

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

Versuch:	VIR	Gruppe:	I2-2					
Vorname:	Marlene	Name:	Schramm					
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?					<input checked="" type="checkbox"/>	Nein	Ja	Nein
Wurden immer korrekte Formeln angegeben und eigene Werte eingesetzt?					<input checked="" type="checkbox"/>	Nein	Ja	Nein
Wurde immer eine Fehlerrechnung durchgeführt?					<input checked="" type="checkbox"/>	Nein	Ja	Nein
Wurde immer eine aussagekräftige Diskussion geführt?					<input checked="" type="checkbox"/>	Nein	Ja	Nein
Sind Endergebnisse immer angegeben und korrekt gerundet?					<input checked="" type="checkbox"/>	Nein	Ja	Nein
Wurden alle Diagramme mit geeignetem Maßstab und Titel eingeklebt?					<input checked="" type="checkbox"/>	Nein	Ja	Nein
Enthalten die Diagramme alle Messwerte, Beschriftungen u. Konstruktionen?					<input checked="" type="checkbox"/>	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:	1.1	Datum, Abtestat:						

Bitte bewahren Sie Ihre Hefte nach dem Praktikum unbedingt auf.

VIR - Viskosität und Reynoldszahl

Physikalische Grundlagen

Mikroskopisches Bild von Flüssigkeiten

- Moleküle bewegen sich relativ frei und ungeordnet
(„Brown'sche Molekularbewegung“ / „thermische Bewegung“)
- elektrostatische Kräfte zwischen Flüssigkeitsteilchen: Kohäsion
- Kräfte zwischen Flüssigkeitsmolekülen & angrenzendem Medium:
Adhäsion
- bei bestimmter Abstand r_0 zwischen den Molekülen: Kräftegleichgewicht
- vergrößerter Abstand \Rightarrow rückreibende Kraft
 \Rightarrow Reibungskraft und Flüssigkeitsverbund

Viskosität und Reynoldszahl

- Modell strömender Flüssigkeiten: dünne Schichten, parallel zur Bewegungsrichtung, die reibend aneinander gleiten
- laminar: keine Vermischung der Schichten
- turbulent: Vermischung (Wirbel)
- Reibungskraft zwischen Schichten: $F \propto A \frac{\Delta v}{\Delta x} \rightarrow F = \eta A \frac{\Delta v}{\Delta x}$
- η : Viskosität, $[\eta] = \text{Pa}\cdot\text{s}$
- Newtonsche Flüssigkeit: $\eta = \eta (\Delta v)$
- höhere Temperatur \rightarrow niedrigere Viskosität (wz. therm. Bewegung)
- Strömung ~~um~~ um Kugel: Reynoldszahl $R_e = \frac{V \cdot 2r \cdot \rho}{\eta}$
turbulent, wenn $R_e \geq 2000$ (ungefähr)

Umströmte Kugel

- langsame Bewegung, keine Beeinflussung durch Sogffwand:
- ~~Stokes~~ Stokesches Gesetz $F_R = -6\pi r \eta V$
- sinkende Kugel: $F_d = -\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$ (Archimedisches Prinzip)
 $F_d = \frac{4}{3}\pi r^3 \cdot \rho g$, $F_r = -6\pi r \eta V$
- während die Kugel beschleunigt, nimmt die Reibungskraft zu, \rightarrow Kräftegleichgewicht (konstante

Sinkgeschwindigkeit) stellt sich ein

$$F_r + F_g + F_d = 0$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{2 \cdot g \cdot r^2}{\rho \cdot V} (\rho_k - \rho_{FL})$$

aufsteigende Luftblase

F_a Gewichtskraft vernachlässigbar $\rightarrow F_d + F_p = 0$

$F_g - F_r \Rightarrow \eta = \frac{2 \cdot g \cdot S}{\rho \cdot V} r^2$

Versuchsplanaus / Vorüberlegungen

- ~~Das Beta Testen der Dichtemessung hat ergeben, dass die Dichte des Spülmittels nicht mit der Dichte von Wasser überein stimmt.~~

Um den Fehler durch das Schätzen der Dichte zu verhindern, bestimme

ich die Dichte über die Masse des verdrängten Wassers und die Masse des leeren Spülmittelflasche inklusive

$$F_G = F_A \Leftrightarrow m_{Spülmittelflasche} g = m_{Wasser} g$$

$$\Leftrightarrow m_{Spülmittelflasche} = m_{Wasser}$$

$$\Leftrightarrow m_{Spüli} + m_{Flasche} = m_{Wasser} \Leftrightarrow m_{Spüli} = m_{Wasser} - m_{Flasche}$$

$$\Rightarrow \rho_{Spüli} = \frac{m_{Spüli}}{V_{Spüli}} = \frac{1}{V_{Spüli}} (m_{Wasser} - m_{Flasche})$$

Protokoll

Name: Marlene Schramm Datum: 13.08.2020

Teilversuch 1: Aufstieg von Luftblasen

Versuchsziel: Bestimmung der Viskosität von Spülmitteln bei 2 unterschiedlichen Temperaturen

Versuchsmethode: Schätzung der Dichte, Messung der Steighöhen, Steigzeiten und Durchmesser der Luftblasen

Versuchsaufbau

a) Dichtebestimmung:



b) Steigende Luftblasen:



Versuchsdurchführung:

- Spülmittelflasche Spülmittel flasche etwas leerer, so dass die Oberfläche des Spülmittels etwas unterhalb der Stelle ist, an dem die Flasche sich wieder wird
- Spülmittelflasche im Wasser schwimmen lassen
- Markieren wie tief sie ein taucht
- herausnehmen, Höhe der „Spül(mittel)säule“ (h) und Abstand zwischen Spülmitteloberfläche und Markierung (d) messen



- herausgegossenes Spülmittel zurückfüllen

b). Videoaufnahme starten

- Spülmittelflasche schütteln und vor Kamera stellen (mechanisch)
- Aufnahme stoppen
- Im Schnittprogramm Shortcut werden für 10 Luftblasen einen Start- und Endpunkt im Aufstieg gewählt, die Höhen und Zeiten dieser und der Durchmesser der Luftblase gemessen.

Die Zeiten werden hierbei an der Zeitskala abgelesen, die Längen / Höhen mittels Anlegen eines Lineals an den Bildschirm und Verwenden des mitaufgenommenen Lineals an der Spülmittelflasche als Längenskala bestimmt.

- a) und b) werden je einmal für Spülmittel bei Zimmertemperatur und bei Kühlkastentemperatur durchgeführt.



Messergebnisse - Messwerte:

Spülmittelsorte: frisch Limonen Spülmittel

bei Zimmertemperatur:

	1	2	3	4	5	6
$z_1 [\text{mm}]$	4	2	2	2	4	3
$h_1 [\text{mm}]$	110	190	50	90	70	60
$h_2 [\text{mm}]$	190	190	100	170	190	110
$t_1 [\text{min}:\text{s}:\text{Bild}]$	00:07:10	00:07:25	00:09:17	00:08:17	00:17:05	00:18:18
$t_2 [\text{min}:\text{s}:\text{Bild}]$	00:05:27	00:12:28	00:13:19	00:14:29	00:21:29	00:26:03

7	8	9	10
3	3	2	2
125	50	90	100
190	110	170	190
00:16:26	00:17:01	00:00:09	00:00:05
00:22:00	00:26:03	00:11:28	00:11:00

5.1

$$1 \text{ Bild} \hat{=} \frac{1}{50} \text{ s}, \text{ also z.B. } 00:07:10 \hat{=} 7 \text{ s} + \frac{10}{50} \text{ s} = 7,2 \text{ s}$$

Kühlschranktemperatur:

	1	2	3	4	5	6
$2r [mm]$	3	2	2	5	4	3
$h_1 [mm]$	105	58	87	104	110	50
$h_2 [mm]$	190	190	190	190	190	190
$t_1 [min:s:Bild]$	00:05:11	00:05:11	00:05:11	00:05:11	00:11:09	00:34:01
$t_2 [min:s:Bild]$	01:30:08	07:14:16	02:05:21	00:29:16	00:45:22	02:30:12
	7	8	9	10		
	4	3	2	7		
	64	50	82	60		
	185	117	152	190		
	00:16:21	00:25:12	00:19:10	00:20:01		
	00:55:24	01:08:26	01:05:26	00:38:24		

Fehler: $\Delta 2r = 1\text{ mm}$

$$\Delta h_1 = \Delta h_2 = 2\text{ mm} \text{ (Parallele)}$$

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \frac{1}{30}\text{ s} = 0,03\text{ s} \quad (\approx 1\text{ Bild})$$

Teilversuch 2: Kugelfallviskosimeter

Versuchsziel: Bestimmung der Viskosität des Spülmittels
bei Raumtemperatur

Versuchsmethode: improvisiertes Kugelfallviskosimeter

Versuchsaufbau:

Der Versuch wird nie bei TV mit einem Tablet aufgenommen, aus der Perspektive, aus der das Foto entstanden ist.



- Versuchsdurchführung:
- Die Stahlkugel wird mit Spiritus gereinigt
 - Die Videoaufnahme wird gestartet
 - Die Kugel wird fünfmal im Viskosimeter fallen gelassen.
 - Mit Shotcut werden Start- und Endzeit des fälligen Falles bestimmt

Startzeit: Kugelunterkante ist ungefähr auf der Höhe des 600ml

Strichen ($\hat{=}(5,8 \pm 0,1) \text{ cm über Messbochboden}$)

Endzeit: Beginn des Stoßprallgeräusches

- Der Kugeldurchmesser wird mit einer Schieblehre gemessen

Messwerte:

$$2r = (12,7 \pm 0,1) \text{ mm}$$

1 2 3 4 5
↓
Schreibfehler

t1 [min:s: Bild] 00:57:20 00:52:03 00:45:01 00:38:08 00:30:20

t2 [min:s: Bild] 00:57:26 00:51:08 00:45:06 00:38:13 00:30:25

$$\Delta t = \frac{1}{30} \text{ s} = 0,03 \text{ s} \stackrel{?}{=} 00:00:01$$

$$\text{Fallstrecke: } s = (5,8 \pm 0,6) \text{ cm}$$

(Der Fehler ist so groß, da die Position der Kugel bei der Startzeit wegen Fehlender Ermangelung einer genauen Längenskala als der mittlere m(-Skala des Messbeders und der niedrigen Bild-Bildrate der Aufzeichnung, 30/s, die Position der Kugel bei den Startzeiten nicht genau bestimmt werden kann). Abstand zwischen 2 Strichen auf der m(-Skala = 1,2 cm)



Auswertung Teilversuch 1

Dichte:

Bei Vernachlässigung der Spülmittelflasche (PET) ist die Dichte

$$\text{des Spülmittels: } \rho = \frac{h+d}{n} \cdot \text{Wasser}$$

(Denn: $m_w = m_{sp}$ m_w : Masse des verdrängten Wassers)

$$V_w = A \cdot (h+d) \quad V_{sp} = A \cdot h \quad \text{Spülmittel A "Grundfläche" der Spülmittelflasche}$$
$$\rightarrow \rho = \frac{m_{sp}}{V_{sp}} = \frac{m_w}{V_{sp}} = \frac{V_w}{V_{sp}} \quad \rho_w = \frac{h+d}{n} \quad \rho_w$$

Bei Raumtemperatur:

$$SRT = \frac{h+d}{n} \cdot \text{Wasser} =$$

Ich hatte vergessen, die Messwerte für h und d ins Protokoll einzuarbeiten aufzunehmen, habe sie über auf einem Schmierzettel notiert:

8.1

Raumtemperatur: $h = 180 \text{ mm}$ $d = 6 \text{ mm}$

Kühlschranktemperatur: $h = 183 \text{ mm}$ $d = 12 \text{ mm}$

$\Delta h = 3 \text{ mm}$ (leicht abgeschrägte Form der Spülmittel flasche)

$\Delta d = 6 \text{ mm}$

Bei Raumtemperatur:

$$SRT \approx \frac{h+d}{n} \cdot \text{Wasser} = \frac{186 \text{ mm}}{180 \text{ mm}} \cdot 1,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1,03 \cdot 1,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$
$$= 1,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

B1

Bei Kühlschranktemperatur:

$$SKT \approx \frac{h+d}{n} \cdot \text{Wasser} = \frac{185 \text{ mm}}{183 \text{ mm}} \cdot 1,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1,07 \cdot 1,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$
$$= 1,1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1,1 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Raumtemperatur	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2r [mm]	4	2	2	2	4	3	3	3	2	2
h1 [mm]	110	140	50	90	70	60	125	50	90	100
h2 [mm]	190	190	100	170	190	110	190	110	170	190
t1 [min:s:Bild]	00:07:10	00:07:25	00:09:17	00:08:17	00:17:05	00:18:18	00:16:26	00:17:01	00:00:09	00:00:05
t2 [min:s:Bild]	00:09:27	00:12:28	00:13:19	00:14:29	00:21:29	00:26:03	00:22:00	00:26:03	00:11:28	00:11:00
(1 Bild entspricht 1/30 s)										
t1 [s]	7,33	7,83	9,57	8,57	17,17	18,60	16,87	17,03	0,30	0,17
t2 [s]	9,90	12,93	13,63	14,97	21,97	26,10	22,00	26,10	11,93	11,00
t2-t1 [s]	2,57	5,10	4,07	6,40	4,80	7,50	5,13	9,07	11,63	10,83
h2-h1 [mm]	80	50	50	80	120	50	65	60	80	90
v=(h2-h1)/(t2-t1) [mm/s]	31	10	12	13	25	7	13	7	7	8
Fehler:										
2*delta(r)/ r	0,3	0,5	0,5	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
delta(t2-t1)/(t2-t1)	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
delta(h2-h1)/(h2-h1)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
delta(v)/ v	0,1	0,1	0,1	0,1	0,04	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05
Viskosität nach (9) [Pa*s]	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	0,4	0,7	0,3	0,3
Mittelwert der Viskosität [Pa*s] nach AMW (8):					0,4					
Standardabweichung [Pa*s]:	0,21									
Unsicherheit des Mittelwerts [Pa*s] nach AMW (12):										0,1
Reynoldszahl nach (2)	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,04	0,05
Kühlschranktemperatur	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2r [mm]	3	2	2	5	4	3	4	3	2	7
h1 [mm]	105	58	87	104	110	50	64	50	82	60
h2 [mm]	190	190	190	190	190	190	185	117	152	190
t1 [min:s:Bild]	00:05:11	00:05:11	00:05:11	00:05:11	00:11:09	00:37:01	00:16:21	00:25:12	00:19:10	00:20:01
t2 [min:s:Bild]	01:30:08	02:14:16	02:05:21	00:29:16	00:45:22	02:30:12	00:55:24	01:09:26	01:09:26	00:38:24
(1 Bild entspricht 1/30 s)										
t1 [s]	5,37	5,37	5,37	5,37	11,30	37,03	16,70	25,40	19,33	20,03
t2 [s]	90,27	134,53	125,70	29,53	45,73	150,40	55,80	69,87	69,87	38,80
t2-t1 [s]	84,90	129,17	120,33	24,17	34,43	113,37	39,10	44,47	50,53	18,77
h2-h1 [mm]	85	132	103	86	80	140	121	67	70	130
v=(h2-h1)/(t2-t1) [mm/s]	1	1	1	4	2	1	3	2	1	7
Fehler:										
2*delta(r)/ r	0,4	0,5	0,5	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	0,2
delta(t2-t1)/(t2-t1)	0,0008	0,0005	0,0006	0,003	0,002	0,0006	0,002	0,001	0,001	0,004
delta(h2-h1)/(h2-h1)	0,05	0,03	0,04	0,05	0,05	0,03	0,03	0,06	0,06	0,03
delta(v)/ v	0,05	0,04	0,04	0,05	0,06	0,03	0,04	0,06	0,06	0,04
Viskosität nach (9) [Pa*s]	5,4	2,3	2,8	4,2	4,1	4,4	3,1	3,6	1,7	4,2
Mittelwert der Viskosität [Pa*s] nach AMW (8):					3,6					
Standardabweichung [Pa*s]:	1,10									
Unsicherheit des Mittelwerts [Pa*s] nach AMW (12):										0,4
Reynoldszahl nach (2)	0,0009	0,0006	0,0005	0,0055	0,0028	0,0011	0,0038	0,0014	0,0008	0,0149

Tabelle mit Messwerten zu Teilversuch 1: Aufstieg von Luftblasen



Die Tabelle wurde mit LibreOffice Calc erstellt.

$$\Rightarrow \eta_{RT} = (0,4 \pm 0,1) \text{ Pas}$$

$$\eta_{KT} = (3,6 \pm 0,4) \text{ Pas}$$

Der Fehler ist hierbei die empirische Streuung des Mittelwerts.

Die Fehler $2 \frac{\Delta r}{r}$, $\frac{\Delta(t_2-t_1)}{t_2-t_1}$, $\frac{\Delta(h_2-h_1)}{h_2-h_1}$ und $\frac{\Delta V}{V}$ werden

folgendermaßen berechnet:

aus dem Protokoll: $\Delta 2r = 1 \text{ mm}$, $\Delta h_1 = \Delta h_2 = 2 \text{ mm}$,

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \frac{1}{30} \text{ s}$$

$$\cdot 2 \frac{\Delta r}{r} = 2 \frac{\Delta r}{2} = \frac{1}{2} \Delta r = 0,5 \text{ mm} \rightarrow 2 \frac{\Delta r}{r} = \frac{1 \text{ mm}}{r}$$

$$\cdot \Delta(t_2-t_1) = \Delta t_2 + \Delta t_1 = \frac{2}{30} \text{ s} \quad (t_2, t_1 \text{ stoch. abhängig})$$

$$\rightarrow \frac{\Delta(t_2-t_1)}{t_2-t_1} = \frac{\frac{2}{30} \text{ s}}{t_2-t_1}$$

$$\cdot \Delta(h_2-h_1) = \Delta h_2 + \Delta h_1 = 4 \text{ mm} \rightarrow \frac{\Delta(h_2-h_1)}{h_2-h_1} = \frac{4 \text{ mm}}{h_2-h_1}$$

$$\cdot \frac{\Delta V}{V} = \sqrt{\left(\frac{\Delta(h_2-h_1)}{h_2-h_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(t_2-t_1)}{t_2-t_1}\right)^2}$$

(verwendete Formeln: AMW S. 20 1. & 2.)

Für den Fehler der Viskosität ergibt sich:

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = 2 \frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta V}{V}$$

Aus der Tabelle kann man ablesen, dass $2 \frac{\Delta r}{r}$ stets deutlich größer ist als $\frac{\Delta V}{V}$. Die Messung des Kugeldurchmessers hat also den stärksten Einfluss auf die Unsicherheit der Viskosität.



Systematische Fehler:

- Das Stokesche Gesetz gilt nur, wenn es keine Beeinflussung durch die Schießwand gibt. Dies ist hier vermutlich nicht der Fall, da Auffblasen nahe an der Schießwand sein müssen, um gut genug für die Messung sichtbar zu sein.

Mit dem Stokeschen Gesetz wurde die Formel für die Viskosität hergeleitet.

- Die Luftblasen sind häufig nicht ganz kugelförmig, sondern in vertikale Richtung gestreckt, bzw. bei sehr großen Luftblasen im kalten Spülmittel tropfenförmig.
- Die Schätzung der Dichte beeinflusst alle 10 Messungen systematisch in eine Richtung.

Laminare Strömung?

Die Reynolds Zahl ist bei allen Luftblasen sehr viel kleiner als 2000 (s. Tabelle). Die Strömung kann also als laminar angenommen angenommen werden.

Herkellerangabe:

dynamische Viskosität: ca. 1.000 mPas bei 20°C

Quelle: Sicherheitsdatenblatt Frosch Limonenspülmittel EF 750 ML D

Version 6.2 Überarbeitet am 04.12.2017

daten.ochme-lorita.de/sdb/Frosch_geschirrspuelmittel_limonen.pdf

Aufgerufen am 19.08.20

Mein Ergebniss $\eta_{RT} = (0,4 \pm 0,1) \text{ Pas}$ liegt deutlich unter der von Hersteller angegeben Viskosität $\eta = 1,0 \text{ Pas}$ ($T=20^\circ\text{C}$).

~~Dies kommt (Werte sind nicht)~~

Dies kann daran liegen, dass die Temperatur am Tag der Versuchsdurchführung höher als 20°C war, und an den oben erwähnten systematischen Fehlern.

(Die Zeitreihe des meteorologischen Instituts der LMU (meteo.physik.uni-muenchen.de) gibt für den Tag den Tag der Versuchsdurchführung tagsüber Temperaturen zwischen ca. 22°C und ca. 27°C)

➤ Quelle: <https://www.meteo.physik.uni-muenchen.de/DokuWiki/doku.php?id=wetter:stadt:zeitreihe>

Die Ergebnisse bei den unterschiedlichen Temperaturen entsprechen meinen Erwartungen. Die Viskosität des kalten Spülmittels ist deutlich höher, als die des warmen. Die Fehlerintervalle überschneiden sich nicht. ✓

Teilversuch 2

	1	2	3	4	5
t1 [min:s:Bild]	00:57:20	00:52:03	00:45:01	00:38:07	00:30:20
t2 [min:s:Bild]	00:57:26	00:52:08	00:45:06	00:38:13	00:30:25
t1 [s]	57,67	52,10	45,03	38,23	30,67
t2 [s]	57,87	52,27	45,20	38,43	30,83
t2-t1 [s]	0,20	0,17	0,17	0,20	0,17
Mittelwert von (t2-t1) [s]	0,18	Messunsicherheit [s]:			0,02

Tabelle mit Messwerten zu Teilversuch 2: Kugelfallviskosimeter

In der Tabelle wurde die Messunsicherheit $\Delta t =$

$\Delta t = ((t_2 - t_1)_{\max} - (t_2 - t_1)_{\min}) / 2$ wie in der auf Aufgabenstellung gefordert berechnet. Der Wert hierfür $\Delta t = 0,02 \text{ s}$ ist jedoch kleiner, als der durch die Bildrate der Videoaufzeichnung vorgegebene Messunsicherheit $\Delta t = \frac{1}{30} \text{ s} \approx 0,04 \text{ s}$, weshalb ich den letzteren für die den Wert $\Delta t = 0,04 \text{ s}$ für $\frac{1}{30} \text{ s}$ die weiteren Rechnungen verwende.

$$\text{Mittlere Fallgeschwindigkeit: } \bar{v} = \frac{s}{t} = \frac{0,059 \text{ m}}{0,18 \text{ s}} = 0,32 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 0,32 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\frac{\Delta \bar{v}}{\bar{v}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta s}{s}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,6}{5,8}\right)^2 + \left(\frac{0,04}{0,18}\right)^2} = 0,3$$

$$\eta = \frac{2 \cdot g \cdot r^2}{9 \cdot \bar{v}} (S_K - S_{FL}) = \frac{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (0,012 \text{ m})^2}{9 \cdot 3,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot (79 - 70) \cdot 10^2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$= 0,75 \text{ Pas}$$

(mit

$$\text{Protokoll: } 2r = (12,7 \pm 0,1) \text{ mm} \rightarrow r = (6,35 \pm 0,05) \text{ mm}$$

$$S_{\text{Kugel}} = 7,19 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3} \quad (\text{Stahl, s. Anhang V1R})$$

$$\eta = \frac{2 \cdot g \cdot r^2}{9 \cdot \bar{v}} (S_K - S_{FL}) = \frac{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (0,00635 \text{ m})^2}{9 \cdot 3,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot (79 - 70) \cdot 10^2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$= 0,75 \text{ Pas} \approx 1,9 \text{ Pas}$$

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = 2 \cdot \frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta \bar{v}}{\bar{v}} = 2 \cdot \frac{0,05 \text{ mm}}{6,35 \text{ mm}} + \frac{0,3}{0,32} = 0,3$$

$$\rightarrow \eta = (0,2 \pm 0,3) \text{ Pas}$$

Der Fehler ist so groß, da die Fallstrecke nur ungenau gemessen wurde und auch die Fallzeit wegen des kleinen Wertes nicht präzise bestimmt



$$\Delta n = \eta \cdot \frac{\Delta n}{n} = 0,05 \text{ Pas} \quad 0,5 \text{ Pas}$$

$$\rightarrow \eta = (0,13 \pm 0,05) \text{ Pas} \quad \eta = (1,3 \pm 0,5) \text{ Pas}$$

$$Re = \frac{\bar{V} \cdot 2r \cdot s}{\eta} = \frac{0,32 \frac{m}{s} \cdot 0,0127 m \cdot 10 \cdot 10^2 \frac{kg}{m^3}}{1,3 \text{ Pas}} = 2,1 << 2000$$

Die Strömung ist linear (laminar).

Das Messergebniss für η stimmt stark vom Ergebnis aus TV 1 und von der Herstellerangabe ab, die Fehlerintervalle überschneiden sich nicht.

13.1

Der Grund hierfür könnte sein, dass die Kugel und nicht auf der ganzen Strecke eine konstante Geschwindigkeit hatte.

Da mein improvisiertes Kugelfallviskosimeter eine geringe Höhe hatte, habe ich auf den Startpunkt relativ weit oben angebracht, ca. 1,5-2 cm unter der Wasseroberfläche des Messbechers.

Bei einem echten Viskosimeter wie im Vomch FLU wird nur zwischen einigen Zentimetern unter dem Flüssigkeitsspiegel und über dem Boden des Gefäßes gemessen. Eine erneute Betrachtung der Videoaufnahmen scheint die Vermutung, dass die Geschwindigkeit nicht konstant ist zu bestätigen.

Ein Kugelfall verläuft hier in etwa so:

- Die Kugel wird eingehauen, losgelassen
- Die Kugel beschleunigt
- Kurz vor dem Aufprall bremst die Kugel ab

* Demnach wäre die getestete Viskosität kleiner als die Geschwindigkeit im Krüppelgleichgewicht und folglich die berechnete Viskosität zu groß.

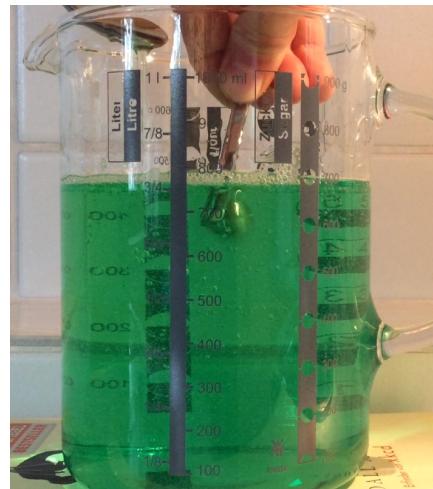
* Womit möglich wurde durch den Aufprall falsch gemessen.

Die Kugel bewegt sich am Ende zwar noch nach unten, dies geschieht aber so langsam, dass es möglichhainse an der Kompression des Messbechers / der Kugel liegt.

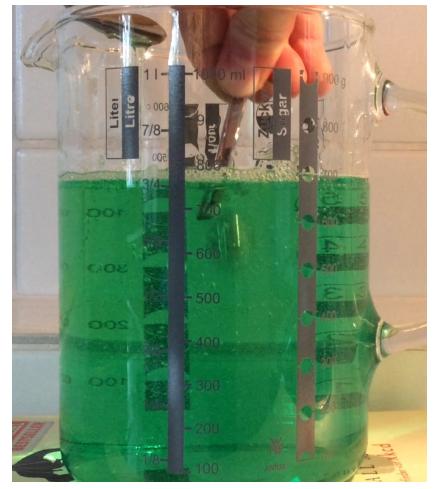
Standbilder des Kugelfalls



00:57:18



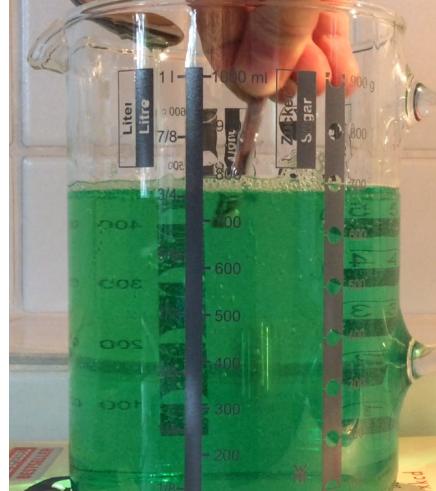
00:57:19



00:57:20



00:57:21



00:57:22



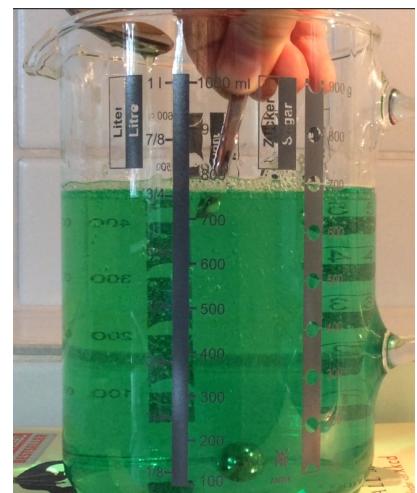
00:57:23



00:57:24



00:57:25



00:57:26

(erst hier ist ein Aufprallgeräusch zu hören)

Index der Kommentare

- 1.1 2.0
- 5.1 Ich kann h und d nicht finden
- 8.1 Warum hast du sie dann nicht nachgetragen?
- 13.1 3faches Fehlerinterfall enthält Herstellerangabe also sind die Werte verträglich