

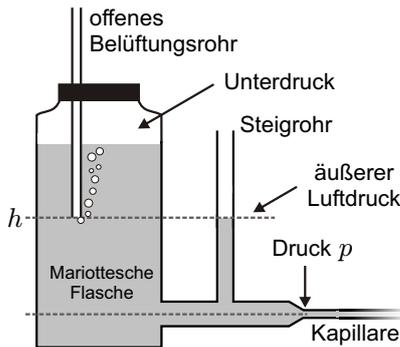
# V2: Viskosität von Flüssigkeiten

PRAKTISCHE ÜBUNGEN IN PHYSIK FÜR MEDIZINER, ZAHNMEDIZINER UND BIOLOGEN

PHYSIKALISCHE ÜBUNGEN FÜR PHARMAZEUTEN

STAND: 9. APRIL 2021

## MARIOTTESCHE FLASCHE



**Abbildung 1:** MARIOTTESche Flasche zur Aufrechterhaltung eines konstanten Drucks und somit einer gleichmäßigen Fließgeschwindigkeit aus einem Behälter.

Der Druck  $p$  am Eingang der Kapillare ist durch den Schweredruck  $p = \rho g h$  gegeben, wobei  $\rho$  die Dichte der Flüssigkeit bezeichnet,  $g$  die Erdbeschleunigung und  $h$  die Höhendifferenz zwischen der unteren Öffnung des Belüftungsrohres und der Kapillare. Die MARIOTTESche Flasche ist betriebsbereit, wenn das Belüftungsrohr mit Luft gefüllt ist und Blasen aufsteigen.

## VISKOSITÄT

Als Viskosität bezeichnet man die Zähflüssigkeit einer Flüssigkeit. Je höher die Viskosität, desto zäher ist die Flüssigkeit. Die Einheit der Viskosität ist „Pascal mal Sekunde“. „Pascal“ ist die Einheit des Drucks, also „Pascal = Kraft pro Fläche“. Die Einheit der Kraft ist „Newton“ und somit „Newton = kg m s<sup>-2</sup>“. In Kurzform:

$$\text{Pa s} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \text{ s} = \frac{\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{m}^2} \text{ s} = \frac{\text{kg}}{\text{m s}}$$

### I. BESTIMMUNG DER DICHTEN VON WASSER

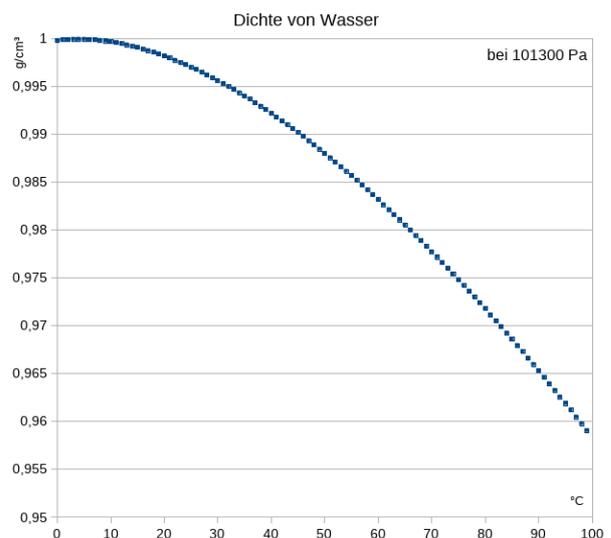
Die Dichte von Wasser ist unter anderem vom Luftdruck und der Temperatur abhängig und muss daher zu Versuchsbeginn bestimmt werden. Diese Bestimmung soll möglichst genau erfolgen, um den Wert im weiteren Verlauf wiederverwenden zu können (siehe Teil II.).

## VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Nutzen Sie einen Messbecher und die Waage und führen Sie eine Messung mit 100 ml und 300 ml zur Dichtebestimmung durch. Für die Messung kann der Tropfschutz (Violetter Filz) entfernt werden. Stellen Sie den Messbecher zunächst ungefüllt auf die Waage, um TARA zu drücken und auf die Nullung zu warten. Achten Sie darauf den Messbecher zum Befüllen von der Waage herunterzunehmen (warum?), und möglichst unabhängige Messergebnisse zu produzieren.

## VERSUCHSAUSWERTUNG

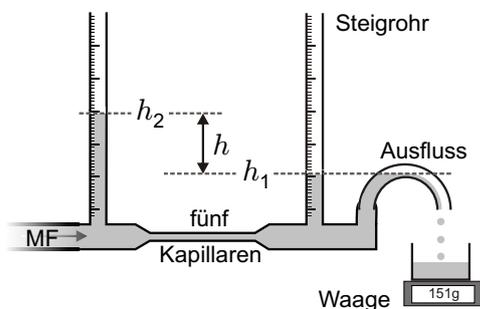
Bestimmen Sie die Dichte  $\rho_{\text{H}_2\text{O},100 \text{ ml}}$  und  $\rho_{\text{H}_2\text{O},400 \text{ ml}}$  und den jeweiligen Fehler mit Hilfe der Maximalwertabschätzung. Nutzen Sie zum Vergleich den Literaturwert den sie aus dem Diagramm (Abb. 2) ablesen können. Wie groß ist der Fehler der Dichte den Sie ignorieren, wenn Sie die Dichte nicht zum Versuchsbeginn bestimmen, sondern den Literaturwert nutzen? Bewerten Sie weiterhin welche Dichtemessung im weiteren Verlauf verwendet werden sollte.



**Abbildung 2:** Zusammenhang der Wasserdichte von der Temperatur für einen Normdruck von 101 300 Pa.

## II. BESTIMMUNG DER LÄNGEN UNTERSCHIEDLICHER KAPILLAREN

### VERSUCHSAUFBAU



**Abbildung 3:** Das Wasser aus einer MARIOTTESchen Flasche (MF) wird wahlweise durch eine der fünf unterschiedliche Kapillaren geleitet.

Gemäß dem Gesetz von Hagen und Poiseuille gilt für die Volumenstromstärke  $I$  bei laminarer Strömung durch eine Kapillare (Länge  $l$ , Radius  $r$ ):

$$I = \frac{V}{t} = \frac{\pi r^4 p}{8 \eta l} \quad (1)$$

mit der Viskosität  $\eta$  und der Druckdifferenz  $p$  zwischen den beiden Enden der Kapillare.

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Messen Sie für jede Kapillare die Durchflussmenge für  $t = 100$  s (leeres Becherglas auf Waage, Tara drücken, Durchflussmenge messen, gefülltes Becherglas wiegen). Für jede Kapillare messen Sie  $h_2$  und  $h_1$ . Lassen Sie vor jeder Messung Wasser in ein anderes Gefäß abfließen, bis Blasen in der MARIOTTESchen Flasche aufsteigen. Erst dann ist der Druck am Eingang der Kapillare stabil

### VERSUCHSAUSWERTUNG

Stellen Sie Gl. 1 nach  $l$  um und berechnen Sie die Längen der Kapillaren aus Ihren Messwerten. Die Viskosität von Wasser lesen Sie am Graphen an der Tafel ab. Die Radien der Kapillaren sind auf der Apparatur angegeben.

Stellen Sie die Formel für die Fehlerrechnung auf (statistischer Fehler, Gleichung (4) im Dokument „A2: Unsicherheiten und Fehlerbetrachtung“) und geben Sie die einzelnen Summanden unter der Wurzel gesondert an. Die Messungenauigkeit welchen Parameters dominiert die Messunsicherheit Ihres Ergebnisses? Führen Sie nun mit dem dominierenden Term die Fehlerrechnung für alle Messungen durch.

## III. KUGELFALLVISKOSIMETER

Da dieser Versuchsteil aufgrund der aktuellen Kontaktbeschränkungen leider nicht in Präsenz durchführbar ist, greifen Sie bitte auf das bereitgestellte Video zurück.

Die Versuchsanleitung ist ebenfalls online verfügbar.

### III. KUGELFALLVISKOSIMETER

In diesem Versuchsteil wird die Konzentration von fünf verschiedenen Glycerin-Wasser Gemischen bestimmt.

#### Hintergrundinformationen:

- Die Temperatur der Flüssigkeiten ist jeweils  $(21,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}$
- Die Kugel aus 1.3505-Chromstahl hat einen Durchmesser von  $(1,0000 \pm 0,0007)$  mm
- Das Glasrohr hat einen Außendurchmesser von  $(30,0 \pm 0,5)$  mm und eine Wandstärke von  $(1,70 \pm 0,17)$  mm.
- Da das Rohr nicht unendlich ausgedehnt ist, muss man die Reibung nach Stokes mit einer Korrektur versehen:

$$F_R = 6\pi\eta vr \cdot \left(1 + 2,1 \cdot \frac{r}{R}\right)$$

#### Laborbucheintrag und Auswertung

- Bestimmen Sie aus dem Video die Sinkgeschwindigkeiten der Kugel in den fünf verschiedenen Mischungen.
- (Ab hier können Sie auf eine Fehlerrechnung verzichten)
- Für die Auswertung benötigen Sie zum einen Informationen über die Dichte von Glycerin-Wasser Mischungen bei verschiedenen Temperaturen. Fertigen Sie eine Dichtetabelle für 100%, 95%, 90%, 85%, 80%, 75%, 70%, 60% und 50% Glycerin (Massenkonzentration) an.  
Es gibt diverse Veröffentlichungen hierzu, als Beispiel sei die hinterlegte Veröffentlichung [1] genannt. Diese referenziert für Tabelle 1 ein Datenblatt von Dow-Chemical, das leider nicht mehr verfügbar ist ( $\Rightarrow$  soviel zu flüchtigen Internetquellen!). Sie können für verschiedene Mischungsverhältnisse die Dichte bei  $21,5^\circ\text{C}$  aus dieser Tabelle interpolieren.  
Alternativ können Sie auch die Formel (9) aus der Veröffentlichung nutzen, um die Dichte in Abhängigkeit von Temperatur und molarem Mischungsverhältnis direkt zu berechnen.
- Zum anderen benötigen Sie Daten, welche die Viskosität der Mischung in Abhängigkeit von Konzentration und Temperatur geben. Erweitern Sie daher Ihre Tabelle um eine Spalte für

die jeweilige Viskosität.

Wiederum beispielhaft kann man dafür die Veröffentlichung [2] nutzen. Nach dieser berechnet man zunächst die Viskosität von Wasser und Glycerin bei  $T = 21,5^\circ\text{C}$  nach den dort genannten Formeln (21) und (22):

$$\mu_w = 1,79 \cdot e^{\left(\frac{(-1230-T) \cdot T}{36100+360 \cdot T}\right)} = 0,969 \text{ cP}$$

$$\mu_g = 12100 \cdot e^{\left(\frac{(-1233+T) \cdot T}{9900+70 \cdot T}\right)} = 1233 \text{ cP}$$

Die Viskosität der Mischungen bei der gegebenen Temperatur bestimmt sich dann nach Formel (6)

$$\mu = \mu_g e^{A \cdot \alpha} \quad ,$$

wobei der Parameter  $A$  aus dem Verhältnis der beiden Viskositäten berechnet wird und der Parameter  $\alpha$  temperaturabhängig aus dem Glycerinanteil folgt (Formel (11)):

$$A = \ln \frac{\mu_w}{\mu_g} = -7,149$$

$$\alpha = 1 - C + \frac{a \cdot b \cdot C \cdot (1 - C)}{a \cdot C + b \cdot (1 - C)}$$

Der Parameter  $C$  (massenbezogener Glycerinanteil) kann dabei von 0 bis 1 gehen. Die Parameter  $a$  und  $b$  sind temperaturabhängig (Formeln (12) und (13)) und bei der gegebenen Temperatur

$$a = 0,705 - 0,0017 \cdot T = 0,668$$

$$b = (4,9 + 0,036 \cdot T) \cdot a^{2,5} = 2,073$$

- Sie können nun aus den Daten der beiden Spalten Werte für die erwarteten stationären Sinkgeschwindigkeiten der verschiedenen Mischungsverhältnisse berechnen. Füllen Sie damit eine weitere Spalte.
- Bestimmen Sie die Mischungsverhältnisse in den fünf Rohren durch Interpolation in Ihrer Tabelle.

LITERATUR

- [1] Daniel R. Delgado, Fleming Martinez, Mohammad A. Abolghassemi Fakhree, Abolghasem Jouyban  
*Volumetric properties of the glycerol formal + water cosolvent system and correlation with the Jouyban-Acree model*  
Physics and Chemistry of Liquids, 50:3, 284-301 (2012)  
DOI: 10.1080/00319104.2011.584311
- [2] Nian-Sheng Cheng  
*Formula for the Viscosity of a Glycerol-Water Mixture*  
Industrial & Engineering Chemistry Research 2008 47 (9), 3285-3288  
DOI: 10.1021/ie071349z