

Viskosimeter

## Kugelfall Viskosimeter nach Höppler

Frederik Zielke  
frederik.zielke@tu-dortmund.de

Lennart Völz  
lennart.voelz@tu-dortmund.de

Durchführung: 22.11.2022

Abgabe: 29.11.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Vorbereitungsaufgaben</b>	<b>3</b>
2.1	Wann wird eine Strömung als "laminar" bezeichnet? . . . . .	3
2.2	Dynamische Viskosität von Wasser als Funktion der Temperatur . . . . .	3
2.3	Die Dichte von destilliertem Wasser . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
3.1	Kräfte . . . . .	3
3.2	Viskosität . . . . .	3
3.3	Fehlerrechnung . . . . .	4
3.3.1	Berechnung des Arithmetischen Mittelwerts . . . . .	4
3.3.2	Standardabweichung des Mittelwerts . . . . .	4
3.3.3	Empirische Standardabweichung . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Veruchsaufbau und Durchführung</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Auswertung</b>	<b>6</b>

# 1 Zielsetzung

Ziel des Versuches ist es, die Viskosität von destilliertem Wasser in Abhängigkeit der Temperatur zu ermitteln. Außerdem soll mithilfe der Reynoldsschen Zahl ermittelt werden, ob die Strömung an der Kugel laminar ist.

## 2 Vorbereitungsaufgaben

### 2.1 Wann wird eine Strömung als "laminar" bezeichnet?

Als laminare Strömung wird wirbelfreie Bewegung von Flüssigkeiten mit unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten bezeichnet. Die Flüssigkeit strömt also in Schichten, die sich nicht vermischen.

### 2.2 Dynamische Viskosität von Wasser als Funktion der Temperatur

In keiner der angegebenen Literaturen war eine temperaturabhängige Funktion der Viskosität von Wasser zu finden. Allgemein lässt sich der Zusammenhang aber mit der Andradsschen Gleichung (5) beschreiben.

### 2.3 Die Dichte von destilliertem Wasser

Die Literatur gibt die Dichte von Wasser bei Raumtemperatur (20°C) mit  $0.998207 \text{ g/cm}^3$  an.

## 3 Theorie

### 3.1 Kräfte

Auf Körper die sich durch eine Flüssigkeit bewegen wirkt eine Reibungskraft  $\vec{F}$ , die der Bewegungsrichtung entgegengesetzt ist. Die Reibungskraft ist Abhängig von der Berührungsfläche A, der Geschwindigkeit  $v$  und der dynamischen Viskosität  $\eta$ . Die Stokessche Reibung wird durch

$$F_R = 6\pi\eta vr \quad (1)$$

angegeben.  $\vec{F}_R$  steigt mit zunehmender Geschwindigkeit, bis sich ein Gleichgewicht zwischen  $\vec{F}_R$ , der Schwerkraft  $\vec{F}_g$  und dem Auftrieb  $\vec{F}_A$  einstellt. Auftriebs- und Reibungskraft wirken der Schwerkraft entgegen.

### 3.2 Viskosität

$$\eta = K \cdot (\rho_k - \rho_{Fl}) \cdot t \quad (2)$$

mit

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Für die Auswertung nach K umstellen:

$$\Leftrightarrow K = \frac{\eta}{(\rho_K - \rho_{Fl}) \cdot t} \quad (4)$$

$$\eta(T) = A \cdot e^{\left(\frac{B}{T}\right)} \quad (5)$$

$$\eta(T) = \eta_o \cdot \exp\left(\frac{E_A}{R \cdot T}\right) \quad (6)$$

### 3.3 Fehlerrechnung

#### 3.3.1 Berechnung des Arithmetischen Mittelwerts

$$\bar{x}_{arithm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (7)$$

#### 3.3.2 Standardabweichung des Mittelwerts

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_{arithm})^2} \quad (8)$$

#### 3.3.3 Empirische Standardabweichung

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_{arithm})^2} \quad (9)$$

## 4 Versuchsaufbau und Durchführung

Für die Versuchsdurchführung wird ein Kugelfall-Viskosimeter nach Höppler benötigt. Das Viskosimeter besteht aus einem Zylinder, in den Wasser eingefüllt ist. In diesen ist zentral eine Röhre mit drei Messmarkierungen im Abstand von 5 cm eingefasst. Das Viskosimeter ist um 180° drehbar. Das Wasser in dem äußeren Zylinder kann über ein externes Thermostat erhitzt werden. Mit der Libelle und den verstellbaren Füßen lässt sich das Viskosimeter justieren, um eine eventuelle Schiefelage zu korrigieren. In die Röhre wird Wasser eingefüllt. Hierbei ist zu beachten, dass sich keine sichtbaren Luftbläschen bilden. Damit keine Wirbel entstehen ist es wichtig, dass das Fallrohr leicht schräg ist, damit die Kugel an der Wand herunterrutscht und nicht anschlägt.

Im ersten Teil des Experiments soll die Viskosität von Wasser bei Raumtemperatur bestimmt werden. Hierzu werden 2 verschiedene Kugeln verwendet. Als erstes werden

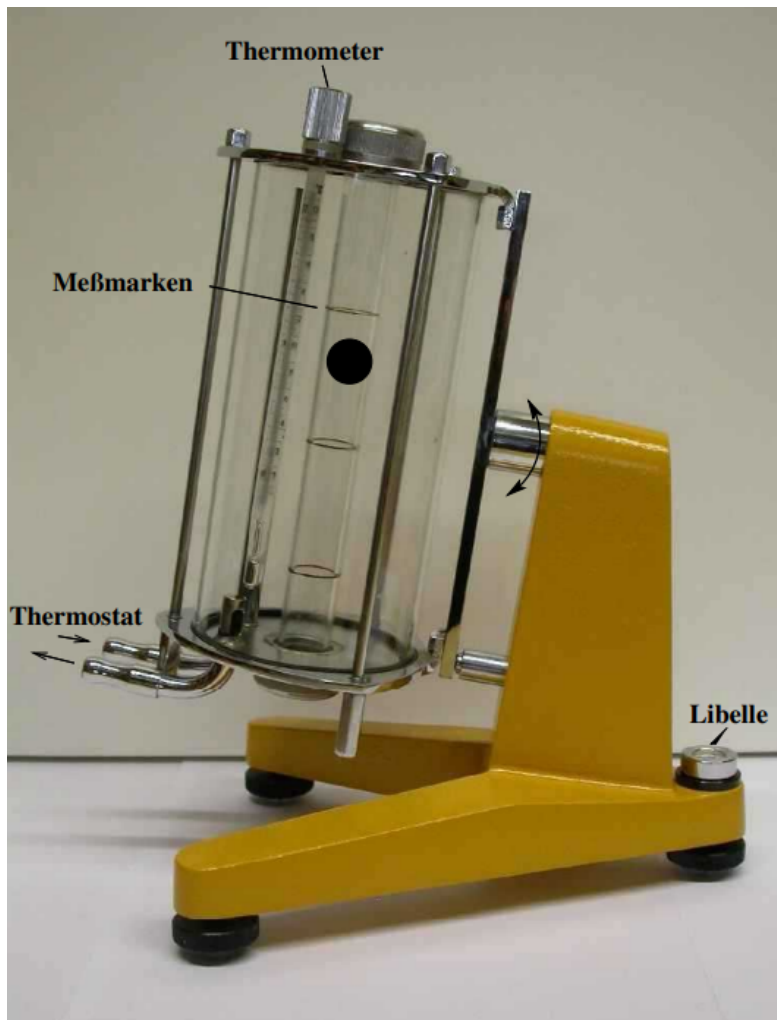


Abbildung 1: Höppler-Viskosimeter

die Kugeldurchmesser der kleinen und großen Kugel mit einer Schieblehre bestimmt und notiert.

Die Fallzeit, die die Kugel für 2 Markierungen, also eine Strecke von 10 cm, braucht wird für die kleine Kugel mit einer Stoppuhr gemessen und in einer Tabelle notiert. Ist die Kugel unten angekommen wird das Viskosimeter gedreht. Da das Viskosimeter bei uns in sich etwas schief war, also die Schräglage bei hoch und runter etwas anders war, haben wir die Zeiten als  $t_{runter}$  und  $t_{hoch}$  aufgenommen. Gemessen werden insgesamt 10 Durchgänge. Zu beachten ist, dass die Kugel zu Beginn der Zeitmessung schon eine konstante Geschwindigkeit hat. Deshalb sollte die Kugel vor Beginn der Zeitmessung schon 2-3cm "gefallen" sein.

Dieser Vorgang wird nun für die große Kugel 5x wiederholt, jedoch mit einer Strecke von 5 cm.

Im zweiten Teil soll nun die Viskosität von dest. Wasser in Abhängigkeit der Temperatur bestimmt werden. Dazu werden nun stufenweise verschiedene Temperaturen von 20°C bis 56°C eingestellt und jeweils 4 Messungen gemacht (2 hoch, 2 runter). Hierbei wird die große Kugel und eine Messstrecke von 5 cm verwendet.

## 5 Auswertung

$t_{hoch}$ [s]	$t_{runter}$ [s]
12,85	12,97
12,97	13,10
13,00	12,85
13,00	12,94
13,00	13,13
13,07	13,00
13,05	13,03
13,13	13,00
12,97	13,12
13,03	13,12

**Tabelle 1:** Fallzeiten der kleinen Kugel bei Raumtemperatur

$t_{hoch}$ [s]	$t_{runter}$ [s]
52.53	52.78
53.19	52.38
53.79	52.97
53.69	53.16
53.53	53.19

**Tabelle 2:** Fallzeiten der großen Kugel bei Raumtemperatur

Die mittlere Fallzeit kann mit 7 berechnet werden.

Gemittelte Fallzeiten kleine Kugel:

$$\begin{aligned}\bar{t}_{hoch} &= 13.007 \text{ s} \\ \bar{t}_{runter} &= 13.026 \text{ s} \\ \bar{t}_{gesamt} &= 13.0165 \text{ s}\end{aligned}$$

Große Kugel:

$$\bar{t}_{hoch} = 53.346 \text{ s} \quad (10)$$

$$\bar{t}_{hoch} = 52.896 \text{ s} \quad (11)$$

$$\bar{t}_{gesamt} = 53.121 \text{ s} \quad (12)$$

Mit den Werten der Tabelle 2 rechnen wir mit Formel 4 die Apparatekonstante  $K$  aus. Dafür muss zuerst  $\eta$  mit den Werten aus Tabelle 1 berechnen.

Der Fehler wird mit ?? berechnet. Der Wert für  $K_{KI}$  ist in der Aufgabenstellung gegeben.

$$\eta = 0.07640 \frac{\text{mPacm}^6}{g} \quad (13)$$

$T[^\circ\text{C}]$	$t_{runter}[\text{s}]$	$t_{hoch}[\text{s}]$
27.5	47.5	46
27.5	45	43.97
29	43.47	42.97
29	44.13	42.81
30.5	42.19	41.59
30.5	42.4	41.34
32	41.69	41.12
32	41.91	40.66
39.5	36.03	35.15
39.5	35.41	35.53
47	32.18	31.03
47	31.66	30.79
50	30.38	29.97
50	29.91	29.34
52	28.63	28.22
52	28.91	28.22
56	27.03	26.53
56	26.88	26.85

**Tabelle 3:** Fallzeiten der großen Kugel bei steigender Temperatur