

V207

Das Kugelfall-Viskosimeter nach Höppler

Amelie Hater
amelie.hater@tu-dortmund.de

Ngoc Le
ngoc.le@tu-dortmund.de

Durchführung: 14.11.2023

Abgabe: 21.11.2023

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
2.1 Kugelfallviskosimeter nach Höppler	3
2.2 Vorbereitungsaufgaben	4
3 Durchführung	5
4 Auswertung	5
4.1 Bestimmung der Viskosität von Wasser	5
4.2 Bestimmung der Apparutkonstante	5
4.3 Bestimmung der Reynoldsen Zahl	5
4.4 Temperaturabhängigkeit der Viskosität	5

1 Zielsetzung

Das Ziel des Versuches ist die Temperaturabhängigkeit der dynamischen Viskosität von destilliertem Wasser zu bestimmen. Dazu wird das Kugelfallviskosimeter nach Höppler verwendet. Außerdem wird die Reynoldszahl berechnet und benutzt, um herauszufinden ob es sich bei der Strömung um laminare oder turbulente handelt.

2 Theorie

Bewegt sich ein Körper durch ein Medium hindurch, wirkt eine Reibungskraft \vec{F}_R , die unter anderem von der Berührungsfläche und der Geschwindigkeit des Körpers abhängt. Je nach Strömungsart kann diese Kraft unterschiedliche Abhängigkeiten haben, bei dem Kugelfallviskosimeter nach Höppler ist von einer laminaren Strömung auszugehen. Dies wird in der Auswertung durch die Berechnung der Reynoldszahl überprüft. Eine experimentspezifische Reynoldszahl über ca. 2300 weist auf eine turbulente Strömung hin, eine die darunter liegt auf eine laminare Strömung. Die Reynoldszahl berechnet sich über

$$Re = \frac{\rho_M \cdot \bar{v} \cdot d}{\eta} . \quad (1)$$

Dabei bezeichnet ρ_M die Dichte des Mediums, \bar{v} die mittlere Geschwindigkeit des Körpers, d die eine charakteristische Länge (beim Kugelfallviskosimeter ist dies der Durchmesser der Röhre) und η die dynamische Viskosität des Mediums.

Die Reibungskraft ist bei laminarer Strömung die Stokessche Reibung

$$\vec{F}_R = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot v \cdot r , \quad (2)$$

hier bereits an die Symmetrie einer Kugel mit Berührungsfläche $A = 6 \cdot \pi \cdot r$ angepasst, wobei r der Radius der Kugel ist, η ist die dynamische Viskosität des Mediums, eine Materialkonstante, v ist die Fallgeschwindigkeit des Körpers.

2.1 Kugelfallviskosimeter nach Höppler

Die beschriebene Theorie ist die Grundlage der Funktionalität des Viskosimeters nach Höppler. Es besteht aus einem geschlossenen Glaszylinder, welcher mit einer leichten Neigung am Fuß befestigt ist. Dieser Zylinder ist um 180° drehbar. Innerhalb des Zylinders ist Wasser, welches durch Schläuche mit ein Thermostat verbunden ist, welches das Wasser aufheizen kann. Durch den Zylinder führt eine Glasröhre, die von außen durch Stöpsel verschlossen werden kann. Auf der Glasröhre sind 3 Striche, die jeweils einen Abstand von 5 cm haben. In die innere Röhre kann ein Medium und eine Kugel eingefüllt werden. Diese können durch das umliegende Wasser mit dem Thermostat erwärmt werden. Dadurch werden Wirbel im inneren Medium vermieden. Bei diesem Experiment hat die größere verwendete Kugel näherungsweise den Durchmesser der Röhre. Die leichte Neigung der Apparatur wurde gewählt, um die unkontrollierte Bewegung zu vermeiden, die bei

einer senkrecht herabfallen Kugel entstehen würde. Auf die herabfallende Kugel wirken während des Falls drei Kräfte: Die Gravitationskraft $\vec{F}_G = m \cdot \vec{g}$, die die Kugel nach unten beschleunigt, die Auftriebskraft \vec{F}_A und die Reibungskraft \vec{F}_R . Die Reibungskraft und Auftriebskraft wirken entgegengesetzt zur Schwerkraft. Aufgrund der Kräfte beschleunigt die Kugel im Medium zuerst bis sie eine konstante Endgeschwindigkeit erreicht, wenn sich das Kräftegleichgewicht $\vec{F}_G = \vec{F}_A + \vec{F}_R$ eingestellt hat. Die Viskosität η kann durch diese empirische Formel

$$\eta = K \cdot (\rho_K - \rho_M) \cdot t \quad (3)$$

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

beschrieben werden. K ist dabei eine Proportionalitätskonstante, ρ_K die Dichte der Kugel und ρ_M die Dichte des Mediums. Die Dichte der Kugel kann durch die Formel

$$\rho_K = \frac{m_K}{V_K} \quad (5)$$

bestimmt werden, wo bei m_K die Masse der Kugel ist und V_K das Volumen der Kugel. Das Volumen kann aus dem Durchmesser d_K durch

$$V_K = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_K}{2}\right)^3 \quad (6)$$

berechnet werden.

2.2 Vorbereitungsaufgaben

Wann bezeichnet man eine Strömung als "laminar"?

Eine Strömung ist dann laminar, wenn die einzelnen benachbarten Schichten des Mediums ohne sich gegenseitige Störung aneinander vorbeibewegen und keine Wirbel entstehen.

Wie lautet die Dichte und die dynamische Viskosität von destilliertem Wasser als Funktion der Temperatur?

Die Dichte von destilliertem Wasser kann unterhalb von 100 °C nicht als temperaturabhängige Formel beschrieben werden. Die Dichte bei 20 °C beträgt $998.207 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. (Quelle ist <https://studyflix.de/chemie/dichte-wasser-1574>)

Außerdem gibt es auch keine spezielle Funktion für die dynamische Viskosität von destilliertem Wasser, die Andradesche Gleichung

$$\eta(T) = A \cdot e^{\frac{B}{T}} \quad (7)$$

gilt auch für destilliertes Wasser. A und B sind Konstanten und T ist die Temperatur in Kelvin.

3 Durchführung

Zuerst wird die Dichte zweier Glaskugel mithilfe von Gleichung (5) bestimmt. Dazu wird der Durchmesser gemessen und das Volumen daraus bestimmt. Mithilfe der durch den Übungsleiter bekannte Masse wird danach die Dichte berechnet. Anschließend wird der Fuß des Viskosimeters mithilfe der Libelle waagerecht ausgerichtet. Danach wird das Viskosimeter mit destilliertem Wasser gefüllt und die Kugel hineingegeben. Dabei ist darauf zu achten, dass sich keine kleinen Luftblasen am Rand oder an der Kugel absetzen. Falls diese auftreten, sollten sie mithilfe eines Glasstabes vorsichtig entfernt werden.

4 Auswertung

4.1 Bestimmung der Viskosität von Wasser

Mit der gegebenen Masse $m_{\text{kl}} = 4.4531 \text{ g}$ und dem gemessenen Durchmesser der kleinen Glaskugel $d_{\text{kl}} = (1.5570 \pm 0.0010) \text{ cm}$ erhält man durch das Einsetzen in die Gleichung (5) und in die Gleichung (6) für die Dichte

$$\rho_{\text{kl}} = (2.253 \pm 0.004) \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Anhand von Gleichung (3) wird die Viskosität von Wasser bei Raumtemperatur bestimmt.

$$\eta_{\text{Hoch}} = 1.170 \pm 0.013 \text{ mPa} \cdot \text{s}$$

$$\eta_{\text{Runter}} = 1.164 \pm 0.011 \text{ mPa} \cdot \text{s}$$

4.2 Bestimmung der Apparutkonstante

4.3 Bestimmung der Reynoldsschen Zahl

4.4 Temperaturabhängigkeit der Viskosität

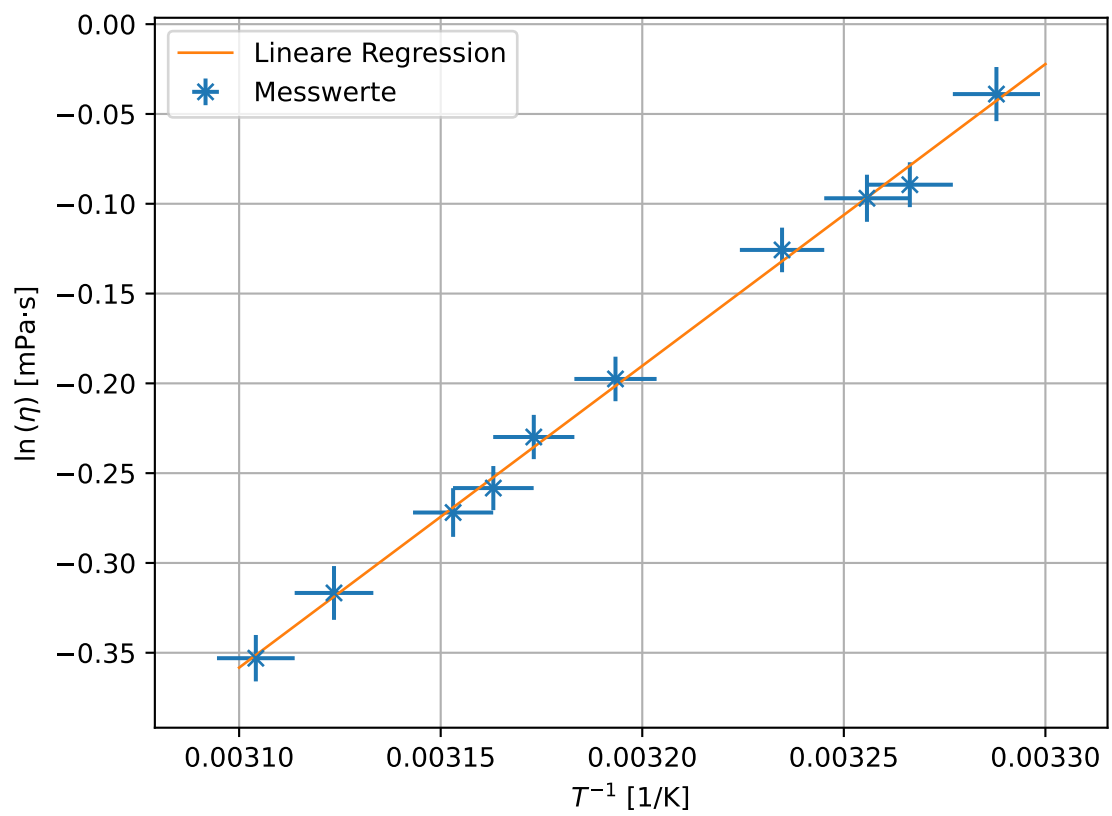


Abbildung 1: Plot.