

Bestimmung der Viskosität mit dem Kugelfall-Viskosimeter nach Höppler

Versuchsziele

- Viskosität als Stoffeigenschaft kennenlernen.
- Eine Methode zur Bestimmung von Viskositäten anwenden.
- Viskosität von unterschiedlich konzentrierten Zuckerlösungen bestimmen.

Grundlagen

Wird ein Stoff (gasförmig, flüssig oder fest) verformt, so setzt er der Formänderung einen Widerstand entgegen, den man allgemein als seine Viskosität η bezeichnet. Bewegt sich eine Flüssigkeitsschicht mit konstanter Geschwindigkeit in eine Richtung parallel zu einer zweiten Schicht, dann wirkt zwischen den beiden Schichten eine Reibungskraft. Die Bewegungsenergie wird durch die Reibung in Wärme umgewandelt. Die Viskosität eines Stoffes ist ein Maß für die innere Reibung und ist maßgebend dafür, wie gut oder schlecht der Stoff durch ein Rohr strömt (z.B. Blut durch eine Ader) und welchen Widerstand er einem sich in ihm bewegenden festen Körper entgegensetzt. Flüssigkeiten mit hoher Viskosität, etwa Öl oder Honig, sind dabei deutlich zähflüssiger als Wasser, welches eine geringere Viskosität aufweist. Die Viskosität spielt beispielsweise in der KFZ-Technik eine große Rolle: Motoröl muss eine ganz bestimmte Viskosität aufweisen, damit der Ölfilm einerseits nicht abreißt und andererseits gute Fließeigenschaften aufweist.

Die dynamische Viskosität einer transparenten Flüssigkeit lässt sich einem Kugelfallviskosimeter nach Höppler bestimmen (s. Abbildung). Dabei wird eine Kugel in eine leicht geneigte, temperierbare Glasröhre eingebracht, die mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt ist. Das Absinken der Kugel wird über eine definierte Strecke verfolgt und die für das Zurücklegen der Strecke benötigte Fallzeit mit einer Stoppuhr gemessen. Die Kugel sinkt dabei mit konstanter Geschwindigkeit ab, da sich ein Gleichgewicht zwischen Gravitationskraft F_G , Reibungskraft F_R und statischem Auftrieb F_A einstellt:

$$F_G = F_R + F_A \quad (1)$$

Mit den Formeln für die Stokes-Reibung $F_R = 6\pi\eta r_K v_K$, die Gravitationskraft $F_G = V_K \rho_K g$ und den statischen Auftrieb $F_A = \rho_F V_K g$ ergibt sich folgender Zusammenhang für die dynamische Viskosität η der Flüssigkeit:

$$\eta = \frac{2}{9v_K} r_K^2 g (\rho_K - \rho_F) \quad (2)$$

Dabei sind:

r_K : Radius der Kugel

v_K : Geschwindigkeit der Kugel (mit $v_K = s/t$, wobei s die zurückgelegte Strecke und t die Fallzeit ist)

V_K : Volumen der Kugel ($V_K = \frac{4}{3}\pi r_K^3$)

ρ_K : Dichte der Kugel

ρ_F : Dichte der Flüssigkeit

g : Erdbeschleunigung

Die dynamische Viskosität lässt sich damit abhängig von der Fallzeit t der Kugel wie folgt berechnen:

$$\eta = \frac{2}{9s} r_K^2 g (\rho_K - \rho_F) t \quad (3)$$

Die Elemente vor der Klammer lassen sich zu einer Konstante zusammenziehen:

$$\eta = \text{const}(\rho_K - \rho_F) t \quad (4)$$

Diese Formel gilt allerdings nur für den Fall, dass das Gefäß unendlich ausgedehnt ist und damit die Wandung des Gefäßes keinen Einfluss auf das Absinken der Kugel hat. Nur dann kann nämlich die Formel für die Stokes-Reibung angewendet werden. Dies ist hier jedoch nicht gegeben, so dass die Konstante für jede der beiliegenden Kugeln in Rahmen einer Kalibrierung vom Hersteller korrigiert wird. Die korrigierte Konstante ist dem beiliegenden Prüfprotokoll als Kugelkonstante K zu entnehmen.

$$\eta = K(\rho_K - \rho_F) t \quad (5)$$

Damit kann nun also durch Ermitteln der Fallzeit bei bekannter Dichte der Flüssigkeit deren Viskosität berechnet werden.

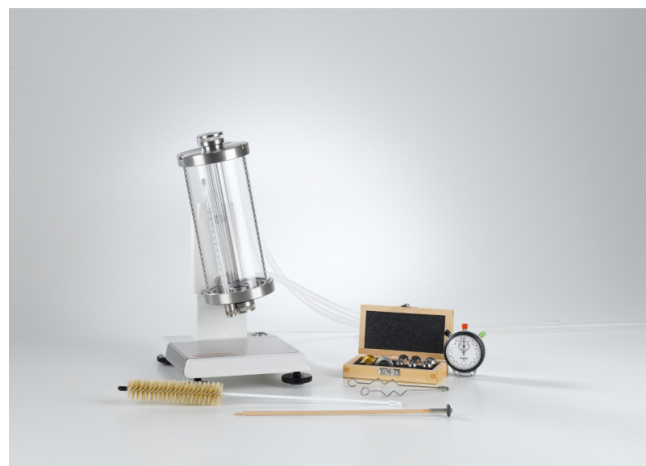


Fig. 1: Kugelfallviskosimeter nach Höppler.

Gefahrenhinweise

In diesem Versuch werden keine gefährlichen Chemikalien verwendet.

Material

Anz.	Material	Kat.-Nr.
1	Kugelfall-Viskosimeter nach Höppler	665 906
1	Handstoppuhr, 60s/0,2s	313 27
1	Umwälzthermostat SC 100-S5P	666 7681
2	Silikonschlauch 7 mm Ø, 1 m	667 194
1	Compact-Waage CS200E, 200 g : 0,1 g	OHCS-200E
5	Becherglas Boro 3.3, 100 ml, nF	602 022
1	Pulverspatel Edelstahl 185 mm	604 5682
1	Magnetrührer	666 8451
1	Magnetrührstäbchen, 15 mm x 5 mm Ø, zylindrisch	666 850
1	D(+)-Saccharose, 250 g	674 6060
1	Wasser, rein, 5 l	675 3410

Versuchsaufbau und -vorbereitung

- Das Viskosimeter entsprechend der mitgelieferten Anleitung zusammenbauen.
- Ebenso das Umwälzthermostat nach beiliegender Anleitung aufbauen.
- Die Silikonschläuche jeweils mit den Zu- und Ableitungen des Umwälzthermostats und des Kühlmantels verbinden.
- Den Kühlmantel mit Hilfe des Umwälzthermostats möglichst luftblasenfrei mit Wasser füllen und auf 25 °C temperieren.
- Jeweils 70 g der zu untersuchenden Saccharose-Lösungen herstellen. Die folgende Tabelle enthält die Saccharose-Konzentrationen c und die dafür einzuwiegenden Massen m an Saccharose und Wasser. Saccharose und Wasser jeweils in eines der Bechergläser einwiegen, das Magnetührstäbchen zugeben und auf dem Magnetührer so lange rühren, bis die Saccharose vollständig gelöst ist.

Es darf kein Feststoff in der Lösung vorliegen, da kleine Partikel im Fallrohr des Viskosimeters die gleichmäßige Bewegung der Kugel stören können.

c (Saccharose) [%]	m (Saccharose) [g]	m (Wasser) [g]
20	14,0	56,0
25	17,5	52,5
30	21,0	49,0
35	24,5	45,5
40	28,0	42,0

Versuchsdurchführung

- Die untere Öffnung des Fallrohrs am Viskosimeter mit dem Gummistopfen und der Schraubkappe verschließen.
- Die 20-%-ige Saccharose-Lösung auf 25 °C temperieren und bis etwa 2 cm unterhalb der Oberkante in das Fallrohr des Viskosimeters füllen.
- Die für den hier zu untersuchenden Viskositätsbereich (ca. 1 bis 7 mPa·s) passende Kugel aus dem Kugel-Sortiment auswählen (siehe Herstellerangaben) und mit Hilfe der beiliegenden Pinzette in das Fallrohr einbringen.
- Den Hohlstopfen aus Gummi in das Fallrohr geben und evtl. überlaufende Lösung mit einem Papiertuch auffangen. Die Lösung sollte in dem Hohlstopfen so hoch stehen, dass die darin befindliche Kapillare abgedeckt ist.
- Nun den Hohlstopfen mit der Verschlussplatte aus Gummi abdecken und mit der Schraubkappe verschließen.
- Den Messteil des Viskosimeters umschwenken, um die abgesunkene Kugel zurück in die Ausgangsposition zu bringen.
- Den Messteil in seine Ausgangsposition zurück schwenken und die Zeitmessung starten, sobald die untere Kugelperipherie sich genau auf Höhe der obersten Markierungsmarke befindet. Gestoppt wird die Fallzeit, sobald sich die untere Kugelperipherie genau auf Höhe der untersten Markierungsmarke befindet.

Darauf achten, dass die Markierungsmarken dabei so betrachtet werden, dass sie als Strich erscheinen.

- Nach der Messung die Kugel ganz nach unten sinken lassen. Das Fallrohr oben öffnen und die Lösung durch Umschwenken des Messteils zurück in das Becherglas füllen. Das Fallrohr nun vorsichtig unten öffnen und die Kugel auffangen. Fallrohr und Kugel mit Wasser spülen.
- Die Messung mit den übrigen Lösungen analog durchführen.

Beobachtung

Die folgende Tabelle enthält die ermittelten Fallzeiten t der Kugel in den unterschiedlich konzentrierten Saccharose-Lösungen c :

c (Saccharose) [%]	t [s]
20	190,6
25	241,4
30	312,4
35	428,8
40	628,4

Auswertung

Die dynamische Viskosität η lässt sich aus den oben ermittelten Fallzeiten t über folgende Gleichung ermitteln:

$$\eta = K(\rho_K - \rho_F)t \quad (6)$$

Die folgende Tabelle enthält die der Literatur entnommenen Werte für die Dichte ρ_F der unterschiedlichen konzentrierten Saccharose-Lösungen, die berechneten Viskositäten η und zum Vergleich Literaturwerte der Viskositäten η_{Lit} . Dabei wurden hier für die Kugelkonstante $K = 0,0084 \text{ mPa}\cdot\text{s}\cdot\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ und für die Dichte der Kugel $\rho_K = 2,218 \text{ g/cm}^3$ verwendet.

c [%]	ρ_F [g/cm ³]	η [mPa·s]	η_{Lit} [mPa·s]
20	1,081	1,82	1,70
25	1,104	2,26	2,12
30	1,127	2,86	2,74
35	1,151	3,84	3,67
40	1,176	5,50	5,16

Ergebnis

In diesem Versuch wurden die Viskositäten von fünf verschiedenen konzentrierten Saccharose-Lösungen mit Hilfe eines Kugelfallviskosimeters ermittelt. Die Viskosität steigt mit steigen-

dem Saccharosegehalt der Lösung an. Der Vergleich mit den angegebenen Literaturwerten zeigt, dass die Viskositäten hier im Mittel eine Abweichung von ca. 6 % zum Literaturwert aufweisen. Die hier verwendete Methode eignet sich damit sehr gut, um die Viskositäten von Saccharose-Lösungen zu bestimmen.

Reinigung und Entsorgung

Alle Teile des Viskosimeters müssen gründlich mit Reinstwasser gespült werden, um sämtliche Reste der Saccharose-Lösungen zu entfernen.

Die Saccharose-Lösungen können über den Abfluss entsorgt werden.