



Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

3.

Struktur der Materie

Grenzflächenphänomene

Phase/Phasendiagramm/Phasenübergang

Schwerpunkte:

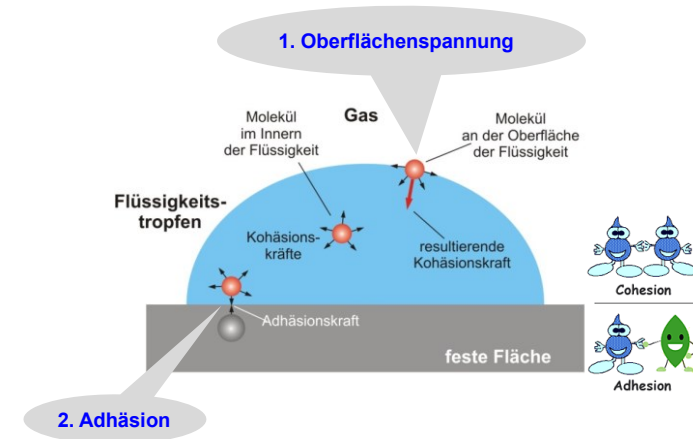
- ❖ Oberflächenspannung
- ❖ Adhäsion, Benetzung
- ❖ Phase, Phasendiagramm
- ❖ Phasenübergänge (1./2. Ordnung und Kinetik)

Kapitel des Lehrbuches:
6, 7

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

1

Grenzflächenphänomene



2

1. Oberflächenspannung

Oberflächenspannung oder spezifische Oberflächenenergie (σ):

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

Energiezunahme bei der Flächenzunahme von ΔA

Flächenzunahme



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

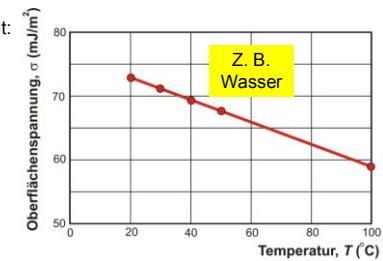
* in Bezug auf Luft, 20°C

Ein Maß für „Narzissmus“

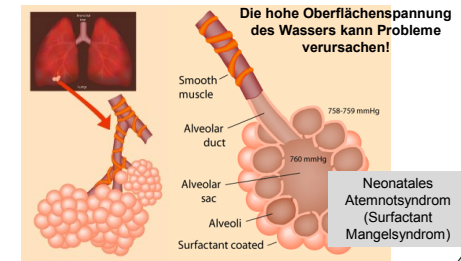


3

Die Temperaturabhängigkeit:

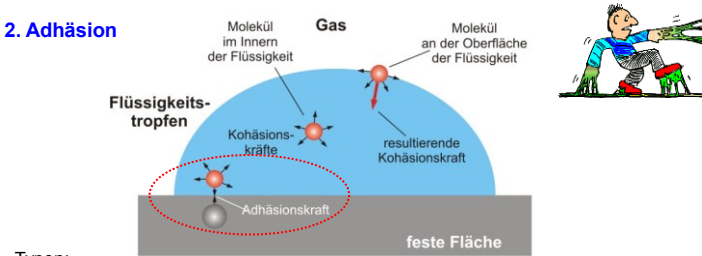


Folgerungen:



4

2. Adhäsion



Typen:

- Chemische (ionische, kovalente, H-Bindung)
 - Adsorption (van der Waals-Kräfte)
 - Diffusion
- Auf der Molekularebene

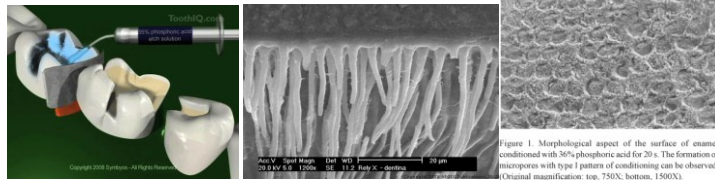
Der häufigste und allgemeinste Adhäsionstyp



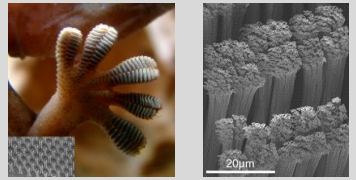
5

Adhäsion in in der zahnärztlichen Praxis
Bestimmende Faktoren:

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

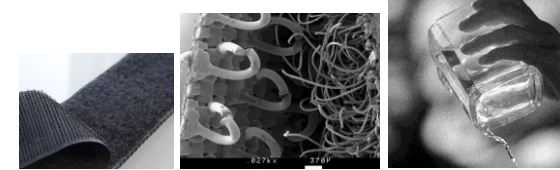


Geckfuß:
„Superadhäsion“



7

Weitere Typen: • Elektrostatische (aufgeladene Flächen) } Auf der makroskopischen Ebene
• Mechanische



Im Allgemeinen ist es gültig: **Stärke der Adhäsion ~ Kontaktfläche ~ Nähe**

Quantitative Charakterisierung:

Grenzflächenenergie oder spezifische Grenzflächenenergie (σ):

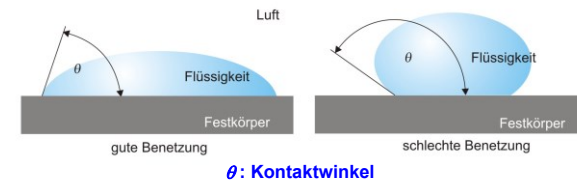
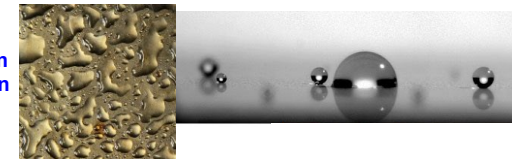
$$\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta A} \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}} \right)$$

Die Energiezunahme in Verbindung mit der Flächenzunahme von ΔA

Vergrößerung der Grenzfläche

6

Benetzung (Adhäsion zwischen festen und flüssigen Stoffen)



θ : Kontaktwinkel

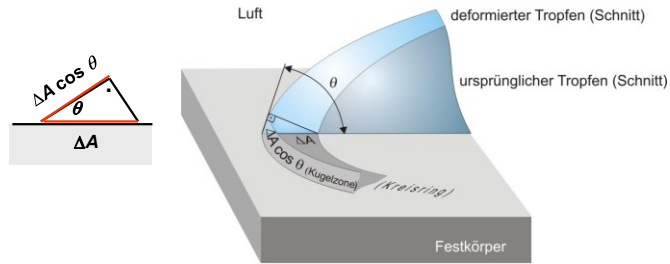
Young-Gleichung:

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

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

8

Herleitung der Young-Gleichung:

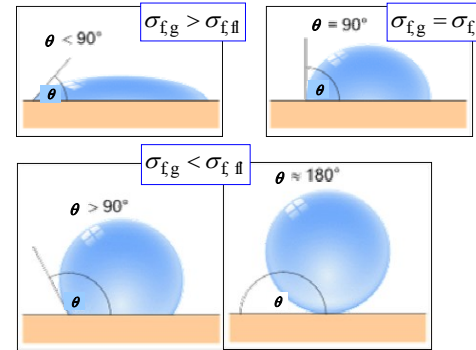


Gleichgewicht = Energieminimum → Eine kleine Änderung in der Kontaktfläche verursacht keine Änderung in der Energie:

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

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

9



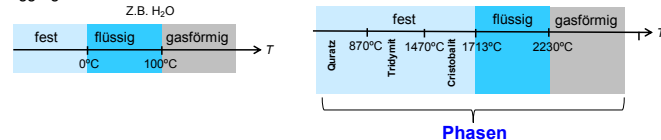
Oberflächenenergie von einigen Stoffen:

Stoff	σ (mJ/m²)
Wasser	73 (25° C)
Speichel	50 (37° C)
Dentin	92
Zahnschmelz	87
PMMA	45
Paraffin	25

10

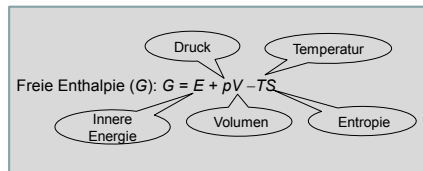
Phase

Aggregatzustände:



Phase: physikalisch und chemisch homogener Stoffbereich

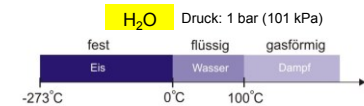
Stabile Phase: unter den gegebenen Umständen die thermodynamisch günstigste Phase (der minimalen freien Enthalpie)



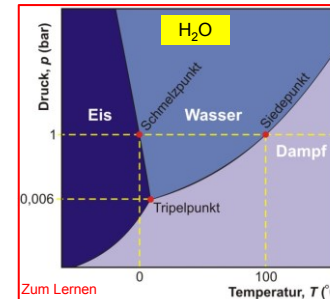
11

Phasendiagramm

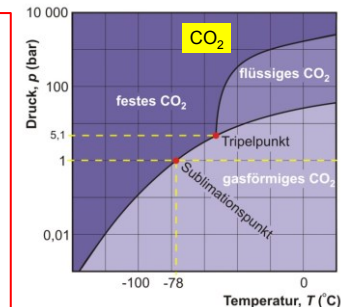
Beispiele:



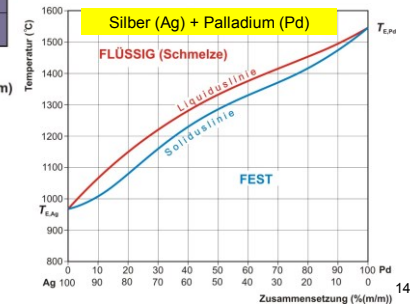
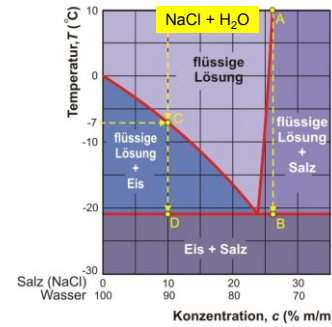
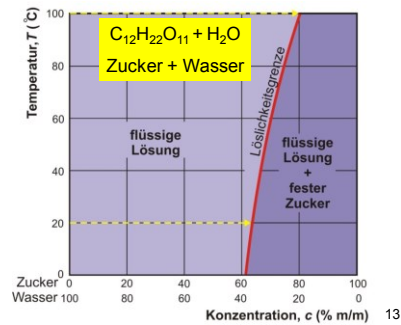
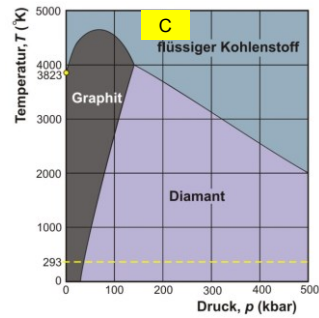
Phasendiagramm: Darstellung der stabilen Phasen bei verschiedenen Bedingungen (p , T , c , ...)



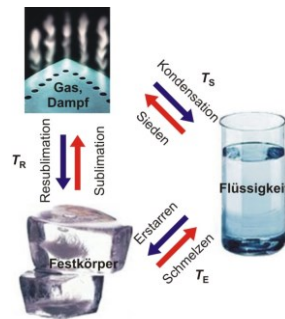
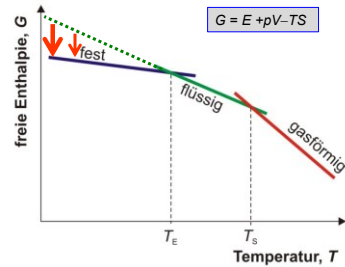
Zum Lernen (ohne Zahlenwerte), die weiteren Phasendiagramme müssen nicht gelernt werden



12



Phasenübergang



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

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

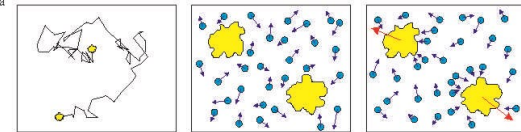
➤ **Ablauf:** durch die Bewegungen von Atomen und Molekülen (s. Diffusion)

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

15

Diffusion

Brownsche Bewegung:



Diffusion: Tendenz für gleichmäßige Verteilung, für Konzentrationsausgleich



„Geschwindigkeit“ der Diffusion ~ Konzentrationsdifferenz
Diffusionskoeffizient

Ficksches Gesetz:

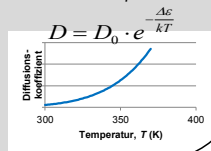
$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = -D \cdot A \cdot \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

D : Diffusionskoeffizient (m^2/s)

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

Einstein-Stokes-Gleichung:
(für kugelförmige Teilchen)

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

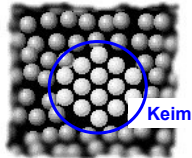


16

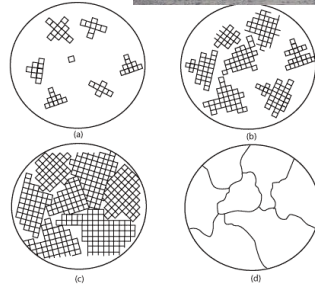
Kinetik des Phasenüberganges (z. B. der Erstarrung)

Unterkühlung: $T < T_E$!

1. Keimbildung

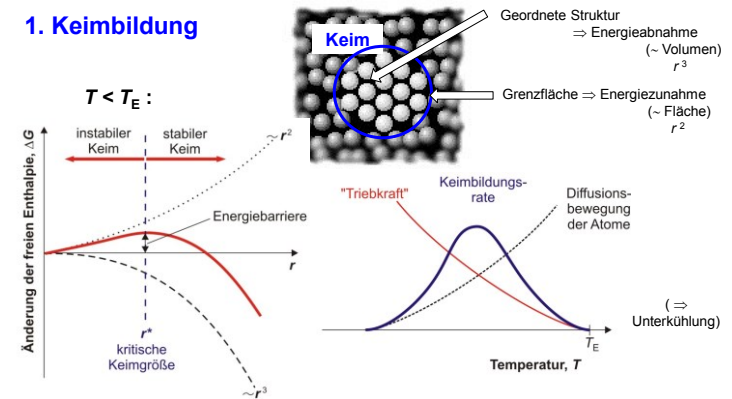


2. Wachstum



17

1. Keimbildung

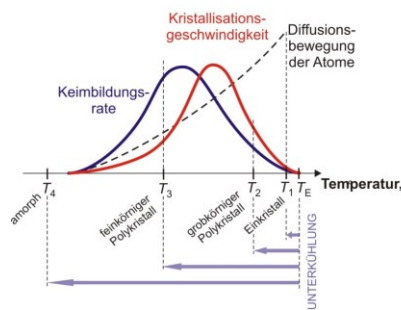


- **homogene Keimbildung:** an den gleichen Atomen
- **heterogene Keimbildung:** an Fremdatomen (Gefäßwand, Verunreinigung), oder an Defekten

schneller!

18

2. Wachstum



Gestalt und Größe der Körner \Rightarrow Eigenschaften!



$T = 540 \text{ °C}$

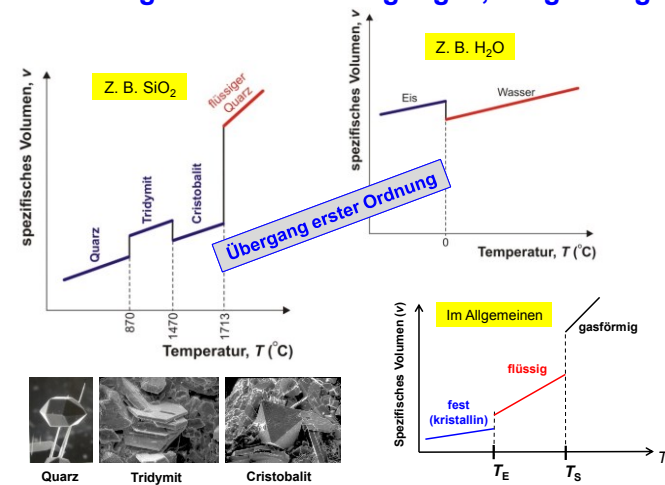


$T = 690 \text{ °C}$ ($T_E = 727 \text{ °C}$)

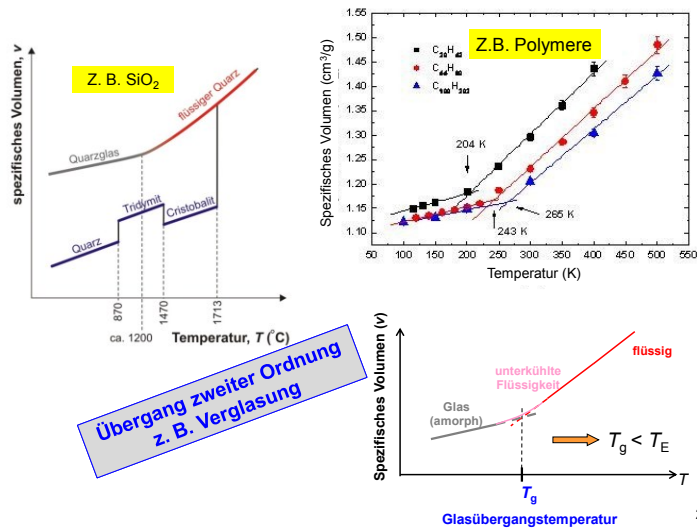
härter, stärker, weniger plastisch

19

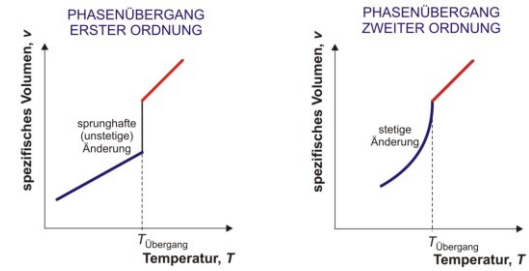
Ordnung des Phasenüberganges, Verglasung



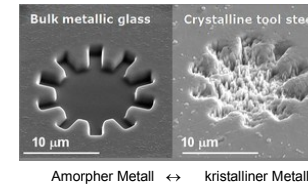
20



Zusammenfassend:



Interessant:



Nächste Vorlesung:
Kapitel 8