Experiment 1 — Viskosität nach Hagen-Poiseuille

Grundlagen

Viskosität η beschreibt den inneren Reibungswiderstand einer Flüssigkeit beim Fließen. Zwischen zwei Platten mit Abstand x, Fläche A und relativer Geschwindigkeit v gilt:

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

Je größer η, desto „zähflüssiger“ ist das Medium. In einer Röhre fließt die Flüssigkeit aufgrund eines Druckgefälles $\Delta p = p_1 - p_2$. Der Volumenstrom folgt dem Hagen-Poiseuille-Gesetz:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \eta l}$$

Für das Kapillarviskosimeter nach Hagen-Poiseuille entsteht das Druckgefälle durch die hydrostatische Höhe h der Flüssigkeitssäule:

$$\Delta p = \rho g h$$

Damit ergibt sich für die Viskosität: $$

$$ wobei a die Gerätekonstante ist. Die Viskosität hängt stark von der Temperatur ab → bei höheren T wird sie kleiner.

Durchführung

Vorbereitung: Destilliertes Wasser in Messzylinder (≈ ⅔ voll) füllen. Temperatur T messen. Dichte ρ mit Aräometer bestimmen.

Aufbau:

- Viskosimeter senkrecht über einem Becherglas auf Laborhebebühne platzieren.
- Unteres Ende der Kapillare ca. 1 cm in das Wasser eintauchen.
- Schlauch mit Ventil und Peleusball anschließen.

Füllen des Viskosimeters:

- Ventil öffnen, Peleusball leicht zusammendrücken, dann langsam loslassen → Wasser steigt.
- Wenn die obere Blase erreicht ist, Ventil schließen und Ball abnehmen.

Messung:

- Höhen h_1 und h_2 von M_1 und M_2 zur Wasseroberfläche messen →

$$\acute{h} = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

(Mit zwei Linealen → Parallaxefehler vermeiden.)

- Ventil öffnen → Wasser sinkt.
- Wenn der untere Rand der kleinen Blase erreicht ist → Zeit starten.
- Messung 10× bei Raumtemperatur wiederholen (n = 10).

Weitere Messungen:

- Je 10 Messungen bei ca. 50 °C und 35 °C.
- Für jede Temperatur $\bar{h}$ neu bestimmen.

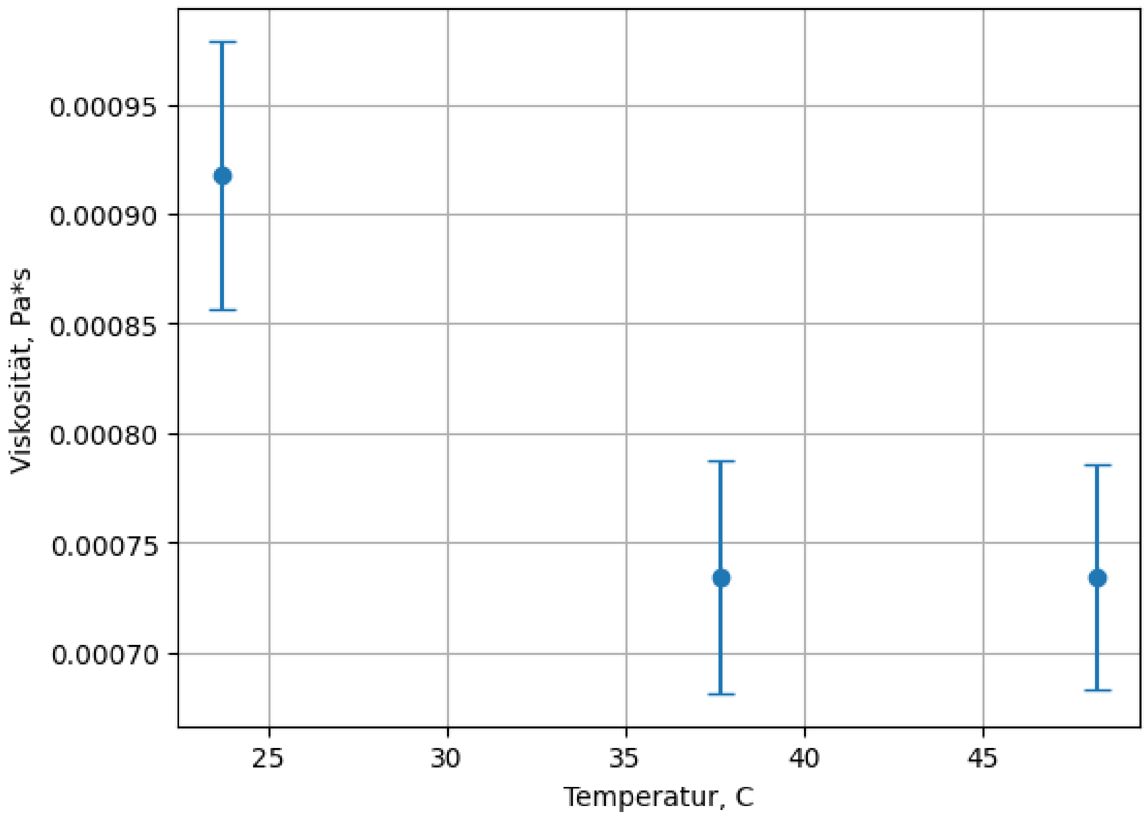
Messungen und Auswertung

```
import numpy as np
a = 5.1 * 10**-7 #m/s^2
delta_a_rel = 0.02
T_1 = 23.7 #°C
rho = 0.998 #g/cm^3
h_1 = 23.1 #cm, vom Boden
h_2 = 18 #cm, vom Boden
h_Wasser = 2.8 #cm, vom Boden
H = (h_1 + h_2 - 2 * h_Wasser) / 2
t = [10.25, 10.02, 9.99, 10.11, 10.22, 10.35, 9.92, 10.18, 10.18,
10.37] #s
t = np.array(t)
mu_t = np.mean(t)
delta_t = 0.3 #s
delta_H = 1 #s
delta_rho = 0.001 #g/cm^3
eta_1 = a * (H / 100) * mu_t * (rho * 1000)
delta_eta_1 = np.sqrt(0.02**2 + (delta_H / H) ** 2 + (delta_t / mu_t)
** 2 + (delta_rho / rho) ** 2) * eta_1
print("eta_1:", eta_1, "delta_eta_1:", delta_eta_1)
etas = []
etas.append(eta_1)
delta_eta = []
delta_eta.append(delta_eta_1)
T_2 = 48.2 #°C
h_1 = 23.2 #cm, vom Boden
h_2 = 18.2 #cm, vom Boden
h_Wasser = 3 #cm, vom Boden
H = (h_1 + h_2 - 2 * h_Wasser) / 2
t = 8.15 #s
delta_t = 0.3 #s
delta_H = 1 #s
delta_rho = 0.001 #g/cm^3
eta_2 = a * (H / 100) * t * (rho * 1000)
delta_eta_2 = np.sqrt(0.02**2 + (delta_H / H) ** 2 + (delta_t / t) **
```

```
2 + (delta_rho / rho) ** 2) * eta_2
print("eta_2:", eta_2, "delta_eta_2:", delta_eta_2)
etas.append(eta_2)
delta_eta.append(delta_eta_2)

T_3 = 37.7
h_1 = 23 #cm, vom Boden
h_2 = 17.9 #cm, vom Boden
h_Wasser = 3 #cm, vom Boden
t = 8.47 #s
delta_t = 0.3 #s
delta_H = 1 #s
delta_rho = 0.001 #g/cm^3
eta_3 = a * (H / 100) * t * (rho * 1000)
delta_eta_3 = np.sqrt(0.02**2 + (delta_H / H) ** 2 + (delta_t / t) **
2 + (delta_rho / rho) ** 2) * eta_3
print("eta_3:", eta_3, "delta_eta_3:", delta_eta_3)
etas.append(eta_2)
delta_eta.append(delta_eta_3)
etas, delta_eta = np.array(etas), np.array(delta_eta)
import matplotlib.pyplot as plt
ita = etas
ita_err = delta_eta
temp = np.array([23.7, 48.2, 37.7])
plt.errorbar(temp, ita, yerr=ita_err, fmt='o', capsize=5,
label='Abhängigkeit der Viskosität von Temperatur')
plt.ylabel('Viskosität, Pa*s')
plt.xlabel('Temperatur, C')
plt.grid()
plt.show()
```

```
eta_1: 0.00091780418805 delta_eta_1: 6.1204712328042e-05
eta_2: 0.0007342290989999999 delta_eta_2: 5.164662345331188e-05
eta_3: 0.0007630577262 delta_eta_3: 5.312684587380036e-05
```



Experiment 2 — Oberflächenspannung nach der Abreißmethode

Grundlagen

- Moleküle im Inneren einer Flüssigkeit erfahren Kräfte in alle Richtungen → Kräfte heben sich auf. Moleküle an der Oberfläche haben nur Nachbarn im Inneren → resultierende Kraft zieht sie nach innen. → Das führt zu einer Oberflächenspannung (N/m). Sie ist die Arbeit pro Flächenzunahme:

$$\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta A}$$

Beim Abreißverfahren (Lenard-Methode): Eine Flüssigkeitslamelle wird an einem Ring oder Bügel gebildet und gedehnt, bis sie abreißt. Kurz vor dem Abreißen zeigt die Federwaage die maximale Kraft F. Für einen Ring mit Durchmesser D:

$$\sigma = \frac{F}{2\pi D}$$

Messungen und Auswertung

```python
import numpy as np
D = 6 #cm
delta_D = 0.1 #cm
F = np.array([0.026, 0.021, 0.017, 0.018, 0.017, 0.017, 0.018, 0.017,
0.018, 0.019]) #N
mu_F = np.mean(F)
std_F = np.std(F)
delta_F = 0.001
sigma = mu_F / (2 * np.pi * (D / 100))
delta_sigma = np.sqrt(delta_F**2 + delta_D**2) * sigma
print(sigma, delta_sigma)
print(std_F)
```

```
0.04986854883546055 0.004987104220056975
0.00267581763205193
```