

A46: Innere Reibung von Gasen: Gasviskosität

Gruppe:

Betreuer:

20. April 2024

In diesem Versuch wird die Viskosität von H_2 und CO_2 bei 20°C und 70°C mit Hilfe von einer Kapillare und Seifenlamellen gemessen und aus den Messdaten die mittlere freie Wellenlänge und der Stoßquerschnitt berechnet.

1 Theoretischer Hintergrund

Für die Viskosität η eines Gases gilt allgemein

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

Dabei ist ρ die Dichte des Gases mit

$$\rho = \frac{p \cdot M_m}{R \cdot T}, \quad (2)$$

Λ die mittlere freie Weglänge mit

$$\Lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 \left(\frac{N}{V}\right)}, \quad (3)$$

und $\bar{c}$ die mittlere Molekülgeschwindigkeit mit

$$\bar{c} = \sqrt{\frac{8 \cdot R \cdot T}{\pi \cdot M_m}}. \quad (4)$$

Durch einsetzen von Gleichung (2), (3) und (4) in (1) und das Ersetzen von $\frac{1}{3}$ durch den experimentell bestimmten genaueren Wert $\frac{5\pi}{32}$ ergibt sich

$$\eta = \frac{5\pi}{16} \cdot \sqrt{\frac{M_m R T}{\pi}} \cdot \frac{1}{N_a \pi \sigma^2} \quad (5)$$

Die Viskosität der Gase wird mit dem Hagen-Poiseuille-Gesetz bestimmt.

$$\eta = \frac{r^4 \cdot \pi \cdot t \cdot \Delta p}{8 \cdot V \cdot L}, \quad (6)$$

mit

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

2 Durchführung und Aufbau

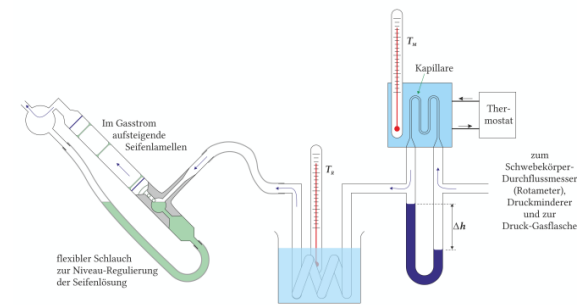


Abbildung 1: Aufbau

Angaben zur Apparatur:

Innendurchmesser der Kapillare: 0,71mm

Länge der Kapillare: 0,3m

Volumen zwischen den Markierungen: 28,5 cm³

Es wird ein Gas (H_2 oder CO_2) in eine thermostatisierte Messkapillare geleitet, wodurch ein Staudruck entsteht. Das Gas wird in der Kapillare auf 20°C bzw. 70°C erhitzt und dann zum Abkühlen auf 20°C durch eine, mit Wasser gekühlte, Kupferspule geleitet. Anschließend wird das Gas in den Durchflussmesser der Seifenlamelle eingeleitet und durch die Strömung des Gases entstehen einzelne Seifenlamellen. Es wird die Zeit, die die Seifenlamellen von Punkt 1 zu Punkt 2 brauchen, gemessen. Hiermit wird die Zeit, die das Gas für das Durchlaufen der Messkapillare benötigt, bestimmt.

3 Auswertung

Tabelle 1: Messwerte für CO_2 bei 20°C, $\Delta t_{mittel} = 17,73s \pm 0,15s$

Messwert	T_M /°C	T_R /°C	t/s
1	20,5 ± 0,1	19	17,78
2	20,5 ± 0,1	19	17,94
3	20,5 ± 0,1	19	17,76
4	20,5 ± 0,1	19	17,87
5	20,5 ± 0,1	19	17,91
6	20,5 ± 0,1	19	17,64
7	20,5 ± 0,1	19	17,88
8	20,5 ± 0,1	19	17,70
9	20,5 ± 0,1	19	17,37
10	20,5 ± 0,1	19	17,48

Tabelle 2: Messwerte für CO_2 bei 70°C, $\Delta t_{mittel} = 23,63s \pm 0,17s$

Messwert	T_M /°C	T_R /°C	t/s
1	69,8 ± 0,1	19	(24,44)
2	69,8 ± 0,1	19	23,85
3	69,8 ± 0,1	19	23,81
4	69,8 ± 0,1	19	23,74
5	69,8 ± 0,1	19	23,61
6	69,8 ± 0,1	19	23,65
7	69,8 ± 0,1	19	23,49
8	69,8 ± 0,1	19	23,61
9	69,8 ± 0,1	19	23,43
10	69,8 ± 0,1	19	23,46

Tabelle 3: Messwerte für H_2 bei 20°C ,
 $\Delta t_{\text{mittel}} = 11,40\text{s} \pm 0,15\text{s}$

Messwert	$T_M / ^\circ\text{C}$	$T_R / ^\circ\text{C}$	t/s
1	$20,5 \pm 0,1$	19	11,65
2	$20,5 \pm 0,1$	19	11,66
3	$20,5 \pm 0,1$	19	11,31
4	$20,5 \pm 0,1$	19	11,35
5	$20,5 \pm 0,1$	19	11,40
6	$20,5 \pm 0,1$	19	11,39
7	$20,5 \pm 0,1$	19	11,36
8	$20,5 \pm 0,1$	19	11,36
9	$20,5 \pm 0,1$	19	11,27
10	$20,5 \pm 0,1$	19	11,21

Tabelle 4: Messwerte für H_2 bei 70°C ,
 $\Delta t_{\text{mittel}} = 13,16\text{s} \pm 0,10\text{s}$

Messwert	$T_M / ^\circ\text{C}$	$T_R / ^\circ\text{C}$	t/s
1	$69,8 \pm 0,1$	19	13,10
2	$69,8 \pm 0,1$	19	13,21
3	$69,8 \pm 0,1$	19	13,05
4	$69,8 \pm 0,1$	19	13,14
5	$69,8 \pm 0,1$	19	13,09
6	$69,8 \pm 0,1$	19	13,20
7	$69,8 \pm 0,1$	19	13,16
8	$69,8 \pm 0,1$	19	13,03
9	$69,8 \pm 0,1$	19	13,38
10	$69,8 \pm 0,1$	19	13,21

Berechnung von V_m mit

$$\frac{T_1}{V_1} = \frac{T_2}{V_2}. \quad (8)$$

Für $V_{2/20^\circ\text{C}}$

$$V_2 = \frac{T_2}{T_1} \cdot V_1 = 28,6\text{cm}^3 \quad (9)$$

Für $V_{2/70^\circ\text{C}}$

$$V_2 = \frac{T_2}{T_1} \cdot V_1 = 24,3\text{cm}^3 \quad (10)$$

Um Δp zu berechnen wird Gl.7 verwendet mit $\rho = 1260 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ und $\Delta h = 8,5\text{cm}$.

$$\Delta p = 1050,651\text{Pa} \quad (11)$$

Für die Viskosität wurden die Werte in Gl.6 eingesetzt, sodass folgende Werte raus kommen:

Tabelle 5: Viskositäten für die Gase in Abhängigkeit der Temperatur

Gas	$T_M / ^\circ\text{C}$	$\eta / \text{Pa} \cdot \text{s}$
CO_2	20	$1,35 \cdot 10^{-5}$
H_2	20	$8,71 \cdot 10^{-6}$
CO_2	69,8	$2,12 \cdot 10^{-5}$
H_2	69,8	$1,18 \cdot 10^{-5}$

Um zu zeigen das $\sqrt{T}$ proportional zu η wird die Formel

$$\sqrt{\frac{T_1}{T_2}} = \frac{\eta_1}{\eta_2} \quad (12)$$

verwendet.

Für CO_2 gilt:

$$\sqrt{\frac{293\text{K}}{343\text{K}}} = 0,92 \approx 0,64 = \frac{1,35 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{L}}}{2,12 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{L}}} \quad (13)$$

Für H_2 gilt:

$$\sqrt{\frac{293\text{K}}{343\text{K}}} = 0,92 \approx 0,74 = \frac{8,71 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{L}}}{1,18 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{L}}} \quad (14)$$

Die Werte sind nicht besonders exakt, eine Proportionalität lässt sich aber vermuten, besonders bei H_2 ist eine ungefähre Proportionalität erkennbar.

Für die Berechnung des Stoßquerschnittes wurde Gl.5 nach σ umgestellt, und die Werte eingesetzt. Für CO_2 wurde η von 20°C eingesetzt und dementsprechend auch T gewählt.

$$\sigma_{\text{CO}_2} = \sqrt{\frac{5\pi}{16} \sqrt{\frac{0,044 \cdot 8,314 \cdot 293,15}{\pi}} \frac{1}{6,022 \cdot 10^{23} \pi 1,35 \cdot 10^{-5}}} \quad (15)$$

$$\sigma_{\text{CO}_2} = 4,74 \cdot 10^{-10}\text{m} = 474\text{pm} \quad (16)$$

Für H_2

$$\sigma_{\text{H}_2} = \sqrt{\frac{5\pi}{16} \sqrt{\frac{0,002 \cdot 8,314 \cdot 293,15}{\pi}} \frac{1}{6,022 \cdot 10^{23} \pi 8,71 \cdot 10^{-6}}} \quad (17)$$

$$\sigma_{\text{H}_2} = 2,72 \cdot 10^{-10}\text{m} = 272\text{pm} \quad (18)$$

Für die mittlere freie Weglänge Λ gilt Gl.3

$$\Lambda_{\text{CO}_2} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot (4,74 \cdot 10^{-10})^2 \cdot \left(\frac{101325 \cdot 6,022 \cdot 10^{23}}{8,314 \cdot 293,15}\right)} \quad (19)$$

$$\Lambda_{\text{CO}_2} = 4 \cdot 10^{-8}\text{m} \quad (20)$$

$$\Lambda_{\text{H}_2} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot (2,72 \cdot 10^{-10})^2 \cdot \left(\frac{101325 \cdot 6,022 \cdot 10^{23}}{8,314 \cdot 293,15}\right)} \quad (21)$$

$$\Lambda_{\text{H}_2} = 1,2 \cdot 10^{-8}\text{m} \quad (22)$$

Um die Moleküldurchmesser abzuschätzen werden die Werte für b [1] als

$$b_{\text{H}_2} = 2,66 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}, \quad (23)$$

$$b_{\text{CO}_2} = 4,27 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}, \quad (24)$$

angenommen, und die vereinfachte Gleichung

$$b \approx 4 \cdot V_{\text{Molekül}} \cdot N_a \quad (25)$$

benutzt, um auf die Werte

$$V_{H_2} = \frac{b}{4 \cdot N_a} = \frac{2,66 \cdot 10^{-5} \frac{m^3}{mol}}{4 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{mol}} = 1,1 \cdot 10^{-29} m^3 \quad (26)$$

$$d_{H_2} = 2 \cdot \left(\frac{3 \cdot 1,1 \cdot 10^{-29} m^3}{4\pi} \right)^{\frac{1}{3}} = 2,76 \cdot 10^{-10} \quad (27)$$

$$V_{CO_2} = \frac{b}{4 \cdot N_a} = \frac{4,27 \cdot 10^{-5} \frac{m^3}{mol}}{4 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{mol}} = 1,77 \cdot 10^{-29} m^3 \quad (28)$$

$$d_{CO_2} = 2 \cdot \left(\frac{3 \cdot 1,77 \cdot 10^{-29} m^3}{4\pi} \right)^{\frac{1}{3}} = 3,23 \cdot 10^{-10} \quad (29)$$

Die Werte des Stoßquerschnitts σ und die Werte des Moleküldurchmessers d stimmen von den Größenordnungen sehr gut überein, besonders bei H_2 sind die Werte sehr nah beieinander.

Bei Standardbedingungen ist die Diffusion D proportional zu $\sqrt{T}$ und zu $\frac{1}{p}$ in Gasen und proportional zu T in Flüssigkeiten, die Diffusion ist bei Flüssigkeiten Druckunabhängig.

Die Viskosität ist bei Gasen proportional zur $\sqrt{T}$ und zu p , bei Flüssigkeiten ist sie druckunabhängig und sinkt für steigende Temperaturen ist aber nicht proportional.

Die Wärmeleitfähigkeit ist bei Gasen proportional zur $\sqrt{T}$, sie ist Druckunabhängig für Gase und

Flüssigkeiten, allerdings ist Sie Temperaturabhängig für Flüssigkeiten.

4 Gute wissenschaftliche Praxis

Wissenschaftliche Integrität ist die Basis für das Vertrauen der Öffentlichkeit in die Forschung. Am KIT verpflichtet die Satzung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis alle Mitglieder zur Einhaltung der Grundprinzipien guter wissenschaftlicher Praxis. Hierzu zählt die Angabe aller verwendeten Hilfsmittel. Für die Erstellung dieses Protokolls wurden neben den im Literaturverzeichnis genannten Quellen folgende Hilfsmittel verwendet (Bitte ankreuzen, sofern verwendet.):

- ☐ Keine Verwendung weiterer Hilfsmittel
- ☐ Chatgpt oder äquivalente Programme:
- ☒ Altprotokolle: Gruppe 16 WS22/23, Gruppe 12 WS19/20
- ☐ (Vorlesungs-)Skripte:
- ☐ Nicht wissenschaftlich zitierfähige Internetquellen, z. B. Wikipedia:
- ☐ Korrektur- und sonstige Hilfen:

5 Literatur

- (1) Atkins, P. W., *Physikalische Chemie*; 2.Auflage, VCH: 1996, S. 1030.