

# F3P Viskosität von Flüssigkeiten

## Grundlagen

Bei Strömungen in realen Flüssigkeiten treten auf Grund zwischenmolekularer Wechselwirkungen Reibungskräfte auf, die sich als Viskosität<sup>1</sup>  $\eta$  der Flüssigkeit bemerkbar machen. Im Folgenden wird von laminaren Strömungen ausgegangen. Ist die Viskosität lediglich von der Temperatur abhängig, spricht man von Newtonschen Flüssigkeiten. Für diese kann das in Abbildung 1 dargestellte Modell angenommen werden.

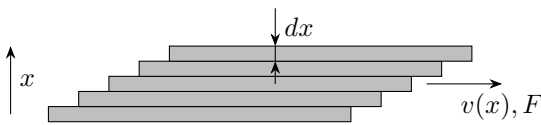


Abbildung 1: Zerlegung der Flüssigkeit in aufeinander abgleitende Schichten mit der einheitlichen Fläche  $A$

Um zwei Lamellen der Fläche  $A$  gegeneinander mit der Geschwindigkeit  $dv$  zu bewegen, ist gemäß dem Newtonschen Reibungsgesetz die Kraft

$$F = \eta A \frac{dv}{dx} \quad (1)$$

erforderlich.  $dv/dx$  ist der Geschwindigkeitsgradient, d.h. die Zunahme der Geschwindigkeit zwischen zwei Lamellen im Abstand  $dx$ . Zur Bestimmung der Viskosität z.B. mittels eines Rotationsviskosimeters kann diese Beziehung unmittelbar verwendet werden.

In diesem Versuch wird ein Kugelfallviskosimeter verwendet.

Die auf eine in der viskosen Flüssigkeit mit der Geschwindigkeit  $v$  bewegte Kugel des Radius  $r$  wirkt die Stokes'sche Reibungskraft

$$F = 6\pi\eta r v. \quad (2)$$

Diese geschwindigkeitsproportionale Kraft gilt nur für kleine Geschwindigkeiten bzw. kleine Reynoldszahlen

$$Re = \frac{\rho 2rv}{\eta} \lesssim 1. \quad (3)$$

Für beliebige Fallgeschwindigkeiten, kann die wirkende Newtonsche Reibungskraft mit

$$F = c_w \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v^2 \quad (4)$$

berechnet werden.  $\rho$  ist die Dichte der Flüssigkeit und  $c_w$  der Widerstandsbeiwert, welcher im Allgemeinen keine

Konstante ist. Bei kleinen Geschwindigkeiten müssen die Stokes'sche (2) und Newtonsche (4) Reibungskraft gleich sein, woraus sich  $c_w = 24/Re \sim 1/v$  ergibt.

Bei großen Reynoldszahlen  $Re \gtrsim 1000$  wird der Widerstandsbeiwert praktisch konstant.<sup>2</sup> Im Bereich  $1000 \lesssim Re \lesssim 300000$  gilt  $c_w \approx 0,4$ .

Beim Sinken der Kugel der Dichte  $\rho_K$  in der viskosen Flüssigkeit wirkt auf die Kugel die Kraft

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_K \cdot \dot{v} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_K g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - 6\pi\eta r v. \quad (5)$$

Nach kurzer Zeit stellt sich ein Gleichgewicht zwischen Gewichtskraft, Auftrieb und Reibungskraft und damit eine konstante Sinkgeschwindigkeit ein.

Durch Messung der Fallzeit  $t$  für eine bestimmte Strecke  $s$  kann  $v$  und damit  $\eta$  bestimmt werden.

$$\eta = \frac{2r^2 g}{9s} (\rho_K - \rho)t = K(\rho_K - \rho)t \quad (6)$$

Die praktische Umsetzung erfolgt mittels eines in diesem Versuch benutzten Höpplviskosimeters. In diesem fällt<sup>3</sup> die Kugel in einem mit der zu messenden Flüssigkeit gefüllten, leicht schräg gestellten Rohr, welches einen nur wenig größeren Radius als den der Kugel hat. Gleichung (6) wird daher nur begrenzt gültig sein, weshalb für den s.g. Kugelfaktor  $K$  eine gerätespezifische Größe benutzt wird.

Die zur Berechnung von  $\eta$  benötigte Dichte kann durch Messung der Auftriebskraft  $F = \rho V g$ , welche ein Probekörper mit bekanntem Volumen  $V$  in der zu messenden Flüssigkeit erfährt, ermittelt werden.

Praktisch kann dies mittels einer einfachen Balkenwaage oder einer speziell für diesen Zweck geeigneten Mohr-Westphalschen Waage erfolgen.

<sup>1</sup>Genau genommen handelt es sich hier um die dynamische Viskosität  $\eta_D$ . Verwendung findet auch die kinematische Viskosität  $\eta_K = \eta_D/\rho$ , welche auf die Dichte der Flüssigkeit bezogen ist.

<sup>2</sup>Die Reibungskraft hängt quadratisch von der Geschwindigkeit ab.

<sup>3</sup>bzw. rollt

## Versuchsvorbereitung

- Rotationsviskosimeter
- Temperaturabhängigkeit der Viskosität bei Flüssigkeiten und Gasen
- Auftrieb
- Berechnen und skizzieren Sie den Verlauf der Sinkgeschwindigkeit  $v(t)$  sowie die zeitlichen Verläufe der zugehörigen Beschleunigung  $a(t)$  und zurückgelegter Strecke  $s(t)$ .  
Lösen Sie dazu die Differenzialgleichung (5)!<sup>4</sup>
- Mohr-Westphalsche Waage

## Aufgaben

- Messen Sie mittels Mohr-Westphalscher Waage die Dichte der zu verwendenden Flüssigkeit!
- Bestimmen Sie die dynamische Viskosität der Flüssigkeit bei verschiedenen Temperaturen mittels Höpplerviskosimeter!  
Stellen Sie den Temperaturverlauf grafisch dar!
- Zeigen Sie, dass für die Umströmung der Fallkugel die Stokes'sche Reibungskraft wirkt!
- Berechnen Sie den zufälligen Fehler der Zeitmessung aus den Zeitmesswerten bei Zimmertemperatur!  
Berechnen Sie mittels Fehlerfortpflanzung den Fehler der Viskosität bei dieser Temperatur.
- Berechnen Sie die kinematische Viskosität, sowie deren Fehler bei Zimmertemperatur!

---

<sup>4</sup>Wenn zunächst die Endgeschwindigkeit  $v_E$  für  $\dot{v} = 0$  berechnet wird, kann durch die Substitution  $v^* = v_E - v(t)$  die Rechnung stark vereinfacht werden.