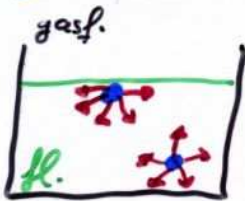


11.3 Grenzflächen: fest-flüssig-gasförmig

- Atome/Moleküle in Festkörper / Flüssigkeiten/Gas ziehen sich mehr oder weniger stark an
 typ. Festkörper, Flüssigkeiten typ. Gas

→ Kohäsionskräfte (zwischen gleichartige Körpern)

- An Grenzflächen können diese Kräfte sichtbar werden

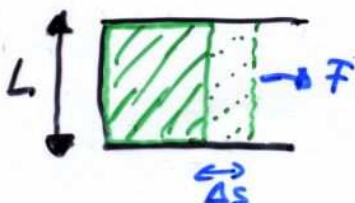


Heranslösen eines Atoms/Moleküls aus Flüssigkeitsoberfläche erfordert Arbeit ($\int \vec{F} d\vec{s}$)

→ Arbeit ΔW zur Vergrößerung der Grenzfläche ΔA zwischen Flüssigkeit und Gas:

→ $\epsilon := \frac{\Delta W}{\Delta A}$ spezifische Oberflächenenergie

$\Delta W = F \cdot \Delta s$
 $\Delta A = L \cdot \Delta s$ } $\epsilon = \frac{\Delta W}{\Delta A} = \frac{F \cdot \Delta s}{L \cdot \Delta s} = \frac{F}{L} =: \sigma$ Oberflächen- spannung



z.B. $\sigma_{H_2O} = 0.073 \frac{J}{m^2}$ ($\frac{1 N}{m}$)
 $\sigma_{Hg} = 0.471 \frac{J}{m^2}$

z. B. Seifenblase:



$$A = 4\pi r^2$$

• Druckkraft: $F = \Delta p \cdot A = \Delta p \cdot 4\pi r^2$

• Energiegewinn aus

Oberflächenverringern: $\Delta W = F \cdot \Delta r$

$$\rightarrow \Delta W = 2 \cdot \epsilon \cdot \Delta A = 2\epsilon \cdot 4\pi \cdot \Delta(r^2)$$

↑ Seifenfilm hat 2 Oberflächen!

$$\rightarrow F \cdot \Delta r = \Delta p \cdot 4\pi r^2 \cdot \Delta r \stackrel{!}{=} 2\epsilon \cdot 4\pi \Delta(r^2) = 2\epsilon \cdot 4\pi \cdot 2r \Delta r$$
$$\stackrel{!}{=} 2\epsilon \cdot 8\pi r \Delta r$$

$$\rightarrow \Delta p = \frac{4\epsilon}{r} = \frac{4\sigma}{r} \sim \frac{1}{r}$$

NB: Analog folgt Druck in Flüssigkeitstropfen zu $\Delta p = \frac{2\sigma}{r}$, da nur 1 Oberflächfläche

Grenzflächenkräfte

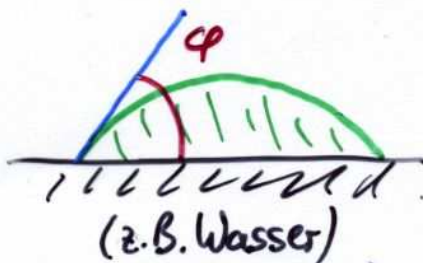
▶ Kohäsion: zwischen gleichartige Atome/Moleküle

▶ Adhäsion: — — — — — verschiedenartigen — — — — —

Grenzflächenverhalten

benetzend

(Adhäsion > Kohäsion)

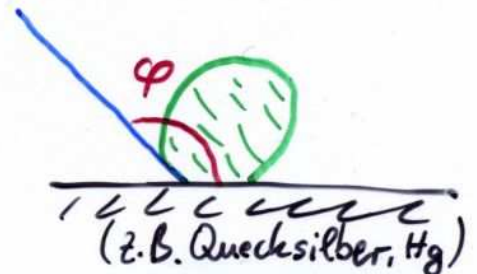


(z.B. Wasser)

Randwinkel: $0 < \varphi < 90^\circ$

nicht-benetzend

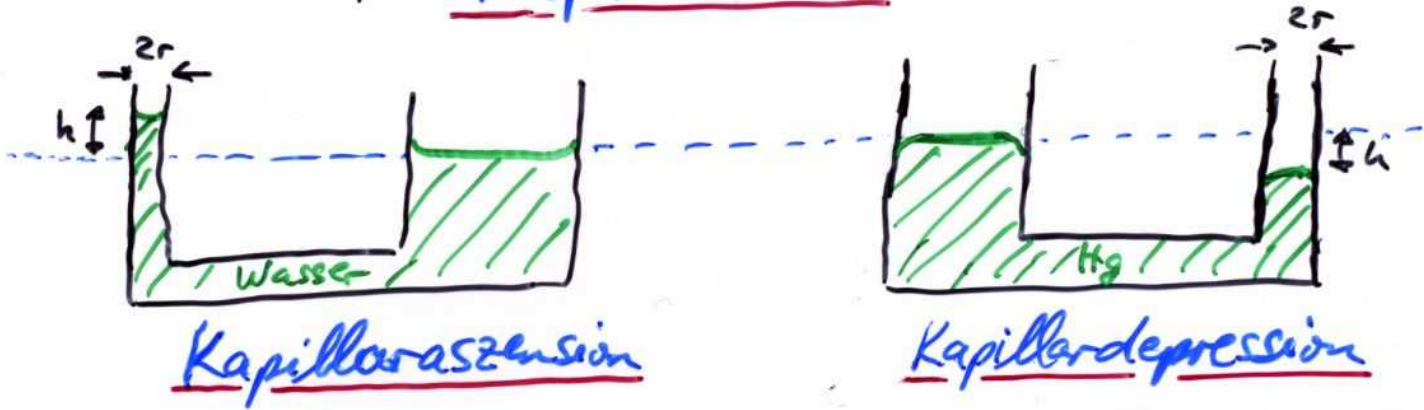
(Adhäsion < Kohäsion)



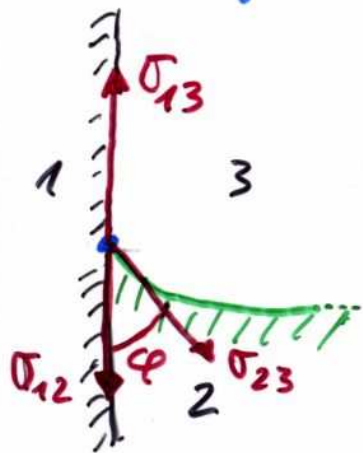
(z.B. Quecksilber, Hg)

$90^\circ < \varphi < 180^\circ$

⇒ Kapillarität



Steighöhe: Oberflächenspannung an Randlinie: $F_\sigma = \sigma \cdot 2\pi r$
 Gewichtskraft der Flüssigkeitssäule: $F_G = mg = \rho g \cdot h \cdot \pi r^2$



$$F_\sigma \cdot \cos \varphi \stackrel{!}{=} F_G$$

↑ Randwinkel abhängig von Benetzung

$$\sigma \cdot 2\pi r \cdot \cos \varphi \stackrel{!}{=} \rho \cdot g \cdot h \cdot \pi r^2$$

$$h = \frac{2\sigma \cdot \cos \varphi}{\rho \cdot g \cdot r} \quad \begin{array}{l} \text{vollständig} \\ \text{benetzend} \\ \varphi = 0^\circ \end{array} \quad \frac{2\sigma}{\rho g r}$$

► vereinfacht: Oberflächenspannung versucht Kontaktfläche zu verkleinern (Minimalflächen)

→ Gleichgewicht: (der Oberflächenspannungen) $\sigma_{12} + \sigma_{23} \cdot \cos \varphi - \sigma_{13} \stackrel{!}{=} 0$

$$\cos \varphi = \frac{\sigma_{13} - \sigma_{12}}{\sigma_{23}}$$

NB: $\sigma_{13} - \sigma_{12}$ Haftspannung

• σ_{12} kann negativ sein bei Benetzung an Grenzfläche 12

$0^\circ < \varphi < 90^\circ$: benetzend

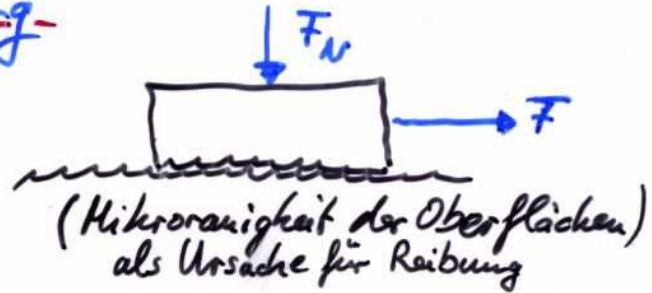
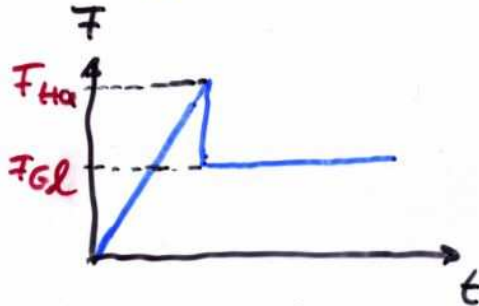
$90^\circ < \varphi < 180^\circ$: nicht-benetzend

11.4 Reibung an Grenzflächen

Grenzflächenkräfte treten auch zwischen Festkörpern auf

• Coulomb-Reibung (oder trockene Reibung)

▶ Haft- und Gleitreibung



Körper haftet $\rightarrow F < F_{Ha}$
gleitet $\rightarrow F = F_{Gl}$

mit
mit

$$F_{Ha} = \mu_H F_N$$

$$F_{Gl} = \mu_G F_N$$

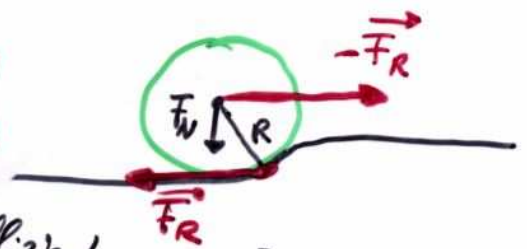
Haft- / Gleitreibungskoeffizienten μ_H / μ_G ; F_N : Normalkraft zur Oberfläche
 i.A. $\mu_H > \mu_G$

NB: (lineare) Reibung ist unabhängig von Größe der Berührungsfläche

▶ Rollreibung

$$D_R = R \cdot F_R = \mu_R \cdot F_N$$

Rollreibungskoeffizient, $[\mu_R] = m$



▶ typ. Werte für Reibungskoeffizienten

□ Stahl auf Stahl	$\mu_H = 0.5-0.8$	$\mu_G = 0.4$	$\frac{\mu_R}{R} = 0.05$...
□ Gummi auf Asphalt (trocken)	1.2	1.05
□ " " (nass)	0.6	0.4