

Vorbereitung

Vakuum

Carsten Röttele Stefan Schierle

Versuchsdatum: 29.05.2012

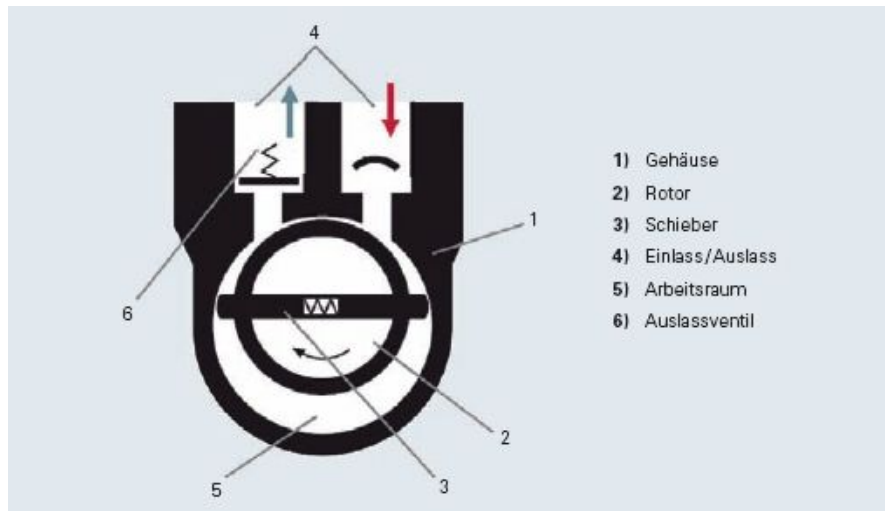
Inhaltsverzeichnis

0	Theoretische Grundlagen	2
1	Demoversuch	3
2	Leitwert eines Metallrohres	3
3	Saugvermögen der Drehschieberpumpe	4
4	Saugvermögen der Turbomolekularpumpe	4
5	Einstufiges statistisches Kalibrierungsverfahren	5
6	Elektrische Durchschlagfestigkeit	6
7	Aufdampfen eines Indium-Flecks auf Plexiglasscheibe	6
8	Vorbereitung der Apparatur	7

0 Theoretische Grundlagen

Drehschieberpumpe

Die Drehschieberpumpe ist eine Rotationsverdrängerpumpe. Sie ist folgendermaßen aufgebaut:



Anhand der Abbildung ist ersichtlich, dass sie aus einem festen zylindrischen Gehäuse besteht und einem exzentrisch gelagerten Rotor mit Schiebern. Durch die Federn und die Zentrifugalkraft berühren die Schieber immer die Wand des Gehäuses, wodurch die Luft sozusagen durch das Auslassventil herausgebracht wird. Zudem werden zur Abdichtung innerhalb der Pumpe und für die Verminderung der Reibung Schmieröle benutzt.

Turbomolekularpumpe

Die Turbomolekularpumpe setzt sich aus übereinandergeschichteten Rotoren mit unterschiedlich geneigten Schaufeln zusammen, wobei die Neigung zum Ausgang der Pumpe hin abnimmt. Die Moleküle des sich daran befindenden Gases stoßen mit den Rotor-schaufeln zusammen und erhalten dadurch einen Impulsübertrag und auch dadurch eine bevorzugte Bewegungsrichtung entlang ihrer Symmetrieachse zum Ausgang. Die Rotoren drehen sich dabei so schnell, dass sie am Rand in den Bereich der mittleren Geschwindigkeit der Gasteilchen kommen, die $\bar{c}_{Gas} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$ lautet. Anhand der Formel ist offensichtlich, dass leichtere Gasmoleküle schneller sind und deshalb auch nur durch die Turbomolekularpumpe einen geringen Impulszuwachs erhalten können.

Allerdings ist zu beachten, dass man zuerst ein Vorvakuum benötigt, da die Pumpe sich sonst viel zu stark erhitzen würde, aufgrund der starken Luftreibung.

Wärmeleitungsmanometer

Wenn man niedrige Drücke von bis zu 10^{-4} mbar messen will, ist ein Wärmeleitungsmanometer (auch Pirani-Vakuummeter genannt) ein nützliches Hilfsmittel. Dieses Messgerät beruht auf Abhängigkeit der Wärmeleitung vom Umgebungsdruck im Bereich von ca. $5 \cdot 10^{-4}$ bis 10^3 mbar. Da die Wärmeleitung auch für jedes Gas unterschiedlich groß ist, wird das Manometer meistens auf ein Gas geeicht.

Hierzu ist das wichtigste Bestandteil des Wärmeleitungsmanometers ein Heizdraht, welcher in eine Wheatstonesche Brückenschaltung eingebaut ist. Die Brückenschaltung und ein Operationsverstärker sorgen dafür, dass der Widerstand des Drahtes gleich bleibt und sich somit auch die Temperatur nicht erhöht. Dies geschieht mithilfe einer Spannung, welche so variiert wird, dass sie die Wärme des Drahtes ableitet. Je nachdem wie groß die Spannung ist, kann man daraus auf den Druck schließen.

Ionisationsmanometer

Will man nun aber noch kleinere Drücke messen, also in den Bereich eines Hochvakuums kommen, reicht ein Wärmeleitungsmanometer nicht mehr aus, stattdessen benötigt man ein Ionisationsmanometer. Dieses Druckmessgerät ist der Oberbegriff für entweder ein Glühkathoden- oder ein Kaltkathodenmanometer. Weil wir in unserem Fall ein Penning-Vakuummeter, also ein Kaltkathodenmanometer, benutzen, wird im Folgenden dieses beschrieben. Es werden hier Elektronen mithilfe eines Aufbaus aus Anode und Kathode, an welchem eine Gleichspannung von ca. 2kV anliegt, beschleunigt, womit die noch vorhandenen Gasteilchen ionisiert werden. Über den entstehenden Ionisierungsstrom kann man dann den Druck bestimmen. Insgesamt eignet sich dieses Messgerät bei Drücken zwischen etwa 10^{-2} bis 10^{-12} mbar, womit man also ein ziemlich genaues Vakuum bestimmen kann.

1 Demoversuch

Zunächst soll man sich einen Überblick über den Versuchsaufbau machen, indem man sich anschaut, wie die einzelnen Bauteile und Leitungen miteinander verbunden sind. Danach soll man die Turbomolekularpumpe noch ausgeschaltet lassen und nur mithilfe der Drehschieberpumpe die Gasentladungsröhre und den Rezipienten evakuieren. Hierzu sollte die Ventile V1 und V2 offen sein. Nun soll man warten bis die Gasentladung erlischt durch die Druckerniedrigung, um anschließend das Ventil V2 für den Rest der Aufgaben zu schließen, damit

2 Leitwert eines Metallrohres

Die Rohrleitungen stellen für die strömenden Gase einen Widerstand dar, welchen man ähnlich wie einen elektrischen Widerstand betrachten kann, nämlich:

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

Auch der in der Aufgabe zu bestimmende Leitwert L kann man äquivalent zum elektrischen Leitwert berechnen, also muss man das reziproke des Strömungswiderstandes R bestimmen.

Gebraucht wird hierzu noch die Saugleistung $\frac{dV}{dt}$, mit welchen man die Pumpen charakterisieren kann. Wichtig ist aber dabei, dass die effektive Saugleistung am Rezipienten nicht so groß ist wie die an der Pumpe, aufgrund der Strömungswiderständen der sich dazwischen befindenden Rohrleitungen. Man erhält somit also:

$$\frac{1}{S_{eff}} = \frac{1}{S} + \frac{1}{L} \rightarrow L = \frac{S \cdot S_{eff}}{S - S_{eff}}$$

Um die Saugleistungen zu berechnen, müssen wir die Druckänderungen vor und hinter dem Rohr betrachten. Wir benutzen hierbei zur Umformung das ideale Gasgesetz, wobei die Temperatur konstant bleibt:

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

Mit den Werten des Wärmeleitungsmanometers T1 können wir S berechnen und mit denen aus T2 S_{eff} und mit daraus dann den Leitwert.

Zum Vergleich können wir eine in der Vorbereitungshilfe angegebene Formel für den Leitwert eines glatten Rohres mit Durchmesser d und Länge l benutzen:

$$L = 12,1 \cdot \frac{d^3}{l} \cdot \frac{1 + 203 \cdot d \cdot p_m + 2,78 \cdot 10^3 \cdot d^2 \cdot p_m^2}{1 + 237 \cdot d \cdot p_m}$$

p_m ist hier der Mittelwert des Druckes zwischen dem Anfang und dem Ende des Rohres.

3 Saugvermögen der Drehschieberpumpe

Hier soll man mithilfe der Drehschieberpumpe zunächst die Apparatur evakuieren, um gleichzeitig am Saugstutzen der Pumpe mit der Messsonde T1 Messwerte aufzunehmen. Davon sollte man zu Beginn möglichst viele aufnehmen und zum Ende hin noch alle 15s, was man mit einer Stoppuhr überprüfen kann. Alle Messwerte werden danach in ein $S(p)$ -Diagramm aufgezeichnet, woraus man anschließend das mittlere Saugvermögen $\bar{S}$ bestimmen soll. Dies erhält man aus dem linearen Bereich des Kurvenverlaufs.

4 Saugvermögen der Turbomolekularpumpe

Äquivalent zur vorherigen Aufgabe soll wieder das Saugvermögen bestimmt werden, jetzt aber von der Turbomolekularpumpe. Hierzu wird zum Messen die Ionisationsmanometer-Messsonde benutzt.

Zunächst gilt es hierzu die Apparatur wieder zu belüften bis sich ein Druck von 0,2 mbar eingestellt hat, um es danach wieder zu evakuieren. Allerdings muss jetzt die Turbomolekularpumpe (TMP) eingeschaltet werden, wenn der Druck nur noch 0,08 mbar groß ist. Mit der Iovanic-Messröhre soll man den Druck alle 10 s aufzeichnen und die Messwerte anschließend wieder in ein Diagramm, wie in der vorherigen Aufgabe, aufzeichnen. Zudem soll noch die Kraft abgeschätzt werden, welche auf den Dichtungsring wirkt. Dazu wird zuerst die Druckdifferenz benötigt, wobei wir für die Umgebung den Normalluftdruck von $1\text{bar} = 10^5\text{Pa}$ annehmen, und zudem den evakuierten Bereich auf etwa 0Pa abschätzen. Wenn man die Glocke als zylinderförmig annimmt, ergibt sich für die auf sie wirkende Kraft:

$$F = \Delta p \cdot A = 10^5\text{Pa} \cdot 0,11^2\pi\text{m}^2 \approx 3,8\text{kN}$$

Da dies eine große Kraft ist, muss die Gasglocke so gebaut sein, dass sie diese große Druckdifferenz aushält. Dies erhält man durch die richtige Form und das richtige Material der Glasglocke.

5 Einstufiges statistisches Kalibrierungsverfahren

Bei diesem Versuch muss man zunächst mit der Drehschieber- und der Turbomolekularpumpe ein Druck von $p < 10^{-4}\text{mbar}$ erzeugt werden, um danach den Rezipienten mithilfe des Ventils V2 vom Versuchsaufbau zu trennen und die Pumpen abzustellen. Nun soll das Ventil V3 geöffnet werden und der neue Druck p_{ges} im Rezipienten und Referenzvolumen an T3 gemessen werden. Jetzt muss wieder V3 geschlossen werden und dafür das Belüftungsventil B2 geöffnet werden, sodass sich im Referenzvolumen der Atmosphärendruck einstellt. Nun gilt es die letzten beide Schritte solange zu wiederholen bis man einen Druck von ca. 80 mbar erreicht hat, um danach den Druckverlauf und den Iterationszuwachs zu skizzieren, sowie das Expansionsverhältnis zu bestimmen.

Um den jeweiligen Druck zu bestimmen, benutzt man das Boyle-Mariottesche Gesetz(ideales Gasgesetz), welches bei einer konstanten Temperatur besagt:

$$p_1V_1 = p_2V_2$$

In unserem Fall ist p_1 der Atmosphärendruck p_{atm} , weil dieser im Referenzvolumen vor Öffnen des Ventils herrschte. V_1 ist logischerweise das Referenzvolumen V_{ref} . V_2 ist eigentlich die Summe aus Referenz- und Rezipientenvolumen, jedoch kann hier das Referenzvolumen vernachlässigt werden, da es viel kleiner als das Rezipientenvolumen ist. Somit muss bei jedem Wiederholvorgang ein neuer Druck dazu addiert werden, nämlich:

$$p_{atm} \frac{V_{ref}}{V_{rez}}$$

Man erhält also einen näherungsweise linearen Druckverlauf nach k Druckausgleichen, mit der Gleichung:

$$p_{ges} = p_{rez} = p_{rez}(0) + k \cdot p_{atm} \frac{V_{ref}}{V_{rez}}$$

6 Elektrische Durchschlagfestigkeit

Als nächstes soll die elektrische Durchschlagfestigkeit in Abhängigkeit vom Druck gemessen werden. Hierzu werden zwei Metallkugeln benutzt, zwischen welchen man so lange eine Spannung anlegt und erhöht, bis es zu einer elektrischen Entladung kommt. Den ganzen Versuch wiederholt man bei verschiedenen großen Drücken, angefangen bei einem Druck von 1000 mbar, um diesen anschließend immer zu halbieren, solange bis man einen Druck von 0,05 mbar erreicht hat. Außerdem notiert man sich jeweils die dazu benötigte Spannung.

Nachdem man einen Druck von etwa 0,05 mbar erreicht hat, benutzt man nun den TMP, damit man der Versuchsaufbau noch weiter evakuieren kann, nämlich bis zu ca. $2 \cdot 10^{-4}$ mbar. Wenn man dies erreicht hat, wird die Pumpe ausgeschaltet und man öffnet das Ventil, was eine Steigung des Druckes zur Folge hat. Man führt jetzt wieder bis zu 0,05 mbar die gleichen Messungen durch, nur in die andere Richtung, da ja jetzt der Druck steigt und nicht fällt. Zu beachten ist jedoch, dass die Spannung nicht größer als 9 kV sein darf.

Je nachdem wie groß der Druck ist, kann man verschiedene Entladungen erkennen. So treten Funkenentladungen auf, wenn der Druck größer als 0,1 bar ist, senkt man aber nun den Druck, so sinkt auch die benötigte Spannung. Ist der Druck dann im *mbar*-Bereich kann man eine Glimmladung beobachten, die weniger Energie als die Funkenentladung erzeugt. Dies liegt am Vakuum, in dem sich logischerweise weniger Luftteilchen befinden, weshalb die Elektronen seltener an Gasteilchen stoßen, welche die Wärme erzeugen.

Für die Industrie bedeutet dieses Phänomen, dass man aufpassen muss bei niedrigen Drücken auf Funkenentladungen. Dies ist vor allem bei Flugzeugen wichtig, da in der Höhe von etwa 10000 m der Druck geringer ist, weshalb man deren elektrische Bauelemente und Schaltkreise immer gut prüfen muss.

7 Aufdampfen eines Indium-Flecks auf Plexiglasscheibe

Nun soll man mit einer Kreisblende auf eine Plexiglasscheibe ein Indium-Fleck bei drei verschiedenen Drücken von $p \leq 10^{-5} \text{ mbar}$, $p \approx 10^{-3} \text{ mbar}$ und $p \approx 10^{-2} \text{ mbar}$ aufgedampft werden. Dazu muss zunächst das Indium zum Verdampfen gebracht werden, damit verdampfte Teilchen sich an der kalten Plexiglasscheibe absetzen können. Zu Beobachten gilt es hierbei den benötigten Heizstrom, welche mit niedrigerem Druck auch geringer sein sollte, und die jeweilige Randschärfe der aufgedampften Flecke.

Aufpassen muss man, dass man schon ein Hochvakuum hat, bevor das Indium verdampft, damit es zu keiner Reaktion mit Luftteilchen kommt. Außerdem muss besonders auf das

Tantal-Verdampferschiffchen geachtet werden, da dies nicht schmelzen darf, was man durchaus mit dem zur Verfügung stehenden Heizstrom erreichen könnte.

8 Vorbereitung der Apparatur

Zuletzt soll die Apparatur wieder für die nachfolgenden Gruppen vorbereitet werden. Dazu sollte sie zuerst belüftet und gereinigt werden. Außerdem sollte das Aufdampfschiffchen mit ein bisschen Indium bestückt werden, um anschließend die Apparatur wieder zusammenzubauen und sie schließlich zu evakuieren.