



## Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

### 3.

#### Struktur der Materie

Grenzflächenphänomene

Phase/Phasendiagramm/Phasenübergang

Schwerpunkte:

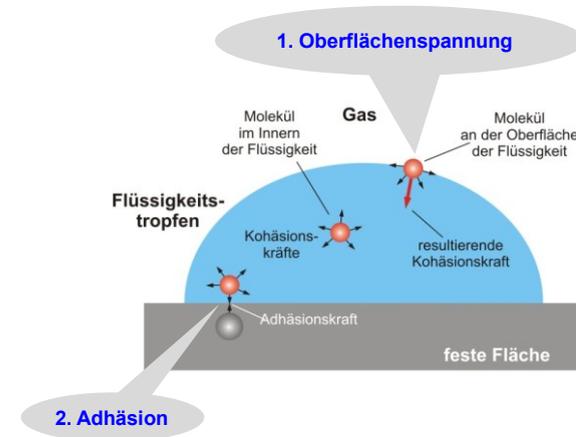
- ❖ Oberflächenspannung
- ❖ Adhäsion, Benetzung
- ❖ Phase, Phasendiagramm
- ❖ Phasenübergänge (1./2. Ordnung und Kinetik)

Kapitel des Lehrbuches:  
6, 7

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

1

## Grenzflächenphänomene



2

## 1. Oberflächenspannung (Oberflächenenergie)

Oberflächenspannung oder spezifische Oberflächenenergie ( $\sigma$ ):

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



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

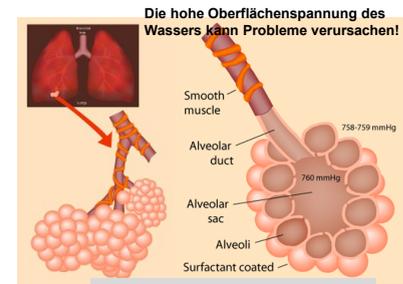


\* In Bezug auf Luft, 20°C

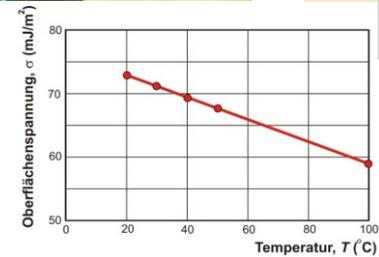
Ein Maß für „Narzissismus“.



3



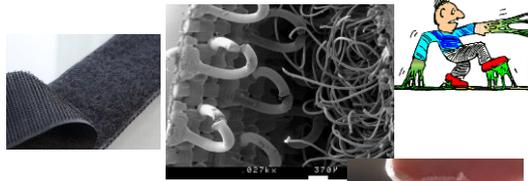
Neonatales Atemnotsyndrom (RDS-respiratory distress syndrome) (Surfactant Mangelsyndrom)



4

## 2. Adhäsion

- Mechanische



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

Diffusion ← z.B. beim Sinter

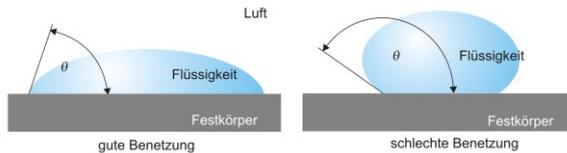
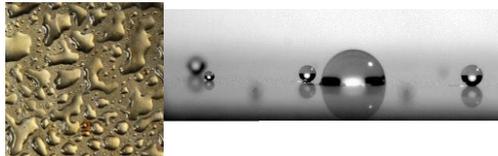
Der häufigste und  
allgemeinste  
Adhäsionstyp



Adhäsionskräfte ~ Kontaktfläche  
~ Nähe

5

## Benetzung (Adhäsion zwischen festen und flüssigen Stoffen)



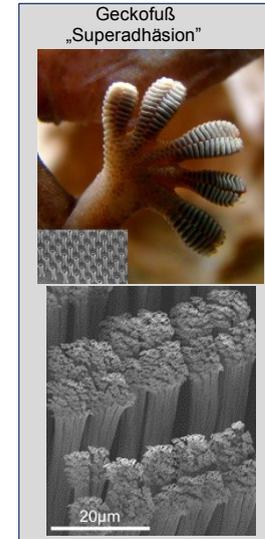
$\theta$ : Kontaktwinkel

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



Adhäsion in in der zahnärztlichen  
Praxis, Faktoren:

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

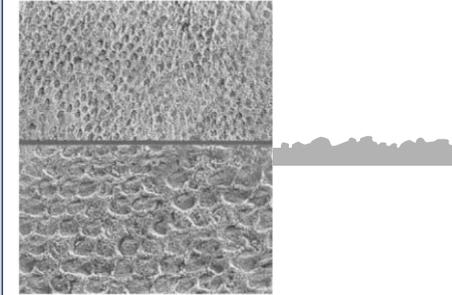
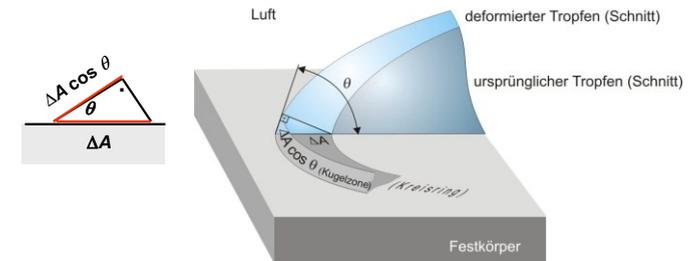


Figure 1. Morphological aspect of the surface of enamel conditioned with 36% phosphoric acid for 20 s. The formation of micropores with type I pattern of conditioning can be observed. (Original magnification: top, 750X; bottom, 1500X).

6

Herleitung der Young-Gleichung:

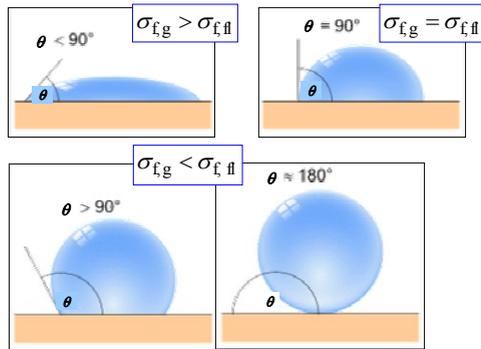


Gleichgewicht = Energieminimum → Eine kleine Änderung in der Kontaktfläche verursacht keine Änderung in der Energie:

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

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

8



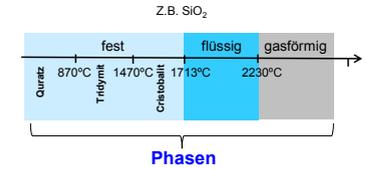
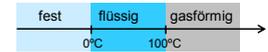
Oberflächenenergie von einigen Stoffen:

Stoff	$\sigma$ (mJ/m <sup>2</sup> )
Wasser	73 (25° C)
Speichel	50 (37° C)
Dentin	92
Zahnschmelz	87
PMMA	45
Paraffin	25

9

## Phase

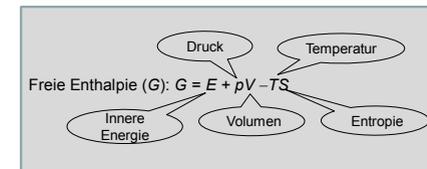
Aggregatzustände:  
Z.B. H<sub>2</sub>O



Phasen

**Phase:** physikalisch und chemisch homogener Stoffbereich

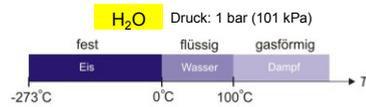
**Stabile Phase:** unter den gegebenen Umständen die thermodynamisch günstigste Phase (der minimalen freien Enthalpie)



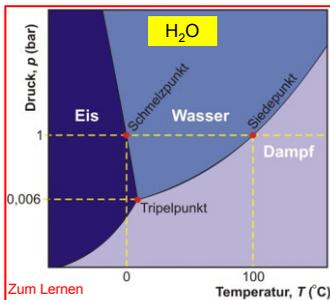
10

## Phasendiagramm

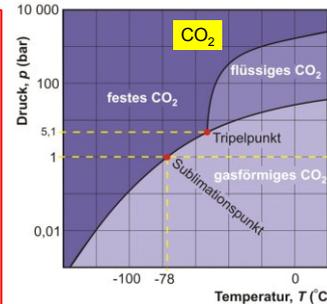
Beispiele:



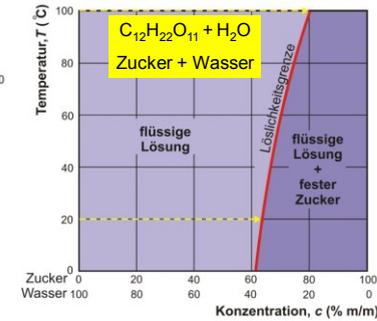
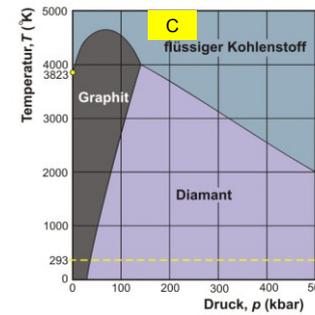
**Phasendiagramm:** Darstellung der stabilen Phasen bei verschiedenen Bedingungen ( $p$ ,  $T$ ,  $c$ , ...)



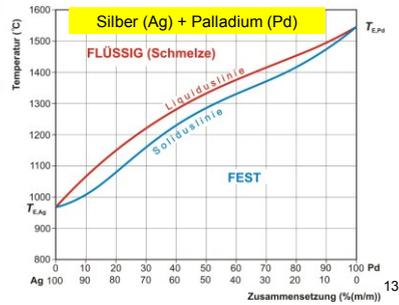
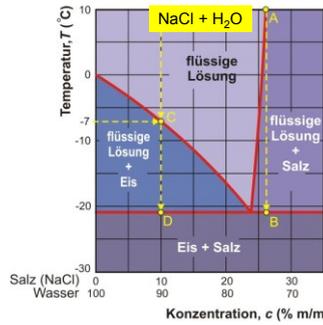
Zum Lernen (ohne Zahlenwerte), die weiteren Phasendiagramme müssen nicht gelernt werden



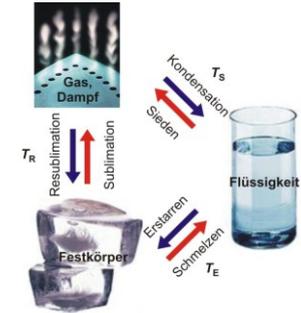
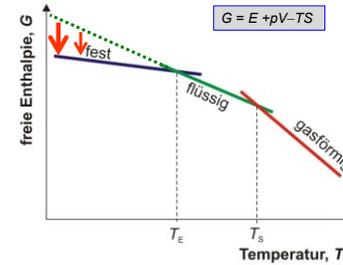
11



12



## Phasenübergang

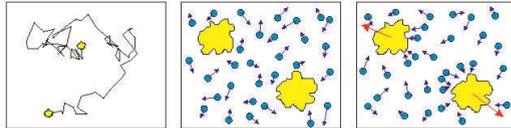


- **Triebkraft:** Differenz in der freien Enthalpie  
 ⇒ Je kleiner  $T (< T_E)$ , desto größer wird die Triebkraft
- **Ablauf:** durch die Bewegungen von Atomen und Molekülen (s. Diffusion)  
 ⇒ Je kleiner  $T (< T_E)$ , desto schwächer werden die Bewegungen

14

## Diffusion

Brownsche Bewegung:



Diffusion: Tendenz für gleichmäßige Verteilung, für Konzentrationsausgleich



„Geschwindigkeit“ der Diffusion ~ Konzentrationsdifferenz / Diffusionskoeffizient

Ficksches Gesetz:

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

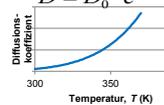
D: Diffusionskoeffizient(m<sup>2</sup>/s)

Diffundierendes Molekül	Medium	D (m <sup>2</sup> /s)
O <sub>2</sub>	Luft	≈ 10 <sup>-5</sup>
	Wasser	≈ 10 <sup>-9</sup>
He	Glas	≈ 10 <sup>-50</sup>
	Glas	≈ 10 <sup>-18</sup>

Einstein-Stokes-Gleichung: (für kugelförmige Teilchen)

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

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

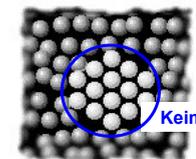


15

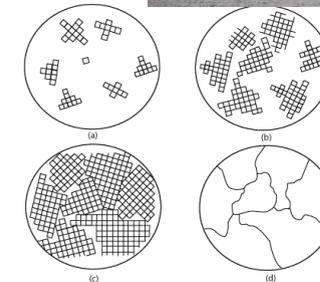
## Kinetik des Phasenüberganges (z. B. der Erstarrung)

Unterkühlung:  $T < T_E$  !

### 1. Keimbildung

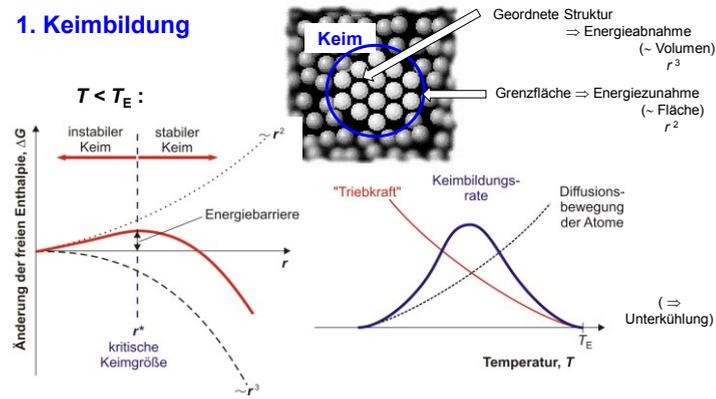


### 2. Wachstum



16

# 1. Keimbildung

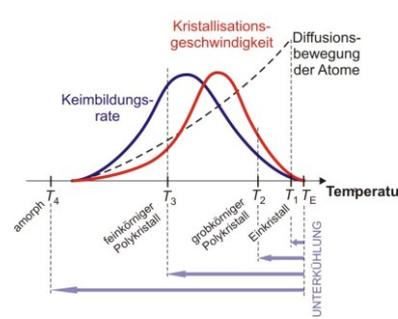


- **homogene Keimbildung:** an den gleichen Atomen
- **heterogene Keimbildung:** an Fremdatomen (Gefäßwand, Verunreinigung), oder an Defekten

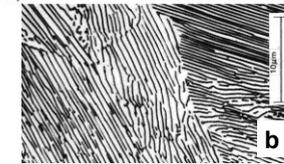
schneller!

17

# 2. Wachstum



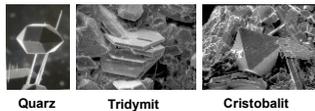
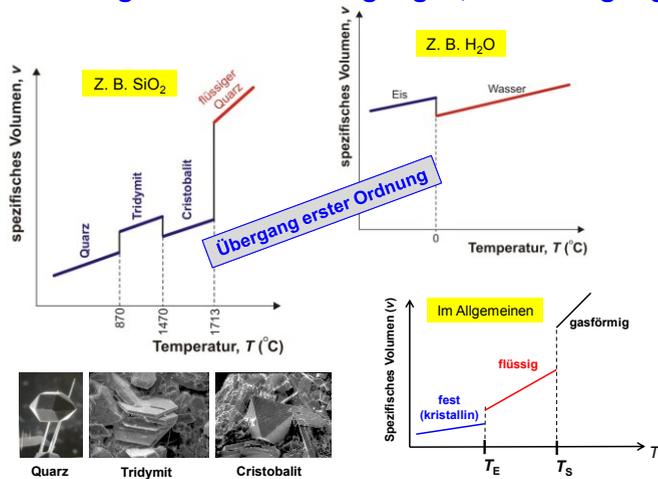
Gestalt und Größe der Körner  $\Rightarrow$  Eigenschaften!



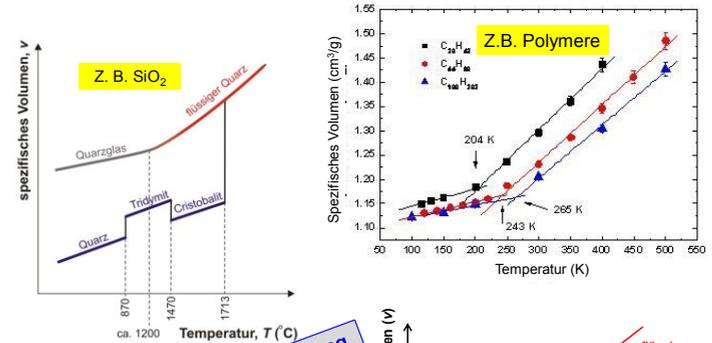
härter, stärker, weniger plastisch

18

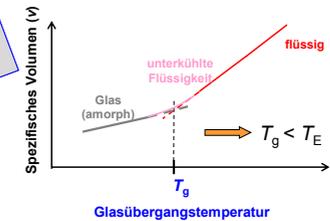
# Ordnung des Phasenüberganges, Glasübergang



19

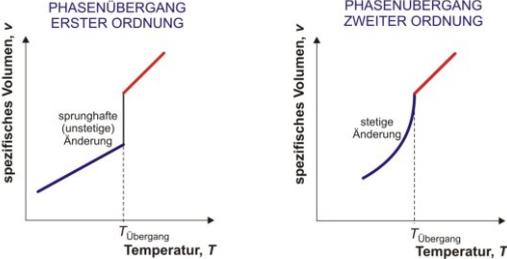


Übergang zweiter Ordnung  
Z. B. Verglasung

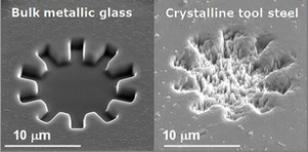


20

Zusammenfassend:



Interessant:



Nächste Vorlesung:  
Kapitel 8

Amorpher Metall ↔ kristalliner Metall