Fakultät für Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München
Grundpraktikum in Experimentalphysik - Kurs P2
Blockpraktikum vom 10. Aug. bis 07. Sept. 2020

Versuch:	V1R	**Gruppe:**	A1
Vorname:	Corinna Elena	**Name:**	Wegner

Mit Abgabe der Auswertung wird bestätigt, dass diese eigenständig erstellt wurde!

Punkte der Vorbereitung:	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4	0,0

	1. Abgabe		2. Abgabe	
Alle Teilversuche vollständig ausgewertet?	Ja	Nein	Ja	Nein
Wurden immer korrekte Formeln angegeben und eigene Werte eingesetzt?	Ja	Nein	Ja	Nein
Wurde immer eine Fehlerrechnung durchgeführt?	Ja	Nein	Ja	Nein
Wurde immer eine aussagekräftige Diskussion geführt?	Ja	Nein	Ja	Nein
Sind Endergebnisse immer angegeben und korrekt gerundet?	Ja	Nein	Ja	Nein
Wurden alle Diagramme mit geeignetem Maßstab und Titel eingeklebt?	Ja	Nein	Ja	Nein
Enthalten die Diagramme alle Messwerte, Beschriftungen u. Konstruktionen?	Ja	Nein	Ja	Nein
Auswertung erhalten am:				
Auswertung zurückgegeben am:				
Nacharbeit notwendig bis:			nicht möglich	

Wird eine der obigen Fragen bei der ersten Abgabe mit Nein beantwortet ist eine Nacharbeit erforderlich!

Punkte:		Datum, Abtestat:

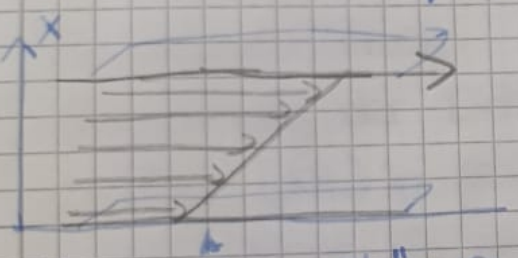
Bitte bewahren Sie Ihre Hefte nach dem Praktikum unbedingt auf.

VIR - Viskosität und Reynoldszahl
Corinna Elena Wegner, 20.08.2020

Versuchsvorbereitung

Brownsche Molekularbewegung: freie ungeordnete Bewegung von Molekülen in einer Flüssigkeit oder Gas
Temperatur = mittlere Geschwindigkeit der Teilchen
Adhäsionskräfte = Kräfte zwischen Flüssigkeitsmolekülen und angrenzenden Materialien
Kohäsionskräfte = Kräfte zwischen Flüssigkeitsmolekülen
Alle Moleküle einer Flüssigkeit versuchen einen stabilen Abstand zu ihren Nachbarmolekülen einzunehmen
Für laminare Strömungen gilt das Newtonsche Reibungsgesetz:

$$F = \eta A \frac{\Delta v}{\Delta x}$$



η = Viskosität
A = Reibungsfläche
$\frac{\Delta v}{\Delta x}$ = Geschwindigkeitsprofil der Strömung

Wenn eine Strömung schneller wird, kommt es aufgrund der Reibung zwischen den Flüssigkeitsschichten zu Wirbeln. Die Flüssigkeit strömt dann nicht mehr laminar sondern turbulent. Ob eine Flüssigkeit laminar oder turbulent strömt wird ~~gemessen u~~ kann mit der Reynoldszahl bestimmt werden

$$Re = \frac{v \cdot 2r \cdot \rho}{\eta}$$

ρ = Dichte der Flüssigkeit
v = Geschwindigkeit
r = Radius des Rohres
Wenn $Re \geq 2000$, dann ist die Strömung turbulent und sonst laminar

Wenn sich eine Kugel in einer Flüssigkeit oder einem Gas bewegt, wirkt in die entgegengesetzte Richtung (bremsend) die Stokes'sche Reibungskraft

$$F_r = -6\pi\eta r v$$

A Weil $F \sim v$, erreicht die Kugel beim „Fallen" in einer Flüssigkeit irgendwann ($F_r = F_G$) den Punkt, bei dem die „Fall"-Geschwindigkeit konstant ist

Mit diesem Ansatz kommt man auf

$$F_r = F_G$$

$$F_R = m_{Kugel}\, g$$

$$-6\pi\eta r v \; \cancel{F_R} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{Kugel}\, g$$

$$\Rightarrow \quad \eta = \frac{2 g r^2}{9 v}\left(\rho_{Kugel} - \rho_{Flüssigkeit}\right)$$

Teilversuch 1: Aufstieg von Luftblasen

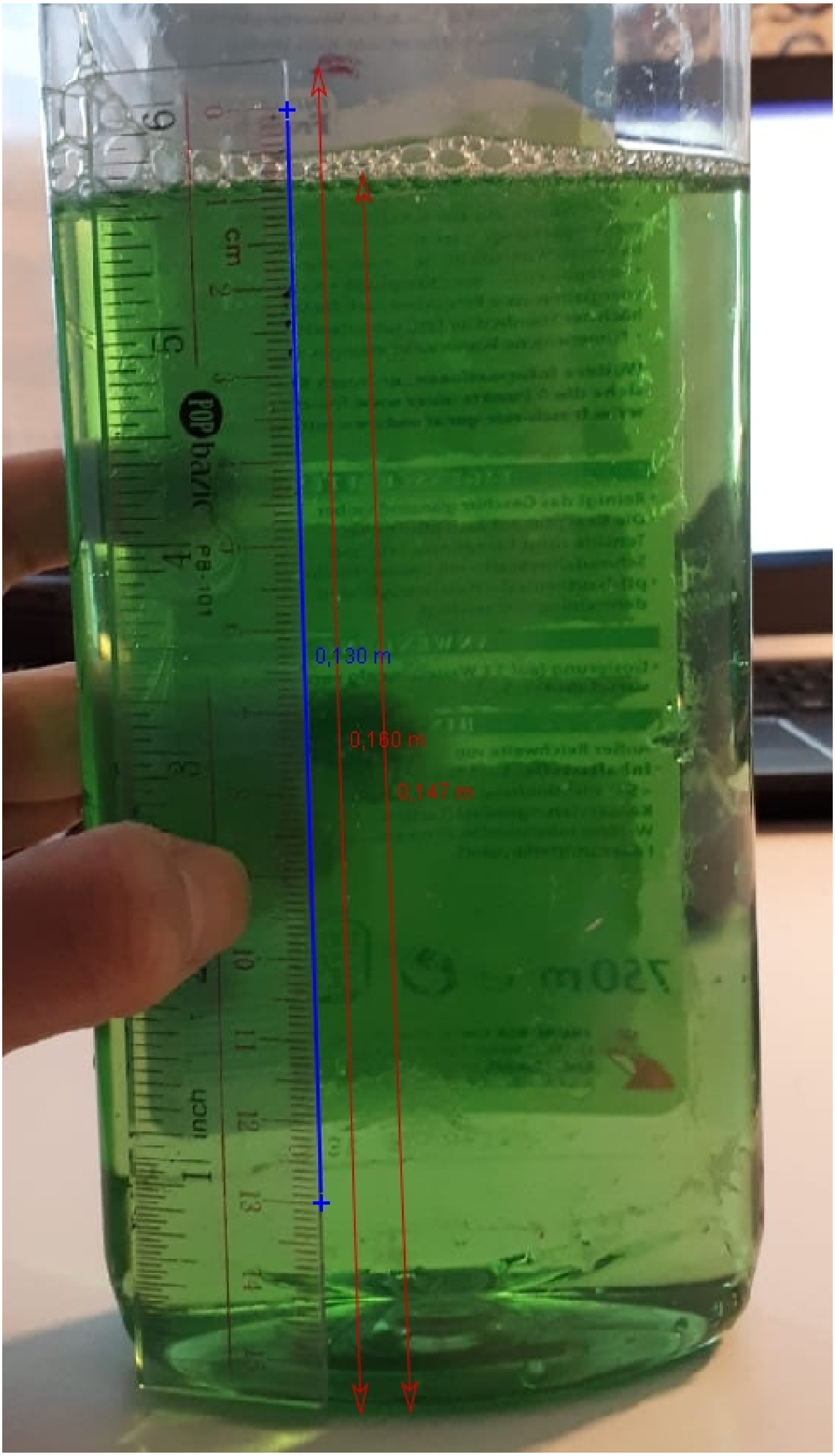
Versuchsziel: Bestimmung der Viskosität von Spülmittel durch Beobachtung des Blasenaufstiegs in Abhängigkeit von der Temperatur

Versuchsskizze:

Versuchsdurchführung:

- Bestimmung der Dichte des Spülmittels:
  - Eimer (10L) in große Salatschüssel stellen, Auffüllen mit Wasser bis zum Rand.
  - Flasche mit Spülmittel ~~füllen~~ in den Eimer tauchen. Auffangen des verdrängen Wassers in der Schüssel. Umfüllen des herausgeflossenen Wassers in einen Messbecher

    ~~$V_{Wasser} = (650 \pm 50)\,cm^3$~~ $V_{Wasser} = (650 \pm 50)\,cm^3$
  - Markieren des Wasserpegels auf der Spülmittelflasche
- Aufstieg der Blasen beobachten
  - Aufbau des Versuchs (siehe Foto)
  - Pusten in den Strohhalm, sodass eine Luftblase aufsteigt. Wiederholen (neun mal) $T_1 = 29°C$
  - Flasche in das Eisfach legen und Messung erneut durchführen $T_{Anfang} = 4°C$, $T_{Ende} = 12°C$

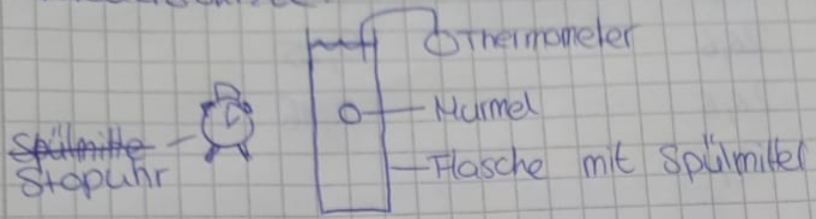


Teilversuch 1: Höhenbestimmung von Wasser und Spülmittelflasche

Teilversuch 2: Kugelfallviskosimeter

Versuchsziel: Bestimmung der Viskosität von Spülmittel

Versuchsskizze:



Versuchsdurchführung

- Aufbau des Versuches nach Versuchsskizze
- Reinigen der Murmeln mit Spiritus
- Ausmessen der Kugeln:

  $m_{Kugel} = (10 \pm 0{,}5)\,g$

  $d_{Kugel} = (12{,}7 \pm 0{,}1)\,cm$
- Messung der Temperatur des Spülmittels $T = 33°C$
- Fallenlassen von 5 Murmeln im Kugelfallviskosimeter, Aufnehmen des Vorganges mit einer Slow-Motion-fähigen Videokamara, ~~Aus~~
- Auswerten des Videomaterials:

  Fallstrecke

	A	B	C	D
1	Startzeit/s	Stoppzeit/s	Starthöhe/m	Stopphöhe/m
2	2,1166666667	2,2333333333	0,0544848481	-0,0669210529
3	11,01666667	11,13333333	0,06119448	-0,0671002
4	6,65	6,766666667	0,058066084	-0,07737479
5	9,416666667	9,55	0,073628945	-0,07126846
6	12,66666667	12,76666667	0,050931983	-0,06291598
7	16,86666667	16,96666667	0,044899535	-0,06933135
8	19,9	20	0,04758068	-0,06373307
9	23,33333333	23,45	0,056807509	-0,07499964
10	26,5	26,6	0,050106881	-0,05875843

Messdaten aus dem Auswertungsprogramm (OSP Tracker)

Teilversuch 2: Kugelfallviskosimeter

Auswertung VIR

Teilversuch 1: Aufstieg von Luftblasen

Bestimmung der Dichte des Spülmittels

Nach dem Archimedischen Prinzip ist die Auftriebskraft, die die Flasche erhält, gleich der Gewichtskraft des verdrängten Wassers:

$$F_A = m_{verdrängt} \cdot g = \rho_{Wasser} \cdot V_{verdrängt} \cdot g$$

Wenn die Flasche im Wasser schwimmt, gleichen sich Gewichtskraft und Auftriebskraft aus:

$$|F_G| = |F_A|$$

$$m_{spüli} \cdot g = \rho_{Wasser} \, V_{verdrängt} \cdot g$$

$$\rho_{spüli} \cdot V_{spüli} \cdot g = \rho_{Wasser} \, V_{Wasser} \cdot g$$

$$\Rightarrow \rho_{spüli} = \rho_{Wasser} \frac{V_{Wasser}}{V_{spüli}}$$

Nehmen wir die Spülmittelflasche als Zylinder an, gilt $V \sim h$ (Höhe des Wasser-/Spülmittelstands). Daher folgt

$$\rho_{spüli} = \rho_{Wasser} \frac{h_{Wasser}}{h_{spüli}} \qquad (*)$$

Aus Wikipedia entnehmen wir: $\rho_{Wasser} = 997 \frac{kg}{m^3}$

Und aus dem Protokoll

$$h_{Wasser} = (0{,}160 \pm 0{,}008)\,m$$

$$h_{spüli} = (0{,}147 \pm 0{,}008)\,m$$

Damit folgt nach (*):

$$\rho_{spüli} = 997 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{0{,}160\,m}{0{,}147\,m} \approx 1085 \frac{kg}{m^3}$$

Fehler von $\rho_{spüli}$ mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung

$$\Delta\rho_{spüli} = \sqrt{\left[\frac{\partial\rho_{spüli}}{\partial h_{Wasser}} \Delta h_{Wasser}\right]^2 + \left[\frac{\partial\rho_{spüli}}{\partial h_{spüli}} \Delta h_{spüli}\right]^2}$$

$$= \sqrt{\left[\frac{\rho_{wasser}}{h_{spüli}} \Delta h_{wasser}\right]^2 + \left[\frac{\rho_{wasser}}{h_{spüli}{}^2} h_{wasser} \Delta h_{spüli}\right]^2}$$

$$= \sqrt{\left[\frac{997 \frac{kg}{m^3}}{0{,}147m} 0{,}008m\right]^2 + \left[\frac{-997 \frac{kg}{m^3}}{(0{,}147m)^2} 0{,}160m \cdot 0{,}008m\right]^2}$$

$$= 80 \ \frac{kg}{m^3}$$

Damit ist $\rho_{spüli} = (108 \pm 8) \cdot 10^1 \ \frac{kg}{m^3}$

Teilversuch 2: Kugelfallviskosimeter

Aus der Masse ~~bestimme~~ und dem Durchmesser bestimmen wir die Dichte der Kugel:

$m_K = (10 \pm 0{,}5) \cdot 10^{-3}\,kg$

$d_K = (12{,}7 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-3}\,m \qquad V_K = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3$

$$\rho_K = \frac{m_K}{V_K} = \frac{m_K}{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3} = \frac{10 \cdot 10^{-3}\,kg}{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{12{,}7 \cdot 10^{-3}\,m}{2}\right)^3} = 9323{,}\frac{kg}{m^3}$$

Fehler der Kugeldichte mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung:

$$\Delta\rho_K = \sqrt{\left[\frac{\partial\rho_K}{\partial m_K}\Delta m_K\right]^2 + \left[\frac{\partial\rho_K}{\partial d_K}\Delta d_K\right]^2}$$

$$= \sqrt{\left[\frac{\Delta m_K}{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3}\right]^2 + \left[-\frac{m_K\,\Delta d_K}{\frac{4}{3}\pi\,\frac{d^4}{2^3}}\right]^2}$$

$$= \sqrt{\left[\frac{0{,}5 \cdot 10^{-3}\,kg}{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{12{,}7 \cdot 10^{-3}\,m}{2}\right)^3}\right]^2 + \left[-\frac{10 \cdot 10^{-3}\,kg \cdot 0{,}1 \cdot 10^{-3}\,m}{\frac{4}{3}\pi\,\frac{(12{,}7 \cdot 10^{-3}\,m)^4}{2^3}}\right]^2}$$

$\simeq 500\,\frac{kg}{m^3}$

Damit ist $\rho_K = (9{,}3 \pm 0{,}5) \cdot 10^3\,kg/m^3$

Aus den Messwerten bestimmen wir die Fallgeschwindigkeiten, indem wir die Fallzeit durch Stoppzeit − Startzeit ~~bestimm~~ berechnen und die Fallstrecke durch Stopphöhe − Starthöhe und dann erhalten wir mit $v = \frac{s}{t}$ die Geschwindigkeit der Kugeln.

(Berechnungen mit Excel)

Die Fehler aufgrund Randeffekte, Videoprogrammauswertung (Zeit- und Längenmessung)... werden geschätzt:

$\Delta t = 0{,}01\,s \qquad \Delta y = 0{,}001\,m$

Wir bestimmen die Fallgeschwindigkeit v, indem wir den Mittelwert aller Fallgeschwindigkeiten aus der Tabelle bestimmen. ~~Dies~~ Dann bestimmen wir die Standardabweichung. Beides geschieht mit dem Funktionentool von Open Office Calc (Standardabweichungsbefehl: STABW)

6,65	6,766666667	0,058066084	-0,07737479	0,116666667	-0,13544087	-1,16092178
9,416666667	9,55	0,073628945	-0,07126846	0,133333333	-0,14489741	-1,08673054
12,66666667	12,76666667	0,050931983	-0,06291598	0,1	-0,11384796	-1,13847961
16,86666667	16,96666667	0,044899535	-0,06933135	0,1	-0,11423089	-1,14230888
19,9	20	0,04758068	-0,06373307	0,1	-0,11131375	-1,1131375
23,33333333	23,45	0,056807509	-0,07499964	0,116666667	-0,13180715	-1,12977558
26,5	26,6	0,050106881	-0,05875843	0,1	-0,10886531	-1,08865311
					Mittelwert:	-1,11114419
				Standardabweichung:		0,036664552

Fallgeschwindigkeiten, Mittelwert und Standardabweichung

Damit ist $v = -(1{,}11 \pm 0{,}04)\,\frac{m}{s}$. Mit ~~$\rho_W = 997\,\frac{kg}{m^3}$~~,

$g = 9{,}807\,\frac{m}{s^2}$, $r = \frac{d}{2} = \frac{(12{,}7 \pm 0{,}1)\,mm}{2} \approx (6{,}4 \pm 0{,}1)\,mm$

folgt dann nach Gleichung (7) aus dem Skript

$$\eta = \frac{2gr^2}{9v}\left(\rho_K - \rho_{Spüli}\right) = \frac{2 \cdot 9{,}807\,\frac{m}{s^2} \cdot (6{,}4 \cdot 10^{-3}\,m)^2}{9 \cdot 1{,}11\,\frac{m}{s}}\left(9{,}3 \cdot 10^3\,\frac{kg}{m^3} - 1080\,\frac{kg}{m^3}\right)$$

$$= 0{,}66\,\cancel{\frac{kg}{m\,s}}\,Pas$$

Bestimmung der Messunsicherheit von η mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung

$$\Delta\eta = \sqrt{\left(\frac{\partial\eta}{\partial r}\Delta r\right)^2 + \left(\frac{\partial\eta}{\partial v}\Delta v\right)^2 + \left(\frac{\partial\eta}{\partial\rho_K}\Delta\rho_K\right)^2 + \left(\frac{\partial\eta}{\partial\rho_{Spüli}}\Delta\rho_{Spüli}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left[\frac{4gr}{9v}\left(\rho_K - \rho_{Spüli}\right)\Delta r\right]^2 + \left[-\frac{2gr^2}{9v^2}\left(\rho_K - \rho_{Spüli}\right)\Delta v\right]^2 + \left[\frac{2gr^2}{9v}\Delta\rho_K\right]^2 + \left[-\frac{2gr^2}{9v}\Delta\rho_{Spüli}\right]^2}$$

$$= \sqrt{\left[\frac{2 \cdot 9{,}807\,\frac{m}{s^2}\,6{,}4 \cdot 10^{-3}\,m}{9 \cdot 1{,}11\,\frac{m}{s}}\left(9{,}3 \cdot 10^3 - 1080\right)\frac{kg}{m^3}\,0{,}1 \cdot 10^{-3}\,m\right]^2 + \left[-\frac{2 \cdot 9{,}807\,\frac{m}{s^2} \cdot (6{,}4 \cdot 10^{-3}\,m)^2}{9 \cdot (1{,}11\,\frac{m}{s})^2}\left(9{,}3 \cdot 10^3 - 1080\right)\frac{kg}{m^3} \cdot 0{,}04\,\frac{m}{s}\right]^2 + \ldots}$$

$$+\left[\frac{2\cdot 9{,}807\frac{m}{s^2}\cdot(6{,}4\cdot10^{-3}m)^2}{9\cdot 1{,}11\frac{m}{s}}\cdot 9{,}5\cdot10^{3}\frac{kg}{m^3}\right]^2 +$$

$$+\left[-\frac{2\cdot 9{,}807\frac{m}{s^2}(6{,}4\cdot10^{-3}m)^2}{9\cdot 1{,}11\frac{m}{s}}\,80\frac{kg}{m^3}\right]^2$$

$\approx 0{,}05$ Pas

Damit ist $\eta_{exp} = (0{,}66 \pm 0{,}05)$ Pas

$$\frac{\Delta\eta}{\eta} = \frac{0{,}05 \text{ Pas}}{0{,}66 \text{ Pas}} \approx 0{,}076$$

Ist die Strömung laminar? Überprüfung mit Reynoldszahl:

$$Re \overset{(2)}{=} \frac{v\,2r\,\rho}{\eta} = \frac{1{,}11\frac{m}{s}\cdot 2\cdot 6{,}4\cdot10^{-3}m\cdot 1080\frac{kg}{m^3}}{0{,}66 \text{ Pas}} = 23{,}25$$

Da $Re \leq 2000$, ist die Strömung laminar

Vergleich mit Herstellerangabe

Die Herstellerangabe für die Viskosität ist $\eta_H = 1000$ mPas bei 20°C. Damit liegt η_H deutlich ($\hat{=}$ 1 Pas) (Quelle: daten.oehme-lorito.de/sdb/froschgeschirrspülmittellimonen.pdf, Abrufdatum 22.08.2020) außerhalb des 3 Fachen Fehlerintervalls von η_{exp}. Jedoch unterschied sich ~~es~~ die Temperatur bei dem Experiment von der angegebenen Temperatur.

Weitere Gründe für den Fehler könnten sein, dass die Fallstrecke nicht lang genug war, sodass sich keine konstante Geschwindigkeit einstellen konnte. ~~Auch~~ Ebenfalls war die Kugel möglicherweise zu groß und damit ungeeignet für den Versuch.

$\eta_{exp} + 3\Delta\eta_{exp}$
$= 0{,}66 + 3\cdot 0{,}05$ Pas
$= 0{,}81$ Pas < 1 Pas
$= \eta_H$
=> nicht verträgliche Werte