

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 Vakuumherzeugung	3
2.2.1	Drehschieberpumpe	3
2.2.2	Turbomolekularpumpe	3
2.3	Saugvermögen	3
2.3.1	Messung der $p(t)$ -Kurve	3
3	Vorbereitung	3

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

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

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

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

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

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 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:

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

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:

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

Glühkathode: