



## Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

### 3.

#### Struktur der Materie

Grenzflächenphänomene

Phase/Phasendiagramm/Phasenübergang

Schwerpunkte:

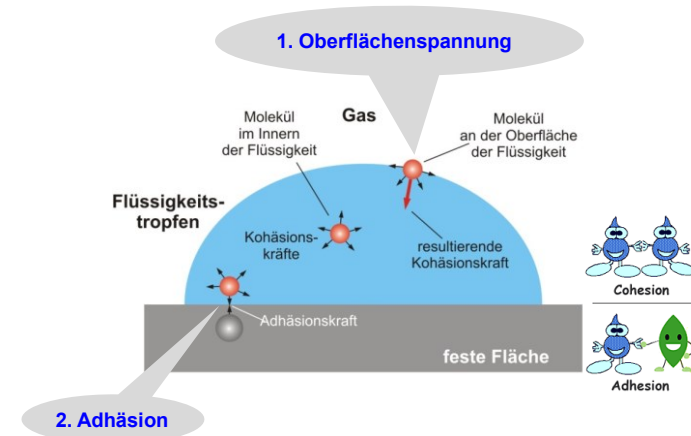
- ❖ Oberflächenspannung
- ❖ Adhäsion, Benetzung
- ❖ Phase, Phasendiagramm
- ❖ Phasenübergänge (1./2. Ordnung und Kinetik)

Kapitel des Lehrbuches:  
6, 7

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

1

## Grenzflächenphänomene



2

### 1. Oberflächenspannung

Oberflächenspannung oder spezifische Oberflächenenergie ( $\sigma$ ):

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

Energiezunahme bei der Flächenzunahme von  $\Delta A$

Flächenzunahme



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

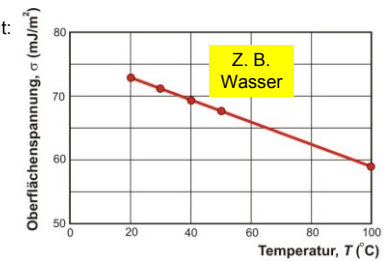
\* in Bezug auf Luft, 20°C

Ein Maß für „Narzissmus“

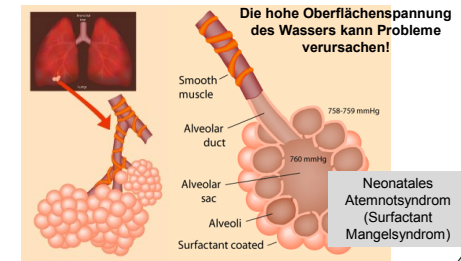


3

Die Temperaturabhängigkeit:

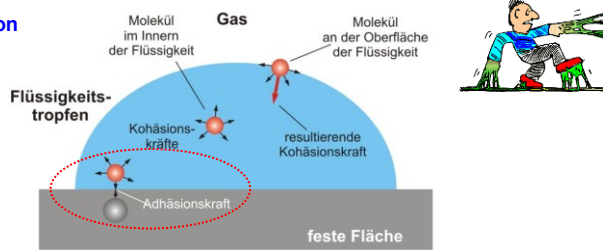


Folgerungen:



4

## 2. Adhäsion



Typen:

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

Der häufigste und allgemeinste Adhäsionstyp



5

Quantitative Charakterisierung:

Grenzflächenenergie oder spezifische Grenzflächenenergie ( $\sigma$ ):

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

Die Energiezunahme in Verbindung mit der Flächenzunahme von  $\Delta A$

Vergrößerung der Grenzfläche

Adhäsion in in der zahnärztlichen Praxis, Faktoren:

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

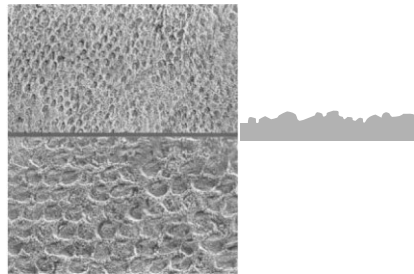
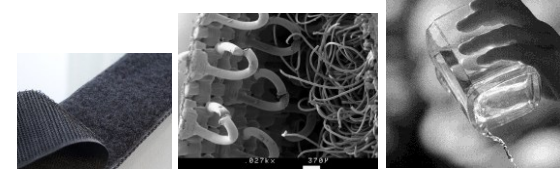


Figure 1. Morphological aspect of the surface of enamel conditioned with 36% phosphoric acid for 20 s. The formation of micropores with type 1 pattern of conditioning can be observed. (Original magnification: top, 750X; bottom, 1500X).

7

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

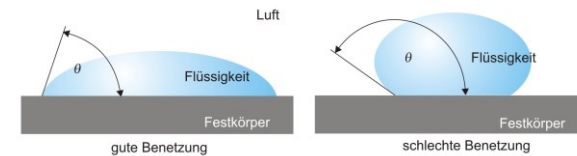
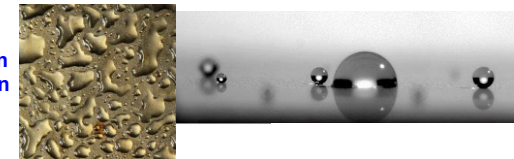


Im Allgemeinen ist es gültig: **Stärke der Adhäsion ~ Kontaktfläche ~ Nähe**



6

**Benetzung**  
(Adhäsion zwischen festen und flüssigen Stoffen)



$\theta$ : Kontaktwinkel

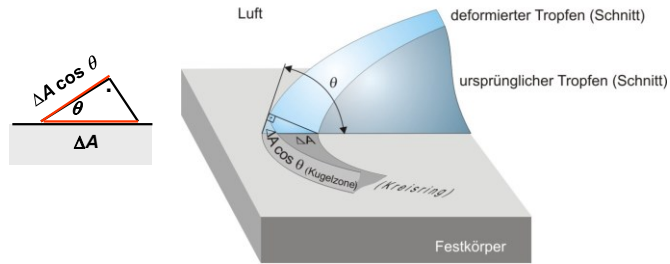
Young-Gleichung:

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

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

8

Herleitung der Young-Gleichung:

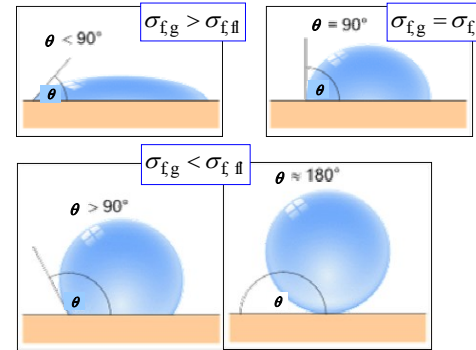


Gleichgewicht = Energieminimum → Eine kleine Änderung in der Kontaktfläche verursacht keine Änderung in der Energie:

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

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

9



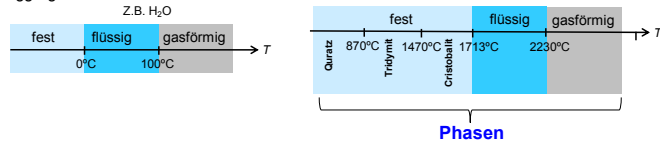
Oberflächenenergie von einigen Stoffen:

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

10

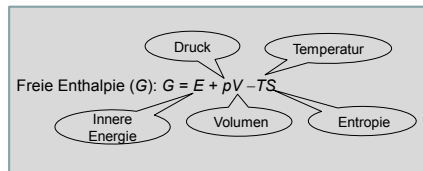
## Phase

Aggregatzustände:



**Phase:** physikalisch und chemisch homogener Stoffbereich

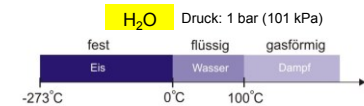
**Stabile Phase:** unter den gegebenen Umständen die thermodynamisch günstigste Phase (der minimalen freien Enthalpie)



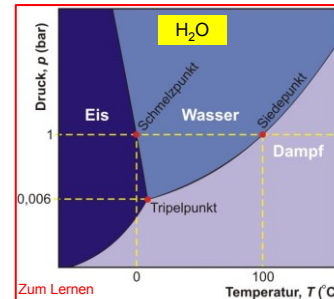
11

## Phasendiagramm

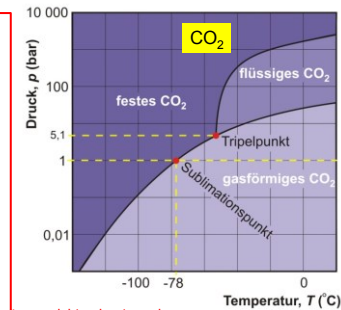
Beispiele:



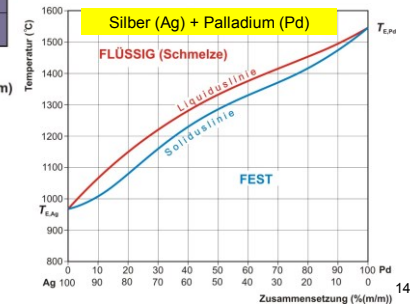
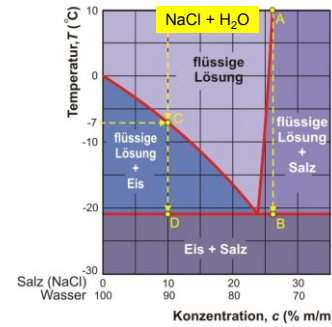
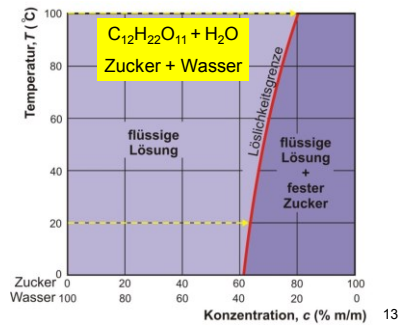
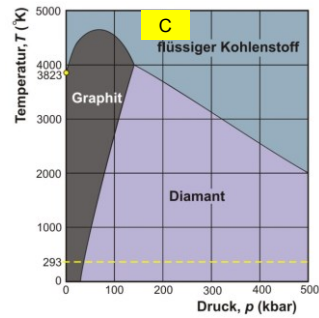
**Phasendiagramm:** Darstellung der stabilen Phasen bei verschiedenen Bedingungen ( $p$ ,  $T$ ,  $c$ , ...)



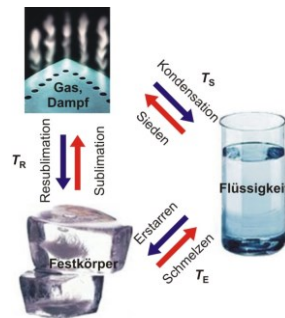
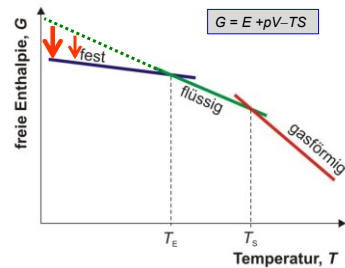
Zum Lernen (ohne Zahlenwerte), die weiteren Phasendiagramme müssen nicht gelernt werden



12



## Phasenübergang



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

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

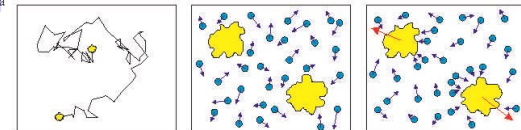
➤ **Ablauf:** durch die Bewegungen von Atomen und Molekülen (s. Diffusion)

⇒ 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:

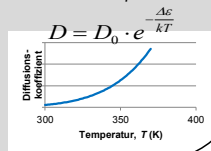
$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = -D \cdot A \cdot \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

$D$ : Diffusionskoeffizient ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

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

Einstein-Stokes-Gleichung:  
(für kugelförmige Teilchen)

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

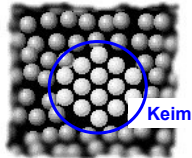


16

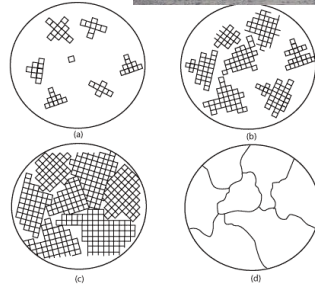
# Kinetik des Phasenüberganges (z. B. der Erstarrung)

Unterkühlung:  $T < T_E$  !

## 1. Keimbildung

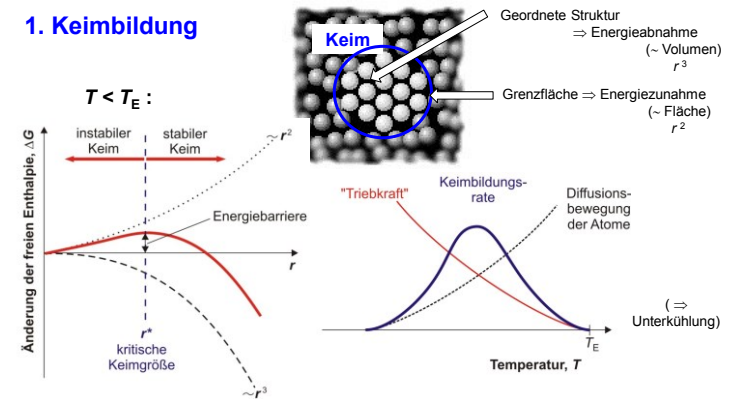


## 2. Wachstum



17

## 1. Keimbildung

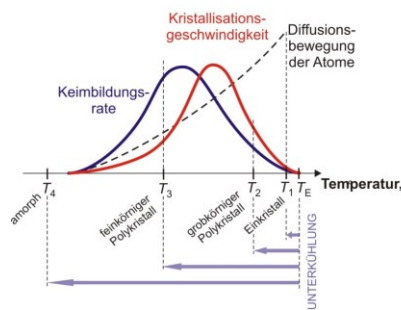


- **homogene Keimbildung:** an den gleichen Atomen
- **heterogene Keimbildung:** an Fremdatomen (Gefäßwand, Verunreinigung), oder an Defekten

schneller!

18

## 2. Wachstum



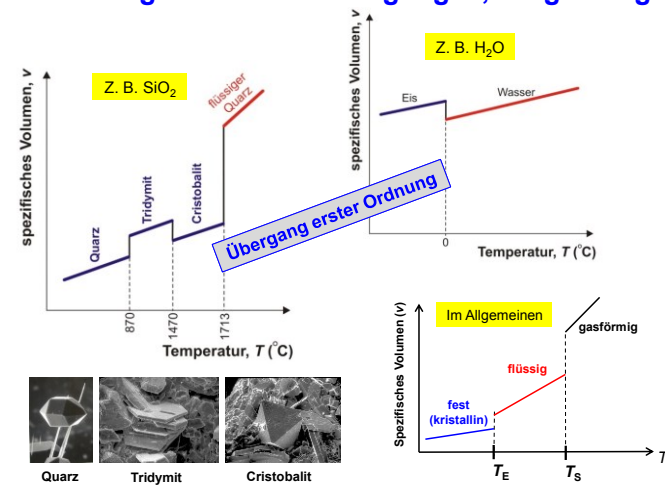
Gestalt und Größe der Körner  $\Rightarrow$  Eigenschaften!



härter, stärker, weniger plastisch

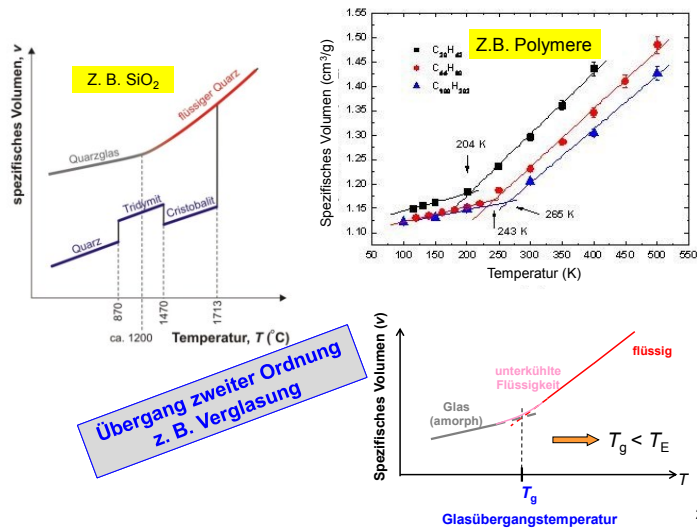
19

## Ordnung des Phasenüberganges, Verglasung

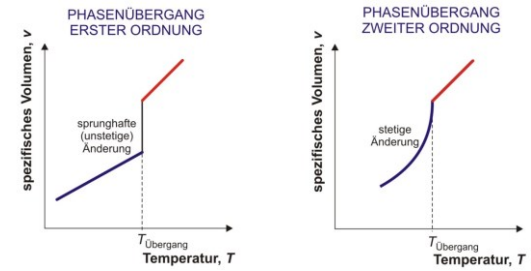


20

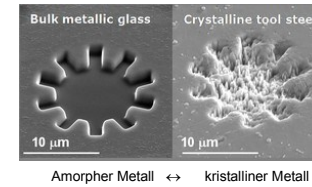




Zusammenfassend:



Interessant:



Nächste Vorlesung:  
Kapitel 8