

Aufgaben:

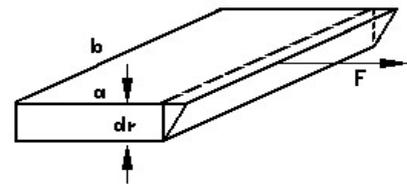
Die Viskosität η (Zähigkeit) (a) eines Öles ist nach der Kugelfallmethode, (b) einer Flüssigkeit ist mit dem OSTWALDTschen Viskosimeter zu bestimmen.

Achtung:

Nicht am Hahn des Ölgefäßes drehen. Gebrauchte Flüssigkeiten nicht in die Flasche zurückgießen!

Grundlagen:

Abb.:1:



Die Viskosität η lässt sich nach dem in Abb.1 dargestellten Flüssigkeitsmodell folgendermaßen definieren: Wirkt die Kraft F längs dem Rande b der Flüssigkeitsschicht $A = a \cdot b$, so bewegt sich die Schicht in Kraftrichtung und die benachbarten Parallelschichten werden infolge der zwischenmolekularen Anziehungskräfte mitgezogen. Das Verhältnis der sogenannten Schubspannung $\tau = F/A$ und dem Geschwindigkeitsgefälle dv/dr ist für hinreichend kleine Geschwindigkeiten v eine von der Temperatur abhängige Flüssigkeitskonstante, die Viskosität η genannt wird:

$$\eta = \frac{F}{\frac{A}{dv}} = \frac{\tau}{\frac{dv}{dr}}, \quad [\eta] = \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}, \quad 1 \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = 1 \text{Pa} \cdot \text{s}. \quad (1)$$

Die Größe η/ρ heißt kinematische Viskosität. (ρ = Dichte der Flüssigkeit)

I) Auf eine in einer Flüssigkeit fallenden Kugel wirken drei Kräfte (Abb.2) : Die Schwerkraft G , der Auftrieb F_A und die Reibungskraft F_R .



Abb.: 2)

$$G = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_K \cdot g \quad (2)$$

$$F_A = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_F \cdot g \quad (3)$$

ρ_K = Dichte der Kugel, ρ_F = Dichte der Flüssigkeit, r = Kugelradius, g = Erdbeschleunigung. Bewegt sich die Kugel in einer unendlich ausgedehnten Flüssigkeit, so verhält sich die Reibungskraft proportional zur Geschwindigkeit v und proportional zur Viskosität η der betreffenden Flüssigkeit:

$$F_R = A \cdot \eta \cdot v. \quad (4)$$

Der Faktor A beträgt nach dem STOKESchen Gesetz $6 \cdot \pi \cdot r$. Da F_R mit v anwächst, wird die anfangs beschleunigte Fallbewegung der Kugel in eine gleichförmige Sinkbewegung übergehen, sobald

$$F_R = G - F_A. \quad (5)$$

Daraus folgt als Bestimmungsgleichung der Viskosität:

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot g \cdot \frac{r^2}{v} (\rho_K - \rho_F). \quad (6)$$

II) Fließt eine Flüssigkeit durch eine Kapillare mit dem inneren Radius r und der Länge l , so beträgt das in der Zeit t ausgeflossene Flüssigkeitsvolumen V nach dem Gesetz von HAGEN und POISEUILLE:

$$\frac{V}{t} = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta p}{8 \cdot \eta \cdot l}. \quad (7)$$

$\Delta\rho$ ist die an den Enden der Kapillare herrschende Druckdifferenz, die bei vertikaler Anordnung

$$\Delta\rho = \rho \cdot g \cdot h \quad (8)$$

beträgt. (ρ = Dichte der Flüssigkeit, h = Flüssigkeitshöhe, g = Erdbeschleunigung)

Durchführung:

I) Die Geschwindigkeit v wird aus der Fallzeit der Kugeln zwischen zwei möglichst weit voneinander entfernten Marken bestimmt. Erst nach etwa 10cm Fallstrecke wird die Fallbewegung gleichförmig! Jede Messung ist etwa fünfmal durchzuführen, um einen brauchbaren Mittelwert berechnen zu können.

II) Das OSTWALDsche Viskosimeter wird zur Viskositätsbestimmung einer Flüssigkeit mit geringer Zähigkeit verwendet. Man misst die Zeit t , in der ein bestimmtes Flüssigkeitsvolumen V durch eine Kapillare fließt. Aus Gleichung (7) und (8) folgt:

$$\eta = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot t}{8 \cdot l \cdot V} = C \cdot \rho \cdot t$$

Zunächst wird die Apparatekonstante $C = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot g \cdot h}{8 \cdot l \cdot V}$

mit einer Flüssigkeit bekannter Viskosität η und bekannter Dichte ρ (Wasser) gemäß (9) ermittelt. Danach lässt sich (9) als Bestimmungsgleichung für η verwenden. Der Apparat ist mit der zu untersuchenden Flüssigkeit auszuspülen und am Stativ zu befestigen. Es werden genau 2ml Flüssigkeit eingefüllt. Dann wird mit dem Handgebläse die eingefüllte Flüssigkeit über die Marke M_1 gepumpt. Das Gebläse ist daraufhin zu entfernen und die Zeit t , in der die Flüssigkeit von M_1 auf M_2 absinkt, zu bestimmen.

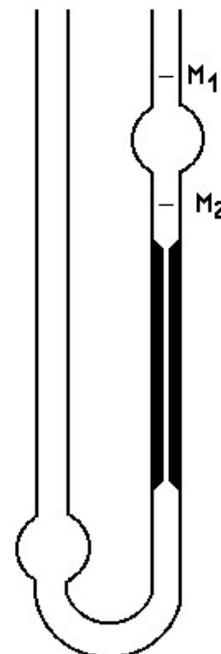


Abb.: 3

Bemerkungen: Die Viskosität ist im allgemeinen stark temperaturabhängig. Deshalb muss zu einer Viskositätsangabe stets die Temperatur hinzugefügt werden, bei der die Viskositätsbestimmung durchgeführt worden ist.

Angaben:

zu a)

Dichte der Kugeln: $\rho_K = 7,72 \frac{g}{cm^3}$,

Radius der Kugeln: $r = 1mm$,

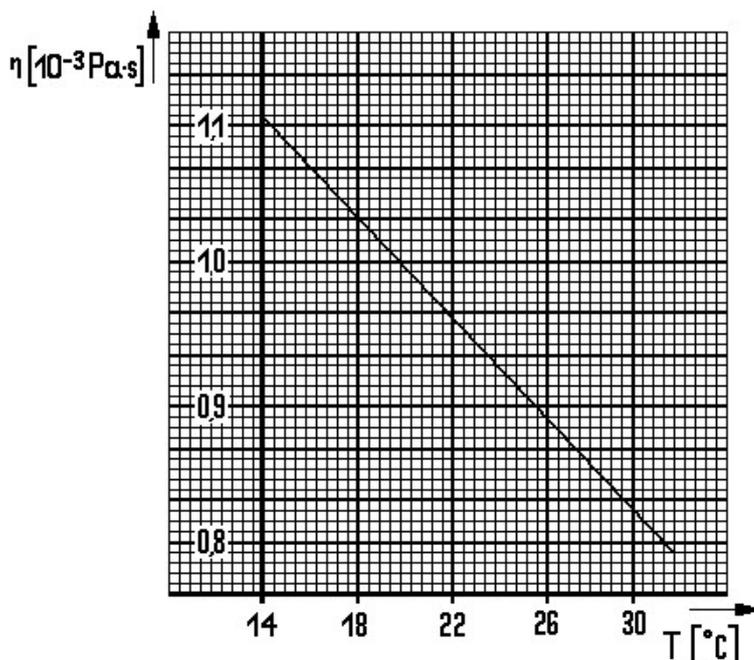
Erdbeschleunigung: $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$,

Dichte der Flüssigkeit: $\rho_F = 1,0207 \frac{g}{cm^3}$.

zu b)

Dichte der Flüssigkeit $\rho_F = 0,78 \frac{g}{cm^3}$.

$\eta = f(t)$ für H₂O (siehe Diagramm),



Literatur:

Gerthsen-Kneser-Vogel, Physiklehrbuch;
W. Walcher, Praktikum der Physik;