

A40 - Viskosität von Flüssigkeiten

Gruppe:

Betreuer:

20. April 2024

In dem Versuch wird die Viskosität von Flüssigkeiten mit Hilfe des Ost-Wald-Viskosimeter für Wasser, Ethanol und ein Wasser-Ethanol Gemisch gemessen. Außerdem wurde mit einem Höppler-Viskosimeter die Viskosität von Wasser bei unterschiedlichen Temperaturen gemessen.

1 Theoretischer Hintergrund

1.1 Laminare Flüssigkeiten

Werden Flüssigkeiten, die parallel zu einer Wand (z. B. in einem Rohr) fließen, als Schichten betrachtet, fließen die Schichten mit größerem Abstand zur stationären Wand schneller. Dieses Phänomen ist mit den Wechselwirkungen zwischen den Molekülen und der Wand zu erklären, wodurch die Moleküle „kleben“ bleiben. Der Gradient

$$\frac{dv_z}{dx} \neq 0 \quad (1)$$

beschreibt die Geschwindigkeit in Fließrichtung z mit Abstand x zur stationären Wand. Dieser Geschwindigkeitsgradient ist die Triebkraft für den Impulstransport zwischen den Schichten. Wechselt ein Molekül die Schicht, nimmt es einen Impuls mit, der jenachdem ein nächstes Molekül durch einen Zusammenstoß verlangsamt oder verschnellert.

Die hier als Reibungskraft F_R aufgefasste, transportierte Impulsmenge pro Zeit hängt analog zum 1. Fickschen Diffusionsgesetz folgendermaßen mit dem Querschnitt A und dem Geschwindigkeitsgefälle zusammen:

$$\frac{dp_z}{dt} = F_R = -\eta A \frac{dv_z}{dx}. \quad (2)$$

1.2 Kugelviskosimeter nach Höppler

Im Höpplerschen Kugelviskosimeter wird sich die Stokesche Gleichung

$$F_R = 6\pi r v \eta \quad (3)$$

(mit r als Kugelradius) zu nutze gemacht. Die Reibungskraft der Kugel steht im Gleichgewicht mit der Gewichtskraft F_G der Kugel und ihrer Auftriebskraft F_A :

$$\begin{aligned} F_R &= F_G - F_A \\ F_R &= (\rho_K - \rho_{Fl}) \cdot V_K g. \end{aligned} \quad (4)$$

Hier sind ρ die Dichten der Kugel und der Flüssigkeit und V_K das Kugelvolumen. Werden Gleichung (3) und (4) gleich- und $v = \frac{s}{t}$ und $V_K = \frac{4}{3}\pi r^3$ eingesetzt, folgt:

$$\eta = \frac{2r^2 g}{9s} (\rho_K - \rho_{Fl}) t = K (\rho_K - \rho_{Fl}) t. \quad (5)$$

K ist die Kugelkonstante, welche experimentell bestimmbar ist. Die Viskosität in Flüssigkeiten ist Temperaturabhängig nach:

$$\ln(\eta) = \frac{E_A}{RT} + \ln(B^{-1}), \quad (6)$$

wobei B der Präexponentialfaktor ist.

1.3 Kapillarviskosimeter nach Ostwald

Die kinematische Viskosität ν wird mit dem Ostwaldschen Kapillarviskosimeter bestimmt und ist aus der dynamischen Viskosität erhältlich:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}. \quad (7)$$

Mit dem Gesetz von Hagen-Poiseuille wird die Bestimmung der kinematischen Viskosität beschrieben:

$$\nu = \frac{\pi r^4 g \Delta h t}{8lV}. \quad (8)$$

$r \rightarrow$ Innenradius der Kapillare; $\Delta h \rightarrow$ mittlere Höhendifferenz der Flüssigkeitssäule; $t \rightarrow$ Durchflusszeit; $l \rightarrow$ Länge der Kapillare; $V \rightarrow$ Durchflussvolumen. Die Gesetzmäßigkeit ist für unendlich lange Kapillaren eindeutig und wird für die Vorgänge an Ein- und Auslauf durch die Hagenbach-Korrektur ergänzt:

$$\nu = \frac{\pi r^4 g \Delta h t}{8lV} - \frac{mV}{8\pi l t}. \quad (9)$$

Der Faktor m ist empirisch und dimensionslos und hängt von der Form des Anfangs und des Endes der Kapillare ab.

2 Durchführung

2.1 Kugelviskosimeter nach Höppler

Das Kugelviskosimeter nach Höppler besteht aus einer Kugel in Messliquid (Wasser) das durch temperiertes Wasser eine Konstante Temperatur hat. Es wurden insgesamt 20 Messungen durchgeführt, jeweils 5 bei 25, 30, 40 und 50°C. Dabei wurde die Zeit gestoppt, vom dem Punkt wo die Kugel die obere Markierung durchquert bis sie die untere Markierung durchquert.

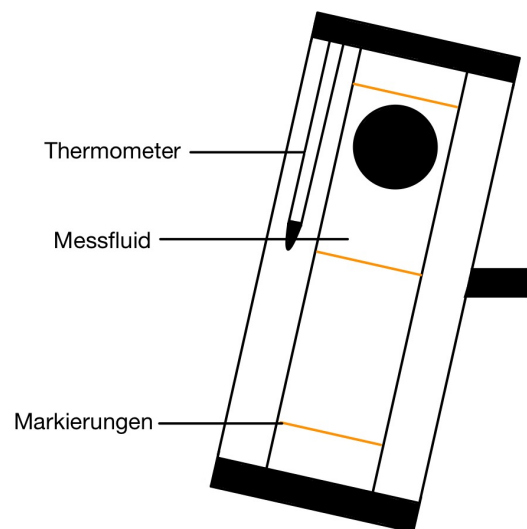


Abbildung 1: Aufbau Höppler-Viskosimeter

2.2 Kapillarviskosimeter nach Ostwald

Beim Ostwald-Viskosimeter wurde die Zeit gemessen die der Miniskus der Flüssigkeit braucht um von der oberen bis zur unteren Markierung zu kommen. Dabei wurden als Flüssigkeiten Wasser, Ethanol und ein Wasser-Ethanol-Gemisch verwendet, jeweils bei gleicher Temperatur.

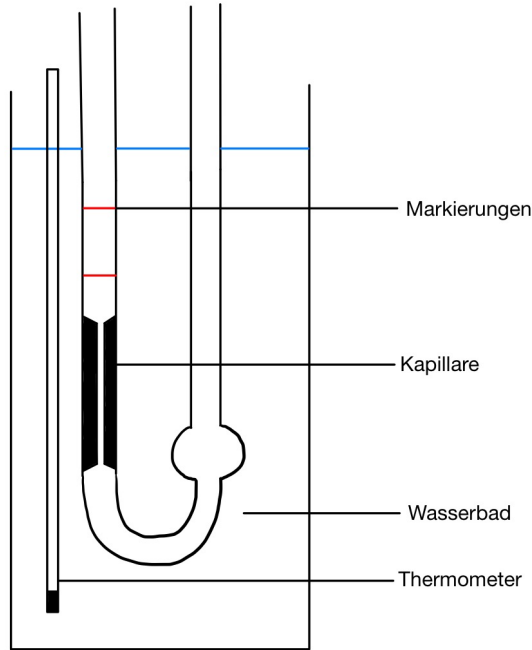


Abbildung 2: Aufbau Ostwald-Viskosimeter

3 Ergebnisse und Auswertung

3.1 Kugelviskosimeter nach Höppler

In Tabelle 1 und 2 sind die Messdaten der Versuchsreihe zu sehen, außerdem wurden die Mittelwerte μ und die Standardabweichung σ eingetragen, die über die Formeln

$$\mu = \frac{\sum x_i}{5} \quad (10)$$

$$\sigma = \sqrt{\sum (x_i - \mu)^2 \cdot p_i} \quad (11)$$

errechnet wurden.

Tabelle 1: Messdaten bei 25°C und 30°C

	T / K	t / s	T / K	t / s
x_1	298,4	139,79	303,25	124,44
x_2	298,4	139,28	303,25	124,12
x_3	298,4	139,31	303,25	123,58
x_4	298,4	138,96	303,25	123,29
x_5	298,4	138,99	303,15	123,18
μ	298,4	139,47	303,2	123,72
σ	0	0,131	0,0025	0,235

Tabelle 2: Messdaten bei 40°C und 50°C

	T / K	t / s	T / K	t / s
x_1	313,15	100,20	323,2	84,55
x_2	313,45	100,18	323,2	84,24
x_3	313,45	100,12	323,2	84,57
x_4	313,35	100,28	323,2	84,22
x_5	313,35	101,43	323,2	84,18
μ	313,4	100,44	323,2	84,35
σ	0,0145	0,247	0,0025	0,041

Die dynamischen Viskositäten η wurden mit Gleichung (5) berechnet, sie sind in Tabelle 3 zu sehen und in Abbildung (3) graphisch dargestellt. Als Kugelkonstante wurde $K = 4,97(\pm 0,10) \cdot 10^{-9} \frac{Pa \cdot m^3}{kg}$ und für die Dichten $\rho_K = 2220 \frac{kg}{m^3}$ und $\rho_{H_2O} = 997 \frac{kg}{m^3}$ [1] verwendet. Für t wurden die jeweiligen Mittelwerte, die in Tabelle 1 und 2 vermerkt sind, eingesetzt. Die Fehler für η wurden mit der Gaußschen Fehlerfortpflanzung

$$\Delta\eta = \sqrt{\left(\frac{d\eta}{dK} \cdot \Delta K\right)^2 + \left(\frac{d\eta}{dt} \cdot \Delta t\right)^2} \quad (12)$$

$$= \sqrt{(t(\rho_K - \rho_{H_2O} \cdot \Delta K)^2 + (K \cdot (\rho_K - \rho_{H_2O} \cdot \Delta t)^2}$$

berechnet, die nötigen Δt Werte wurden aus Tabelle 1 und 2 verwendet. Die errechneten Werte sind in Tabelle 3 zu finden und sind als Fehlerbalken in Abbildung (3) zu finden.

Tabelle 3: Errechnete Viskositäten und Literaturwerte[2]

T / K	298,4	303,2	313,4	323,2
$\eta/10^{-4} Pa \cdot s$	8,48	7,52	6,12	5,13
$\Delta\eta/10^{-5} Pa \cdot s$	1,71	1,52	1,24	1,03
$\eta_{Lit}/10^{-4} Pa \cdot s$	8,96	8,03	6,59	5,55

In Abbildung (3) sind die errechneten Viskositäten in Abhängigkeit zur Temperatur abgebildet. Es wurden außerdem Fehlerbalken hinzugefügt (Fehler aus den Tabellen 1 bis 3), jedoch fallen die Fehler der Temperatur so gering aus, dass sie nicht abgezeichnet werden können.

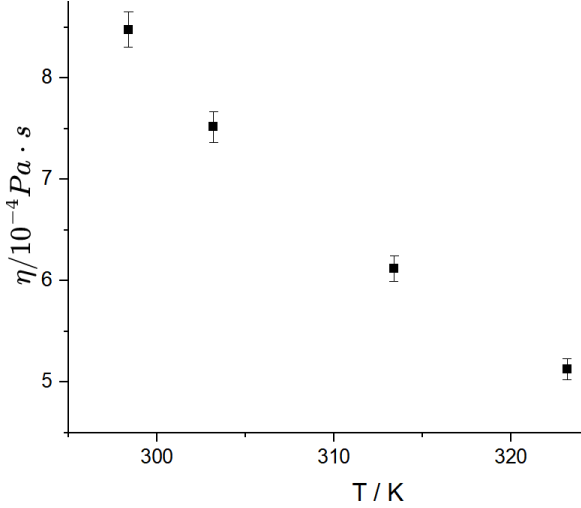


Abbildung 3: Auftragung Viskosität gegen Temperatur mit Fehlerbalken

In Abbildung 4 ist der Logarithmus der Viskosität gegen den Kehrwert der Temperatur aufgetragen zur Bestimmung der Aktivierungsenergie E_A nach Gleichung (6). Die Steigung in des Graphens (hier die lineare Regression) aus Abbildung 4 ist gleichzusetzen mit $\frac{E_A}{R}$:

$$1941,3K = \frac{E_A}{8,314 \frac{J}{mol \cdot K}}$$

$$E_A = 1941,3(\pm 51,9)K \cdot 8,314 \frac{J}{mol \cdot K} \quad (13)$$

$$= 16140(\pm 431) \frac{J}{mol} \quad (14)$$

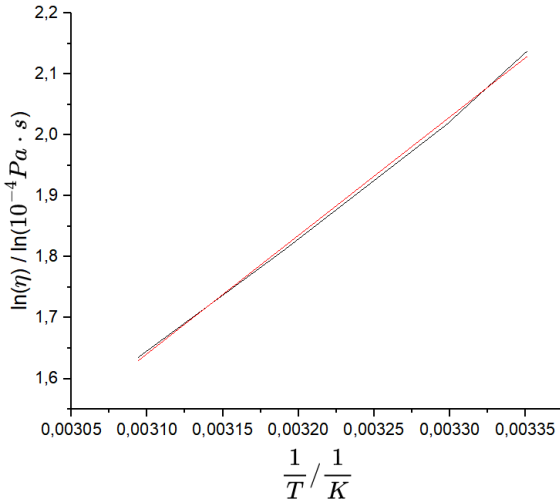


Abbildung 4: Auftragung natürlicher Logarithmus der Viskosität gegen Kehrwert der Temperatur mit linearer Regression.

Zur Berechnung des Selbst-Diffusionskoeffizienten D für Wasser wird die Stokes-Einstein-Gleichung (Gleichung (15)) verwendet. Dafür wird der Molekülradius

von Wasser benötigt, der hier als Bindungslänge zwischen einem H und dem O geschätzt wird, also $r_{H_2O} = 96 \cdot 10^{-12}m$.

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta r} \quad (15)$$

$$= \frac{k_B \cdot 293,15K}{6\pi \cdot 1 \cdot 10^{-3}Pa \cdot s \cdot 96 \cdot 10^{-12}m}$$

$$= 2,24 \cdot 10^{-9} \frac{m^2}{s} \quad (16)$$

3.2 Kapillarviskosimeter nach Ostwald

Für die Berechnung der kinematischen Viskosität wurde die Gleichung

$$\nu_{Probe} = \frac{\nu_{H_2O}(20^\circ C)}{t_{H_2O}(20^\circ C)} \cdot t_{Probe} - 1,2 \cdot 10^{-7}m^2 \cdot \frac{1}{t_{Probe}} \quad (17)$$

verwendet. Für die dynamische Viskosität wurde GL.7 verwendet. Die Messungen waren alle bei Temperaturen zwischen $19,7^\circ C$ und $19,9^\circ C$, daher werden für ν_{H_2O} und ρ_{H_2O} die Werte bei $20^\circ C$ als Werte verwendet.

Tabelle 4: kinematische und dynamische Viskositäten

Lösung	$\varnothing t / s$	$\nu / \frac{m^2}{s}$	$\eta / Pa \cdot s$
Wasser	90	$1 \cdot 10^{-6}$	$1,000 \cdot 10^{-3}$
Ethanol & Wasser	305	$3,4 \cdot 10^{-6}$ $\pm 3,2 \cdot 10^{-7}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$ $\pm 5,3 \cdot 10^{-4}$
Ethanol	170	$1,9 \cdot 10^{-6}$ $\pm 5,7 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-3} \pm$ $4,5 \cdot 10^{-4}$

Für den Fehler wurde die Gleichung

$$\Delta\nu = ((\frac{\nu_{H_2O} \cdot t_{Probe}}{t_{H_2O}^2} \cdot \Delta t_{H_2O})^2 \quad (18)$$

$$+ ((\frac{\nu_{H_2O}}{t_{H_2O}} + \frac{1,2 \cdot 10^{-7}m^2}{t_{Probe}^2}) \cdot \Delta t_{Probe})^2)^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

und

$$\Delta\eta = \sqrt{(\rho\Delta\nu)^2} \quad (20)$$

verwendet.

Überraschenderweise ist das Gemisch aus Wasser und Ethanol am stärksten viskos, diese Beobachtung könnte auf die Wasserstoffbrücken zwischen Wasser und Ethanol zurückzuführen sein. Da die beiden Komponenten zueinander zwei Wasserstoffbrücken ausbilden, dadurch wird das Transportieren der einzelnen Moleküle schwerer, da sich beide Wasserstoffbrücken lösen müssten um ein einzelnes Molekül zu bewegen, gleichzeitig ist es aber durch die Größe auch schwieriger jeweils ein Teilchen aus Wasser und Ethanol zu transportieren, da diese größer sind. In reinem Ethanol kann jedes Ethanol hingegen nur an ein weiteres Molekül eine Wasserstoffbrücke binden.

3.3 Allgemeines

Die Viskosität sinkt in der Reihenfolge: Glycerin, Wasser, Methanol, Aceton. Dies ist mit der Anzahl der O-H-Bindungen zu erklären. Je mehr O-H-Bindungen die Moleküle beinhalten, desto mehr Wasserstoffbrücken können aufgebaut werden und somit haben die Moleküle zueinander mehr Verknüpfungen und es muss mehr Energie aufgewendet werden, um diese auseinander zu ziehen. Dabei kann Glycerin mit 3 Hydroxydgruppen die meisten Wasserstoffbrücken ausbilden, Aceton hingegen hat keine OH-Gruppe und kann dadurch nur Dipol-Dipol-Wechselwirkungen und Van-der-Waals-Kräfte zur Stabilisation verwenden.

Um den Zusammenhang der Arrhenius-Gleichung und der Temperaturabhängigkeit der Viskosität zu sehen vergleicht man die beiden Formeln

$$k = A \cdot \exp \frac{-E_A}{RT} \quad (21)$$

und

$$\eta = \eta_0 \cdot \exp \frac{E_A}{RT}. \quad (22)$$

Dabei fällt auf, dass die Temperaturabhängigkeit mathematisch die gleiche ist. Dabei gibt die Arrhenius-Gleichung an wie schnell eine Reaktion abläuft in Abhängigkeit der Temperatur, die Viskosität gibt an wie schnell sich Stoffe (Flüssigkeiten) bewegen. Beides sind also Geschwindigkeiten, das beide Trotzdem etwas anderes aussagen passiert durch die Vorfaktoren,

bei der Arrhenius-Gleichung ist das A die Arrhenius-Konstante, welche Temperaturabhängig ist, bei der Viskosität hingegen ist η_0 hingegen als Vorfaktor in der Gleichung und ist Materialabhängig.

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 6 WS23/24
- ☐ (Vorlesungs-)Skripte:
- ☐ Nicht wissenschaftlich zitierfähige Internetquellen, z. B. Wikipedia:
- ☐ Korrektur- und sonstige Hilfen:

5. Literatur

- (1) <https://gestis.dguv.de/data?name=001140> aufgerufen am 21.03.2024.
- (2) M.S. Alam, A. S. *Journal of Molecular Liquids* 242 **2017**, S. 1076.