

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	3
2	Theorie	3
2.1	Vakuum	3
2.2	Arten der Vakuumerzeugung	3
2.2.1	Drehschieberpumpe	3
2.2.2	Turbomolekularpumpe	3
2.3	Saugvermögen	3
2.3.1	Messung der $p(t)$ -Kurve	3
2.3.2	Leckratenmessung	3
2.4	Arten der Vakuummessung	4
2.4.1	Pirani-Vakuummeter	4
2.4.2	Pennin-Vakuummeter	4
2.4.3	Bayard-Alpert-Vakuummeter	4
3	Vorbereitung	4
4	Aufbau	9
5	Durchführung	9
5.1	Messungen Zur Drehschieberpumpe	9
5.1.1	Evakuierungskurve	9
5.1.2	Saugvermögen	9

1 Zielsetzung

2 Theorie

2.1 Vakuum

2.2 Arten der Vakuumerzeugung

2.2.1 Drehschieberpumpe

2.2.2 Turbomolekularpumpe

2.3 Saugvermögen

$$S = \frac{dV}{dt} \quad (1)$$

2.3.1 Messung der p(t)-Kurve

$$p \cdot V = \text{const} \quad (2)$$

$$\frac{dV}{dt} = S = -\frac{V dp}{p dt} \quad (3)$$

$$p(t) = p_0 \exp\left(-\frac{S}{V_0} t\right) \quad (4)$$

$$p(t) = (p_0 - p_E) \exp\left(-\frac{S}{V_0} t\right) + p_E \quad (5)$$

2.3.2 Leckratenmessung

$$S = \frac{Q}{p_g} \quad (6)$$

$$Q = V_0 \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad (7)$$

$$S = \frac{V_0}{p_g} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad (8)$$

$$S_{\text{eff}} = \frac{S_0 \cdot L}{S_0 + L} \quad (9)$$

2.4 Arten der Vakuummessung

2.4.1 Pirani-Vakuummeter

2.4.2 Pennin-Vakuummeter

2.4.3 Bayard-Alpert-Vakuummeter

3 Vorbereitung

Vorbereitung:

1. Definition des Vakuums:

- keine festen Objekte oder Flüssigkeiten,
- extrem wenig Gas und extrem niedriger Gasdruck
- ”geringer Druck innerhalb eines Gefäßes als außerhalb (Atmosphärendruck)”
- niedriger als 300mbar <- niedriger auf der Erdoberfläche vorkommende Atmosphärendruck

2. Ideales Gas:

- Vielzahl von Teilchen in ungeordneter Bewegung
- Wechselwirkung nur durch harte, elastische Stöße

Boyle-Mariottesches Gesetz:

- konstante Teilchenzahl N, ideales Gas, konstante Temperatur, -> Druck oder Volumenänderung => isotherme Zustandsänderung
- > Volumen V ist anti proportional zum Druck p => $P \cdot V = \text{const}$

Zustandsgleichung für ideale Gase:

$$p \cdot V = N \cdot k_B \cdot T$$

erwarteter Zusammenhang zwischen Druck und Zeit für Evakuierungskurve und Leckratenmessung:

- Die ”Evakuierungsrate” nimmt exponentiell mit der Zeit ab somit steigt der Druck logarithmisch
- Der durch ein Leck Druck nimmt exponentiell ab

3. Druck:

- Druck ist die Kraft auf eine Fläche

Partialdruck:

- Der Druck der in einem Gasgemisch durch eine einzelne/oder mehrere Komponente entsteht
- Setzt sich zum Gesamtdruck additiv zusammen

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 $\text{mWS} = 0,1\text{atm} = 9.8\text{kPa}$

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 Gas 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:

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

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 $\text{mWS} = 0,1\text{atm} = 9.8\text{kPa}$

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 Gas 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:

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

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 Stömung vor, der Innendurchmesser der Rohre kann also klein sein

Turbomolekularpumpe:

- mehstufige 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
- Stomstärke ist Maß für Druck
- Messgenauigkeit/Messpunkte werden durch ein eternes magnetfeld erhöht

Glühkathode:

4 Aufbau

5 Durchführung

Zunächst wird die Funktionsfähigkeit der Anlage überprüft und vorbereitet. Dazu wird getestet ob die Drehschieberpumpe innerhalb von maximal 10 Minuten in der Lage ist einen Enddruck P_E von 0,03 mbar bis 0,05 mbar zu erzeugen. Ist dem nicht so, muss die Anlage auf undichte Stellen überprüft werden. Weiterhin wird dann mit dem bereits vorhandenen Vorvakuum, die Turbopumpe eingeschaltet. Um Wasseranlagen zu entfernen und ... vorzubeugen wird die Anlage auch einmal mit einem Heißluftfön erhitzt. Die Turbopumpe sollte einen Druck von $2 \cdot 10^{-5}$ mbar bis $8 \cdot 10^{-5}$ mbar erzeugen können.

5.1 Messungen Zur Drehschieberpumpe

Sobald bestätigt wurde, dass der Pumpstand ausreichend dicht ist, können Evakuierungskurven aufgenommen und Leckratenmessungen durchgeführt werden.

5.1.1 Evakuierungskurve

Zunächst kommt, dass „abschiebern“ der Turbopumpe, dazu wird V1 und V5 geschlossen und V2 sowie V4 geöffnet. Dann wird bei bereits laufender Drehschieberpumpe der Rezipient belüftet indem für ca. 5 Sekunden D1 und V3 geöffnet wird. Sobald der Rezipient wieder dicht ist, kann dann der Druckabfall als Funktion der Zeit gemessen werden, dazu bieten sich Messzeiten von 180-300 Sekunden an. Bei dieser Messung sollte ein Enddruck von P_E von zwischen 0,04 mbar und 0,06 mbar erreicht werden. Diese Messung wird dann 5-mal wiederholt.

5.1.2 Saugvermögen

Um das Saugvermögen S der Pumpe zu bestimmen, wird eine Leckratenmessung durchgeführt. Dazu wird mittels des Nadelventils ein Gleichgewichtsdruck p_g eingestellt und dann bei weithin offenem Dosierventil die Pumpe vom System abgeschoben. Den darauf folgenden Druckanstieg wird dann als Funktion der Zeit gemessen. Diese Messung wird mit 4 Gleichgewichtsdrücken $p_g = 0,1; 0,4; 0,8$ und 1,0 mbar und jeweils 3 Messreihen durchgeführt.