

## Zusammenfassung der physikalischen Grundlagen

### 1.1 Mikroskopische Bild von Flüssigkeiten

- Moleküle einer Flüssigkeit oder eines Gases (Fluid) bewegen sich innerhalb ihres Volumens relativ frei und ungeordnet.
  - ⇒ Brownsche / thermische Bewegung.
  - ⇒  $v_{rms}$  entspricht Temperatur ( $v_{rms}$  proportional zur Temperatur)

- Zwischen Molekülen wirken elektrische Kräfte (nur benachbarten Teilchen)

⇒ Adhäsionskräften

Flüssigkeits-Molekül



Molekülen eines angrenzenden Mediums

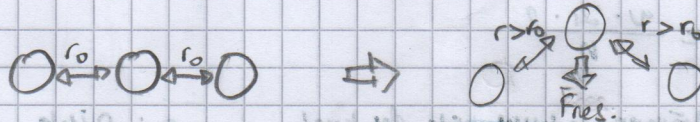
⇒ Kohäsionskräften

Flüssigkeits-Molekül



Flüssigkeits-Molekül

- Bei bestimmtem Abstand  $r_0$  sind die Moleküle im Gleichgewicht. Werden Moleküle bewegt, bewegen sie sich aufgrund thermischer Bewegungen um diese  $r_0$ .



- Kräfte ⇒ Eigenschaften

↳ Sollten die thermische Bewegung einzelner Moleküle zu groß sein, können die Moleküle den Flüssigkeitsverband verlassen (diffundieren)

↳ Bei Gasen sind die thermischen Bewegungen deutlich stärker als die Kräfte ⇒ hält sich nicht in einem Flüssigkeitsverband.

### 1.2 Viskosität und Reynoldszahl

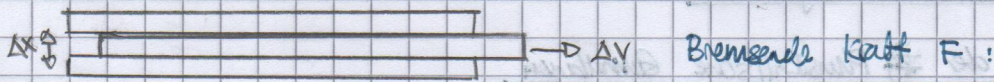
- Anziehungskraft führt zur Reibung zwischen Molekülen. Molekülbewegung bei einer strömenden Flüssigkeit wird abgebremst.

- Modellierung: Flüssigkeit in einzelne sehr dünne Schichten unterteilen, die parallel zur Bewegungsrichtung liegen.

↳ Gegenseitig nicht vermischen: laminare Strömung.

↳ Gegenseitig vermischen (Wirbeln): turbulent.





$$F \propto A \frac{\Delta v}{\Delta x}$$

wobei  $A$  die Fläche der aneinander ~~weg~~ vorbeigleitenden Schichten ist.

Die Proportionalitätskonstante ist  $\eta = \text{Viskosität}$ ,  $[\eta] = \text{Pa} \cdot \text{s}$ .

$$\Rightarrow F = \eta A \frac{\Delta v}{\Delta x}$$

- Ist  $\eta$  unabhängig von Geschwindigkeit  $v \Rightarrow$  Newtonsche Flüssigkeit.
- $\eta(T)$  nimmt mit steigender Temperatur ab.
- Oft: niedrige Strömungsgeschwindigkeit  $\rightarrow$  laminar  
höhere Strömungsgeschwindigkeit  $\rightarrow$  turbulent.
- Ob die Strömung um ein kugelförmiges Objekt laminar oder turbulent sein wird, kann man durch die Reynoldszahl abschätzen:

$$Re = \frac{v \cdot 2r \cdot \rho}{\eta}$$

mit  $v$ : Strömungsgeschwindigkeit der Kugel  
 $r$ : Kugelradius

$\rho$ : Dichte der Flüssigkeit  
 $\eta$ : Viskosität.

- Wenn  $Re \geq 2000$ , wird eine Strömung ungefähr turbulent.

### 1.3 Wirkende Kräfte auf eine umströmte Kugel

- Kleine Kugel, die sich langsam in einer Flüssigkeit bewegt  
 $\Rightarrow$  entstehen keine Wirbel.
- Flüssigkeit muss weit ausgedehnt sein  $\Rightarrow$  keine Beeinflussung durch Gefäßwand in der Nähe der Kugel.

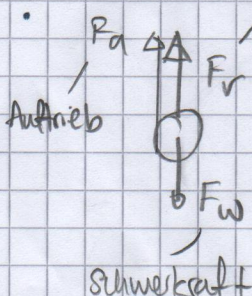
- Unter solche Bedingungen kann man das ~~Stokes~~ Stokes'sche Gesetz annehmen:

$$F_r = -6\pi r \eta v$$

$$F_w = m_K g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_K g \quad \text{mit } \rho_K = \text{Dichte der Kugel.}$$

Bei konstanter Geschwindigkeit gilt

$$F_r = F_w \Leftrightarrow \underbrace{-6\pi r \eta v}_{\text{Stokes}} + \underbrace{\frac{4}{3} \pi r^3 \rho_K g}_{F_G = \text{Schwerkraft}} - \underbrace{\frac{4}{3} \pi r^3 \rho_F g}_{\text{Auftrieb}}$$





Umgestellt:  $\eta = \frac{2gr^2}{9v} (P_K - P_F)$

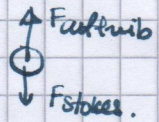
(1.3.1)

## Thermische Grundlagen

### 2.1 Aufstieg von Luftblasen

$$F_{\text{Auftrieb}} = -\frac{4}{3}\pi r_{\text{Luftblase}}^3 \cdot \rho_{\text{Spüli}} \cdot g$$

$$\Rightarrow \eta_{\text{Spüli}} = \frac{2 \cdot g \cdot \rho_{\text{Spüli}}}{9 v_{\text{Luftblase}}} \cdot r_{\text{Luftblase}}^2$$



### 2.2 Kugelfallviskosimeter

$\eta$  kann mittels Gleichung (1.3.1) bestimmt werden.

