

# Medizinische Biophysik

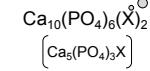
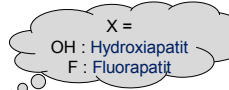
5

## Struktur der Materie (Fortsetzung)

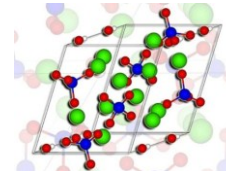


1

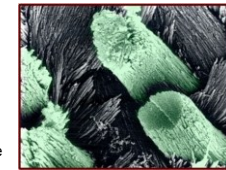
### d) Apatit



- ein hexagonales Ionenkristall
- anorganische Substanz der harten Gewebe (Knochen, Dentin, Zahnschmelz)
- etwa 2/3 des Knochengewebes



Dentin, Knochen: 20-60 nm x 6 nm große Kristalle  
Zahnschmelz: 500-1000 nm x 30 nm große Kristalle



2

### e) Gitterfehler:

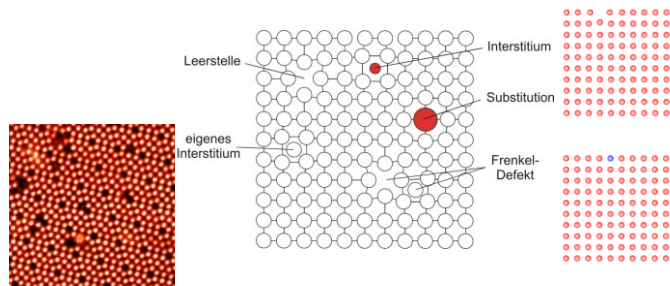
- Punktfehler
  - Thermische Fehler
    - Leerstelle (Vakanz, Schottky-Defekt)
    - Interstitium (Zwischengitteratom)
    - Frenkel-Defekt
  - Fremdatome (chemische Fehler, Dotierung)
    - Substitutionsatom
    - Interstitielles Atom (Interstitium)

Zahl der Schottky-Defekte ( $n_s$ ):

$$n_s = N \cdot e^{-\frac{\epsilon_s}{kT}}$$

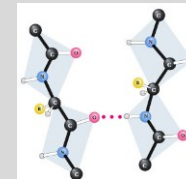
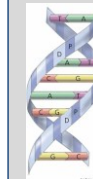
Aktivierungsenergie  
( $\approx$  Bindungsenergie)

Zahl der besetzten Gitterstelle  
( $\approx$  Zahl der Atome)



3

### Thermische Fehler in biologischen Makromolekülen:

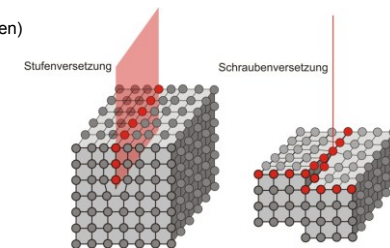


Zahl der aufgespaltenen H-Brücken

$$n_s = N \cdot e^{-\frac{\epsilon_s}{kT}}$$

Zahl der intakten H-Brücken

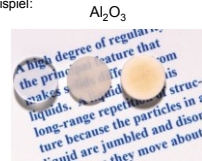
### — Versetzungen (Dislokationen)



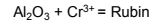
4

## Gitterfehler $\Rightarrow$ Eigenschaften!!

Zum Beispiel:



Nal



Nal + Ti

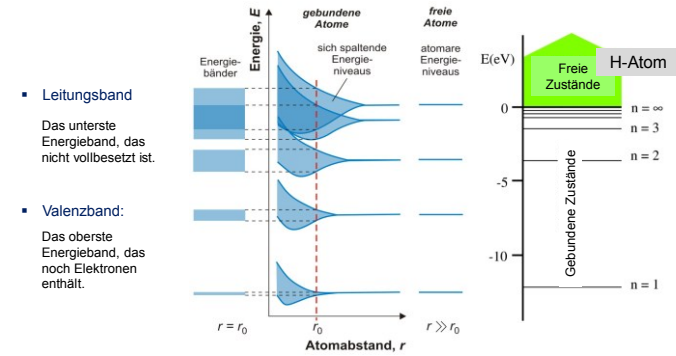


(unter Röntgenbestrahlung)

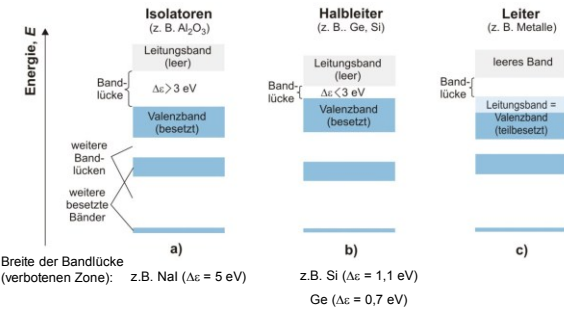
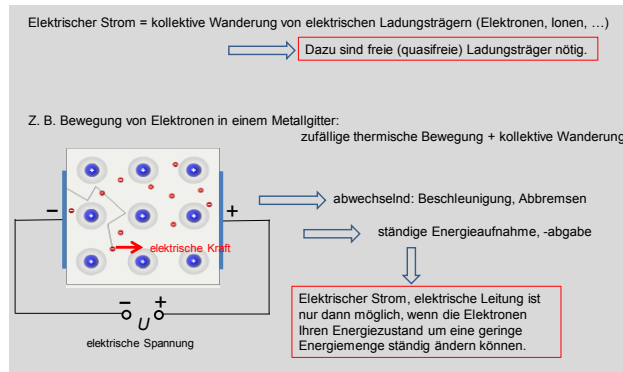
$\Rightarrow$  siehe Rubinlaser

$\Rightarrow$  siehe Szintillationskristall in der Nuklearmedizin  
Praktikum „Nukleare Grundmessung“

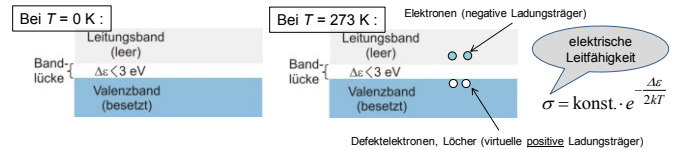
## f) Elektronenstruktur (Bändermodell):



## Elektrische Eigenschaften der Festkörper

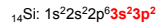


## Eigenhalbleiter (intrinsic Halbleiter)



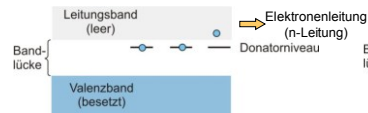
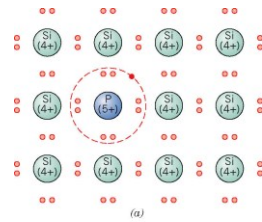
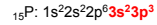
## Dotierte Halbleiter

Grundkristall z.B. Si



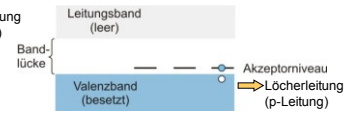
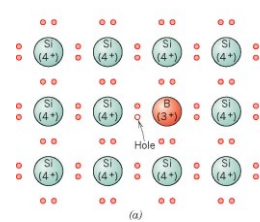
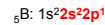
*n*-Halbleiter

z. B. + P



*p*-Halbleiter

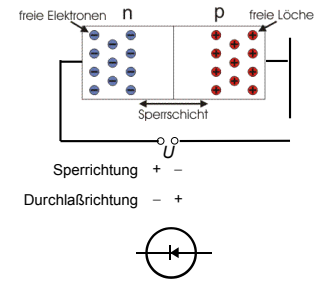
z. B. + B



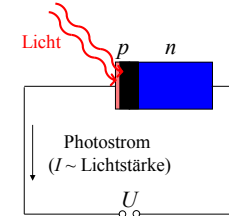
9

## Anwendungen der dotierten Halbleiter

Halbleiterdiode



Photodiode



siehe Lichtdetektor

(Es gibt auch lichtemittierende Dioden – Leuchtdioden, LED)

10

## 5. Fester Aggregatzustand - amorphe Stoffe

Z.B. Glas, Harz, Wachs, Bitumen, ...

### a) Makroskopische Beschreibung:

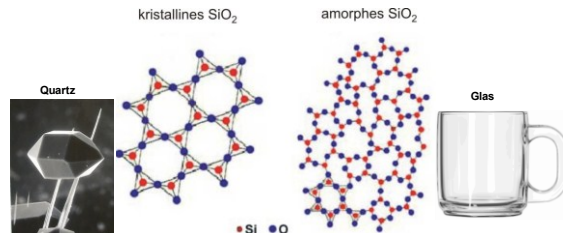
- Eigenvolumen aber keine Eigenform
- Isotrop
- sehr hohe Viskosität



= Eingefrorene Flüssigkeiten, Gläser !

### b) Mikroskopische Beschreibung:

- Nahordnung
- Schwache Bewegungen

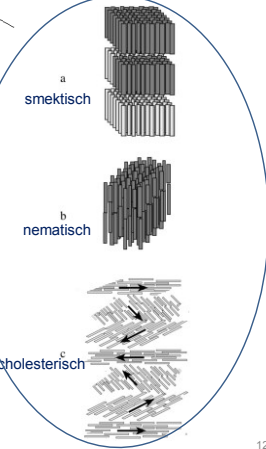
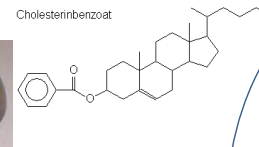


11

## 6. Flüssigkristalle - Mesophase zw. dem festen und flüssigen Zustand

1883 Reinitzer

Cholesterinbenzoat



### a) Makroskopische Beschreibung:

- Eigenvolumen aber keine Eigenform
- Optische Anisotropie
- Eigenschaften sind empfindlich gegen schwache äußere Einwirkungen

### b) Mikroskopische Beschreibung:

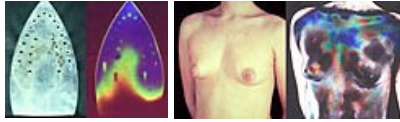
- Teilweise geordnete Strukturen (Orientierung, Schichten)

12

## b) Anwendungen von Flüssigkristallen:

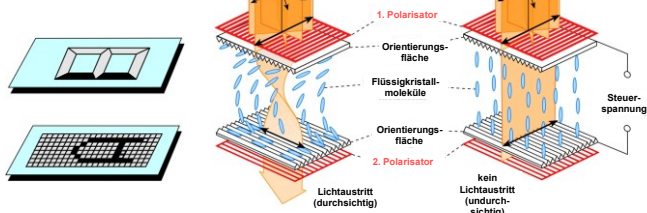
Kontaktthermographie/Plattenthermographie

thermo-optisches Phänomen



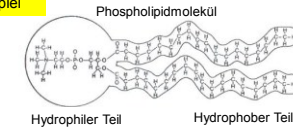
LCD (liquid crystal display)

elektro-optisches Phänomen

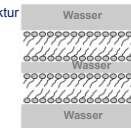


13

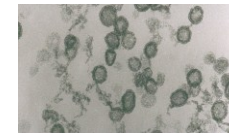
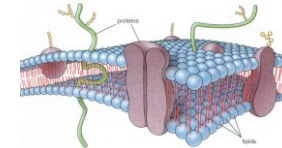
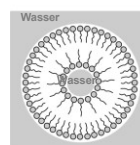
## c) Lyotrope Flüssigkristalle: Beispiel



Lamellare Struktur



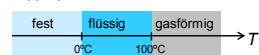
Liposom



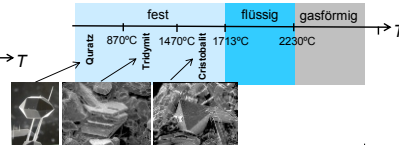
14

## 7. Phase, Phasenübergänge

Aggregatzustände bei  $H_2O$ :

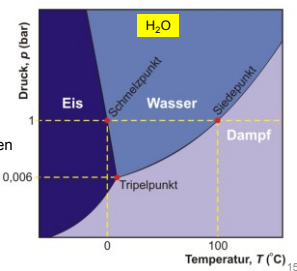


Z.B.  $SiO_2$

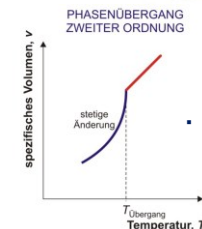
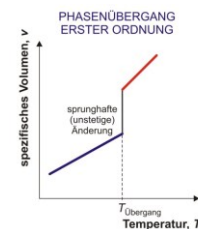
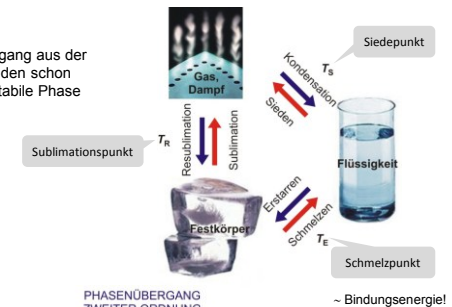


Phasen

- Phase:** physikalisch und chemisch homogener Stoffbereich
- Stabile Phase:** unter den gegebenen Umständen die thermodynamisch ( $\approx$  energetisch) günstigste Phase
- Phasendiagramm:** Darstellung der stabilen Phasen bei verschiedenen Bedingungen ( $p$ ,  $T$ ,  $c$ , ...)



- Phasenübergang:** Übergang aus der unter den neuen Umständen schon instabilen Phase in die stabile Phase



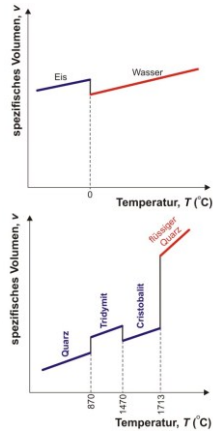
Spezifisches Volumen ( $v$ ):

$$v = \frac{1}{\rho} = \frac{V}{m} \left( \frac{m^3}{kg} \right)$$

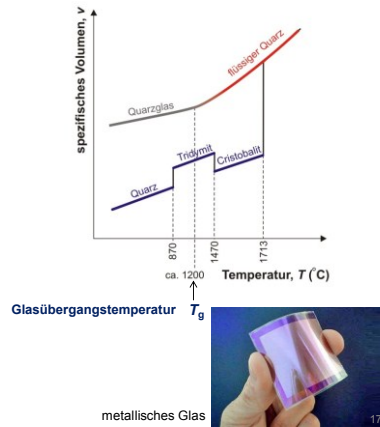
16

### Beispiele:

Phasenübergang erster Ordnung:



Phasenübergang zweiter Ordnung:



## III. Eigenschaften der Materialien

### 1. Thermische Eigenschaften

#### a) Erwärmung/Abkühlung

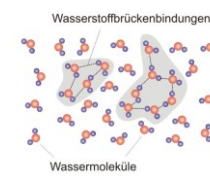
- spezifische Wärmekapazität (c):

$$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T} \left( \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right)$$

aufgenommene/freigesetzte Wärme

Masse des Körpers

Temperaturänderung



Stoff	c (J/(kg·K))
Wasser	4190
Muskelgewebe	3760
Fettgewebe	3000
Körpergewebe (durchschnittlich)	3500
Gold	126
Porzellan	1100
Glas	800

hohe Temperaturstabilisierungsfähigkeit

- spezifische Phasenübergangswärme (q):

- spezifische Schmelzwärme ( $q_{\text{Schmelz}}$ ):

$$q_{\text{Schmelz}} = \frac{\Delta Q_{\text{Schmelz}}}{m} \left( \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right)$$

aufgenommene Wärme

Masse des Körpers

- spezifische Verdampfungswärme ( $q_{\text{Verdampfung}}$ ):

$$q_{\text{Verdampfung}} = \frac{\Delta Q_{\text{Verdampfung}}}{m} \left( \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right)$$



Stoff	q (kJ/kg)
Eis	334,4
Wasser (100°C, 101 kPa)	2257
Wasser (30°C, 101 kPa)	2400
Gold	67
Aluminium	396,1
NaCl	517,1
Silizium	1656

~ Bindungsenergie!

#### b) Wärmeausdehnung

- Längenausdehnung:

$$\frac{\Delta l}{l} = \alpha \Delta T$$

Längenänderung

ursprüngliche Länge

Temperaturänderung

linearer Wärmeausdehnungskoeffizient (Längenausdehnungskoeffizient) (1/K)

- Volumenausdehnung:

$$\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta T$$

Volumenänderung

ursprüngliches Volumen

Temperaturänderung

räumlicher Wärmeausdehnungskoeffizient (Volumenausdehnungskoeffizient) (1/K)

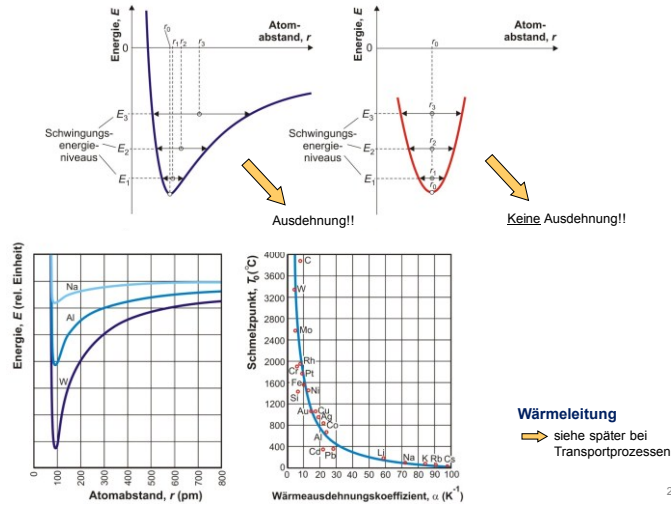
Stoff	$\alpha$ ( $10^{-6} 1/K$ )
Knochen	≈ 25
Zahnschmelz	≈ 11,4
Porzellan	4-16
Glas	≈ 8
Zirkon	≈ 11
Titan	8,6
Gold	14,2
Amalgam	≈ 25
PMMA	70-81
Wachs	300-500

~ 1/Bindungsenergie!

Für die meisten Stoffe gilt annähernd:  $\beta \approx 3\alpha$

→ innere Spannungen

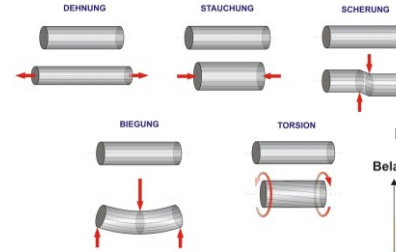




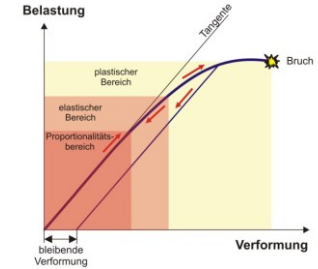
21

## 2. Eine mechanische Eigenschaft

### a) Deformationstypen:

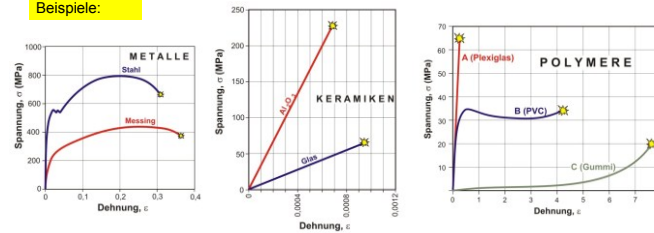


### b) Belastungsdiagramm:



22

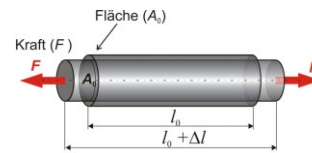
### Beispiele:



### b) Dehnung (Zug):

▪ Zugspannung ( $\sigma$ ):  $\sigma = \frac{F}{A_0} \left( \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \right)$

▪ Dehnung ( $\varepsilon$ ):  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$



23

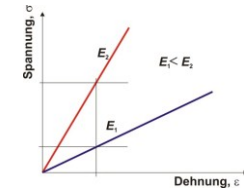
- Hookesches Gesetz:  
In dem Proportionalitätsbereich gilt:

$$\sigma = E \varepsilon$$

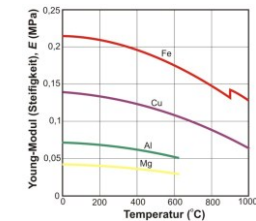
Young-Modul oder Elastizitätsmodul (Pa)

Material	E (GPa)
Kollagen	0,3-2,5
Knochen	10-15
Dentin	10-15
Zahnschmelz	≈ 100
Silikonkugummi	≈ 0,0003
PMMA (Polymethylmethacrylat)	2,4-3,8
Porzellan	60-110
Gold	79
Titan	110
Zirkon (mit Yttrium stabilisiert)	200
Stahl	200-230
Aluminiumoxid	350-410

~ Bindungsenergie!

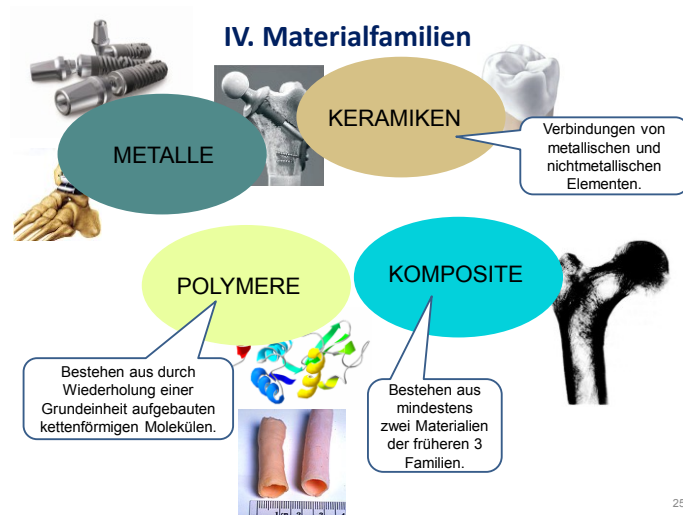


Elastizitätsmodul = Steifigkeit des Materials



Optische und elektrische Eigenschaften siehe später! 24





25

## Rechenaufgaben: ■ Praktikumsbuch : 2-5

- Zur Bildung einer Leerstelle in Kupfer eine Energie von 0,9 eV nötig.  
a) Wie hoch ist der prozentuelle Anteil der Leerstellen bei einer Temperatur von 1000°C?  
b) Wie viele Leerstellen gibt es bei dieser Temperatur in einer Kupferkugel, deren Durchmesser bei Raumtemperatur 2 cm beträgt? (Die Dichte von Kupfer beträgt 8,96 g/cm<sup>3</sup> bei Raumtemperatur.)
- In einem durchschnittlichen menschlichen Körper ( $m = 70$  kg) wird in einer Stunde 300 kJ Wärme produziert. Um wie viel °C würde die Körpertemperatur steigen, wenn diese Wärmemenge irgendwie nicht abgegeben werden könnte?
- Wie viel Wärme ist nötig zur Verdampfung von 2 ml Wasser bei 30°C?
- Um wie viel Prozent nimmt das Volumen einer Amalgamplombe bei einer Temperaturänderung von 30°C zu? (Der räumliche Wärmeausdehnungskoeffizient von Amalgam beträgt  $75 \cdot 10^{-6}$  1/K.)
- Ein Polymethylmetacrylat (PMMA)-Stab mit der Länge von 50 cm, und einem kreisförmigen Querschnitt mit dem Radius 5 mm wird in der Längsachse mit einer Kraft von 500 N ausgedehnt. Die Steifigkeit von PMMA beträgt 3 GPa.  
a) Um wie viel Prozent wird der Stab ausgedehnt?  
b) Wie lang ist der gedehnte Stab?

### Lösungen:

- a) 0,0275%; b)  $9,78 \cdot 10^{19}$
- 1,22°C
- 4800 J
- 0,225%
- a) 0,212%; b) 50,1 cm

26