

1 Messwerte

Tabelle 1: gemessene Werte

<i>Fallzeit Kugel 2</i> [s]	<i>Fallzeit Kugel 1</i> [s]	<i>Temperatur</i> [°C]	<i>Messung 1</i> [s]	<i>Messung 2</i> [s]
11.80	68.47	31.0	68.86	68.86
11.80	68.95	36.0	68.33	68.21
12.15	68.69	39.0	65.75	65.76
11.73	68.53	45.0	60.32	60.52
12.21	68.50	49.5	59.27	59.27
11.47	67.69	51.5	58.52	58.66
12.10	68.83	56.0	58.30	58.29
11.96	68.41	60.0	56.60	56.72
11.86	68.38	64.0	55.10	55.15
11.87	68.60	68.0	54.35	54.40

Tabelle 2: Mittelwerte der Fallzeiten [s] für Teil 1 des Versuches

<i>Fallzeit Kugel 1</i>	Δ_{FK1}	<i>Fallzeit Kugel 2</i>	Δ_{FK2}
68.50	0.30	11.89	0.13

Tabelle 3: Mittelwerte der Messung bei verschiedenen Temperaturen für die große Kugel

<i>Temperatur</i> [K]	304.15	309.15	312.15	318.15	322.65
<i>Fallzeit</i> [s]	68.86	68.27	65.76	60.42	59.27
Δ_{FZ} [s]	0	0.035	0.002	0.058	0
<i>Temperatur</i> [K]	324.65	329.15	333.15	337.15	341.15
<i>Fallzeit</i> [s]	58.59	58.29	56.66	55.13	54.38
Δ_{FZ} [s]	0.040	0.003	0.035	0.014	0.014

2 Auswertung

2.1 Bestimmung der Apparatekonstante für die große Kugel

In dem ersten Teil des Versuches soll die Apparatekonstante für die große Kugel (Kugel 1) bestimmt werden. Dafür wird mithilfe der bekannten Apparatekonstante für die kleine Kugel (Kugel 2) die Viskosität des Wassers bei Raumtemperatur bestimmt und in folgende Formel eingesetzt:

$$K_{kl} = 0.007640 \text{ [mPa cm}^3/\text{g]} \quad (1)$$

$$\eta = K_{gr} \cdot (\rho_K - \rho_{Fl}) \cdot t \quad (2)$$

Bei ρ_K und ρ_{Fl} handelt es sich um die Dichten der Kugel und der betrachteten Flüssigkeit. Mithilfe der gemessenen Radien und Gewichte der Kugeln kann die Dichte bestimmt werden:

$$r_{gr} = (0.0078017 \pm 0.0000017) \text{ [m]} \quad r_{kl} = (0.0077167 \pm 0.0000017) \text{ [m]} \quad (3)$$

$$m_{gr} = 0.00496 \text{ [kg]} \quad m_{kl} = 0.00446 \text{ [kg]} \quad (4)$$

$$\rho_{gr} = (2493.6 \pm 1.6) \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad \rho_{gr} = (2312.0 \pm 1.5) \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (5)$$

In Tabelle 2 sind die Mittelwerte und Fehler der gemessenen Fallzeiten für die kleine und Große Kugel bei Raumtemperatur eingetragen. Somit ergeben sich für die Viskosität des Wassers bei Raumtemperatur η_{20} und K_{gr} folgende Werte:

$$\eta_{20} = (0.001194 \pm 0.00013) \text{ [Pa s]} \quad (6)$$

$$K_{gr} = \frac{\eta_{20}}{(\rho_{gr} - \rho_w) \cdot t_{gr}} \quad (7)$$

$$= (0.001165 \pm 0.00012) \text{ [mPa cm}^3/\text{g]} \quad (8)$$

Die Fehler für η_{20} und K_{gr} ergeben sich mit der Gaußschen Fehlerfortpflanzung:

$$\Delta\eta = \sqrt{\left(\partial_{\rho_{gr}}\eta \cdot \Delta\rho_{gr}\right)^2 + \left(\partial_{t_{gr}}\eta \cdot \Delta t_{gr}\right)^2} \quad (9)$$

$$\Delta K_{gr} = \sqrt{\left(\partial_{\eta}K_{gr} \cdot \Delta\eta\right)^2 + \left(\partial_{\rho_{gr}}K_{gr} \cdot \Delta\rho_{gr}\right)^2 + \left(\partial_{t_{gr}}K_{gr} \cdot \Delta t_{gr}\right)^2} \quad (10)$$

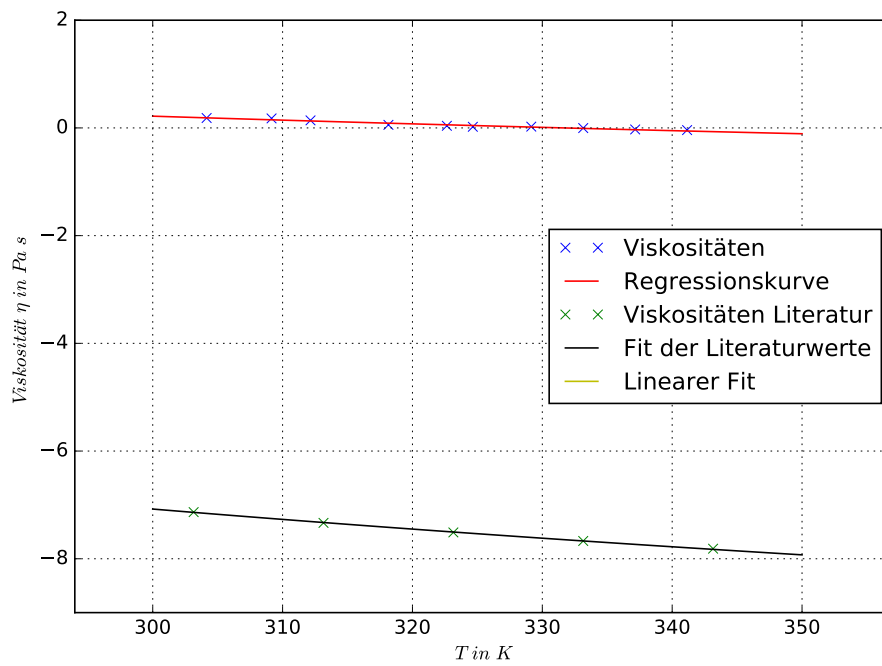


Abbildung 1: Viskositäten gegen T

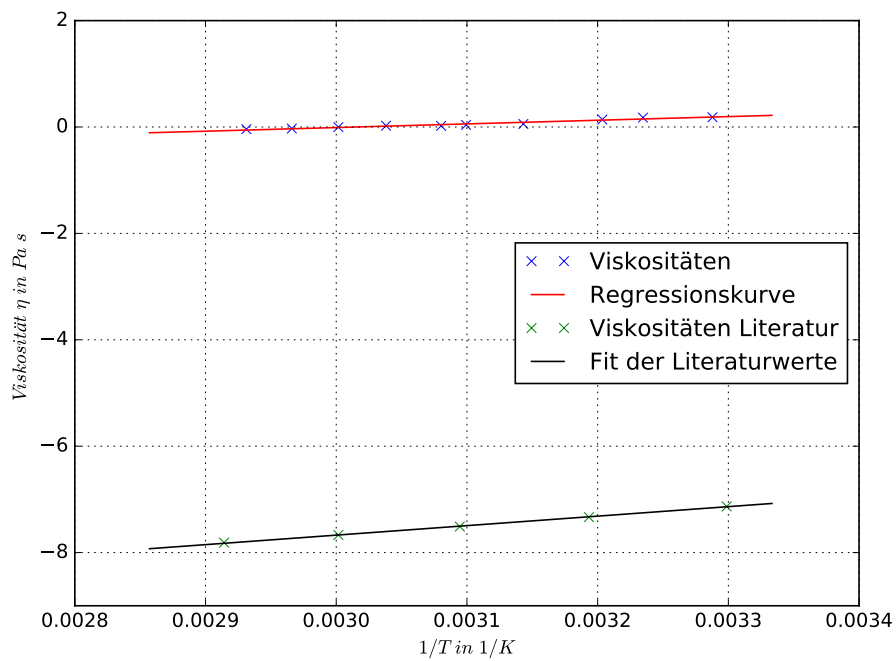


Abbildung 2: Viskositäten gegen $1/T$

2.2 Bestimmung der Konstanten A/B für die zeitabhängige Viskosität $\eta(T)$

In den beiden Abbildungen 1 und 2 sieht man einmal die Viskosität gegen T und einmal gegen $1/T$ aufgetragen. Zum Vergleich sind in beiden Graphen auch die Literaturwerte mit eingebunden. Die y - Skala ist dabei logarithmisch angepasst. Die Plots wurden mithilfe von Python erstellt und ergeben für A und B folgende Parameter:

$$A = 1.2651 \cdot 10^{-4} \quad (11)$$

$$B = 6.8567 \cdot 10^2 \quad (12)$$

Somit ergibt sich für die Andradesche Gleichung für die Temperaturabhängigkeit der Viskosität von destilliertem Wasser folgende Formel:

$$\eta(T) = 1.2651 \cdot 10^{-4} \cdot \exp\left(\frac{6.8567 \cdot 10^2}{T}\right) \quad (13)$$

2.3 Bestimmung der Reynoldszahl

Mithilfe der folgenden Formel für die Reynoldszahl kann bei dem vorliegenden Versuch beurteilt werden, ob es sich um eine laminare Strömung handelt.

$$R = \frac{\rho_w \cdot v \cdot d}{\eta} \quad (14)$$

Als kritische Zahl für Rohrströmungen gilt normalerweise ein Faktor von ca. 2300. Da für das d in diesem Fall jedoch nicht der Querschnitt der Strömung, sondern der Durchmesser der umströmten Kugel verwendet wird, halbiert sich dieser Wert zu $R_{krit} = 1150$.

Die Geschwindigkeit der Kugel für die verschiedenen Temperaturen lassen sich mit den gemessenen Fallzeiten in Tabelle 3 und der vorher bekannten Messtrecke von $S = 0.1$ m berechnen. Sie sind in der folgenden Tabelle eingetragen.

Tabelle 4: Geschwindigkeit der großen Kugel für verschiedene Geschwindigkeiten

v in $\left[\frac{m}{s}\right]$	0.145	0.146	0.152	0.166	0.169
Δv in $\left[\frac{m}{s} \cdot 10^{-5}\right]$	0	7.432	0.667	15.81	0
v in $\left[\frac{m}{s}\right]$	0.171	0.172	0.176	0.181	0.184
Δv in $\left[\frac{m}{s} \cdot 10^{-5}\right]$	11.77	0.849	10.79	4.749	4.882

Mit dem in (5) angegebenen Radius der Kugel und der Dichte von Wasser für die jeweiligen Temperaturen ergeben sich für die Reynoldszahlen nun folgende Werte:

Tabelle 5: Reynoldszahlen für die verschiedenen Temperaturen

<i>Temperatur</i> [°C]	31	36	9	45	49.5	51.5	56	60	64	68
R	18.8	19.0	20.5	24.2	25.0	26.0	25.8	27.1	28.6	29.2
ΔR	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

3 Auswertung

Wie man in den Abbildungen 1 und 2 erkennen kann, weichen die ermittelten Viskositäten für destilliertes Wasser deutlich von den Literaturwerten ab. Durch einen Fit der Literaturwerte an die Andradesche Gleichung ergeben sich die Parameter $A = 2.19 \cdot 10^{-6}$ und $B = 1.79 \cdot 10^3$. Im Durchschnitt weichen die Funktionen um ca. 0.000495Pas ab. Jedoch ist auch erkennbar, dass das Verhalten beider Funktionen sich ähnelt, somit kann ein systematischer Fehler bei diesem Experiment wohl ausgeschlossen werden.

Die ermittelten Reynoldszahlen lassen sich schlecht mit Literaturwerten vergleichen, da sie für jedes Experiment aufgrund der Abhängigkeiten von Apparaturwerten unterschiedlich sind. Allerdings sind die ermittelten Reynoldszahlen deutlich kleiner als der in Abschnitt 4.2 angegebene kritische Wert $R_{krit} = 1150$. Somit handelt es sich mit einer ziemlich großen Sicherheit bei dem beobachteten Experiment um laminare Strömungen.

Die entstandenen Abweichungen für die Viskositäten sind vermutlich auf statistischen Fehler zurückzuführen. Ein großer Faktor war vermutlich die Zeitmessung bei dem Experiment. Hier ist einerseits die menschliche Reaktionszeit mit einzubeziehen und andererseits ist die gemessenen Zeiten auch davon abhängen, ob man beim Start und Ende jeder Messung jeweils den selben Referenzpunkt der Kugel beobachtet.