

# Medizinische Biophysik

2. Vorlesung  
19. 09. 2018

Struktur der Materie  
Aggregatzustände:  
Flüssigkeiten, feste Körper

## 4. Flüssiger Aggregatzustand

- Makroskopische Beschreibung
- Mikroskopische Beschreibung
- Oberflächenspannung
- Wasser und seine günstige Eigenschaften

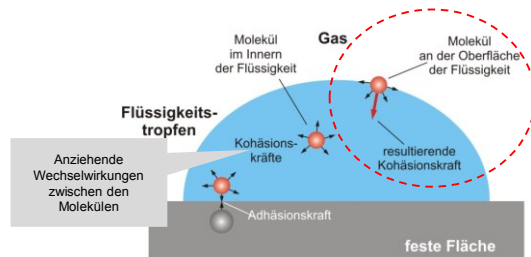
## 5. Fester Aggregatzustand - Kristalle

- Makroskopische Beschreibung
- Mikroskopische Beschreibung
- Kristalltypen
- Apatit
- Gitterfehler
- Elektronenstruktur (Bändermodell)

## 6. Fester Aggregatzustand - amorphe Stoffe

- Makroskopische Beschreibung
- Mikroskopische Beschreibung

## c) Oberflächenspannung



## 4. Flüssiger Aggregatzustand

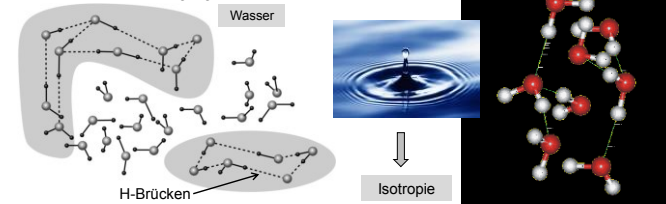
### a) Makroskopische Beschreibung:

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



### b) Mikroskopische Beschreibung:

- Dynamische **Nahordnung**
- Mittelstarke Bewegungen



- Oberflächenspannung, oder spezifische Oberflächenenergie ( $\sigma$ ):

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

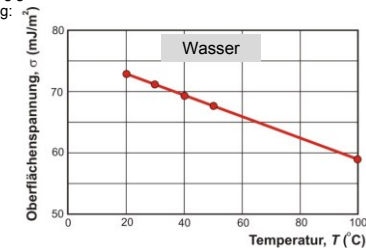
Zur Flächenvergrößerung von  $\Delta A$  nötige Energie

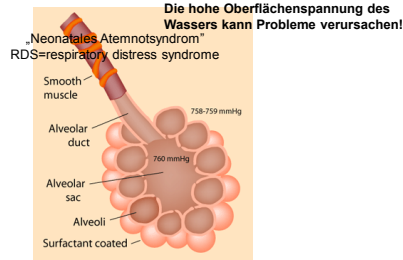
Oberflächenvergrößerung

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

\* In Bezug auf Luft, 20°C

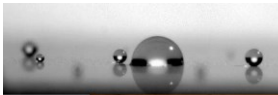
Die Temperaturabhängigkeit der Oberflächenspannung:



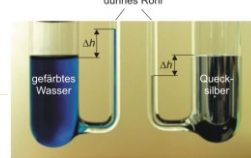


Weitere Erscheinungen, wobei die Oberflächenspannung eine Rolle spielt:

Benetzung



Kapillareffekt



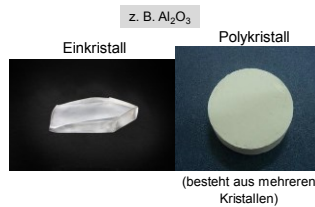
5



## 5. Fester Aggregatzustand - Kristalle

### a) Makroskopische Beschreibung:

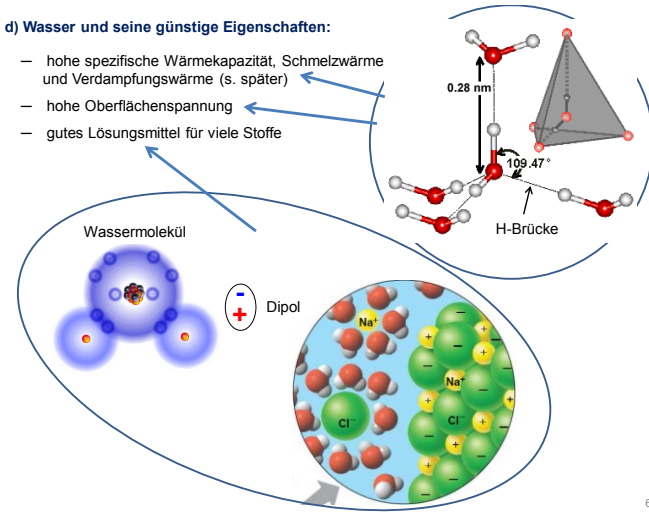
- Eigenvolumen, Eigenform
- Einkristalle: oft anisotrop; Polykristalle: isotrop



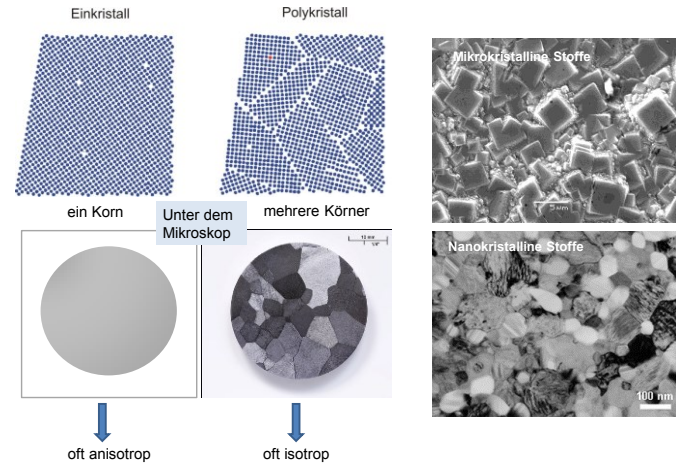
7

### d) Wasser und seine günstige Eigenschaften:

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



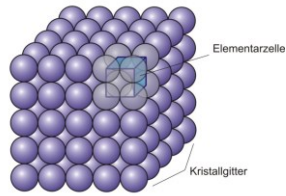
6



8

#### b) Mikroskopische Beschreibung:

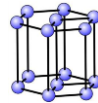
- Fernordnung
- Periodizität – Kristallgitter
- Schwache Bewegungen (Schwingungen)



Zum Beispiel: kubisch

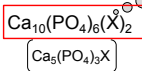


hexagonal

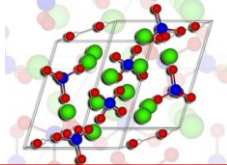


9

#### d) Apatit



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



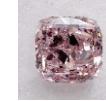
Dentin, Knochen: 20-60 nm x 6 nm große Kristalle  
Zahnschmelz: 500-1000 nm x 30 nm große Kristalle



11

#### c) Kristalltypen:

- Atomkristall (kovalente Bindung)
- Ionenkristall (Ionenbindung)



Diamant



Salz

- Metalkristall (Metallbindung)



Gold

- Molekülkristall (sekundäre Bindung)



Eis

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

10

#### e) Gitterfehler:

- Punktfehler

- Thermische Fehler

- Leerstelle (Vakanz, Schottky-Defekt)
- Interstitium (Zwischengitteratom)
- Frenkel-Defekt

Zahl der Schottky-Defekte ( $n_s$ ):

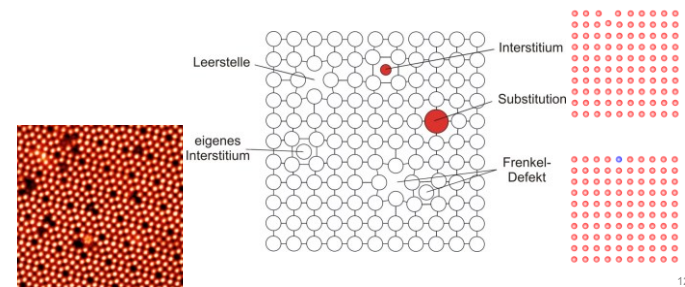
$$n_s = N \cdot e^{-\frac{E_s}{kT}}$$

Aktivierungsenergie ( $\approx$  Bindungsenergie)

- Fremdatome (chemische Fehler, Dotierung)

- Substitutionsatom
- Interstitielles Atom (Interstitium)

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



12

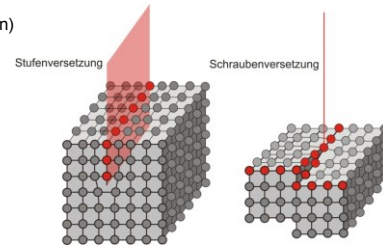
Thermische Fehler in biologischen Makromolekülen:

Zahl der aufgespalteten H-Brücken

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

Zahl der intakten H-Brücken

— Versetzungen (Dislokationen)



13

z. B. mechanische Eigenschaften

z. B. chemische Eigenschaften

$$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$$

Hydroxiapatit      Fluorapatit

Kleinere Löslichkeit in Säuren

z. B. elektrische Eigenschaften

→ siehe reine und dotierte Halbleiter

15

Gitterfehler ⇒ Eigenschaften!!

z. B. optische Eigenschaften

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

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

+  $\text{V}^{2+}$  → Violett Rubin

+  $\text{Fe}^{2+}$  → Grün Rubin

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

Nal

Nal + Ti

→ siehe Szintillationskristall in der Nuklearmedizin  
Praktikum „Nukleare Grundmessung“

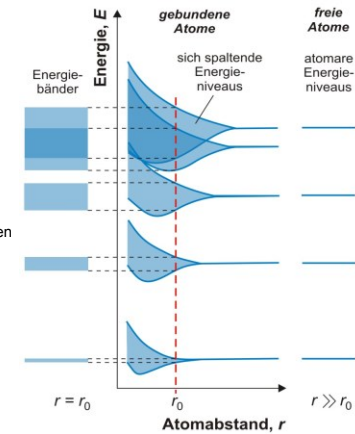
(unter Röntgenbestrahlung)

14

#### f) Elektronenstruktur (Bändermodell):

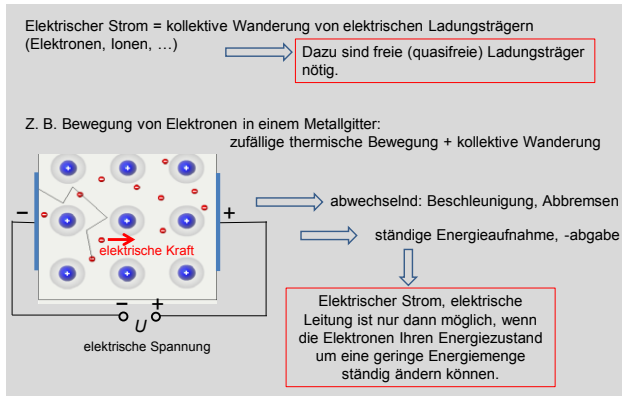
▪ Leitungsband:  
Von hohen Energiewerten ausgehend, das unterste Energieband, das nicht vollbesetzt ist.

▪ Valenzband:  
Von niedrigen Energiewerten ausgehend, das oberste Energieband, das noch Elektronen enthält.

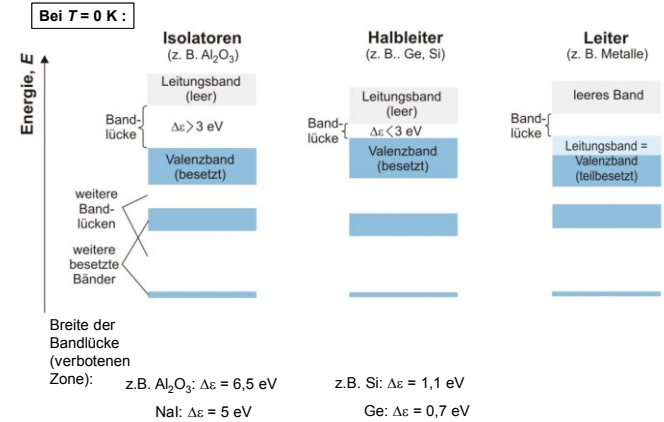


16

▪ Elektrische Eigenschaften der Festkörper



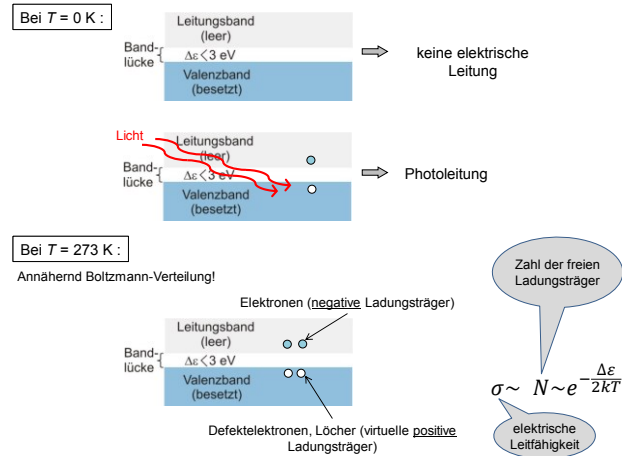
17



➔ siehe die optischen Eigenschaften später

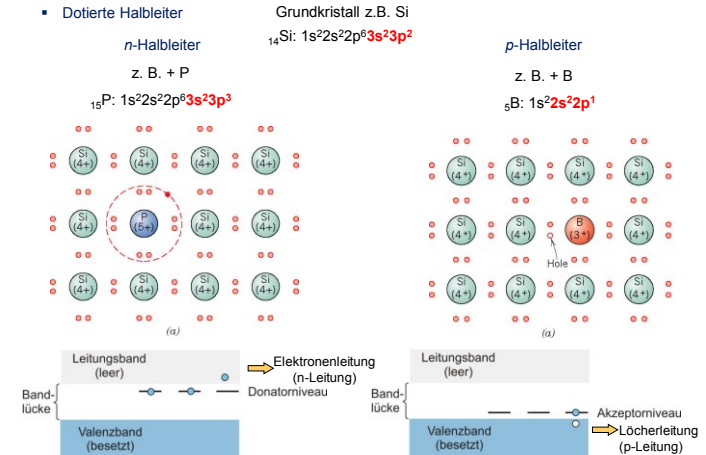
18

▪ Eigenhalbleiter (intrinsic Halbleiter)



19

▪ Dotierte Halbleiter



20



## 6. Fester Aggregatzustand - amorphe Stoffe

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

### a) Makroskopische Beschreibung:

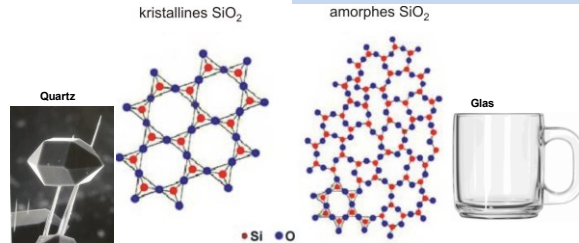
- Eigenvolumen aber keine Eigenform
- Isotrop
- sehr hohe Viskosität



### b) Mikroskopische Beschreibung:

- Nahordnung
- Schwache Bewegungen

= gefrorene unterkühlte Flüssigkeiten, Gläser !

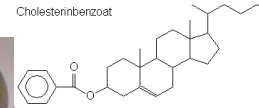


21

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

1883 Reinitzer

Cholesterinbenzoat

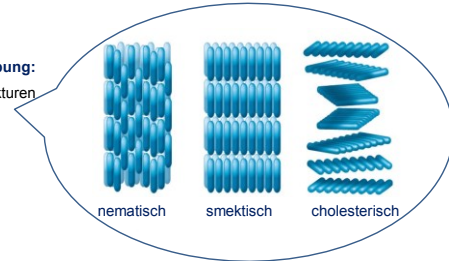


### kroskopische Beschreibung:

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

### b) Mikroskopische Beschreibung:

- Teilweise geordnete Strukturen (Orientierung, Schichten)

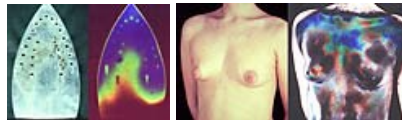


22

### c) Anwendungen von Flüssigkristallen:

Kontaktthermographie/Plattenthermographie

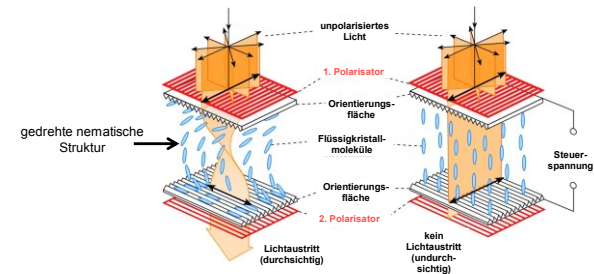
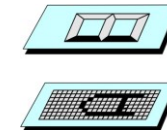
Grundlage: thermo-optisches Phänomen (bei Temperaturänderungen ändern sich die optischen Eigenschaften)



23

LCD (liquid crystal display)

Grundlage: elektro-optisches Phänomen (durch elektrisches Feld ändern sich die optischen Eigenschaften)

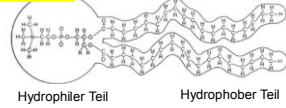


→ Erklärung siehe später bei den Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie! 24

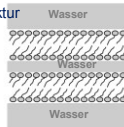
d) Lyotrope Flüssigkristalle:

Beispiel

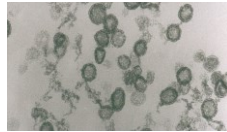
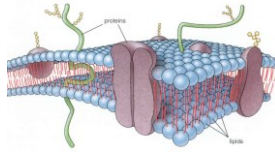
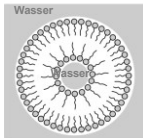
Phospholipidmolekül



Lamellare Struktur



Liposom



Hausaufgaben: ■ Aufgabensammlung

1. 43, 44, 47, 49, 50, 52

