

# Viskosität und Dichte von wässrigen *n*-Propanollösungen

## Zusammenfassung

Die Viskositäten von *n*-Propanollösungen wurden mit Hilfe eines Ubbelohde-Viskosimeters bei einer Temperatur von 30°C bestimmt. Dabei ließ man die Meßlösung jeweils zweimal durch eine Meßkapillare laufen. Aus der Durchlaufzeit und der Gerätekonstante wurde der kinematische Viskositätskoeffizient ermittelt. Die Dichte wurde mit einem Dichtemeßgerät bestimmt. Aus der Dichte und dem kinematischen Viskositätskoeffizienten erhielt man den dynamischen Viskositätskoeffizienten. Die Viskosität in Abhängigkeit von der Konzentration beschreibt keine Gerade, sondern eine nach unten geöffnete Parabel. Dies bedeutet, daß die Viskosität des Reinstoffes mit den kleineren Koeffizienten das Minimum darstellt, während die des anderen Reinstoffes ungefähr in der Mitte liegt. Die maximale Viskosität wird bei einem Molenbruch von  $x = 0,4$  erreicht:  $\eta(x)_{\max} = 2,305 \pm 0,005 \text{ mPa s}$ .

Des weiteren wurde nach der gleichen Methode die Temperaturabhängigkeit der beiden Koeffizienten für reines Wasser und 1-Propanol bestimmt:  $\eta(30^\circ\text{C}, 1\text{-Propanol}) = 1,755 \pm 0,004 \text{ mPa s}$  und  $\eta(32,3^\circ\text{C}, \text{Wasser}) = 0,761 \pm 0,001 \text{ mPa s}$ . Insgesamt erhält man eine abfallende Kurve: Bei tieferen Temperaturen wirkt sich eine Temperaturerhöhung stärker aus. Für die Dichte in Abhängigkeit von der Konzentration gilt folgendes: Im Bereich  $x = 0 - 0,3$  starke Änderung, danach ein schwächeres Absinken.

Assistent: Dr. Erich Meister (ErMe)

Zürich, den 28.11.2003

Hans Christian Lehmann

Physikalisch-Chemisches Praktikum I, Wintersemester 2003.

# 1. Einführung

## *Allgemeines*

Die Viskosität einer Flüssigkeit beschreibt ihre Zähigkeit, das heißt ihren Widerstand gegen eine Verschiebung durch laminare Strömung. Physikalisch entspricht sie dem Transport des Impulses durch eine Flüssigkeit. Bei Flüssigkeiten unterscheidet man zwischen newtonschem und nicht-newtonschem Verhalten. Bei letzteren ist die Viskosität auch von der Schergeschwindigkeit abhängig. Wenn man eine Flüssigkeit in parallele Schichten einteilt, dann ist die Geschwindigkeit senkrecht zu diesen die sogenannte Schergeschwindigkeit oder das Geschwindigkeitsgefälle  $D$ . Die Kraft pro Fläche dieser Schichten wird Schubspannung  $\tau$  genannt. Das Verhältnis von  $\tau$  zu  $D$  ist der dynamische Viskositätskoeffizient  $\eta$ :

$$D(z) = dv_x/dz$$

$$\tau(z) = dF_x(z)/dA$$

$$\eta = \tau(z)/D(z)$$

Für weitere Informationen siehe [1].

Die Temperaturabhängigkeit der Viskosität kann man mit der Eyringgleichung oder genauer mit Gleichungen, die mehrere Parameter enthalten, beschreiben:

$$\text{Eyringgleichung: } \ln \eta(T) = \ln(N_A h / V_M) + E_0/kT$$

Die Konzentrationsabhängigkeit der Viskosität, bei vollständiger Mischbarkeit zweier Flüssigkeiten und idealem Verhalten der Mischung, läßt sich durch:

$$\eta = x_1 \eta^* + x_2 \eta^*$$

beschreiben; Dabei ist  $x_i$  der Molenbruch eines Stoffes  $i$ , und  $\eta_i^*$  sein dynamischer Viskositätskoeffizient. Dies bedeutet, daß sich die Viskosität eines Gemisches additiv aus den Koeffizienten der Reinstoffe, relativ zu ihrem Anteil in der Lösung, zusammensetzt.

## *Bestimmung der Viskosität mit einem Kapillarviskosimeter*

Der dynamische Viskositätskoeffizient  $\eta$  einer Flüssigkeit kann ermittelt werden, indem man die Zeit  $\Delta t$ , die ein Volumen  $\Delta V$  benötigt, um durch eine Kapillare mit dem Radius  $r$  und der Länge  $l$  zu fließen, misst. Die Ursache hierfür ist eine Druckdifferenz  $\Delta p$ , die zwischen dem oberen und dem unteren Ende der Kapillare herrscht. Ein Ubbelohde-Viskosimeter arbeitet genau nach diesem Prinzip.

Alle Faktoren, bis auf die Dichte  $\rho$  und die Zeit  $t$ , lassen sich in einer Gerätekonstante  $K$  zusammenfassen. Dabei ist der kinematische Viskositätskoeffizient  $\nu$  als Produkt aus der Zeit und der Gerätekonstante definiert:

$$K = \pi g h R^4 / 8 \nu L$$

$$\eta = K \rho t$$

$$\nu = \eta / \rho = K t$$

## 2. Experimentelles

### 2.1 Substanzen

1-Propanol,  $C_3H_8O_1$ : M: 60,0956 g/mol. GK 4. Leicht entzündlich. [2]

Dichte  $\rho$ : 0,8034 g/ml. Dynamischer Viskositätskoeffizient  $\eta$ : 2,2227 mPa s. [3]

Oberflächenspannung  $\sigma$ : 23,69 mN/m. [4] Alle Werte gelten für eine Temperatur von 20°C.

### 2.2 Meßgeräte

Es wurde ein Ubbelohde-Viskosimeter, Schott Glaswerke, Mainz, verwendet. Dieses besteht aus einer Meßkapillare, einem Vorratsgefäß mit zwei Füllmarkierungen und dem Meßgefäß mit den beiden Ringmarken. Abbildung auf der nächsten Seite aus [1].

Für die Dichtemessungen wurde ein *Paar DMA-48* Dichtemeßgerät verwendet. Das Meßprinzip ist folgendes: Es wird die Periode der Resonanzfrequenz der Schwingung eines U-Rohres, gefüllt mit der Meßlösung, ins Verhältnis zu der einer Referenzsubstanz, mit bekannter Dichte, gesetzt. Dies liefert die Dichte der Meßlösung mit einer Auflösung von 0,01%.

## **2.3 Messung der Viskositätskoeffizienten**

### *Durchführung der Messungen*

Die Lösungen wurden jeweils mit einer Pipette in das Vorratsgefäß eingefüllt. Danach wurde das Entlüftungsrohr mit einem Finger zugehalten und mit einem Peleusball auf dem Rohr der Meßkapillare die Meßflüssigkeit in das Meßgefäß aufgezogen.

### *Temperaturabhängigkeit der Viskositätskoeffizienten*

Es wurden die Durchlaufzeiten von Wasser bei sechs Temperaturen zwischen 13,7 und 60,2°C jeweils dreimal und von 1-Propanol zwischen 30,0 und 60,0°C jeweils zweimal gemessen.

### *Konzentrationsabhängigkeit der Viskositätskoeffizienten*

Zuerst wurden jeweils ungefähr 20 bis 25 g einer Lösung mit grob vorausgerechnetem Molenbruch in einem 50 ml Messkolben hergestellt. Die genaue Einwaage wurde notiert, um bei der Auswertung den genauen Molenbruch berechnen zu können.

Danach wurden jeweils zwei Messungen, Durchläufe, bei 30°C durchgeführt. Nach jedem Durchlauf wurde die Apparatur mit destilliertem Wasser gereinigt.

## 2.4 Dichtemessungen

Das Dichtemeßgerät wird zuerst gemäß Geräteanleitung für eine Messtemperatur von 30°C kalibriert, und die Kalibrierdaten in den aufliegenden Kalibrierreport eingetragen. Danach kann man einfach durch Einfüllen der Meßlösungen die Dichte bestimmen.

## 3. Resultate, Auswertung und Diskussion

Zuerst wurden die Viskositätskoeffizienten ausgerechnet: Aus den gemittelten und nach Hagenbach-Couette, kinetische Energie, korrigierten Durchlaufzeiten und der Gerätekonstante,  $K = 0,003181 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ , erhielt man  $\nu$  und dann daraus mit der Dichte  $\eta$ . In *Tabelle 1* sind die Durchlaufzeiten für wässrige 1-Propanollösungen in Abhängigkeit vom Molenbruch dargestellt. In *Tabelle 2* sieht man die Durchlaufzeiten in Abhängigkeit von der Temperatur für Wasser und 1-Propanol. Die Formeln hierzu sind weiter oben aufgeführt.

Für die Dichte der Lösungen wurden die experimentellen Werte, die man bei 20°C mit anderen Molenbrüchen gemessen hatte, interpoliert, für Wasser bei verschiedenen Temperaturen die Werte aus [3], jeweils der nächste Zehnerwert, und für 1-Propanol bei verschiedenen Temperaturen die Werte aus [4], bzw. die dort angegeben Funktion, verwendet. Bei den Literaturwerten für die Dichte wurde die sehr kleine, 1/10000, Unsicherheit, sofern angegeben vernachlässigt.

Danach wurde für die Konzentrationsabhängigkeit der Koeffizienten *Graphik 1* mit Literaturwerten aus [4], und für die Temperaturabhängigkeit der Koeffizienten von Wasser und 1-Propanol *Graphiken 2 und 3* erstellt.

1-Propanol und Wasser sind in allen Verhältnissen vollständig mischbar [5].

Aus den Graphiken geht hervor, daß die meisten Meßwerte gut mit den Literaturwerten korrelieren, allerdings gibt es auch ein paar „Ausreißer“.

Wie aus den Meßdaten ersichtlich, ändert sich die Dichte bis  $x = 0,3$  am stärksten.

Die Viskosität in Abhängigkeit von der Konzentration beschreibt keine Gerade, sondern eine nach unten geöffnete Parabel. Dies bedeutet, daß die Viskosität des Reinstoffes mit den kleineren Koeffizienten das Minimum darstellt, während die des anderen Reinstoffes ungefähr in der Mitte liegt. Die maximale Viskosität wird bei einem Molenbruch von  $x = 0,4$  erreicht.

In [1] bei ungefähr  $x = 0,3$ . Dieses Verhalten lässt sich durch die Bildung von wasserstoffbrückengebundenen Clustern erklären. [1]

Für die Temperaturabhängigkeit erhält man eine abfallende Kurve: Bei tieferen Temperaturen wirkt sich eine gleich große Temperaturerhöhung stärker aus als bei Höheren.

## 5. Literatur

[1] E. Meister, *Grundpraktikum Physikalische Chemie*, Zürich, **2000**.

[2] Fluka, *scientific research 2003/2004*, Buchs SG, **2003**.

[3] D. Lide (Hrsg.), *Handbook of Chemistry and Physics 84<sup>th</sup> ed.*, CRC Press, **2003**.

[4] Landolt-Börnstein, *New Series IV/8G, 18A, B*. **2001**.

[5] <http://www.hbcplib.com/> (Online Version des Handbook of Chemistry and Physics).