



HELMHOLTZ-INSTITUT FREIBERG
FÜR RESSOURCENTECHNOLOGIE

Grenzflächenverfahrenstechnik II

4. Vorlesung

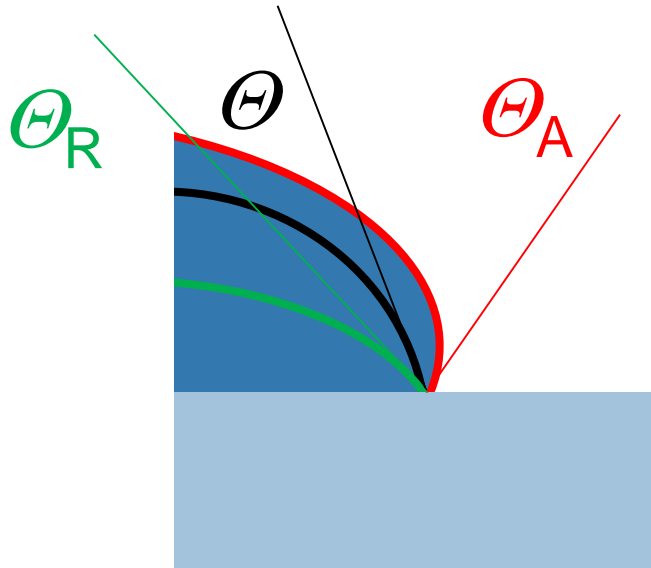
06. Dezember 2019

Dr.-Ing. Martin Rudolph

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

4 Kontaktwinkelhysterese



Θ stationärer (ruhender) Randwinkel
 Θ_A Vorrückwinkel (engl. Advancing)
 Θ_R Rückzugswinkel (engl. Receding)

$$H = \Theta_A - \Theta_R \quad \text{Kontaktwinkelhysterese}$$

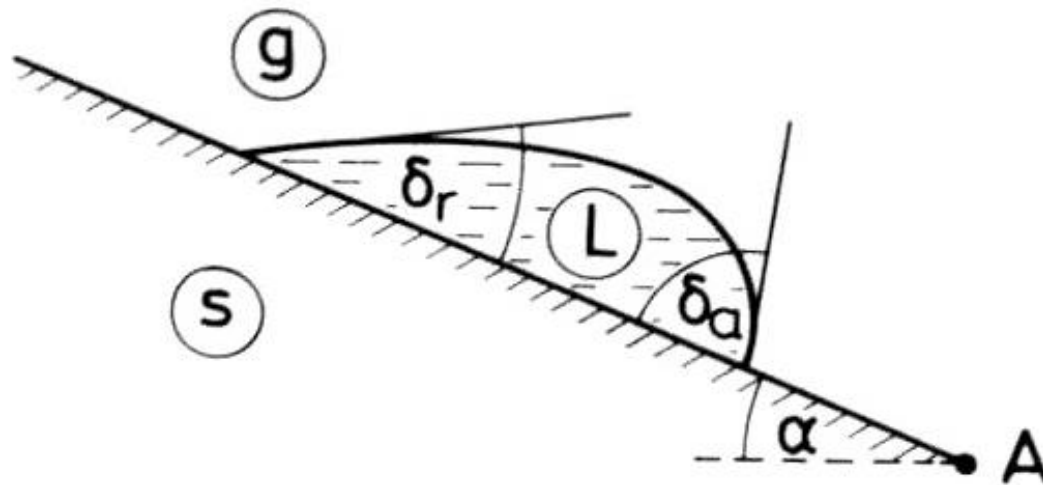
zu beobachten bei

- fixiertem Tropfen bei Neigung (sog. Pinning Effekt)
- bewegendem (z.B. abrollendem) Tropfen, d.h. bewegender Dreiphasenlinie

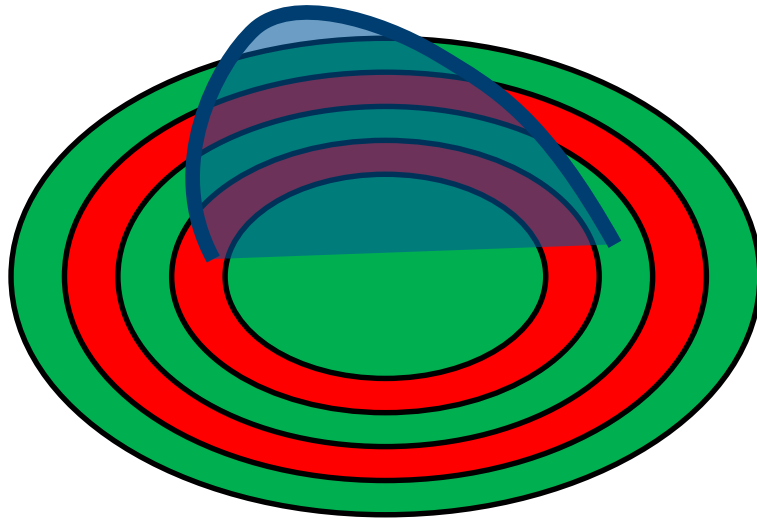
4 Kontaktwinkelhysterese

Vorrück- /
Rückzugsrandwinkel

$$\delta_a \geq \delta_r$$



4 Kontaktwinkelhysterese



Modell einer heterogen
benetzbaren Struktur
rot – schlecht benetzend
grün – gut benetzend

Gedankenexperiment:

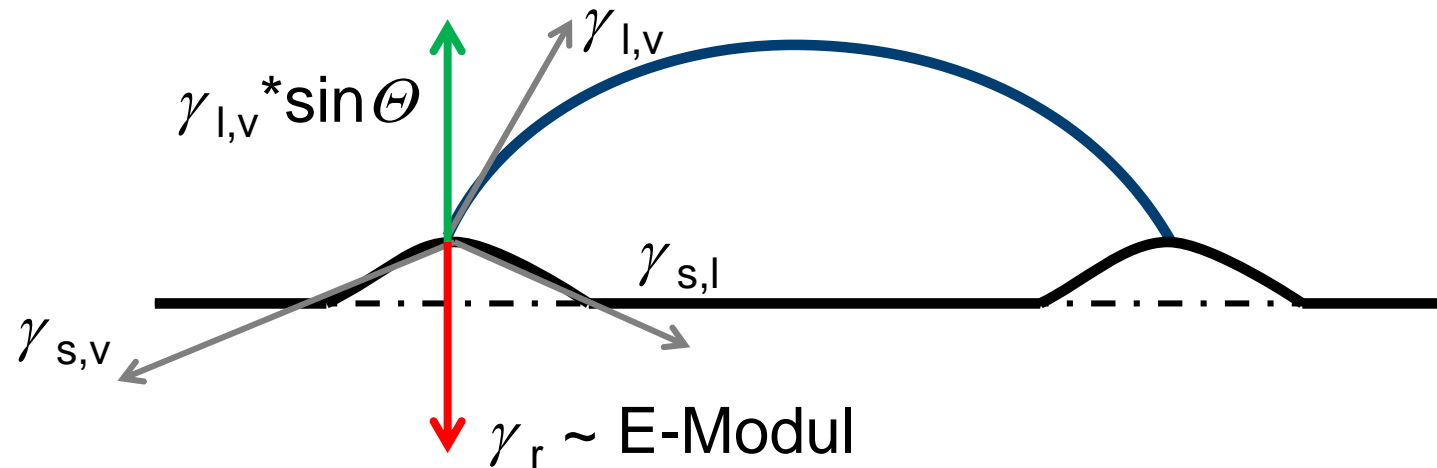
- Vorrückwinkel – schlechte Benetzbarkeit dominiert
- Rückzugswinkel – gute Benetzbarkeit dominiert

Bei geringer räumlicher Ausdehnung der Störungen kann der scheinbare stationäre Kontaktwinkel nach der **Cassie-Gleichung** berechnet werden (s. GVT I)

4 Kontaktwinkelhysterese

Gründe für Hysteresen, i. A. reale Oberflächen, d.h.:

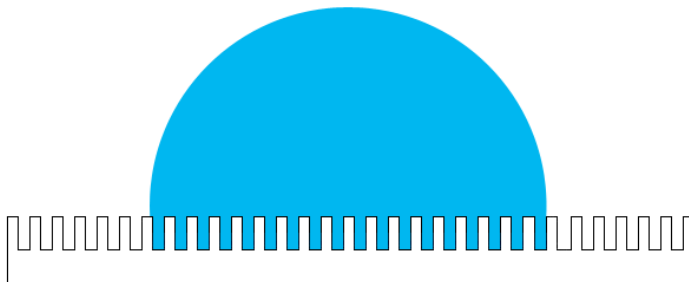
- Oberflächenrauigkeiten (cf. Wenzel-Gleichung in GVT I)
- Heterogenitäten (cf. Cassie-Baxter-Gleichung in GVT I)
 - ✓ chemisch
 - ✓ strukturell
- Verformbarkeit der Oberfläche durch Linienkräfte bei elastischen Grenzflächen (siehe Skizze)



4 Kontaktwinkelhysterese

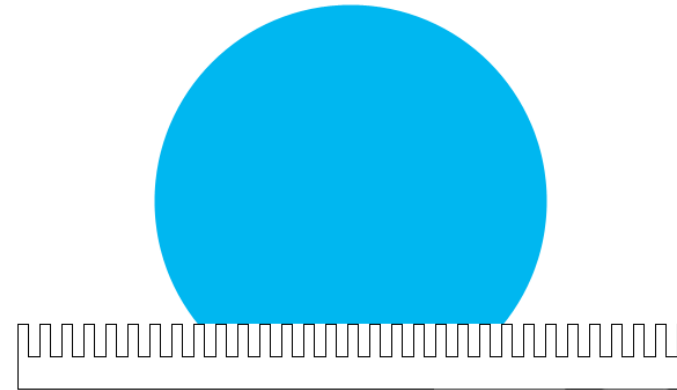
- Durch Rauigkeiten erscheint der makroskopische (scheinbare) Kontaktwinkel Θ_{app} unterschiedlich vom mikroskopischen Kontaktwinkel Θ
Generell gilt
 - für $\Theta > 90^\circ$ steigt der Kontaktwinkel, sodass $\Theta < \Theta_{app}$
 - für $\Theta < 90^\circ$ sinkt der Kontaktwinkel, sodass $\Theta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

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



**Wenzel-
Rauigkeitsmodell**

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



**Cassie-Baxter
Rauigkeits/Heterogenitätsmodell**

4 Kontaktwinkelhysterese

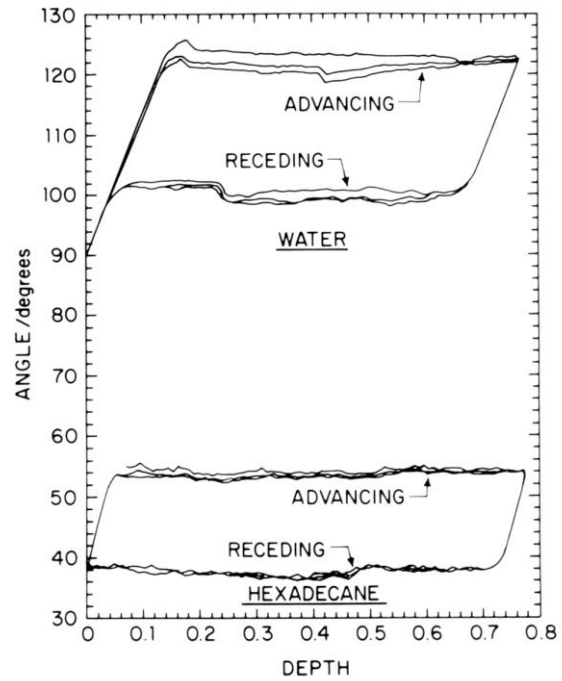


FIG. 5 Wettability of a fluoropolymer by water and hexadecane. Contact angle vs. depth of immersion by the Wilhelmy plate method (three cycles).

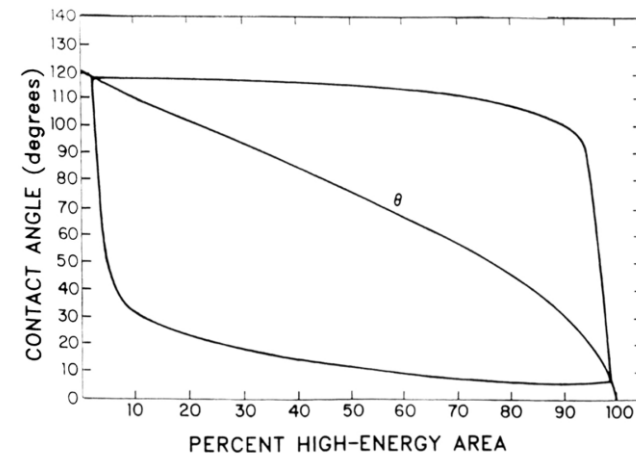
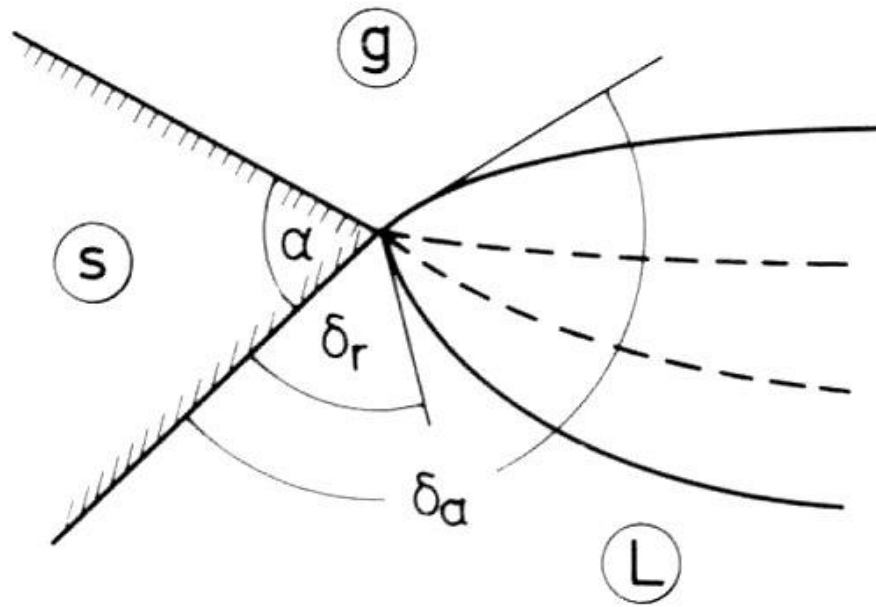


FIG. 6 Contact angles as a function of surface coverage. Concentric circular-band model. (From Ref. 22c by permission.)

4 Kontaktwinkelhysterese

Kanten - geometrische Unbestimmtheit



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

5 Messung an Partikelsystemen

5.1 Filmflotation

Kubische Partikel - Filmflotation

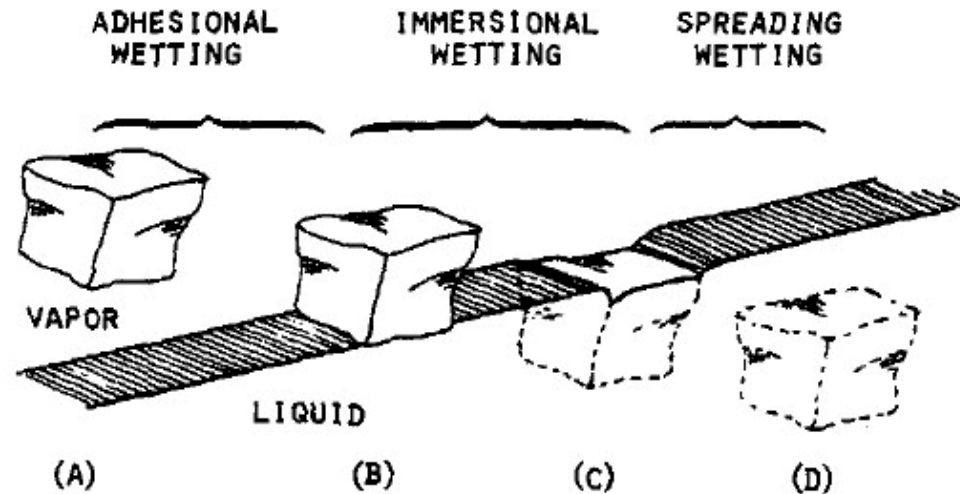


Fig. 1: Schematic of the film flotation process, starting with particles in the vapor phase (A). With a finite contact angle film flotation occurs (C), and immersion takes place (D) when the contact angle is zero.

5 Messung an Partikelsystemen

5.1 Filmflotation

Ergebnis Filmflotation

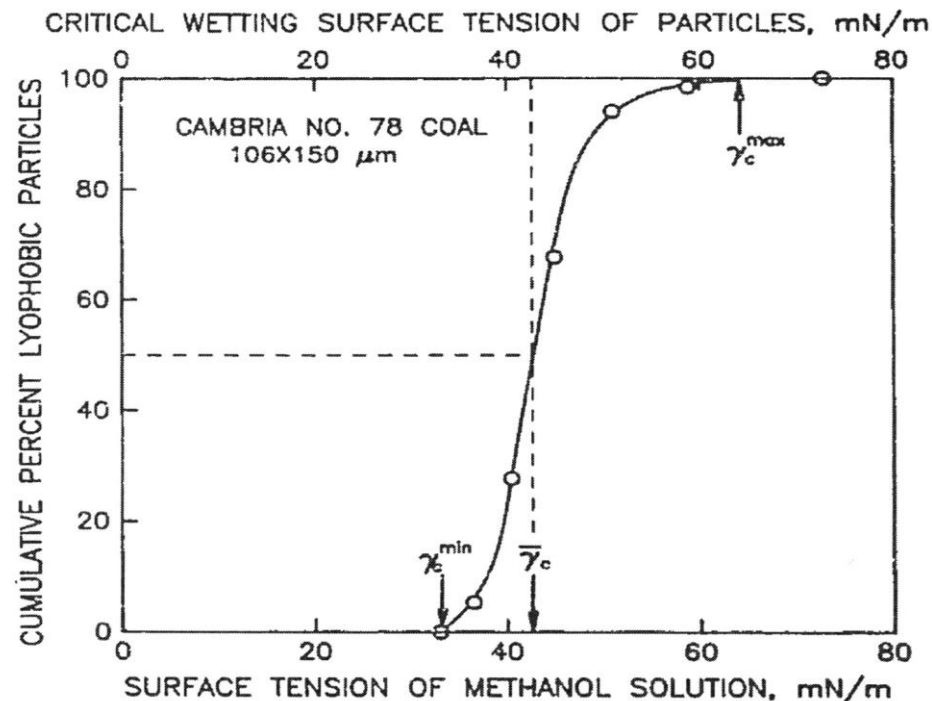


Fig. 1. The cumulative percentage of lyophobic (hydrophobic) Cambria No. 78 coal particles as a function of their wetting surface tension, as obtained from film flotation with aqueous methanol solutions.

5 Messung an Partikelsystemen

5.1 Filmflotation

Verteilung der Benetzbarkeit

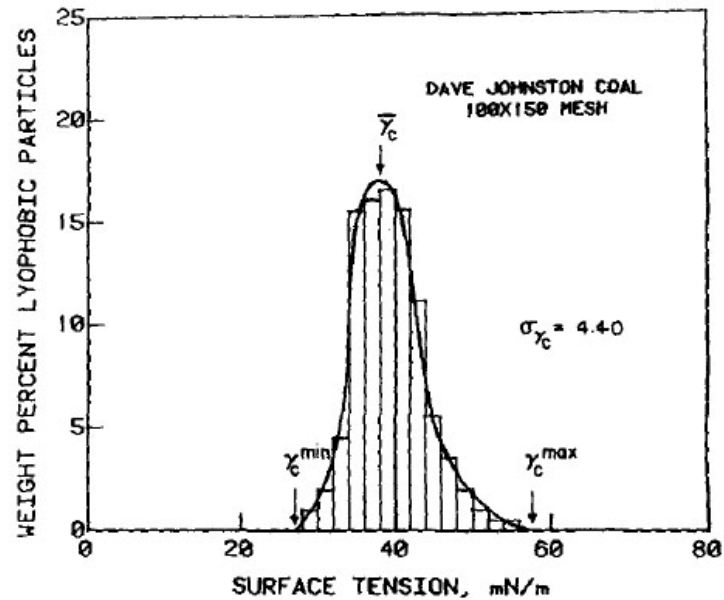


Fig. 5: Frequency histogram for the distribution of the wetting surface tension of 100 × 150 mesh Dave Johnston coal particles.

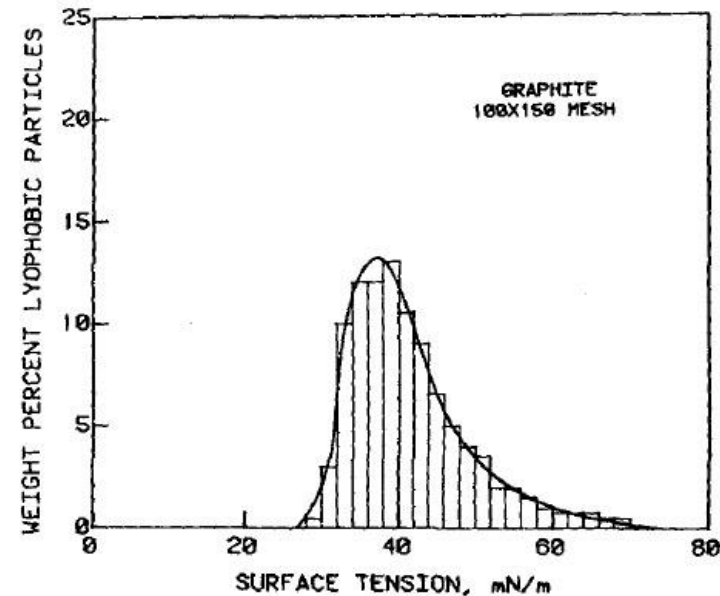


Fig. 6: Frequency histogram for the distribution of the wetting surface tension of 100 × 150 mesh graphite particles.

5 Messung an Partikelsystemen

5.1 Filmflotation

Einfluss von Oberflächenoxidation von Kohle auf Benetzbarkeit

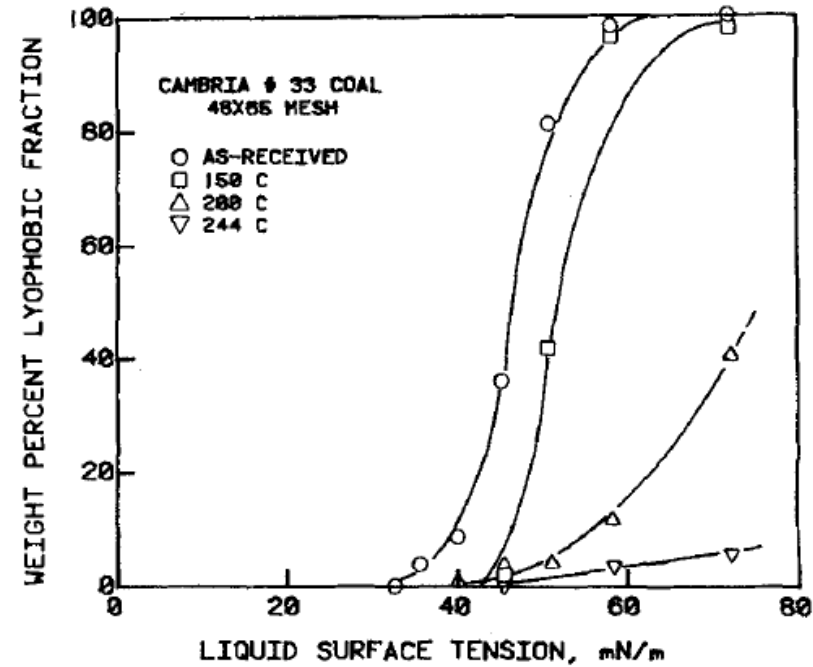
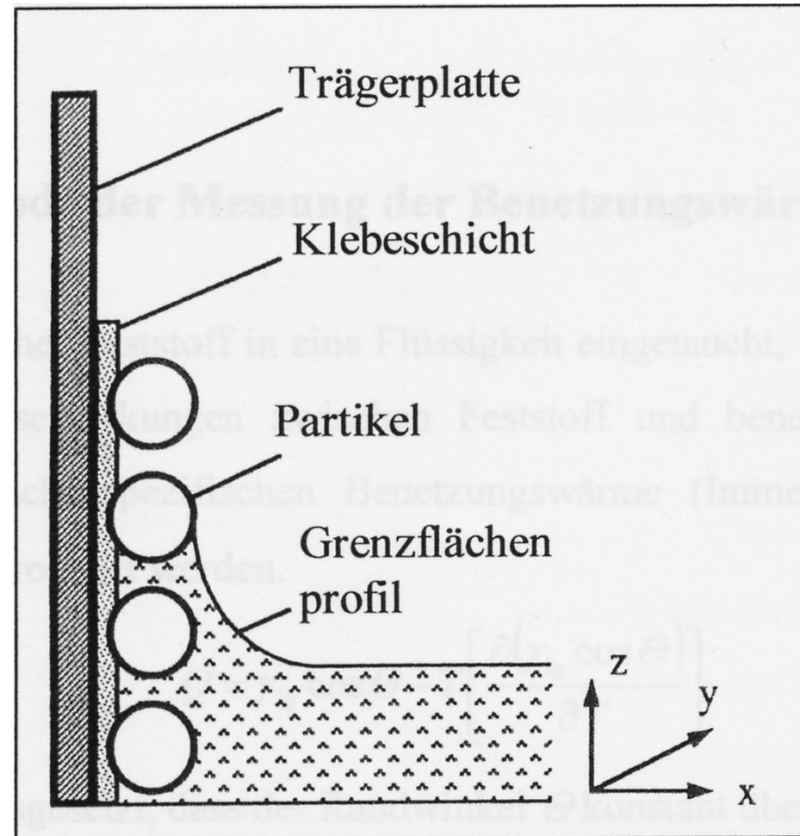


Fig. 11: The effect of oxidation on the film flotation of 48 × 65-mesh Cambria #33 particles.

5 Messung an Partikelsystemen

5.2 Methode nach Bröckel und Löffler



5 Messung an Partikelsystemen

5.4 Flüssigkeitspenetration in Partikelbett

Steighöhenmethode (Helmar Schubert)

