

Versuchsprotokolle

Versuch 202

Gasthermometer

Aufgaben

- Bestimmung mit Hilfe eines Gasthermometers die Raumtemperatur und den absoluten Nullpunkt
- Untersuchen des Einflusses des schädlichen Volumens auf das Ergebnis

Grundlagen

Wie in Versuch 205 bereits erläutert, verhält sich ein ideales Gas gemäß der Zustandsgleichung:

$$\frac{p \cdot V}{T} = o \cdot R$$

Das bedeutet, dass man bei konstantem Druck, bzw. konstantem Volumen einfach über zwei gut bestimmte Temperaturpunkte (z.B. die Fixpunkte der Celsiusskala) die Temperatur bestimmen kann:

$$\begin{aligned} \frac{V}{T} &= \text{const} & \frac{p}{T} &= \text{const} \\ \frac{V_1}{T_1} &= \frac{V_2}{T_2} & \frac{p_1}{T_1} &= \frac{p_2}{T_2} \end{aligned}$$

Ferner kann durch Extrapolation auf einen Druck bzw. ein Volumen von 0 Pa bzw. 0 m³ den absoluten Nullpunkt der Temperatur, 0 Kelvin bestimmen.

Dabei wird uns natürlich einmal wieder der bloße Modellcharakter dieser Angelegenheit vor die Augen gehalten: Bleibt nämlich der Druck einer Gasmenge konstant, während diese auf 0 K abgekühlt wird, so muss die räumliche Ausdehnung ebenfalls gleich Null werden. Ein Stoff, dessen Volumen aber exakt 0 ist, existiert nach unserer Weltanschauung nicht. Es wird noch schlimmer!- dieser nicht existente Stoff übt über seinen konstanten Druck immer noch eine Kraft auf die Gefäßwand.

Dieses Dilemma umgehen wir einfach, indem wir das Volumen konstant zu halten und den Druck zu messen. Da für die Quecksilbersäule eines Manometers gilt:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{A} = \rho \cdot h \cdot g$$

$$[p] = \text{thorr}, Pa$$

... können wir den Luftdruck in n Thorr auch als Quecksilbersäule von n mm Höhe annehmen.

$$p = p_{Hg} + p_L$$

$$h_x = \Delta h_x + h_L$$

Da allerdings praktisch immer ein gewisses Gasvolumen außerhalb der Wärmequelle sich befindet (Zuleitung zum Manometer) und die Zimmertemperatur behält (schädliches Volumen) und ferner sich der Gasbehälter ausdehnt bzw. kontrahiert, muss man mit folgender Korrekturformel dem Problem begegnen:

$$\begin{aligned} T &= \frac{p_1}{p_2 \left(1 + 3\alpha + \frac{V_s}{V_0} \cdot \frac{1}{T_{Raum}} \right) \Delta \vartheta - p_1} \Delta \vartheta \\ &= \frac{1}{\frac{h_h}{h_k} \left(1 + 3\alpha + \frac{V_s}{V_0} \cdot \frac{1}{T_{Raum}} \right) \Delta \vartheta - 1} \Delta \vartheta \end{aligned}$$

Versuchsprotokolle

Durchführung

Versuchsobjekt:

Temperiergefäße mit siedenden Wasser bzw. Wasser- Eis- Gemisch, Messapparatur (s. unten), Thermometer, Barometer

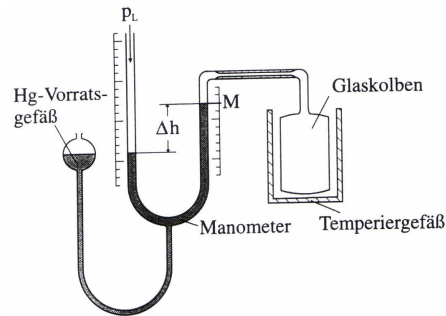


ABB. 1: Aufbau der Versuchsanordnung nach „Physikalisches Praktikum, 2. Semester“.

mögliche systematische Fehler:

1. unbeachtete Luftdruckänderungen
2. Abweichungen vom Charakter des Idealen Gases ($\ll 1\%$)
3. Verunreinigungen des Systems (Quecksilber im Glaskolben)
4. Schädliches Volumen, Ausdehnung des Glaskolbens

erwartetes Ergebnis:

Übereinstimmung zwischen theoretischen und praktischen Wert innerhalb der möglichen Messtoleranzen. Im Einzelnen: absoluter Nullpunkt: $-273,15\text{ }^\circ\text{C}$, Raumtemperatur: herkömmlich gemessener Wert ($22,5\text{ }^\circ\text{C}$)

Versuchsablauf:

- Aufnahme der Umweltbedingungen
- Messung der Werte bei Raumtemperatur bei unterschiedlichen Fixpunkten
- Messung der Werte bei Schmelztemperatur bei unterschiedlichen Fixpunkten
- Messung der Werte bei Siedetemperatur bei unterschiedlichen Fixpunkten

Fehlerquellen:

$$\Delta p_L, \Delta h, \Delta T$$

Messwerte

Umgebung

Zeit	Luftdruck
14: ³⁰	751 thorr
14: ⁴⁵	751 thorr
15: ⁰⁰	751 thorr
15: ¹⁵	751 thorr

$$T_{\text{Raum}} = 22,5\text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow T_{\text{Siede}} = 99,67 \pm 0,4\text{ }^\circ\text{C}$$

Apparatur

$$\alpha_{\text{Glas}} = 9 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$$

$$V_0 = 0,45\text{ l}$$

$$V_s = \left[110\text{ mm} \left(\frac{5}{2} \text{ mm} \right)^2 + 150\text{ mm} \left(\frac{1}{2} \text{ mm} \right)^2 \right] \pi$$

$$= \frac{2650}{4} \pi$$

Versuchsprotokolle

aufgenommene Messwerte

Fixpunkt M [mm]	h_r [mm]	h_k [mm]	h_h [mm]
220	198	144	360
200	176	121	341
180	155	100	322
160	132	79	300
140	113	58	276
120	91	36	255

Auswertung

Formeln

$$T_{Raum} = T_{siede} \frac{h_r - h_k}{h_h - h_k} \qquad \Delta T_{Raum} = T_{Raum} \cdot \left(\frac{\Delta T_{siede}}{T_{siede}} + \left| \frac{\Delta h}{h_h - h_k} \right| + \left| \frac{\Delta h}{h_r - h_k} \right| \right)$$

$$T_{0^\circ C} = \frac{h_k}{h_h - h_k} \Delta \vartheta \qquad \Delta T_{0^\circ C} = T_{0^\circ C} \cdot \left(\frac{\Delta h}{h_k} + \frac{\Delta h}{h_h - h_k} + \frac{\Delta T_{siede}}{T_{siede}} \right)$$

Korrektur bzgl. schädlichen Volumen und Volumenausdehnung:

$$T_{0^\circ C} = \frac{1}{\frac{h_h}{h_k} \left(1 + 3\alpha + \frac{V_s}{V_0} \cdot \frac{1}{T_{Raum}} \right) \Delta \vartheta - 1} \Delta \vartheta$$

Berechnung

Berechnung der Höhendifferenzen:

Fixpunkt M [mm]	Δh_r [mm]	Δh_k [mm]	Δh_h [mm]
220	-22	-76	140
200	-24	-79	141
180	-25	-80	142
160	-28	-81	140
140	-27	-82	136
120	-29	-84	135

Berechnung der Absoluten Quecksilberhöhe:

Fixpunkt M [mm]	h_r [mm]	h_k [mm]	h_h [mm]
220	729	675	891
200	727	672	892
180	726	671	893
160	723	670	891
140	724	669	887
120	722	667	886

unkorrigierte Ergebnisse

korrigierte Ergebnisse

Fixpunkt M [mm]	Δh [mm]	ΔT_h [K]	$T_{0^\circ C}$ [K]	$\Delta T_{0^\circ C}$ [K]	T_{Raum} [°C]	ΔT_{Raum} [°C]	Fixpunkt M [mm]	$T_{0^\circ C}$ [K]
220	±2	±0,4	311,47	±5,06	24,92	±1,25	220	305,98
200	±2	±0,4	304,45	±4,90	24,92	±1,23	200	299,17
180	±2	±0,4	301,25	±4,82	24,69	±1,22	180	296,07
160	±2	±0,4	302,17	±4,85	23,90	±1,21	160	296,96
140	±2	±0,4	305,87	±4,95	25,15	±1,25	140	300,55
120	±2	±0,4	303,56	±4,90	25,03	±1,24	120	298,31

Ergebnisse

graphische Auswertung

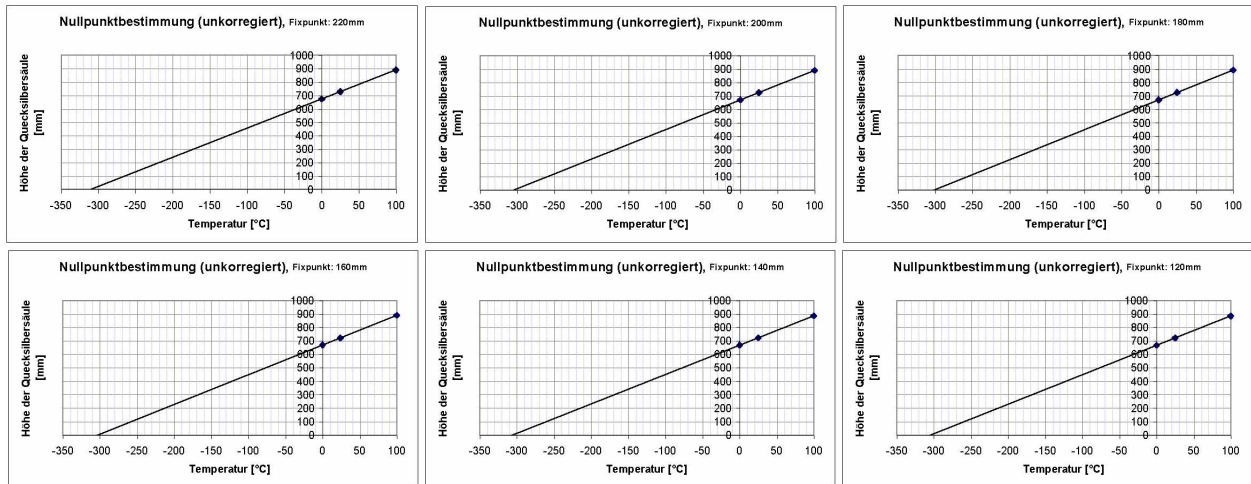


ABB. 2.A: Extrapolation der einzelnen Messwerte auf den absoluten Nullpunkt. Eingezeichnet ist ebenfalls T_{Raum} .

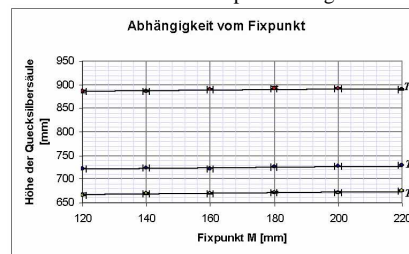


ABB. 2.B: Die Abhängigkeit der Messwerte von der Wahl des Fixpunktes ist linear.

Werte

Fixpunkt M [mm]	unkorrigierte Ergebnisse				korrigierte Ergebnisse:	
	T_{0K} [K]	ΔT_{0K} [K]	T_{Raum} [°C]	ΔT_{Raum} [°C]	Fixpunkt M [mm]	T_{0K} [K]
220	-311,47	±5,06	24,92	±1,25	220	-305,98
200	-304,45	±4,90	24,92	±1,23	200	-299,17
180	-301,25	±4,82	24,69	±1,22	180	-296,07
160	-302,17	±4,85	23,90	±1,21	160	-296,96
140	-305,87	±4,95	25,15	±1,25	140	-300,55
120	-303,56	±4,90	25,03	±1,24	120	-298,31
Durchschnitt	-304,76		24,72		Durchschnitt	-300,17

(gleiche absolute Fehler wie die unkorrigierten Ergebnisse)

Diskussion

Leider konnten die erwarteten Ergebnisse nicht erreicht werden, die Werte des absoluten Nullpunktes sind systematisch zu niedrig, die der Raumtemperatur systematisch zu hoch. Das kann nur mit einem systematischen Messfehler der h_k nach oben einhergehen. Grund hierfür könnte die starke Verunreinigung des Systems (eine nicht unbeachtliche Menge Quecksilber befand sich im Gasgefäß) und damit der Verlust des Modellcharakters des Gases. Tatsächlich legt die sehr hohe Siedetemperatur des Quecksilbers nahe, dass Wechselwirkungen nichtelastischer Art innerhalb des Quecksilbersees im Gasballon eine erhebliche Rolle spielten. Daher ist bei einer Wiederholung des Versuches darauf zu achten, dass das System rein von derartigen Verschmutzungen ist.

Ansonsten liegen die Ergebnisse in der „Nähe“ der erwarteten Werte und als Abschätzungen gut zu verwenden, als genaue Bestimmung aber keinesfalls anzusehen. Eine Wiederholung des Versuches ist- wäre die im Sinne der Forschung- notwendig.

Die abgezeichneten Messwerte sind im Anhang zu finden.

Jena, 11.05.2002