ulm university universität ulm

Praktikum Physik

Protokoll zum Versuch 1: Viskosität

Durchgeführt am 26.01.2012

Gruppe X

Name 1 und **Name 2**
(abc.xyz@uni-ulm.de) (abc.xyz@uni-ulm.de)

Betreuerin:

Wir bestätigen hiermit, dass wir das Protokoll selbstständig erarbeitet haben und detaillierte Kenntnis vom gesamten Inhalt haben.

_____ _____

Name 1 Name 2

Inhaltsverzeichnis

1. **Bestimmung der Viskosität von Glycerin mit der Kugelfallmethode**
    a. Aufbau und Durchführung
    b. Beobachtungen
    c. Auswertung
    d. Diskussion

2. **Bestimmung der Glycerinkonzentration mit dem Kapillarviskosimeter**
    a. Aufbau
    b. Ergebnisse
    c. Diskussion

1. Bestimmung der Viskosität von Glycerin mit der Kugelfallmethode

1.a. Aufbau und Durchführung

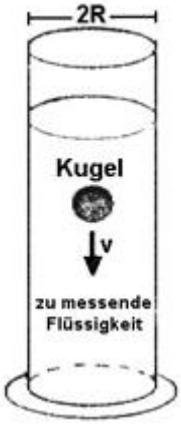

Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Kugelfallmethode; (Quelle: http://www-med-physik.vu-wien.ac.at/physik/ws95/w9570dir/W9575000-Dateien/image010.jpg; 11.02.2012)

Zur Bestimmung der Glycerinviskosität wurde ein großes senkrecht aufgestelltes Fallrohr verwendet (Abbildung 1). Dieses Fallrohr war mit Glycerin gefüllt und besaß am unteren Ende einen absperrbaren Auslasshahnen. Außerdem besaß es zwei Höhenmarkierungen, die $50{,}2 \pm 0{,}3$ cm voneinander entfernt waren. Des weiteren lagen einige kleine Kugeln aus V2A-Stahl in vier verschiedenen Größen bereit.

Zuerst wurden die Kugeln mit der Mikrometerschraube vermessen, und zwar von jeder Größensorte 3 Stück. Danach wurden die Kugeln nacheinander oben in das Fallrohr eingegeben und nach unten gleiten gelassen. Dabei wurde mit einer Stoppuhr die Zeit gemessen, welche zwischen dem Passieren der oberen und unteren Höhenmarkierungen verstrich. Zwischen den Kugeln wurde genug Abstand gelassen, um Verwirbelungseinflüsse zu vermieden. Es wurden mit jeder Kugelgröße zehn Messungen durchgeführt, außer mit den 3 mm Kugeln. Hier wurde 30 mal gemessen.

1.b. Beobachtungen

Die gemessenen Mittelwerte der Kugeldurchmesser und Fallzeiten sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Kugeldurchmesser und zugehörige Fallzeiten, jeweils gemittelt, sowie die Standardabweichung der Fallzeit

	Kugelgröße 1	Kugelgröße 2	Kugelgröße 3	Kugelgröße 4
Mittelwert Durchmesser d/m	0,00099	0,00198	0,00298	0,00399
Mittelwert Fallzeit t/s	81,05	23,41	10,78	6,49
Standardabweichung Fallzeit σ/s	1,83	0,81	0,35	0,05

Die Raumtemperatur wurde zu 22,9 °C bestimmt.

Die Fehler der Messungen wurden zu

$\Delta d = 0{,}00001$ m

$\Delta L = 0{,}003$ m

$\Delta t = 0{,}5$ s

bestimmt.

1.c. Auswertung

Nach Stokes lässt sich die Viskosität η der Flüssigkeit, in diesem Fall Glycerin, folgendermaßen berechnen:

Auf die fallenden Kugeln wirken als Kräfte der Auftrieb F_A und die Reibung F_R nach oben, die Schwerkraft F_G wirkt nach unten. Somit sieht das Kräftegleichgewicht folgendermaßen aus:

$$F_R + F_A - F_G = 0 \quad (1)$$

Eine genaue Darstellung der einzelnen Kräfte ergibt:

$$6 \cdot \pi \cdot r \cdot \eta \cdot v + \rho_F \cdot g \cdot V_K - \rho_K \cdot g \cdot V_K = 0 \quad (2)$$

Setzt man hier nun das Kugelvolumen $V_K = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$ und die Geschwindigkeit $v = {}^{L}/_{t}$ ein und löst nach der Viskosität η auf, so erhält man folgende Formel, die zur Berechnung verwendet wird:

$$\eta = \frac{(\rho_K - \rho_F) \cdot g}{18 \cdot L} \cdot d^2 \cdot t \quad (3)$$

mit Dichte der V2A-Stahlkugel ρ_K= 7800 kg/m^3

Dichte des Glycerins ρ_F= 1261 kg/m^3

(Quelle der Dichten: Skript zum Physikalischen Praktikum, Viskosität, S. 15)

Ortsfaktor g = 9,81 m/s^2

Messstrecke L = 0,502 m

Aus den gegebenen und den gemessenen Werten wurden die Viskositäten für jede Kugelgröße berechnet (siehe Tabelle 2).

Um jeweils den Größtfehler abzuschätzen, wurde eine Größtfehlerrechnung durchgeführt, deren Ergebnisse ebenfalls Tabelle 2 zu entnehmen sind.

Es wurde angenommen, dass beim Messen der Fallstrecke L, der Kugeldurchmesser d und der Fallzeit t Fehler begangen wurden, somit berechnet sich der Größtfehler nach folgender Formel:

$$\Delta\eta = \left|\frac{\partial\eta}{\partial L}\right| \cdot \Delta L + \left|\frac{\partial\eta}{\partial d}\right| \cdot \Delta d + \left|\frac{\partial\eta}{\partial t}\right| \cdot \Delta t \quad (4)$$

Vereinfacht wird der Größtfehler folgendermaßen bestimmt:

$$\Delta\eta = \eta \cdot \left[\frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta t}{t} + 2\frac{\Delta d}{d}\right] \quad (5)$$

Tabelle 2: Viskositäten für die verschiedenen Kugelgrößen und die zugehörigen Fehler

	Kugelgröße 1	Kugelgröße 2	Kugelgröße 3	Kugelgröße 4
Viskosität η/Pa·s	0,56	0,65	0,68	0,73
Fehler Viskosität Δη/ Pa·s	0,02	0,02	0,04	0,06

Um den besten Kompromiss für alle Messwerte zu finden, wurde nun in einem Diagramm die Fallzeit t über $1/d^2$ aufgetragen (Abbildung 2) und eine lineare Regressionsgerade eingezeichnet.

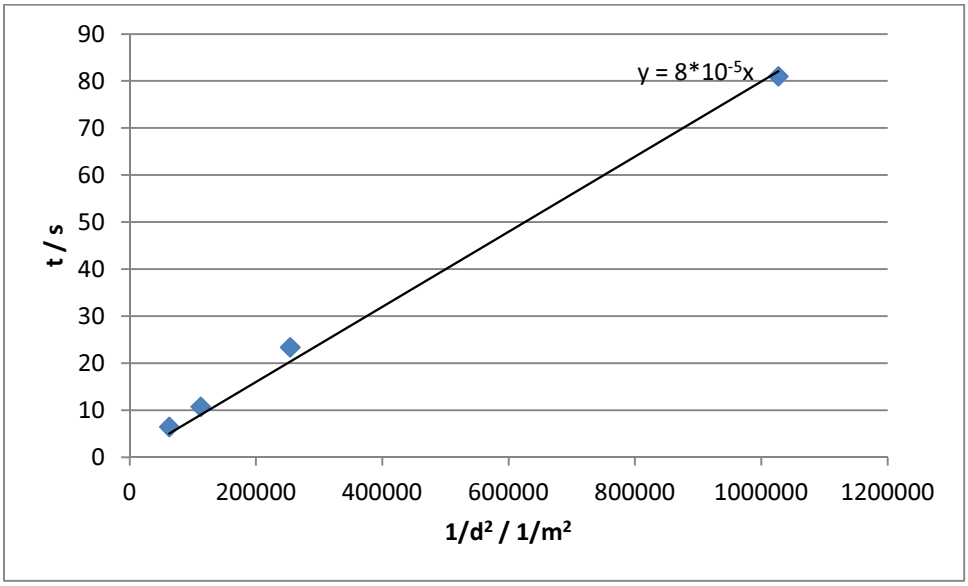

Abbildung 2: Regressionsgerade, aus deren Steigung man die Viskosität erhält

Löst man Gleichung (3) nach der Zeit t auf so erhält man:

$$t = \frac{18L}{(\rho_K - \rho_F) \cdot g} \cdot \eta \cdot \frac{1}{d^2} \qquad (6)$$

Formel (6) hat die Form $y = a \cdot x$.

Damit ist die Steigung $\frac{18L}{(\rho_K - \rho_F) \cdot g} \cdot \eta = 8 \cdot 10^{-5}\ m^2 \cdot s$.

Durch einfaches Umstellen und Einsetzen der Werte in die Formel erhält man nun für die Viskosität von Glycerin $\eta = 0{,}568\ Pa \cdot s$.

Um die Häufigkeit des Auftretens der einzelnen Fallzeiten graphisch darzustellen, wurde von den Fallzeiten der Kugelgröße 3 ein Histogramm erstellt (Abbildung 3).

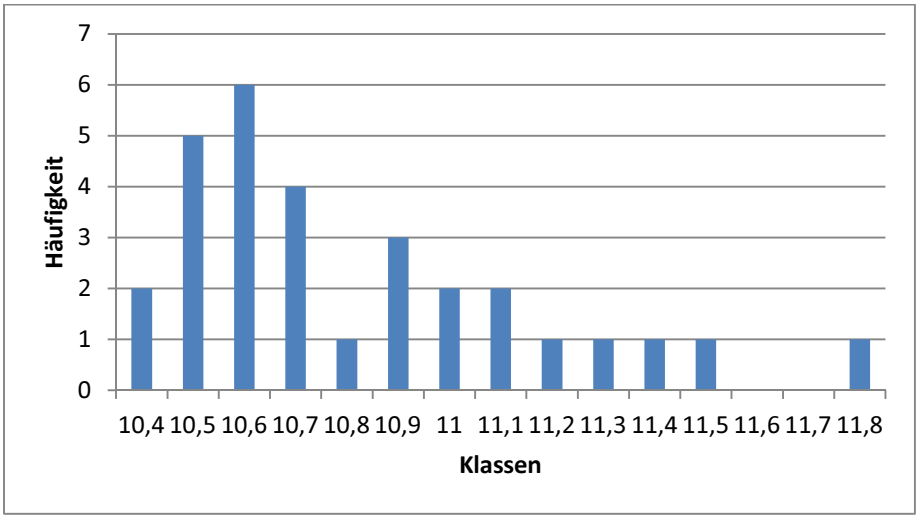

Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der Fallzeiten von Kugeln der Größe 3 mm

1.d. Diskussion

Bei dem Versuch ist zu erkennen, dass die schwereren Kugeln schneller durch die Flüssigkeit fielen als die leichteren. Dies ist einleuchtend, da die schwereren Kugeln eine höhere Gewichtskraft besitzen. Der F_G-Term aus Gleichung (1) nimmt stärker zu als der F_A-Term, da Stahl eine höhere Dichte besitzt als Glycerin. Somit nimmt die Fallgeschwindigkeit bei steigendem Kugelvolumen zu.

Bei 22,9 °C erhielten wir als Viskosität von Glycerin 568 mPa·s. Laut Praktikumsskript würde dies der Viskosität von Glycerin bei einer Temperatur von über 30 °C entsprechen. Diese starke Abweichung lässt sich durch eine mögliche Verunreinigung des hygroskopischen Glycerins durch Wasser erklären, welches eine viel geringere Viskosität als Glycerin besitzt. Dieser Verdacht wird dadurch untermauert, dass wir während des Versuchs Schlieren im Glycerin beobachten konnten, was auf eine Verunreinigung schließen ließ. Beim Versuch wurde außerdem aus Zeitgründen nicht abgewartet bis eine Kugel vollständig durch das Rohr gefallen war, sondern es wurden in einigem Abstand zueinander mehrere Kugeln durch das Glycerin fallen gelassen. Möglicherweise kam es hier zu Verwirbelungen in der Flüssigkeit, welche die Geschwindigkeit der nachfolgenden Kugeln beeinflusst haben könnten. Weiterhin war es wichtig die Kugeln in der Mitte des Rohres fallen zu lassen. Dies war nicht immer vollständig gewährleistet, da einige Kugeln weiter am Rand in die Flüssigkeit eingebracht wurden, was deren Geschwindigkeit verringert haben könnte. Auch der recht hohe Fehler bei den Messzeiten trägt zu einer Verfälschung der Ergebnisse bei. Das Histogramm aus Abbildung 3 ähnelt entfernt einer Gauß-Kurve, so wie es erwartet wurde. Jedoch ist der rechte Schenkel der Kurve verbreitert, außerdem gibt es einen Aureißerwert bei 11,8 s. Diesen Wert hätte man möglicherweise nicht berücksichtigen dürfen.

2. Bestimmung der Glycerinkonzentration mit dem Kapillarviskosimeter

2.a. Aufbau

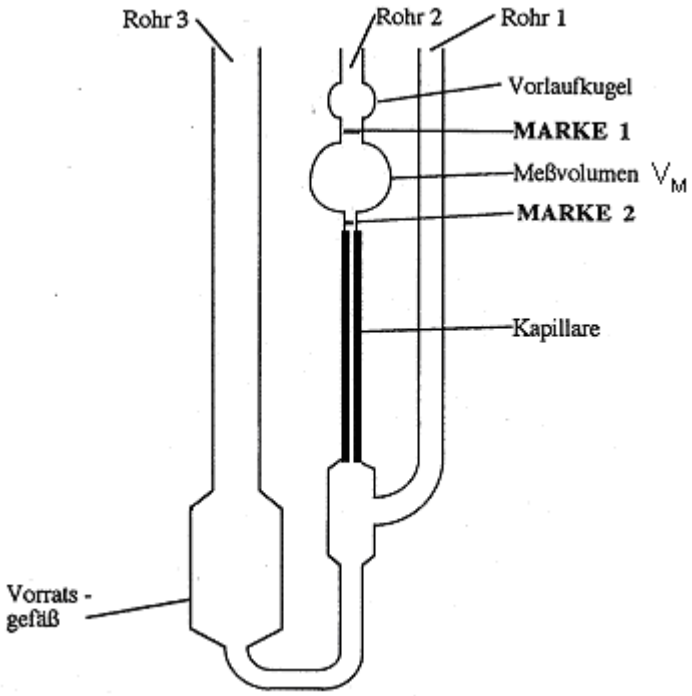

Abbildung 4: Kapillarviskosimeter nach Ubbelohde; (verändert nach: http://www.wori.de/assets/images/Kappilarviskosimeter_Ubbelohde.gif)

Zwei Kapillarviskosimeter (Abbildung 4) wurden in etwa T = 30°C warmem Wasser erwärmt, eine Temperatur die während des gesamten Versuchs möglichst konstant gehalten wurde. Die Kapillarviskosimeter wurden mit jeweils einer zu untersuchenden Flüssigkeit, welche ein Gemisch aus Wasser und Glycerin darstellte, gefüllt. Die Durchlaufzeit der Flüssigkeiten wurde im Versuch jeweils viermal gemessen. Das Viskosimeter 1 hatte dabei eine Gerätekonstante von K_1= 0,3129 m^2/s^2 und Viskosimeter 2 K_2= 1,03226 m^2/s^2. Daraus wurde die kinematische Viskosität errechnet und daraus auf die Konzentration an Glycerin im Gemisch geschlossen.

2.b Ergebnisse

Das Gesetz von Hagen-Poiseuille definiert den Volumenstrom ΔV/Δt durch ein Rohr der Länge L mit dem Radius R folgendermaßen:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{R^4}{\eta \cdot L} \cdot \Delta p \quad (7)$$

wobei η die Viskosität und Δp den Druckabfall längs des Rohres darstellen.

Setzt man hier als Druckdifferenz Δp den Schweredruck der Flüssigkeitssäule ρgh ein und löst nach der Viskosität η auf, so erhält man:

$$\eta = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{g \cdot R^4}{\Delta V} \cdot \rho \cdot t \quad (8)$$

Hierbei muss beachtet werden, dass die Höhe h gleich der Rohrlänge L ist. Teilt man die Gleichung durch die Dichte ρ und ersetzt den Term $\frac{\pi}{8} \cdot \frac{g \cdot R^4}{\Delta V}$ durch die jeweilige Gerätekonstante K, dann erhält man eine Formel zur Berechnung der kinematischen Viskosität $\nu = \frac{\eta}{\rho}$:

$$\nu = K * t \quad (9)$$

Hier muss man nur noch die gemessenen Zeiten einsetzen.

Tabelle 3: Messwerte Viskosität

	K_1= 0,3129 m^2/s^2	K_2 = 1,03226 m^2/s^2
Mittelwert t_m [s]	230,96	122,38
kinematische Viskosität ν [mm²/s]	**72,27**	**126,33**

Es wurde nun ein Diagramm erstellt, bei dem die kinematische Viskosität über die Glycerinkonzentration in Wasser aufgetragen wurde. Hierzu wurden die Werte aus der Tabelle auf Seite 15 des Skriptes zum Physikalischen Praktikum, Viskosität verwendet.

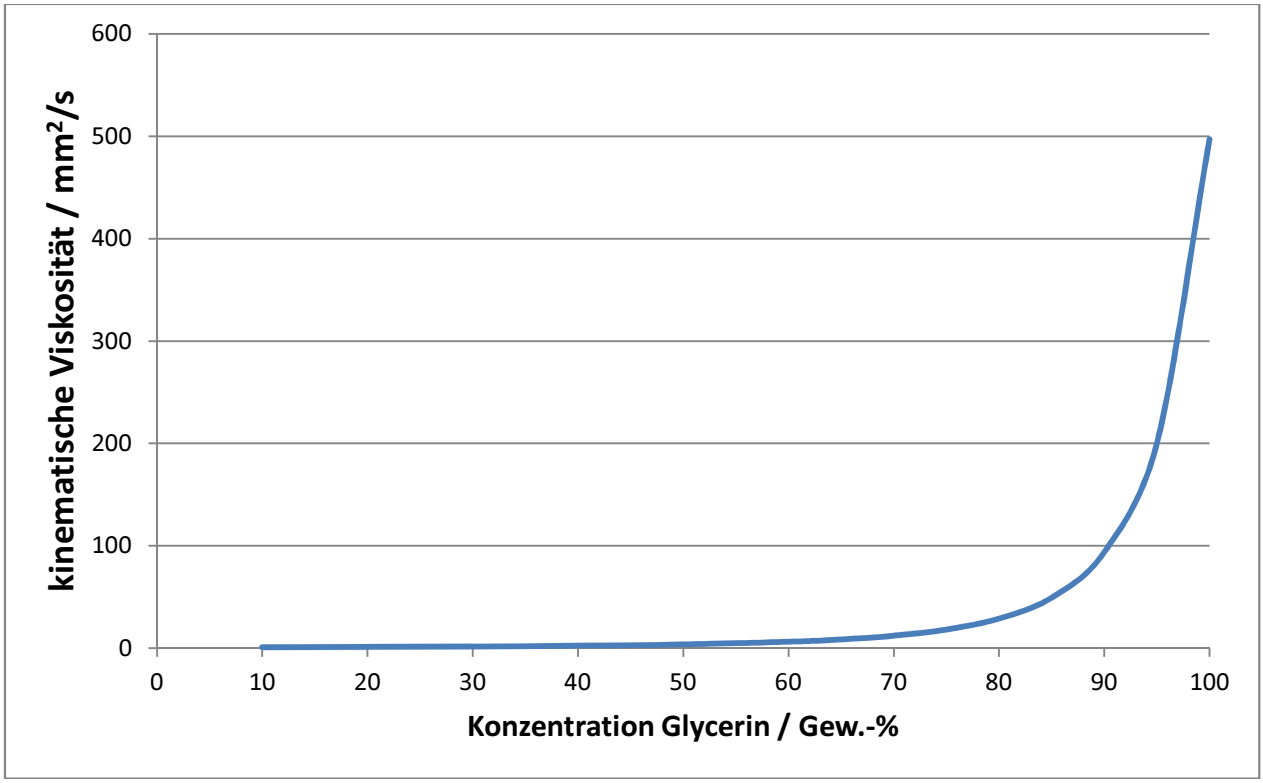

Abbildung 5: Viskosität Wasser/Glycerin-Gemisch bei verschiedenen Konzentrationen an Glycerin bei T = 30°C

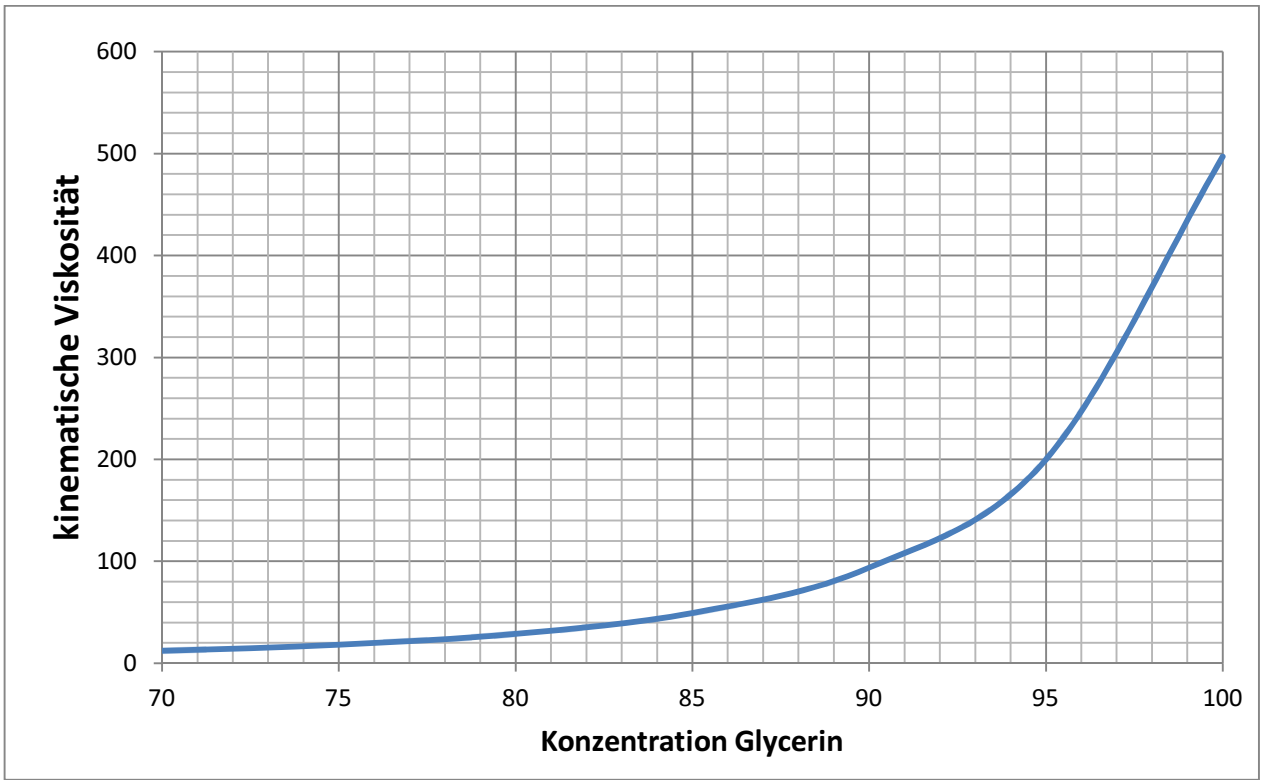

Abbildung 6: Auszug aus Abbildung 5 zur genaueren Bestimmung der Glycerinkonzentration

Größtfehlerberechnung

$$\Delta v = \left|\frac{\partial v}{\partial t}\right| * \Delta t = K * \Delta t \quad (10)$$

mit einem Messfehler **Δt = 3s** ergibt sich:

für Viskosimeter 1: $\mathbf{\Delta v_1 = 0{,}939\ \frac{mm^2}{s}}$

für Viskosimeter 2: $\mathbf{\Delta v_2 = 3{,}0968\ \frac{mm^2}{s}}$

2.c. Diskussion

Die errechneten Werte für die kinematische Viskosität ergeben für die Flüssigkeit in Viskosimeter 1 eine Konzentration von 88% Glycerinanteil nach Gewicht und für die Flüssigkeit in Viskosimeter 2 einen Anteil von 92%. Die gemachten Fehler sind hierbei relativ irrelevant, da vor allem im hohen Konzentrationsbereich des Glycerins ein starker Anstieg der Viskosität zu verzeichnen ist und daher der ermittelte Konzentrationsunterschied im Bereich des Größtfehlers hier nicht wesentlich ist. Im Vergleich mit den gegebenen Werten von 87% und 93% stimmt der gemessene Wert sehr gut.