

Physikalisches Anfängerpraktikum (P2)

P2-44: Vakuum (2)

Vorbereitung

Matthias Ernst
Matthias Faulhaber

Durchführung: 13.01.2010

0 Theoretische Grundlagen

0.1 Vakuum

Unter "Vakuum" versteht man den Zustand eines Gases (oder einer Flüssigkeit), in einem Volumen bei einem Druck, der deutlich geringer ist als der Druck der Atmosphäre unter Normalbedingungen.

Verschieden starke Vakua unterteilt man nach der Menge der in ihnen verbliebenen Materie. Man unterscheidet zwischen:

- Grobvakuum: 300 bis 1 mbar
- Feinvakuum: 1 bis 10^{-1} mbar
- Hochvakuum: 10^{-3} bis 10^{-7} mbar
- Ultrahochvakuum: $< 10^{-7}$ mbar

0.2 Drehschieberpumpe

Die Drehschieberpumpe ist eine Pumpe die mithilfe eines sich drehenden Zylinders Gas an einem Ansaugstutzen ansaugt, es in den sog. Schopfraum drängt und von dort weiter zu einem Ablassventil pumpt (deshalb auch Rotations-Verdränger-Pumpe). Zum Aufbau der Pumpe gehört neben dem rotierenden Zylinder noch ein Hohlzylinder, in dem dieser exzentrisch gelagert ist. Außerdem befinden sich im drehenden Zylinder Schieber, die in ihm gelagert sind und an die Innenwand des Hohlzylinders gepresst werden. Die Schieber dienen dazu, das Gas in den Schopfraum zu drängen, wobei eine Ölschicht die Reibungsflächen abdichtet.

Durch Kombination zweier Drehschieberpumpen können Hochvakua erzeugt werden.

0.3 Turbomolekularpumpe

Der Aufbau einer Turbomolekularpumpe ähnelt dem einer Turbine. Durch mehrere hintereinander geschaltete Schaufelräder wird Gas gepumpt. Es werden extrem hohe Rotationsgeschwindigkeiten erreicht, die nahe der thermischen Molekularbewegung liegen. Dadurch erhalten gepumpte Gasmoleküle einen zusätzlichen Impuls und werden aus dem zu entleerenden Volumen herausgeschleudert. Dabei ist entscheidend, welchen Impuls sie bereits besitzen. Möchte man beispielsweise Wasserstoff pumpen, so fällt dies aufgrund der geringen Molekülmasse und der höheren thermischen Geschwindigkeit schwerer, als bei anderen, größeren Gasmolekülen.

Die Pumpe erreicht Drehzahlen im Bereich mehrerer zehntausend Umdrehungen pro Minute und wird in Verbindung mit einem vorgeschalteten Vorvakuum zur Erzeugung eines Ultrahochvakuums benutzt.

0.4 Wärmeleitungsmanometer

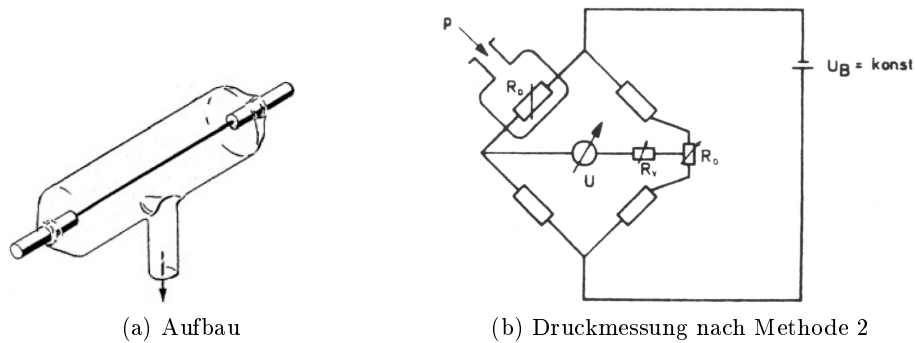


Abbildung 1: Wärmeleitungsmanometer

Das Wärmeleitungsmanometer macht sich die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit vom Druck bei Gasen zunutze. Das Manometer besteht aus einem Glaskolben, in dem ein dünner Draht gespannt ist. Der Glaskolben ist zum zu messenden Volumen hin geöffnet.

Zur Messung wird der Draht von einem Strom der Stärke I durchflossen, wobei er sich erhitzt. Das ihn umgebende Gas überträgt nun Wärme vom Draht auf die Wand des Glaskolbens, wodurch sich eine Gleichgewichtstemperatur einstellt (messbar mit Messsonde). Außer dieser beabsichtigten Wärmeabfuhr kommt es noch zur Übertragung von Wärme durch Störeffekte (z.B. an der Aufhängung des Drahts). Durch diese Störeffekte weist die spätere Messung stets einen Nulldruck auf, um den Messwerte zu korrigieren sind.

Es gibt zwei unterschiedliche Messmethoden mit dem Wärmeleitungsmanometer:

- **Messmethode 1 - Messung mit konstanter Drahttemperatur**

Bei dieser Methode passt man den Strom I stets dem zu messenden Druck an. Sinkt der Druck, so sind weniger Gasmoleküle im Glaskolben vorhanden, um die Wärme vom Draht auf die Außenwand zu übertragen. Um die Temperatur konstant zu halten ist folglich ein geringerer Strom nötig. Durch die Messung des Stroms bei konstanter Drahttemperatur kann somit auf den momentanen Gasdruck geschlossen werden.

- **Messmethode 2 - Messung bei konstanter Heizleistung**

Bei dieser Methode ist das Manometer Teil einer Wheatstone'schen Brückenschaltung und wird von einem Strom konstanter Stärke durchflossen. Sinkt der Gasdruck im Manometer, so fließt weniger Wärme ab, die Temperatur des Draht erhöht sich, wodurch sein Widerstand sinkt. Durch die Änderung des Widerstands des Manometers ändert sich auch die Spannung, die an ihm abfällt. Die Spannungsänderung kann nun mit einem Messgerät innerhalb der Brücke registriert werden, womit zugleich die Druckänderung gemessen werden kann.

Die obere Messgrenze des Wärmeleitungsmanometers liegt bei großen Gasmolekülen bei rund 10mbar, bei Wasserstoff ist sie schon bei ca. 500mbar erreicht.

Um Messwerte bestimmen zu können ist eine genaue Kenntnis der Wärmeleitfähigkeit des untersuchten Gases in Abhängigkeit vom Druck nötig (Eichung der Skala).

0.5 Ionisationsmanometer

Beim Ionisationsmanometer wird das Gas, dessen Druck gemessen werden soll, ionisiert. Dies kann zum Beispiel durch Stoßionisation mit zuvor beschleunigten Elektronen erreicht werden. Die Elektronen treten aus einer Glühkathode aus, die Ionen wandern zu einer Auffängeranode, an der der Ionenstrom I^+ registriert wird. Je geringer nun der Gasdruck, desto weniger Gasmoleküle halten sich im untersuchten Volumen auf, desto weniger Ionen können gebildet werden und desto geringer ist schließlich der gemessene Ionenstrom. Aus der Vorbereitungshilfe lässt sich folgender Zusammenhang entnehmen:

$$I^+(p) = I^- \cdot \frac{\sigma \cdot \Delta l}{k_B \cdot T} \cdot p \quad (1)$$

1 Versuchsvorbereitungen

Vor der Durchführung verschiedener Versuche verschaffen wir uns einen Überblick über die bereits aufgebaute Apparatur und entlüften diese.

2 Druckabhängigkeit von Gasentladungen

In diesem ersten Versuchsteil wollen wir die Abhängigkeit von Gasentladungen vom Druck beobachten. Dazu evakuieren wir Rezipient und Gasentladungsröhre mithilfe der Drehschieberpumpe. (Die Turbomolekularpumpe findet hier noch keine Anwendung.) Während der Evakuierung sind Thermovac-Messgerät und Hochspannungsgerät eingeschaltet und das eingeschlossene Gas soll zum Leuchten angeregt sein. Das durch stoßende Elektronen verursachte Leuchten erlischt bei niedrigem Druck, da die Elektronen aufgrund der größeren mittleren freien Weglänge auf kein Atom mehr treffen können.

Ist das Erlöschen der Gasentladung erreicht, so schließen wir Ventil 2, da wir die Gasentladungsröhre im Folgenden nicht mehr benötigen.

3 Bestimmung des druckabhängigen Saugvermögens der Drehschieberpumpe

In diesem Versuchsteil möchten wir das mittlere Saugvermögen \bar{S} der Drehschieberpumpe ermitteln. Dazu evakuieren wir nochmal die Apparatur, wobei wir den Druck p am Saugstutzen der Pumpe in Abhängigkeit von der Zeit messen. Daraus erhalten wir ein $p(t)$ -Diagramm, mithilfe dessen und der folgenden Formel sich wiederum ein $S(p)$ -Diagramm der Pumpe erstellen lässt:

$$\ln \frac{p}{p_0} = \frac{S}{V} \cdot (t - t_0) \quad \Rightarrow \quad S = \frac{(\ln(p) - \ln(p_0)) \cdot V}{t} \quad (2)$$

Hierbei entspricht p_0 dem Normaldruck, t_0 dem Zeitpunkt $t=0$ und V dem Volumen der evakuierten Apparatur.

Wir erwarten, im gewonnenen $S(p)$ -Diagramm einen linearen Bereich zu erkennen, aus dem wir das mittlere Saugvermögen \bar{S} bestimmen können.

Nach der Messung schalten wir die Drehschieberpumpe ab und belüften vorsichtig den Rezipienten.

4 Bestimmung des Leitwertes eines Metallrohres

Hier wollen wir den Leitwert eines Metallrohres bestimmen. Dazu tauschen wir die Verbindungsleitung L zwischen Ventil 1 und dem Wärmeleitungsmanometer T2 (bisher aus Metallwellschlauch) gegen ein gleichlanges Metallrohr mit 2mm Innendurchmesser aus. Anschließend evakuieren wir wieder den Rezipienten, wobei wir bei beiden Messstellen T1 und T2 den Verlauf des Drucks messen. Anschließend können wir aus den gewonnenen Messwerten das Saugvermögen S_P an der Pumpe, sowie das Saugvermögen S_R nach dem Rohr bestimmen. Darauf wiederum lässt sich der Leitwert des Rohres berechnen zu:

$$L = \left(\frac{1}{S_R} - \frac{1}{S_P} \right)^{-1} \quad (3)$$

Im Anschluss schalten wir die Drehschieberpumpe wieder ab, belüften vorsichtig den Rezipienten und tauschen das Rohr wieder durch den Metall-Wellschlauch aus.

5 Bestimmung des Saugvermögens der Turbomolekularpumpe

In diesem Versuchsteil möchten wir das Saugvermögen der Turbomolekularpumpe bestimmen. Dazu evakuieren wir die Apparatur zunächst mithilfe der Drehschieberpumpe bis zu einem Druck von $p \leq 4 \cdot 10^{-4}$ mbar. Dann schalten wir die Turbomolekularpumpe, sowie das Ionivac-Messgerät ein. Das Saugvermögen der Pumpe können wir nun analog zu Aufgabenteil 3 bestimmen.

Die Kraft, mit der die Glasglocke auf die Gummierung drückt, berechnet sich zu:

$$F = \Delta p \cdot A \quad (4)$$

6 Aufdampfen von Metallen

Hier wollen wir bei verschiedenen Drucken ($p_1 \leq 10^{-5}$ mbar, $p_2 \approx 10^{-5}$ mbar, $p_3 \approx 10^{-1}$ mbar Vorvakuum) durch eine Kreisblende hindurch einen Indium-Fleck auf eine Plexiglasplatte aufdampfen.

Wir erwarten, dass die Indiumatome bei höheren Drücken auf mehr Gasatome treffen und häufiger gestreut werden. Dies sollte an einer größeren Unschärfe am Rand des aufgedampften Flecks erkennbar sein.

Der Heizstrom, der nötig ist, um das Indium verdampfen zu lassen, muss relativ groß sein. Deshalb verwenden wir in unserem Versuchsaufbau eine zunächst hohe Spannung, welche wir in eine kleinere transformieren, deren Stromstärke dadurch stark erhöht ist und zum Heizen dient. Mithilfe einer weiteren Transformation können wir den Strom wieder herunterregeln und messen. Die zur Messung nötige Eichkurve ist der Vorbereitungshilfe beigelegt.

7 Vorbereitung der Apparatur für die nachfolgende Gruppe

Im Anschluss an unsere Versuche belüften wir die Apparatur, befreien sie von den aufgedampften Schichten und bestücken das Verdampfer-Schiffchen wieder mit Indium. Abschließend evakuieren wir sie mithilfe der Drehschieberpumpe und schließen sämtliche Ventile.

8 Kühlfinger

Hier betrachten wir gemeinsam mit der Nachbargruppe den Einfluss eines Kühlfingers auf den Druck innerhalb einer Glasglocke. Der Kühlfinger soll mit flüssigem Stickstoff gefüllt und der Druckverlauf aufgezeichnet werden.