



universität
uulm

Praktikum Physik für Naturwissenschaftler

Bericht zum Versuch

Viskosität

Durchgeführt am 18. Januar 2024

Gruppe 6

Moritz Wieland und **Dominik Beck**
(moritz.wieland@uni-ulm.de) (dominik.beck@uni-ulm.de)

Betreuer: **Patricia Schwilling**

Wir bestätigen hiermit, dass wir die Ausarbeitung selbständig erarbeitet haben und detaillierte Kenntnis vom gesamten Inhalt besitzen.

_____ und _____
Moritz Wieland Dominik Beck

Inhaltsverzeichnis

Kapitel	1 Einleitung	Seite 2
Kapitel	2 Versuchsdurchführung und Auswertung	Seite 3
2.1	Versuch 1 - Bestimmung der Viskosität von Getriebeöl mit der Kugelfallmethode Aufbau & Durchführung — 3 • Auswertung — 4 • Diskussion — 7	3
2.2	Versuch 2 - Bestimmung der Glycerinkonzentration mit dem Kapillarviskosimeter Aufbau & Durchführung — 7 • Auswertung — 8 • Diskussion — 9	7
Kapitel	Anhang	Seite 11

1 Einleitung

Die Untersuchung der Viskosität von Flüssigkeiten ist von entscheidender Bedeutung für zahlreiche Anwendungen in der Chemie, Physik und Ingenieurwissenschaften. Viskosität bezeichnet dabei die innere Reibungskraft, die einer Flüssigkeit entgegenwirkt, wenn sie in Schichten unterschiedlicher Geschwindigkeit gleitet. Diese Materialeigenschaft beeinflusst maßgeblich den Fluss von Flüssigkeiten und spielt eine essenzielle Rolle in verschiedenen technologischen Prozessen, angefangen von der Schmierung von Maschinen bis hin zur Gestaltung effizienter Transportmittel.

Das vorliegende Versuchsprotokoll widmet sich der Bestimmung der Viskosität von Getriebeöl mittels der Kugelfallmethode sowie der Messung der Glycerinkonzentration mithilfe des Kapillarviskosimeters. Die gewählten Methoden bieten nicht nur Einblicke in die grundlegenden Prinzipien der Viskosität, sondern bedienen sich auch etablierter physikalischer Gesetzmäßigkeiten, wie der laminaren Strömung, der Stokes'schen Reibungskraft, des Kräftegleichgewichts, der Strömung in einem Kapillarrohr sowie des Hagen-Poiseuille'schen Durchflussgesetzes.

Die Kugelfallmethode, basierend auf den Prinzipien der laminaren Strömung und der Stokes'schen Reibungskraft, ermöglicht die Bestimmung der Viskosität eines Fluids durch die Beobachtung des Sinkverhaltens einer Kugel in der Flüssigkeit. Dieser Ansatz erlaubt Rückschlüsse auf die innere Reibung und die Fließeigenschaften des Getriebeöls.

Das Kapillarviskosimeter hingegen nutzt das Hagen-Poiseuille'sche Durchflussgesetz, um die Viskosität von Flüssigkeiten durch ihre Strömung in einem Kapillarrohr zu bestimmen. In diesem Experiment liegt der Fokus auf der Messung der Glycerinkonzentration, wobei die Viskosität als maßgeblicher Indikator für die Konzentration herangezogen wird.

2 Versuchsdurchführung und Auswertung

2.1 Versuch 1 - Bestimmung der Viskosität von Getriebeöl mit der Kugelfallmethode

2.1.1 Aufbau & Durchführung

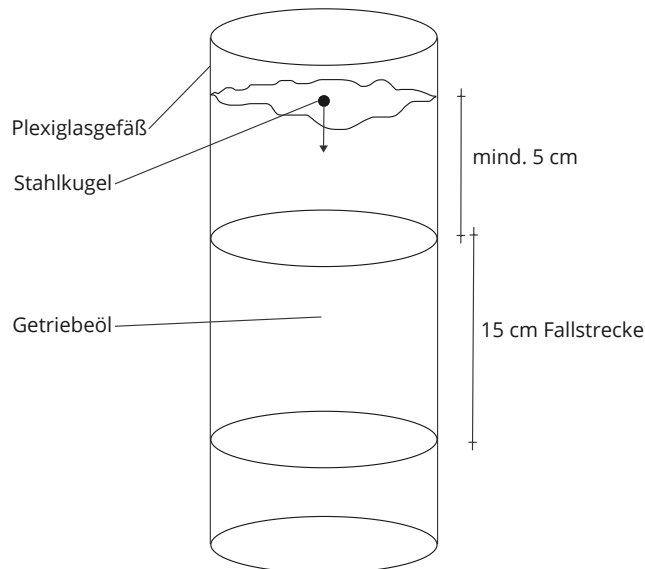


Abbildung 2.1: Aufbau des Versuchs 1.

In Versuch 1 wird die dynamische Viskosität von Getriebeöl mit Hilfe der Kugelfallmethode bestimmt. Der Versuchsaufbau sieht wie folgt aus (siehe Abb 2.1): Ein Plexiglaszylinder, welcher mind. 30 cm hoch ist, wird mit Getriebeöl OKS 3740 befüllt. Nun wird eine Fallstrecke L von 15 cm markiert. Diese hat mind. 5 cm Abstand zur Öffnung des Gefäßes. Anschließend werden jeweils 10 Kugeln (V2A-Stahl) in der Mitte des Gefäßes fallen gelassen und die Fallzeit im Abschnitt L gemessen. Dies wird für die Kugeldurchmesser $d = 1, 2, 3$ mm und 4 mm wiederholt. Die 3 mm-Kugel wird 30 Mal gemessen und später eine Verteilung zufällig verteilter Messwerte graphisch darzustellen. Die Viskosität lässt sich dann über die Formel 2.3 der dynamischen Viskosität η berechnen, oder mit Hilfe eines Graphens.

Für die statistische Auswertung der Messwerte wird die Software Origin verwendet. Es wird eine Häufigkeitsverteilung der Messwerte erstellt und eine Gaußkurve angepasst.

2.1.2 Auswertung

a)

Zunächst wurde der Durchmesser d stichprobenartig von 3 Kugeln gemessen (siehe Tabelle 2.1):

Tabelle 2.1: Ergebnis der Messung der Kugeldurchmesser.

	d_1	d_2	d_3	d_4
Mittelwert [mm]	0.993	1.997	2.99	3.99
Standardabweichung [mm]	0.00577	0.00577	0.00000	0.00577
Mittelwert der Standardabweichung [mm]	0.00333	0.00333	0.00000	0.00333

Danach wurden die Fallzeiten t_i der Kugeln gemessen (siehe Tabelle 2.2):

Tabelle 2.2: Ergebnis der Messung der Fallzeiten.

n	t_1	t_2	t_3	t_4
1	79,23	20,17	9,28	5,28
2	79,47	20,47	9,25	5,31
3	79,88	20,22	9,14	5,38
4	79,07	20,49	9,25	5,39
5	79,66	20,58	9,28	5,31
6	79,07	20,06	9,25	5,43
7	79,35	20,11	9,08	5,41
8	78,42	20,21	9,28	5,41
9	76,95	20,19	9,29	5,23
10	79,36	19,60	9,34	5,40
11			9,27	
12			9,10	
13			9,24	
14			9,25	
15			9,17	
16			9,26	
17			9,14	
18			9,30	
19			9,19	
20			9,29	
21			9,79	
22			9,20	
23			9,16	
24			9,19	
25			9,01	
26			9,10	
27			9,22	
28			9,20	
29			9,05	
30			9,14	
Mittelwert [s]	79,00	20,20	9,20	5,36
Standardabweichung [s]	0,83423	0,27681	0,13433	0,06737
Mittelwert der Standardabweichung [s]	0,26381	0,08753	0,02453	0,02130

Die Länge L der Fallstrecke beträgt 15 cm. Die Dichte der Kugeln (V2A-Stahl) ρ_K und die Dichte des Getriebeöls OKS 3740 ρ_F betragen:

$$\rho_K = 7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (2.1)$$

$$\rho_F = 850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (2.2)$$

Somit lassen sich mit der Formel für die dynamische Viskosität η :

$$\eta = \frac{(\rho_K - \rho_F) \cdot g}{18 \cdot L} \cdot d^2 \cdot t \quad (2.3)$$

die Viskosität η der Flüssigkeit berechnen. Die Fallbeschleunigung g beträgt $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2.3 zu sehen.

Tabelle 2.3: Ergebnis der Berechnung der dynamischen Viskosität.

	d_1	d_2	d_3	d_4
Viskosität [Pa · s]	1.99502	2.06089	2.10923	2.18428

Für die Größtfehlerabschätzung werden folgende Werte verwendet (siehe Tabelle 2.4):

Tabelle 2.4: Fehlerabschätzung der Messwerte.

$\Delta L [\text{mm}]$	5.00
$\Delta d [\text{mm}]$	0.01
$\Delta t [\text{s}]$	0.4

Der Wert 0.4 ergibt sich aus der zweifachen Reaktionszeit des Menschen.

Mit diesen Werten lässt sich nun das folgende Ergebnis berechnen (siehe Tabelle 2.5):

Tabelle 2.5: Größtfehlerberechnung (komponentenweise).

	d_1	d_2	d_3	d_4
Viskosität [Pa · s]	1.99502	2.06089	2.10923	2.18428
$\frac{\Delta L}{L}$	0.03333	0.03333	0.03333	0.03333
$\frac{\Delta d}{d}$	0.02013	0.01002	0.00669	0.00501
$\frac{\Delta t}{t}$	0.00506	0.01979	0.04337	0.07470
Größtfehler [Pa · s]	0.11676	0.13013	0.17589	0.24691

Der Mittelwert der Viskosität beträgt somit: $\eta = 2.1 \pm 0.167 \text{ Pa} \cdot \text{s}$. Der Wert 0.167 ist der Mittelwert der Größtfehler.

Trägt man die Mittelwerte der Fallzeiten über $\frac{1}{d^2}$ in einem Graphen (2.2) auf und lässt sich die Steigung berechnen, so erhält man eine zweite Möglichkeit die Viskosität zu berechnen. Die Steigung m der Gerade entspricht in unserem Fall dem Wert: 78.219. Die Viskosität η lässt sich dann mit der Formel:

$$\eta = \frac{m \cdot (\rho_K - \rho_F) \cdot g}{18 \cdot L} \quad (2.4)$$

bestimmen. Das Ergebnis lautet: $\eta = 2.0 \pm 0.167 \text{ Pa} \cdot \text{s}$. Hier wurde ebenfalls der Mittelwert der Größtfehler verwendet aus Tabelle 2.5.

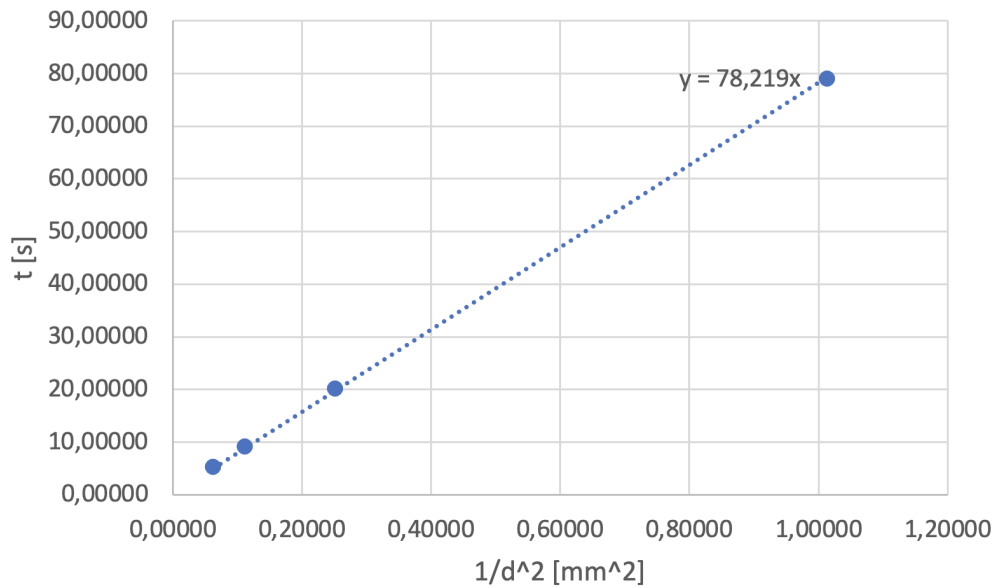


Abbildung 2.2: Fallzeiten über $\frac{1}{d^2}$.

b)

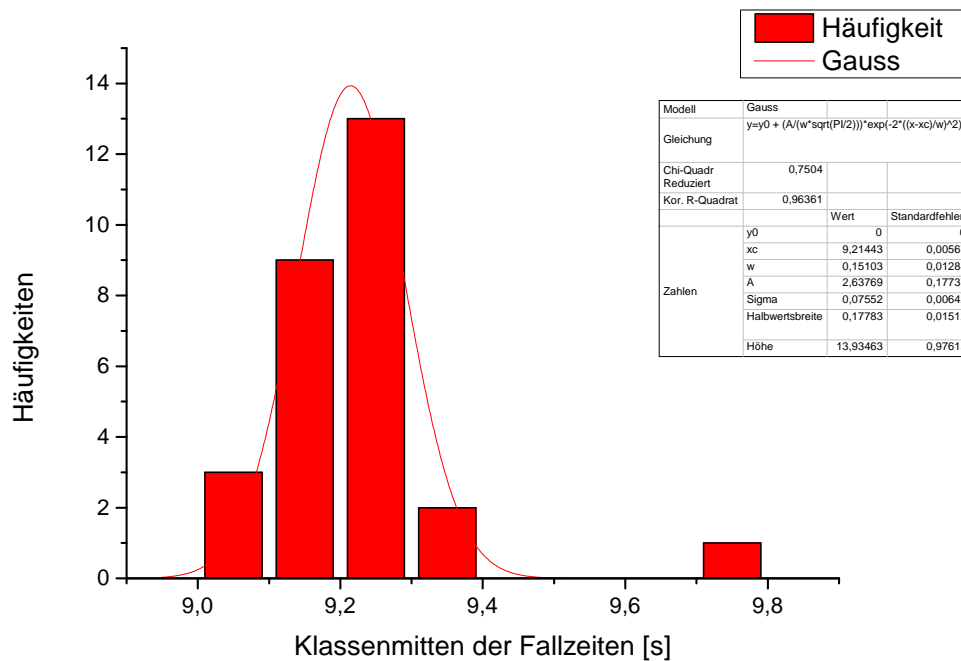


Abbildung 2.3: Häufigkeitsverteilung der Fallzeiten der 3 mm-Kugel.

Die Abbildung 2.3 zeigt die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Messwerte der Fallzeiten der 3 mm-Kugel. Die dünne rote Linie im Hintergrund stellt die Gaußkurve dar, welche mit einem Fit an die Messwerte angepasst wurde.

Aus dem Diagram lässt sich anhand des Wertes xc der Mittelwert der Fallzeiten ablesen. Dieser beträgt hier 9.21443 s und ist damit minimal höher als der Mittelwert der Fallzeiten aus Tabelle 2.2. Zudem lässt sich anhand des

Wertes Sigma die Standardabweichung der Messwerte ablesen. Dieser beträgt hier 0.07552 s und ist damit viel geringer als der Mittelwert der Standardabweichung aus Tabelle 2.2. Woran das liegt ist uns nicht klar.

2.1.3 Diskussion

In Tabelle 2.5 lässt sich erkennen das die errechnete Viskosität mit steigendem Kugeldurchmesser zunimmt. Dies ist zu erwarten, da bei steigendem Durchmesser (und Masse) die Fallgeschwindigkeit zunimmt und somit weniger laminare Strömung und mehr Turbulenz entsteht. Turbulenz benötigt Energie, wodurch die Geschwindigkeit der Kugel fällt, was zu einer höheren Viskosität führt. Der berechnete Mittelwert der Viskosität liegt nun noch immer recht weit vom Literaturwert weg. Welcher laut Versuchsanleitung bei 25°C ca $\eta = 1.364 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ liegt. Nun würden wir als genauestens Wert den der kleinsten Kugel nehmen das es bei diese am wenigsten turbulente Umströmung gab. Von diesem Wert liegt der Literaturwert nun nichtmehr ganz so weit entfernt. Mögliche Fehlerquellen sind die Temperatur der Flüssigkeit und der Kugeln welche beide nicht bestimmt wurden. Zudem kann es auch sein, dass die Kugeln nicht perfekt rund sind, was zu einer höheren Reibung führt. Weiter kann ein Fehler sein das die Kugeln nicht exakt in der Mitte des Gefäßes fallen gelassen wurde was dazu führt das diese schneller absinkt und so den Wert verfälscht. Wir nehmen aber an das bei weitem der größte Fehler die Zeitmessung war welche mit bloßem Auge und einer Stoppuhr durchgeführt wurde. Aufgrund des Versuchsaufbaus, siehe Abb. 2.1, war es nicht möglich eine genaue Zeitmessung durchzuführen.

In Tabelle 2.5 sieht man ebenfalls das sich der Größtfehler mit steigendem Kugeldurchmesser erhöht. Schaut man sich nun an wie dieser berechnet wird sieht man das $\frac{\delta t}{t}$ mit steigendem Kugeldurchmesser stark ansteigt was versagt an der ungenauen Zeitmessung liegt. Dadurch steigt dann natürlich auch der Größtfehler stark an.

Nun lässt sich eventuell noch der errechnete Mittelwert mit dem Wert der 1mm Kugel vergleichen, welche unserer Ansicht nach das genaueste Ergebnis erzielt hat und mit dem Wert der linearen Regression. Hierbei fällt auf das der Wert der 1mm Kugel mit 1.99502 Pa s am nächsten am Wert der linearen Regression mit 2.0 Pa s liegt. Dies ist ein weiterer Hinweis darauf das die 1mm Kugel das genaueste Ergebnis erzielt hat da die lineare Regression genauer ist wie der mathematisch berechnete Wert. Leider liegt auch dieser Wert weiter von dem Literaturwert entfernt. Dies liegt aber an den o.g. Fehlerquellen.

Als letztes schauen wir uns noch den errechneten Mittelwert an und vergleichen diesem mit dem des Gaußfits. Hierbei fällt auf das diese Werte bei weitem nicht identisch sind. Die Viskosität die man aus dem Gaußfit erhält ist $\eta = 2.638 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ und damit um fast 0.6 Pa · s höher als der errechnete Mittelwert. Schaut man sich nun das Diagramm dazu an kann man sehen das die Messwerte mit den hohen Zeiten im Gaußfit nicht berücksichtigt wurden. Weiter wird nur die am häufigst vorkommende Zeit gut berücksichtigt, was dazu führt das vorallem Zeiten genommen werden welche ungenauer sind, da die meisten Messwerte von der Kugel mit 3mm Durchmesser stammen. Diese haben wir ja schon erwähnt sind ungenauer.

2.2 Versuch 2 - Bestimmung der Glycerinkonzentration mit dem Kapillarviskosimeter

2.2.1 Aufbau & Durchführung

In Versuch 2 wird die kinematische Viskosität ν einer Glycerin-Wasser-Mischung mit Hilfe eines Kapillarviskosimeters bestimmt. Der Versuchsaufbau sieht wie folgt aus (siehe Abbildung 2.4).

Ein Wassertank ist mit Wasser befüllt und wird auf konstante 30 °C erwärmt. In diesen Wassertank wird das Kapillarviskosimeter eingetaucht. Ein genauerer Aufbau des Kapillarviskosimeters ist in Abbildung 2.4 zu sehen. Dieses funktioniert so, dass die Öffnung D zugehalten wird, die Flüssigkeit durch Ansaugen an Öffnung A, nach oben gesaugt wird, bis die Flüssigkeit den Raum A komplett ausfüllt, sodass die Flüssigkeit zwischen m_1 und m_2 vorhanden ist. Danach wird die Öffnung an D geöffnet und auch an A. Dann wird die Zeit gemessen, die die Flüssigkeit benötigt um die Strecke zwischen m_1 und m_2 abzusinken. Mit den Messwerten und der Formel

$$\nu = K \cdot t \quad (2.5)$$

lässt sich die kinematische Viskosität berechnen. Dabei ist K eine Konstante, die für jedes Kapillarviskosimeter unterschiedlich ist. Diese Werte sind allerdings schon vorgegeben. Zum Schluss soll das Gesetz von Hagen-Poiseuille

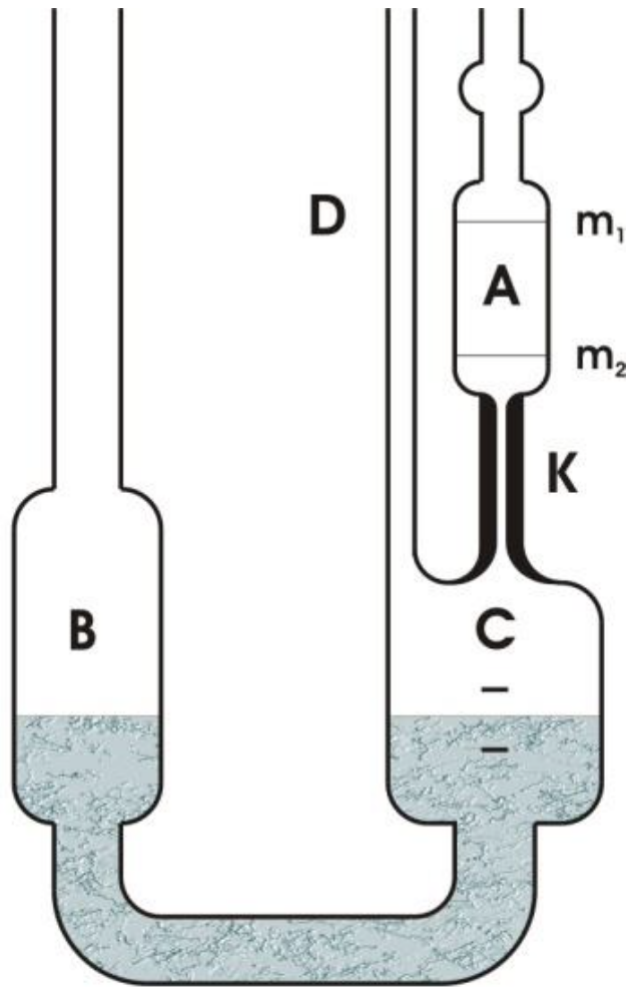


Abbildung 2.4: Aufbau des Kapillarviskosimeters.

überprüft werden. Es wird geschaut, ob die Potenz aus unseren Werten die gleiche ist, wie die Potenz aus dem Gesetz von Hagen-Poiseuille.

2.2.2 Auswertung

Die folgende Tabelle 2.6 enthält alle Messwerte von zwei verschiedenen Kapillarviskosimetern. Es handelt sich dabei um Typ III und IIc.

Tabelle 2.6: Messwerte der Fallzeiten.

	Typ III	Typ IIc
Fallzeit t_1 [s]	66.04	414.74
Fallzeit t_2 [s]	64.80	415.32
Fallzeit t_3 [s]	65.08	414.39
Mittelwert t [s]	65.30	414.80
Standardabweichung [s]	0.65033	0.46972
K [mm ² /s ²]	0.93419	0.29979

Die kinematische Viskosität lässt sich nun mit Hilfe der Formel 2.5 berechnen (siehe Tabelle 2.7):

Tabelle 2.7: Ergebnisse der kinematischen Viskosität.

	Typ III	Typ IIc
ν [mm ² /s]	61.00296	124.35789

Nun soll das Gesetz von Hagen-Poiseuille überprüft werden. Dazu wird die Formel

$$\log\left(\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}\right) = x \cdot \log\left(\frac{R_1}{R_2}\right) \quad (2.6)$$

verwendet. Wobei R der Innendurchmesser der Kapillare ist. $R_1 = 1.005$ mm und $R_2 = 0.75$ mm. Die Werte Δt sind die Mittelwerte der Fallzeiten.

Stellt man die Formel 2.6 nun nach x um und setzt die berechneten Werte ein erhalten wir:

$$x = 6.31682$$

x stellt die Potenz aus dem Gesetz von Hagen-Poiseuille dar. Diese sollte im Idealfall 4 betragen.

Um nun final die Konzentration von Glycerin in der Glycerin-Wasser-Mischung zu bestimmen, benutzen wir die Werte aus dem Anhang und erstellen uns einen Graph, an dem wir die Konzentration ablesen können. Dieser ist in Abbildung 2.5 zu sehen.

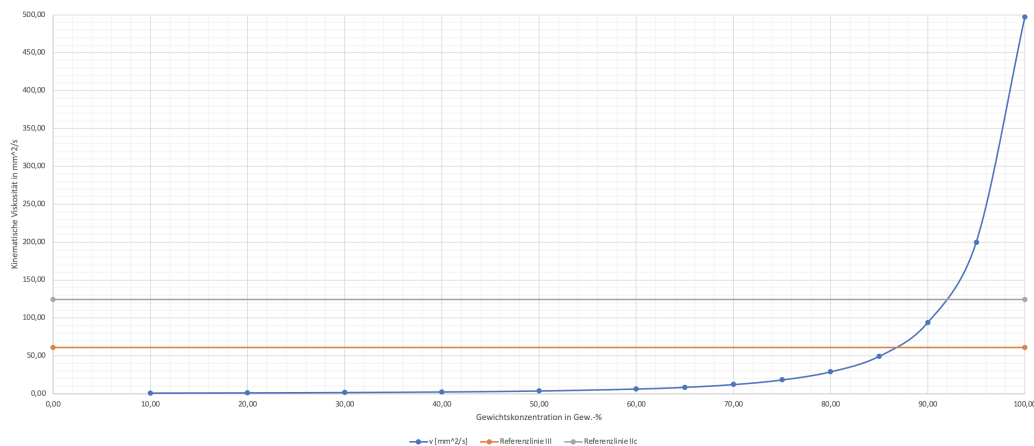


Abbildung 2.5: Graph zur Bestimmung der Glycerinkonzentration.

Lesen wir nun die Konzentration der Flüssigkeiten ab, so erhalten wir (siehe Tabelle 2.8):

Tabelle 2.8: Konzentration der Flüssigkeiten.

	Typ III	Typ IIc
Glycerinkonzentration [%]	78	92

2.2.3 Diskussion

Zu den Fallzeiten der Flüssigkeiten gibt es nicht viel zu sagen. Die Werte 66.04 s, 64.80 s, 65.08 s und 414.74 s, 415.32 s, 414.39 s liegen alle in einem angemessenen Rahmen und auch die Standardabweichung von 0.65033 s und 0.29979 s ist gering. Es war zudem auch zu erwarten, dass die Fallzeiten von Typ IIc um einiges höher sind, als die von Typ III. Dies liegt daran, dass die Kapillare von Typ IIc einen kleineren Innendurchmesser hat, als die von Typ III. Wenn wir nun die kinematische Viskosität berechnen, so sehen wir allerdings, dass der Wert der Flüssigkeit von Typ IIc das doppelte von

Typ III beträgt, nämlich $124.35789 \frac{\text{mm}^2}{2}$ im Vergleich zu $61.00296 \frac{\text{mm}^2}{2}$. Dies kann daran liegen, dass sich in diesem Gefäß eine frischere Lösung befindet, als in dem anderen Gefäß. Dies kommt davon, dass Glycerin hygroskopisch ist und verwässert und dementsprechend ausgetauscht werden muss.

Diese Werte haben nun auch eine Auswirkung auf die Überprüfung des Gesetzes von Hagen-Poiseuille. Der Wert x ist mit 6.31682 deutlich höher, als der erwartete Wert 4. Dies kommt davon, dass die Viskositäten der beiden Flüssigkeiten nicht identisch sind, sondern extrem unterschiedliche Werte betragen.

Anhang

Dichte von V2A-Stahl (Stoff-Nr.1.4301): $\sigma = 7900 \text{ kg/m}^3$
 (Quelle: d'Ans, Jean; Lax, Ellen: Taschenbuch für Chemiker und Physiker. Bd. III, 4. Auflage. Berlin, Heidelberg; Springer Verlag, 1998)

Eigenschaften des Getriebeöls OKS 3740:

Kinematische Viskosität (100°C): $\nu = 65 \text{ mm}^2/\text{s}$
 Kinematische Viskosität (40°C): $\nu = 680 \text{ mm}^2/\text{s}$
 Dichte (20°C): $\sigma = 860 \text{ kg/m}^3$
 (Quelle: OKS Spezialschmierstoffe: Produktinformation Getriebeöl OKS 3740
<https://shop.oks-germany.com/produkte/oel/getriebeoele/105/oks-3740> – Zugriff: 6.08.2019)

Referenzwerte für dynamische Viskosität aus eigenen Messungen (Ubbelohde)

ϑ (°C)	20	21	22	23	24	25	26	27	28
η (Pa·s)	1.885	1.776	1.654	1.551	1.454	1.364	1.280	1.202	1.129

Gerätekonstanten und Maße für Ubbelohde-Viskosimeter:

(Quelle: Gebrauchsanweisung Ubbelohde Viskosimeter Schott-Geräte GmbH, Mainz
www.schott.com/labstruments ---> <http://www.si-analytics.com/en/>)

Typ-Nr.	Kapillare Nr.	Kapillare \varnothing_1 (mm)	Konstante K (Richtwert)	Messbereich mm^2/s (cSt) (Richtwert)
... 00	0	0,36	0,001	0,2 bis 1,2
... 03	0c	0,46	0,003	0,5 bis 3
... 01	0a	0,53	0,005	0,8 bis 5
... 10	I	0,63	0,01	1,2 bis 10
... 13	Ic	0,84	0,03	3 bis 30
... 11	Ia	0,95	0,05	5 bis 50
... 20	II	1,13	0,1	10 bis 100
... 23	IIC	1,50	0,3	30 bis 300
... 21	Ila	1,69	0,5	50 bis 500
... 30	III	2,01	1	100 bis 1000
... 33	IIIC	2,65	3	300 bis 3000
... 31	IIla	3,00	5	500 bis 5000
... 40	IV	3,60	10	1000 bis 10000
... 43	IVc	4,70	30	3000 bis 30000
... 41	IVa	5,34	50	über 10000
... 50	V	6,40	100	über 10000

Kinematische Viskosität von Glycerin-Wasser-Gemischen bei 30°C

(Quelle: d'Ans, Jean; Lax, Ellen: Taschenbuch für Chemiker und Physiker. Bd. I, 3. Auflage. Berlin, Heidelberg; Springer Verlag, 1967)

c [Gew.-%]	10	20	30	40	50	60	65	70	75	80	85	90	95	100
ν [mm^2/s]	1,02	1,30	1,76	2,49	3,79	6,36	8,61	12,2	18,3	29,0	49,4	93,9	200	497

Abbildung 3.6: Anhang