



## Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

### 3.

#### Struktur der Materie

Phase/Phasendiagramm/Phasenübergang

Grenzflächenphänomene

Schwerpunkte:

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

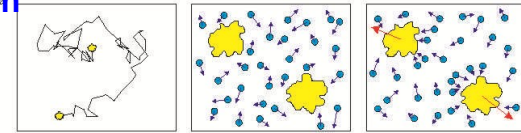
Kapitel des Lehrbuches:  
6, 7

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:

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

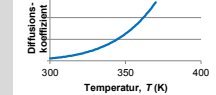
$D$ : Diffusionskoeffizient (m<sup>2</sup>/s)

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

Einstein-Stokes-Gleichung:  
(für kugelförmige Teilchen)

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

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

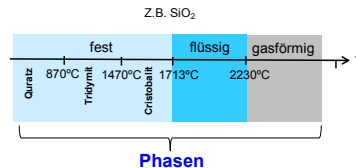
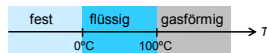


2

## Phase

Aggregatzustände:

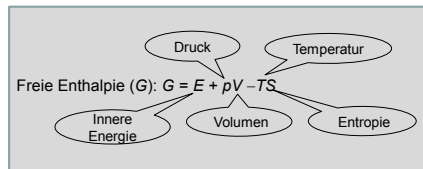
Z.B. H<sub>2</sub>O



Phasen

**Phase:** physikalisch und chemisch homogener Stoffbereich

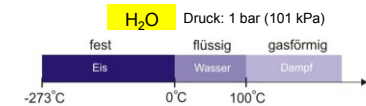
**Stabile Phase:** unter den gegebenen Umständen die thermodynamisch günstigste Phase (der minimalen freien Enthalpie)



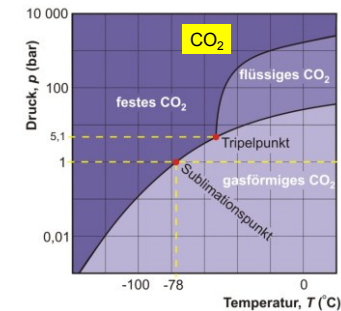
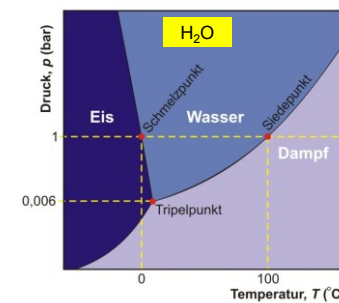
3

## Phasendiagramm

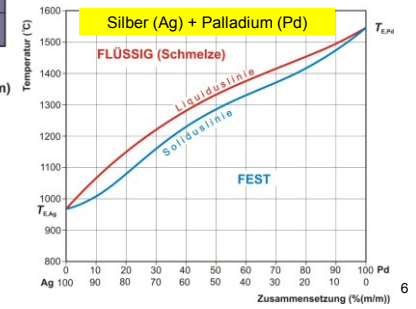
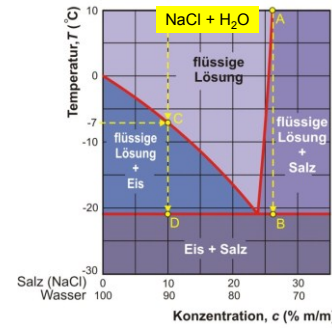
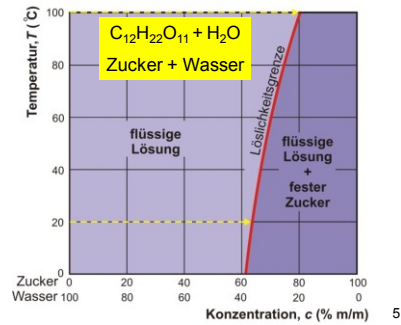
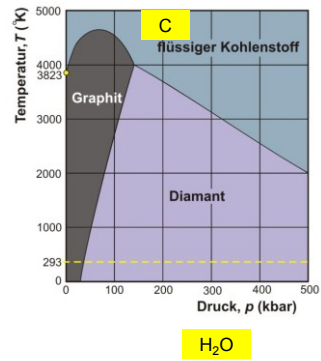
Beispiele:



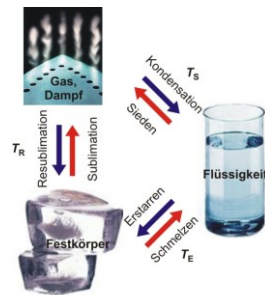
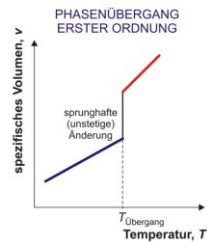
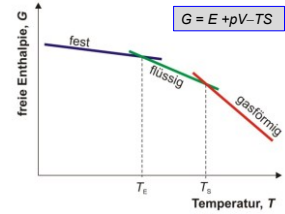
**Phasendiagramm:** Darstellung der stabilen Phasen bei verschiedenen Bedingungen ( $p$ ,  $T$ ,  $c$ , ...)



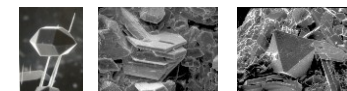
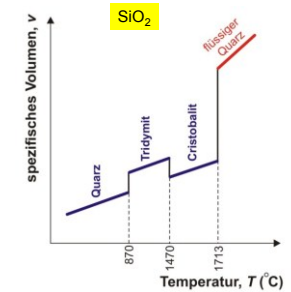
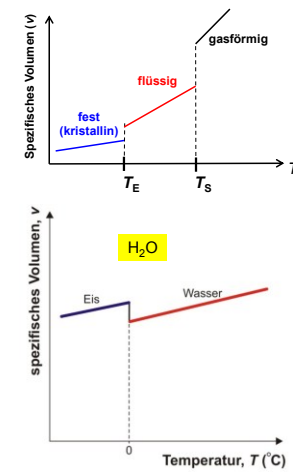
4



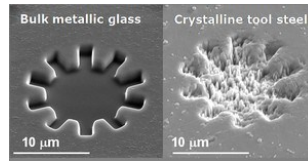
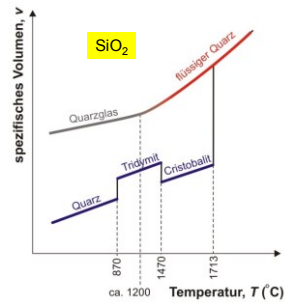
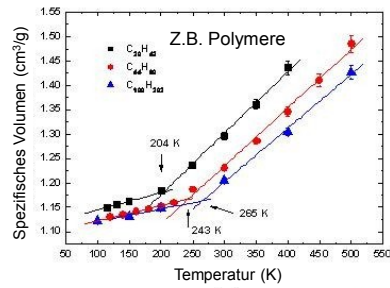
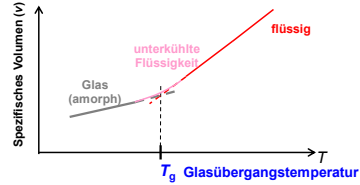
## Phasenübergang



## Beispiele: Phasenübergang erster Ordnung:



### Phasenübergang zweiter Ordnung:



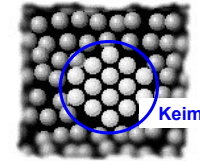
Amorpher Metall ↔ kristalliner Metall

9

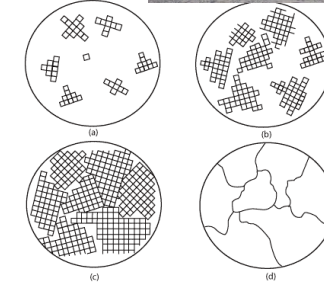
## Kinetik des Phasenüberganges (z. B. der Erstarrung)

Unterkühlung:  $T < T_E$  !

### 1. Keimbildung

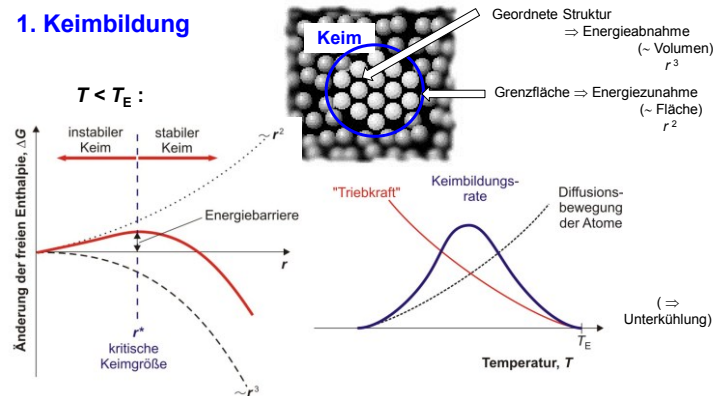


### 2. Wachstum



10

### 1. Keimbildung



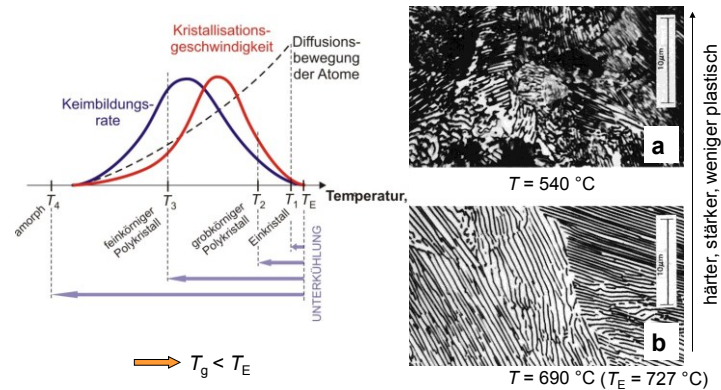
• **homogene Keimbildung:** an den gleichen Atomen

• **heterogene Keimbildung:** an Fremdatomen  
(Gefäßwand, Verunreinigung), oder an Defekten

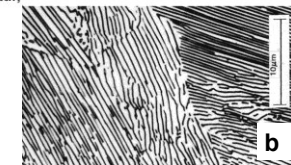
schneller!

11

### 2. Wachstum



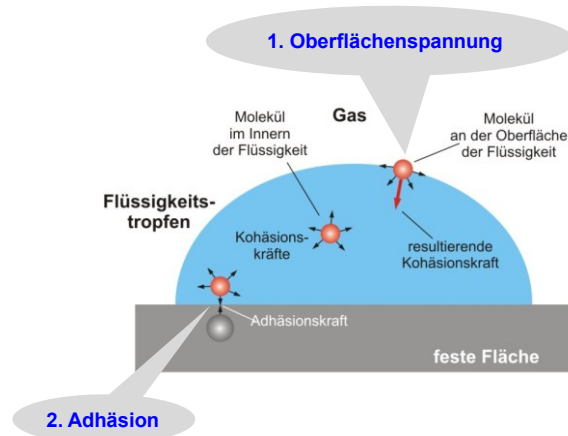
Gestalt und Größe der Körner ⇒  
Eigenschaften!



härter, stärker, weniger plastisch

12

# Grenzflächenphänomene



13

## 1. Oberflächenspannung (Oberflächenenergie)

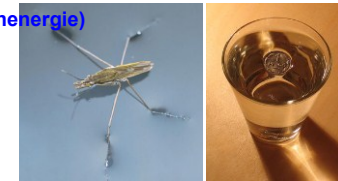
Oberflächenspannung oder spezifische Oberflächenenergie ( $\sigma$ ):

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

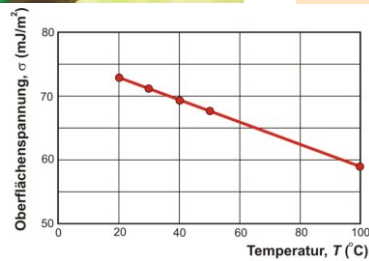
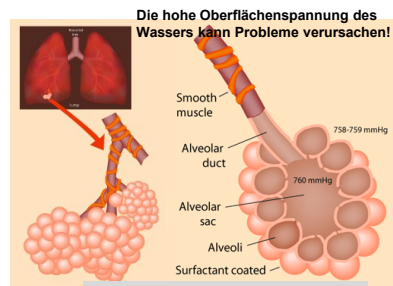
Stoff	$\sigma (\text{J/m}^2)^*$
Wasser	0,073
Blut	0,06
Speichel	0,05
Paraffin	0,025
Alkohol	0,023
Dentin	0,092
Zahnschmelz	0,087
Quecksilber	0,484

\* In Bezug auf Luft, 20°C

Ein Maß für "Narziesmus".



14

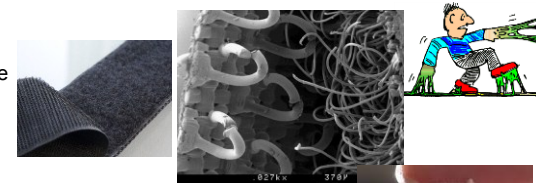


Neonatales Atemnotsyndrom (RDS-respiratory distress syndrome) (Surfactant Mangelsyndrom)

15

## 2. Adhäsion

- Mechanische



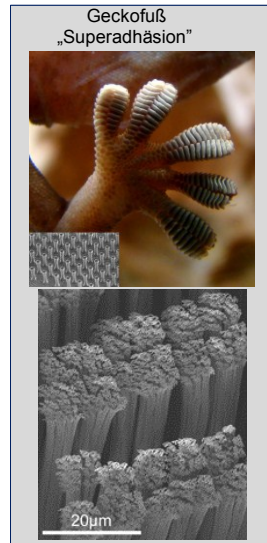
- Chemische (Ionische, kovalente, Bindung)
- Adsorption (van der Waals-Kräfte)
- Elektrostatische (aufgeladene Flächen)
- Diffusion ← z.B. beim Sinter

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)

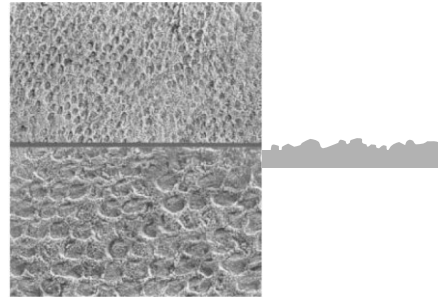
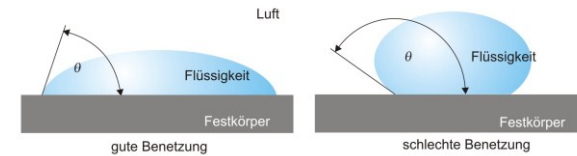
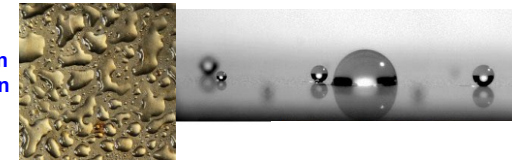


Figure 1. Morphological aspect of the surface of enamel conditioned with 36% phosphoric acid for 20 s. The formation of micropores with type I pattern of conditioning can be observed. (Original magnification: top, 750X; bottom, 1500X).

17

## Benetzung (Adhäsion zwischen festen und flüssigen Stoffen)



$\theta$ : Kontaktwinkel

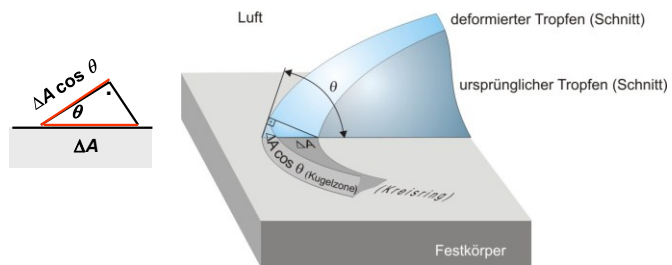
Young-Gleichung:

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

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

18

Herleitung der Young-Gleichung:

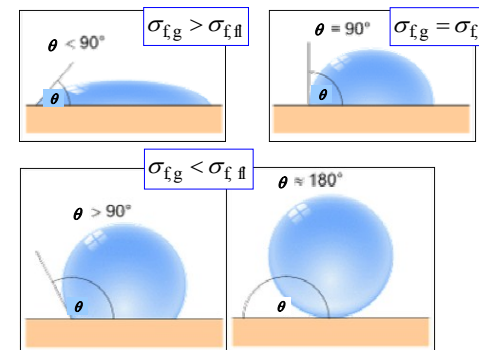


Gleichgewicht = Energieminimum → Eine kleine Änderung in der Kontaktfläche verursacht keine Änderung in der Energie:

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

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

19



Nächste Vorlesung:  
Kapitel 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

20