

# A40 Höppler- und Ostwaldviskosimeter (Viskosität von Flüssigkeiten)

Gruppe 11: Georg Fleig, Markus Prim

21. Juni 2010



Karlsruher Institut für Technologie  
Institut Physikalische Chemie

Praktikum:

testiert am: 27.06

Betreuer: 

# Theoretische Grundlagen

## Innere Reibung

Innere Reibung tritt auf, wenn in einem Medium zwei Schichten verschiedener Geschwindigkeit aneinander vorbeigleiten. Dabei wird senkrecht zur Gleitrichtung von der schnellen zur langsamen Schicht Impuls  $I$  übertragen. Bezogen auf die Zeit ist dieser als Reibungskraft  $F$  aufzufassen.  $F = \frac{dI}{dt}$

Die Impulsmenge je Zeiteinheit ist proportional zum Geschwindigkeitsgefälle  $\frac{dv_z}{dx}$  und der Querschnittsfläche  $A$ .

$$\frac{dI_z}{dt} = F = -\eta A \left( \frac{dv_z}{dx} \right)$$

Dies ist das Transportgesetz für den Impuls. Es ist äquivalent zu anderen Transportgesetzen, wie z.B. dem Fick'schen Gesetz.

## Durchführung

Im Kugelfallviskosimeter messen wir die Zeit die die Kugel benötigt um eine bestimmte Strecke zurückzulegen. Die Kugel wird dabei durch das Wasser gebremst. Daraus lassen sich Rückschlüsse auf die innere Reibung bilden.

Im Kapillarisviskosimeter messen wir die Zeit die die Flüssigkeit benötigt bis ein bestimmtes Volumen durch die Kapillare geflossen ist. Da die Teilchen aneinander vorbeigleiten müssen geschieht das bei entsprechenden Wechselwirkungen unterschiedlich schnell, was uns Auskunft über die Viskosität liefert.

## Ziele

Bestimmung der Viskosität von Wasser bei verschiedenen Temperaturen, ~~und~~ Ethanol und einem Ethanol-Wasser Gemisch bei 20°C.

Desweiteren wollen wir die Aktivierungsenergie (Platzwechselenergie) von Wasser bestimmen und den Selbst-Diffusionskoeffizienten von Wasser berechnen.

## Höppler-Viskosimeter

### Messwerte

Temperatur / °C	24,6	30,0	39,9	50,1
Fallzeit 1 / s	89,1	79,2	65,3	54,4
Fallzeit 2 / s	89,5	79,5	65,8	55,4
Fallzeit 3 / s	88,6	80,0	66,5	54,4
Fallzeit 4 / s	89,6	79,4	65,2	54,7
Fallzeit 5 / s	90,0	79,6	64,8	55,3
Mittelwert / s	89,4	79,5	65,5	54,9
$\Delta t$ / s	0,511	0,299	0,654	0,503

Eure St. Abw sind  
alle etwas größer als  
die von mir  
berechneten...

Anmerkung: Die Fallzeiten wurden verdoppelt, damit sie zur angegebenen Kugelkonstante passen

### Auswertung der Messwerte

Temperatur / °C	24,6	30,0	39,9	50,1
Mittelwert / s	89,4	79,5	65,5	54,9
$\Delta t$ / s	0,511	0,299	0,654	0,503
$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ / kg m <sup>-3</sup>	997,04	995,64	992,21	988,03
$\eta$ / kg m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> 10 <sup>-3</sup>	0,911	0,812	0,670	0,563
$\Delta\eta$ / kg m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> 10 <sup>-3</sup>	0,018	0,014	0,016	0,013
$\eta_{\text{Lit}}$ / kg m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> 10 <sup>-3</sup>	0,890	0,798	0,653	0,547
relative Abweichung	2,33%	1,75%	2,62%	2,91%

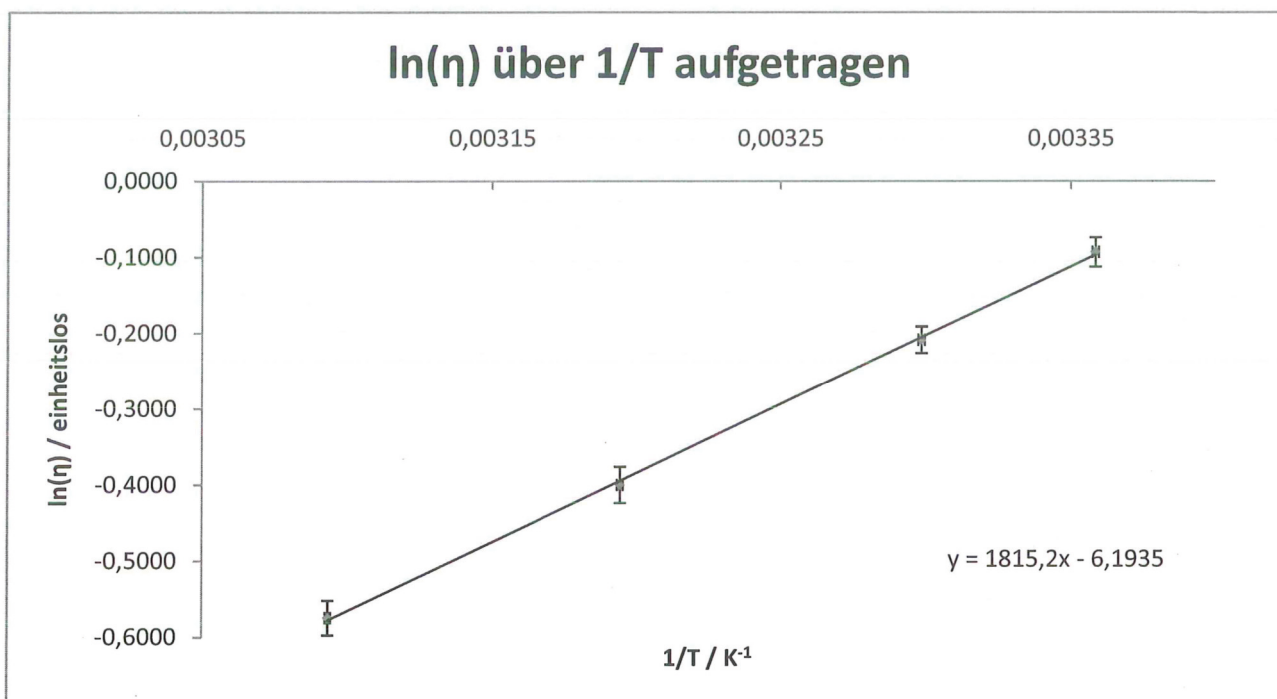
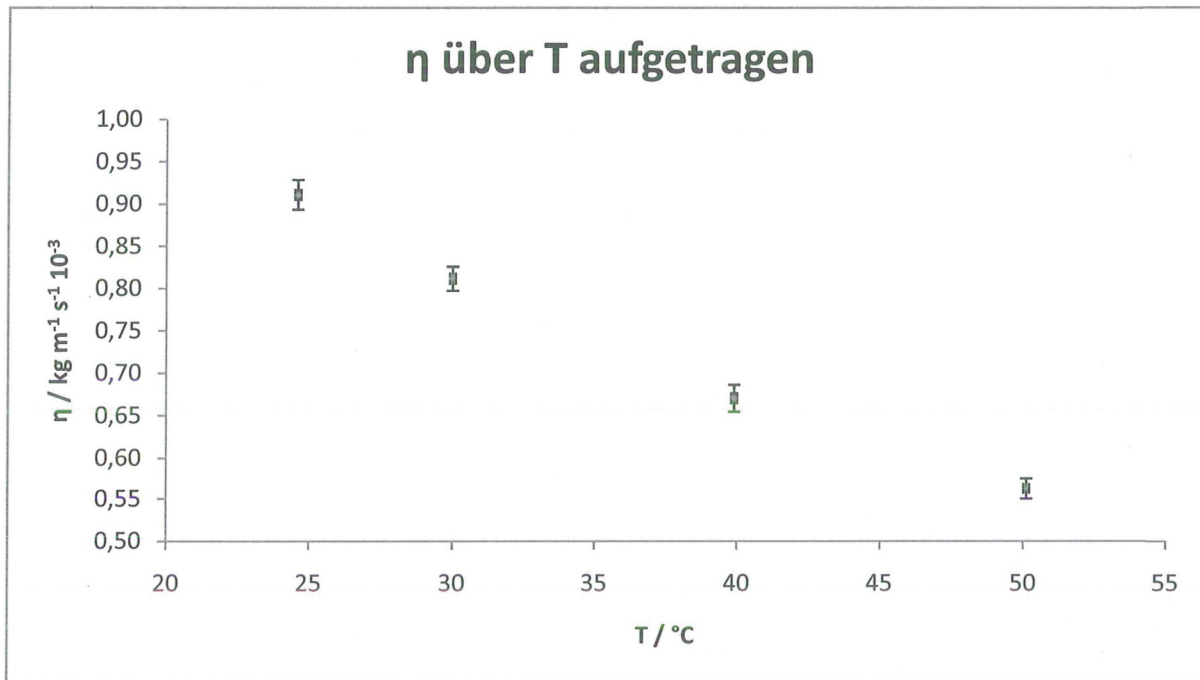
Quellen:

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ : [http://www.wissenschaft-technik-ethik.de/wasser\\_dichte.html#kap02](http://www.wissenschaft-technik-ethik.de/wasser_dichte.html#kap02)

$\eta_{\text{Lit}}$ : [https://secure.wikimedia.org/wikibooks/de/wiki/Tabellensammlung\\_Chemie/\\_Stoffdaten\\_Wasser#Standardbedingungen](https://secure.wikimedia.org/wikibooks/de/wiki/Tabellensammlung_Chemie/_Stoffdaten_Wasser#Standardbedingungen)

Aus der Platzvorschrift

$\rho_{\text{Kugel}}$ / kg m <sup>-3</sup>	2392
$K$ / Pa m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> 10 <sup>-9</sup>	7,31
$\Delta K$ / Pa m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> 10 <sup>-9</sup>	0,10
$\Delta T$ / K	0,1



#### Wertetabelle

1/T / K <sup>1</sup>	0,00336	0,00330	0,00319	0,00309
Δ(1/T) / K <sup>-1</sup>	0,000001128	0,000001088	0,000001020	0,000000957
ln(η) / einheitslos	-0,0931	-0,2086	-0,3999	-0,5744
Δ(ln(η)) / einheitslos	0,019401	0,017440	0,023655	0,022852
Δm (Fehler Steigung) / K	5,78	5,29	7,41	7,39

Mittelwert der Steigungsfehler / K

6,46

## Ostwald-Viskosimeter

### Messwerte

Durchgang	1	2	3	4	5	Mittelwert	$\Delta t$
t(H <sub>2</sub> O) / s	92,6	92,3	93,1	93,2	92,4	92,7	0,409
t(H <sub>2</sub> O+EtOH) / s	279,3	277,9	276,7	276	278,3	277,6	1,307
t(EtOH) / s	145,9	145,7	144,8	145,6	145,8	145,6	0,439

## Auswertung

## Höppler-Viskosimeter

1)

Berechnen der dynamischen Viskosität:

Da wir ~~nur~~ die Durchlaufzeit der Kugel zwischen zwei Balken gemessen haben (anstatt der doppelten Strecke), müssen wir die gemessenen Fallzeiten verdoppeln, damit wir mit der angegebenen Kugelkanalweite rechnen können.

Aus den 5 Durchläufen wird jeweils der Mittelwert berechnet und die Standardabweichung als Fehler  $\Delta t$  verwendet.

$\eta$  berechnen wir mit der Formel

$$\eta = K (\rho_k - \rho_{fl}) t$$

Ergebnisse: siehe Tabelle.

Der Fehler  $\Delta \eta$  ergibt sich aus:

$$\Delta \eta = \left| \frac{\partial \eta}{\partial K} \right| \Delta K + \left| \frac{\partial \eta}{\partial t} \right| \Delta t \quad \text{da } K \text{ und } t \text{ als fehlerbehaftet angesehen werden}$$

$\Delta K$  entnehmen wir der Platzvorschrift,  $\Delta t$  ist die Standardabweichung unserer Messreihe.

$$\Rightarrow \Delta \eta = \Delta K t (\rho_k - \rho_{fl}) + K \Delta t (\rho_k - \rho_{fl})$$

2)

Vergleich: siehe Tabelle

Nach einem Vergleich verschiedener Quellen für den Literaturwert von  $\eta$  entschieden wir uns für die angegebene Wikipedia-Quelle, da nur diese auch  $\eta(\text{H}_2\text{O})$  bei  $25^\circ\text{C}$  beinhaltet.

3) Siehe Diagramm

Als Fehler der Temperatur wird  $\Delta T = 0,1\text{K}$  gewählt (Angabe des Thermometers).

4) Temperaturabhängigkeit von  $\eta$ :

$$\frac{1}{\eta} = B \cdot \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right)$$

$$\Leftrightarrow \ln(\eta) = \underbrace{\frac{E_A}{RT}}_{m = \text{Steigung}} + \text{const}$$

Trägt man  $\ln(\eta)$  gegen  $\frac{1}{T}$  auf, lässt sich aus der Steigung der linearen Regressionskurve  $E_A$  bestimmen.

Die Steigung  $m$  der Geraden ist  $\frac{E_A}{R} = -1815,2$  mit der Einheit K.

$$\Rightarrow E_A = m \cdot R = -1815,2 \text{ K} \cdot 8,314 \frac{\text{J}}{\text{K mol}} = \underline{\underline{15,09 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \pm 53,71 \frac{\text{J}}{\text{mol}}}} \quad \checkmark$$

Der im Graphen eingezeichnete Fehler  $\Delta \ln(\eta)$  berechnet sich so:

$$\Delta \ln(\eta) = \left| \frac{\partial \ln(\eta)}{\partial \eta} \right| \Delta \eta = \frac{\Delta \eta}{\eta}$$

Temperaturfehler:

$$\Delta\left(\frac{1}{T}\right) = \left| \frac{\partial\left(\frac{1}{T}\right)}{\partial T} \right| \Delta T = \frac{\Delta T}{T^2}$$

Fehlerrechnung der Steigung  $m$  bzw. von  $E_A$  siehe Rückseite  $\rightarrow$

5) Selbstdiffusionskoeff. mit der Stokes-Einstein-Gleichung:

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r} \quad \text{bei } 25^\circ\text{C} \quad r_{\text{H}_2\text{O}} = 14 \cdot 10^{-10} \text{ m (aus der Versuchsbew.)}$$

$$= \frac{138 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 298,15 \text{ K}}{6\pi \cdot 0,911 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10^{-3} \cdot 14 \cdot 10^{-10} \text{ m}} = 1,71 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \checkmark$$

6) Ostwald-Viskosimeter

Es gilt für die kinematische Viskosität:

$$\nu_{\text{kin}} = C(t + k(t)) = \frac{\eta}{\rho}$$

$C$ : Eichkonstante

$t$ : Durchlaufzeit

$$k(t): \text{Hagenbach-Korrektur} = \begin{cases} 0,015 & t \leq 25 \text{ s} \\ 0,5 & t > 25 \text{ s} \end{cases}$$

Fehler der Steigung der Ausgleichsgeraden:

$$m = (\ln(n) - \text{const}) T$$

$$\Delta m = \left| \frac{\partial m}{\partial \ln(n)} \right| \Delta \ln(n) + \left| \frac{\partial m}{\partial T} \right| \Delta T$$

$$= T \Delta \ln(n) + (\ln(n) - \text{const}) \Delta T \quad \text{const} = 6,1535 \Rightarrow y\text{-Achsenabschnitt.}$$

$\Delta \bar{m}$  = Mittelwert der Steigungsfehler = 6,46 K

Ergebnisse siehe Tabelle

Aus diesen Fehler lässt sich nur der Fehler für  $E_4$  berechnen

$$E_4 = n \cdot R \quad \text{lediglich } n \text{ ist fehlerbehaftet}$$

$$\Delta E_4 = \left| \frac{\partial E_4}{\partial n} \right| \Delta n = R \cdot \Delta n = 53,71 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Schön!



Da wir immer Durchlaufzeiten über 25 s hatten, gilt:

$$V_{\text{kin}} = C t = \frac{\eta}{\rho}$$

$$\Rightarrow C = \frac{\eta}{\rho t}$$

C wird nun mit  $\text{H}_2\text{O}$  bestimmt

$$C = \frac{\eta_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho(\text{H}_2\text{O}) \cdot t}$$

Werte aus der Versuchsbeschreibung

$$C = \frac{1000 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}}{0,9983 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 92,75} = \underline{\underline{1,08 \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \pm 0,0047 \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}}$$

Fehlerrechnung:  $\Delta C$  ist fehlerbehaftet (Standardabw.)

$$\Delta C = \left| \frac{\partial C}{\partial t} \right| \Delta t = \frac{\eta \Delta t}{\rho t^2} = 4,77 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Für die dynamische Viskosität von Ethanol ergibt sich:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{Eth}} &= C \cdot t \cdot \rho = 1,08 \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot 145,6 \text{ s} \cdot 0,7893 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \\ &= \underline{\underline{1,241 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{ms}} \pm 0,00922 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{ms}}}} \end{aligned}$$

Fehlerrechnung: für  $\eta_{\text{Eth}}$ : C und t sind fehlerbehaftet.

$$\begin{aligned} \Delta \eta_{\text{Eth}} &= \left| \frac{\partial \eta}{\partial C} \right| \Delta C + \left| \frac{\partial \eta}{\partial t} \right| \Delta t \\ &= t \rho \Delta C + C \rho \Delta t = 0,00922 \frac{\text{kg}}{\text{ms}} \end{aligned}$$

dynamische Viskosität der Wasser-Ethanolmischung:

$$\frac{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho} \frac{\eta}{\eta_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{t}{t_{\text{H}_2\text{O}}} \quad t = 277,6 \text{ s} \quad \rho = \rho_{\text{Eth}} = 0,8296 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{t \cdot \eta_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \rho}{t_{\text{H}_2\text{O}} \rho_{\text{H}_2\text{O}}} = \underline{\underline{(2,785 \pm 0,016) \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{ms}}}}$$

$$\text{Fehler } \Delta \eta = \left| \frac{\partial \eta}{\partial t} \right| \Delta t + \left| \frac{\partial \eta}{\partial t_{\text{H}_2\text{O}}} \right| \Delta t_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$= \frac{\eta_{\text{H}_2\text{O}} \rho}{\rho_{\text{H}_2\text{O}} t_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot \left( \Delta t + \frac{t \Delta t_{\text{H}_2\text{O}}}{t_{\text{H}_2\text{O}}} \right) = 0,0161 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$$

## Fehlerdiskussion

Kugelfallviskosimeter nach Hoppler:

- Temperatur des Wasser entspricht nicht exakt <sup>mit</sup> der eingestellten Temperatur überein → Dichte des Wassers nicht wie angenommen.
- „menschlicher“ Fehler beim Zeitstoppen → Zeitabnahme nicht exakt
- Turbulenzen um den Kugelkorpus verändern Sinkgeschwindigkeit → nicht nur innere Reibung wirkt dem Sinken entgegen.

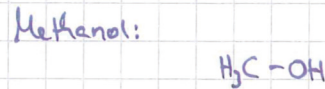
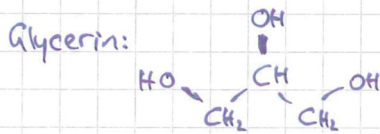
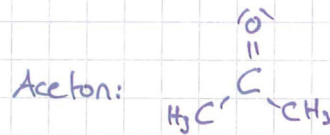
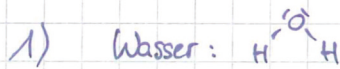
Kapillerviskosimeter nach Oswald:

- Temperatur wurde nicht exakt konstant gehalten → Viskosität ändert sich, da sie temperaturabh. ist
- Zeitabnahme wieder nicht exakt
- Verunreinigungen in der Kapillare kann Fließgeschwindigkeit beeinflussen → Turbulenzen entstehen und stören die Messung
- Die Ethanol-Wasser-Mischung wurde nicht exakt hergestellt.

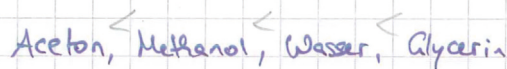
## Quellen

- Die Quellen der Literaturwerte wurden immer entsprechend angegeben
- Peter W. Atkins „Physikalische Chemie“ 3. Auflage  
Wiley VCH, Weinheim, 2001

## Zusatzfragen



Die Viskosität hängt mit der Stärke der intermolekularen Kräfte zusammen. Bei den vier hier vorliegenden Moleküle sind das Wasserstoffbrücken und Van-der-Waals Kräfte. Da die Moleküle klein sind spielen vorwiegend die Wasserstoffbrücken eine Rolle. Somit hängt die Viskosität von der „Verknüpfbarkeit“ der Moleküle ab. Es ergibt sich die Reihenfolge:



2) Wir Vermuten: Reines Wasser bildet Wasserstoffbrücken aus. Gibt man nun eine Ethanol in das Wasser, so bilden sich auch an diesem Wasserstoffbrücken aus. Grund dafür, dass die Viskosität zunimmt sind die Alkylreste des Ethanols. Durch diese wird eine größere Verknüpfung ermöglicht, d.h. mehr Wasserstoffbrücken pro Molekül. Steigt der Anteil des Ethanols, führt dies dazu, dass das Ethanol Dimere bildet und die Netzwerkstruktur verloren geht, da nicht genug Wasser vorhanden ist die Moleküle/Dimere untereinander zusammenzuhalten.

3) Für eine Reaktion müssen die Reaktionspartner (RP) zueinandergeführt werden. Je viskoser ein Stoff ist umso langsamer gelangen die RP zueinander. Damit ein Teilchen seinen Platz verlässt muss es zunächst die benötigte „Platzwechselenergie“ Ea aufbringen. Damit zwei Teilchen reagieren muss zunächst die benötigte Aktivierungsenergie aufgebracht werden.

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

$$\frac{1}{\eta} = B \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

Man erkennt daraus die Proportionalität zwischen  $k$  und  $\eta$

