



---

## Versuchsanleitung

# Viskosität I

Nummer: 05a  
Kompiliert am: 13. November 2019  
Letzte Änderung: 13.11.2019  
Beschreibung: Bestimmung der Viskosität verschiedener Flüssigkeiten durch ein Kugelfall- und ein Ubbelohde-Viskosimeter.  
Webseite: <https://www.uni-ulm.de/nawi/institut-fuer-festkoerperphysik/lehre/grundpraktikum-physik-physwiphs-laphys/>

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b>	<b>2</b>
<b>2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung</b>	<b>2</b>
2.1 Theorie . . . . .	2
2.2 Beispiele aus Natur und Alltag . . . . .	2
<b>3 Kurze Zusammenfassung der Theorie</b>	<b>3</b>
<b>4 Versuchsdurchführung</b>	<b>4</b>
4.1 Kugelfall-Viskosimeter - Methode nach Stokes . . . . .	4
4.2 Ubbelohde-Viskosimeter . . . . .	5
4.3 Häufige Fehler . . . . .	5
<b>5 Versuchszubehör</b>	<b>5</b>
<b>6 Hinweise zur Ausarbeitung</b>	<b>6</b>
6.1 Versuchsspezifisch . . . . .	6
6.2 Allgemein . . . . .	6
<b>Literatur</b>	<b>7</b>

# 1 Einführung

In diesem Versuch soll eine der charakteristischen Eigenschaften von Flüssigkeiten untersucht werden: die Viskosität. Diese phänomenologische Größe resultiert aus der Wechselwirkung der Flüssigkeitsmoleküle untereinander. Die Viskosität, früher auch als Zähflüssigkeit bezeichnet, beschreibt die innere Reibung einer bewegten Flüssigkeit mit einem räumlichen Geschwindigkeitsprofil. Definiert wird sie über das Newton'sche Reibungsgesetz. Messtechnisch kann sie auf sehr verschiedene Weisen ermittelt werden. Im folgenden Versuch soll die Viskosität von Newton'schen Flüssigkeiten durch das Kugelfall-Viskosimeter und das Ubbelohde-Viskosimeter bestimmt werden.

## 2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung

### 2.1 Theorie

Zur Versuchsdurchführung sollten folgende Punkte vorbereitet werden:

- Strömungen in Flüssigkeiten (Arten und Unterschiede) [Dem15, FK16]
- Viskosität [BS08, Dem15, FK16]
  - Definition (dynamische Viskosität  $\eta$  und kinematische Viskosität  $\nu$ )
  - Temperaturabhängigkeit
- Laminare und turbulente Strömungen mit Reynoldszahl [BS08, Dem15]
- Stokes'sche Reibung
  - Schweredruck, Auftrieb
  - Kugelfallviskosimeter (Ladenburg-Korrektur)
- Gesetz von Hagen-Poiseuille [BS08, Dem15]
  - Herleitung ( $v(r) = \dots$  und  $\dot{V} = \dots$ )
  - Gültigkeitsgrenzen
- Herleitung zur Kontinuitätsgleichung [Dem15]
- Navier-Stokes-Gleichung [BS08]
  - Einzelne Terme erläutern
- Newtonsche Flüssigkeiten mit Beispielen und Diagrammen [FK16]
- Kapillarviskosimeter

### 2.2 Beispiele aus Natur und Alltag

- Rheologie (fast überall z.B. Lebensmittelindustrie, Schmiermittel).
- Pechtropfenexperiment von *Thomas Parnell*.

### 3 Kurze Zusammenfassung der Theorie

Die Viskosität bemisst den Widerstand eines Fluids gegen dynamische Scherung und stellt damit ein Maß für die innere Reibung dar. Im Bild der Newton'schen Viskosität befindet sich das Fluid zwischen zwei planparallelen Platten, von denen sich die eine mit der Geschwindigkeit  $\vec{v}_x$  parallel zur anderen bewegt, so dass der Abstand  $d$  der Platten konstant bleibt. Die Viskosität des Fluids bewirkt dann eine Kraft  $\vec{F}$ , die benötigt wird um die relative Scherung bzw. genauer Schergeschwindigkeit  $\dot{\gamma} = v_x/d$  aufrecht erhalten zu können. Dementsprechend gilt in einfachster Weise die lineare Beziehung

$$F = \eta \cdot A \cdot \dot{\gamma} \quad (1)$$

mit der Fläche der Platten  $A$ , da die Kraft zu dieser proportional sein muss. Die verbleibende Proportionalitätskonstante  $\eta$  wird Viskosität genannt. Bringt man in Gleichung 1 die Fläche  $A$  auf die linke Seite, wird der Ausdruck unabhängig von der Probengröße und man nennt ihn Schubspannung  $\tau = F/A = \eta \cdot \dot{\gamma}$  mit der Dimension des Druckes  $[\tau] = \text{N/m}^2 = \text{Pa}$ . Genauer wird  $\eta$  auch als dynamische Viskosität bezeichnet um sie von der kinematischen Viskosität  $\nu = \eta/\rho$  mit der Dichte des Fluids  $\rho$  zu unterscheiden. In manchen Anwendungen ist es geschickter, die kinematische Viskosität anzuwenden, da sie einen Quotienten zweier Materialeigenschaften darstellt.

Die Viskosität beschreibt eine Materialeigenschaft, die empfindlich von anderen Größen wie dem Druck  $p$  oder der Temperatur  $T$  abhängen kann. Innerhalb der Newton'schen Theorie ist sie allerdings explizit unabhängig von  $\dot{\gamma}$  und der Zeit  $t$ , sowie für nicht-plane Geometrien auch von  $p$ , da sich nach Bernoulli mit verändernder Geschwindigkeit ja der Druck ändern würde,  $\eta$  aber der Einfachheit halber konstant bleiben soll.

Aus der bisherigen Betrachtung ergeben sich sofort zwei Anwendungsbeispiele und daraus zwei Bestimmungsmethoden für die Viskosität: die erste ist die fluidumströmte Kugel bzw. das Kugelfallviskosimeter, die zweite ist das fluiddurchflossene zylindrische Rohr bzw., geometrisch verfeinert, das Ubbelohde-Viskosimeter.

Im Kugelfallviskosimeter befindet sich eine homogene Kugel mit Radius  $r$  und Masse  $m = \rho_K V_K = \rho \frac{4\pi}{3} r^3$  in einem homogenen Fluid mit Dichte  $\rho_F$  und Viskosität  $\eta$ . Der Einfachheit halber befindet sich das Fluid in einem stehenden Zylinder mit Radius  $R$  im homogenen Gravitationsfeld der Schwerebeschleunigung  $g$ . Wird die Kugel in das Fluid gebracht und sich selbst überlassen, wird die Kugel im Gleichgewicht mit einer konstanten Geschwindigkeit  $v$  fallen, die durch Kompensation von Gewichtskraft, Auftrieb und viskoser Reibung gegeben ist. Mit den Stoke'schen Gesetz  $F_R = 6\pi\eta r v$ , der Gewichtskraft  $F_G = mg$  und dem Auftrieb  $F_A = \rho_F V_K g$  erhält man

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

Experimentell ist es geschickter, die konstante Fallgeschwindigkeit  $v = s/t$  mit Strecke  $s$  und Falldauer  $t$  auszunützen und in der Form

$$t = k \cdot \frac{1}{r^2} \quad (3)$$

zu notieren ( $t$  gegen  $\frac{1}{r^2}$  abtragen). Die Steigung  $k$  wird mittels linearer Regression aus den Messwerten bestimmt und daraus wiederum mit guter Genauigkeit die Viskosität  $\eta$ .

Hier wurde angenommen, dass der Durchmesser des Zylinders beliebig groß sei. Es ist wichtig zu prüfen, ob diese Näherung korrekt ist. Z.B. könnte bei recht großen Kugeln die Reibung deutlich größer werden als nach Stokes angenommen, da das Fluid ja durch die verengte Fläche zwischen Kugel und Zylinderwand gepresst werden muss. Eine Korrektur erster Ordnung kann z.B. eingeführt werden, indem man das Stoke'sche Gesetz mit einem Korrekturfaktor verfeinert gemäß  $F_R' = F_R \cdot \lambda$  mit  $\lambda = 1 + 2.1 \frac{r}{R}$  (der Faktor 2.1 ist rein empirisch). Diese Korrektur wird Ladenburg-Korrektur genannt.

Die zweite Anwendung ist das Gesetz von Hagen-Poiseuille. Hier durchströmt ein Fluid einen Zylinder der Länge  $l$  und Radius  $R$  aufgrund eines Druckunterschiedes  $\Delta p$  zwischen beiden Enden des Tubus. Ist die Druckdifferenz konstant über den gesamten Querschnitt des Rohres, ergibt sich ein parabolisches Profil der Strömungsgeschwindigkeit und durch Integration über dieses Profil der Volumenstrom

$$\dot{V} = \frac{\pi R^4}{8\eta l} \Delta p. \quad (4)$$

Ist der Druckunterschied z.B. durch einen Schweredruck gegeben, kann auf einfachste Weise die kinematische Viskosität bestimmt werden ( $\Delta p = \rho g \Delta h$  mit Höhendifferenz  $\Delta h$ ). Dies wird beim Ubbelohde-Viskosimeter ausgenutzt: ein wohl-definiertes Volumen des zu untersuchenden Fluids durchläuft eine definierte Kapillare (gegebene Länge, gegebener Durchmesser). Die Druckdifferenz ist durch den Schweredruck gegeben. Folglich kann mit einer einzigen gerätespezifischen Konstante  $\kappa$ , hinter der sich die geometrischen Größen des Instrumentes verbergen (Länge, Durchmesser, Volumen, Höhendifferenz), aus einer gemessenen Zeit die kinematische Viskosität bestimmt werden gemäß

$$\nu = \kappa \cdot t. \quad (5)$$

## 4 Versuchsdurchführung

### 4.1 Kugelfall-Viskosimeter - Methode nach Stokes

Es soll die Viskosität einer in einem hohen Plexiglaszylinder befindlichen Flüssigkeit bestimmt werden (Getriebeöl OKS 3740 [OKS]). Dazu sollen Kugeln von unterschiedlichen Radien in den Zylinder geworfen und die Sinkzeit gemessen werden, welche benötigt wird um die vorgegebene Höhendifferenz  $l$  zurückzulegen (4 verschiedene Kugeln und jeweils mindestens 4 Wiederholungen). Unter Zuhilfenahme des Stokes'schen Gesetzes kann die Ermittlung der Viskosität mittels linearer Regression geschehen. Die Messwerte und die korrigierten Messwerte (Ladenburg-Korrektur, Zylinderdurchmesser messen!) sollen mit dem Literaturwert verglichen und diskutiert werden.

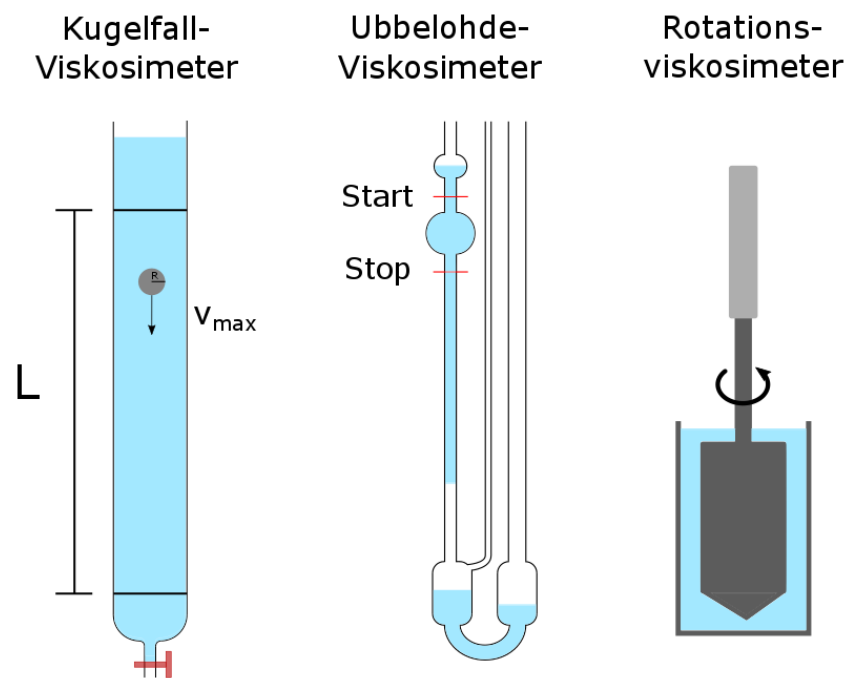


Abbildung 1: Die Abbildung zeigt den schematischen Aufbau des Kugelfall-Viskosimeters, des Ubbelohde-Viskosimeters und eines Rotationsviskosimeters (wird in diesem Versuch nicht benötigt).

## 4.2 Ubbelohde-Viskosimeter

Es soll der Glycingehalt von zwei verschiedenen Wasser-Glycerin-Gemischen ermittelt werden. Dazu werden in je drei Messungen die Durchlaufzeiten der Gemische im Viskosimeter und daraus die Viskositäten bestimmt. Die Viskosimeter werden dabei in ein auf einer Temperatur von  $30^\circ\text{C}$  gehaltenes Wasserbad getaucht. Die Bestimmung der Zusammensetzung der Gemische erfolgt anhand des Hagen-Poiseuille-Gesetzes und geeigneter Tabellenwerke ([dL67],[SO51],[Rei06] oder Online-Recherche z.B. mit den Stichpunkten "glycerol water viscosity"). Die benötigten Viskosimeter-Konstanten befinden sich bei den Viskosimetern.

## 4.3 Häufige Fehler

- Ablesefehler durch Paralaxe

## 5 Versuchszubehör

- Glasröhre mit Stahlkugeln verschiedener Durchmesser zur Messung der Viskosität nach Stokes
- Stoppuhr
- Wasserbad mit Einhängethermostat und Kontrollthermometer
- Peleusball

- Zwei Ubbelohde-Viskosimeter mit unterschiedlichen Gemischen aus destilliertem Wasser und Glycerin

## **6 Hinweise zur Ausarbeitung**

### **6.1 Versuchsspezifisch**

- Dies ist ein Direktauswerter. Eine Ausarbeitung/Bericht erfolgt im nächsten Versuch mit dem Rotationsviskosimeter

### **6.2 Allgemein**

- Kopie des Laborbuchs anhängen
- Fehlerbalken in den Schaubildern
- Fehler des Mittelwerts richtig berechnen und Ergebnisse richtig runden (siehe Anleitung Limmer und/oder Folien zu unserem Statistik-Workshop)
- Gute Skizzen und Abbildungen verwendet (z.B. deutsche Beschriftung, Skizzen entsprechen den Erläuterungen, ...); Skizzen dürfen gerne selbst angefertigt werden
- Vergleich mit Literaturwerten
- Diskussion und/oder Wertung der Ergebnisse

## Literatur

- [BS08] BERGMANN, Ludwig ; SCHAEFER, Clemens: *Lehrbuch der Experimentalphysik*. Bd. 1: *Mechanik - Akustik - Wärme*. 12. Auflage. Berlin, New York : Walter de Gruyter Verlag, 2008
- [Dem15] DEMTRÖDER, Wolfgang: *Experimentalphysik 1: Mechanik und Wärme*. 7. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2015
- [dL67] D'ANS, Jean ; LAX, Ellen: *Taschenbuch für Chemiker und Physiker*. Bd. 1. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 1967
- [FK16] FROMMEYER, Bernd ; KOSLOWSKI, Berndt: *Ergänzung zum Versuch Viskosität: Nicht-Newton'sche Flüssigkeiten*. Ulm : Universität Ulm, 2016
- [OKS] OKS SPEZIALSCHMIERSTOFFE: *Produktinformation Getriebeöl OKS 3740*. <https://shop.oks-germany.com/produkte/oele/getriebeoele/105/oks-3740>. – Zugriff: 22.06.2018
- [Rei06] REINEKER, Peter: *Theoretische Physik I: Mechanik*. Weinheim : Wiley-VCH Verlag, 2006
- [SO51] SEGUR, J. B. ; OBERSTAR, Helen E.: Viscosity of Glycerol and Its Aqueous Solutions. In: *Industrial & Engineering Chemistry* 43 (1951), Nr. 9, 2117-2120. <http://dx.doi.org/10.1021/ie50501a040>. – DOI 10.1021/ie50501a040