

## Versuch Nr. 56

### Eichung eines Wärmeleitungsvakuummeters mit Hilfe eines McLeod-Vakuummeters

#### Stichworte:

Druckmeßgeräte (Manometer, Vakuummeter), Boyle-Mariotte' sches Gesetz, Wheatstone' sche Brückenschaltung

#### Literatur:

Kohlrausch „Praktische Physik“, Band 1  
Gerthsen, Kneser, Vogel, „Physik“

#### Grundlagen:

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 1 und 100 mbar eingesetzt werden. Derartige Manometer werden mit beiderseits offenen Manometerschenkeln häufig 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“ genannt) eingesetzt werden. Häufig werden sie zur Eichung anderer (gasartabhängiger) Druckmeßgeräte herangezogen. Die Wirkungsweise eines solchen Vakuummeters wird im folgenden erläutert (Abb. 1):

Aus einem Vorratsgefäß G kann Quecksilber mit Hilfe eines Handrades über eine Membranpumpe in die Zuleitung Z zum Meßraum und in die Kugel K mit dem Volumen  $v_1$  gedrückt werden. Beim Ansteigen des Quecksilberspiegels werden Z und K an der Stelle A voneinander getrennt. Steigt das Quecksilber weiter bis in die Kapillare  $K_1$ , so nimmt der Druck in  $K_1$  infolge des großen Volumenunterschiedes von  $K_1$  und K von dem niedrigen, zu messenden Druck  $p_1$  auf den weit höheren Druck  $p_2$  zu. Der auf diese Weise erhöhte Druck kann, analog zum Ablesen eines U-Rohr-Manometers, als Höhenunterschied  $\Delta h$  gemessen werden.

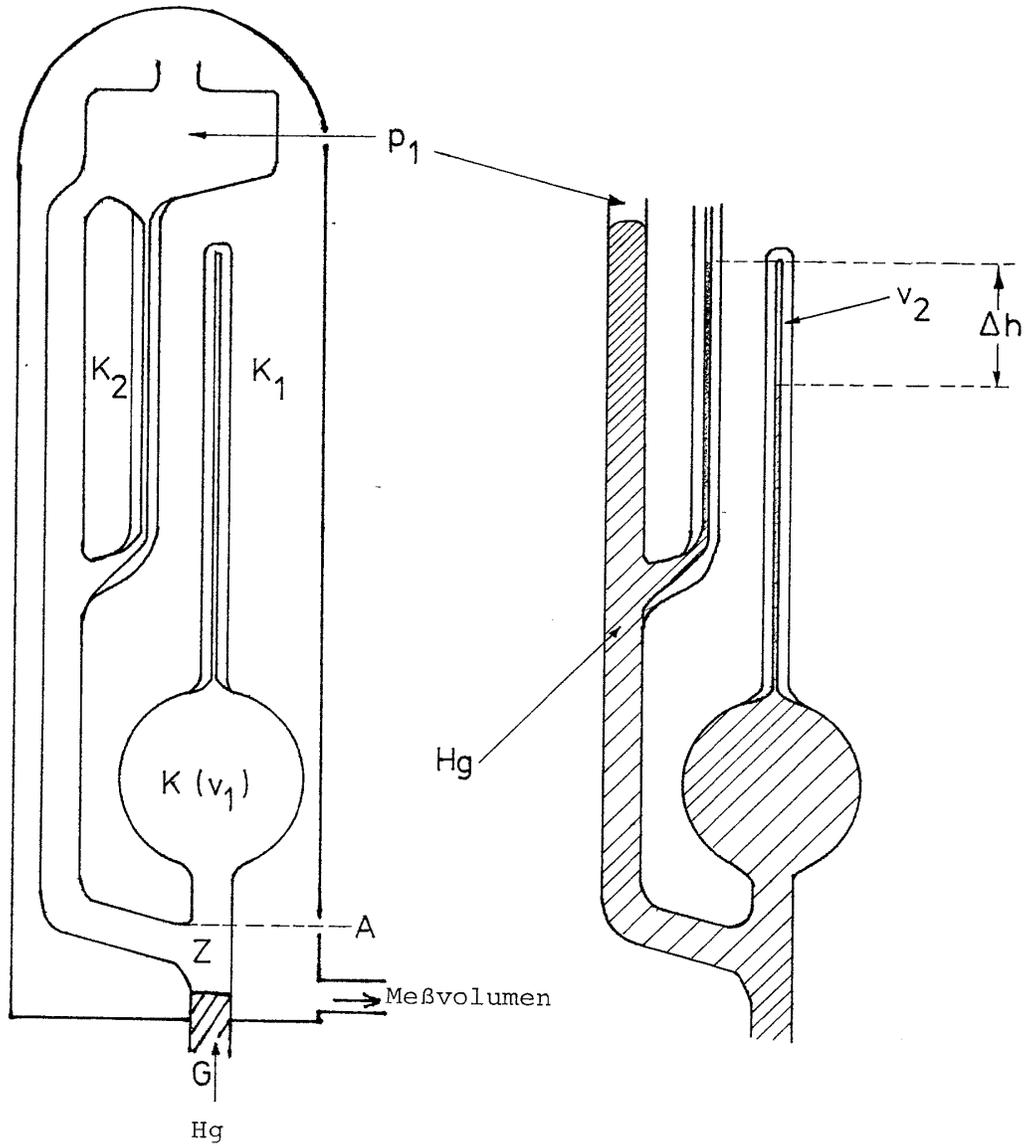


Abb. 1: Wirkungsweise eines Kompressionsvakuummeters (McLeod)

Abgelesen wird der Druck  $p_1$  jedoch konstruktionsbedingt nicht auf einer linearen sondern auf einer quadratisch unterteilten Skala.

Nach dem Boyle-Mariotte'schen Gesetz gilt:

$$(1) \quad p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2, \text{ bei } T = \text{const.}$$

Nun ist:

$$(2) \quad v_2 = \pi \cdot r^2 \cdot \Delta h \quad (\text{wo } r = \text{Radius der Kapillare } K_1)$$

Da  $p_2 \gg p_1$  gilt:

$$(3) \quad p_2 \approx p_2 - p_1 \approx \Delta h \quad (\text{mm Hg-Säule})$$

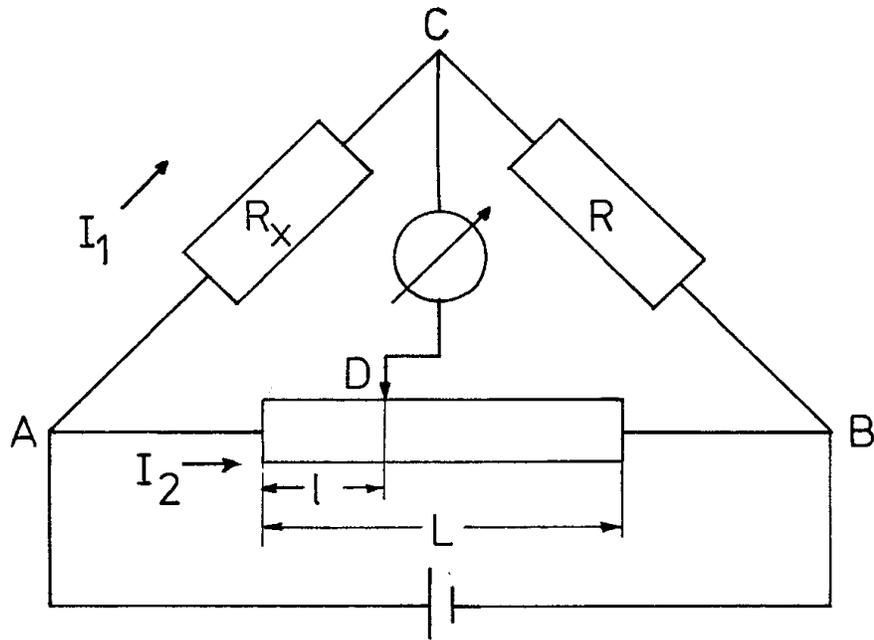
Damit wird:

$$(4) \quad p_1 = p_2 \cdot v_2 / v_1 = \pi \cdot r^2 \cdot (\Delta h)^2 / v_1$$

Wegen der starken Kapillardepression des Quecksilbers ist auch in der Zuleitung zum Meßraum eine Kapillare vom selben Durchmesser angebracht. Zur Messung wird deshalb der Quecksilbermeniskus in  $K_2$  auf das Ende der Kapillare  $K_1$  eingestellt (s. Abb. 1). Auf der Anzeigeplatte sind bereits vom Hersteller die nach (4) berechneten Drücke als Skala angegeben.

Kompressionsvakuummeter sind nur auf solche Gase anwendbar, deren Dampfdruck so groß ist, daß während des Kompressionsvorgangs keine Kondensation eintritt. Das Meßinstrument liefert keine kontinuierliche Druckanzeige. Zu jeder Druckmessung muß das Quecksilber erneut in das Meßsystem gepumpt werden.

Die Wirkungsweise eines Wärmeleitungsvakuummeters (Pirani-Vakuummeter) beruht darauf, daß die Wärmeleitfähigkeit von Gasen bei kleinen Drücken ( $< 1$  mbar) stark vom Gesamtdruck abhängt. In der Meßzelle ist ein dünner Draht aufgespannt, der durch konstante Energiezufuhr geheizt wird und einen Zweig einer Wheatstone'schen Brücke bildet.



$$R_X = R \frac{l}{L-l}$$

Abb. 2: Schaltungsprinzip einer Wheatstone'schen Brücke

Der regelbare Widerstand  $L$  wird solange verstellt, bis das Zeigerinstrument keinen Strom mehr anzeigt. Dann herrscht zwischen  $C$  und  $D$  auch keine Spannung. Durch  $R_X$  und  $R$  fließt dann der gleiche Strom. Die Spannungsabfälle an  $R_X$  und  $l$  sind gleich, ebenso die an  $R$  und  $L - l$ . Durch  $R_X$  fließt der Strom  $I_1$ , durch  $L$  der Strom  $I_2$ . Nach dem 2. Kirchhoff'schen Gesetz verhalten sich die Ströme umgekehrt wie die Widerstände. Es gilt deshalb:

$$(5) \quad I_1 : I_2 = l : R_X \quad \text{und} \quad I_1 : I_2 = (L - l) : R$$

Der besondere Vorteil einer Wheatstone'schen Brückenschaltung besteht in der höheren Genauigkeit der Widerstandsmessungen im Vergleich zur Widerstandsbestimmung durch Strom- und Spannungsmessung nach dem Ohm'schen Gesetz.

Die Brücke ist bei sehr niedrigen Drücken abgeglichen. Mit zunehmendem Gasdruck wird die Brücke verstimmt, da der Meßdraht wegen der höheren Wärmeableitung durch das Gas kälter wird.

Der resultierende Brückenstrom dient als Maß für den Gasdruck und wird auf einem Zeigerinstrument angezeigt.

Während die ungerelgten Wärmeleitungsvakuummeter nur Drücke zwischen  $10^{-3}$  und 10 mbar erfassen, besitzen geregelte Instrumente einen Meßbereich von  $10^{-3}$  bis 1000 mbar.

Eine wichtige Eigenschaft der Wärmeleitungsvakuummeter ist, daß die Wärmeleitung von der Gasart abhängt und die Anzeige daher für jedes Gas gesondert geeicht werden muß. Durch die sehr kleine Einstellzeit eignen sie sich besonders zur Steuerung und für Drucküberwachungsaufgaben.

#### Aufgabe:

Mit Hilfe eines Kompressionsvakuummeters wird die Skala eines Wärmeleitungsvakuummeters für Luft geeicht.

#### Zum Versuchsaufbau:

An einer evakuierbaren Glasapparatur sind neben einer zweistufigen Drehschieberpumpe die beiden Vakuummeter und ein Glaskolben als Puffervolumen angeschlossen.

#### Durchführung:

- 1) Die gesamte Apparatur wird auf etwa 1 mbar evakuiert.  
Der Enddruck wird mit dem McLeod überprüft.

WICHTIG: McLeod nur anschließen, wenn sich das Quecksilber vollständig im Vorratsgefäß befindet!

- 2) Das Puffervolumen wird abgetrennt und die übrige Apparatur auf  $\approx 10^{-3}$  mbar evakuiert. Der Enddruck wird mit dem McLeod überprüft.
- 3) Die Pumpe wird abgetrennt und der Hahn zum Puffervolumen geöffnet.

- 4) Der sich einstellende Druck wird mit dem McLeod gemessen und die zugehörige Zeigerstellung am Anzeigegerät des Wärmeleitungsvakuummeters wird notiert. ( Druck und Skalenteile ! )
- 5) Der Druck in der gesamten Apparatur einschließlich Puffervolumen wird durch vorsichtiges Öffnen des Hahns vor der Pumpe etwas verringert. Anschließend wird wie unter 4) verfahren.
- 6) Der Druck wird schrittweise erniedrigt, so daß im Bereich zwischen 1 und  $10^{-3}$  mbar ca. 20 Messungen gemacht werden können.

Auswertung:

- 1) Es werden zwei Diagramme auf Millimeterpapier angefertigt:
  - a) die dekadischen Logarithmen der mit dem McLeod gemessenen Drücke als Funktion der zugehörigen Skalenteile des Wärmeleitungsvakuummeters.
  - b) die Logarithmen der mit dem McLeod gemessenen Drücke als Funktion der Logarithmen der vom Wärmeleitungsmanometer angezeigten Drücke.

Zeichnen Sie in beiden Diagrammen die Meßpunkte mit Fehlergrenzen ein.

- 2) Diskutieren Sie die Gestalt der Eichkurven und bestimmen Sie den sinnvollen Meßbereich des Wärmeleitungsvakuummeters.

Zubehör:

evakuierbare Glasapparatur, Kompressionsvakuummeter, Wärmeleitungsvakuuummeter mit Anzeigegerät, Glaskolben ( ca. 1l ), zweistufige Drehschieberpumpe, Kühlfalle