



Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

3.

Struktur der Materie

Grenzflächenphänomene

Phase/Phasendiagramm/Phasenübergang

Schwerpunkte:

- ❖ Oberflächenspannung
- ❖ Adhäsion, Benetzung
- ❖ Phase, Phasendiagramm
- ❖ Phasenübergänge (1./2. Ordnung und Kinetik)

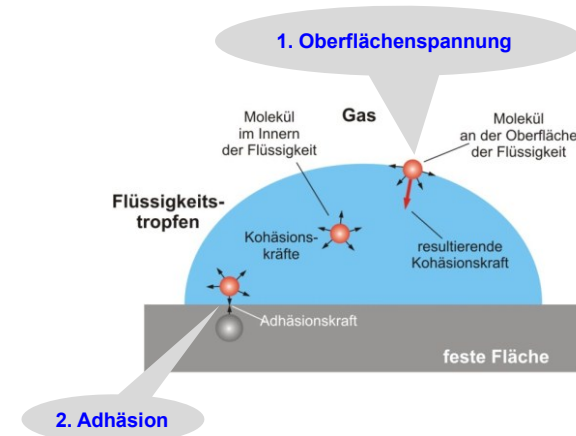
Kapitel des Lehrbuches:
6, 7

Aufgaben:
1. Kapitel:
24, 25, 27, 28, 31

1

Grenzflächenphänomene

1. Oberflächenspannung



2

1. Oberflächenspannung (Oberflächenenergie)

Oberflächenspannung oder spezifische Oberflächenenergie (σ):

$$\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta A} \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}} \right)$$



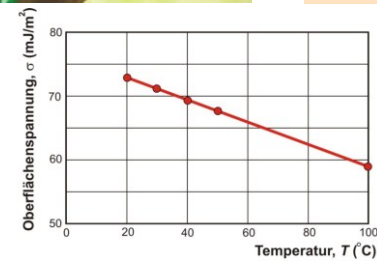
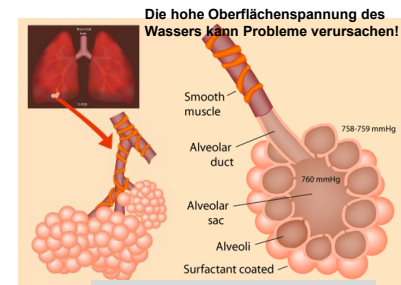
Stoff	$\sigma (\text{J/m}^2)^*$
Wasser	0,073
Blut	0,06
Speichel	0,05
Paraffin	0,025
Alkohol	0,023
Dentin	0,092
Zahnschmelz	0,087
Quecksilber	0,484

* In Bezug auf Luft, 20°C

Ein Maß für „Narzissmus“:



3

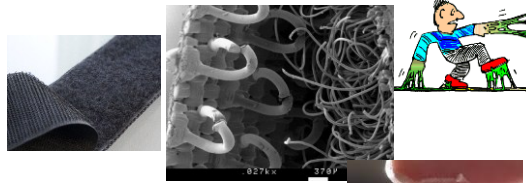


Neonatales Atemnotsyndrom (RDS-respiratory distress syndrome) (Surfactant Mangelsyndrom)

4

2. Adhäsion

- Mechanische



- Chemische (Ionische, kovalente, Bindung)
- Adsorption (van der Waals-Kräfte)
- Elektrostatistische (aufgeladene Flächen)

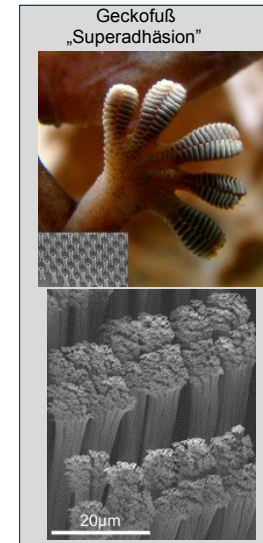
Diffusion ← z.B. beim Sinter

Der häufigste und allgemeinste Adhäsionstyp



Adhäsionskräfte ~ Kontaktfläche
~ Nähe

5



Adhäsion in der zahnärztlichen Praxis, Faktoren:

- Fläche – Säurebehandlung
- Viskosität
- Benetzung (Adhäsion zwischen einem festen und flüssigen Stoff)

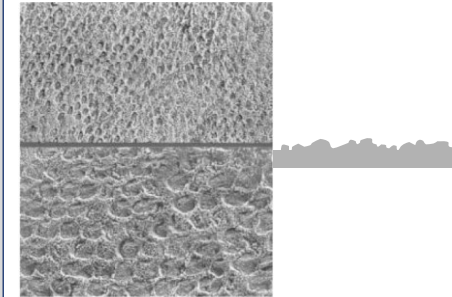
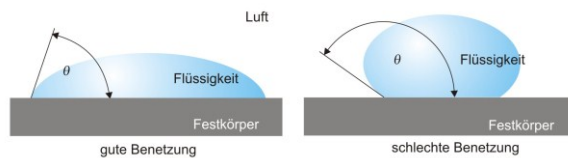
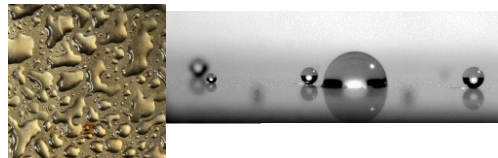


Figure 1. Morphological aspect of the surface of enamel conditioned with 36% phosphoric acid for 20s. The formation of micropores with type I pattern of conditioning can be observed. (Original magnification: top, 750X; bottom, 1500X).

6

Benetzung (Adhäsion zwischen festen und flüssigen Stoffen)



θ: Kontaktwinkel

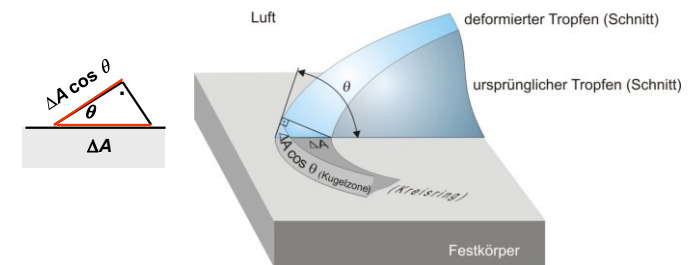
Young-Gleichung:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{f,g} - \sigma_{f,fl}}{\sigma_{fl,g}}$$

- f,g : fest-gas
- f,fl : fest-flüssig
- fl,g : flüssig-gas

7

Herleitung der Young-Gleichung:

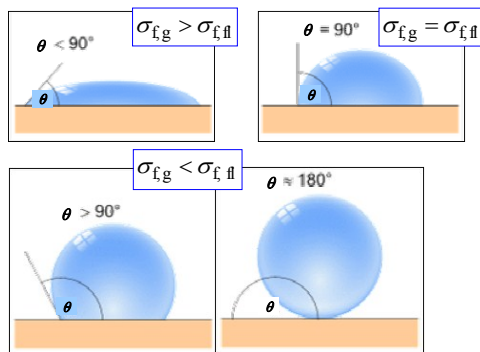


Gleichgewicht = Energieminimum → Eine kleine Änderung in der Kontaktfläche verursacht keine Änderung in der Energie:

$$\Delta E = \Delta A \cdot \sigma_{f,fl} - \Delta A \cdot \sigma_{f,g} + \Delta A \cos \theta \cdot \sigma_{fl,g} = 0$$

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{f,g} - \sigma_{f,fl}}{\sigma_{fl,g}}$$

8



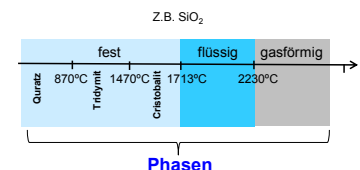
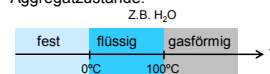
Oberflächenenergie von einigen Stoffen:

Stoff	σ (mJ/m ²)
Wasser	73 (25° C)
Speichel	50 (37° C)
Dentin	92
Zahnschmelz	87
PMMA	45
Paraffin	25

9

Phase

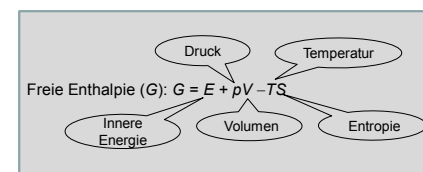
Aggregatzustände:



Phasen

Phase: physikalisch und chemisch homogener Stoffbereich

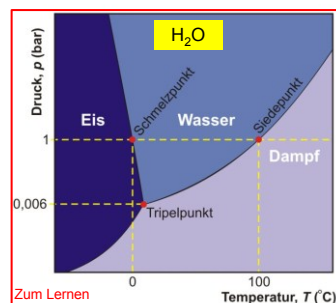
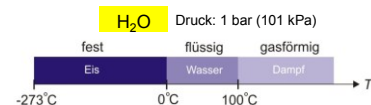
Stabile Phase: unter den gegebenen Umständen die thermodynamisch günstigste Phase (der minimalen freien Enthalpie)



10

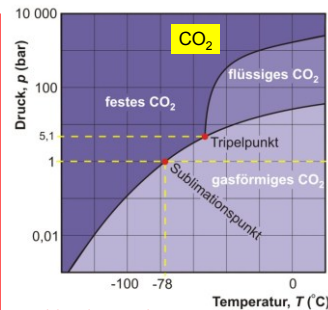
Phasendiagramm

Beispiele:

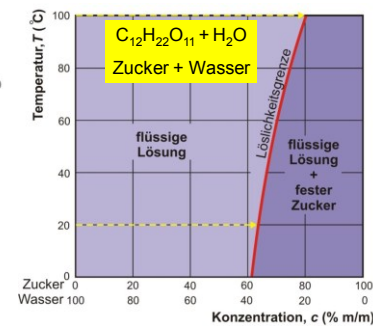
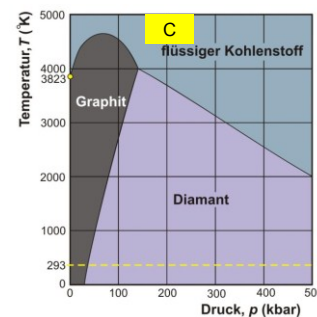


Zum Lernen (ohne Zahlenwerte), die weiteren Phasendiagramme müssen nicht gelernt werden

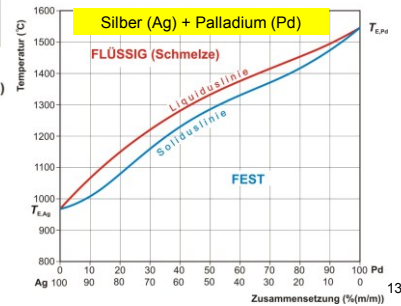
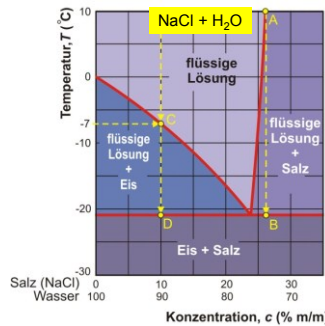
Phasendiagramm: Darstellung der stabilen Phasen bei verschiedenen Bedingungen (p , T , c , ...)



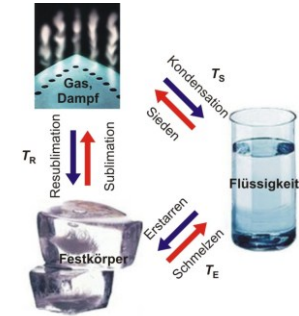
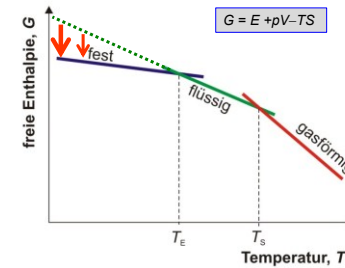
11



12



Phasenübergang



➤ **Triebkraft:** Differenz in der freien Enthalpie

⇒ Je kleiner T ($< T_E$), desto größer wird die Triebkraft

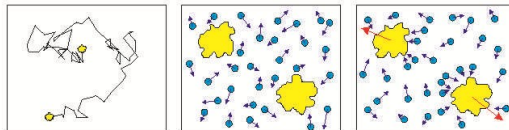
➤ **Ablauf:** durch die Bewegungen von Atomen und Molekülen (s. Diffusion)

⇒ Je kleiner T ($< T_E$), desto schwächer werden die Bewegungen

14

Diffusion

Brownsche Bewegung:



Diffusion: Tendenz für gleichmäßige Verteilung, für Konzentrationsausgleich



„Geschwindigkeit“ der Diffusion ~ Konzentrationsdifferenz
Diffusionskoeffizient

Ficksches Gesetz:

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = -D \cdot A \cdot \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

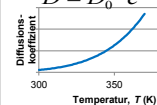
D : Diffusionskoeffizient (m^2/s)

Diffundierendes Molekül	Medium	D (m^2/s)
O_2	Luft	$\approx 10^{-5}$
	Wasser	$\approx 10^{-9}$
He	Glas	$\approx 10^{-50}$
	Glas	$\approx 10^{-18}$

Einstein-Stokes-Gleichung:
(für kugelförmige Teilchen)

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r}$$

$$D = D_0 \cdot e^{-\frac{\Delta E}{kT}}$$

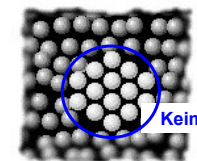


15

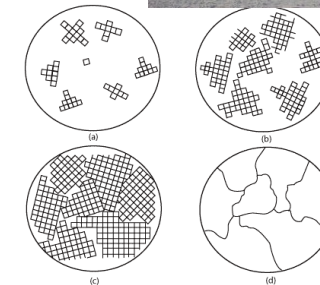
Kinetik des Phasenüberganges (z. B. der Erstarrung)

Unterkühlung: $T < T_E$!

1. Keimbildung

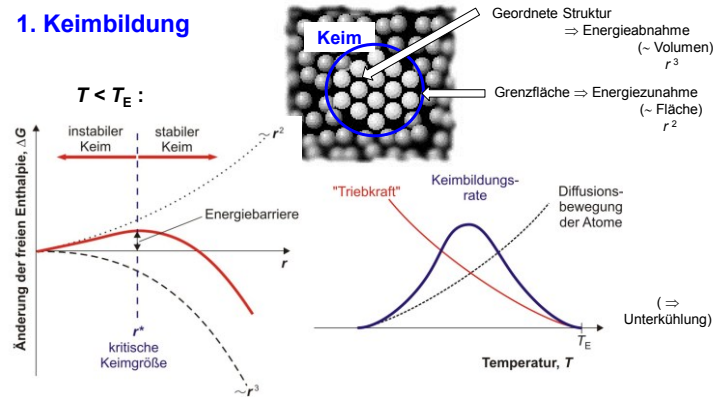


2. Wachstum



16

1. Keimbildung

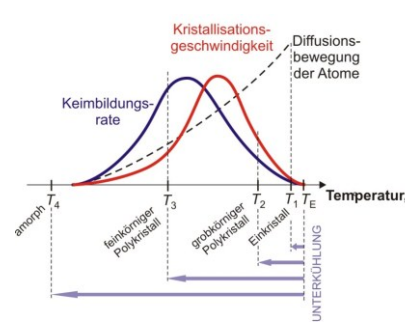


- **homogene Keimbildung:** an den gleichen Atomen
- **heterogene Keimbildung:** an Fremdatomen (Gefäßwand, Verunreinigung), oder an Defekten

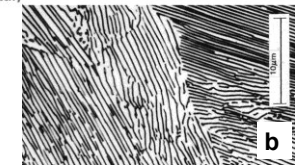
schneller!

17

2. Wachstum



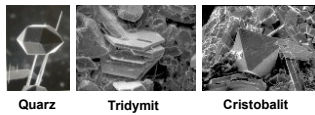
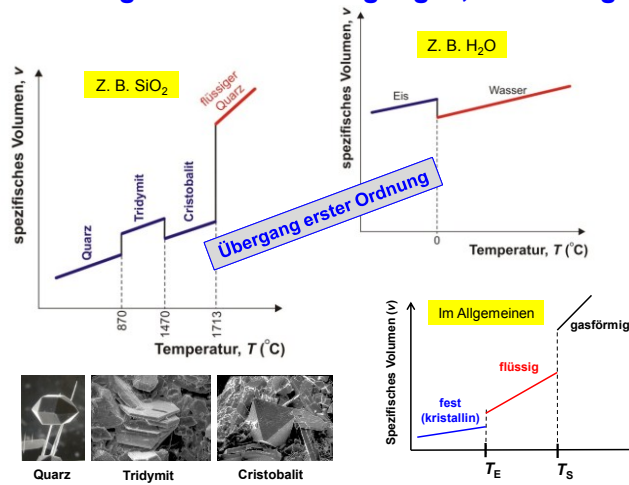
Gestalt und Größe der Körner \Rightarrow Eigenschaften!



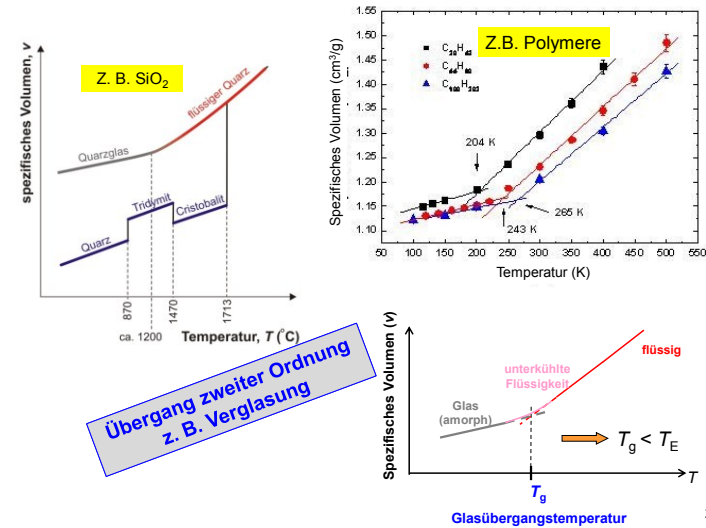
härter, stärker, weniger plastisch

18

Ordnung des Phasenüberganges, Glasübergang

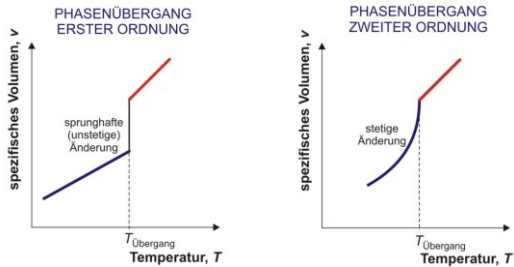


19



20

Zusammenfassend:



Interessant:

