

Protokoll Versuch Nr. 46

Gruppe 26

Christian Wagner

Philipp Müller

„Innere Reibung von Gasen“

1. Aufgabenstellung

Die Viskosität von H_2 , CO_2 , und O_2 bei 20 °C und 70 °C soll gemessen werden um dadurch die mittlere freie Weglänge und den Stoßdurchmesser der genannten Gase zu bestimmen.

2. Theoretische Grundlagen:

Für die Viskosität verdünnter Gase gilt nach der kinetischen Gastheorie:

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \bar{c} \Lambda$$

wobei ρ die Dichte des Gases, Λ die mittlere freie Weglänge und \bar{c} die mittlere Molekülgeschwindigkeit ist:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{pM}{RT} \\ \bar{c} &= \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{2\pi RT}{M}} \end{aligned}$$

mit der Molmasse M , der Teilchendichte (N/V) und dem Stoßdurchmesser σ . Wenn man nun den Faktor $(1/3)$ in der obersten Gleichung durch $0,499$ ersetzt, das aus einer genaueren Theorie resultiert, und die obigen Gleichungen miteinander kombiniert, erhält man schließlich:

$$\eta = 0,998 \sqrt{\frac{pM^3}{RT}} \frac{1}{N_A \sigma^2}$$

Man kann nun durch Messung der Viskosität die mittlere freie Weglänge und den Stoßdurchmesser der Gase bestimmen.

Da man die Viskosität schlecht direkt messen kann, bietet sich im Falle einer laminaren Strömung die Verwendung des Hagen-Poiseulleschen Gesetzes an, das wie folgt lautet:

$$\eta = \frac{r^4}{8vL} \frac{p}{h}$$

wobei für den Druckabfall $p = \rho g h$ gilt.

3. Messwerte

Volumen im Messrohr: 28,5cm³

Länge der Kapillare: 30 cm

Durchmesser Kapillare: 0,8 mm

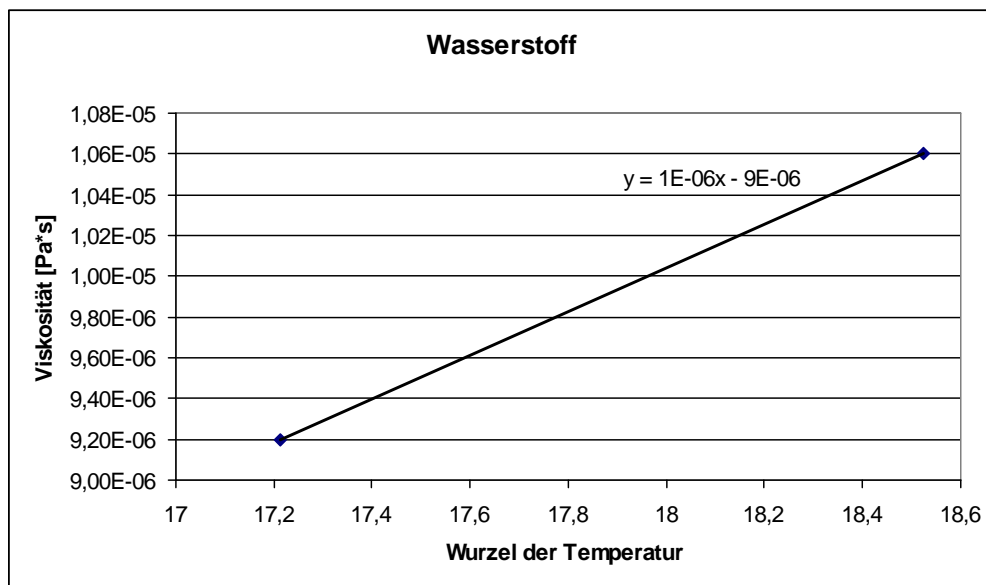
Dichte Glycerin: 1260kg/m³

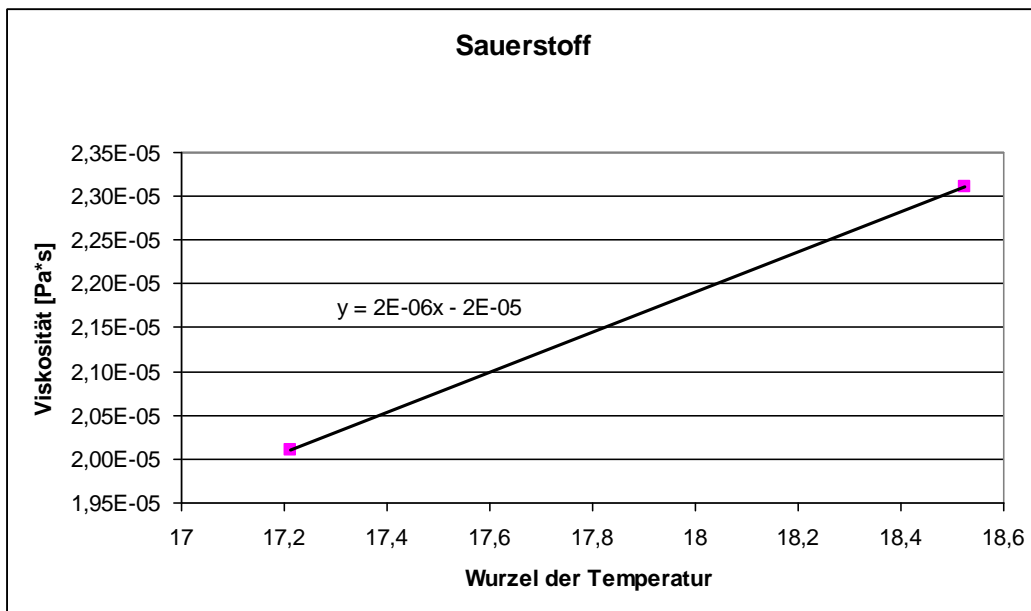
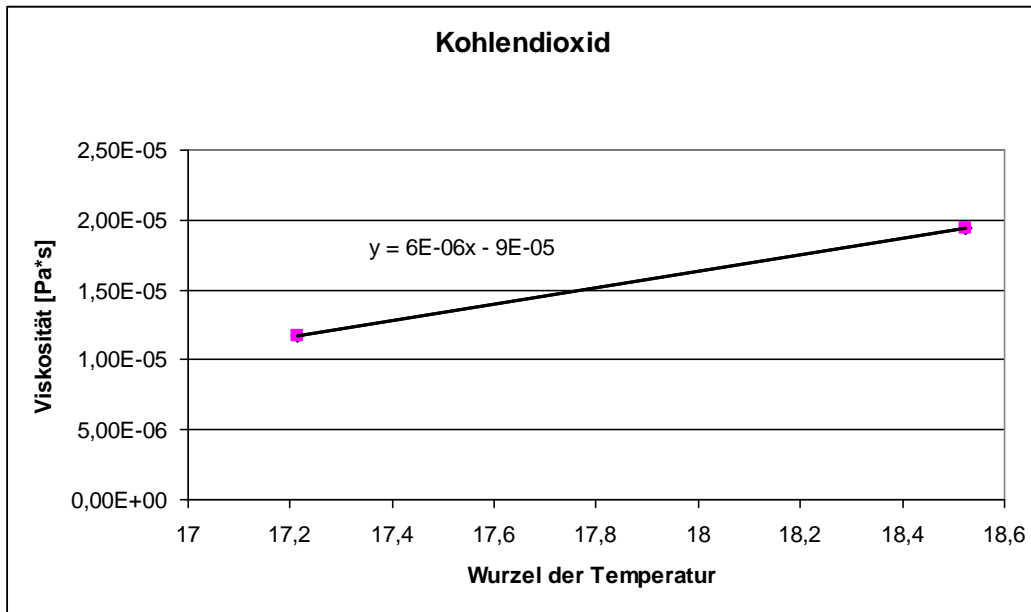
Ortsfaktor: 9,81 m/s²

	Wasserstoff		Kohlendioxid		Sauerstoff	
Zeit t in sec	23,3 °C	70,1 °C	23,3 °C	70,1 °C	23,3 °C	70,1 °C
t1	8	9,8	13,7	19,1	16,9	20
t2	7,9	10,3	13,5	19,6	17	19,9
t3	8	10,1	13,5	19,4	16,7	20
t4	7,9	10	13,4	19,2	16,9	20
t5	8	9,9	13,4	19,5	16,7	20,1
Mittelwert	7,96	10,02	13,5	19,36	16,84	20
Höhe h in cm	7,8	8,4	8,7	8	8,2	9,2

4. Auswertung der Versuchsergebnisse

	Wasserstoff		Kohlendioxid		Sauerstoff	
Messgröße	23,3°C	70,1°C	23,3°C	70,1°C	23,3°C	70,1°C
Volumen	28,5 cm ³	33,0 cm ³	28,5 cm ³	33,0 cm ³	28,5 cm ³	33,0 cm ³
Zeitdifferenz	7,96 s	10,02 s	13,50 s	19,36 s	16,84 s	20 s
Druckdifferenz	964 Pa	1038 Pa	1075 Pa	989 Pa	1014 Pa	1137 Pa
Viskosität	9,02*10 ⁻⁶ Pa*s	1,06*10 ⁻⁵ Pa*s	1,71*10 ⁻⁵ Pa*s	1,94*10 ⁻⁵ Pa*s	2,01*10 ⁻⁵ Pa*s	2,31*10 ⁻⁵ Pa*s





Man erkennt dass ein linearer Zusammenhang besteht. (Genau genommen ist dies bei nur zwei Messwerten aber immer möglich. Hätte man aber mehrere Temperaturwerte gemessen, würde es eine Linie ergeben).

Berechnen des Stoßdurchmessers und der mittleren freien Weglänge bei 23,3°C:

	Wasserstoff	Kohlendioxid	Sauerstoff
Molare Masse	2,0158 g/mol	44,0098 g/mol	31,9988 g/mol
Stoßdurchmesser	$2,68 \cdot 10^{-10}$ m	$5,15 \cdot 10^{-10}$ m	$3,63 \cdot 10^{-10}$ m
Mittlere freie Weglänge	$1,17 \cdot 10^{-7}$ m	$3,17 \cdot 10^{-8}$ m	$6,38 \cdot 10^{-8}$ m

Vergleich Stoßdurchmesser mit Moleküldurchmesser aus Van der Waals - Konstante:
 Aus der Van der Waals - Konstante b berechnet man das Volumen über:

$$\frac{b}{N_A} = \frac{4}{3} \cdot d^3 \quad d = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot b}{4 \cdot N_A}}$$

Vergleich:

	Van der Waals - Konstante b	Stoßdurchmesser	Moleküldurchmesser aus Van der Waals - Konstante
Wasserstoff 23,3°C	13,7 cm ³ /mol	2,68*10 ⁻¹⁰ m	1,76*10 ⁻¹⁰ m
Kohlendioxid 23,3°C	142 cm ³ /mol	5,15*10 ⁻¹⁰ m	3,83*10 ⁻¹⁰ m
Sauerstoff 23,3°C	22 cm ³ /mol	3,63*10 ⁻¹⁰ m	2,06*10 ⁻¹⁰ m

Man erkennt dass der gemessene Moleküldurchmesser größer ist der theoretisch berechnete Durchmesser. Dies liegt wohl daran dass der reale Stoßradius durch andere Effekte, wie zum Beispiel elektrostatische Abstoßung, Schwingung der Teilchen größer ist.

Druck und Temperaturabhängigkeit der Transportkoeffizienten (Diffusion, Viskosität und Wärmeleitfähigkeit):

Die Viskosität nimmt bei Gasen mit der Temperatur zu. Bei Flüssigkeiten jedoch ab. Die Viskosität und die Wärmeleitfähigkeit sind bei Gasen druckunabhängig. Dies liegt daran, dass bei höherem Druck zwar mehr Moleküle zum Impuls/Energietransport vorhanden sind, gleichzeitig aber auch die mittlere freie Weglänge abnimmt.

Die Viskosität steigt bei Gasen mit der Temperatur, weil schnellere Moleküle mehr Impuls übertragen. Bei Flüssigkeiten sinkt die Viskosität, weil bei höheren Temperaturen die intermolekularen Kräfte leichter überwunden werden können.

Die Diffusion in Gasen nimmt mit steigendem Druck ab, weil die mittlere freie Weglänge zunimmt. Bei steigender Temperatur steigt auch die Diffusion, weil die Molekülgeschwindigkeit größer wird.

Bei Flüssigkeiten gilt gleiches, nur dass der Druck bei Flüssigkeiten praktisch keine Volumenänderung hervorruft. Die Diffusion bei Flüssigkeiten müsste also nahezu druckunabhängig sein.

5. Diskussion/ Fehlerbetrachtung

Zunächst berechnen wir bei unseren Zeitmessungen:

Wir verwenden die Formel:

$$s_t = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta t_i}{\Delta t_i}$$

Und erhalten:

Messung	Abweichung in s
Wasserstoff 23,3°C	0,056
Wasserstoff 70,1°C	0,192
Kohlendioxid 23,3°C	0,071
Kohlendioxid 70,1°C	0,207
Sauerstoff 23,3°C	0,134
Sauerstoff 70,1°C	0,071

Wir berechnen nun Maximal - und Minimalwerte für unsere Ergebnisse. Daraus berechnen wir die jeweilige Abweichung.

Den Maximalwert erhält man, indem man in die jeweilige Formel wie z.B.:

$$= \frac{r^4 \cdot t \cdot p}{8 \nu L}$$

im Falle der Berechnung von η einsetzt. Dabei muss man beachten, dass der Wert maximal wird. In den Zähler setzt man also den größtmöglichen und in den Nenner den kleinstmöglichen Wert ein. Für den Minimalwert ist das genau umgekehrt. Bei Differenzen muss man ebenfalls darauf achten, dass am Ende der Wert minimal bzw. maximal wird.

Beispielsrechnung:

$$= \frac{0,000405^4 \cdot 7,96 + 0,056 \cdot 977}{8 \cdot 28,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,299} = 9,74 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Den größt- bzw. kleinstmöglichen Wert erhalten wir aus den Annahmen für die Messfehler:

Volumen der Messröhre: $28,5 \pm 0,1 \text{ cm}^3$

Durchmesser der Messkapillare: $0,8 \pm 0,01 \text{ mm}$

Länge der Messkapillare: $30 \pm 0,1 \text{ cm}$

Temperaturen: $\pm 1 \text{ K}$

Höhenmessung Glycerin: $\pm 1 \text{ mm}$

Dichte Glycerin: $1260 \pm 1 \text{ kg/m}^3$

Berechnete Größe	Wert	Minimalwert	Maximalwert	Abweichung [%]
Druckdifferenz H ₂ 23,3°C	964 Pa	951 Pa	977 Pa	1,4
Druckdifferenz CO ₂ 23,3°C	1075 Pa	1062 Pa	1089 Pa	1,3
Druckdifferenz O ₂ 23,3°C	1014 Pa	1000 Pa	1027 Pa	1,4
Druckdifferenz H ₂ 70,1°C	1038 Pa	1025 Pa	1051 Pa	1,3
Druckdifferenz CO ₂ 70,1°C	989 Pa	976 Pa	1002 Pa	1,3
Druckdifferenz O ₂ 70,1°C	1137 Pa	1124 Pa	1150 Pa	1,2
Viskosität H ₂ 23,3°C	9,02*10 ⁻⁶ Pa*s	8,10*10 ⁻⁶ Pa*s	9,74*10 ⁻⁶ Pa*s	10,2
Viskosität CO ₂ 23,3°C	1,71*10 ⁻⁵ Pa*s	1,54*10 ⁻⁵ Pa*s	1,77*10 ⁻⁵ Pa*s	9,9
Viskosität O ₂ 23,3°C	2,01*10 ⁻⁵ Pa*s	1,80*10 ⁻⁵ Pa*s	2,09*10 ⁻⁵ Pa*s	10,4
Viskosität H ₂ 70,1°C	1,06*10 ⁻⁵ Pa*s	9,39*10 ⁻⁶ Pa*s	1,18*10 ⁻⁵ Pa*s	11,4
Viskosität CO ₂ 70,1°C	1,94*10 ⁻⁵ Pa*s	1,74*10 ⁻⁵ Pa*s	2,17*10 ⁻⁵ Pa*s	11,9
Viskosität O ₂ 70,1°C	2,31*10 ⁻⁵ Pa*s	2,09*10 ⁻⁵ Pa*s	2,56*10 ⁻⁵ Pa*s	10,8
Stoßdurchmesser H ₂	2,68*10 ⁻¹⁰ m	2,58*10 ⁻¹⁰ m	2,83*10 ⁻¹⁰ m	5,6
Stoßdurchmesser CO ₂	5,15*10 ⁻¹⁰ m	5,06*10 ⁻¹⁰ m	5,43*10 ⁻¹⁰ m	5,4
Stoßdurchmesser O ₂	3,63*10 ⁻¹⁰ m	3,55*10 ⁻¹⁰ m	3,84*10 ⁻¹⁰ m	5,8
mitl. fr. Weglänge H ₂	1,17*10 ⁻⁷ m	1,05*10 ⁻⁷ m	1,26*10 ⁻⁷ m	7,7
mitl. fr. Weglänge CO ₂	3,17*10 ⁻⁸ m	2,58*10 ⁻⁷ m	3,28*10 ⁻⁷ m	18,6
mitl. fr. Weglänge O ₂	6,38*10 ⁻⁸ m	5,70*10 ⁻⁸ m	6,67*10 ⁻⁸ m	10,7