

Druckabhängigkeit des Gasvolumens bei konstanter Temperatur (Gesetz von *Boyle-Mariotte*)

Versuchsziele

- Messung des Volumens V einer Luftsäule in Abhängigkeit vom Druck p bei konstanter Temperatur T .
- Bestätigung des Gesetzes von *Boyle-Mariotte*.

Grundlagen

Der Zustand eines idealen Gases mit einer Gasmenge von ν Molen ist durch die Messgrößen p (Druck), V (Volumen) und T (Temperatur) vollständig beschrieben. Die Abhängigkeit der drei Größen voneinander wird durch die Zustandsgleichung idealer Gase angegeben:

$$p \cdot V = \nu \cdot R \cdot T \quad (I)$$

$R = 8,31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$: Gaskonstante

Bleibt eine der Größen konstant, so können die beiden anderen nicht unabhängig von einander variiert werden. So gilt z. B. für konstante Temperatur das *Boyle-Mariotte*-Gesetz

$$p \cdot V = \text{const.} \quad (II)$$

Dieser Sachverhalt wird im Versuch durch Messungen mit dem Gasthermometer bestätigt. Das Gasthermometer besteht aus einem am unteren Ende abgeschmolzenen Glasrohr. Ein Pfropfen aus Quecksilber schließt die eingeschlossene Luftmenge nach oben ab. Sie hat bei Außendruck p_0 ein Volumen V_0 , das mit dem Quecksilberpfropfen abgeschlossen wurde.

Durch Abpumpen von Luft bei Raumtemperatur mit einer Handpumpe wird auf der offenen Seite des Glasrohres ein Unterdruck Δp gegenüber dem Außendruck p_0 erzeugt, so dass dort der Druck $p_0 + \Delta p$ herrscht. Auf die eingeschlossene Luftmenge übt auch der Quecksilberpfropfen einen Druck

$$p_{\text{Hg}} = \rho_{\text{Hg}} \cdot g \cdot h_{\text{Hg}} \quad (III),$$

$\rho_{\text{Hg}} = 13,6 \text{ g cm}^{-3}$: Dichte von Quecksilber

$g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$: Fallbeschleunigung

h_{Hg} : Höhe des Quecksilberpfropfens

aus, so dass dort der Druck

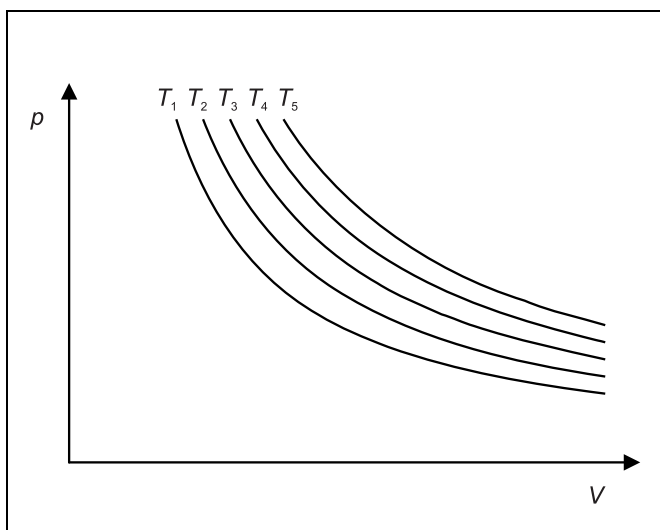
$$p = p_0 + p_{\text{Hg}} + \Delta p \quad (IV)$$

herrscht. Der Druck p bestimmt das Volumen V der eingeschlossenen Luftsäule, das aus ihrer Höhe h und dem Querschnitt des Glasrohres berechnet wird.

$$V = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h \quad (V)$$

$d = 2,7 \text{ mm}$: Innendurchmesser des Glasrohres

p - V -Diagramm eines idealen Gases bei konstanter Temperatur T



Geräte

1 Gasthermometer	382 00
1 Vakuum- und Druckhandpumpe	375 58
1 Kleiner Stativfuß, V-förmig	300 02
1 Stativstange, 47 cm	300 42
2 Muffen mit Klemme	301 11

Aufbau**Einsammeln der Quecksilberkügelchen:**

- Handpumpe anschließen und Gasthermometer mit Schlauchanschluss nach unten halten (siehe Fig. 1).
- Mit der Handpumpe maximalen Unterdruck Δp erzeugen und das Quecksilber in der Ausbauchung (a) in einem Tropfen sammeln.

Das Manometer der Handpumpe zeigt den Unterdruck Δp als negativen Wert an.

- Evtl. vorhandene kleine Quecksilberkügelchen durch leichtes Klopfen gegen das Glasrohr in die Ausbauchung (a) bringen.

Ein kleines Quecksilberkügelchen, das am abgeschmolzenen Ende des Glasrohres hängen bleibt, beeinträchtigt die Messergebnisse nicht.

Einstellung des Ausgangsvolumens V_0 :

- Gasthermometer langsam in Gebrauchslage drehen (Schlauchanschluss nach oben) und Quecksilber in den Eingang des Glasrohres bringen.
- Durch behutsames Öffnen des Belüftungsventils (b) der Handpumpe Unterdruck Δp langsam auf 0 reduzieren, so dass sich das Quecksilber als zusammenhängender Pfropfen langsam nach unten verschiebt.
- Gasthermometer in Stativmaterial montieren.

Wenn bei zu heftiger Belüftung oder infolge Erschütterung der Quecksilberpfropfen zerspringt:

- Quecksilber erneut einsammeln.

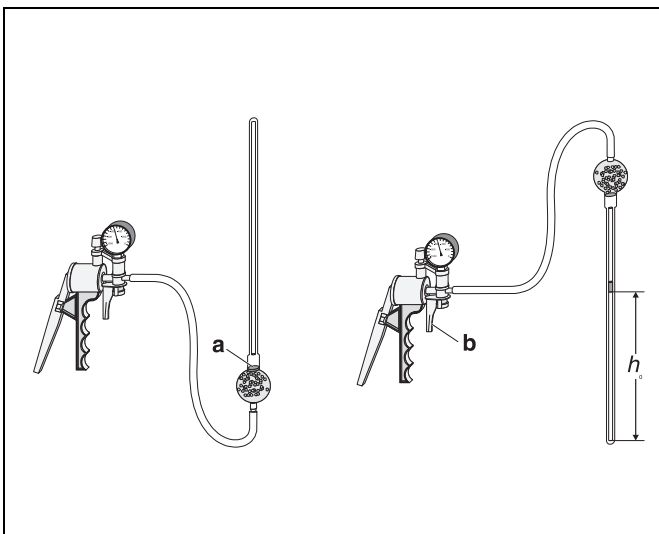
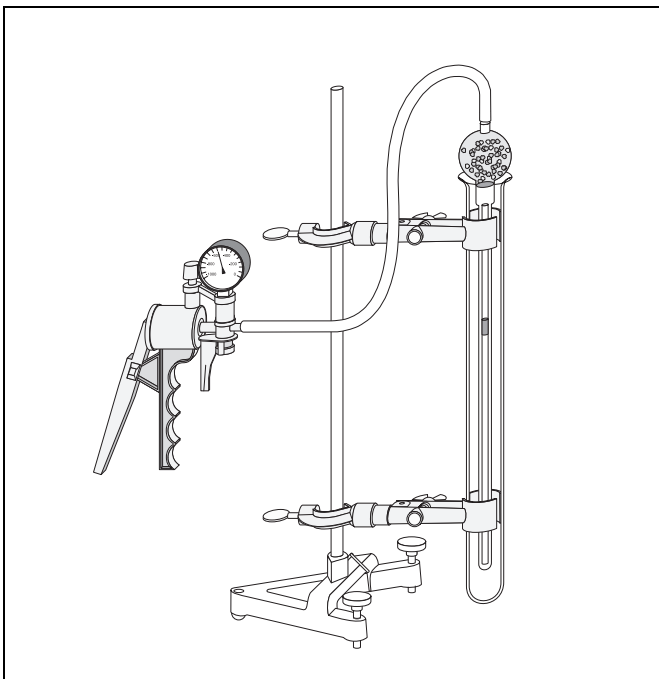


Fig. 1 Einsammeln der Quecksilberkügelchen und Einstellung des Ausgangsvolumens V_0 :

Fig. 2 Versuchsaufbau zur Untersuchung der Druckabhängigkeit des Gasvolumens bei konstanter Temperatur

**Durchführung**

- Außendruck p_0 bestimmen.
- Höhe h_{Hg} des Quecksilberpfropfens auf der Skala des Gasthermometers ablesen.
- Mit der Handpumpe Unterdruck Δp erzeugen und schrittweise steigern.
- Jeweils Höhe h der Luftsäule ablesen und zusammen mit Δp notieren.

Messbeispiel

Außendruck: $p_0 = 1011 \text{ hPa}$
 Höhe des Quecksilberpfropfens: $h_{\text{Hg}} = 11 \text{ mm}$

Tab. 1: Höhe h der eingeschlossenen Luftmenge in Abhängigkeit vom Unterdruck Δp .

$\frac{\Delta p}{\text{hPa}}$	$\frac{h}{\text{cm}}$
0	7,0
- 60	7,7
-100	8,0
-150	8,45
-200	8,9
-250	9,5
-300	10,5
-340	10,95
-410	12,1
-450	12,95
-500	14,1
-550	15,4
-600	17,15
-650	20,05
-690	22,5
-740	26,75
-780	31,35
-800	34,75

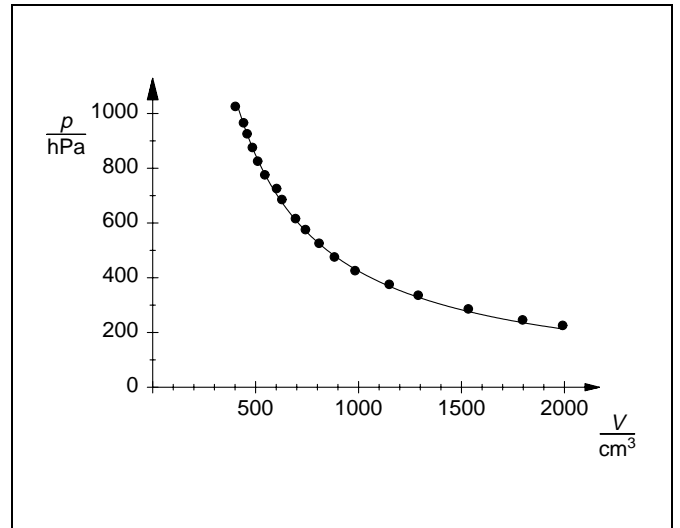


Fig. 3 Druck p in der eingeschlossenen Luftsäule als Funktion des Volumens V bei konstanter Temperatur T

Fig. 3 zeigt die Messwerte der Tab. 2 in graphischer Darstellung. Die eingezeichnete glatte Kurve ist die Hyperbel

$$p = \frac{C}{V}$$

mit $C = 424\,000 \text{ hPa mm}^3$.

Sie stimmt im Rahmen der Messgenauigkeit mit den eingezeichneten Messwerten überein. Für die eingeschlossene Luftsäule ist also bei Raumtemperatur Gl. (II) erfüllt, d. h. die Luftsäule verhält sich wie ein ideales Gas.

Auswertung

Druck p_{Hg} durch den Quecksilberpfropfen gemäß (III):

$$p_{\text{Hg}} = 13,6 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 11 \text{ mm} = 15 \text{ hPa}$$

Tab. 2: Druck p (berechnet aus den Messwerten Δp in Tab. 1) in der eingeschlossenen Luftmenge in Abhängigkeit vom Volumen V (berechnet aus den Messwerten h in Tab. 1).

$\frac{V}{\text{mm}^3}$	$\frac{p}{\text{hPa}}$
401,1	1026
441,2	966
458,4	926
484,2	876
510	826
544,4	776
601,7	726
627,4	686
693,3	616
742	576
807,9	526
882,4	476
982,7	426
1148,9	376
1289,3	336
1532,8	286
1796,4	246
1991,2	226

Ergebnis

Druck und Volumen eines idealen Gases sind bei gleich bleibender Temperatur zueinander umgekehrt proportional.

oder:

Das Produkt aus Druck und Volumen eines idealen Gases ist bei gleich bleibender Temperatur konstant (Gesetz von *Boyle-Mariotte*).

