Dann verbindet man das gefäß mit der Umgebung. Dabei findet ein Druckausgleich statt, wobei sich das Gas in A ausbreitet und sich dabei abkühlt.
   $$V = V_0 + \Delta V,\ p = b,\ T = T_0 - \Delta T$$
3. Wenn der Druckausgleich stattgefunden hat (man beobachte das Manometer), wird sofort der Hahn geschlossen.
   $$V = V_0,\ p = b,\ T = T_0 - \Delta T$$
4. Danach erhöht sich wieder die Temperatur auf die der Umgebung. Da der Prozess isochor abläuft, findet eine Druckerhöhung Δp_2 statt.
   $$V = V_0,\ p = b + \Delta p_2,\ T = T_0$$
   Hier sollte man lang genug warten, bis man die Messung durchführt, damit der Temperaturausgleich stattfinden kann.

Schritt 1 und 2 sind durch die Poissonsche Zustandsgleichung $PV^\kappa = const.$ verknüpft ($\kappa = \frac{c_P}{c_V}$), da durch die Geschwindigkeit kaum ein Wärmeaustausch stattfindet:

$$(b + \Delta p_1)V_0^\kappa = b(V_0 + \Delta V)^\kappa$$
$$(T_0 - \Delta T)(V_0 + \Delta V)^{\kappa-1} = T_0 V_0^{\kappa-1}$$

Da wir annhemen, dass $\Delta V << V_0$ ist, nehmen wir folgende Näherung vor:

$$(V_0 + \Delta V)^\kappa \approx V_0^\kappa + \kappa V_0^{\kappa-1}\Delta V$$

Daraus erhalten wir dann folgende Ausrücke:

$$\frac{\Delta p_1}{b} = \kappa \frac{\Delta V}{V_0} \text{ und } \frac{\Delta T}{T_0} = (\kappa - 1)\frac{\Delta V}{V_0}$$

Daraus folgt dann:

$$\frac{\Delta T}{T_0} = \frac{\kappa - 1}{\kappa}\frac{\Delta p_1}{b}$$

Mit der Näherung $\Delta p_1 << b$ erhalten wir schlussendlich:

$$\kappa = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_1 - \Delta p_2}$$

2.2 Überprüfung

Da wir hier ein ideales Gas annehmen, führen wir die Messung aus **2.1** mehrmals mit unterschiedlichen Wartezeiten bei Schritt 3 durch, um uns davon zu überzeugen, dass der Prozess ausreichend adiabatisch erfolgt.

2.3 κ Bestimmung nach der Methode von Rüchard

Hier sollen wir κ nach der Methode von Rüchard bestimmen. Dazu benötigen wir einen Gaszylinder, ein sehr sauberes Rohr und eine Stahlkugel. Die Stahlkugel sollte genauso groß wie der Innendurchmesser des Rohrs sein und ebenfalls sehr sauber.
Wir nehmen den Zylinder und verschließen die Öffnung mit dem Rohr und einem Stopfen. Im Rohr befindet sich die Stahlkugel. Durch Anstoßen der Kugel verändert sich das Volumen und der Druck im Zylinder und die Kugel wird hochgedrückt bzw. runtergezogen. Im Idealfall erhalten wir einen harmoischen Oszillator mit der Frequenz ω_0 und der Schwingungsdauer T.
Es gilt:

$$p_0 V_0^\kappa = (p_0 + \Delta p)(V_0 + \Delta V)^\kappa$$

mit $\Delta V << V_0$ und der Näherung von **2.1** erhalten wir für die Druckänderung:

$$\Delta p = -\kappa p_0 \frac{\Delta V}{v_0}$$

Druck ist definiert als Kraft pro Fläche, somit ist $\Delta F = \Delta p \cdot A$:

$$\Delta F = -\kappa p_0 \frac{\Delta V}{V_0} \cdot A$$

$$\Delta F = -\kappa p_0 \frac{A^2}{V_0} \cdot \Delta x$$

Diese Kraft ist unsere rücktreibende Kraft die auch als $\Delta F = -D \cdot \Delta x$ bekannt ist. Somit ist

$$D = \kappa p_0 \frac{A^2}{V_0}$$

gegeben. Bei dem harmonischen Oszillator gilt ebenso:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{m}{D}$$

und somit:

$$\kappa = 4\pi^2 \frac{mV_0}{T^2 A^2 p_0}$$

p_0 ist der Druck auf das Gas bei ruhender Kugel und V_0 das Ausgangsvolumen. p_0 setzt sich zusammen aus Außendruck sowie Druck der Kugel.

$$p_0 = \frac{mg}{A} + b$$

3 Messung einer Dampfdruckkurve

Eine Dampdruckkurve gibt uns die Temperatur und den Druck an, bei denen eine Flüssigkeit gleichschnell verdampft und kondensiert, sich diese also im Gleichgewicht befindet. Und unserem Fall sollen wir diese für n-Hexan im Temperaturbereich von 0°C bis ca. 20°C bestimmen.

Bei der Messung messen wir in einem abgeschlossenem Gefäß den Dampfdruck und die Temperatur. Dafür erwärmen wir unsere Flüssigkeit auf die gewünschte Temperatur und warten lang genug, bis sich das Gleichgewicht eingestellt hat. Dann lesen wir den Dampfdruck ab; das gleiche wird bei einer höheren Temperatur durchgeführt.
Die gleichen Messungen nehmen wir nun für fallende Temperaturen vor, dabei sollten die gewonnenen Dampfdruckkurven einigermaßen übereinstimmen.

Um die Dampfdruckkurve zu ermitteln, benutzen wir die *Clausius-Clapeyron*-Gleichung:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{1}{T} \frac{\Lambda}{V_D - V_F}$$

mit Λ als molare Verdampfungswärme, V_D Dampfvolumen und V_F als Volumend er Flüssigkeit. Mit der Näherung $V_F << V_D$ und der allgemeine Zustandsgleichung $pV = RT$ folgt:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{1}{T^2} \frac{\Lambda p}{R}$$

Durch Seperation der Variablen erhalten wir:

$$\frac{1}{p} dp = \frac{1}{T^2} dT \frac{\Lambda}{R}$$

also

$$\ln p = -\frac{1}{T} \frac{\Lambda}{R} + C$$

Für die Verdampfungswärme ergibt sich dann:

$$\Lambda = -R \ln p \cdot T + \tilde{C}$$

Also tragen wir $\ln p$ über $\frac{1}{T}$ auf und können aus der Steigung der Regressionsgeraden die Verdampfungswärme Λ bestimmen.