

VISKOSITÄT

Constantin Kohl

Jan Reiner

durchgeführt: 31/5/10

8-12

abgegeben: 4/6/10

A40

Bitte Versuchsnummer immer mit Angeben! Danke

a.k. Metla

4.6.10

Protokoll sehr wesentlich

INSTITUT FÜR PHYSIKALISCHE  
CHEMIE UND ELEKTROCHEMIE  
DER UNIVERSITÄT KARLSRUHE  
PRAKTIKUM FÜR ANFÄNGER  
TESTIERT AM: 04. Juni 2010  
ASSISTENT: A J-D

**A 40 Höppler- und Ostwaldviskosimeter (Viskosität von Flüssigkeiten)**

**Aufgabe:**

Mit einem Kugelfällviskosimeter (nach Höppler) ist die Viskosität von Wasser bei 25, 30, 40 und 50 °C zu bestimmen. Mit einem Ostwald-Viskosimeter ist die Viskosität von Wasser, Ethanol und von einer Wasser-Ethanolmischung bei 20 °C zu ermitteln.

**Grundlagen:**

Innere Reibung tritt auf, wenn in einem Medium – hier Flüssigkeiten – Schichten mit verschiedener Geschwindigkeit  $v$  aneinander vorbeigleiten. Daher wird senkrecht zur Gleitrichtung von der schneller bewegten Schicht auf die langsamere Impuls  $I$  übertragen, der bezogen auf die Zeiteinheit, als Reibungskraft  $F = \frac{dI}{dt}$  aufzufassen ist. Die pro Zeiteinheit transportierte Impulsmenge ist dem Geschwindigkeitsgefälle  $\frac{dv_x}{dx}$  und der Querschnittsfläche  $A$  proportional.

$$\frac{dI_x}{dt} = F = -\eta A \left( \frac{dv_x}{dx} \right) \quad (1)$$

Der Proportionalitätsfaktor ist die *dynamische Viskosität* oder *Zähigkeit*  $\eta$ , Flüssigkeiten, deren Viskosität nicht von der Geschwindigkeit abhängen heißen Newtonsche Flüssigkeiten.

Beim Höppler-Viskosimeter macht man sich zur Bestimmung der dynamischen Viskosität die Stokesche Gleichung zunutze. Danach gilt für die Reibungskraft  $F$  an einer laminar umströmten Kugel:

$$F = 6\pi\eta r v \quad (2)$$

Diese Reibungskraft steht im Gleichgewicht mit dem Gewicht der Kugel (mit dem Radius  $r$ ), vermindert um ihren Auftrieb in der Flüssigkeit

$$F = gV_K(\rho_K - \rho_F) \quad (3)$$

$V_K = 4/3 \pi r^3$  ist das Kugelvolumen,  $\rho_K$ ,  $\rho_F$  sind die Dichten der Kugel bzw. der Flüssigkeit. Durch Gleichsetzen von (2) und (3) folgt

$$\eta = K(\rho_K - \rho_F)t \quad (4)$$

$t$  ist die Fallzeit der Kugel und  $K$  die sogenannte Kugelkonstante. In der Praxis ist jedoch die Stokesche Formel für ein Kugelfällviskosimeter nicht streng gültig. (Warum?) Daher verwendet man in Gleichung (4) eine Kugelkonstante, die man durch Eichmessungen experimentell bestimmt.

**Durchführung:**

**Kugelfällviskosimeter nach Höppler**

Man stellt den Thermostaten ungefähr auf die gewünschte Temperatur ein. Die genaue Temperaturablesung erfolgt am Thermometer im Wassermantelgefäß. Nach etwa 10 Minuten ist der Temperaturengleich zwischen dem Fallrohr und dem Mantelgefäß erreicht. Man löst die Arretierung und dreht das Viskosimeter um 180°. Mit einer Stoppuhr misst man die Zeit, welche die Kugel zum Durchfallen der Strecke zwischen der oberen und unteren Ringmarkierung des Fallrohrs braucht. Bei 25, 30, 40 und 50 °C sind jeweils 5 Messungen durchzuführen.

Das Fallrohr muss vor und nach der Messung verschlossen bleiben (Öffnung nur durch den Assistenten). Achten Sie darauf, dass sich keine Luftblasen im Fallrohr befinden.

**Kapillarviskosimeter nach Ostwald:**

Das Kapillarviskosimeter wird mit dest. Wasser bei 20 °C kalibriert. Die Thermostatisierung erfolgt mit einem großen Bad-Volumen, das mit Hilfe von Eiswasser auf etwa 20 ± 1 °C eingestellt wird. Zur schnelleren Temperaturequilibration des Ostwaldviskosimeters wird das Bad gerührt. Die Daten für  $\eta_{H_2O}$  und  $\rho_{H_2O}$  bei dieser Temperatur finden Sie im Anhang. Bestimmen Sie dann für reines Ethanol und für eine Mischung aus gleichen Volumenanteilen Ethanol-Wasser die dynamische und kinematische Viskosität:

$$\frac{v}{v_{H_2O}} = \frac{\rho_{H_2O} \eta}{\rho \eta_{H_2O}} = \frac{t}{t_{H_2O}} \quad (10)$$

**Auswertung:**

**Höppler-Viskosimeter**

- Berechnen Sie die dynamische Viskosität. Ermitteln Sie den Mittelwert und die Standardabweichung der 5 Messungen bei jeder Temperatur. Die Kugelkonstante und die Dichte der Kugel sind am Arbeitsplatz angegeben.
- Vergleichen Sie die Ergebnisse mit Literaturwerten.
- Tragen Sie die dynamische Viskosität gegen  $T$  auf.
- Tragen Sie  $\ln(\eta)$  gegen  $1/T$  auf und bestimmen Sie die Aktivierungsenergie.
- Berechnen Sie mit der Stokes-Einstein-Gleichung den Selbst-Diffusionskoeffizienten für Wasser bei 25 °C ( $\lambda_{H_2O} = 1,4 \cdot 10^{-10}$  m)

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r} \quad (11)$$

**Ostwald-Viskosimeter**

Zur Auswertung benutze man folgende Gleichung:  $v_{kin} = C(t + H(t))$

$C$ : Eichkonstante  
 $t$ : Durchlaufzeit

$$H(t): \text{Hagenbach-Korrektur } H(t) = \begin{cases} 0,01 \text{ s,} & \text{wenn } t \leq 25 \text{ s} \\ 0 \text{ s,} & \text{wenn } t > 25 \text{ s} \end{cases}$$

Die Temperaturabhängigkeit von  $\eta$  folgt in Flüssigkeiten einem Exponentialgesetz:

$$\frac{1}{\eta} = B \cdot \exp\left[-\frac{E_A}{RT}\right] \quad (5)$$

Hierbei ist  $E_A$  die Aktivierungsenergie und  $B$  der sogenannte vor-exponentielle Faktor.  $R$  ist die Gaskonstante und  $T$  die Temperatur in Kelvin. Umformung von Gleichung (5) ergibt:

$$\ln \eta = \frac{E_A}{R} \frac{1}{T} + \text{const.} \quad (6)$$

Mit dem Kapillarviskosimeter nach Ostwald (s. Abbildung) wird die kinematische Zähigkeit  $v_{kin}$  bestimmt, die mit der dynamischen Viskosität  $\eta$  über die Dichte  $\rho$  verknüpft ist:

$$v_{kin} = \frac{\eta}{\rho} \quad (7)$$

Die Gesetzmäßigkeit, die der Bestimmung von  $v_{kin}$  zugrunde liegt, ist das Gesetz von Hagen-Poiseuille für die Strömung von Fluiden durch Kapillaren:

$$v_{kin} = \frac{\pi g h r^4 t}{8Vl} \quad (8)$$

- $g$ : Erdbeschleunigung
- $h$ : mittlere Höhendifferenz der Flüssigkeitssäule
- $r$ : Innenradius der Kapillare
- $V$ : Durchflussvolumen
- $l$ : Länge der Kapillare
- $t$ : Zeit

Das Hagen-Poiseuille-Gesetz gilt exakt nur für unendlich lange Kapillaren. Deshalb muss beim Gebrauch eines Kapillarviskosimeters nach Abb. 1 in Gl. (8) eine Korrektur angebracht werden, welche die Vorgänge am Ein- und Auslauf der Kapillare berücksichtigt. Mit dieser sog. Hagenbach-Korrektur ergibt sich für  $v_{kin}$

$$v_{kin} = \frac{\eta}{\rho} = \frac{\pi r^4}{8Vl} \frac{gh}{t} - \frac{mV}{8\pi l t} \quad (9)$$

Der empirische und dimensionslose Faktor  $m$  hängt von der Form des Anfangs und besonders des Endes der Kapillare ab.

Einheiten der Viskosität:

	Heute gebräuchliche Einheiten	Früher gebräuchliche Einheiten
$\eta$	Pa·s = N·s·m <sup>-2</sup> = kg·m <sup>-1</sup> ·s <sup>-1</sup>	1 Poise = 0,1 Pa·s
$v$	m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>	1 Stokes = 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> = 1 cm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>

Aus der kinematischen Viskosität von Ethanol und der Ethanol-Wasser-Mischung bestimmen Sie die dynamische Viskosität. Die erforderlichen Dichten bei 20 °C sind im Anhang angegeben:

**Anmerkung zur Fehlerbetrachtung:**

Die Viskosität wird nach Gleichung (4) berechnet. Zwei Größen sind fehlerbehaftet, nämlich die Kugelkonstante  $K$  und der Zeit  $t$ . Die Kugelkonstante und ihr Fehler  $\Delta K$  sind am Messplatz angegeben. Als Zeitfehler  $\Delta t$  verwenden Sie die Standardabweichung aus der Mittelwertbildung der verschiedenen Kugeldurchläufe. Der Fehler von  $\eta$  ergibt sich dann nach der Größtfehlerabschätzung:

$$\Delta \eta = \left| \frac{\partial \eta}{\partial K} \right| \Delta K + \left| \frac{\partial \eta}{\partial t} \right| \Delta t \quad (12a)$$

Zur Berechnung der Aktivierungsenergie wird eine Auftragung von  $\ln(\eta)$  gegen  $1/T$  verwendet. Der Fehler von  $\ln(\eta)$  errechnet sich nach dem gleichen Schema:

$$\Delta \ln \eta = \left| \frac{\partial \ln \eta}{\partial \eta} \right| \Delta \eta = \frac{\Delta \eta}{\eta} \quad (12b)$$

**Was man wissen sollte:**

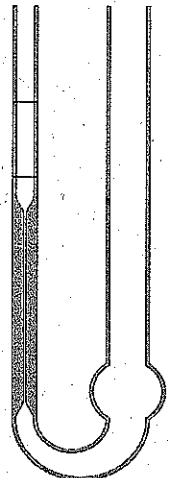
- Definition der kinematischen und dynamischen Viskosität
- Transportgesetz, das die Viskosität definiert (analog 1. Fickschen Gesetz der Diffusion)
- Newtonsche und nicht-Newtonsche Flüssigkeiten
- Messmethoden der Viskosität
- Hagen-Poiseuillesches Gesetz, Stokesche Gleichung
- $T$ - und  $p$ -Abhängigkeit der Viskosität von Gasen und Flüssigkeiten

**Zusatzfragen: (müssen im Protokoll bearbeitet werden)**

- Ordnen Sie folgende Flüssigkeiten nach steigender Viskosität und erklären Sie die Reihenfolge: Wasser, Aceton, Glycerin, Methanol
- Versuchen Sie eine Interpretation des experimentellen Ergebnisses des Wasser-Ethanol-Systems.
- Diskutieren Sie die Ähnlichkeit zwischen der Beziehung für die Temperaturabhängigkeit der Viskosität für Flüssigkeiten und der Arrhenius-Gleichung für die  $T$ -Abhängigkeit chemischer Reaktionen.

**Anhang: Daten bei 20 °C**

$\eta_{H_2O}$	=	1,000 · 10 <sup>-3</sup> Pa·s
$\rho_{H_2O}$	=	0,9983 g/cm <sup>3</sup>
$\rho_{H_2O-EthOH}$	=	0,9296 g/cm <sup>3</sup> (gleiche Volumenanteile)
$\rho_{EthOH}$	=	0,7893 g/cm <sup>3</sup>

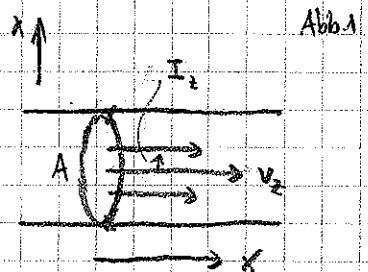


## Grundlagen:

Viskosität ist ein Transportphänomen. Fließt ein Fluid durch ein Rohr, sind die Fließgeschwindigkeiten ortsabhängig. Der Fluss der Substanz ist in der Mitte am größten, am Rand dagegen null. Es resultieren Schichten verschiedener Geschwindigkeiten. Offensichtlich reiben diese aneinander. Dabei findet Impulsübertrag zwischen benachbarten Schichten statt.

Dieser wird definiert durch eine Transport-DGL:

$$\underbrace{\frac{d}{dt} I_z}_{\text{transportierte Imp. Menge pro Zeiteinheit}} = - \underbrace{\eta A}_{\text{Querschnitt}} \underbrace{\frac{dv_z}{dx}}_{\text{Geschwindigkeitsgefälle}}$$



$\eta$  bezeichnet man als dynamische Viskosität. Man unterscheidet sie von der kinematischen:

$$\nu_{\text{kin}} = \frac{\eta}{\rho}$$

Liegt wie bei uns eine kapillare Öffnung vor, gilt das Gesetz von Hagen-Poiseuille.

$$\nu_{\text{kin}} = \frac{\eta}{\rho} = \frac{\pi g h r^4 t}{8 V l} = \underbrace{\frac{m V}{8 \pi l t}}_{\text{Hagenbach-Korrektur, da Kapillare nicht unendlich lang}}$$

Außerdem gilt für  $\eta$  eine Abhängigkeit von der Temperatur:

$$\frac{1}{\eta} = B e^{-\frac{EA}{RT}} \quad \begin{array}{l} \text{Aktivierungsenergie} \\ \text{Präexponentieller Faktor} \end{array}$$

$$\Rightarrow \ln \eta = \frac{EA}{R} \frac{1}{T} + \text{const}^{\circ}$$

Ferner unterscheidet man newtonsche und nicht-newtonsche Fluide. Bei newtonschen sind die Scherkräfte konstant und  $\eta$  keine Funktion von der Fließgeschwindigkeit.

# Höppler - Viskosimeter

## Aufbau und Durchführung:

Ein nicht ganz senkrecht stehender Zylinder ist mit Wasser gefüllt und von einem Wasserbad umschlossen. Es befindet sich in dem Zylinder eine Kugel von ähnlichem Durchmesser. Der Aufbau lässt sich um  $180^\circ$  auf den Kopf stellen. Das Heizbad wird auf eine konstante Temperatur gebracht. Nach Umdrehen der Apparatur wird die Zeit des Durchlaufs der Kugel gemessen. Dabei dienen zwei Markierungen oben und unten als Grenzen. Der Versuch wird für vier Temperaturen jeweils fünf Male wiederholt.

Der Grund für die schiefe Aufhängung liegt in der Vermeidung der Tumbelbewegung der Kugel.

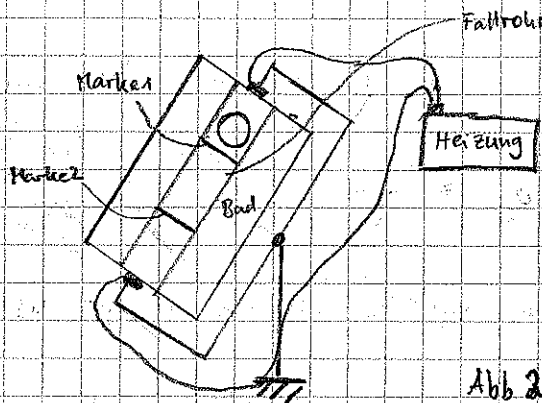


Abb. 2: Aufbau <sup>nach</sup> Höppler

## Auswertung:

Aus Kräftegleichgewicht von Stokes'scher Reibung  $F = 6\pi\eta r v$  einer unströmten Kugel und der Differenz aus Auftrieb und Gewichtskraft  $F = gV_k(S_k - S_f)$  folgt:

$$\eta = \underbrace{K}_{\text{Kugelkonstante}} (S_k - S_f) \cdot \underbrace{t}_{\text{Fallzeit}}$$

Kugel-Fluid-  
dichte

Für das Kugelviskosimeter gilt  $F = 6\pi\eta r v$  nicht exakt, da sowohl Rotation, als auch nicht ideale Platzierung der Kugel zu einer Beeinträchtigung der laminaren Strömung z.B. durch Verwirbelungen führen,  $\rightarrow$  siehe Abb. 3

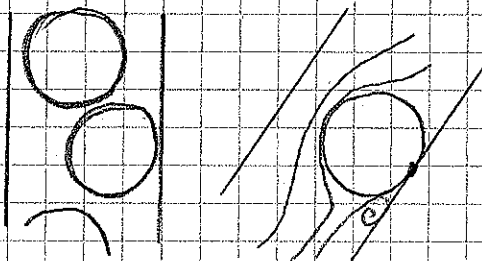


Abb. 3

## Dynamische Viskosität:

arithmetisch gemittelte  $\eta$ :

$$\eta (T = 24.2^\circ\text{C}) = (8.972 \cdot 10^{-4} \pm 1328 \cdot 10^{-5}) \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$$

$$\eta (T = 29.0^\circ\text{C}) = (8.097 \cdot 10^{-4} \pm 1.182 \cdot 10^{-5}) \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$$

$$\eta (T = 38.8^\circ\text{C}) = (7.254 \cdot 10^{-4} \pm 1.060 \cdot 10^{-5}) \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$$

$$\eta (T = 48.2^\circ\text{C}) = (5.680 \cdot 10^{-4} \pm 1.064 \cdot 10^{-5}) \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$$

Literatur<sup>1</sup>:

$$\eta (T = 25^\circ\text{C}) = 890.8 \mu\text{Pa}\cdot\text{s}$$

$$\eta (T = 30^\circ\text{C}) = 797.7 \mu\text{Pa}\cdot\text{s}$$

$$\eta (T = 40^\circ\text{C}) = 653.1 \mu\text{Pa}\cdot\text{s}$$

$$\eta (T = 50^\circ\text{C}) = 547.5 \mu\text{Pa}\cdot\text{s}$$

Standardabweichung:

$$\sigma (24.2^\circ\text{C}) = 2.199 \cdot 10^{-6} \text{ kg/ms}$$

$$\sigma (29.0^\circ\text{C}) = 1.663 \cdot 10^{-6} \text{ kg/ms}$$

$$\sigma (38.8^\circ\text{C}) = 7.635 \cdot 10^{-6} \text{ kg/ms}$$

$$\sigma (48.2^\circ\text{C}) = 6.428 \cdot 10^{-6} \text{ kg/ms}$$

Literatur

Alle Werte liegen im Fehlerbereich

arithmetisch gemittelte  $\ln(\eta)$ :

$$\ln \eta (24.2^\circ\text{C}) = -7.016 \pm 1.476 \cdot 10^{-2}$$

$$\ln \eta (29.0^\circ\text{C}) = -7.119 \pm 1.460 \cdot 10^{-2}$$

$$\ln \eta (38.8^\circ\text{C}) = -7.233 \pm 1.461 \cdot 10^{-2}$$

$$\ln \eta (48.2^\circ\text{C}) = -7.474 \pm 1.874 \cdot 10^{-2}$$

Diffusionskoeffizient Wasser:

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r}$$

Messung:  $D = 1.556 \cdot 10^{-12} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

Literatur:  $D = 1.945 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

Fehler:

- Parallaxefehler:

• Einstellung Wärmequelle

• Thermometer

• Markierung

- Kugelkonstante / -dichte

# Ostwald-Viskosimeter

## Aufbau und Durchführung:

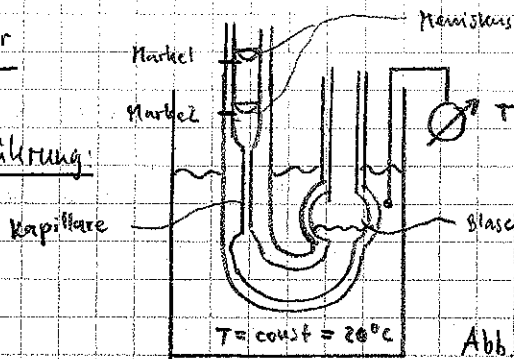


Abb. 4: <sup>Aufbau</sup> Ostwald-Viskosimeter

Die Kapillare wird nacheinander mit  $H_2O$ ,  $H_2O$ - $EtOH$  (gleiche Vol.anteile),  $EtOH$ .  
Man misst die Zeit, die der Menniskus der Flüssigkeit benötigt, um zwei Marken zu durchlaufen.

## Auswertung:

Zur Auswertung wurde folgende Gleichung verwendet:

$$v_{kin} = C \cdot (t + H(t))$$

Hagenbach-Korrektur; in unserem Fall = 0

In der ersten Messreihe mit Wasser wird die Konstante  $C$  bestimmt. Mit Hilfe dieser kann für die weiteren Messreihen  $v$  und  $\eta$  bestimmt werden.

$C$  bestimmt sich über:  $C = \frac{v_{H_2O}}{\bar{t}_{H_2O}}$  wobei

wobei  $\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta v_{H_2O}}{v_{H_2O}} + \frac{\Delta t}{\bar{t}_{H_2O}} \Leftrightarrow \Delta C = \frac{\Delta t}{\bar{t}_{H_2O}} C$  mit  $\Delta t = \frac{\sqrt{\frac{1}{5}}}{\sqrt{5}}$  Standardabweichung

$H_2O$ :  $\bar{t} = 80,742 \text{ s}$ ; Standardabw:  $\sigma_t = 2,568 \cdot 10^{-1} \text{ s}$

$\Rightarrow C = (1,241 \cdot 10^{-8} \pm 3,945 \cdot 10^{-11}) \frac{m^2}{s}$

Nun berechnet sich  $v_{H_2O/EtOH}$  mittels  $C$  mit

$$\bar{v}_{H_2O/EtOH} = C \bar{t} = 2,920 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$\Rightarrow \Delta v_{H_2O/EtOH} = \frac{\partial v_{H_2O/EtOH}}{\partial C} \Delta C + \frac{\partial v_{H_2O/EtOH}}{\partial t} \Delta t = 1,263 \cdot 10^{-8} \frac{m^2}{s}$$

$$\Rightarrow v_{H_2O/EtOH} = \bar{v}_{H_2O/EtOH} \pm \Delta v_{H_2O/EtOH} = (2,920 \cdot 10^{-6} \pm 1,263 \cdot 10^{-8}) \frac{m^2}{s}$$

weiter gilt:

$$\eta_{\text{H}_2\text{O/ETOH}} \approx \nu_{\text{H}_2\text{O/ETOH}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O/ETOH}} = 2,715 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$$

$$\Rightarrow \Delta \eta_{\text{H}_2\text{O/ETOH}} = \frac{\Delta \nu}{\nu} \eta = 1,174 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$$

$$\Rightarrow \eta_{\text{H}_2\text{O/ETOH}} = \bar{\eta} \pm \Delta \eta = (2,715 \cdot 10^{-3} \pm 1,174 \cdot 10^{-5}) \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$$

Für Ethanol folgt analog:

$$\nu_{\text{ETOH}} = \bar{\nu}_{\text{ETOH}} \pm \Delta \nu_{\text{ETOH}} = (1,654 \cdot 10^{-6} \pm 9,921 \cdot 10^{-9}) \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\eta_{\text{ETOH}} = \bar{\eta}_{\text{ETOH}} \pm \Delta \eta_{\text{ETOH}} = (1,305 \cdot 10^{-3} \pm 7,830 \cdot 10^{-6}) \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$$

Fehler: - Gefäß erwärmt sich während der Messung (Wärmebad)

- Menge an Substanz in der „Blase“ unterschiedlich

- Kapillare nur nach Augenmaß senkrecht

- Luftblasen in Apparatur

- Ungenauere Mischung  $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{ETOH}$

- Zeitmessung / Meniskus

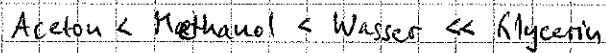
Verbesserungsvorschläge:

→ Libellenaufsatz zur Prüfung der Lotrichtung.



Zusatzfragen:

(1) Für Viskosität gilt:



Methanol ist sehr klein und es gibt nur eine HBB. Da es nicht so verschränkt wie Wasser ist, folgt eine kleinere Viskosität.

Aceton ist ebenfalls klein. Die geringste Viskosität ist wohl Folge nicht so starker zwischenmolekularer Kräfte.

Glycerin ist deutlich größer. Außerdem kann es wegen der drei OH-Gruppen über HBB sehr große und starke Molekülverbände ausbilden  $\Rightarrow$  viel größere Viskosität.

(2) Reines Ethanol hat nur eine Möglichkeit HBB auszubilden: an den OH-Gruppen.  $\Rightarrow$  Molekülverbände sind klein und leicht beweglich.

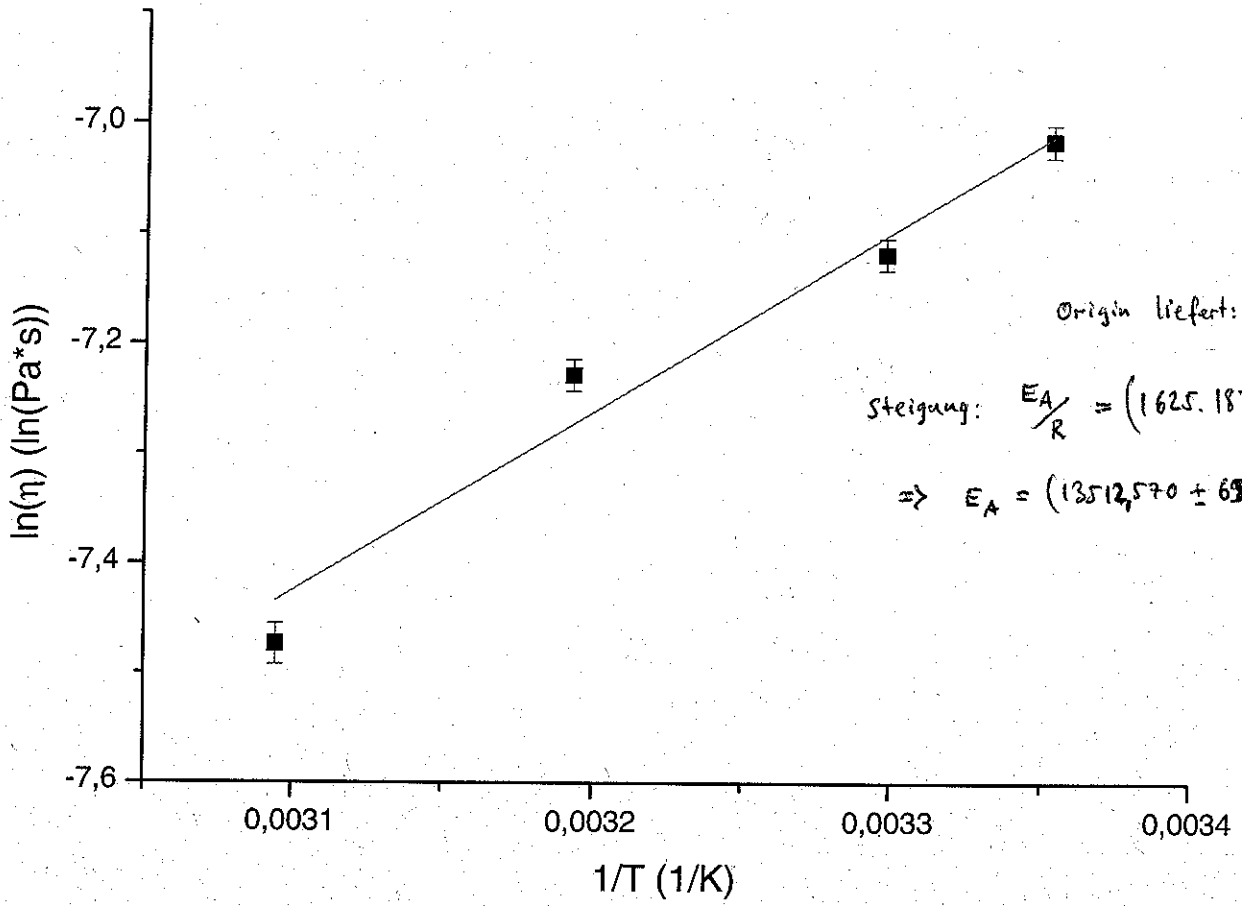
Kommt Wasser hinzu, können sich größere Verbände bilden, indem sich Wasser zwischen die OH-Gruppen legt.

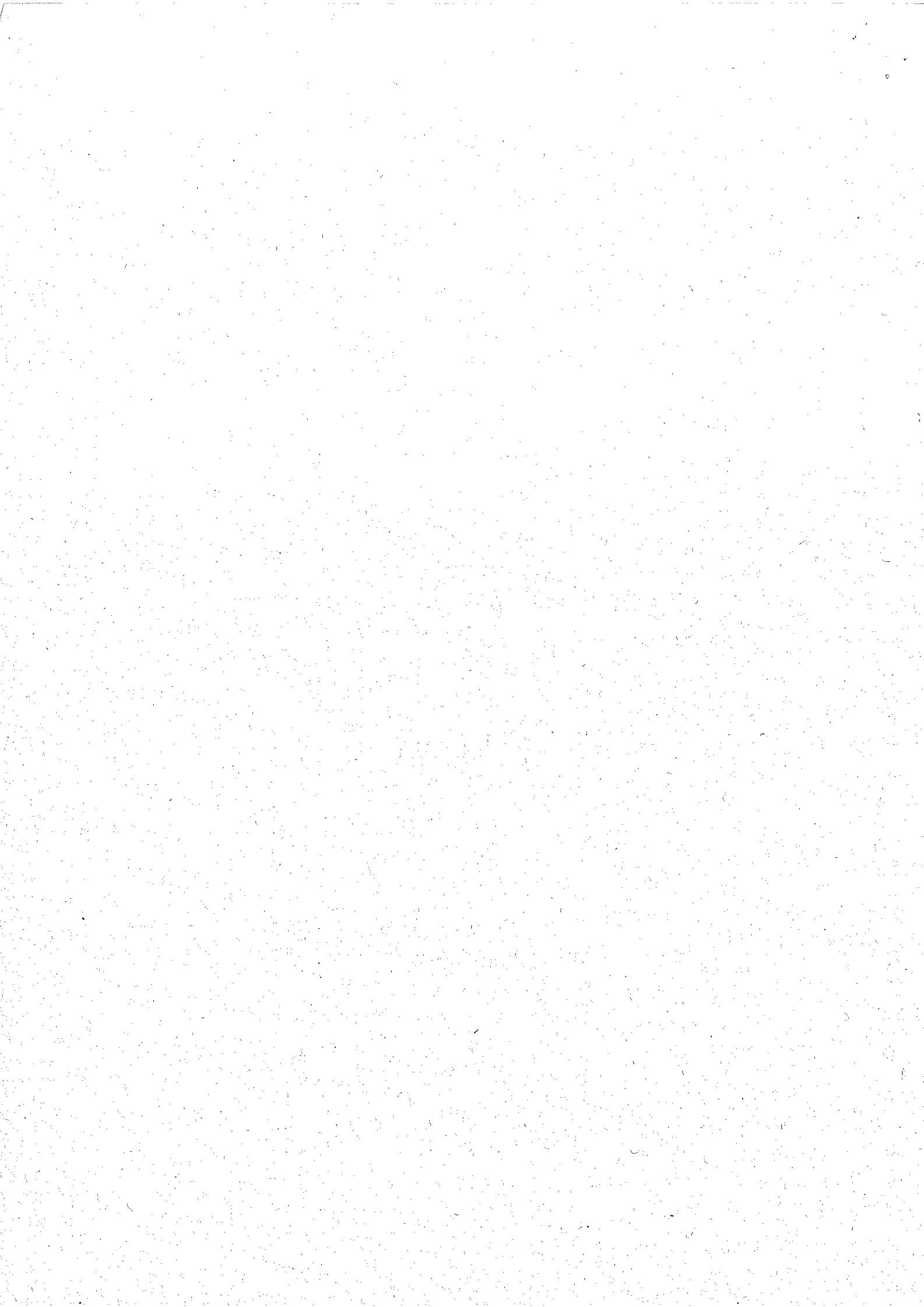
$\Rightarrow$   $\text{H}_2\text{O}-\text{EtOH}$  ist am viskosesten.

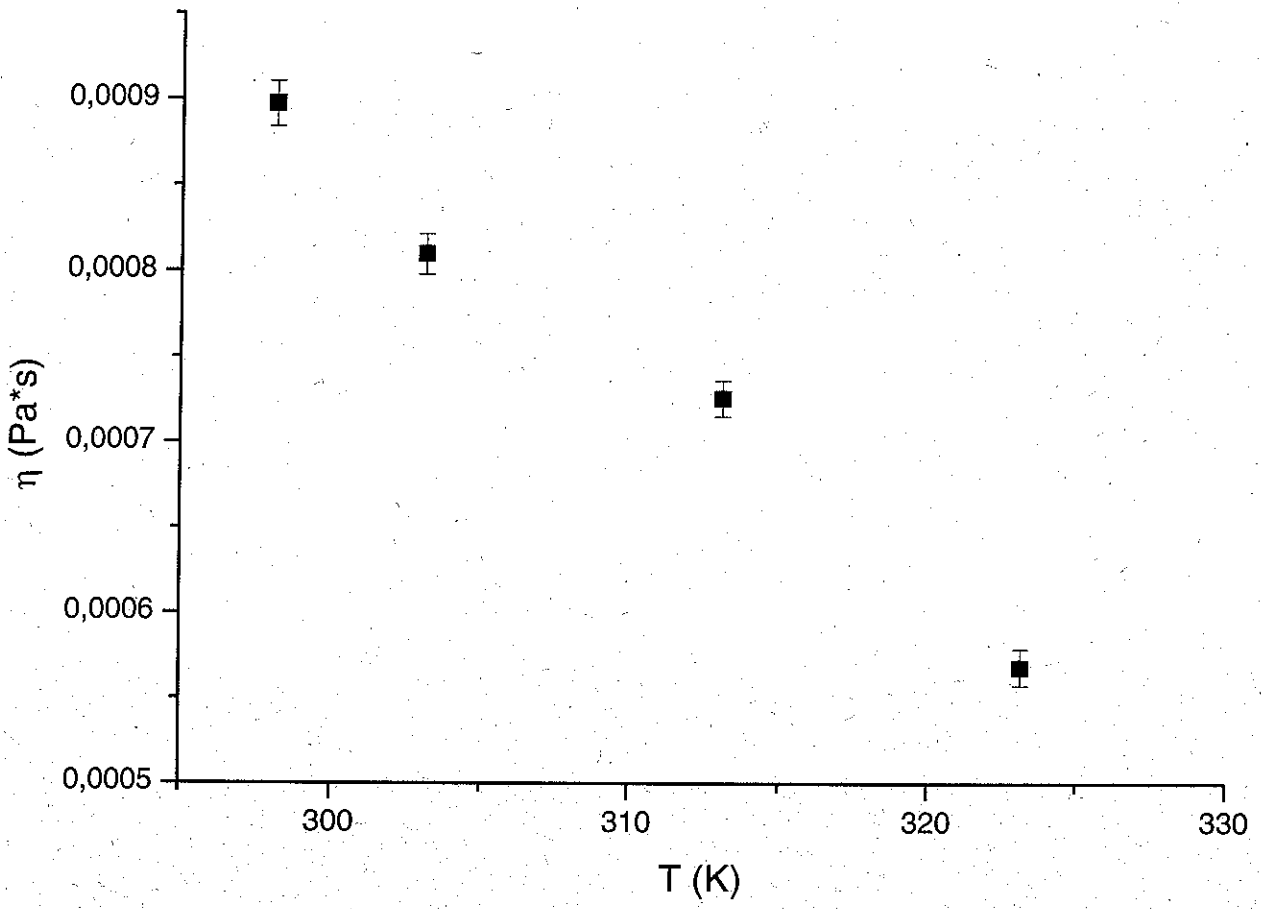
Reines Wasser kann seine Bindungen einfacher verlagern.

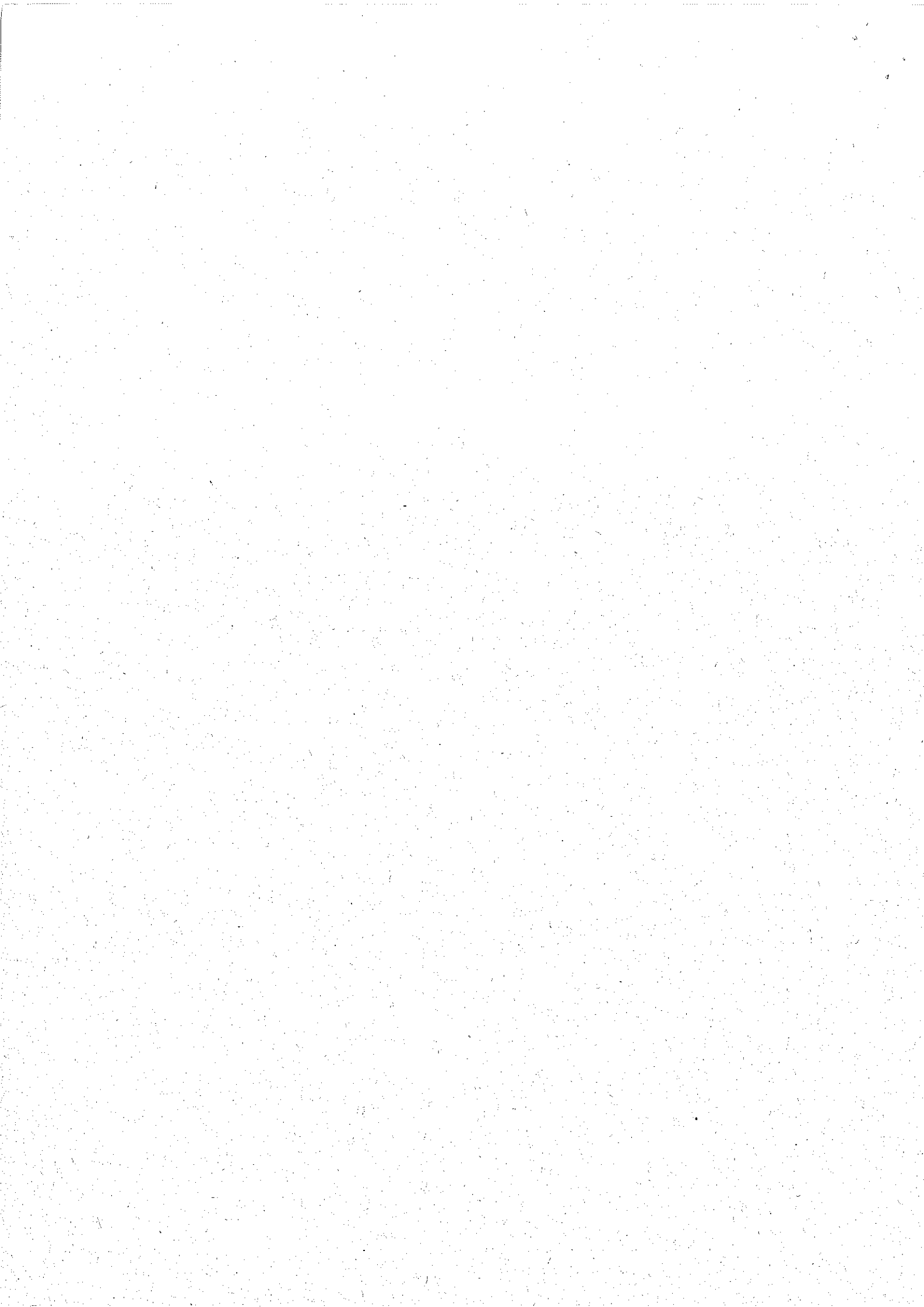
(3) ~~Beim~~ Beim Arrheniusgesetz, d.h. bei Reaktionen spielen Stöße d.h. Impulsübertragung zwischen den Molekülen die entscheidende Rolle.











# H<sub>2</sub>O - Viskosität

No 31/5/10

$T = 24.2^{\circ}\text{C}$



$\Delta t_1 = 1:28:13$

$\Delta t_2 = 1:28:31$

$\Delta t_3 = 1:28:42$

$\Delta t_4 = 1:28:12$

$\Delta t_5 = 1:28:06$

Kinematikkonstante (rechts):

$k = (7.31 \pm 0.10) \cdot 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}$

Dichte:

$\rho_w = 2392 \text{ kg} / \text{m}^3$

$T = 29.0^{\circ}\text{C}$



$\Delta t_1 = 1:19:41$

$\Delta t_2 = 1:19:53$

$\Delta t_3 = 1:19:53$

$\Delta t_4 = 1:19:22$

$\Delta t_5 = 1:19:62$

$T = 38.8^{\circ}\text{C}$



$\Delta t_1 = 1:05:47$

$\Delta t_2 = 1:06:03$

$\Delta t_3 = 1:06:03$

$\Delta t_4 = 1:06:25$

$\Delta t_5 = 1:05:69$

$T = 48.2^{\circ}\text{C}$



$\Delta t_1 = 0:55:28$

$\Delta t_2 = 0:56:50$

$\Delta t_3 = 0:55:09$

$\Delta t_4 = 0:56:32$

$\Delta t_5 = 0:55:53$

Xinchen Ma

31.05.2010

Fehler:

- ~~Wärmequelle nicht nicht auf~~
- Parallelfehler:
  - Einstellung Wärmequelle
  - Thermometer
  - Markierung
- Luftkonstante / -dichte
-

brei 2

~~Stewart - Viskosimeter~~

No 31/5/16

~~100% H<sub>2</sub>O: T = 20,0 °C - 20,1 °C : Δt<sub>1</sub> = 1:27:16 min~~

~~T = 20,0 °C : Δt<sub>2</sub> = 1:10:69 min~~

~~T = 20,0 °C : Δt<sub>3</sub> = 1:00:42 min~~

~~Δt<sub>4</sub> =~~

~~Δt<sub>5</sub> =~~

Temperaturbereich:

100% H<sub>2</sub>O: T = 20,0 °C - 20,1 °C : Δt<sub>1</sub> = 1:20:68 min

T = 20,0 °C - 20,0 °C : Δt<sub>2</sub> = 1:20:87 min

T = 20,0 °C - 20,1 °C : Δt<sub>3</sub> = 1:20:19 min

T = 20,0 °C - 20,0 °C : Δt<sub>4</sub> = 1:20:40 min

T = 20,0 °C - 20,0 °C : Δt<sub>5</sub> = 1:20:63 min

~ 50% H<sub>2</sub>O  
50% C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH : T = [20.0 - 20.1] °C : Δt<sub>1</sub> = 3 : 58 : 41

T = [20.0 - 20.4] °C : Δt<sub>2</sub> = 3 : 54 : 97

T = [20.0 - 20.1] °C : Δt<sub>3</sub> = 3 : 54 : 93

T = [20.0 - 20.0] °C : Δt<sub>4</sub> = 3 : 55 : 25

T = [20.0 - 20.0] °C : Δt<sub>5</sub> = 3 : 55 : 41

100% C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH : T = [20.0 - 20.0] °C : Δt<sub>1</sub> = 2 : 13 : 94

T = [20.0 - 20.6] °C : Δt<sub>2</sub> = 2 : 13 : 50

T = [20.0 - 20.0] °C : Δt<sub>3</sub> = 2 : 12 : 93

T = [20.0 - 20.0] °C : Δt<sub>4</sub> = 2 : 12 : 03

T = [20.0 - 20.0] °C : Δt<sub>5</sub> = 2 : 14 : 09

XIA ZHOU  
31.05.2010



Fehler: • Gefäßcarcinom mit intimaler Verkalkung.  
(Trombose)

- Menge an Substanz in der "Blase" individuell
- Kapillare nur nach Kaugewebe zerbrochen
- Luftblase im Apparat
- Ungenauere Mischung  $H_2O - C_2H_5OH$
- Entfernung Meistens

### Verbesserungsvorschläge:

- Libellenaufgabe zur Prüfung der Orthogonalität zur Schnittfläche.