



Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

3.

Struktur der Materie

Phase/Phasendiagramm/Phasenübergang

Grenzflächenphänomene

Schwerpunkte:

- ❖ Diffusion
- ❖ Pasendiagramm
- ❖ Phasenübergänge (1./2. Ordnung und Kinetik)
- ❖ Benetzung

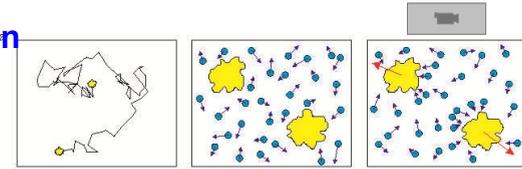
Kapitel des Lehrbuches:
6, 7

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

1

Diffusion

Brownsche Bewegung:



Diffusion: Tendenz für gleichmäßige Verteilung, für Konzentrationsausgleich



„Geschwindigkeit“ der Diffusion ~ Konzentrationsdifferenz
Diffusionskoeffizient

Ficksches Gesetz:

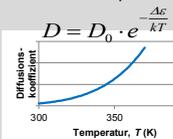
$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = -D \cdot A \cdot \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

D: Diffusionskoeffizient (m²/s)

Diffundierendes Molekül	Medium	D (m ² /s)
O ₂	Luft	≈ 10 ⁻⁵
	Wasser	≈ 10 ⁻⁹
	Glas	≈ 10 ⁻⁵⁰
He	Glas	≈ 10 ⁻¹⁸

Einstein-Stokes-Gleichung:
(für kugelförmige Teilchen)

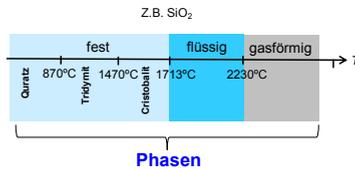
$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r}$$



2

Phase

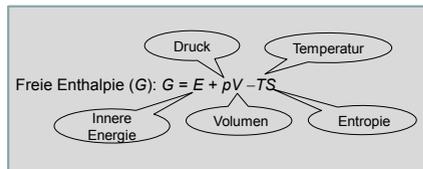
Aggregatzustände:



Phasen

Phase: physikalisch und chemisch homogener Stoffbereich

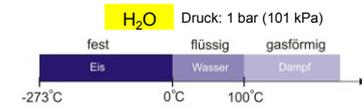
Stabile Phase: unter den gegebenen Umständen die thermodynamisch günstigste Phase (der minimalen freien Enthalpie)



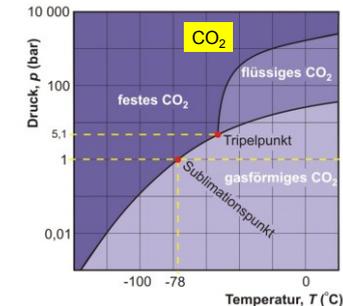
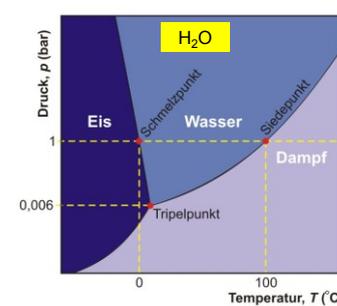
3

Phasendiagramm

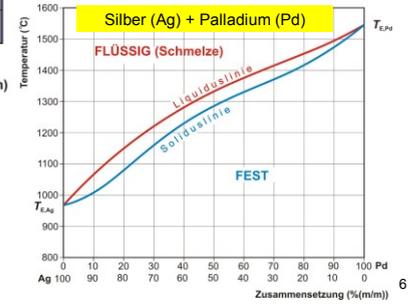
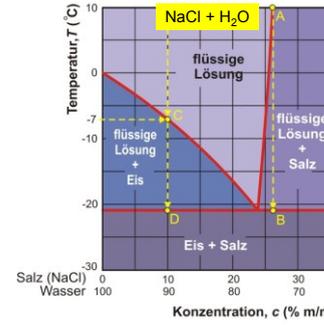
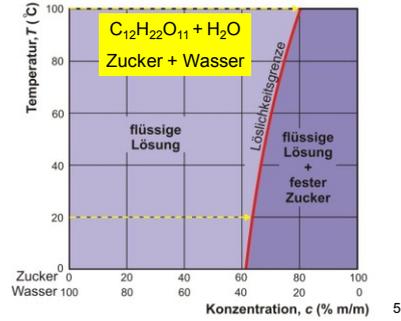
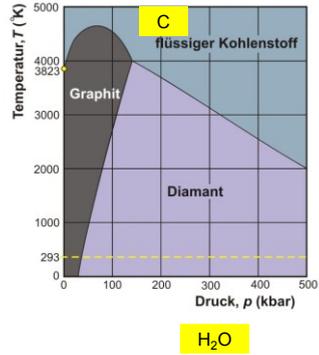
Beispiele:



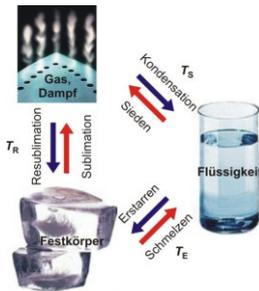
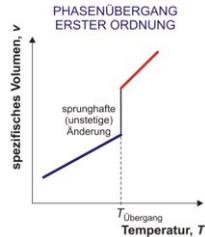
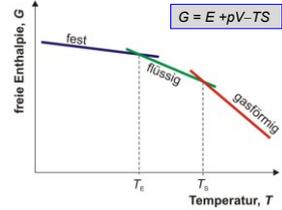
Phasendiagramm: Darstellung der stabilen Phasen bei verschiedenen Bedingungen (p, T, c, ...)



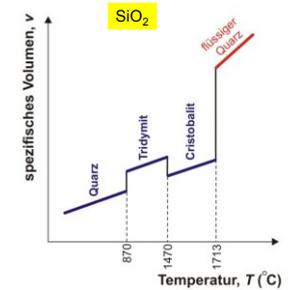
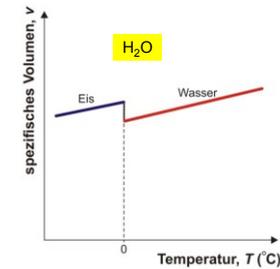
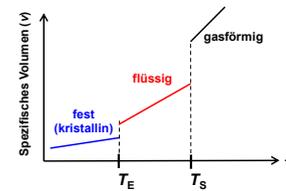
4



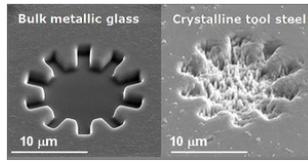
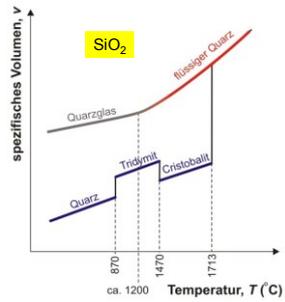
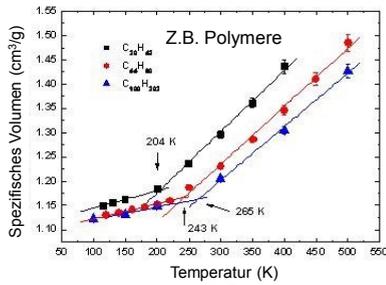
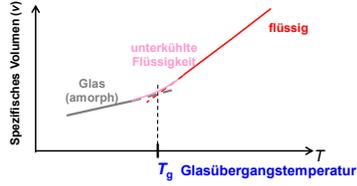
Phasenübergang



Beispiele: Phasenübergang erster Ordnung:



Phasenübergang zweiter Ordnung:

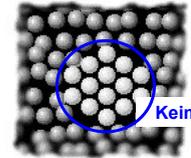


Amorpher Metall ↔ kristalliner Metall

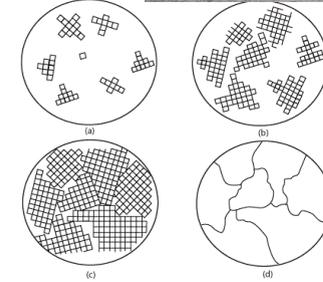
Kinetik des Phasenüberganges (z. B. der Erstarrung)

Unterkühlung: $T < T_E$!

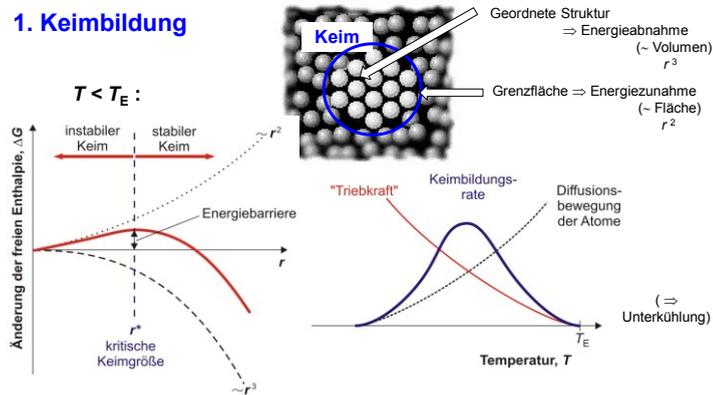
1. Keimbildung



2. Wachstum



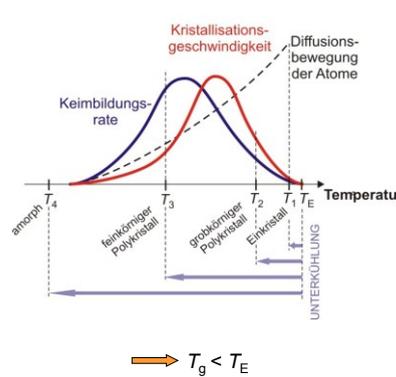
1. Keimbildung



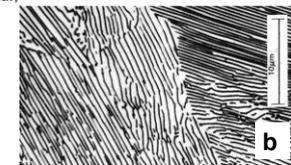
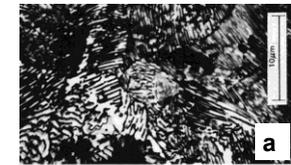
- **homogene Keimbildung:** an den gleichen Atomen
- **heterogene Keimbildung:** an Fremdatomen (Gefäßwand, Verunreinigung), oder an Defekten

schneller!

2. Wachstum

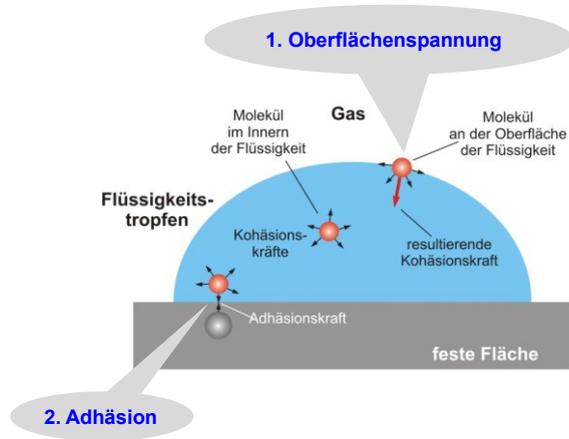


Gestalt und Größe der Körner => Eigenschaften!



härter, stärker, weniger plastisch

Grenzflächenphänomene



13

1. Oberflächenspannung (Oberflächenenergie)

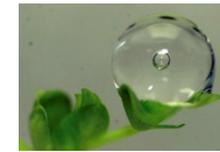
Oberflächenspannung oder spezifische Oberflächenenergie (σ):

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

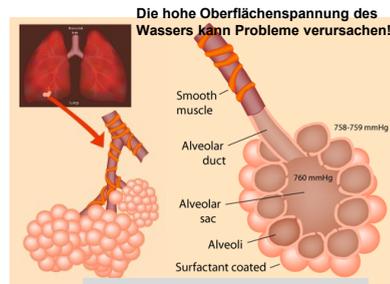
Stoff	σ (J/m ²)*
Wasser	0,073
Blut	0,06
Speichel	0,05
Paraffin	0,025
Alkohol	0,023
Dentin	0,092
Zahnschmelz	0,087
Quecksilber	0,484

* In Bezug auf Luft, 20°C

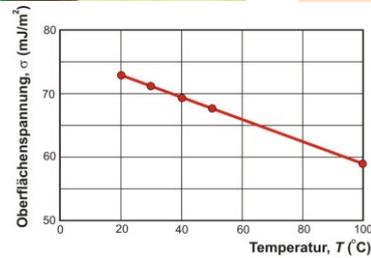
Ein Maß für "Narzissmus".



14



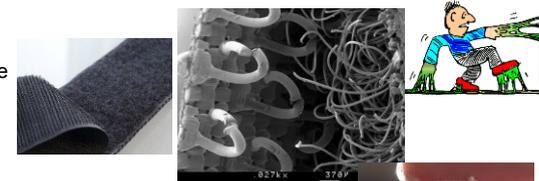
Neonatales Atemnotsyndrom (RDS-respiratory distress syndrome) (Surfactant Mangelsyndrom)



15

2. Adhäsion

- Mechanische



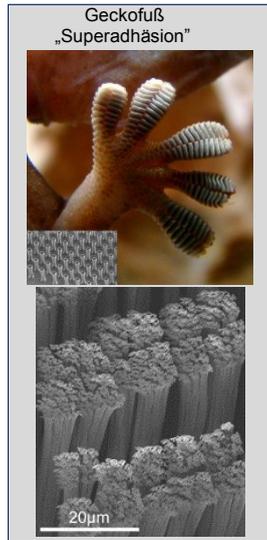
- Chemische (Ionische, kovalente, Bindung)
 - Adsorption (van der Waals-Kräfte)
 - Elektrostatische (aufgeladene Flächen)
- Diffusion ← z.B. beim Sinter

Der häufigste und allgemeinste Adhäsionstyp



Adhäsionskräfte ~ Kontaktfläche
~ Nähe

16



Adhäsion in der zahnärztlichen Praxis, Faktoren:

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

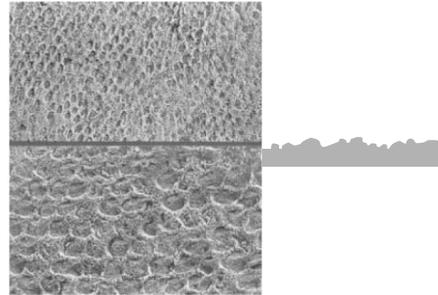
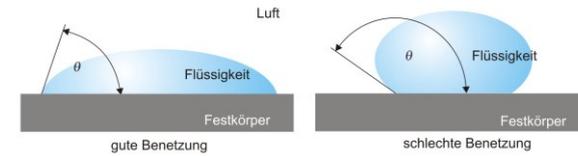
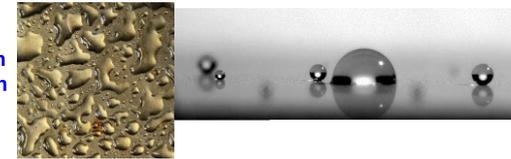


Figure 1. Morphological aspect of the surface of enamel conditioned with 36% phosphoric acid for 20 s. The formation of micropores with type I pattern of conditioning can be observed. (Original magnification: top, 750X; bottom, 1500X).

17

Benetzung (Adhäsion zwischen festen und flüssigen Stoffen)



θ : Kontaktwinkel

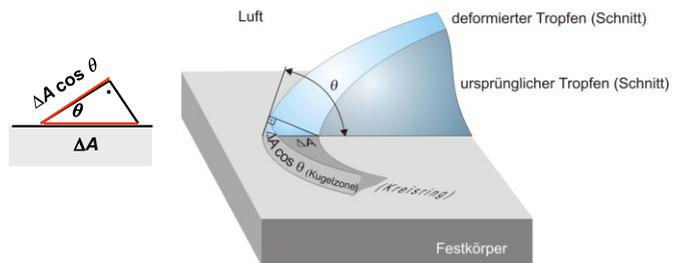
Young-Gleichung:

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

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

18

Herleitung der Young-Gleichung:

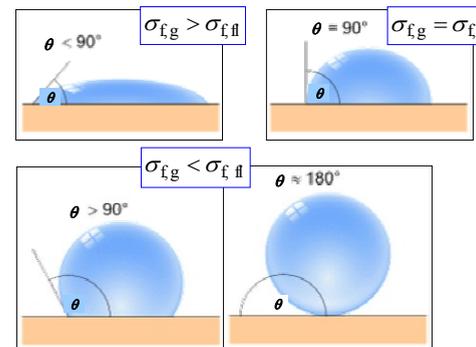


Gleichgewicht = Energieminimum \rightarrow Eine kleine Änderung in der Kontaktfläche verursacht keine Änderung in der Energie:

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

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

19



Nächste Vorlesung:
Kapitel 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

20