

# Medizinische Biophysik

2. Vorlesung  
12. 09. 2016

Struktur der Materie  
Aggregatzustände:  
Gase, Flüssigkeiten, feste Körper

## 3. Gasförmiger Aggregatzustand

- ...
- e) Barometrische Höhenformel  
(Gas im Gravitationsfeld)
- f) Boltzmann-Verteilung

## 4. Flüssiger Aggregatzustand

- a) Makroskopische Beschreibung
- b) Mikroskopische Beschreibung
- c) Oberflächenspannung
- d) Wasser und seine günstige Eigenschaften

## 5. Fester Aggregatzustand - Kristalle

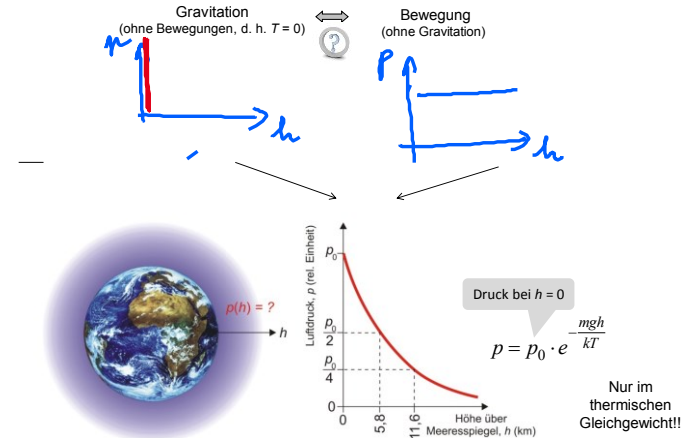
- a) Makroskopische Beschreibung
- b) Mikroskopische Beschreibung
- c) Kristalltypen
- d) Apatit
- e) Gitterfehler
- f) Elektronenstruktur (Bändermodell)

## 6. Fester Aggregatzustand - amorphe Stoffe

- a) Makroskopische Beschreibung
- b) Mikroskopische Beschreibung

1

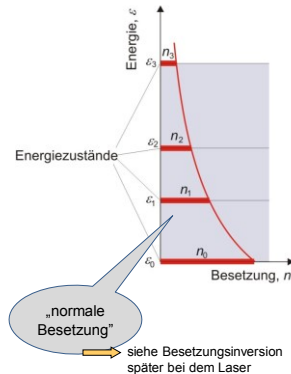
## e) Barometrische Höhenformel (Gas im Gravitationsfeld)



2

## f) Boltzmann-Verteilung

Die Verteilung der Teilchen auf die Energiezustände im thermischen Gleichgewicht ( $T = \text{konstant}$ ).



$$n_i = n_0 \cdot e^{-\frac{\epsilon_i - \epsilon_0}{kT}} = n_0 \cdot e^{-\frac{\Delta \epsilon}{kT}}$$

$$\left[ n_i = n_0 \cdot e^{-\frac{\Delta \epsilon}{RT}} \quad \Delta \epsilon = \Delta \epsilon \cdot N_A \right]$$

$$R = k \cdot N_A$$

### Anwendungen der Boltzmann-Verteilung:

- Barometrische Höhenformel
- Thermische Elektronenemission von Metallen
- Konzentrationselemente, Nernst-Gleichung
- Chemische Reaktionen (Geschwindigkeits- und Gleichgewichtskonstante)
- Konzentration von thermischen Punktdefekten (in Kristallen und Makromolekülen)
- Elektrische Leitfähigkeit von Halbleitern
- ...

(Gilt aber nicht z. B. bei der Besetzung der Elektronenschalen in einem Atom!)

3

## 4. Flüssiger Aggregatzustand

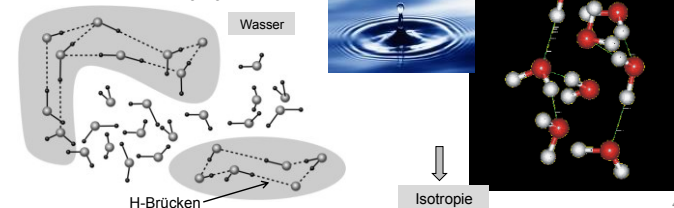
### a) Makroskopische Beschreibung:

- Eigenvolumen aber keine Eigenform
- Isotrop
- Viskosität (s. später bei Transportprozessen)



### b) Mikroskopische Beschreibung:

- Dynamische Nahordnung
- Mittelstarke Bewegungen



4

Das Diagramm zeigt die Benetzung eines Tropfens auf einer festen Fläche. Ein Tropfen flüssiger Substanz ist auf einer grauen festen Fläche zu sehen. Ein Molekül in der Flüssigkeit ist mit Kohäsionskräften (rot) und einem Molekül an der Oberfläche mit Adhäsionskraft (schwarz) verbunden. Die resultierende Kohäsionskraft ist als Vektor dargestellt. Ein Gasbereich ist oben rechts markiert.



Zur Flächenvergrößerung von  $\Delta A$  nötige Energie

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

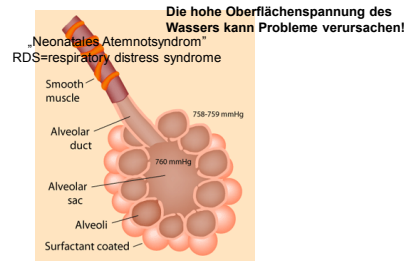
Oberflächenvergrößerung

\* In Bezug auf Luft, 20°C

Graph showing the relationship between surface tension ( $\sigma$ ) and temperature ( $T$ ) for water. The y-axis represents surface tension  $\sigma$  in  $\text{N/m}^2$ , ranging from 50 to 80. The x-axis represents temperature  $T$  in  $^\circ\text{C}$ , ranging from 0 to 100. The curve shows a decrease in surface tension as temperature increases.

Temperatur, $T$ ( $^\circ\text{C}$ )	Oberflächenspannung, $\sigma$ ( $\text{N/m}^2$ )
20	73
30	71
40	69
50	67
100	59

6



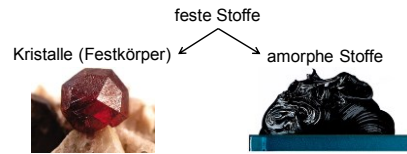
➔ Benetzung



7

- hohe spezifische Wärmekapazität, Schmelzwärme und Verdampfungswärme (s. später)
- hohe Oberflächenspannung
- gutes Lösungsmittel für viele Stoffe

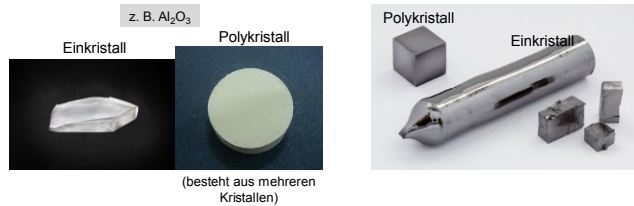




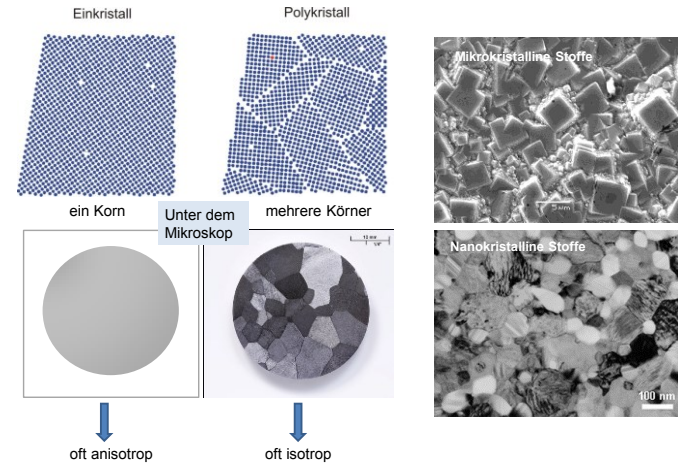
## 5. Fester Aggregatzustand - Kristalle

### a) Makroskopische Beschreibung:

- Eigenvolumen, Eigenform
- Einkristalle: oft anisotrop; Polykristalle: isotrop



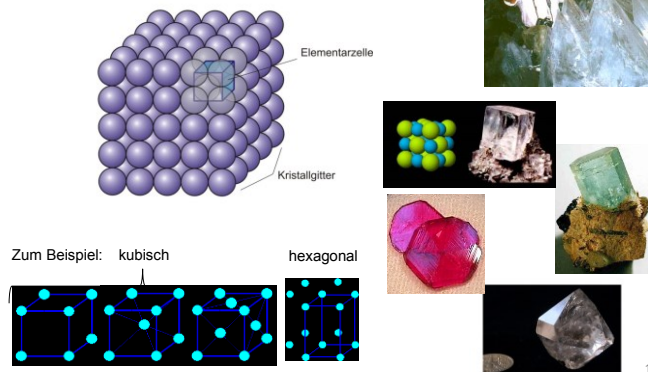
9



10

### b) Mikroskopische Beschreibung:

- Fernordnung
- Periodizität – Kristallgitter
- Schwache Bewegungen (Schwingungen)



11

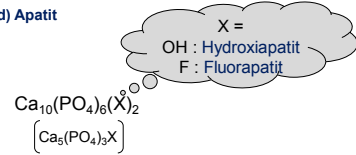
### c) Kristalltypen:

- Atomkristall (kovalente Bindung) — Ionenkristall (Ionenbindung)
  - Metallkristall (Metallbindung) — Molekülkristall (sekundäre Bindung)
- Diamant Salz
- 
- Gold Eis
- 

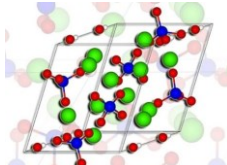
Bindungsenergie ( $E_0$ ) → Eigenschaften, wie Schmelzpunkt, Schmelzwärme, Steifigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient, ...

12

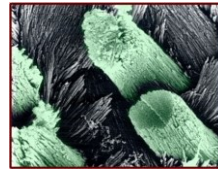
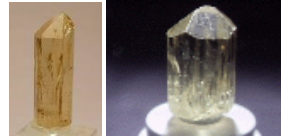
#### d) Apatit



- 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



13

#### e) Gitterfehler:

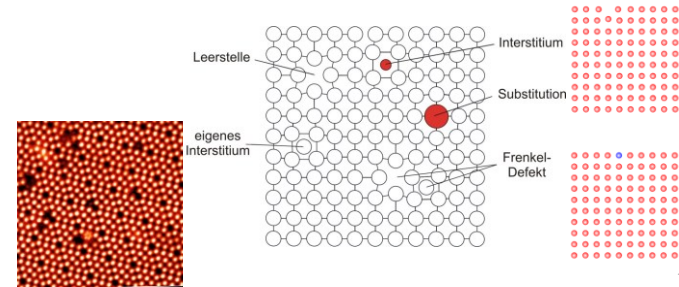
- Punktfehler
  - Thermische Fehler
    - Leerstelle (Vakanz, Schottky-Defekt)
    - Interstitium (Zwischengitteratom)
    - Frenkel-Defekt
- Fremdatome (chemische Fehler, Dotierung)
  - Substitutionsatom
  - Interstitielles Atom (Interstitium)

Aktivierungsenergie  
( $\approx$  Bindungsenergie)

Zahl der Schottky-Defekte ( $n_s$ ):

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

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

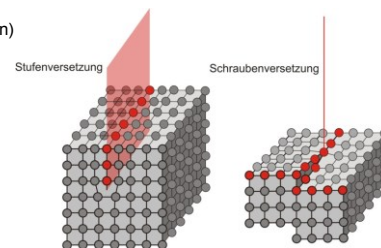


14

Thermische Fehler in biologischen Makromolekülen:

Zahl der aufgespaltenen H-Brücken  
 $n_s = N \cdot e^{-\frac{E_s}{kT}}$   
 Zahl der intakten H-Brücken

#### — Versetzungen (Dislokationen)



15

#### Gitterfehler $\Rightarrow$ Eigenschaften!!

z. B. optische Eigenschaften

$\text{Al}_2\text{O}_3$

+  $\text{Cr}^{3+}$  → Rubin  
 → siehe Rubinlaser

+  $\text{V}^{2+}$  → Violett

+  $\text{Fe}^{2+}$  → Grün

+  $\text{Ti}^{4+} + \text{Fe}^{2+}$  → Blau

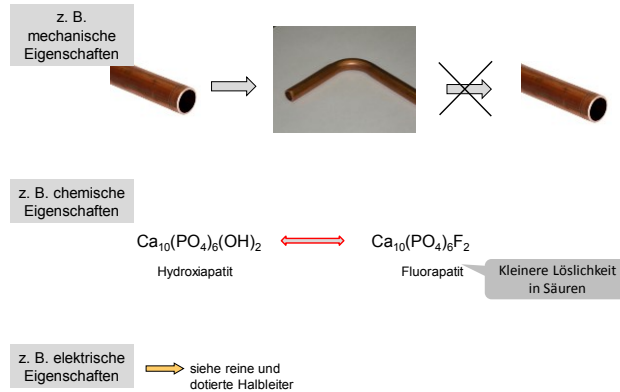
NaI

NaI + Ti

→ siehe Szintillationskristall in der Nuklearmedizin  
 Praktikum „Nukleare Grundmessung“

(unter Röntgenbestrahlung)

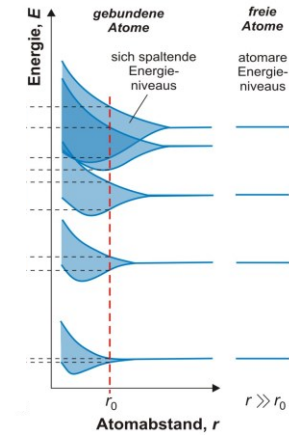
16



17

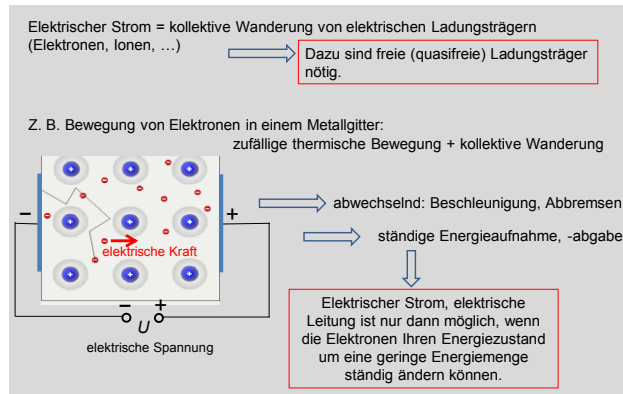
# f) Elektronenstruktur (Bändermodell):

- Leitungsband:  
Von oben gesehen das unterste Energieband, das nicht vollbesetzt ist.
- Valenzband:  
Von unten gesehen das oberste Energieband, das noch Elektronen enthält.

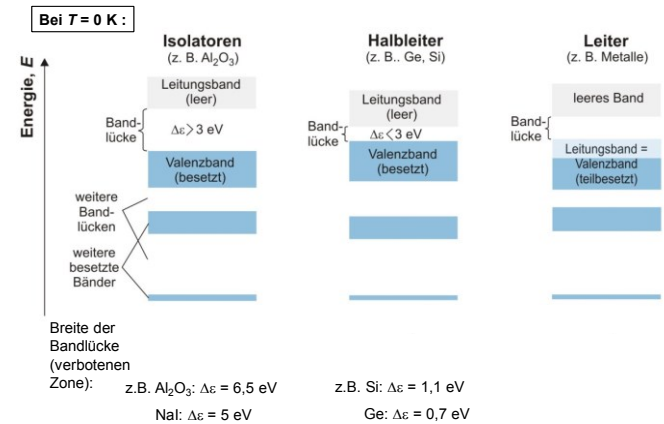


18

## Elektrische Eigenschaften der Festkörper



19

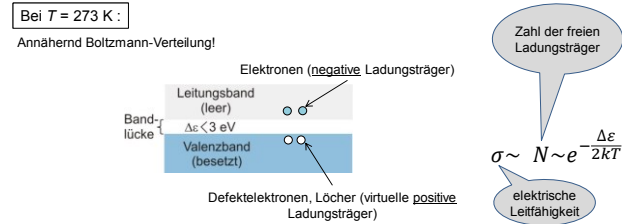
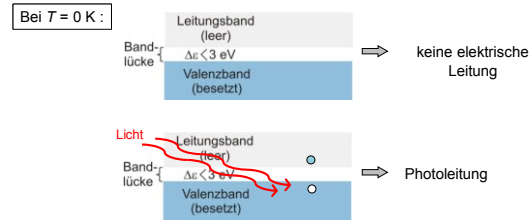


→ siehe die optischen Eigenschaften später

20



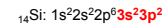
▪ Eigenhalbleiter (intrinsic Halbleiter)



21

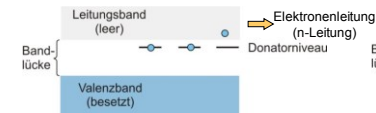
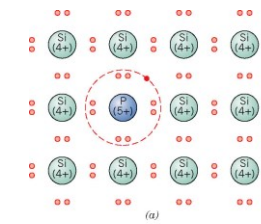
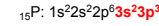
▪ Dotierte Halbleiter

Grundkristall z.B. Si



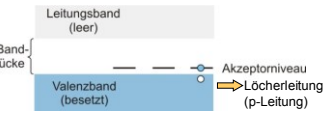
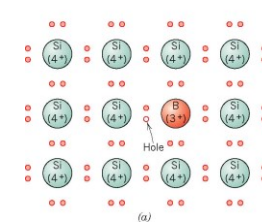
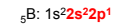
$n$ -Halbleiter

z. B. + P



$p$ -Halbleiter

z. B. + B



22

6. Fester Aggregatzustand - amorphe Stoffe

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

a) Makroskopische Beschreibung:

- Eigenvolumen aber keine Eigenform
- Isotrop
- sehr hohe Viskosität



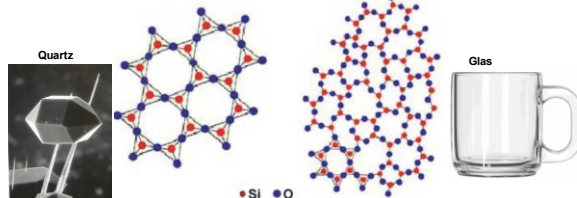
b) Mikroskopische Beschreibung:

- Nahordnung
- Schwache Bewegungen

= gefrorene unterkühlte Flüssigkeiten, Gläser!

kristallines  $\text{SiO}_2$

amorphes  $\text{SiO}_2$



23

Hausaufgaben: ■ Aufgabensammlung

1.40, 43, 44, 47, 49, 50, 52



24