

PRAKTIKUM IN PHYSIKALISCHER CHEMIE Universität Dortmund	Gaskinetik / Transportphänomene	Versuch-Nr.: A 11
		Blatt: 1
Innere Reibung von Gasen		

Aufgabe

- Bestimmen Sie die Viskosität η von Gasen aus der Messung der Strömung durch Kapillaren.
- Berechnen Sie aus den Meßergebnissen für jedes Gas die Sutherland-Konstante C , die effektiven Moleküldurchmesser σ_∞ bzw. σ , die mittlere freie Weglänge λ .

Literatur, Sachbezug Lehrbücher der Physikalischen Chemie

Vorlesungsskript
 Kinetische Gastheorie, Transportgleichung
 Transporterscheinungen bei Gasen -
 Viskosität, Wärmeleitung, Diffusion

Grundlagen

Strömung durch Kapillaren:

Die Strömung eines inkompressiblen Fluidums (Flüssigkeit) durch eine Kapillare wird beschrieben durch das Gesetz von Hagen-Poiseuille

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\pi(p_1 - p_2)}{8\eta l} r_0^4 \quad (1)$$

Hierbei bedeuten V das Volumen der Flüssigkeit, das in der Zeit t durch die Kapillare vom Radius r_0 und der Länge l hindurchströmt, wenn zwischen Anfang und Ende des Rohres die Druckdifferenz $(p_1 - p_2)$ herrscht.

Will man die Viskosität η von Gasen nach diesem Verfahren bestimmen, so muß in jedem Fall ihre Kompressibilität berücksichtigt werden. Man ersetzt den Volumenfluss durch den Stoffmengenfluss (nur die Stoffmenge ist bei stationärer Strömung durch jeden Querschnitt konstant) und den Gradienten $(p_1 - p_2)/l$ durch dp/dx und erhält aus (1) mit

PRAKTIKUM IN PHYSIKALISCHER CHEMIE Universität Dortmund	Gaskinetik / Transportphänomene	Versuch-Nr.: A 11
		Blatt: 2
Innere Reibung von Gasen		

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d\left(\frac{nRT}{p}\right)}{dt} = \frac{dn}{dt} \frac{RT}{p} \quad (2)$$

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\pi r_0^4}{8\eta} \frac{p}{RT} \frac{dp}{dx} \quad (3)$$

Unter der Voraussetzung, dass der Radius der Kapillare konstant und die Viskosität druckunabhängig ist liefert die Integration von (3) von $x=0$ bis l und $p_{(x=0)}=p_1$ bis $p_{(x=l)}=p_2$

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\pi r_0^4}{16\eta l} \frac{p_1^2 - p_2^2}{RT} \quad (4)$$

Der Stoffmengenfluss bei Gasen wird in der Regel als Volumenfluss unter Verwendung des idealen Gasgesetzes bestimmt. Oft (wie auch in diesem Versuch) geschieht das bei einem Druck p_0 und einer Temperatur T_0 , die von p_1 und p_2 und T in der Kapillare verschieden sind.

$$\frac{dn}{dt} = \frac{dV_0}{dt} \frac{p_0}{RT_0} \quad (5)$$

Durch Gleichsetzen von (4) und (5) erhält man

$$\frac{dV_0}{dt} = \frac{\pi r_0^4}{16\eta l} \frac{p_1^2 - p_2^2}{p_0} \frac{T_0}{T} \quad (6)$$

Temperaturabhängigkeit der Viskosität:

Die kinetische Gastheorie liefert für ein Gas, das aus starr elastischen Kugelmolekülen vom Durchmesser σ besteht, folgende Temperaturabhängigkeit der Viskosität:

$$\eta = \sqrt{\frac{RTM}{\pi}} \frac{1}{N_A} \frac{1}{\pi \sigma^2} \quad (7)$$

Hierbei ist R die Gaskonstante, T die Temperatur, M die Molmasse und N_A die AVO-GADRO-Konstante.

PRAKTIKUM IN PHYSIKALISCHER CHEMIE Universität Dortmund	Gaskinetik / Transportphänomene	Versuch-Nr.: A 11
		Blatt: 3
Innere Reibung von Gasen		

Wirkliche Gasmoleküle verhalten sich nicht wie harte Kugeln. Ihr effektiver Durchmesser σ nimmt mit steigender Temperatur ab. SUTHERLAND hat dies berücksichtigt in der empirischen Gleichung

$$\sigma^2 = \sigma_\infty^2 \left(1 + \frac{C}{T}\right) \quad (8)$$

Hierbei ist σ_∞ der Wert, den σ für $T \rightarrow \infty$ annimmt, und C eine empirische Konstante mit der Dimension einer Temperatur (SUTHERLAND-Konstante). Mit diesem Ansatz (8) lautet Gl. (7)

$$\eta = \sqrt{\frac{RTM}{\pi}} \frac{1}{N_A} \frac{1}{\pi \sigma_\infty^2} \left/ \left(1 + \frac{C}{T}\right) \right. \quad (9)$$

Bildet man das Verhältnis für zwei verschiedene Temperaturen T_1 und T_2 , so erhält man

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{3/2} \left(\frac{T_2 + C}{T_1 + C}\right) \quad (10)$$

Aus Messungen der Viskosität bei zwei verschiedenen Temperaturen läßt sich nach Gl. (10) die Konstante C bestimmen.

Setzt man die ermittelten Werte für C und η in Gl. (9) ein, so erhält man σ_∞ .

Die mittlere freie Weglänge beträgt für kugelförmige Moleküle

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 \cdot {}^1N} \quad (11)$$

wobei 1N die Anzahl der Moleküle pro Volumen angibt.

PRAKTIKUM IN PHYSIKALISCHER CHEMIE Universität Dortmund	Gaskinetik / Transportphänomene	Versuch-Nr.: A 11
		Blatt: 4
Innere Reibung von Gasen		

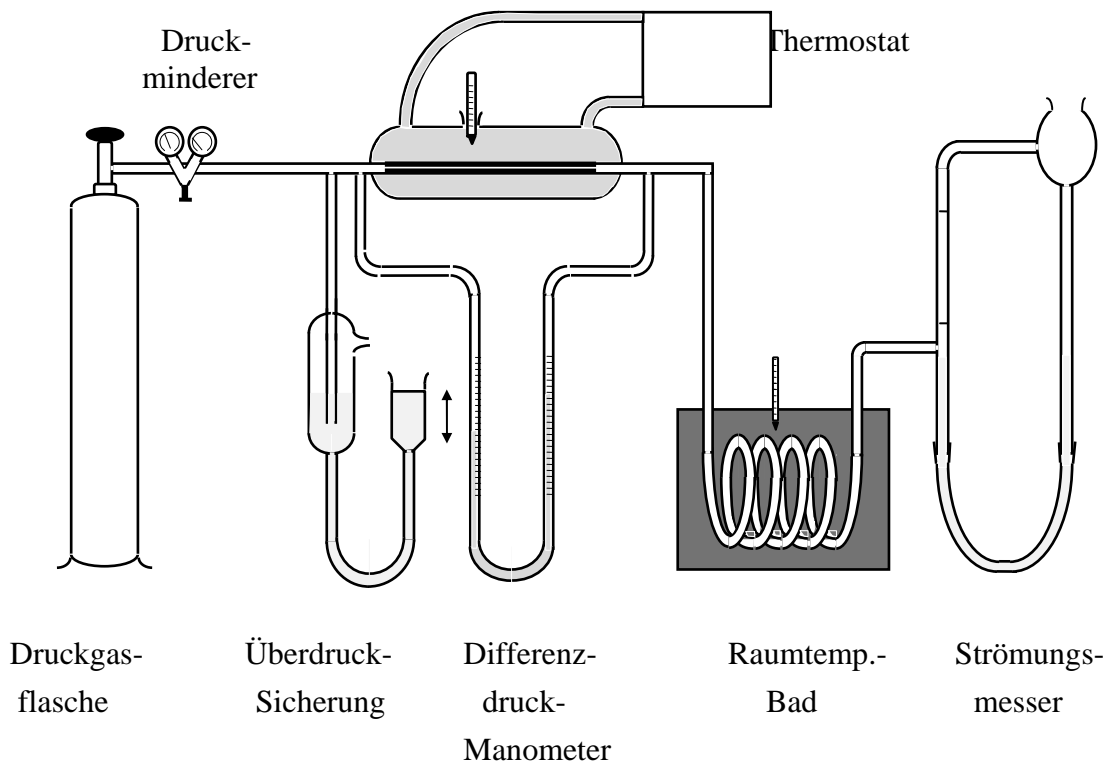
Versuchsdurchführung

Es wird die Strömungsgeschwindigkeit folgender Gase bei 20°C und 70°C gemessen:

He Ar H₂ N₂ CO₂

Das Messprinzip folgt Gl. (6). p_1 wird mit der Überdrucksicherung als Summe des Außendrucks und des hydrostatischen Drucks in der Überdrucksicherung eingestellt. Die Druckdifferenz $p_1 - p_2$ zwischen Ein- und Ausgang der Kapillare wird mit einem Manometer gemessen, die Temperatur der Kapillare über einen Thermostaten geregelt.

Nur zum persönlichen Gebrauch



PRAKTIKUM IN PHYSIKALISCHER CHEMIE Universität Dortmund	Gaskinetik / Transportphänomene	Versuch-Nr.: A 11
		Blatt: 5
Innere Reibung von Gasen		

- Die Gase werden Druckgasflaschen über einen Druckminderer entnommen, über dessen Bedienung die Aufsicht Sie vor dem Versuch informiert.
- Vor Öffnen des Flaschenventils wird die Eintauchtiefe des Glasrohrs in der Überdrucksicherung auf den für die Apparatur angegebenen Wert geregelt und der Wert notiert.
- Stellen Sie den Dreiwegehahn auf By-Pass und öffnen das Hauptventil an der Druckgasflasche. Mit Hilfe des Reduzierventils wird ein Druck von ca. 0,1 – 0,2 bar eingestellt und das Nadelventil an der Druckgasflasche voll geöffnet.
- Öffnen Sie das Regulierventil an der Apparatur bis das Messgas hörbar aus dem By-Pass entweicht. Nach ca. 30 sec ist der Anschlußschlauch frei von Fremdgasen.
- Das Regulierventil wird geschlossen und das Dreiwegeventil auf Messen gestellt. Öffnen Sie das Regulierventil vorsichtig und regeln Sie den Druck so ein, daß wenig Gas aus der Überdrucksicherung entweicht (ca. eine Blase pro Sek.).
- Das Gas durchströmt die temperierte Kapillare aufgrund der am Manometer abzulesenden Druckdifferenz $\Delta p = p_1 - p_2$.
- Danach wird das Gas auf Raumtemperatur gebracht und seine Strömungsgeschwindigkeit $\frac{dV_0}{dt}$ im Seifenblasen-Strömungsmesser ermittelt. Bevor die 1. Messung an einer Gasart erfolgt, sollte das Gas etwa 2 min durch die Apparatur geströmt sein.
- Vor der Messung lassen Sie so viele Blasen durch die Bürette laufen bis die Blasen das obere Ende der Bürette erreichen. Während der eigentlichen Messung darf sich nur eine Blase in der Bürette befinden.

PRAKTIKUM IN PHYSIKALISCHER CHEMIE Universität Dortmund	Gaskinetik / Transportphänomene	Versuch-Nr.: A 11
		Blatt: 6
Innere Reibung von Gasen		

Auswertung

1) Bestimmen Sie aus den Meßdaten für jedes untersuchte Gas

- a) die Viskosität η
- b) die Sutherlandkonstante C
- c) die Moleküldurchmesser $\sigma(20^\circ\text{C})$ und σ_∞
- d) die mittlere freie Weglänge λ

Geben Sie die Ergebnisse tabellarisch an.

Angaben

Dichte des Paraffins

$\rho = 0,863 \text{ g cm}^{-3}$

Verwendeter Gefahrstoff

1. Wasserstoff

Beachten Sie die Sicherheitshinweise „Umgang mit Gefahrstoffen“ dieses Skripts und die am Arbeitsplatz aushängenden Betriebsanweisungen.