



## AUFGABEN

- Messung der Fallzeiten einer Kugel in einer wässrigen Glycerinlösung in Abhängigkeit von der Temperatur.
- Bestimmung der dynamischen Viskosität und Vergleich mit Literaturdaten.
- Vergleich der Temperaturabhängigkeit der dynamischen Viskosität mit der Arrhenius-Andrade-Beziehung und Bestimmung der Platzwechselenergie.

## ZIEL

Bestimmung der dynamischen Viskosität einer wässrigen Glycerinlösung

## ZUSAMMENFASSUNG

Die dynamische Viskosität, der Proportionalitätsfaktor zwischen Geschwindigkeitsgradient und Scherspannung in einer Flüssigkeit, charakterisiert die Zähigkeit einer Flüssigkeit. Sie kann mit einem Kugelfall-Viskosimeter nach Höppler gemessen werden. In Verbindung mit einem Umwälzthermostaten sind auch temperaturabhängige Messungen möglich. Sie werden im Experiment an einer wässrigen Glycerinlösung durchgeführt. Hier kann die Temperaturabhängigkeit der Viskosität durch die Arrhenius-Andrade-Beziehung beschrieben werden.

## BENÖTIGTE GERÄTE

Anzahl	Geräte	Art.-Nr.
1	Kugelfallviskosimeter	1012827
1	Digitale Stoppuhr	1002811
1	Bad-/Umwälzthermostat (230 V, 50/60 Hz)	1008654 oder
	Bad-/Umwälzthermostat (115 V, 50/60 Hz)	1008653
2	Silikonschlauch, 6 mm	1002622
1	Glycerin, 85%, 250 ml	1007027
1	Trichter	1003568
<b>Zusätzlich empfohlen:</b>		
1	Satz 10 Bechergläser, niedrige Form	1002872
2	Messzylinder, 100 ml	1002870
	Destilliertes Wasser, 5 l	

# 2

## ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Die Zähigkeit einer Flüssigkeit ist auf die wechselseitige Bindung der Flüssigkeitsteilchen zurückzuführen. Mit wachsender Stärke der Bindung nimmt die Beweglichkeit der Teilchen ab. Zur Ausprägung eines Geschwindigkeitsgradienten in einem Strömungsprofil ist dann eine größere Scherspannung erforderlich. Der Proportionalitätsfaktor zwischen Geschwindigkeitsgradient und Scherspannung ist eine Maß für die Zähigkeit der Flüssigkeit und wird dynamische Viskosität genannt. Flüssigkeiten, deren dynamische Viskosität nicht von der Scherspannung abhängt, werden newtonsche Flüssigkeiten genannt.

Die dynamische Viskosität  $\eta$  der meisten Flüssigkeiten nimmt mit steigender Temperatur ab. Die Abnahme kann oft mit der Arrhenius-Andrade-Beziehung beschrieben werden.

$$(1) \quad \eta = \eta_0 \cdot \exp\left(\frac{E_A}{R \cdot T}\right)$$

$E_A$ : Aktivierungs- bzw. Platzwechselenergie der Flüssigkeitsteilchen  
 $T$ : absolute Temperatur

$$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} : \text{Allgemeine Gaskonstante}$$

Zur Messung der dynamischen Viskosität wird häufig eine Kugel betrachtet, die unter dem Einfluss der Gravitation in der Flüssigkeit nach unten sinkt. Ihr Fall wird durch die Stokes'sche Reibungskraft

$$(2) \quad F_1 = \eta \cdot 6\pi \cdot r \cdot v$$

$r$ : Radius der Kugel

gebremst, daher sinkt sie mit konstanter Geschwindigkeit  $v$ . Der Einfluss der Gravitationskraft wird durch den Auftrieb der Kugel in der Flüssigkeit gemindert:

$$(3) \quad F_2 = \frac{4\pi}{3} \cdot r^3 \cdot (\rho_0 - \rho) \cdot g$$

$\rho_0$ : Dichte der Kugel  
 $\rho$ : Dichte der untersuchten Flüssigkeit  
 $g$ : Fallbeschleunigung

Daher folgt aus dem Gleichgewicht zwischen den Kräften  $F_1$  und  $F_2$ :

$$(4) \quad \eta = \frac{2}{9} \cdot r^2 \cdot g \cdot (\rho_0 - \rho) \cdot \frac{t}{s}$$

$s$ : Messstrecke

$t$ : Fallzeit für die vorgegebene Messstrecke

Tatsächlich beschreibt Gleichung (2) die Reibungskraft auf die Kugel nur für Fälle, in denen der Durchmesser des mit der Probenflüssigkeit gefüllten Messrohres wesentlich größer als der Kugeldurchmesser ist. Dies würde aber eine große Menge an Probenflüssigkeit erfordern. In der Praxis verwendet man daher zur Viskositätsmessung ein Kugelfall-Viskosimeter nach Höppler mit einem gegen die Vertikale geneigten Messrohr, in dem die Kugel an der Rohrwand gleitet und rollt. Die Bestimmungsgleichung für die dynamische Viskosität lautet in diesem Fall

$$(5) \quad \eta = t \cdot (\rho_0 - \rho) \cdot K$$

Der Kalibrierfaktor  $K$  wird vom Hersteller für jede mitgelieferte Kugel individuell angegeben. Zur Vermeidung eventueller systematischer Fehler kann das Messrohr gedreht und die Fallzeit auch für den Rückweg gemessen werden.

Im Experiment wird handelsübliches Glycerin untersucht, das genauer betrachtet eine wässrige Glycerinlösung mit einem Glycerinanteil von ca.

85% ist. Die Verdünnung wird gezielt verwendet, da die Viskosität von reinem Glycerin für viele Anwendungen zu hoch ist. Gemessen wird die Viskosität in Abhängigkeit von der Temperatur. Dazu ist das Kugelfall-Viskosimeter mit einem Umwälzthermostaten verbunden. Durch gezielte Verdünnung der Glycerinlösung mit destilliertem Wasser kann auch die Konzentrationsabhängigkeit der Viskosität untersucht werden.

## AUSWERTUNG

Ein Vergleich der gemessenen Viskosität mit Literaturdaten bestätigt die Konzentrationsangaben des Herstellers. Gleichung (1) lässt sich umschreiben in die Form

$$\ln \eta = \ln \eta_0 + E_A \cdot \frac{1}{R \cdot T}$$

Man trägt daher  $y = \ln \eta$  gegen  $x = \frac{1}{R \cdot T}$  auf und bestimmt die

Platzwechselenergie  $E_A$  aus der Steigung der resultierenden Geraden.

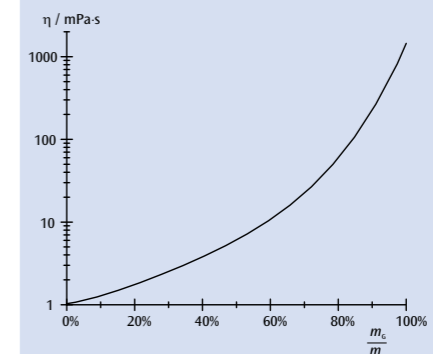


Abb. 1: Dynamische Viskosität einer wässrigen Glycerinlösung bei 20 °C in Abhängigkeit von der Massenkonzentration (interpolierte Literaturdaten)

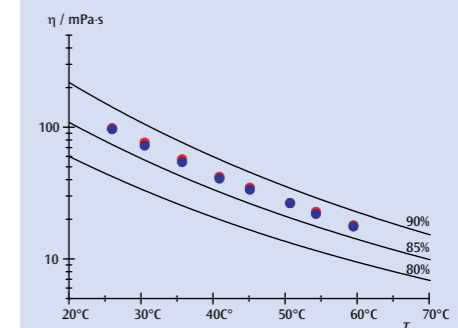


Abb. 2: Dynamische Viskosität einer wässrigen Glycerinlösung in Abhängigkeit von der Temperatur (Vergleich von Messdaten und interpolierten Literaturdaten)

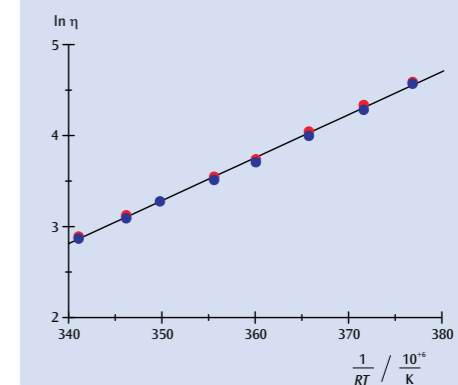


Abb. 3: Darstellung zur Bestätigung der Arrhenius-Andrade-Beziehung und zur Bestimmung der Platzwechselenergie ( $E_A = 47 \text{ kJ/mol}$ )