Magdalena Boeddinghaus Gruppe Nr.: 09
Dennis Fischer Datum: 12.12.04

Versuch 15: Grundlagen der Vakuumtechnik

Ziel des Versuches ist es, Grundlagen der Vakuumtechnik kennen zu lernen. Dazu werden verschiedene Messreihen aufgenommen um das effektive Saugvermögen der installierten Drehschieberpumpe zu bestimmen. Aus den Daten werden außerdem die mittlere Geschwindigkeit der Gasteilchen, die mittlere freie Weglänge und die Viskosität des Gases bestimmt.

1. Messergebnisse und Auswertung

Die Messergebnisse für die einzelnen Messreihen sind im Anhang an dieses Protokoll zu finden.
Trägt man die logarithmierten Drücke $\ln(p_o/p_t)$ gegen die Zeit t auf, so erhält man eine Gerade mit der Steigung S_{eff}/V. Für die weitere Auswertung berechnen wir die lineare Regression der Geraden, um die Steigung zu bestimmen.

1.1. Die Geradengleichungen

Die Geradengleichungen und lineare Regressionen der einzelnen Messreihen, wie auch Δm und Δb wurden mittels der RGP-Funktion bestimmt.

1.1.1. 1,6 mm Ø Kapillare, 80 mm Länge:
1. Messung: $y = 0{,}0272\ s^{-1}\ x + 0{,}0397$ $\Delta m = \pm 0{,}173 \cdot 10^{-3}\ s^{-1}$ $\Delta b = \pm 0{,}905 \cdot 10^{-2}$
2. Messung: $y = 0{,}0273\ s^{-1}\ x + 0{,}0467$ $\Delta m = \pm 0{,}183 \cdot 10^{-3}\ s^{-1}$ $\Delta b = \pm 0{,}929 \cdot 10^{-2}$
3. Messung: $y = 0{,}0272\ s^{-1}\ x + 0{,}0518$ $\Delta m = \pm 0{,}190 \cdot 10^{-3}\ s^{-1}$ $\Delta b = \pm 0{,}964 \cdot 10^{-2}$

1.1.2. 0,8 mm Ø Lochblende
1. Messung: $y = 0{,}0093\ s^{-1}\ x + 0{,}2347$ $\Delta m = \pm 0{,}223 \cdot 10^{-3}\ s^{-1}$ $\Delta b = \pm 0{,}311 \cdot 10^{-1}$
2. Messung: $y = 0{,}0094\ s^{-1}\ x + 0{,}229$ $\Delta m = \pm 0{,}215 \cdot 10^{-3}\ s^{-1}$ $\Delta b = \pm 0{,}301 \cdot 10^{-1}$
3. Messung: $y = 0{,}0094\ s^{-1}\ x + 0{,}2289$ $\Delta m = \pm 0{,}219 \cdot 10^{-3}\ s^{-1}$ $\Delta b = \pm 0{,}305 \cdot 10^{-1}$

1.1.3. 1,2 mm Ø und 0,5 mm Ø Lochblende:
1. Messung: $y = 0{,}0592\ s^{-1}\ x + 0{,}0742$ $\Delta m = \pm 0{,}703 \cdot 10^{-3}\ s^{-1}$ $\Delta b = \pm 0{,}161 \cdot 10^{-1}$
2. Messung: $y = 0{,}0597\ s^{-1}\ x + 0{,}0607$ $\Delta m = \pm 0{,}619 \cdot 10^{-3}\ s^{-1}$ $\Delta b = \pm 0{,}142 \cdot 10^{-1}$
3. Messung: $y = 0{,}059\ s^{-1}\ x + 0{,}0741$ $\Delta m = \pm 0{,}776 \cdot 10^{-3}\ s^{-1}$ $\Delta b = \pm 0{,}178 \cdot 10^{-1}$

1.2. Das effektive Saugvermögen

Aus den Geradengleichungen und den entsprechenden Steigungen lässt sich nun das effektive Saugvermögen berechnen:

$$\ln \frac{p_0}{p_t} = \frac{S_{eff}}{V} \cdot t$$

$$m = \frac{S_{eff}}{V} \Rightarrow S_{eff} = m \cdot V$$

$$\Delta S_{eff} = \Delta m \cdot V$$

1.2.1. 1,6 mm Ø Kapillare, 80 mm Länge:
$S_{eff\,1} = (55{,}813 \pm 0{,}3539)\ cm^3 * s^{-1}$
$S_{eff\,2} = (55{,}928 \pm 0{,}3755)\ cm^3 * s^{-1}$
$S_{eff\,3} = (55{,}750 \pm 0{,}3900)\ cm^3 * s^{-1}$

$$\sigma_{\overline{S_{eff}}} = \pm\sqrt{\frac{\sum\left(S_i - \overline{S}\right)^2}{n(n-1)}} = \pm 0{,}0521 cm^3 \cdot s^{-1}$$

Die Abweichung berechnet sich nach Student-t mit einer 99%-igen Wahrscheinlichkeit, dass der wahre Wert innerhalb der Grenzen liegt.
$$\overline{S_{eff}} = (55{,}830 \pm 0{,}052) cm^3 \cdot s^{-1}$$

1.2.2. 0,8 mm Ø Lochblende
$S_{eff\,1} = (19{,}106 \pm 0{,}4559)\ cm^3 * s^{-1}$
$S_{eff\,2} = (19{,}191 \pm 0{,}4414)\ cm^3 * s^{-1}$
$S_{eff\,3} = (19{,}202 \pm 0{,}4478)\ cm^3 * s^{-1}$

Die Abweichung berechnet sich nach Student-t mit einer 99%-igen Wahrscheinlichkeit, dass der wahre Wert innerhalb der Grenzen liegt.
$$\overline{S_{eff}} = (19{,}166 \pm 0{,}030) cm^3 \cdot s^{-1}$$

1.2.3. 1,2 mm Ø und 0,5 mm Ø Lochblende:
$S_{eff\,1} = (121{,}277 \pm 1{,}4409)\ cm^3 * s^{-1}$
$S_{eff\,2} = (122{,}310 \pm 1{,}2674)\ cm^3 * s^{-1}$
$S_{eff\,3} = (120{,}835 \pm 1{,}5902)\ cm^3 * s^{-1}$

Die Abweichung berechnet sich nach Student-t mit einer 99%-igen Wahrscheinlichkeit, dass der wahre Wert innerhalb der Grenzen liegt.
$$\overline{S_{eff}} = (121{,}474 \pm 0{,}437) cm^3 \cdot s^{-1}$$

2. Berechnung der gasspezifischen Größen u, λ und η

2.1. Die mittlere Geschwindigkeit u

2.1.1. 1,6 mm Ø Kapillare, 80 mm Länge
$$u_{1,6mm} = \frac{4 \cdot 55{,}830 cm^3 s^{-1}}{\pi \cdot 0{,}0064 cm^2} = 111{,}07 \pm 0{,}10 m \cdot s^{-1}$$

2.1.2. 0,8 mm Ø Lochblende
$$u_{0,8mm} = \frac{4 \cdot 19{,}166 cm^3 s^{-1}}{\pi \cdot 0{,}0016 cm^2} = 152{,}52 \pm 0{,}24 m \cdot s^{-1}$$

2.1.3. 1,2 mm Ø und 0,5 mm Ø Lochblende
$$u_{0,5+1,2mm} = \frac{4 \cdot 121{,}474 cm^3 s^{-1}}{\pi \cdot 0{,}004225 cm^2} = 366{,}07 \pm 1{,}32 m \cdot s^{-1}$$

Die theoretische mittlere Geschwindigkeit von Argon als ideales Gas:

$u = \sqrt{\frac{8 \cdot R \cdot T}{\pi \cdot M}} = 397{,}41 m \cdot s^{-1}$ [mit T = 298 K]

2.2. Die mittlere freie Weglänge λ

Die mittlere freie Weglänge berechnet sich nach folgender Formel:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot {}^{1}N \cdot \sigma \cdot \pi}$$

Nach Atkins ist der Stossquerschnitt σ für Argon 0,36nm^2.

[1]N berechnet sich wie folgt:

$N = n \cdot N_A$ mit: $n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$, 1 Torr (0,00133 bar) und 298 K

$N = 3{,}28 \cdot 10^{22} m^{-3}$

Daraus folgt:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \circ 3{,}28 \cdot 10^{22} m^{-3} \circ 3{,}6 \cdot 10^{-19} m^2 \circ \pi} = 1{,}91 \cdot 10^{-5} m$$

2.3. Die Viskosität η

Die Viskosität lässt sich mit der Molmasse von Argon (M = 0,039948 kg/mol) nach folgenden Formeln berechnen:

$$\eta = \frac{1}{3} \cdot \lambda \cdot u \cdot M \cdot \frac{N}{N_A}$$

Für den Fehler der Viskosität gilt:

$$\Delta\eta = \pm \frac{1}{3} \cdot \lambda \cdot \Delta u \cdot M \cdot \frac{N}{N_A}$$

2.3.1. 1,6 mm Ø Kapillare, 80 mm Länge

$$\eta = 1{,}539 \cdot 10^{-6} \pm 1{,}385 \cdot 10^{-9} kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$$

2.3.2. 0,8 mm Ø Lochblende

$$\eta = 2{,}114 \cdot 10^{-6} \pm 3{,}325 \cdot 10^{-9} kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$$

2.3.3. 1,2 mm Ø und 0,5 mm Ø Lochblende

$$\eta = 5{,}071 \cdot 10^{-6} \pm 1{,}829 \cdot 10^{-8} kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$$

Nach Atkins liegt die Viskosität von Argon bei 293 K und 1 bar bei 223 · 10^{-7} kg · m^{-1} · s^{-1}.
Bei dem Vergleich der beiden Werte muss beachtet, werden, dass die Viskosität druckabhängig ist und der eigene Wert für 1 Torr und der Literaturwert für 1 bar gilt.
Die Druckabhängigkeit liegt darin begründet, dass bei steigendem Druck zwar mehr Moleküle für den Impulstransport zur Verfügung stehen, allerdings ist auch die freie Weglänge der Teilchen kleiner, sodass sie ihn nur über eine kürzere Entfernung transportieren.