



HELMHOLTZ-INSTITUT FREIBERG
FÜR RESSOURCENTECHNOLOGIE

Grenzflächenverfahrenstechnik II

1. Vorlesung

25. Oktober 2019

Dr.-Ing. Martin Rudolph

Kontakt

Dr.-Ing. Martin Rudolph

Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf
Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF)
Chemnitzer Str. 40
09599 Freiberg

Telefon	0351 260 4410
E-Mail	m.rudolph@hzdr.de
Büro	HIF-123

Inhalt der Lehrveranstaltung

- 0 Einführung**
- 1 Grundlagen der Benetzung**
- 2 Spreitungskoeffizient**
- 3 Adhäsions-/Kohäsionsarbeit**
- 4 Kontaktwinkelhysterese**
- 5 Messung an Partikelsystemen**
- 6 Dimensionslose Kennzahlen**
- 7 Partikel in Fluiden-Grenzflächen**
- 8 Applikationen**

0 Einführung

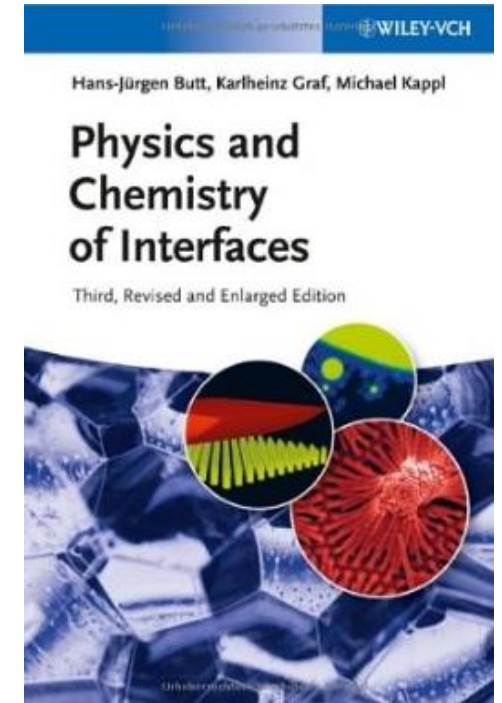
0.1 Ziele der Lehrveranstaltung

- Die Vorlesung „Grenzflächenverfahrenstechnik I“ beschäftigt sich mit Struktur-Eigenschaftsbeziehungen von fest-flüssig und fluiden Grenzflächen sowie deren Modifizierung und Charakterisierung. Dabei geht es um die Erhöhung der Effektivität und Selektivität von Trennverfahren.
- Die Vorlesung „Grenzflächenverfahrenstechnik II“ behandelt die wissenschaftlichen Grundlagen von Benetzung und kapillarem Flüssigkeitstransport in Porensystemen.
- Der Zeitaufwand beträgt 150 h und setzt sich zusammen aus 45 h Präsenzzeit und 105 h Selbststudium. Letzteres umfasst die Vor- und Nachbereitung der Vorlesung sowie die Prüfungsvorbereitung.

0 Einführung

0.2 Literatur (Bücher)

- Hans-Jürgen Butt, Karheinz Graf und Michael Kappl
Physics and Chemistry of Interfaces
Wiley-VCH, Weinheim, 2013, ISBN: 352 741 516 7
- Heinrich Schubert
Aufbereitung fester Stoffe, Band II: Sortierprozesse
Dt. Verl. für Grundstoffind., Stuttgart, 1996, ISBN: 334 200 555 6
- Krister Holmberg (Hrsg.)
Handbook of Applied Surface and Colloid Chemistry
John Wiley & Sons, Chichester, 2001, ISBN: 047 149 083 8
- Gerald Brezesinski, Hans-Jörg Mögel
Grenzflächen und Kolloide. Physikalisch-chemische Grundlagen
Spektrum Akad. Verl., Heidelberg, 1993, ISBN: 386 025 016 7



0 Einführung

0.2 Literatur (Fachzeitschriften)

- Advances in Colloid and Interface Science, Elsevier
online auf www.sciencedirect.com
- Journal of Colloid and Interface Science, Elsevier
online auf www.sciencedirect.com
- Colloids and Surfaces A: Physicochem. and Eng. Aspects, Elsevier
online auf www.sciencedirect.com
- Powder Technology, Elsevier
online auf www.sciencedirect.com
- Langmuir, ACS Publications
online auf pubs.acs.org
- Chemie Ingenieur Technik, Wiley
online auf onlinelibrary.wiley.com
- ...

0 Einführung

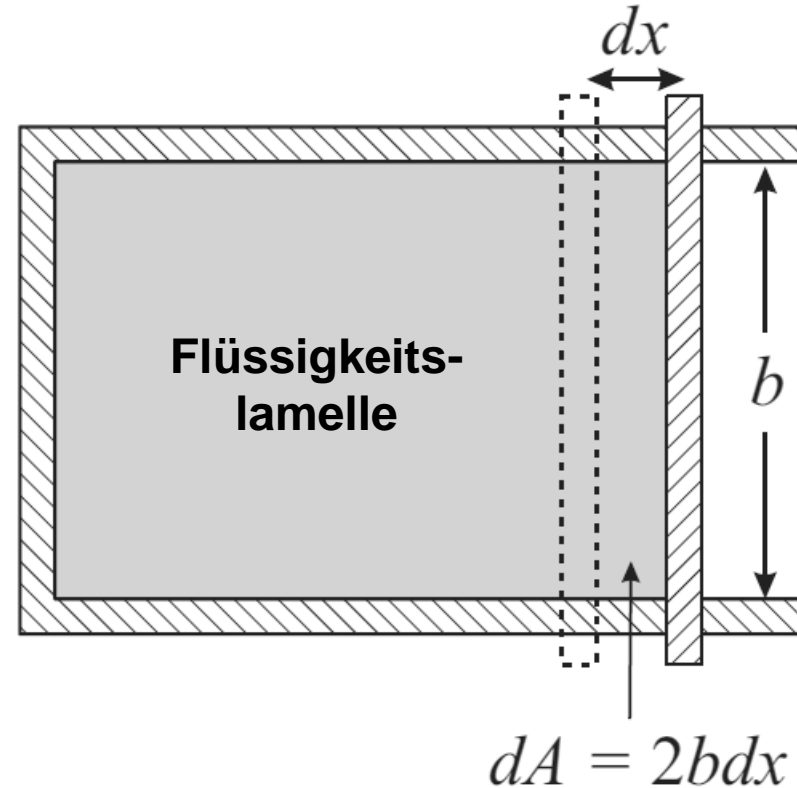
0.3 Rekapitulation GVT I

$$dW = \gamma_{l,v} \cdot dA$$

$$F = -\frac{dW}{dx} = -2 \cdot \gamma_{l,v} \cdot b$$

$$\gamma(T) = \gamma(T_0) + \frac{\partial \gamma}{\partial T} \cdot (T - T_0)$$

$\gamma_{l,v}$ Grenzflächenspannung zwischen Flüssigkeit (l) und Dampf (v) ist Oberflächenspannung



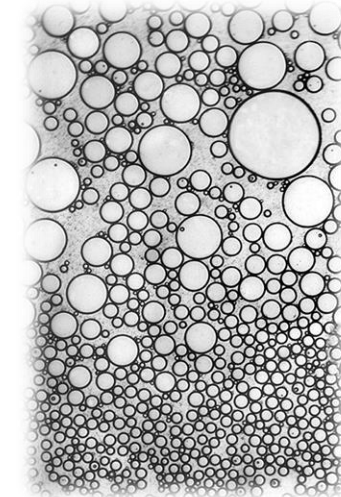
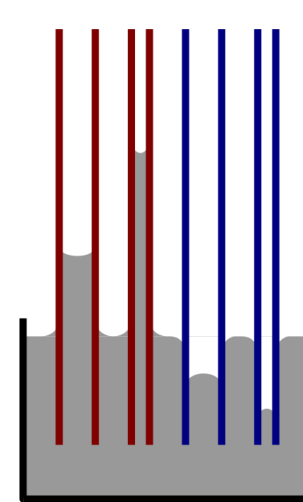
0 Einführung

0.3 Rekapitulation GVT I

- gekrümmte Oberflächen von Flüssigkeiten weisen einen Druck auf, der auf die Oberflächenspannung zurückzuführen ist
- die fundamentale Gleichung, die dabei zu Grunde liegt ist die **Young-Laplace-Gleichung**:

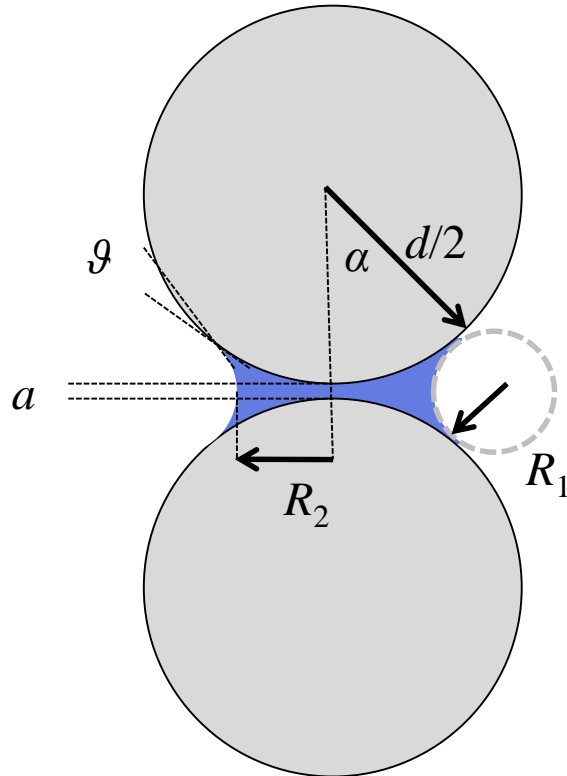
$$p_K = \gamma_{l,v} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

- daher:
 - „saugt“ ein Schwamm Wasser auf
 - benötigt man Energie um eine Emulsion zu erzeugen
 - hält eine Sandburg



0 Einführung

0.3 Rekapitulation GVT I



$$F_H = F_R + F_P$$

$$F_R = \sigma_{lg} \cdot \cos(90 - \alpha - \vartheta) \cdot \pi \cdot d \cdot \sin \alpha$$

$$F_P = p_K \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \sin^2 \alpha$$

$$p_K = \sigma_{lg} \cdot (R_1^{-1} + R_2^{-1})$$

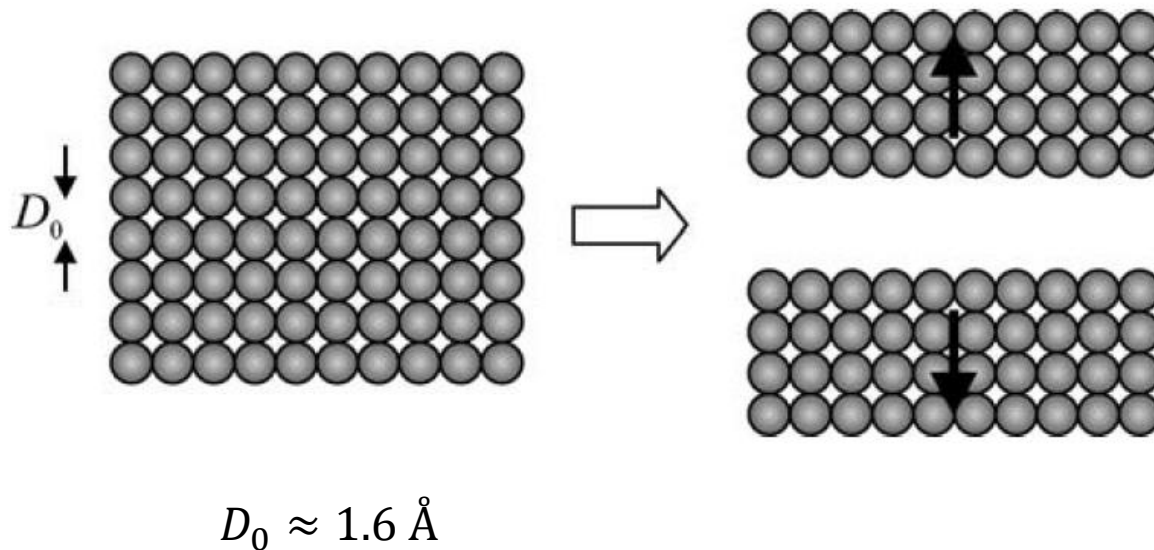
$$R_1 = \frac{a + d \cdot (1 - \cos \alpha)}{2 \cdot \cos(\alpha + \vartheta)}$$

$$R_2 = \frac{d}{2} \cdot \sin \alpha - R_1 \cdot [1 - \sin(\alpha + \vartheta)]$$

0 Einführung

0.3 Rekapitulation GVT I

Zusammenhang von **Oberflächenenergie** und **Hamaker-Konstante** durch Gedankenexperiment, einen kondensierte Phase zu teilen, d.h. Oberfläche zu erzeugen



$$w = \frac{A_H}{12\pi \cdot D_0^2}$$

$$w = \frac{W}{A} = 2 \cdot \gamma_s$$

$$\gamma_s = \frac{A_H}{24\pi \cdot D_0^2}$$

0 Einführung

0.3 Rekapitulation GVT I

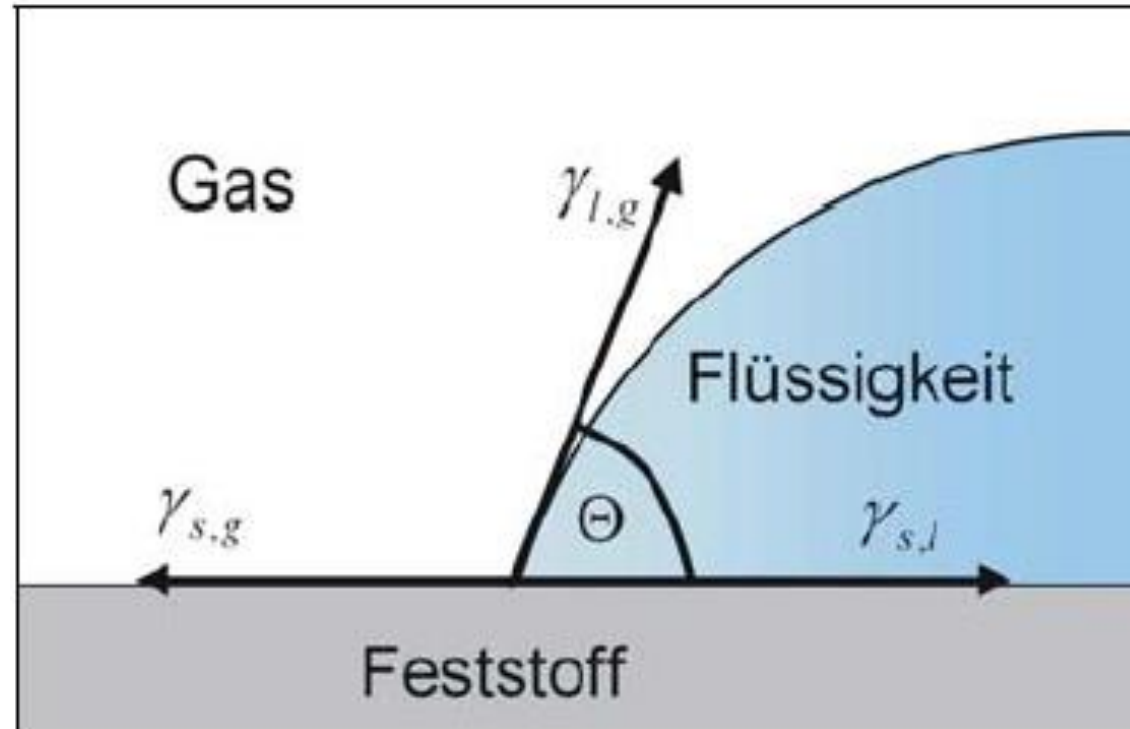
- Gleichgewicht am Dreiphasenkontakt

$$\sigma_B = \gamma_{s,g} - \gamma_{s,l} = \gamma_{l,g} \cdot \cos\Theta$$

Benetzungsspannung

$\sigma_B > 0$ Hydrophilie

$\sigma_B < 0$ Hydrophobie



0 Einführung

0.3 Rekapitulation GVT I

- kapillare Steigung (im Zusammenhang mit Young-Laplace-Gleichung)

$$h = \frac{2\gamma_L \cdot \cos \Theta}{r_c g \rho}$$

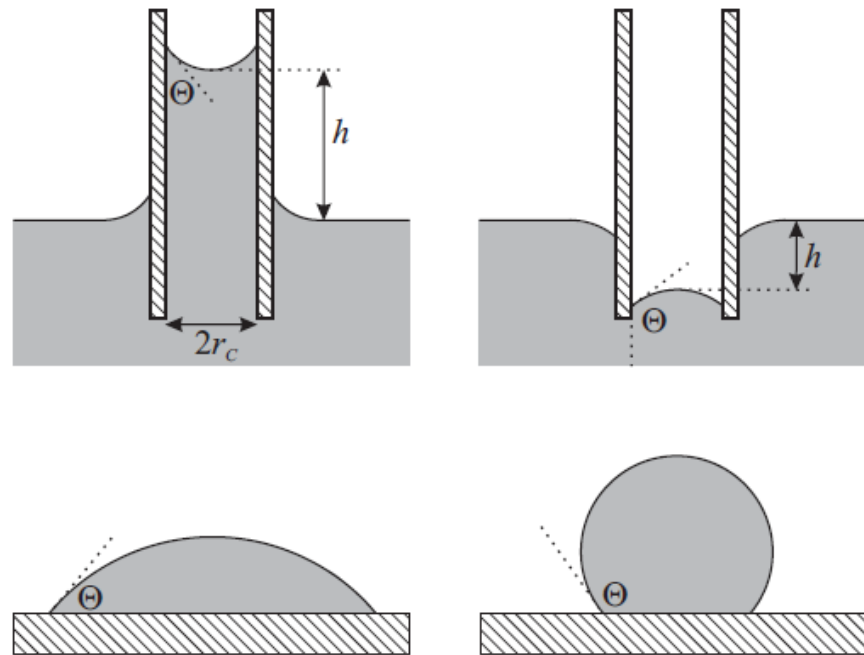
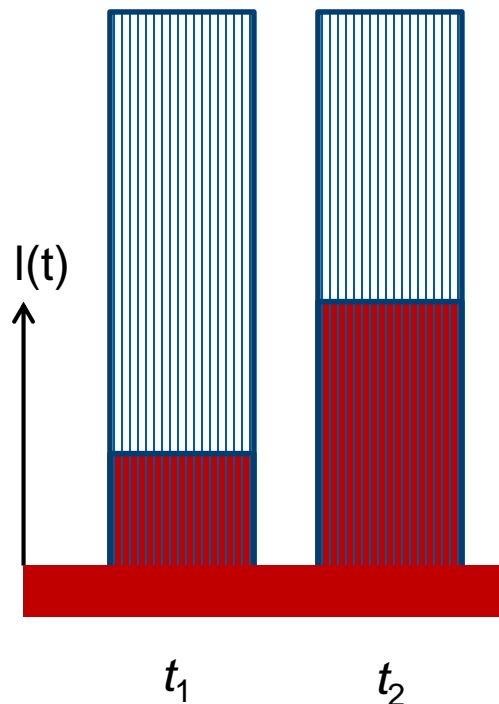


Figure 7.3: Rise of a liquid in a partially wetted (left) and capillary depression in a nonwetted (right) capillary. Below, the same wetting situations are shown for a drop on a planar solid surface.

0 Einführung

0.3 Rekapitulation GVT I

- Geschwindigkeit der kapillaren Steigung in porösen Systemen durch die **Washburn-Gleichung** (im Zusammenhang von Benetzung, Krümmungsdruck der Young-Laplace-Gleichung und laminare Durchströmung von "Rohren" also Kapillaren)



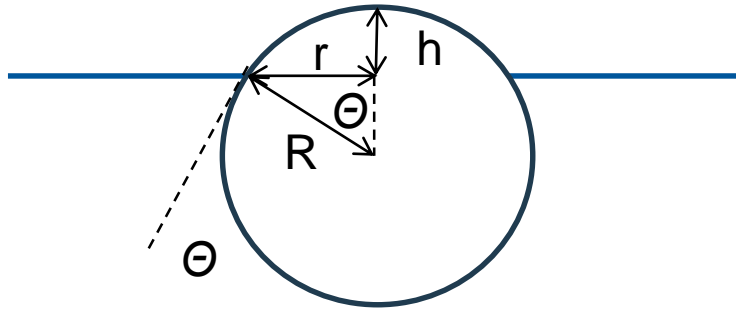
$$l(t) = \sqrt{\frac{r_c \cdot \gamma_l \cdot t \cdot \cos\theta}{2 \cdot \eta}}$$

$$\frac{m_l^2(t)}{t} = \frac{c \cdot \rho_l^2 \cdot \gamma_l \cdot \cos\theta}{\eta}$$

0 Einführung

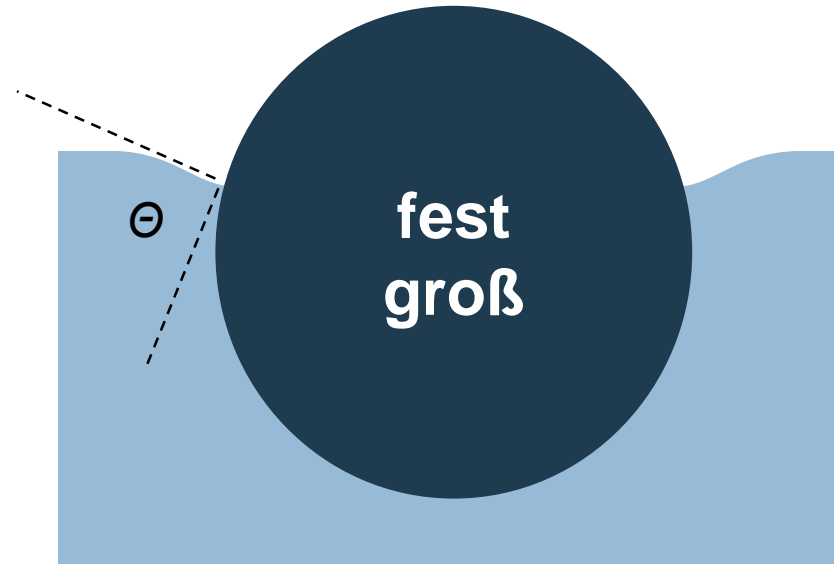
0.3 Rekapitulation GVT I

- Partikel in der Phasengrenze



$$r = R \cdot \sin\theta$$
$$h = R - R \cdot \cos\theta$$
$$\Delta G = 2\pi \cdot R^2 \cdot \gamma_l \cdot (\cos\theta - 1)^2$$

$$F = 2\pi \cdot R \cdot \gamma_l \cdot \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

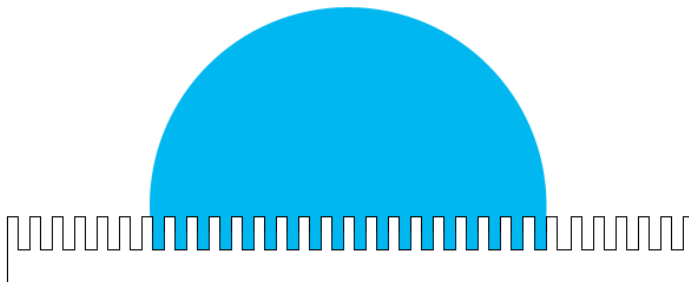


0 Einführung

0.3 Rekapitulation GVT I

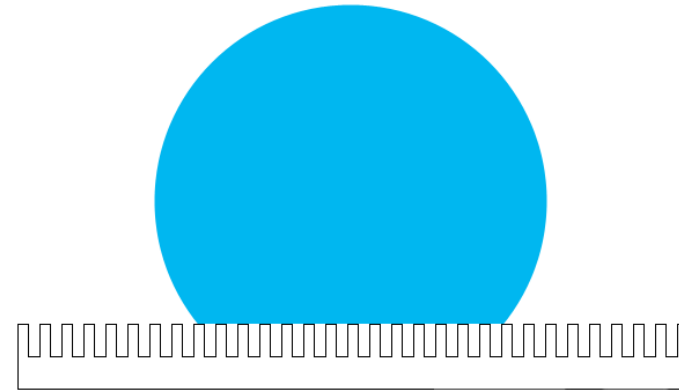
- Durch Rauigkeiten erscheint der makroskopische (scheinbare) Kontaktwinkel Θ_{app} unterschiedlich vom mikroskopischen Kontaktwinkel Θ
Generell gilt
 - für $\Theta > 90^\circ$ steigt der Kontaktwinkel, sodass $\Theta < \Theta_{app}$
 - für $\Theta < 90^\circ$ sinkt der Kontaktwinkel, sodass $\Theta > \Theta_{app}$

$$\cos\theta_{app} = R_{rough} \cdot \cos\theta$$



**Wenzel-
Rauigkeitsmodell**

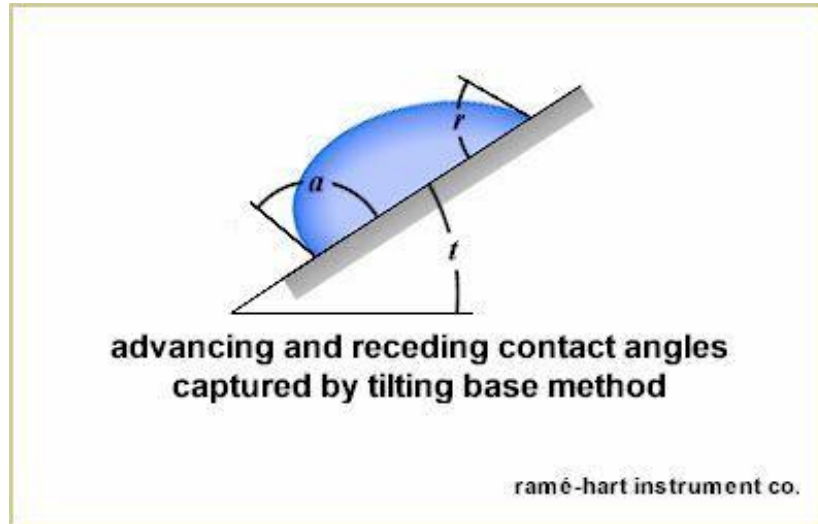
$$\cos\theta_{app} = \varphi_1 \cdot \cos\theta_1 + \varphi_2 \cdot \cos\theta_2$$



**Cassie-Baxter
Rauigkeits/Heterogenitätsmodell**

0 Einführung

0.3 Rekapitulation GVT I



Gründe:

- Rauigkeiten
- Heterogenitäten
- gelöste Substanzen in Flüssigkeit

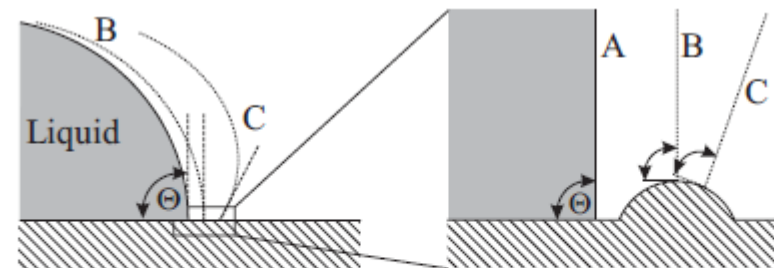


Figure 7.8: A drop advancing over a solid surface with a microscopic protrusion. The left side shows the optically visible situation. On the right, microscopic details are schematically illustrated.