

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch W2
Institut für Physik	<b>Gaskonstante und absoluter Temperaturnullpunkt</b>	Seite 1

## 1. Aufgabenstellung

- 1.1. Der Luftdruck  $p_1$  in einem geschlossenen Gefäß ist in Abhängigkeit von der Temperatur  $\vartheta$  im Bereich von  $25^\circ\text{C}$  bis  $70^\circ\text{C}$  zu messen.
- 1.2. Mit Hilfe einer computergestützten Ausgleichsrechnung sind aus den korrigierten Druckwerten  $p_k(\vartheta)$  die molare Gaskonstante  $R$  und der absolute Temperaturnullpunkt  $\vartheta_0$  zu bestimmen.

## 2. Grundlagen

Unter Normalbedingungen verhält sich Luft nahezu wie ein ideales Gas. Demzufolge gilt die thermische Zustandsgleichung:

$$pV = nRT = nR(\vartheta - \vartheta_0). \quad (1)$$

$p$  - Druck

$R$  - allgemeine Gaskonstante

$T$  - absolute Temperatur

$\vartheta$  - Temperatur in  $^\circ\text{C}$

$V$  - Volumen

$\vartheta_0$  - Temperatur des absoluten Nullpunkts in  $^\circ\text{C}$

$n$  - Molzahl

Eine Temperaturerhöhung bei konstantem Volumen  $V$  führt demnach zu einem linearen Druckanstieg (*Gesetz von Amontons*). Dabei beträgt die Steigung der Geraden  $nR/V$  und ihr Schnittpunkt der mit der Temperaturachse ( $p=0$ ) liefert die Celsius-Temperatur  $\vartheta_0$  des absoluten Nullpunkts.

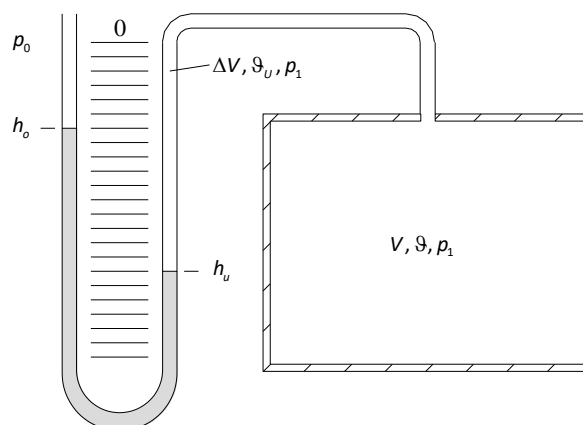
Im Versuch wird ein Behälter, der die zu untersuchende Luftmenge enthält, in einem Wasserbad temperiert (s. Abbildung). Dabei lässt sich ein konstantes Volumen nur annähernd realisieren. Der Behälter dehnt sich mit zunehmender Temperatur aus. Wenn  $V_0$  das Innenvolumen des Messbehälters bei Raumtemperatur  $\vartheta_{20} = 20^\circ\text{C}$  ist, dann wird das Messvolumen temperaturabhängig durch folgenden Zusammenhang hinreichend genau beschrieben:

$$V = V_0 [1 + 3\alpha_l (\vartheta - \vartheta_{20})]. \quad (2)$$

$\alpha_l$  ist der *lineare Ausdehnungskoeffizient* des Behältermaterials.

Der Druck kann bei dem vorliegenden Versuchsaufbau nicht direkt an der Behälterwand gemessen werden. Stattdessen wird ein U-Rohr-Manometer verwendet, das über einen dünnen Schlauch mit dem Luftbehälter verbunden ist. Insgesamt befinden sich  $n$  Mole Luft im Behälter und dem angeschlossenen Manometer. Für den Behälterinnenraum gilt jetzt die Zustandsgleichung:

$$p_1 V_0 [1 + 3\alpha_l (\vartheta - \vartheta_{20})] = (n - \Delta n) R (\vartheta - \vartheta_0). \quad (3)$$



TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch W2
Institut für Physik	<b>Gaskonstante und absoluter Temperaturnullpunkt</b>	Seite 2

$p_1$  sei irgendein Druck während der Durchführung des Experiments. Eine kleine Stoffmenge  $\Delta n$  befindet sich außerhalb im Zuleitungsschlauch und Manometerschenkel (zusammen  $\Delta V$ ) und hat näherungsweise die Temperatur  $\vartheta_U$  der Umgebung. Man findet hierfür:

$$p_1 \Delta V = \Delta n R (\vartheta_U - \vartheta_0). \quad (4)$$

Mit (3) und (4) kann man  $\Delta n$  eliminieren und erhält

$$p_1 \left[ 1 + 3\alpha_l (\vartheta - \vartheta_{20}) + \frac{\Delta V}{V_0} \cdot \frac{\vartheta - \vartheta_0}{\vartheta_U - \vartheta_0} \right] = p_k = \frac{nR}{V_0} (\vartheta - \vartheta_0), \quad (5)$$

anstelle des gemessenen Drucks  $p_1$  muss also für die Auswertung des Versuches nach (1) der korrigierte Druck  $p_k$  verwendet werden.

### 3. Messanleitung

Im Wasserbad eines elektronisch geregelten Thermostaten befindet sich ein Metallgefäß mit trockener Luft. Vor Beginn des Experiments ist ein Druckausgleich mit der Umgebung herzustellen. Hierzu werden der Glashahn am Gefäß mit dem Trockenmittel und der Absperrhahn am Versuchsbehälter geöffnet. Am U-Rohr-Manometer wird Gleichstand der Flüssigkeitsniveaus abgewartet.

***Machen Sie sich zunächst mit der am Versuchsplatz ausliegenden Bedienungsanleitung der Thermostatensteuerung vertraut, schalten das Gerät dann erst ein und setzen die erste Messtemperatur (25°C, bei höherer Raumtemperatur im Sommer auch 30°C) fest.***

Sollte die Wassertemperatur bereits zu hoch sein, muss das Wasser gewechselt werden, hierzu ist die Praktikumsaufsicht zu informieren.

Nach etwa 15 Minuten wird der Absperrhahn am Druckbehälter geschlossen. Diese Zeit reicht aus, die Umgebungsbedingungen (Luftdruck  $p_0$ , Umgebungstemperatur  $\vartheta_U$ ) zu notieren und eine Messwerttabelle anzufertigen. Sie soll die gemessenen Größen  $\vartheta$ , die Flüssigkeitsstände  $h_u$  und  $h_o$  sowie die berechneten Werte  $p_1$ ,  $\Delta V$  und  $p_k$  enthalten. Auch kann schon die Berechnung und Korrektur des gemessenen Drucks gemäß Gl. (5) vorbereitet werden. Hierzu sind folgende experimentelle Daten gegeben:

- Innenvolumen des Metallgefäßes bei  $\vartheta_{20} = 20^\circ\text{C}$   $V_0 = (2520 \pm 60) \text{ cm}^3$
- Schlauch- und Rohrvolumen bis Nullmarkierung der Skala am U-Rohr-Manometer  $\Delta V_1 = (26,0 \pm 0,5) \text{ cm}^3$
- Innendurchmesser des Manometerrohrs  $d_i = (4,1 \pm 0,1) \text{ mm}$
- Linearer Ausdehnungskoeffizient des Behältermaterials (Kupfer)  $\alpha_l = 1,65 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
- Dichte des Öls im U-Rohr-Manometer bei  $\vartheta_{20} = 20^\circ\text{C}$   $\rho_{\text{öl}} = (0,8844 \pm 0,0002) \text{ g/cm}^3$

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch W2
Institut für Physik	<b>Gaskonstante und absoluter Temperaturnullpunkt</b>	Seite 3

Im weiteren Verlauf des Versuchs werden die Temperatur des Wasserbads im Thermostaten jeweils um 5K erhöht und nach hinreichend langer Wartezeit die Höhen  $h_u$  und  $h_o$  der Flüssigkeitssäulen notiert. Es ist auf folgende Teilprozesse zu achten:

- die Einstellzeit der Temperatur des Wasserbades
- die Temperierung der Luft, nachdem das Wasser seine Solltemperatur erreicht hat
- eventuell noch nachlaufendes Öl von den Rohrwänden des Manometers

#### 4. Auswertung

Der Druck der eingeschlossenen Luft  $p_1$  ergibt sich aus der Barometerablesung  $p_0$  im Praktikumsraum und dem Schweredruck der Ölsäule  $\Delta h = h_u - h_o$ :

$$p_1 = p_0 + \rho_{öl} g \Delta h. \quad (6)$$

Das für die Berechnung des korrigierten Drucks  $p_k$  benötigte externe Volumen  $\Delta V(\vartheta)$  gemäß (5) erhält man mit dem angegebenen Volumen  $\Delta V_1$  und dem Stand der unteren Flüssigkeitssäule:

$$\Delta V = \Delta V_1 + \frac{\pi}{4} d_i^2 h_u. \quad (7)$$

Weiterhin muss das Verhältnis der absoluten Temperaturen innerhalb und außerhalb des Druckbehälters berechnet werden, wozu man aber die Temperatur des absoluten Nullpunkts braucht, die bei diesem Versuch erst noch bestimmt werden soll. Aus diesem Grund erstellt man mit Hilfe des Programms *PhysPract (Lineare Regression)* oder einer anderen geeigneten Software zunächst ein Diagramm  $p_1(\vartheta)$  und ermittelt den Schnittpunkt der Ausgleichsgeraden mit der Temperaturachse als vorläufigen absoluten Temperaturnullpunkt. Mit diesem Wert ist die Berechnung der korrigierten Drücke  $p_k(\vartheta)$  hinreichend genau möglich. In einem weiteren Diagramm stellt man  $p_k$  über  $\vartheta$  dar und berechnet wieder die Ausgleichsgerade. Der korrigierte Temperaturnullpunkt ist wie oben zu bestimmen.

Mit Hilfe des Anstiegs  $S$  der Geraden findet man die Gaskonstante  $R$  nach folgender Vorüberlegung: Die Dichte  $\rho_L$  von Luft sei abhängig von Druck und Temperatur bekannt (siehe Tabelle im Anhang), es gilt dann

$$\rho_L = \frac{m}{V_0} = \frac{nM}{V_0} \quad (8)$$

mit  $m$  - Gasmasse und  $M$  - Molmasse. Daraus folgt

$$\frac{n}{V_0} = \frac{\rho_L}{M} \quad (9)$$

und damit

$$S = \frac{\rho_L}{M} R \rightarrow R = \frac{M}{\rho_L} S. \quad (10)$$

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch W2
Institut für Physik	<b>Gaskonstante und absoluter Temperaturnullpunkt</b>	Seite 4

Die Molmasse von trockener Luft beträgt  $M=28,964 \text{ kg/kmol}$ , für die Dichte gelten die Bedingungen beim Schließen des Absperrventils am Messbehälter ( $\vartheta=25^\circ\text{C}$ ). Anstelle des abgelesenen Luftdrucks  $p_0$  ist der erste mit (5) korrigierte Druck  $p_k$  ( $\vartheta=25^\circ\text{C}$ ) zu verwenden. Tabellenzwischenwerte werden durch lineare Interpolation bestimmt.

Die Ergebnisse ohne und mit Druckkorrektur sind unter Berücksichtigung der berechneten Unsicherheiten zu vergleichen und zu diskutieren.

### 5. Kontrollfragen

1. Was ist ein ideales Gas? Wie lautet dessen Zustandsgleichung?
2. Was ist der Schweredruck? Wie funktioniert ein U-Rohr-Manometer?
3. Was ist der absolute Nullpunkt? Kann dieser tatsächlich erreicht werden?

### 6. Anhang

Dichte von trockener Luft in $\text{kg/m}^3$ bei angegebenen Drücken in $\text{hPa}=\text{mbar}$										
$\vartheta$ in $^\circ\text{C}$	910	920	930	940	950	960	970	980	990	1000
20	1,0814	1,0933	1,1052	1,1170	1,1289	1,1408	1,1527	1,1646	1,1765	1,1883
21	1,0777	1,0896	1,1014	1,1132	1,1251	1,1369	1,1488	1,1606	1,1725	1,1843
22	1,0741	1,0859	1,0977	1,1095	1,1213	1,1331	1,1449	1,1567	1,1685	1,1803
23	1,0704	1,0822	1,0940	1,1057	1,1175	1,1292	1,1410	1,1528	1,1645	1,1763
24	1,0668	1,0786	1,0903	1,1020	1,1137	1,1254	1,1372	1,1489	1,1606	1,1723
25	1,0633	1,0749	1,0866	1,0983	1,1100	1,1217	1,1334	1,1450	1,1567	1,1684
26	1,0597	1,0713	1,0830	1,0946	1,1063	1,1179	1,1296	1,1412	1,1529	1,1645
27	1,0562	1,0678	1,0794	1,0910	1,1026	1,1142	1,1258	1,1374	1,1490	1,1606
28	1,0527	1,0642	1,0758	1,0874	1,0989	1,1105	1,1221	1,1336	1,1452	1,1568
29	1,0492	1,0607	1,0722	1,0838	1,0953	1,1068	1,1184	1,1299	1,1414	1,1529
30	1,0457	1,0572	1,0687	1,0802	1,0917	1,1032	1,1147	1,1262	1,1376	1,1491