

Versuch M11 - Viskosität von Flüssigkeiten		
Name:		Mitarbeiter:
Gruppennummer:	lfd. Nummer:	Datum:

1. Aufgabenstellung

1.1. Versuchsziel

Bestimmen Sie die Viskosität einer Flüssigkeit mit dem Kugelfallviskosimeter nach HÖPPLER.

Verschaffen Sie sich Kenntnisse zu folgenden Schwerpunkten des Versuches:

- Modellvorstellungen zur Strömung von Flüssigkeiten
- innere Reibung, Viskosität
- Gesetz von HAGEN und POISEUILLE, Analogie zum OHMSchen Gesetz
- NEWTONSche Flüssigkeit
- Viskositätsbestimmung nach STOKES
- Prinzipielle Funktionsweise des verwendeten Gerätes.

1.2. Messungen

1.2.1. Messen Sie die Fallzeiten der Kugel im Öl bei Temperaturen $15^{\circ} \text{C} \leq T \leq 45^{\circ} \text{C}$ in Intervallen von $\Delta T = 5^{\circ} \text{C}$.

1.3. Auswertungen

1.3.1. Berechnen Sie die dynamische Viskosität des Öls, wenn seine Dichte $\rho = 960 \text{ kg m}^{-3}$ beträgt und die Dichte der Stahlkugel zu $\rho = 7850 \text{ kg m}^{-3}$ bestimmt wurde.

1.3.2. Stellen Sie die Werte in einer Tabelle dar. Zeichnen Sie ein $\eta(T)$ -Diagramm.

1.3.3. Zeichnen Sie ein Diagramm mit der x-Achse $\left(\frac{1}{T_K}\right)$ (T_K – absolute Temperatur) und

der y – Achse $\ln(\eta)$. Aus dieser annähernd linear verlaufenden Kurve sollen die Konstanten A und B entnommen werden, mit deren Hilfe sich die von der Temperatur abhängige Viskosität in analytischer Form wie folgt darstellen lässt:

$$\eta(T) = A \cdot e^{\frac{B}{T}} = A \cdot \exp\left(\frac{B}{T_K}\right).$$

2. Grundlagen

2.1. Dynamischen Viskosität

2.1.1. Gesetz von HAGEN und POISEUILLE und NEWTONSCHE Flüssigkeit

Damit eine viskose Flüssigkeit durch ein Rohr strömt, muss zwischen den Rohrenden eine Druckdifferenz herrschen. Eine mit nicht zu großer Geschwindigkeit durch ein zylindrisches Rohr strömende Flüssigkeit kann man sich in dünne, koaxiale Flüssigkeitsschichten unterteilt vorstellen. Die äußere, am Rohr anliegende Schicht bleibt infolge der Adhäsionskräfte zwischen den Molekülen des Wandmaterials und den Flüssigkeitsmolekülen haften und somit in Ruhe. Die weiter zur Rohrachse hin liegenden zylindrischen Schichten bewegen sich mit umso größerer Geschwindigkeit gegenüber der Rohrwand, je weiter sie von der Wand entfernt liegen. Solange benachbarte Schichten aneinander vorbeigleiten, ohne sich zu durchmischen, heißt diese Strömungsart **laminare Strömung**. Sie ist gekennzeichnet durch ein Geschwindigkeitsgefälle senkrecht zur Strömungsrichtung, wobei zwischen benachbarten Schichten Reibungskräfte auftreten, die von der Art der Flüssigkeit abhängen. Man nennt die Ursache für diese Erscheinung innere Reibung, Zähigkeit oder dynamische Viskosität der Flüssigkeit (oder des Gases). Die in der Zeiteinheit durch den Querschnitt eines zylindrischen Rohres strömende Flüssigkeitsmenge ist von geometrischen Parametern des Rohres und der inneren Reibung der Flüssigkeit abhängig. Nach HAGEN und POISSEUILLE beträgt das Flüssigkeitsvolumen V , das in der Zeit t durch ein Kapillarrohr der Länge l und dem Radius r strömt, wenn zwischen den Rohrenden eine Druckdifferenz Δp herrscht und mit η der Koeffizient der inneren Reibung oder die dynamische Viskosität der Flüssigkeit bezeichnet wird:

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

Bezeichnet man in Analogie zum OHMSCHEN Gesetz im elektrischen Stromkreis Δp als Ursache der Strömung und V/t als die Volumenstromstärke, so stellt

$$R_s = \frac{8 \eta l}{\pi r^4} = \frac{8 \pi \eta l}{A^2} \quad (2)$$

den Strömungswiderstand dar, mit A als Rohrquerschnitt. Wenn der Strömungswiderstand R_s konstant ist, d.h. wenn die dynamische Viskosität η nicht von der Stromstärke abhängt, spricht man von einer **NEWTONSCHEN Flüssigkeit**.

Gl. (1) lässt sich zur Bestimmung des Koeffizienten der inneren Reibung η benutzen:

$$\eta = \frac{\pi r^4}{8 l V} \Delta p t \quad . \quad (3)$$

Die SI-Einheit für die dynamische Viskosität ist $1 \text{ Pa s} = 1 \text{ Ns} / \text{m}^2$.

2.1.2. Bestimmung der Viskosität nach STOKES

Die Messung der Viskosität von Flüssigkeiten kann man auf zweierlei Art vornehmen:

- Einmal aus der Bestimmung der Durchflusszeiten der zu untersuchenden Flüssigkeit durch ein Kapillarrohr in einem OSTWALDSCHEN Kapillarviskosimeter,
- zum anderen aus der Sinkgeschwindigkeit einer Kugel in der zu untersuchenden Flüssigkeit auf der Grundlage des STOKESSCHEN Gesetzes.

Die innere Reibung macht sich immer bemerkbar, wenn Flüssigkeitsschichten mit unterschiedlicher Geschwindigkeit aneinander vorbei gleiten. Lassen wir eine kleine Glaskugel in einer zähen Flüssigkeit fallen, so bewegt sich die an der Kugel haftende Flüssigkeitshaut gegen die ruhende Flüssigkeit. Die auftretenden Reibungskräfte sind also nur durch innere Reibung der Flüssigkeit bedingt.

Fällt eine Kugel der Dichte ρ in einem weiten, mit einer zähen Flüssigkeit der Dichte ρ' gefüllten Gefäß, so wirken auf die Kugel drei Kräfte: die Schwerkraft G , der Auftrieb A , den die Kugel in der Flüssigkeit gemäß dem ARCHIMEDISCHEM Prinzip erfährt und die Reibungskraft R , welche sich nach dem STOKESSCHEN Gesetz ergibt:

$$R = 6\pi \eta r v \quad (4)$$

(η = Koeffizient der inneren Reibung oder dynamische Viskosität, r = Radius der Kugel, v = Geschwindigkeit der Kugel in der Flüssigkeit.)

Der Auftrieb A ist gleich dem Gewicht der von der Kugel verdrängten Flüssigkeitsmenge:

$$A = \frac{4\pi}{3} r^3 \rho' g \quad (5)$$

Gewichtskraft G und Auftriebskraft A wirken gegeneinander. Die Reibungskraft R wächst proportional zur Geschwindigkeit der Kugel, die nur solange beschleunigt fällt, bis ihre Geschwindigkeit v den Wert erreicht hat, bei dem Kräftegleichgewicht eintritt: $G - A = R$. Dann bewegt sich die Kugel kräftefrei und gemäß dem Trägheitsgesetz mit konstanter Geschwindigkeit v . Es gilt also:

$$6\pi \eta r v = \frac{4\pi}{3} r^3 (\rho - \rho') g, \quad (6)$$

woraus sich die Viskosität η bestimmen lässt:

$$\eta = \frac{2 r^2 g}{9 v} (\rho - \rho') \quad (7)$$

Die Sinkgeschwindigkeit v der Kugel kann aus der Messstrecke s und der dazu benötigten Zeit t berechnet werden: $v = s/t$. In Gl. (8) eingesetzt, ergibt sich dann:

$$\eta = \frac{2 r^2 g}{9 s} (\rho - \rho') t \quad (8)$$

Der Ausdruck $2r^2g/9s$ ist für eine bestimmte Kugel und eine vorgegebene Messstrecke s ($s = 10$ cm) eine Apparatekonstante k des Viskosimeters.

2.2. Kugelfallviskosimeter nach HÖPPLER

Das HÖPPLER-Viskosimeter ist ein Kugelfallviskosimeter, mit dem Messungen der dynamischen Viskosität mit hoher Genauigkeit durchgeführt werden können.

Beim Kugelfallviskosimeter rollt eine Kugel in einem um 10° gegen die Vertikale geneigten, kalibrierten Rohr, das nur geringfügig weiter ist als der Kugeldurchmesser. Die dynamische Viskosität der Flüssigkeit bestimmt sich in diesem Fall nach einer analogen Beziehung, wobei alle Komplikationen in die experimentell bestimmte Apparatekonstante k hineingesteckt sind:

$$\eta = k (\rho - \rho') t \quad (9)$$

Für das benutzte Kugelfallviskosimeter nach HÖPPLER hat diese Apparatekonstante den Wert $k = 2,07 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-2}$. Die Berechnung der absoluten Viskosität erfolgt nach Gl. (9). Die Dichteänderung bei Temperaturerhöhung wird dabei vernachlässigt. Es ergibt sich die Viskosität η in Pa·s, wenn t in s, ρ und ρ' in kg/m^3 angegeben werden.

3. Experiment

3.1. Geräte und Materialien

- 1 - Kugelfallviskosimeter nach HÖPPLER
- 2 - Kryostat
- 3 - Stoppuhr



Abb. 1 Versuchszubehör

3.2. Versuchsaufbau

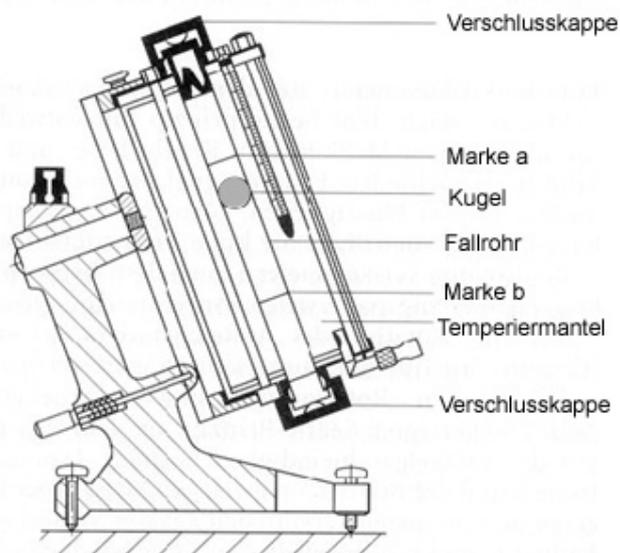


Abb. 2 Schematische Darstellung eines Kugelfallviskosimeters.

3.3. Hinweise zum Experimentieren und Auswerten

Das HÖPPLER-Viskosimeter ist ein Kugelfallviskosimeter, mit dem Absolutmessungen der dynamischen Viskosität mit hoher Genauigkeit durchgeführt werden können. Das Fallrohr trägt drei Ringmarken, wovon im Experiment die obere und die untere die Messstrecke s kennzeichnen. Die Zeit, die die Kugel für die Messstrecke benötigt, wird mit der Stoppuhr gemessen. Das mit der Messflüssigkeit gefüllte Fallrohr ist von einem Wasserbad umgeben, welches zur Einstellung der gewünschten Temperatur der Messflüssigkeit mit Hilfe eines Kryostaten erwärmt und umgewälzt wird. Das Viskosimetergefäß kann durch Lösen der Arretierung am Stativfuß geschwenkt werden. Durch Drehen des Gefäßes um 180° kann die Kugel in die obere Ausgangslage gebracht werden (nach beiden Seiten schwenken). Während einer Messung muss der Stativfuß horizontal stehen. Der schwenkbare Teil muss sich in der arretierten Stellung befinden (Arretierschraube).

Die gewünschte Temperatur wird mittels eines Kryostaten eingestellt und geregelt. Die Solltemperatur wird durch Drücken des Folientasters angezeigt (vgl. Abb. 1). Drückt man länger auf die Folientasten kann die Soll-Temperatur geändert werden. Lässt man den Folientaster wieder los, wird wieder die Ist-Temperatur angezeigt. Das Thermometer im Viskosimeter dient zur Kontrolle und Feststellung der wirklichen Temperatur der Messflüssigkeit. Wenn die Signallampe leuchtet bzw. blinkt, ist die Heizung in Betrieb, wodurch die Temperatur des Wasserbades steigt. Sobald die gewünschte Solltemperatur erreicht ist, erlischt die Lampe. Nach erfolgter Messung der Kugelfallzeit wird die nächsthöhere Temperatur eingestellt.

Die Berechnung der absoluten Viskosität erfolgt nach Gl. (9). Die Dichteänderungen bei Temperaturerhöhung bleiben unberücksichtigt. Es ergibt sich die Viskosität in Pas, wenn t in s, ρ_{Fl} und ρ_{Ku} in kg/m^3 angegeben werden und für $k = 2,07 \cdot 10^{-6} \text{m}^2 \text{s}^{-2}$ eingesetzt wird.

4. Literatur

- [1] – Walcher; Praktikum der Physik; Teubner-Verlag, Wiesbaden 2006
- [2] – Eichler, Kronfeld, Sahn; Das Neue Physikalische Grundpraktikum; Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York 2005