

Physikpraktikum für Naturwissenschaftler

Versuch: Viskosität

Durchgeführt am 17. Januar 2019

Betreuer: Florian Nägele

Gruppe 13

Felix Burr: felix.burr@uni-ulm.de

Johannes Spindler: johannes.spindler@uni-ulm.de

Wir bestätigen hiermit, das Protokoll selbstständig erarbeitet zu haben und in genauer Kenntnis über dessen Inhalt zu sein.

Felix Burr

Johannes Spindler

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Bestimmung der Viskosität von Getriebeöl mit der Kugelfallmethode	4
2.1	Versuchsaufbau und Durchführung	4
2.2	Messwerte und Ergebnisse	4
2.3	Statistische Auswertung	5
2.3.1	Bestimmung der Viskosität mittels linearer Regression	5
2.3.2	Erstellen eines Histogramms über die Fallzeit	6
2.4	Ergebnisdiskussion	7
3	Bestimmung der Glycerinkonzentration mit dem Kapillarviskosimeter	9
3.1	Versuchsaufbau und Durchführung	9
3.2	Messwerte und Ergebnisse	9
3.3	Statistische Auswertung	9
3.4	Ergebnisdiskussion	9

1 Einleitung

Unter Viskosität versteht man die innere Reibung die bei realen Fluiden zwischen benachbarten Fluidschichten auftritt, wenn die Schichten sich aneinander vorbeibewegen. In Flüssigkeiten ist die Viskosität auf Kohäsionskräfte zwischen den Molekülen zurückzuführen, während sie in Gasen durch Stöße zwischen Molekülen verursacht wird. Newton definierte die Viskosität mithilfe des folgenden Versuchsaufbaus (siehe Abbildung 1).

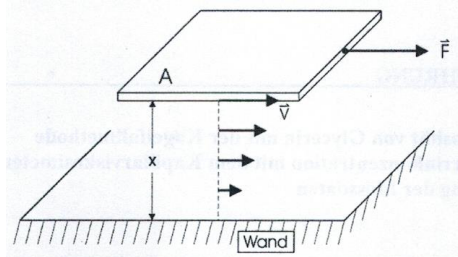


Abbildung 1: Aufbau zu Newtons Definition der Viskosität (aus der Versuchsanleitung)

Ein zähes Fluid befindet sich zwischen einer beweglichen Platte der Fläche A und einer festen Wand im Abstand x . Es greift eine Zugkraft F tangential an der Platte an, sodass die Platte nach einiger Zeit mit konstanter Geschwindigkeit v gleitet. Das heißt, es muss eine entgegengesetzte Reibungskraft F_R wirken, die F kompensiert:

$$-F_R = F = \eta \cdot A \cdot \frac{v}{x} \quad (1)$$

Hierbei bezeichnet η die Viskosität.

Sie soll im ersten Versuch für Getriebeöl mit der Kugelfallmethode und im zweiten Versuch mit dem Kapillarviskosimeter für eine Glycerinlösung unbekannter Konzentration bestimmt werden.

2 Bestimmung der Viskosität von Getriebeöl mit der Kugelfallmethode

2.1 Versuchsaufbau und Durchführung

Stahlkugeln in den Größen 1 mm, 2 mm, 3 mm und 4 mm werden nacheinander in ein senkrechtes, mit Getriebeöl gefülltes Rohr geworfen. Für jede Kugelgröße wird davor der durchschnittliche Durchmesser d aus 3 Exemplaren gemessen. Dann wird für 10 Kugeln jeder Größe die Laufzeit t gestoppt, die diese benötigen, um im Rohr um die festgelegte Länge $L = 0,30$ m hinabzusinken.

Auf die Kugeln wirken die Gewichtskraft F_G , die Auftriebskraft F_A und die Reibungskraft F_R :

$$F_G = \rho_K \cdot g \cdot V_K \quad (2)$$

$$F_A = -\rho_F \cdot g \cdot V_K \quad (3)$$

$$F_R = -6\pi \cdot r \cdot \eta \cdot v \quad (4)$$

Der Index K steht für die Kugel, F steht für das Fluid. Für die Reibungskraft wird hier die Formel für die laminare Umströmung einer Kugel (Radius r) nach Stokes verwendet. Es wird angenommen, dass die Geschwindigkeit v auf der Länge L konstant ist, sodass gilt

$$F_G + F_A + F_R = 0 \quad (5)$$

Einsetzen und Auflösen nach η ergibt

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

Dazu werden folgende Literaturwerte verwendet:

Dichte Öl: $\rho_F = 860 \text{ kg/m}^3$

Dichte Stahl: $\rho_K = 7800 \text{ kg/m}^3$

Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

2.2 Messwerte und Ergebnisse

Tabelle 1: Messwerte für die Kugeldurchmesser d_i

Messung	d_1 [mm]	d_2 [mm]	d_3 [mm]	d_4 [mm]
1	0,99	2,00	2,99	3,99
2	1,00	1,99	2,99	3,99
3	1,00	1,99	2,99	3,99
d [mm]	1,00	1,99	2,99	3,99
$\sigma(d)$ [mm]	0,01	0,01	0,00	0,00

Tabelle 2: Messwerte für die Fallzeiten t_i

Messung	t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	t_4 [s]
1	146	36	18,31	10,21
2	143	37	16,25	10,38
3	142	37	17,53	10,11
4	142	37	17,00	10,56
5	144	38	16,84	9,00
6	145	37	17,12	10,02
7	143	38	16,81	10,06
8	144	37	16,75	9,68
9	144	37	16,87	9,93
10	143	37	16,81	10,75
\bar{t} [s]	143,60	37,10	17,03	10,07
$\sigma(d)$ [mm]	1,26	0,57	0,55	0,49

Mit den Mittelwerten d , t aus Tabellen 1 und 2 wird in Tabelle 3 für jede Kugelgröße die Viskosität berechnet. Um den jeweiligen Größtfehler $\Delta\eta$ zu berechnen werden diese Größtfehler für d , L , t angenommen:

$$\Delta d = 0,01 \text{ mm}$$

$$\Delta L = 0,001 \text{ m}$$

$$\Delta t = 0,01 \text{ s}$$

Tabelle 3: Berechnete Viskositäten und Größtfehlerberechnungen

	d_1	d_2	d_3	d_4
$\eta[\text{mPa} \cdot \text{s}]$	1789	1859	1919	2021
$2\Delta d/d$	0,020	0,010	0,007	0,005
$\Delta L/L$	0,003	0,003	0,003	0,003
$\Delta t/t$	0,009	0,015	0,032	0,048
$\Delta\eta[\text{mPa} \cdot \text{s}]$	58	53	81	115

Der Mittelwert der Viskosität über die Kugelgrößen ist dann $\eta = 1899 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ und dessen Fehler $\Delta\eta = 115 \text{ mPa} \cdot \text{s}$. Die gemessene Raumtemperatur betrug 21°C .

2.3 Statistische Auswertung

2.3.1 Bestimmung der Viskosität mittels linearer Regression

Für die lineare Regression sollen die Wertepaare $1/d^2$, t für die 4 Kugelgrößen abgebildet werden. Tabelle 4 zeigt diese 4 Wertepaare und in Abbildung 2 sind sie als Punkte eingetragen.

Tabelle 4: Wertepaare $1/d^2$, t für die 4 Kugelgrößen zur linearen Regression

$1/d^2$ [1/mm ²]	1,007	0,252	0,112	0,063
t [s]	143,60	37,10	17,03	10,07

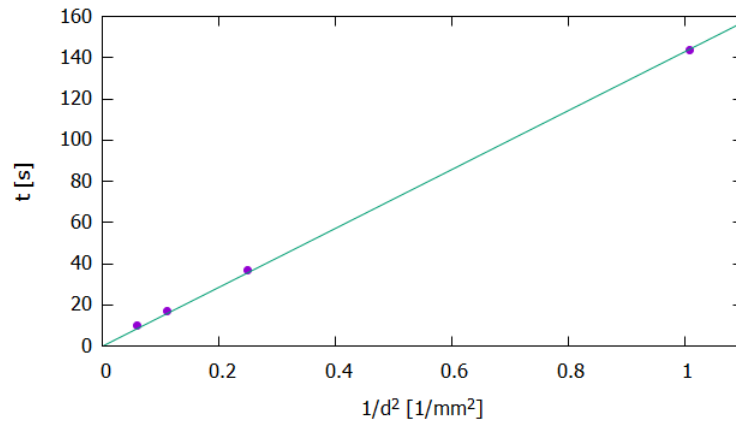


Abbildung 2: Lineare Regression zur Bestimmung der Viskosität

Die Steigung m der Regressionsgeraden entspricht dem Term $d^2 \cdot t$ und beträgt $m = 142,75 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}$. Damit ergibt sich mit Gleichung 6 die Viskosität $\eta = 1800 \text{ mPa} \cdot \text{s}$.

2.3.2 Erstellen eines Histogramms über die Fallzeit

Zur Erstellung eines Histogramms über die Fallzeit werden nochmals 30 Messungen der Fallzeit mit den 2-mm-Kugeln durchgeführt (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Messung der Fallzeit t zur Erstellung eines Histogramms

t [s]	t [s]	t [s]
36,31	36,04	37,43
35,39	36,37	35,93
36,62	36,65	36,50
36,11	36,31	35,75
36,25	34,81	35,87
36,08	35,90	36,21
35,93	35,62	36,40
36,40	36,31	35,79
36,40	35,65	35,62
35,56	36,24	36,31

Mit dem Plotprogramm Origin werden diese gemessenen Zeiten in sechs Klassen eingeteilt und deren Häufigkeit ermittelt. Außerdem wird eine Normalverteilungskurve an das Histogramm angelegt. Das Ergebnis ist in Abbildung 3 zu sehen.

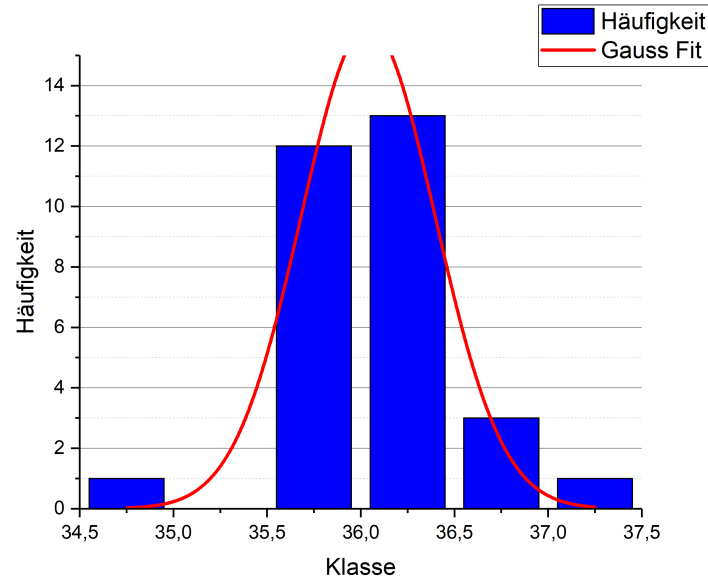


Abbildung 3: Histogramm der Fallzeiten der 2-mm-Kugeln und daran angenäherte Normalverteilung)

Aus dem Histogramm ergibt sich der Mittelwert $t = 36,04$ s und eine Standardabweichung von $\sigma(t) = 0,36$ s.

2.4 Ergebnisdiskussion

Der berechnete Mittelwert für die Viskosität von $\eta = 1899$ mPa · s übersteigt den Literaturwert bei 21°C von 1813 mPa · s um 4,7 %, liegt aber noch im Fehlerintervall $1813 \text{ mPa} \cdot \text{s} \pm 115 \text{ mPa} \cdot \text{s}$.

Bei den Viskositäten einzelner Kugelgrößen ist ein Ansteigen der Viskosität mit zunehmender Kugelgröße zu erkennen. Bei $d_1 = 1$ mm beträgt die Abweichung nur -0,8 %, während sie bei $d_4 = 4$ mm schon +11,5 % beträgt.

Ein Grund für die Zunahme der Abweichung bei zunehmender Kugelgröße ist, dass die Strömung als laminar angenommen wird, aber mit zunehmendem Kugeldurchmesser turbulenter wird, sodass die Kugel abgebremst wird (siehe Abbildung 4). Die Bedingung für laminare Umströmung ist, dass $R \gg r$.

Außerdem gilt für die Strömung in einem Rohr, dass die Fließgeschwindigkeit von der Mitte zum Rohrrand abnimmt, da die äußerste Fluidschicht an der Rohrwand haftet. Also erhöhen näher am Rand fallende Kugeln die bestimmte Viskosität.

Die lineare Regression liefert mit $\eta = 1800 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ einen Wert der mit dem Wert bei d_1 beinahe übereinstimmt und nur um -0,7 % vom Literaturwert abweicht.

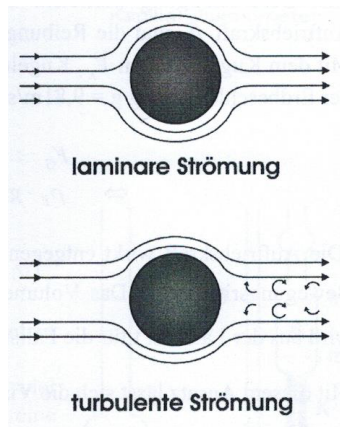


Abbildung 4: Laminare und turbulente Umströmung einer Kugel (aus der Versuchsanleitung)

3 Bestimmung der Glycerinkonzentration mit dem Kapillarviskosimeter

3.1 Versuchsaufbau und Durchführung

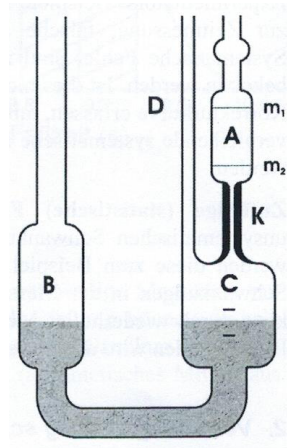


Abbildung 5: Aufbau des Kapillar-Viskosimeters nach Ubbelohde (aus der Versuchsanleitung)

3.2 Messwerte und Ergebnisse

3.3 Statistische Auswertung

3.4 Ergebnisdiskussion