

Versuch Nr.V70

Vakuumversuch

Niklas Düser
niklas.dueser@tu-dortmund.de

Benedikt Sander
benedikt.sander@tu-dortmund.de

Durchführung: 11.04.2022

Abgabe: 23.06.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung

In diesem Versuch werden allgemeine theoretische Begriffe in Verbindung mit Vakuumina erläutert. Experimentiell wird das Saugvermögen einer Drehschieberpumpe und einer Turbomolekularpumpe bestimmt. Dazu werden jeweils einige Evakurierungskurven aufgenommen und Leckratenmessungen durchgeführt.

2 Theorie

2.1 Vakuum

Allgemein wird von einem Vakuum gesprochen, sobald der Druck innerhalb eines Gefäßes niedriger als sein Umgebungsdruck ist. Da der niedrigste auf der Erde vorkommende Atmosphärendruck in großer Höhe bei $p = 300 \text{ mbar}$ liegt, wird ab dann von einem Vakuum gesprochen. Es ist in diesem Versuch eine gute Annäherung wenn wir bei dem vorliegendem Gas von idealem Gas sprechen. Dies bedeutet, dass jegliche Wechselwirkungen zwischen Teilchen nur durch vollkommen elastische Stöße passieren und die Gasteilchen keine Ausdehnung haben. Wenn dies angenommen wird, kann das Gas auch mit der Idalen Gasgleichung

$$p \cdot V = N \cdot K_b \cdot T \quad (1)$$

beschreiben werden. Hier is p der Druck, V das Volumen, N die Teilchenzahl, K_b die Boltzmann Konstante und T die Temperatur. Ein SPEzialfall dieser Gleichung ist das *Gesetz von Boyle-Mariotte*, dieses besagt, dass bei konstanter Temperatur

$$p \approx V^{-1} \quad (2)$$

ist.

2.2 Fachbegriffe

2.2.1 mittlere freie Weglänge

(nach Quelle [**wiki:mfW**])

die *mittlere freie Weglänge* beschreibt die durchschnittliche Fluglänge eines Gasteilchens zwischen zwei Kollisionen mit anderen Gasteilchen.

2.2.2 Sorption

(nach Quelle [**wiki:sor**])

Bezeichnet den Vorgang einer Anreicherung eines Stoffes. Hier beschreibt die Absorption, wenn der Stoff innerhalb einer Phase aufgenommen wird, zum Beispiel die Aufnahme einer Elektromagnetischenwelle. Adsorption ist im Gegensatz zur Absortion die Analgerung auf der Oberfläche oder Grenzfläche eines Stoffes.

2.2.3 Desorption

Im Gegensatz zu der Sorption, beschreibt die Desorption den Prozess bei dem Atome oder Moleküle die Oberfläche eines Festkörpers verlassen und in die Gasphase übergehen.

2.3 Vakuumbereiche

(nach Quelle [pfeiffer:grund])

Physikalisch sind mehrere Vakuumbereiche definiert, da die verschiedenen Dichten zu stark unterschiedlichem Gasverhalten führen.

2.3.1 Grobvakuum

Im ersten Druckbereich wird von einem Grobvakuum gesprochen, dieser ist zwischen 103 mbar und 1 mbar definiert. In diesem Bereich findet allgemein Viskose Strömung statt, in der der Großteil der Stöße zwischen den Gasteilchen untereinander und nicht mit der Gefäßwand stattfinden. Es muss jedoch abhängig von der Teilchengeschwindigkeit, der Teilchendichte und der Gefäßgröße zwischen laminarer oder turbulenter Strömung unterschieden.

2.3.2 Feinvakuum

Das Feinvakuum ist zwischen 1 mbar und $1 \cdot 10^{-3}$ mbar definiert, hier findet Knudsen-Strömung statt.

2.3.3 Hoch und Ultrahochvakuum

Es wird ab einem Druck von $1 \cdot 10^{-3}$ mbar bis $1 \cdot 10^{-7}$ mbar von Hochvakuum gesprochen, von Ultrahochvakuum ist ab 10^{-7} mbar die Rede. In diesen beiden Druckbereichen findet nur noch Molekulare-Strömung statt. Dies bedeutet, dass die Teilchen untereinander fast nicht mehr Wechselwirken, mathematisch ist hier die mittlere freie Weglänge größer als die Weite des Stömungskanal.

Diese unterscheidlichen Stömungsarten haben hohe Relevanz bei praktischen Anwendungen da zum Beispiel das effektive Saugvermögen von Vakuumpumpen beeinträchtigt wird. Im Grobvakuum ist es wichtig einen großen Leitungsdurchmesser einzubauen, damit laminare Stömung sicher gestellt ist, im Ultrahochvakuum reichen relativ kleine Leitungsdurchmesser jedoch wieder aus.

2.4 Arten der Vakuumerzeugung

(nach Quelle [peiffer])

Vakuumpumpen können sich stark in ihrer Funktionsweise abhängig vom Arbeitsbereich unterscheiden. Der größte Unterschied liegt zwischen gasbindenden und gasfördernden Vakuumpumpen, wobei sich gasfördernde Pumpen noch einmal in in verdrängende und kinetische Pumpen unterteilen. Gasbindende Vakuumpumpen funktionieren durch Sorption indem Gasteilchen von der Pumpe aufgenommen werden, dieses Prinzip ergibt erst bei

bereits sehr gutem Vakuum Sinn. Gasfördernde Vakuumpumpen fördern Gas durch abgeschlossene Volumen die komprimiert werden oder sich ausdehnen. Kinetische Pumpen erhöhen das Vakuum indem Gasteilchen in richtung der Pumprichtung beschleunigt werden. Auch dieses Vakuumerzeugungsprinzip hat bei Atmosphärendruck einige Probleme und benötigt ein Vorvakuum.

2.4.1 Drehschiebervakuumpumpe

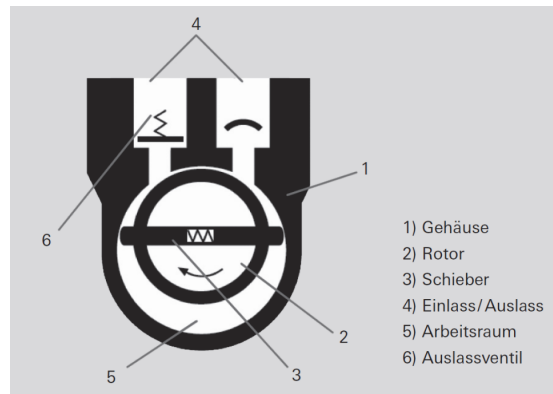


Abbildung 1: Der schematische Aufbau einer Drehschiebervakuumpumpe

Die Drehschiebervakuumpumpe ist eine Rotationsverdrängerpumpe. Sie besteht aus dem Gehäuse (1), dem eingebauten Rotor (2), den mit Flieh- und Federkraft radial bewegten Schiebern (3) und dem Ein- bzw. Auslass (4). Das Innere des Arbeitsraumes (5) wird durch den Stator, den Rotor und die Schieber in mehrere Bereiche eingeteilt. Diese Saugen beim neuen Gas aus dem Rezipienten und erhöhen dessen Vakuum wenn sie expandieren. Sobald das Volumen dann wieder vom Rezipienten getrennt ist, wird es komprimiert um dann Gas durch den Auslass zu drücken. Eine zweistufige Drehschiebervakuumpumpe kann Drücke bis zu $5 \cdot 10^{-4}$ mbar erreichen, in diesem Versuch wird jedoch nur eine einstufige Pumpe mit einem Enddruck von $p = 2,1 \cdot 10^{-2}$ mbar benutzt. Ein Nachteil der Drehschiebervakuumpumpe ist, dass unter anderem zum abschließen der Kammern, Öl verwendet wird. Mittels Desorption können Moleküle aus dem Öl in das Gas übergehen und dieses Verunreinigen. [pfeiffer:dreh]

2.4.2 Turbomolekularpumpe

2.5 Saugvermögen

$$S = \frac{dV}{dt} \quad (3)$$

2.5.1 Messung der $p(t)$ -Kurve

$$p \cdot V = \text{const} \quad (4)$$

$$\frac{dV}{dt} = S = -\frac{V}{p} \frac{dp}{dt} \quad (5)$$

$$p(t) = p_0 \exp\left(-\frac{S}{V_0} t\right) \quad (6)$$

$$p(t) = (p_0 - p_E) \exp\left(-\frac{S}{V_0} t\right) + p_E \quad (7)$$

2.5.2 Leckratenmessung

$$S = \frac{Q}{p_g} \quad (8)$$

$$Q = V_0 \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad (9)$$

$$S = \frac{V_0}{p_g} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad (10)$$

$$S_{\text{eff}} = \frac{S_0 \cdot L}{S_0 + L} \quad (11)$$

2.6 Arten der Vakuummessung

2.6.1 Pirani-Vakuummeter

2.6.2 Pennin-Vakuummeter

2.6.3 Bayard-Alpert-Vakuummeter

2.7 Piezo-Vakuummeter

3 Vorbereitung

Vorbereitung:

Partialdruck:

-Der Druck der in einem Gasgemisch durch eine einzelne/oder mehrere Komponente entsteht

-Setzt sich zum Gesamtdruck additativ zusammen

Leitwert:

-Maß des Widerstandes beim Fluss eines Fluides durch ein Kabel analog zur elektrischen Leitfähigkeit?

5. Gasstrom:

-Fluss an Gass also Materie sehr geringer Dichte?

Saugleistung:

- dpV/dt , das auf die Stoffmenge bezogene Durchlassvermögen

Saugvermögen:

-Volumen pro Zeit bei Umgebungsdruck = 1bar und 20 Grad Celsius

effektives Saugvermögen einer Vakuumpumpe:

-Das effektive Saugvermögen ist das Saugvermögen um einen gewissen Faktor verringert, dieser berechnet sich aus dem Verhältnis des Druckes am Vakuumbehälter und dem Ansaugstutzen oder durch:

$S(\text{eff}) = S/(1 + S/L)$ mit dem Leitwert L

Leitwert eines Rohres:

- $(\pi * d^4)/(256 * \eta * l) * (p_1 + p_2)$ Laminar:

6. Adsorption:

-Wenn Materie sich an der Oberfläche von Materialien

Absorption:

-Wenn Materie/EM-Wellen in Materie aufgenommen werden

Desorption:

-Wenn Materie die Oberfläche eines Festkörpers verlässt, bzw aus der Flüssigen in die Gasphase übergeht

-Umkehrprozess der Sorption

Diffusion:

-Der Prozess wenn ohne äußere Einwirkungen ein Konzentrationsunterschied sich ausgleicht.

”virtuelles”Leck:

-Prozesse die das Vakuum reduzieren, jedoch von außen nicht messbar sind.

- Ausgasung/Desorption/rückstände

7. Methoden der Vakuumerzeugung:

Funktionsweise von:

Drehschieberpumpe:

Druckeinheiten:

-Technischer Atmosphärendruck $\text{atm} = \text{kp}/\text{cm}^2 = 98,0665 \text{ kPa}$

-Bar $\text{bar} = 100\text{kPa}$ about equals 1at

-Torr, Druck von einem Millimeter Quecksilber $\text{mmHg} = 1/760 \text{ atm}$

-1 Meter Wassersäule $mWS = 0,1atm = 9.8kPa$

Teilchenzahldichte:

- Anzahl an Teilchen pro Volumen, n oder C

Teilchengeschwindigkeit:

-Die durchschnittliche Geschwindigkeit von Teilchen?

mittlere freie Weglänge:

- Durchschnittliche Länge die ein Teilchen zwischen 2 Kollisionen fliegt

4. Laminare Strömung:

-Eine Strömung ohne sichtbare Turbulenzen/Verwirblungen

-Das Fluid strömt in Schichten

molekulare Strömung:

- die mittlere freie Weglänge ist deutlich größer als der Durchmesser der Strömung

- Konstanter Fluss bei gleichem Druck

Leitwert:

-Maß des Widerstandes beim Fluss eines Fluides durch ein Kabel analog zur elektrischen Leitfähigkeit?

5. Gasstrom:

-Fluss an Gass also Materie sehr geringer Dichte?

Saugleistung:

- dpV/dt , das auf die Stoffmenge bezogene Durchlassvermögen

Saugvermögen:

-Volumen pro Zeit bei Umgebungsdruck = 1bar und 20 Grad Celsius

effektives Saugvermögen einer Vakuumpumpe:

-Das effektive Saugvermögen ist das Saugvermögen um einen gewissen Faktor verringert, dieser berechnet sich aus dem Verhältnis des Druckes am Vakuumbehälter und dem Ansaugstutzen oder durch:

$S_{(eff)} = S/(1 + S/L)$ mit dem Leitwert L

Leitwert eines Rohres:

- $(\pi * d^4)/(256 * \eta * l) * (p_1 + p_2)$ Laminar:

6. Adsorption:

-Wenn Materie sich an der Oberfläche von Materialien

Absorption:

-Wenn Materie/EM-Wellen in Materie aufgenommen werden

Desorption:

-Wenn Materie die Oberfläche eines Festkörpers verlässt, bzw aus der Flüssigen in die Gasphase übergeht

-Umkehrprozess der Sorption

Diffusion:

-Der Prozess wenn ohne äußere Einwirkungen ein Konzentrationsunterschied sich ausgleicht.

”virtuelles”Leck:

-Prozesse die das Vakuum reduzieren, jedoch von außen nicht messbar sind.

- Ausgasung/Desorption/rückstände

7. Methoden der Vakuumerzeugung:

Funktionsweise von:

Drehschieberpumpe:

-Das Volumen der Pumpkammer wird durch einen zylindrischen Rotor und 2 Drehschieber die durch Federn an die Wand gedrückt werden, das Volumen in drei Bereiche geteilt.

-Wenn der Rotor nun rotiert, wird gleichzeitig in einem Bereich neues Gas aus dem Rezipienten gezogen und in einem Anderem Bereich wird das Gas komprimiert und an einem Überdruckventil ausgegeben.

- $p = 0,5 \cdot 10^{-1} \text{ mbar}$ (Feinvakuum)

-es liegt viskose laminare Strömung vor, der Innendurchmesser der Rohre kann also klein sein

Turbomolekularpumpe:

-mehrstufige Turbine mit schaufelähnlichen Scheiben rotiert sehr schnell, ungefähr die mittlere thermische Geschwindigkeit der Teilchen.

-die Teilchen werden beschleunigt und durch Abprallen an den Strator-Schaufeln durch die Pumpe geleitet.

-Probleme bei leichten Gasen da die thermische Geschwindigkeit bereits sehr hoch ist

Methoden der Vakuummessung:

Funktionsweise von:

Wärmeleitungs-Vakuummeter:

-Pirani-Vakuummetr:

-arbeitet im Feinvakuum (10^{-1} bis 10^{-3} mbar)

-nutz aus, dass Wärmeleitung im Bereich des Feinvakuums proportional zum Druck ist

-Wärmeleitung durch Stöße

- Draht wird im Rezipienten mittels Strom aufgeheizt und die Temperatur des Drahtes gemessen indem der Widerstand gemessen wird.
- Bei hohem druck kühlt der Draht schneller ab.

Ionisations-Vakuummeter:

Kaltkathode:

-Penning-Vakuummeter:

-Arbeitet im Hoch-und Ultrahochvakuum(10^{-3} bis 10^{-12} mbar)

-Glaskolben wird an Rezipienten angeschlossen und natürlich frei werdende Elektronen werden zwischen zwei Elektroden beschleunigt

-Stromstärke ist Maß für Druck

-Messgenauigkeit/Messpunkte werden durch ein eternes magnetfeld erhöht

Glühkathode: