Vorbereitung

Vakuum
Versuch P2-41,42

Iris Conradi und Melanie Hauck
Gruppe Mo-02

24. Juni 2011

Inhaltsverzeichnis

Grundlagen **3**

1 Überblick über die Apparatur **5**

2 Leitwertbestimmung **5**

3 Saugvermögen der Drehschieberpumpe **6**

4 Saugvermögen der Turbomolekularpumpe **6**

5 Einstufiges statisches Kalibrierungsverfahren **6**

6 Durchschlagfestigkeit **7**

7 Randschärfe aufgedampfter Flecken **8**

8 Apparatur vorbereiten **8**

Literatur **8**

Grundlagen

Drehschieberpumpe Eine Drehschieberpumpe ist eine Verdrängervakuumpumpe. Abbildung 1 verdeutlicht die Funktionsweise dieser Pumpe.
Durch die Federn berühren die Schieber immer die Wand des Schöpfraums. Alternativ können die Schieber, da die Scheibe rotiert, durch die Zentrifugalkraft an den Rand des Schöpfraums gepresst werden.

Durch die Schieber wird der Schöpfraum also in zwei Bereiche aufgeteilt. Da die Scheibe exzentrisch angebracht ist, ändern sich die Volumina der Bereiche während der Rotation kontinuierlich.
Durch den Einlass gelangt Gas aus dem Rezipienten in den rechten Bereich. Die Scheibe rotiert im Uhrzeigersinn, sodass das Volumen nach unten bewegt und vom Einlass abgetrennt wird. Bei weiterer Rotation verringert sich das Volumen und das Gas wird verdichtet. Das Gasvolumen gelangt zum Ventil, wenn der Druck hoch genug ist, öffnet sich das Ventil welches durch Öl beschwert ist. Das Gas tritt aus.

[1] Dr. T. Lehmann:
`http://userpage.chemie.fu-berlin.de/~tlehmann/gp/laborpraxis/oelpumpe-funktion.html`

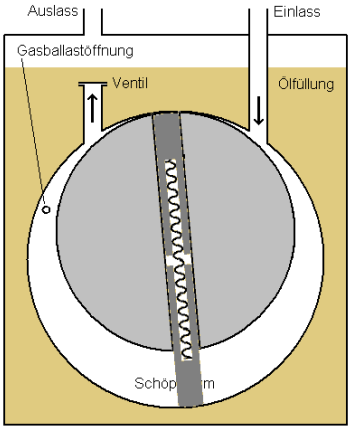

Abbildung 1: Drehschieberpumpe [1]

Somit verringert sich die Gasmenge im Rezipienten.

Turbo-Molekularpumpe Die Gasmoleküle im Rezipienten haben eine Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung und bewegen sich also in alle Richtungen.
Die Turbo-Molekularpumpe besteht aus übereinandergeschichteten Rotoren mit unterschiedlich geneigten Schaufeln. Die Neigung nimmt zum Ausgang der Pumpe hin ab.
Die Gasmoleküle im Rezipienten stoßen mit den Rotorschaufeln und erhalten somit einen Impulsübertrag. Da die Rotationsfrequenz sehr hoch ist, ist dieser Impuls groß im Vergleich zu der thermischen Bewegung. Die Gasteilchen erhalten durch die Rotoren also eine Bewegungsrichtung zur nächsten Rotorschicht, also zum Ausgang. Nur durch Stöße mit der Wand können sie wieder hinausgelangen.

Wärmeleitungsmanometer Bei niedrigen Drücken wird die Wärmeleitfähigkeit eines Gases abhängig vom Druck, da sich die mittlere freie Weglänge vergrößert. Bei Drücken kleiner als 1 mbar wird diese etwa so groß wie der Radius des verwendeten Heizdrahtes. Dadurch nimmt die Wärmeleitfähigkeit bei kleineren Drücken messbar ab. Die Änderung der Wärmeleitfähigkeit ist abhängig vom zu vermessenden Gas.

Zur Messung wird dieser Heizdraht in eine Wheatstonesche Brückenschaltung eingebaut. Der Widerstand des Drahtes ist abhängig von seiner Temperatur. Nimmt die Wärmeleitfähigkeit des Gases ab, so wird der Draht bei konstantem Strom heißer. Man registriert eine Veränderung im Brückenstrom, dieser ist also ein Maß für die Druckänderung.
Alternativ kann der Brückenstrom auf Null gehalten werden, in dem der Strom durch den Draht variiert wird. Dieser ist dann das Maß für die Druckänderung. Vermutlich ist diese Variante genauer, da sich der Innenwiderstand des Messgerätes für den Brückenstrom nicht auswirkt.

Ionisationsmanometer Freie Elektronen werden in einem elektrischen Feld beschleunigt und ionisieren die Gasteilchen. Die dadurch entstehenden positiven Ionen werden mit Hilfe einer Meßelektrode registriert. Der dadurch entstehende Strom ist proportional zur Ionenanzahl, diese ist proportional zur Teilchendichte und diese ist ein Maß für den Druck.
Die freien Elektronen können beispielsweise mithilfe einer Glühkathode erzeugt werden. In unserem Fall soll jedoch ein Penning-Manometer verwendet werden. Bei diesem werden die Gasmoleküle mittels Gasentladung bei hohen Feldstärken ionisiert.

1 Überblick über die Apparatur

Zunächst muss man kontrollieren, ob die Apparatur ordnungsgemäß vorbereitet ist.
Außerdem soll man sich mit der Apparatur vertraut machen.

2 Leitwertbestimmung

Rohrleitungen stellen für die strömenden Gase einen Widerstand dar. Diesen kann man analog zum elektrischen Widerstand definieren:

$$R = \frac{\text{Druckdifferenz}}{\text{Gasstromstärke}} \tag{1}$$

Somit ergibt sich der Leitwert L analog zum elektrischen Leitwert als das reziproke des Strömungswiderstandes R.

Pumpen werden durch ihr Saugleistung $S = {}^{dV}/_{dt}$ charakterisiert. Jedoch ist die effektive Saugleistung am Rezipienten geringer als die an der Pumpe, da sich dazwischen Rohrleitungen mit Strömungswiderständen befinden. Es gilt:

$$\frac{1}{S_{\mathit{eff}}} = \frac{1}{S} + \frac{1}{L} \tag{2}$$

In diesem Versuch wollen wir den Leitwert eines Rohres bestimmen. Dazu betrachten wir die Drücke und Druckänderungen vor und hinter dem Rohr.
Unter der Annahme, dass es sich um ein ideales Gas handelt, können wir die Saugleistung aus den Messwerten folgendermaßen berechnen:

$$S = \frac{dV}{dt} = nRT\frac{d}{dt}\frac{1}{P} = -nRT\frac{1}{P^2}\dot{P} = -\frac{V\cdot\dot{P}}{P} \tag{3}$$

Mit Gleichung (2) können wir nun den Leitwert bestimmen, indem wir Gleichung (3) anwenden um aus den Werten des Wärmeleitungsmanometers T1 S und aus den Werten von T2 S_{eff} zu berechnen.

In der Vorbereitungshilfe ist eine Formel zur Berechnung des Leitwertes eines glatten Rohres mit Durchmesser d und Länge l gegeben:

$$L = 12.1\frac{d^3}{l} \cdot \frac{1 + 203 \cdot d \cdot p_m + 2.78 \cdot 10^3 \cdot d^2 \cdot p_m^2}{1 + 237 \cdot d \cdot p_m} \tag{4}$$

wobei p_m den Mittelwert des Druckes am Anfang und Ende des Rohres bezeichnet.

3 Saugvermögen der Drehschieberpumpe

Mit Hilfe von Gleichung (3) kann wieder das Saugvermögen berechnet werden. Wie man sieht hängt es vom Druck ab. Somit kann man das mittlere Saugvermögen in dem Teil bestimmen, indem sich S linear verhält.

4 Saugvermögen der Turbomolekularpumpe

Wie in der vorherigen Aufgabe wird das Saugvermögen bestimmt. Zur Messung wird das Ionisationsvakuummeter IM verwendet.

Die Kraft auf den Dichtungsring entsteht durch die Druckdifferenz zwischen Umgebung ($\approx 10^5$Pa) und evakuiertem Bereich ($\approx 0\,$Pa).
Wir nehmen an, dass die Glocke eine zylindrische Form hat. Entsprechend entsteht die Kraft auf den Ring durch den Druck auf die Deckfläche:

$$F = \Delta P \cdot A = 10^5\text{Pa} \cdot 0.11^2\pi\text{m}^2 = 3.8\,\text{kN} \tag{5}$$

Dies ist ein sehr hoher Wert. Die Glasglocke muss also so konstruiert sein, dass sie der Druckdifferenz standhalten kann. Diese Anpassung ist durch Material und Formgebung der Glasglocke möglich.

5 Einstufiges statisches Kalibrierungsverfahren

Mit Hilfe der in der Apparatur eingebauten Ventile wird immer wieder ein Druckausgleich zwischen Rezipient und einem Referenzvolumen durchgeführt. Vor dem nächsten Druckausgleich wird das Referenzvolumen von außen belüftet. Zu Beginn des Versuches

war der Rezipient evakuiert.
Mit Hilfe des Manometers T3 wird nach jedem Druckausgleich der Gesamtdruck gemessen.

Durch den Druckausgleich expandiert das Volumen aus dem Rezipienten in das Gesamtvolumen aus Rezipient und Referenzvolumen. Diese Expansion und die daraus resultierende Druckänderung kann jedoch vernachlässigt werden, da das Referenzvolumen deutlich kleiner ist, als das Rezipientenvolumen. Daher ist der Gesamtdruck nach dem Druckausgleich eine Summe aus dem Druck der zuvor im Rezipienten herrschte und dem Druck der durch die Expansion des Gases im Referenzvolumen entstanden ist.
Dieser Druck kann mit Hilfe des Boyle-Mariotteschen Gesetzes bestimmt werden. Dieses erhält man aus der Zustandsgleichung des Idealen Gases, wenn man eine konstante Temperatur voraussetzt. Es besagt:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \tag{6}$$

P_1 entspricht hier dem Atmosphärendruck P_{at}, da dieser zuvor im Referenzvolumen herrschte. V_1 ist das Referenzvolumen V_{ref}. V_2 ist die Summe aus Referenzvolumen und Rezipientenvolumen. Dies ist jedoch näherungsweise das Rezipientenvolumen (s.o.).
Somit kommt in jedem Schritt zum aktuellen Rezipientenvolumen der Wert

$$P_{at} \frac{V_{ref}}{V_{Rez}} \tag{7}$$

hinzu. Nach k Druckausgleichen gilt also:

$$P_{ges} = P_{Rez} = P_{Rez}(0) + k \cdot P_{at} \frac{V_{ref}}{V_{Rez}} \tag{8}$$

Die Veränderung des Gesamtdruckes ist also näherungsweise linear.

Im Aufgabentext wird von einer Kalibrierung gesprochen. Es ist jedoch nicht klar, was kalibriert werden soll.

6 Durchschlagfestigkeit

In diesem Versuch soll die elektrische Durchschlagfestigkeit („Widerstand“ gegen Gasentladung) in Abhängigkeit vom Druck gemessen werden. Dazu wird die Spannung gemessen, die zu einer Entladung nötig ist.
Wir erwarten ein Minimum in der Durchschlagsfestigkeit (vgl. Walter Umrath: Grundlagen der Vakuumtechnik S.164). Daher vermuten wir, dass die Art des Funkenüberschlags vor und nach dem Minimum verschieden sein wird.
Dieses Minimum muss in der praktischen Anwendung beachtet werden. Man kann es

gezielt ausnutzen. Aber bei anderen Anwendungen mit evakuierten Bereichen müssen ungewollte Funken verhindert werden.

7 Randschärfe aufgedampfter Flecken

In diesem Versuch verdampfen wir Indium mit diesem wird eine Kreisblende auf einer Plexiglasscheibe abgebildet.
Diesen Vorgang wiederholen wir bei drei verschiedenen Drücken und beobachten die zum Verdampfen benötigte Heizleistung und die Form des Flecks.

Aus den Überlegungen zum Wärmeleitungsmanometer schließen wir, dass bei geringen Drücken die Heizleistung niedriger ist als bei hohen Drücken, da die Wärmeleitfähigkeit des Gases im Rezipienten bei steigendem Druck zunimmt.
Außerdem erwarten wir, dass die Randunschärfe des Fleckes mit steigendem Druck zunimmt, da die Indium-Teilchen vor dem Auftreffen auf die Plexiglasscheibe mit anderen Gasteilchen stoßen (freie Weglänge sinkt mit steigendem Druck) und somit abgelenkt werden.

8 Apparatur vorbereiten

Entsprechend der Aufgabenstellung soll die Apparatur wieder in ihren Ausgangszustand zurückversetzt werden.

Literatur

- Walter Umrath: Grundlagen der Vakuumtechnik
- Wutz, Adam, Walcher: Theorie und Praxis der Vakuumtechnik, 1988
- Literatur aus der Vorbereitungsmappe: Kapitel 7 Molekularpumpen