

Skript zum Versuch

A46

Innere Reibung von Gasen: Gasviskosität

Dez. 2018

Herausgeber: Institut für Physikalische Chemie

1 Aufgabe

Man messe die Viskosität von H_2 und von CO_2 bei 20°C und 70°C und bestimme daraus die mittlere freie Weglänge und den Stoßquerschnitt der Gasmoleküle.

2 Grundlagen

Für die Viskosität η eines verdünnten Gases liefert die kinetische Gastheorie den Ausdruck

$$\eta = \frac{1}{3}\rho\Lambda\bar{c}, \quad (1)$$

mit der Dichte des Gases ρ , der mittleren freien Weglänge Λ und der mittleren Molekülgeschwindigkeit \bar{c} :

$$\rho = \frac{pM_m}{RT}, \quad (2)$$

$$\bar{c} = \left(\frac{8RT}{\pi M_m}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

$$\Lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma^2\left(\frac{N}{V}\right)}. \quad (4)$$

Mit p Druck, M_m Molmasse, R universelle Gaskonstante, T absolute Temperatur, N/V Teilchenzahldichte und σ Stoßdurchmesser.

Kombiniert man die Gleichungen (1) bis (4) und ersetzt den Faktor $1/3$ in Gl. (1) durch den aus einer genaueren Theorie resultierenden Wert $5\pi/32$,¹ so erhält man mit der Avogadro-Konstante N_A :

$$\eta = \frac{5\pi}{16} \left(\frac{M_m RT}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{N_A \pi \sigma^2}, \quad (5)$$

Damit können aus Viskositätsmessungen die mittlere freie Weglänge Λ und der Stoßdurchmesser σ als Maß für den Moleküldurchmesser bestimmt werden.

3 Durchführung

Die verwendete Apparatur ist schematisch in Abb. 2 dargestellt. Die Druckgasflaschen für Wasserstoff und Kohlendioxid müssen zunächst aus dem Gasflaschenschrank geholt werden. Anschließend werden die Druckminderer montiert, die dann wie folgt eingestellt werden: bei vollständig herausgedrehter Einstellschraube des Reduzierventils und geschlossenem Entnahmeventil (Nadelventil) wird das Hauptflaschenventil geöffnet. Dann wird die Einstellschraube vorgespannt, bis am Hinterdruckmanometer ein Druck von 0,5 bis 1 bar ablesbar ist. Mit dem Ablassventil können Sie jetzt den Gasfluss grob einstellen. Die Feinregulierung wird am Nadelventil des Strömungsmessers (hier ein Schwebekörper-Durchflussmesser oder Rotameter) durchgeführt. Das Gas strömt nun durch die thermostatisierte Messkapillare und baut dabei einen Staudruck auf, der am Glycerinmanometer (U-Rohr an der Glasapparatur) ablesbar ist. Der Staudruck sollte auf etwa 8,5 cm Höhendifferenz Δh eingestellt werden. Das aus der Kapillare mit der Messtemperatur T_M ausströmende Gas wird nun in der Kupferschlange mit dem trägen Wärmebad (großes Becherglas aus Kunststoff) wieder auf Raumtemperatur T_R gebracht. Zur präzisen Messung der Strömungsgeschwindigkeit tritt es dann in den Seifenblasenströmungsmesser ein. Wenn das Niveau der Seifenlösung mit dem flexiblen Schlauch richtig eingestellt wird, reißt das ausströmende Gas ein paar Tropfen der Seifenlösung mit und produziert Seifenlamellen, die im Rohr von der einen blauen Markierung zur anderen nahezu reibungslos transportiert werden. Das Volumen zwischen den Markierungen beträgt in beiden Apparaturen $28,5 \text{ cm}^3$. Das zu untersuchende Gas lässt man vor der Messung ca. 5 min durch die auf die Messtemperatur T_M gebrachte Apparatur strömen. Führen Sie etwa 10 Messungen durch, indem Sie die Zeit stoppen, die eine Seifenlamelle zwischen den beiden Markierungen unterwegs ist. Dabei ist darauf zu achten, dass der Druckabfall am Glycerin-Manometer konstant bleibt. Sinnvollerweise notieren Sie diese Druckdifferenz ebenfalls.

Nach dem Ende des Versuchs ist der Flaschendruckminderer wieder zu entlüften. Ziehen Sie den Schlauch ab, schließen Sie das Hauptflaschenventil und öffnen das Absperrventil, bis beide Manometer abgefallen sind. Schließen Sie nun das Absperrventil und entspannen Sie das Reduzierventil, indem Sie die Einstellschraube vollständig herausdrehen. Demontieren Sie die Druckminderer und stellen Sie die Druckflaschen zurück in den Gasflaschenschrank.

¹Siehe z. B. : Berry, Rice, Ross, *Physical Chemistry*, Wiley, New York 1980, S. 1073

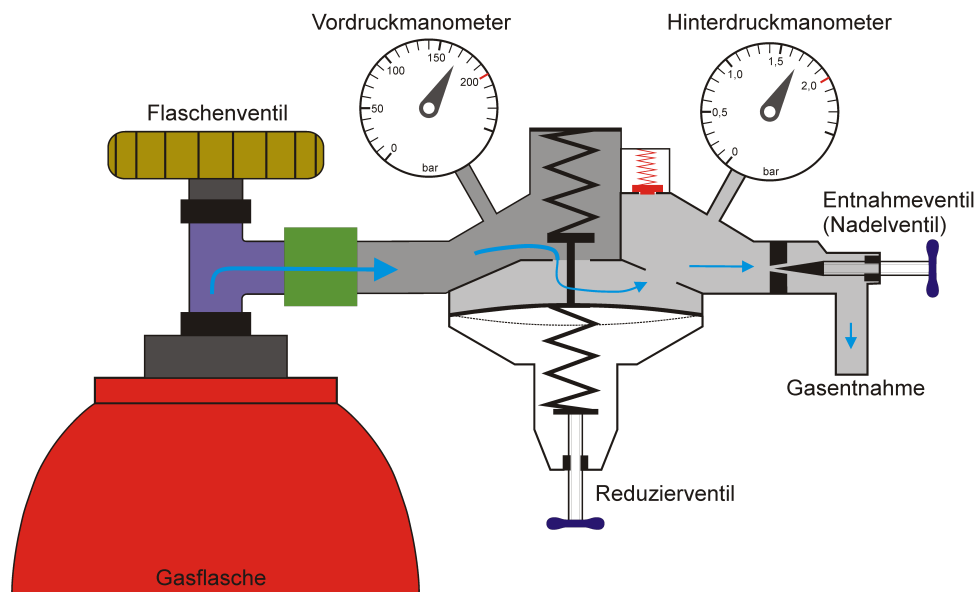


Abbildung 1: Druckminderer

Die Gase sollte zweckmäßigerweise in dieser Abfolge untersucht werden:

		Gruppe A	Gruppe B
1.	$T = 20\text{ °C}$	H ₂	CO ₂
2.	$T = 20\text{ °C}$	CO ₂	H ₂
3.	$T = 70\text{ °C}$	CO ₂	H ₂
4.	$T = 70\text{ °C}$	H ₂	CO ₂

4 Auswertung

Die Viskosität der Messgase wird mit Hilfe des Hagen-Poiseuille-Gesetzes² bestimmt. Bei laminaren Strömungen gilt:

$$\eta = \frac{r^4 \pi t \Delta p}{VL} \quad (6)$$

mit den folgenden Abkürzungen:

²Gotthilf Heinrich Ludwig Hagen (1797–1884), Jean Louis Marie Poiseuille (1797–1869)

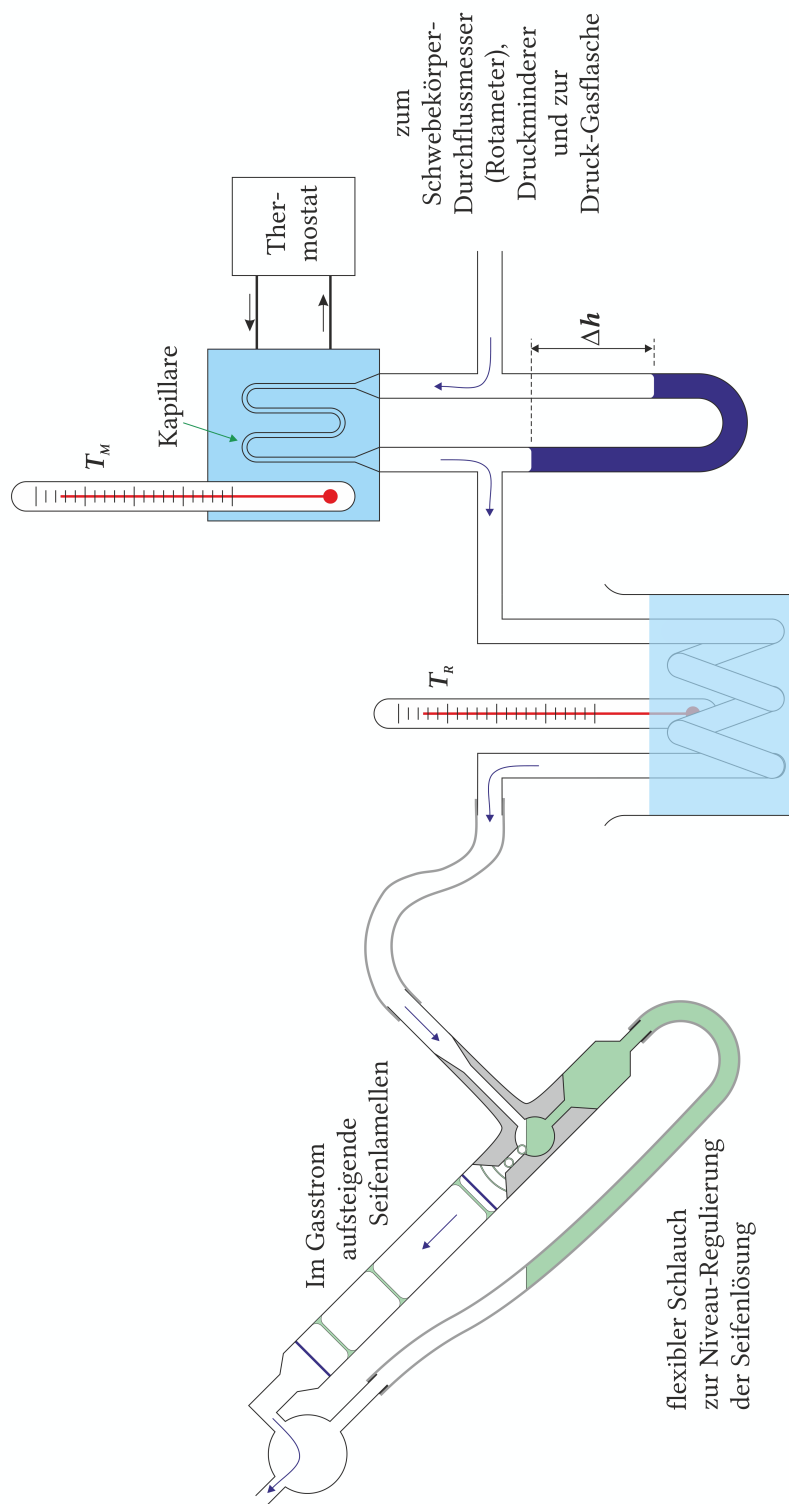


Abbildung 2: Apparatur zur Messung der Gasviskosität

- η : Viskosität in $\text{kg}\cdot(\text{m}\cdot\text{s})^{-1} = \text{Pa}\cdot\text{s}$
- r : Radius der Messkapillare (je nach Messplatz 0,355 mm bzw. 0,400 mm)
- t : Durchflusszeit in s
- Δp : Druckabfall (am Glyzerinmanometer)
- V : Gasvolumen, das bei der Temperatur T_M in der Zeit t durch die Kapillare strömt
- L : Länge der Messkapillare, $L = 0,3 \text{ m}$

Der Druckabfall Δp wird mit dem Differenzialmanometer bestimmt, das mit Glyzerin gefüllt ist. Es gilt:

$$\Delta p = \rho g \Delta h \quad (7)$$

mit der Dichte von Glyzerin ($\rho = 1260 \text{ kg/m}^3$), der Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ und Δp in Pascal.

5 Darstellung der Ergebnisse

1. Fertigen Sie eine Tabelle mit folgenden Daten an:
 - a) die exakten Messtemperaturen T_M und die Temperatur T_R des Wärmebads,
 - b) das Volumen bei der Messtemperatur (V ist temperaturabhängig). Rechnen Sie das Messvolumen von $28,5 \text{ cm}^3$ bei T_R in das Volumen bei T_M um.
 - c) Die Durchflusszeit Δt in s,
 - d) die Druckdifferenz Δp in Pa,
 - e) die berechnete Viskosität des Messgases bei der Messtemperatur.
2. Zeigen Sie mit Ihren Zahlenwerten, dass die Viskosität proportional zu \sqrt{T} ist.
3. Berechnen Sie für die Gase bei 20°C den Stoßdurchmesser und die mittlere freie Weglänge bei $p = 1 \text{ bar}$.
4. Vergleichen Sie die Stoßdurchmesser mit Moleküldurchmessern, die aus den jeweiligen van der Waals-Konstanten b abgeschätzt wurden (aus Tabellenwerken oder Lehrbüchern zu entnehmen).
5. Fassen Sie die Druck- und Temperaturabhängigkeit der Transportkoeffizienten (Diffusion, Viskosität und Wärmeleitfähigkeit) von Gasen zusammen und vergleichen Sie mit dem Verhalten von Flüssigkeiten.

6 Was man wissen sollte

Grundlagen der kinetischen Gastheorie, Transporteigenschaften idealer Gase, Newtonsches Fluid, laminare Strömung, Ficksche Gesetze.

7 Hinweise zur Gefährdungsbeurteilung

Analysieren Sie die Gefahren, die sich aus den verwendeten Methoden und aus den verwendeten Stoffen ergeben können (Hochdruck, H₂ und CO₂).

Diskutieren Sie:

- Verhaltensmaßnahmen (organisatorische und administrative Regeln)
- Technische Schutzmaßnahmen
- Persönliche Schutzausrüstung