

Viskosität

Gruppe 15: Markus Krause, Tobias Nigst

24.04.2004

1. Ziel

Die Abhängigkeit der Viskosität von n-Butan-2-ol von der Temperatur soll untersucht werden. Außerdem werden die Dichte und die Viskosität von Mischungen aus Ethanol und Wasser mit verschiedenen Zusammensetzungen gemessen.

Dazu wird ein Ostwald-Viskosimeter benutzt, bei dem die Zeit gemessen wird, die die Flüssigkeit braucht, um durch eine Kapillare zu strömen.

Die Ergebnisse erlauben eine Diskussion, inwiefern zwischenmolekulare Kräfte Auswirkungen auf die Fließeigenschaften haben.

2. Theoretischer Hintergrund

Die Viskosität ist eine Eigenschaft von Flüssigkeiten und Gasen, die dem Fließen entgegenwirkt, wenn eine Kraft auf sie ausgeübt wird. Sie ist ein Ausmaß, wie stark eine sich bewegende Schicht eine benachbarte mit sich ziehen kann. Der Grund der Viskosität sind Anziehungskräfte zwischen den Molekülen, die bei Strömung eine innere Reibung erzeugen. Je geringer die Viskosität ist, desto leicht und schneller fließt die Flüssigkeit.

Gemessen wird die Viskosität z.B. mit einem Ostwald-Viskosimeter. Dabei wird das Reservoir O mit der Flüssigkeit bis zu einer bestimmten Marke gefüllt. Nach Temperaturengleichung mit einem Wasserbad wird die Flüssigkeit über die Marke M₁ angesaugt. Es wird die Zeit gestoppt, die der Flüssigkeitsspiegel benötigt, um von M₁ nach M₂ zu fallen. Nach dem Hagen-Poiseulleschen Gesetz und der Hagenbachschen Korrektur ergibt sich die Viskosität der Flüssigkeit zu:

$$\eta = \frac{\pi R^4 g h}{8 V l} \rho t - \frac{V}{8 \pi l} \frac{\rho}{t} \quad (1)$$

Wird die Flüssigkeit immer gleich hoch in das Reservoir O gefüllt, so lassen sich die Vorfaktoren zu Apparatekonstanten zusammenfassen

$$\eta = B \rho t - C \frac{\rho}{t} \quad (2)$$

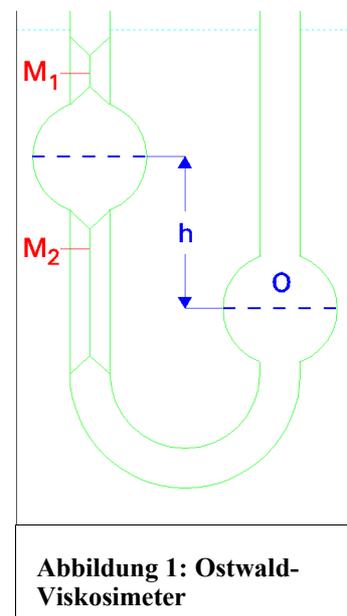


Abbildung 1: Ostwald-Viskosimeter

Andere Möglichkeiten zur Viskositätsmessung sind durch Fallkörper- und Rotationsviskosimeter gegeben, mit denen hauptsächlich sehr großer Viskositäten gemessen.

Die Temperaturabhängigkeit der Viskosität bei laminarer Strömung ergibt sich zu

$$\eta = A \cdot e^{E_a/RT} \quad (3)$$

wobei E_a die Aktivierungsenergie der laminaren Strömung ist. Diese Energie dient zur Überwindung der intermolekularen Kräfte, die eine Verschiebung paralleler Schichten bremsen. In der Gleichung taucht der Boltzmannfaktor auf, weil dieser zur Anzahl der Moleküle mit der Mindestenergie E_a proportional ist.

3. Versuchsdurchführung

Zur Bestimmung der Apparaturkonstanten wird die Durchflusszeit für Wasser einmal bei Zimmertemperatur und bei etwa 40°C durchgeführt. Danach wird n-Butan-2-ol in das Ostwald-Viskosimeter gefüllt. Die Starttemperatur liegt bei Raumtemperatur. Nach der Messung der Durchflusszeit wird erhitzt, auf Temperaturkonstanz gewartet und die Messung wiederholt. Insgesamt wird die Durchflusszeit bei acht verschiedenen Temperaturen zwischen Raumtemperatur und 65°C bestimmt.

Für Versuch 2 werden 6 Pyknometer zunächst leer gewogen. Diese werden mit Ethanol/Wasser-Mischungen mit einem Molenbruch von Ethanol von 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,6 und 0,8 gefüllt, die gemäß Tabelle 41.14 hergestellt werden. Nach einer halben Stunde werden die Pyknometer nochmals gewogen. Die Messung der Durchflusszeiten für die verschiedenen Mischungen findet bei Zimmertemperatur statt.

4. Resultate

Beim Erhitzen der Flüssigkeit sammeln sich immer mehr Gasblasen am Viskosimeter, weil das Wasser bei höherer Temperatur weniger Gase lösen kann.

Es ergaben sich folgende Messwerte:

Bestimmung der Konstanten B und C		
Temperatur [°C]	20	40
Durchflusszeit [s]	58,8	39,3

Viskositätsbestimmung n-Butan-2-ol								
Temperatur [°C]	20	26	32	38	44	50	57	64
Durchflusszeit [s]	245,9	197,4	162,5	133,9	113	96,3	78,6	64,5

Viskositätsbestimmung EtOH/Wasser bei 20°C						
Molenbruch EtOH	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8
Masse leer [g]	17,9438	16,4769	16,8651	16,5515	15,9698	16,0247
Masse voll [g]	27,4161	25,7182	26,1502	25,4532	24,187	24,427
Volumen [cm ³]	9,843	9,920	10,412	10,292	9,778	10,32
Durchflusszeit	116,4	291	185	171,2	140,2	116,1

5. Auswertung und Diskussion

Die Viskosität von Wasser beträgt bei 20°C $1,002 \cdot 10^{-3} \frac{N \cdot s}{m^2}$, bei 40°C $0,6529 \cdot 10^{-3} \frac{N \cdot s}{m^2}$

. Die Dichten von $0,9982 \frac{g}{cm^3}$ bzw. $0,9923 \frac{g}{cm^3}$ erhält man aus Tabellenwerken. Da der Dichteunterschied nur 0,5% beträgt, könnte er auch vernachlässigt werden. Gemäß Gleichung 2 werden die Konstanten C und B bestimmt.

$$\eta_1 = B\rho_1 t_1 - C \frac{\rho_1}{t_1}$$

$$B = \frac{\frac{\eta_1}{\rho_1} + \frac{C}{t_1}}{t_1}$$

$$\frac{\eta_2}{\rho_2} = B t_2 - \frac{C}{t_2} = \frac{\frac{\eta_1}{\rho_1} + \frac{C}{t_1}}{t_1} \cdot t_2 - \frac{C}{t_2} = \frac{\eta_1 \cdot t_2}{\rho_1 \cdot t_1} + \frac{C \cdot t_2}{t_1^2} - \frac{C}{t_2}$$

$$C \left(\frac{t_2}{t_1^2} - \frac{1}{t_2} \right) = \frac{\eta_2}{\rho_2} - \frac{\eta_1 \cdot t_2}{\rho_1 \cdot t_1}$$

$$C = \frac{\frac{\eta_2}{\rho_2} - \frac{\eta_1 \cdot t_2}{\rho_1 \cdot t_1}}{\frac{t_2}{t_1^2} - \frac{1}{t_2}} = \frac{\frac{0,6529 \cdot 10^{-3} \frac{N \cdot s}{m^2}}{0,9923 \frac{g}{cm^3}} - \frac{1,002 \cdot 10^{-3} \frac{N \cdot s}{m^2} \cdot 39,3s}{0,9982 \frac{g}{cm^3} \cdot 58,8s}}{\frac{39,3s}{(58,8s)^2} - \frac{1}{39,3s}}$$

$$C = \frac{0,6529 \cdot 10^{-3} \frac{N \cdot s}{m^2}}{992,3 \frac{kg}{m^3}} - \frac{1,002 \cdot 10^{-3} \frac{N \cdot s}{m^2} \cdot 39,3s}{998,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 58,8s} = \frac{0,6582 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} - 0,6709 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}}{0,0114s^{-1} - 0,0254s^{-1}} = \frac{-0,0127 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}}{-0,01408s^{-1}}$$

$$C = 0,9195 \cdot 10^{-6} m^2$$

$$B = \frac{\frac{1,002 \cdot 10^{-3} \frac{N \cdot s}{m^2}}{0,9982 \frac{g}{cm^3}} + \frac{0,9195 \cdot 10^{-6} m^2}{58,8s}}{58,8s} = \frac{1,0038 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} + 1,5640 \cdot 10^{-8} \frac{m^2}{s}}{58,8s}$$

$$B = 1,7337 \cdot 10^{-8} \frac{m^2}{s^2}$$

ERGEBNIS:

$B = 1,73 \cdot 10^{-8} \frac{m^2}{s^2}$	$C = 0,92 \cdot 10^{-6} m^2$
--	------------------------------

Um die Aktivierungsenergie bei laminarer Strömung von n-Butan-2-ol zu bestimmen werden zunächst die Viskositäten bei den gemessenen Temperaturen errechnet. Die Dichte von n-Butan-2-ol ergibt sich dabei durch die Gleichung

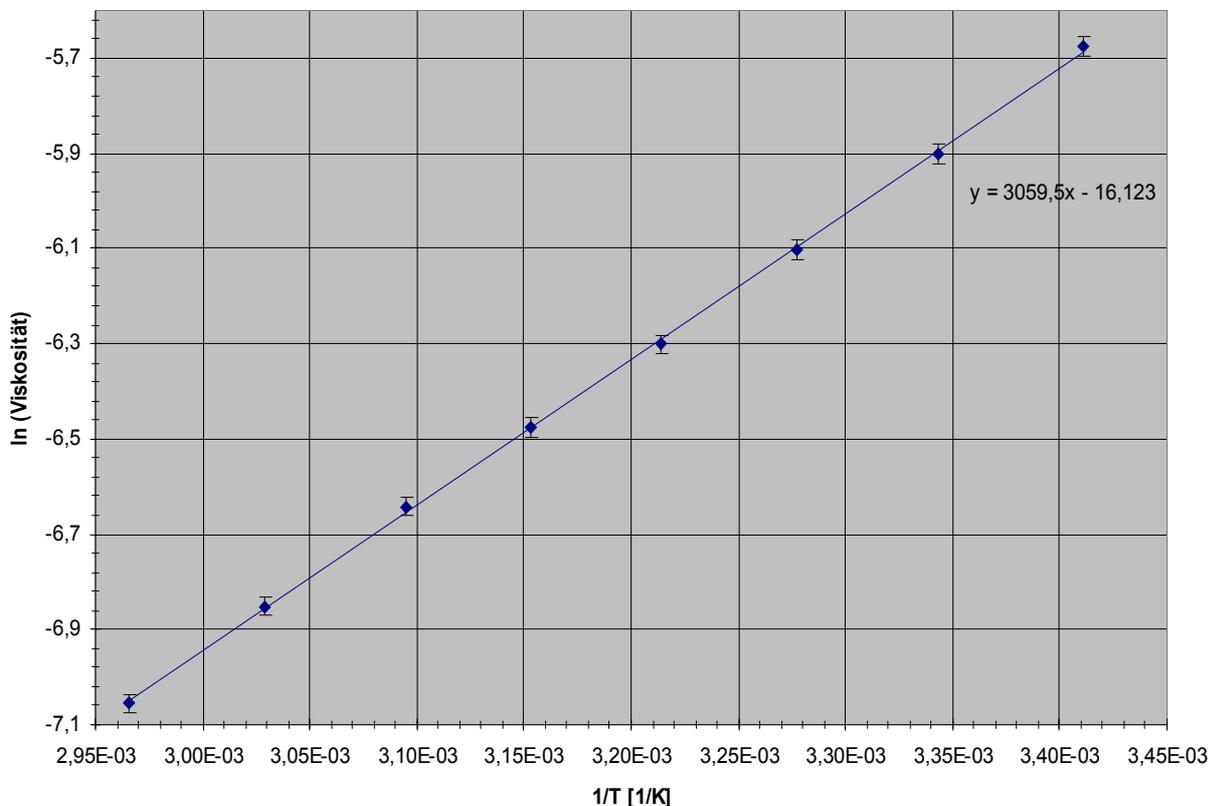
$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_{18^{\circ}\text{C}}} \cdot (1 + \alpha(t - 18^{\circ}\text{C})) \quad (4)$$

mit der Dichte von $0,805\text{g/cm}^3$ bei 18°C und dem Gradienten α von $94 \cdot 10^{-5} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$.

Viskositätsbestimmung n-Butan-2-ol								
Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]	20	26	32	38	44	50	57	64
Durchflusszeit [s]	245,9	197,4	162,5	133,9	113	96,3	78,6	64,5
Dichte [g/cm^3]	0,8035	0,7990	0,7945	0,7901	0,7858	0,7815	0,7765	0,7716
Viskosität η [10^{-3}Ns/m^2]	3,425	2,734	2,238	1,834	1,539	1,305	1,058	0,863
$\ln(\eta)$	-5,68	-5,90	-6,10	-6,30	-6,48	-6,64	-6,85	-7,06
Temperatur [K]	293	299	305	311	317	323	330	337
$1/T$ [10^{-3}K^{-1}]	3,41	3,34	3,28	3,22	3,16	3,10	3,03	2,97

Die Viskosität nimmt wie die Dichte bei steigender Temperatur ab. Bei geringerer Dichte sind weniger Moleküle pro Volumen vorhanden, die durch Impulsübertragung die Bewegung einer fließenden Schicht abbremsen können. Außerdem nimmt mit der Temperatur die thermische Bewegung der Teilchen zu und deren Anziehungskräfte ab. In einem Diagramm wird $\ln(\eta)$ gegen $1/T$ aufgetragen.

Viskosität n-Butan-2-ol



Durch Umformung von Gleichung 3 erhält man den Zusammenhang zwischen $\ln(\eta)$ und $1/T$.

$$\eta = A \cdot e^{E_a / RT}$$

$$\ln \frac{\eta}{A} = \frac{E_a}{RT}$$

$$\ln \eta = \frac{E_a}{R} \frac{1}{T} + \ln A$$

Die Steigung der Geraden entspricht dem Quotienten aus E_a und R , der Ordinatenabschnitt $\ln A$.

ERGEBNIS:

$$E_a = (3059,5 \pm 21)K \cdot 8,3145 \frac{J}{K \cdot Mol} = (25,4 \pm 0,2) \frac{kJ}{Mol}$$

Der Versuch zur Viskositätsbestimmung der Mischungen von Ethanol und Wasser wird ausgewertet, indem die Dichte und die Viskosität der Mischungen zunächst errechnet werden. In einem gemeinsamen Diagramm werden dann die Dichte/Molenbruch Ethanol- und Viskosität/Molenbruch Ethanol-Kurven aufgetragen. Daneben werden auch Literaturwerte für die Molenbrüche 0 und 1 aufgetragen.

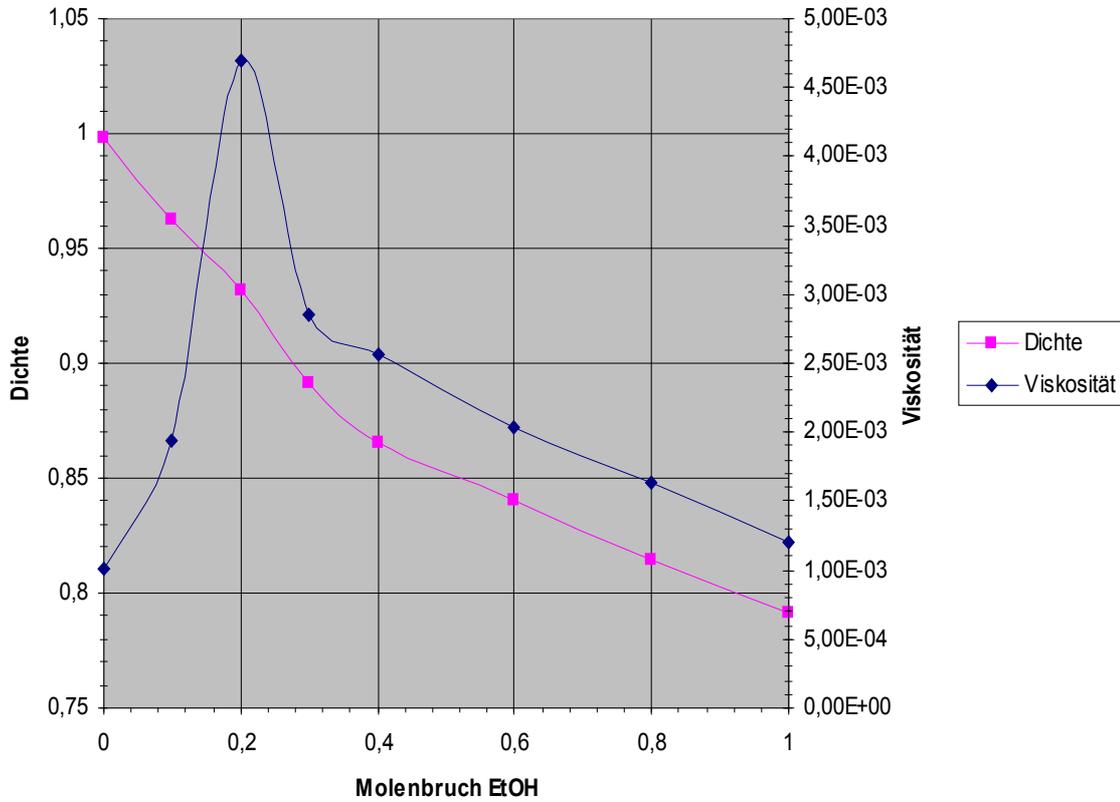
Molenbruch Ethanol	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
Dichte [g/cm ³]	0,998 2	0,9623	0,9316	0,8918	0,8649	0,8404	0,814 2	0,791
Viskosität [10 ⁻³ Ns/m ²]	1,002	1,942	4,700	2,860	2,567	2,043	1,639	1,20

Die Viskositäten der Mischungen sind größer als die Viskosität des Wassers bei gleicher Temperatur. Die Dichte nimmt bei größer werdendem Molenbruch unterhalb 0,4 schneller ab als oberhalb 0,4. Die Viskosität hat ein Maximum um den Molenbruch 0,2 und nimmt oberhalb 0,4 ungefähr im gleichen Maße wie die Dichte ab.

Der Verlauf der Dichte lässt sich damit erklären, dass Ethanol eine geringere Dichte als Wasser hat und so mit zunehmendem Anteil von Ethanol in erster Näherung sinkt. Wird der Molenbruch größer als 0,4 werden Wassermoleküle in die Ethanolstruktur eingelagert. Dadurch sinkt das molare Volumen, d.h. dass die Dichte mit zunehmenden Ethanolanteil langsamer sinkt.

Das Maximum der Viskosität bei $x=2$ lässt sich dadurch erklären, dass die Ethanolmoleküle am besten durch Wasser koordiniert werden (vermutlich oktaedrische Koordination). Durch Wasserstoffbrückenbindungen treten die stärksten Wechselwirkungen unter den Molekülen auf, wodurch die Viskosität am größten wird. Bei höherem Anteil Ethanol nimmt die Koordination wieder ab und somit auch die Viskosität. Die Abnahme der Viskosität bei Molenbrüchen über 0,4 ergibt sich aus der Abnahme der Dichte.

Viskosität Ethanol/Wasser



Bei dem Maximum der Viskosität scheint auch der Wert der Dichte, des sonst linearen Verlaufs in diesem Bereich, erhöht zu sein, was ebenfalls auf die besondere Koordination zurückgeführt werden kann

Messfehler traten bei der Befüllung des Reservoirs auf, da dieses nicht immer gleich hoch befüllt war. Des Weiteren lässt sich die Zeit nur auf etwa 0,3s genau stoppen und es tritt bei großen Temperaturen ein Gradient zwischen dem Heizgerät und dem Viskosimeter von etwa 1-2°C auf. Deshalb wurde die Temperatur ab 50°C mit einem Thermometer im Wasserbad direkt neben dem Viskosimeter gemessen.