

Versuch Nr.51

Druck-Messung in Gasen (Bestimmung eines Gasvolumens)

Stichworte:

Druck, Druckeinheiten, Druckmeßgeräte (Manometer, Vakuummeter), Druckmessung in U-Rohr-Manometern, Gasgesetze, Isothermen des idealen Gases (Boyle-Mariotte'sches Gesetz)

Literatur:

Atkins „Physikalische Chemie“
Barrow „Physikalische Chemie“, Teil 1
Kohlrausch „Praktische Physik“, Band 1
Gerthsen, Kneser, Vogel „Physik“

Grundlagen:

Der Druck ist eine thermodynamische Zustandsgröße, die definiert ist als Quotient aus dem Betrag einer senkrecht auf eine Fläche wirkenden (gleichmäßig verteilten) Kraft und der Größe dieser Fläche. Die SI-Einheit (SI = Systeme International d' Unites) des Druckes ist das Pascal (Pa). Es gelten folgende Umformungen:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2} = 10^{-5} \text{ bar}$$

$$\cong 9,87 \cdot 10^{-6} \text{ atm} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ torr}$$

bzw.:

$$1 \text{ Atmosphäre (atm)} = 760 \text{ torr} = 1013,25 \text{ mbar} = 101325 \text{ Pa} \\ \cong 760 \text{ mm Hg (bei } 0^\circ\text{C, } g = 9,80665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \text{)}$$

Der Druck eines Gases, z. B. auf die Wand eines Gefäßes oder Manometers, kommt zustande als der im zeitlichen Mittel von den Gasmolekülen durch elastische Reflexion auf die Wand übertragene Impuls pro Flächen- und Zeiteinheit. Er ist unabhängig von der Orientierung der Wandoberfläche und beim Fehlen äußerer Kräfte überall gleich groß.

Die zur Druckmessung verwendeten Geräte bezeichnet man für Drücke > 1 mbar als Manometer und für Drücke < 1 mbar als Vakuummeter.

Der Begriff Vakuum umfaßt den gesamten Druckbereich unter 1013 mbar. Die niedrigsten zur Zeit erreichbaren Drücke liegen in der Größenordnung von 10^{-13} mbar.

Man unterscheidet vier Vakuumbereiche:

- Grobvakuum	10^3	bis	10	mbar
- Feinvakuum	10	bis	10^{-3}	mbar
- Hochvakuum	10^{-3}	bis	10^{-7}	mbar
- Ultrahochvakuum	$< 10^{-7}$			mbar

Da es aus physikalischen Gründen unmöglich ist, ein Meßgerät zu bauen, das den gesamten Vakuumbereich erfaßt, steht zur Überdeckung des Gesamtbereichs eine Reihe von Druckmeßgeräten zur Verfügung, die auf unterschiedlichen Meßprinzipien beruhen und von denen jedes einen charakteristischen Meßbereich besitzt:

- mechan. Manometer (Federrohr-, Membran-, Quarzspiral- Manometer)
- Flüssigkeitsmanometer (Quecksilber-U-Rohr-Manometer, Ölmanometer)
- Wärmeleitungsvakuummeter
- Kapazitätsvakuummeter
- Ionisationsvakuummeter

Quecksilber-U-Rohr-Manometer werden vor allem zur Messung absoluter Drücke zwischen ~ 10 und 1000 mbar benutzt. Auf ähnliche Weise können andere Flüssigkeiten mit niedrigeren Dichten als Quecksilber (z. B. Wasser, Alkohol, Toluol, Petroleum) in U-Rohr-Manometern für den Druckbereich zwischen etwa einem mbar und etwa 100 mbar eingesetzt werden.

Derartige Manometer werden mit beiderseits offenen Manometerschenkeln häufig auch zur Messung von kleinen Druckdifferenzen bei höherem Absolutdruck verwendet.

Zur Absolutmessung von Drücken zwischen 1 mbar und 10^{-5} mbar können Kompressionsvakuummeter mit Quecksilberfüllung (auch „McLeod-Vakuummeter“ genannt) eingesetzt werden (vgl. Versuch 56).

Neben Druck und Temperatur ist das Volumen eine weitere Zustandsfunktion zur Beschreibung der thermodynamischen Eigenschaften eines Systems. Da es von der Ausdehnung des Systems abhängig ist, ist sie eine extensive Größe und somit additiv.

Die Isothermen eines idealen Gases sind durch das Boyle-Mariotte' sche Gesetz gegeben.

$$(1) \quad p \cdot v = \text{const.}, \text{ wobei } T = \text{const. und } n = \text{const.}$$

Daraus folgt:

$$(2) \quad d(p \cdot v) = 0 \text{ bzw. } p \, dv + v \, dp = 0$$

oder:

$$(3) \quad \frac{dv}{v} = -\frac{dp}{p}$$

Eine bestimmte relative Änderung des Volumens hat eine gleich große relative Änderung des Drucks mit umgekehrtem Vorzeichen zur Folge.

Mit Hilfe von Gl.(1) ist es somit möglich, unbekannter Volumina, wie z. B. das Innere eines Behälters mit komplizierter Geometrie oder von komplexen Zuleitungen, durch die einfache Messung von Drücken zu bestimmen.

Aufgabe:

Messen Sie das Volumen einer Laborgasflasche.

Zum Versuchsaufbau:

Der Versuch wird an einer Vakuumapparatur aus Glas (mit den Volumen v_2) durchgeführt, die über Glashähne mit einem Quecksilber-U-Rohr-Manometer, mit einem großen Glaskolben, dessen Volumen v_1 durch Auswägen bekannt ist, und der Laborgasflasche (mit dem unbekanntem Volumen v_3) verbunden ist (Abb. 1).

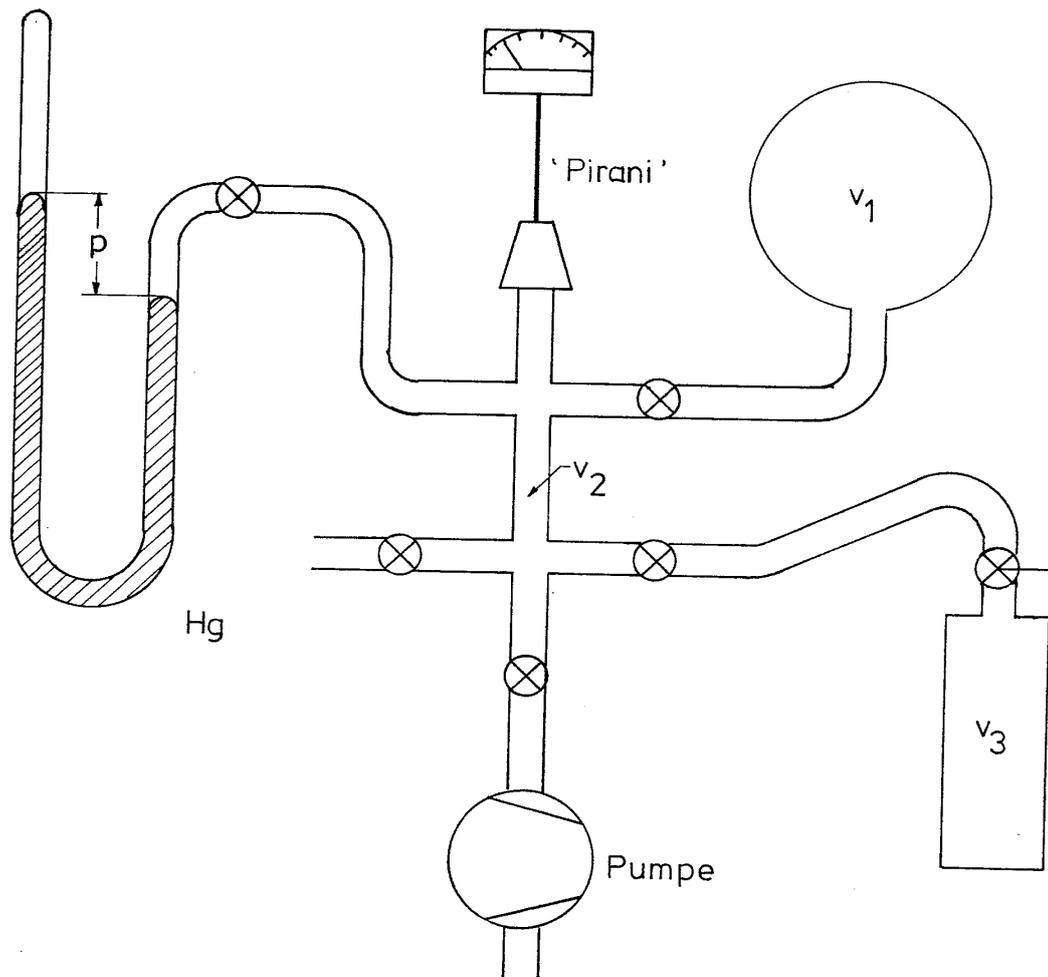


Abb. 1: Schematischer Aufbau der Versuchsanordnung

v_1 = bekanntes Volumen

v_2 = Volumen der Apparatur

v_3 = unbekanntes Volumen

Durchführung:

- 1) Die gesamte Apparatur wird bis zu einem Druck $< 0,2$ mbar evakuiert.
- 2) Das Ventil der Laborgasflasche wird sorgfältig geschlossen und die restliche Apparatur belüftet.
- 3) Am U-Rohr-Manometer wird der Luftdruck (p_1) abgelesen und danach der Hahn zum Glaskolben (v_1) geschlossen.
- 4) Die restliche Apparatur wird auf einen Druck $< 0,2$ mbar evakuiert und danach der Haupthahn zur Pumpe geschlossen.
- 5) Der Verbindungshahn zwischen Glaskolben (v_1) und Apparatur wird geöffnet und der sich einstellende Druck (p_2) am U-Rohr-Manometer abgelesen.

Es gilt jetzt nach Gl. (1):

$$(4) \quad p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot (v_1 + v_2)$$

- 6) Das Ventil zur Gasflasche (v_3) wird geöffnet und der sich einstellende Druck (p_3) am U-Rohr-Manometer gemessen. Es gilt wiederum nach Gl. (1):

$$(5) \quad p_1 \cdot v_1 = p_3 \cdot (v_1 + v_2 + v_3 - \Delta v)$$

Der Term Δv berücksichtigt die Volumenänderung, die als Folge der Verschiebung Δh des Quecksilbermeniskus im U-Rohr-Manometer zustande kommt.

Es ist: (6) $\Delta v = \pi r^2 \cdot \Delta h$, wo $r = 4,5$ mm ist.

Aus Gl. (4) und Gl. (5) folgt:

$$(7) \quad v_3 = p_1 \cdot v_1 \cdot \left(\frac{1}{p_3} - \frac{1}{p_2} \right) + \Delta v$$

- 7) Die Messungen werden mit 5 anderen Ausgangsdrücken ($p_1 > 500$ torr) wiederholt.

Auswertung.

- 1) Das Volumen der Laborgasflasche (v_3) wird nach Gl. (7) als arithmetischer Mittelwert der 6 Messungen bestimmt.
- 2) Diskutieren Sie die Genauigkeit des Ergebnisses!
 - Wie groß ist der Streubereich der Messwerte v_3 ?
 - Wie groß ist der maximale Fehler einer Druckmessung?
 - Wie stark wirken sich die Fehler der einzelnen Druckmessungen auf den mittleren Fehler von v_3 aus?
 - Welcher relative Fehler entsteht, wenn Δv nicht berücksichtigt wird?

Zubehör:

Drehschieberpumpe, U-Rohr-Manometer, Wärmeleitungsvakuummeter mit Anzeigegerät, Rundkolben aus Glas, Stahlflasche mit Ventil, Vakuumapparatur aus Glas.