

Versuch 41: Viskosität durchgeführt am 26.05.2004

Zielsetzung:

Ziel des Versuches ist es, die Viskosität von n-Butan-2-ol in Abhängigkeit von der Temperatur sowie die Viskosität eines Ethanol-Wasser-Gemisches in Abhängigkeit des Ethanolgehalts zu untersuchen, und Schlüsse auf zwischenmolekulare Kräfte zu ziehen.

Theoretischer Hintergrund:

Die Viskosität einer Flüssigkeit hängt von der Stärke der zwischenmolekularen Kräfte ihrer Moleküle ab; je stärker diese sind, umso viskoser erscheint die Flüssigkeit. Im beschriebenen Versuch wird mit Hilfe eines Ostwald-Viskosimeters im thermostatisierten Wasserbad geprüft, in wie weit sich die Viskositäten von Flüssigkeiten bzw. Gemischen durch Änderung der Temperatur bzw. des Molenbruchs einer Komponente verändern lassen. Eine mathematische Beziehung zwischen dem Volumen, der Fließzeit und der Viskosität stellt das Gesetz von Hagen und Poiseuille dar. Es lautet

$$V = \frac{(\pi \cdot r^4 \cdot p \cdot t)}{(8 \cdot \eta \cdot l)}$$

mit η als *Viskosität* der Flüssigkeit.

Das Hagen-Poiseuille-Gesetz wird durch die Hagenbachsche Korrektur ergänzt, welches Reibungseinflüsse beim Einlaufen der Flüssigkeit in die Kapillare kompensiert. Die Gleichung lautet somit:

$$\eta = \frac{\pi \cdot R^4 \cdot g \cdot h}{8 \cdot V \cdot l} \cdot \rho \cdot t - \frac{V \cdot \rho}{8 \cdot \pi \cdot l \cdot t} = B \cdot \rho \cdot t - \frac{C \cdot \rho}{t}$$

Die Gerätekonstanten B und C werden anhand zweier Messungen der Viskosität von Wasser bei verschiedenen Temperaturen bestimmt (siehe Auswertung).

Die Temperaturabhängigkeit der Viskosität ist gegeben durch eine dem Arrhenius'schen Zusammenhang sehr ähnlichen Gleichung:

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

wobei A stoffspezifisch konstant ist und E_a die Aktivierungsenergie der Strömung ist.

Es zeigt sich aus der Gleichung, dass eine erhöhte Temperatur (vermutlich aufgrund höherer Molekularenergie und damit verbundener verstärkter Molekularbewegung) die Viskosität eines Stoffes zu verringern vermag.

Durchführung:

Es werden gemäß der Anweisung im Praktikumsskript 6 Lösungen von Ethanol in Wasser erstellt, mit den Ethanol-Molenbrüchen von 0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,6 und 0,8. In Glaspyknometern werden die Dichten der Lösungen ebenso wie die von n-Butan-2-ol gemessen (siehe Messergebnisse). Das Ostwald-Viskosimeter wird zuerst mit n-Butan-2-ol beschickt und die Sinkzeit des Flüssigkeitsmeniscus bei Temperaturen von 25, 30, 35, 40, 50, 55, 60 und 65 °C gemessen. Anschließend verfährt man ebenso für die verschiedenen Ethanol-Wasser-Lösungen bei jeweils 25 °C.

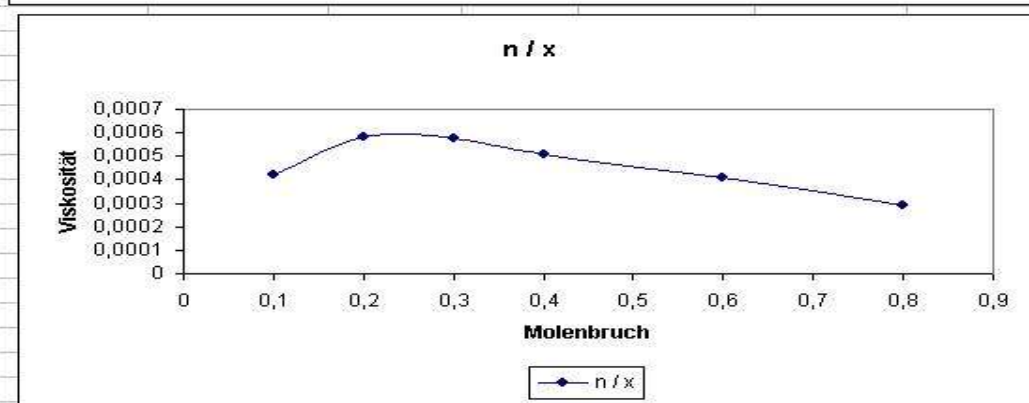
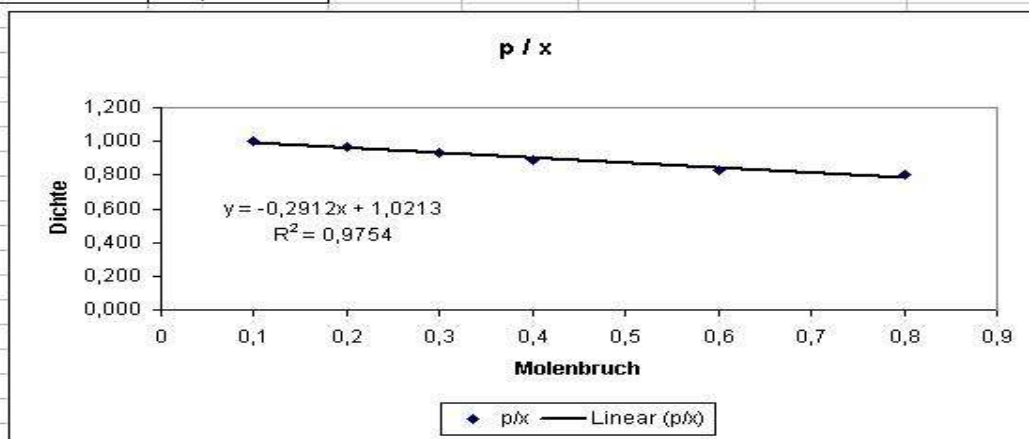
Auswertung:

Die Messreihen lieferten die folgenden Ergebnisse:

Zunächst die Tabelle der Konzentrationsabhängigkeit von EtOH/H₂O:

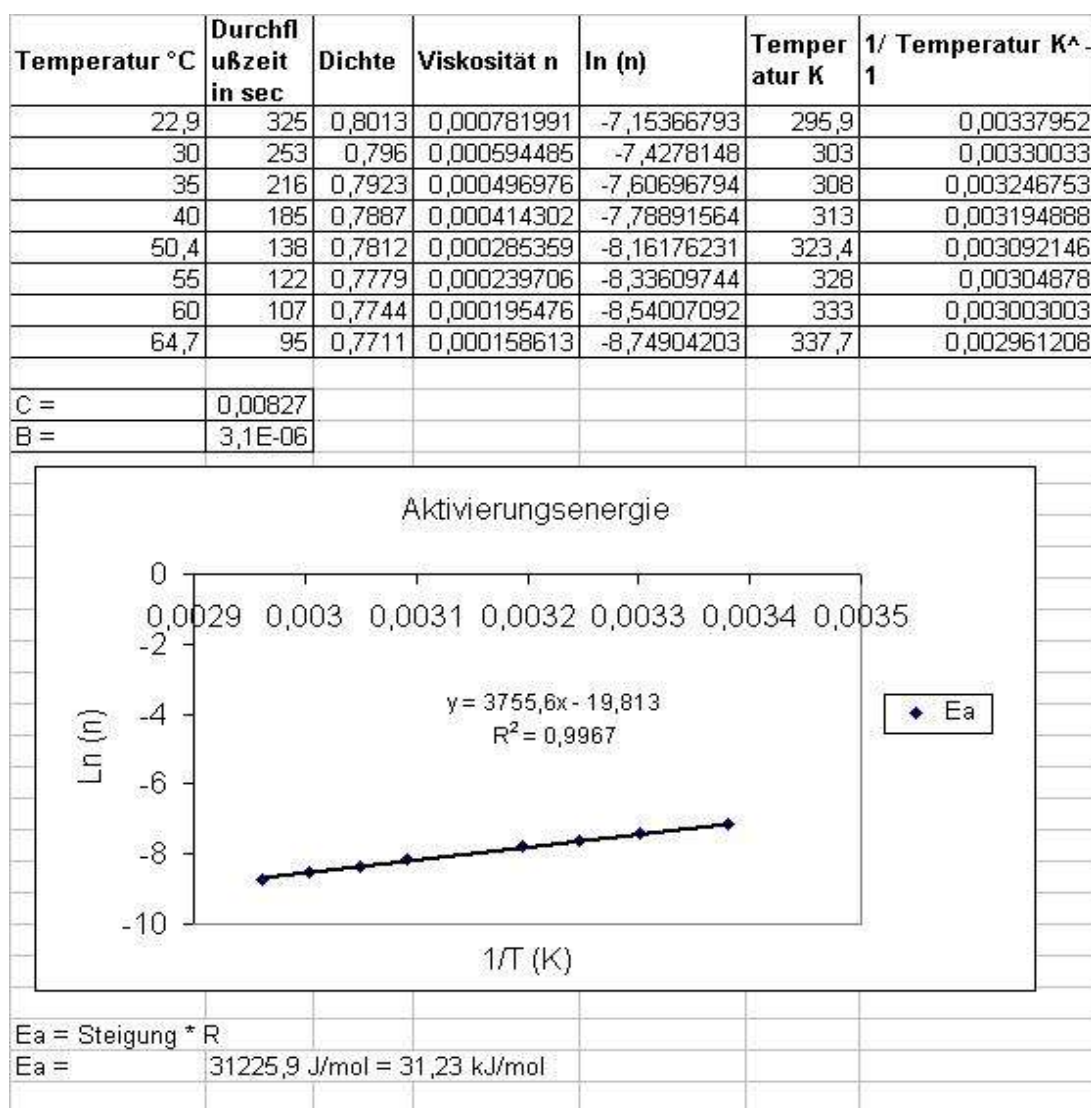
(Im Diagramm steht ρ für die Dichte und η für die Viskosität)

Molenbruch	Temperatur °C	Durchfluß zeit in sec	Dichte	Viskosität η		
0,1	25	154	0,998	0,000419957		
0,2	25	208	0,971	0,000583675		
0,3	25	213	0,932	0,000575459		
0,4	25	199	0,893	0,000510422		
0,6	25	174	0,831	0,000406017		
0,8	25	138	0,804	0,000293685		
C =	0,008266					
B =	0,000003081					



Anhand des obenstehenden Diagramms erkennt man, dass die konstant abnehmende Dichte des EtOH-Wasser-Gemisches **nicht** eine ebenso konstant abnehmende Viskosität bewirkt ! Letztere nimmt mit wachsendem EtOH-Gehalt zunächst zu, um bei ca. 0,3 mol % Ethanol wieder abzunehmen. Eine Begründung hierfür ist, dass die Wassermoleküle mit den EtOH-Molekülen Wasserstoffbrückenbindungen ausprägen und so zu einer höheren Viskosität führen, die durch die Alkylreste des EtOHs verursacht wird. Bei zu hohen Konzentrationen an Ethanol überwiegen die repulsiven Kräfte der Alkylgruppen die H-Brücken und führen so zu einer verringerten Viskosität.

Es folgen die Ergebnisse für die Temperaturabhängigkeit der Viskosität von n-Butan-2-ol:



Man erkennt, dass mit zunehmender Temperatur die Viskosität des Butanols abnimmt. Grund hierfür ist durch die höhere kinetische Energie der Moleküle verursachte höhere Bewegung und damit einhergehende verringerte van-der-Waals-Anziehung zwischen BuOH-Molekülen. Sie gleiten leichter aneinander vorbei, was sich makroskopisch als geringere Viskosität bemerkbar macht.

Zur Bestimmung der Gerätekonstanten B und C:

Aus dem Skript Gleichung 41.2:

$$\eta_1 = 0.8904 \cdot 10^{-3}; t_1 = 298 \text{ K}; \rho = 1$$

$$\eta_2 = 0.6529 \cdot 10^{-3}; t_2 = 313 \text{ K}; \rho = 1$$

$$\eta_1 = B \rho t_1 - \frac{C \rho}{t_1}; \eta_2 = B \rho t_2 - \frac{C \rho}{t_2}$$

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

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

$$\frac{\eta_1 + \frac{C \rho}{t_1}}{\rho t_1} = \frac{\eta_2 + \frac{C \rho}{t_2}}{\rho t_2}$$

$$\eta_1 \rho t_2 + \frac{C \rho^2 t_2}{t_1} = \eta_2 \rho t_1 + \frac{C \rho^2 t_1}{t_2}$$

$$\eta_1 \rho t_2 - \eta_2 \rho t_1 = \frac{C \rho^2 t_1}{t_2} - \frac{C \rho^2 t_2}{t_1}$$

$$\eta_1 \rho t_2 - \eta_2 \rho t_1 = C \left(\frac{\rho^2 t_1}{t_2} - \frac{\rho^2 t_2}{t_1} \right)$$

$$(\eta_1 \rho t_2 - \eta_2 \rho t_1) \left(\frac{t_2}{\rho^2 t_1} - \frac{t_1}{\rho^2 t_2} \right) = C$$

Die Messungen wurden für 25 °C und 40 °C warmes Wasser durchgeführt und die erhaltenen Werte betragen **C = 0,00827** und **B = 3,1 · 10⁻⁶**.

Zur Berechnung der Aktivierungsenergie der laminaren Strömung (essentiell für die Berechnung der Viskositäten):

$$\eta = A e^{\frac{E_a}{Rt}}$$

$$\frac{\eta}{A} = e^{\frac{E_a}{RT}}$$

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

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

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

Aus dieser Geradengleichung lässt sich leicht die Aktivierungsenergie durch Multiplikation der Steigung mit der Gaskonstanten R bestimmen. ($R = 8,3145 \text{ J/Kmol}$). Sie beträgt $E_a = \mathbf{31,23 \text{ kJ/mol}}$.

Das Ziel des Versuches konnte erreicht werden, Unstimmigkeiten oder Fehler wurden nicht gefunden.

v.d.Hoff
Wagner