

Versuch K1. Viskosität von Gasen (V. 4.1)

I Ziel des Versuches

Bei dem Versuch soll die Viskosität von drei verschiedenen Gasen (H₂, Ar, CO₂) unter Verwendung des Hagen - Poiseuilleschen Gesetzes bestimmt werden.

II Theoretischer Hintergrund

Zum Verständnis der Transporterscheinungen Diffusion, Wärmeleitfähigkeit und Viskosität betrachtet man zunächst die allgemeine Transportgleichung:

$$\vec{J}_\Gamma \propto -\text{grad } \Gamma \quad \text{bzw.} \quad \vec{J}_i = -(D, \kappa, \eta) \frac{d(N, T, v_x)}{dz} \quad (1)$$

\vec{J} ist hier der Fluss und Γ die zu betrachtende Transportgröße. Diese Gleichung führt zu den zu untersuchenden Phänomenen Diffusion (dN/dz , D : Diffusionskoeffizient), Wärmeleitfähigkeit (dT/dz , κ : Wärmeleitfähigkeitskoeffizient) und Viskosität (dv_x/dz , η : Viskositätskoeffizient).

Durch den Vergleich zwischen einem laminar in x-Richtung strömenden Gas und der allgemeinen Transportgleichung erhält man einen Ausdruck für den Viskositätskoeffizienten.

$$\eta = \frac{1}{2} N m \bar{v} \lambda \quad (2)$$

mit N : Teilchenzahldichte, m : Masse eines Teilchens, \bar{v} : mittlere Geschwindigkeit, λ : mittlere freie Weglänge

Zur Bestimmung der Viskosität von Gasen verwendet man das Verfahren von Poiseuille, das auf der Durchflussgeschwindigkeit eines fluiden Mediums durch eine Kapillare beruht.

Zur experimentellen Bestimmung von η lässt man das Gas durch eine Kapillare der Länge L und des Radius r strömen, indem man an den Enden eine Druckdifferenz aufrechterhält:

$$\eta = \frac{\pi (p_1 - p_2) r^4}{8L} N \frac{t}{n} \quad (3)$$

p_1 und p_2 sind die Drücke vor und hinter der Kapillare, N : Teilchenzahldichte ($N = p / kT$), n : Anzahl der Teilchen, die zur Zeit t durch die Kapillare strömen.

Da sich für ein Gas die Teilchenzahldichte n im Inneren der Kapillare ändert, erhält man:

$$\eta = \frac{\pi(p_1 - p_2)r^4}{8L} \frac{p_1 + p_2}{2p_1} \frac{t}{V} \quad (4)$$

III Leitfragen zum Versuch

- 1) Warum steigt das Wasser in der Messpipette an, wenn das Gas in der Apparatur evakuiert wird.
- 2) Nehmen Sie an, dass die Strömung des Gases durch die Kapillare laminar ist. (a) Erklären Sie in Worten, mit Formeln und Abbildungen das Phänomen der inneren Reibung (incl. Viskosität). (b) Erklären Sie den Unterschied zwischen laminarer und turbulenter Strömung. (c) Erklären Sie in Worten, mit Formeln und Abbildungen das Hagen-Poiseuillesche Gesetz für die laminare Strömung einer Flüssigkeit oder eines Gases durch ein Rohr. (d) Um wieviel erhöht sich das Volumen des strömenden Gases durch die Kapillare bei einer Verdoppelung des Kapillardurchmessers? (Anwendung von (c)) (e) Diskutieren Sie den Einfluss des hydrostatischen Drucks auf das strömende Volumen.
- 3) Erklären Sie die Druckunabhängigkeit und die Temperaturabhängigkeit der Viskosität (Anwendung von (c)) unter der Berücksichtigung der Maxwell-Boltzmann-Verteilung.
- 4) Leiten Sie Gleichung (2) und (4) her.

IV Arbeitsauftrag zum Versuchstag

- 1) Erstellen Sie (alle Gruppenmitglieder einzeln!) im Vorfeld anhand der Versuchsanleitung einen Zettel (min. eine DIN A4 Seite) mit geeigneten Stichpunkten (inkl. kurzen Erklärungen und Formeln / Gleichungen) und bringen Sie diesen bitte zum Versuchstag mit.
Die Vorbereitungszettel aller Gruppenmitglieder werden am Versuchstag gestempelt und später dem Versuchsbericht als Anlage beigelegt.
- 2) Ermitteln Sie anhand einer Literaturrecherche Literaturwerte für die Viskositätskoeffizienten und die mittlere freie Weglänge der drei Gase (Primärliteratur/Originalpublikationen, d.h. keine Literaturwerte aus anderen Versuchsanleitungen oder dem Internet).

V Versuchsbeschreibung und -durchführung

Die verwendete Anordnung ist in Abb.1 dargestellt.

Die Apparatur wird mit dem zu untersuchenden Gas gespült. Dann wird die Apparatur über Hahn 1 befüllt, bis am Pipettenende Gasbläschen austreten. Dann wird mit Hahn 1 der Zufluss abgesperrt und die Pipette mit der Kapillare verbunden. Die Verbindung zur Pumpe wird durch Öffnen von Hahn 2 hergestellt, und die Zeit des Anstiegs des Wassers in der Pipette bis zur Eichmarke mit der ausliegenden Stoppuhr gemessen. **Es darf kein Wasser in die Kapillare gelangen** deshalb ist Hahn 1 zu schließen, wenn das Wasser die Eichmarke erreicht. Der Pumpendruck p_2 kann während der Zeitnahme direkt am angeschlossenen Manometer abgelesen werden, p_1 entspricht dem auf die Pipettenspitze wirkendem Druck. Die Apparatur wird wiederbefüllt, in dem erst die Pipette und dann der Weg zur Pumpe befüllt wird.

Für jedes Gas wird die Messung zehnmal wiederholt.

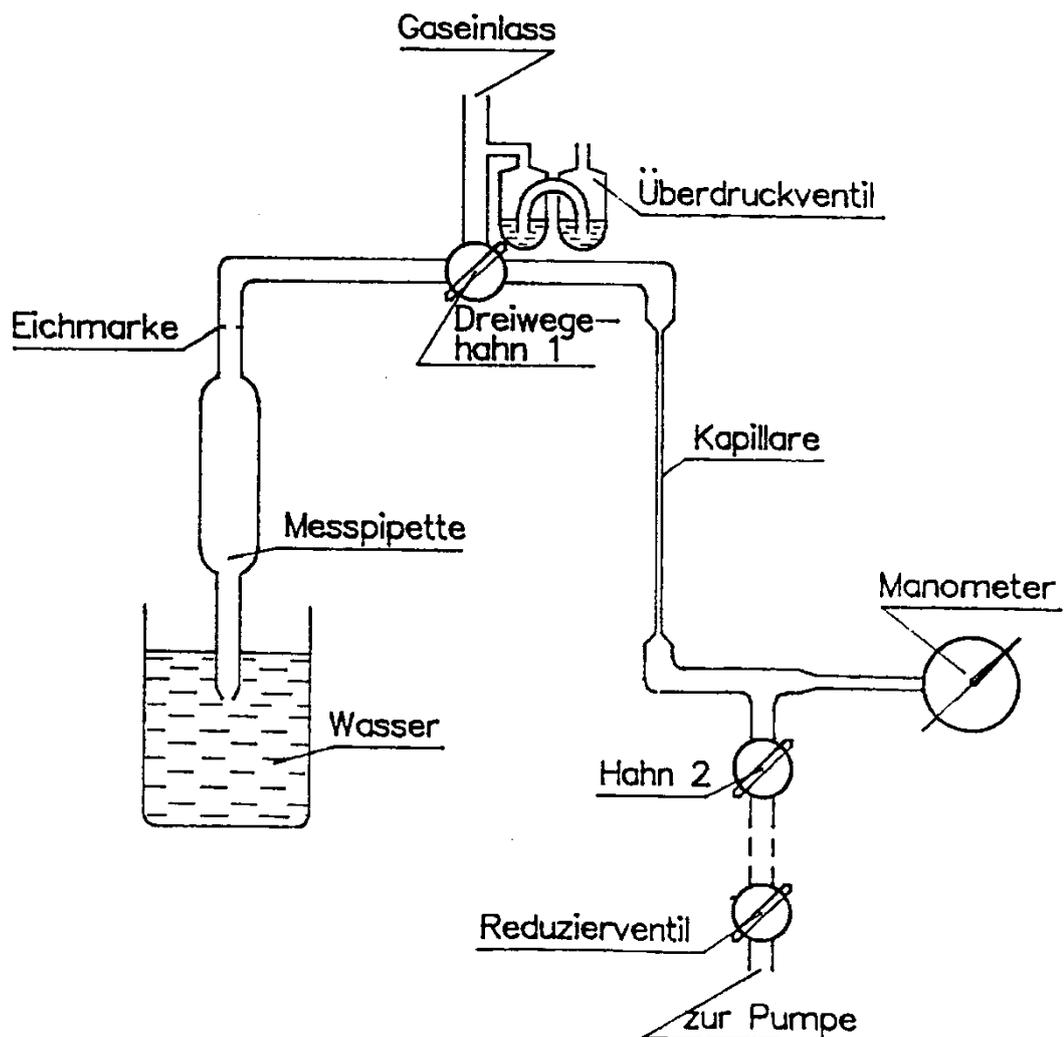


Abb. 1: Anordnung zur Bestimmung von Gasviskositäten.

VI Auswertung

a) Auswertung während des Versuchstages

1. Berechnen Sie die Viskosität von H_2 , Ar, CO_2 aus ihren Messergebnissen mit Hilfe des Hagen-Poiseuilleschen Gesetzes.

b) Auswertung nach dem Versuchstag

1. Berechnen Sie die mittlere freie Weglänge der Gase für Normaldruck und p_2 a) aus ihren Ergebnissen durch den Vergleich zwischen einem laminar in x-Richtung strömenden Gas und der allgemeinen Transportgleichung und b) über die gaskinetische Stoßzahl.
2. Diskutieren Sie Ihre Ergebnisse und vergleichen Sie sie mit den Literaturdaten.

VII Materialien

1. Volumen der Pipette: 100ml
2. Der Durchmesser der Kapillare ist an der Apparatur angegeben.
3. Stoßdurchmesser der Gase: H_2 : 2,73 Å
Ar: 3,61 Å
 CO_2 : 4,50 Å
4. Verwendete Chemikalien

Wasserstoff:
Signalwort: Achtung



H220: Extrem entzündbares Gas.

P210: Von Hitze, heißen Oberflächen, Funken, offenen Flammen sowie anderen Zündquellenarten fernhalten. Nicht rauchen.

P280: Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.

P281: Vorgeschriebene persönliche Schutzausrüstung verwenden.

Argon, CO₂

Signalwort: Achtung



Gefahrenbezeichnung(en)

H280: Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren.

Vorsichtsmaßnahmen

P410 + P403: Vor Sonnenbestrahlung schützen. An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.

Versuch K1

Messprotokoll

„Viskosität von Gasen“

Gruppe	Umgebungstemp.[°C]	Datum/ Stempel
Name	Umgebungsdruck [mbar]	

	<i>CO₂</i>		<i>H₂</i>		<i>Ar</i>	
	<i>t [s]</i>	<i>P₂ [mbar]</i>	<i>t [s]</i>	<i>P₂ [mbar]</i>	<i>t [s]</i>	<i>P₂ [mbar]</i>
<i>1</i>						
<i>2</i>						
<i>3</i>						
<i>4</i>						
<i>5</i>						
<i>6</i>						
<i>7</i>						
<i>8</i>						
<i>9</i>						
<i>10</i>						
<i>Mittelwert</i>	$\bar{t} =$	$\bar{P}_2 =$	$\bar{t} =$	$\bar{P}_2 =$	$\bar{t} =$	$\bar{P}_2 =$
<i>r[m]</i>						
<i>l[m]</i>						
<i>V[m³]</i>						
<i>P₁[mbar]</i>						
<i>η</i> <i>Welche Dimension?</i>						