

# Medizinische Biophysik

2. Vorlesung  
18. 09. 2019

Struktur der Materie  
Aggregatzustände:  
Flüssigkeiten, feste Körper

## 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)

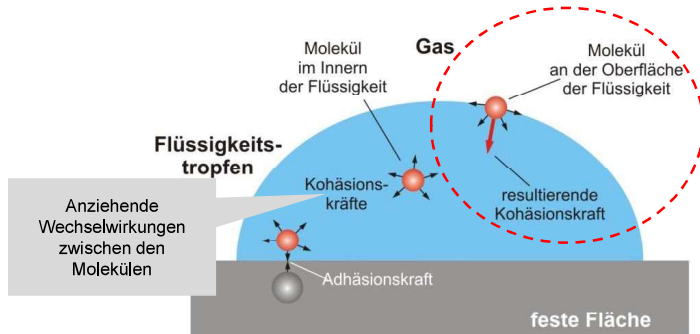
## 6. Fester Aggregatzustand - amorphe Stoffe

- a) Makroskopische Beschreibung
- b) Mikroskopische Beschreibung

## 7. Flüssigkristalle

- a) Makroskopische Beschreibung:
- b) Mikroskopische Beschreibung:
- c) Anwendungen von Flüssigkristallen:
- d) Lyotrope Flüssigkristalle:

## c) Oberflächenspannung



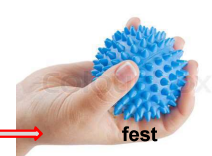
## 4. Flüssiger Aggregatzustand

### a) Makroskopische Beschreibung:

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



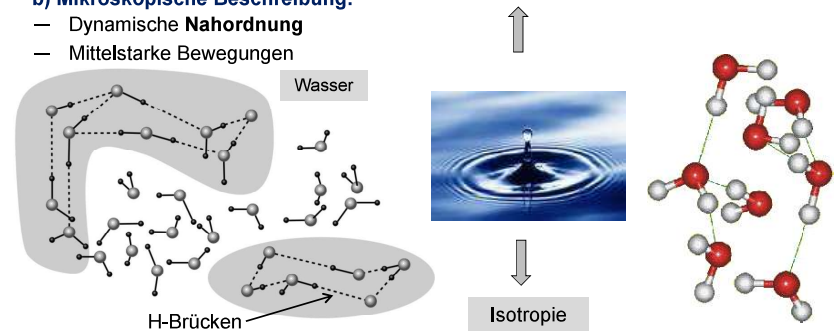
Keine Eigenform:  
Nach Deformieren stellt sich die Form nicht zurück, es gibt nämlich keine rückstellende Scherkräfte.



Eigenform:  
Nach Deformieren stellt sich die Form zurück, da es rückstellende Scherkräfte gibt.

### b) Mikroskopische Beschreibung:

- Dynamische Nahordnung
- Mittelstarke Bewegungen



## ■ Oberflächenspannung, oder spezifische Oberflächenenergie ( $\sigma$ ):

Zur Flächenvergrößerung von  $\Delta A$  nötige Energie

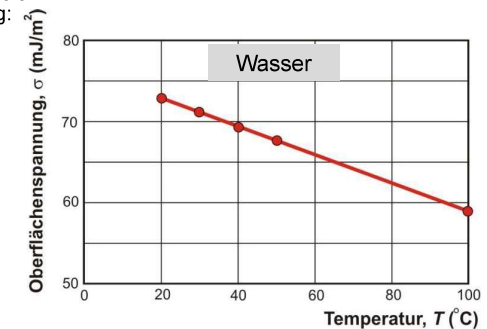
$$\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta A} \quad \left( \frac{\text{J}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}} \right)$$

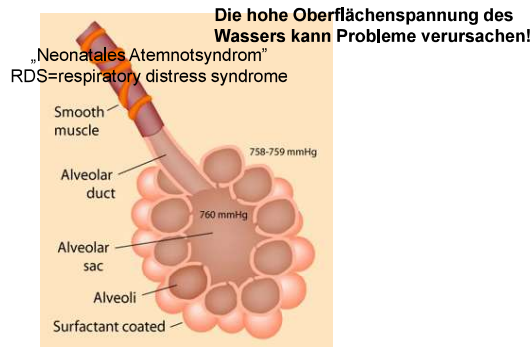
Oberflächenvergrößerung

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

\* In Bezug auf Luft, 20°C

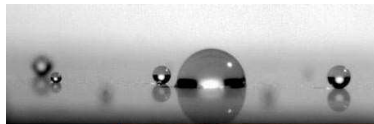
Die Temperaturabhängigkeit der Oberflächenspannung:





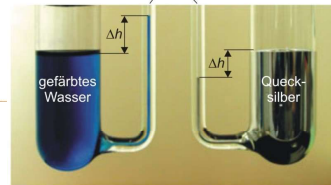
Weitere Erscheinungen, wobei die Oberflächenspannung eine Rolle spielt:

Benetzung



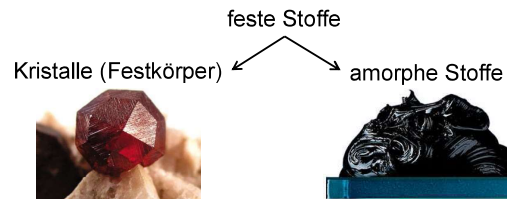
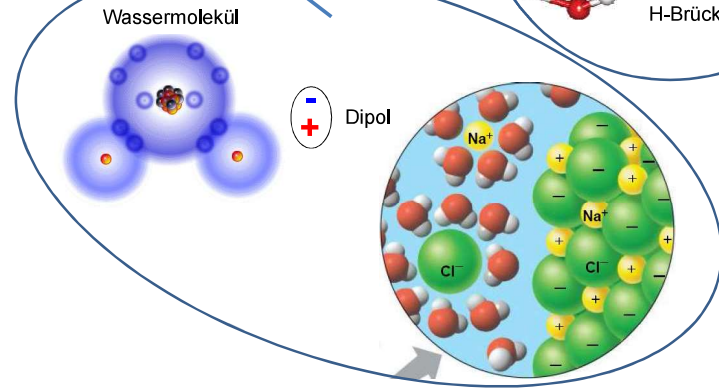
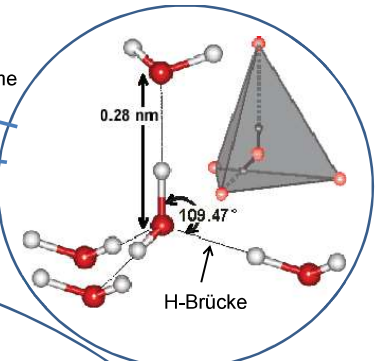
Kapillareffekt

dünnes Rohr



#### d) Wasser und seine günstige Eigenschaften:

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



## 5. Fester Aggregatzustand - Kristalle

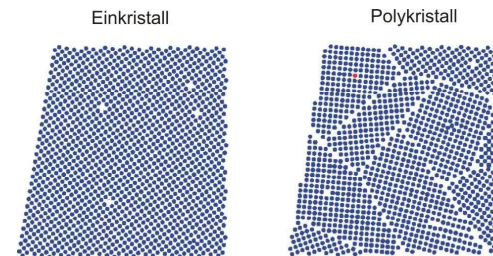
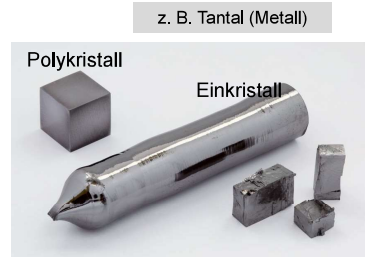
### a) Makroskopische Beschreibung:

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

z. B.  $\text{Al}_2\text{O}_3$



(besteht aus mehreren Kristallen)



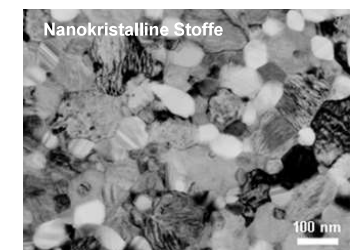
ein Korn

mehrere Körner



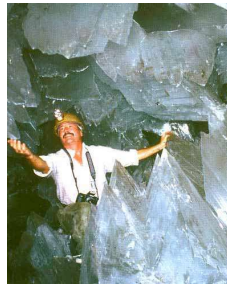
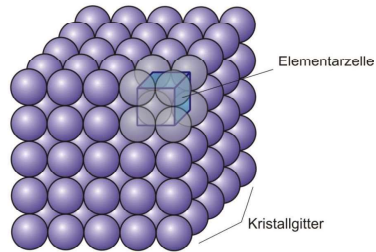
oft anisotrop

oft isotrop

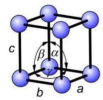


### b) Mikroskopische Beschreibung:

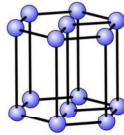
- Fernordnung
- Periodizität – Kristallgitter
- Schwache Bewegungen (Schwingungen)



Zum Beispiel: kubisch

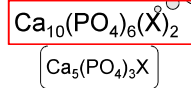
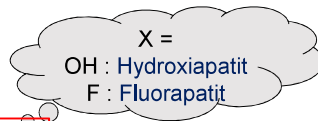


hexagonal

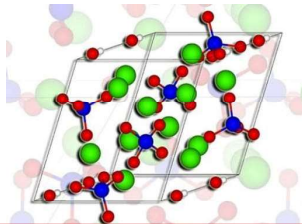


9

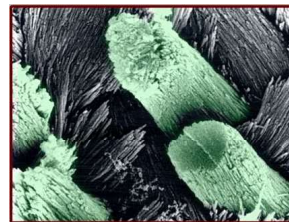
### d) Apatit



- 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

- Metallkristall (Metallbindung)



Gold

- Molekülkristall (sekundäre Bindung)



Eis

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

10

### e) Gitterfehler:

- Punktfehler

- Thermische Fehler

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

Zahl der Schottky-Defekte ( $n_s$ ):

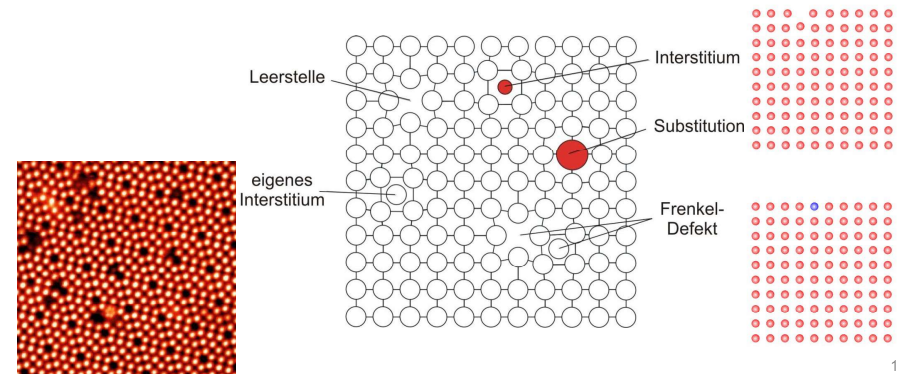
Aktivierungsenergie ( $\approx$  Bindungsenergie)

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

- Fremdatome (chemische Fehler, Dotierung)

- Substitutionsatom
- Interstitielles Atom (Interstitium)

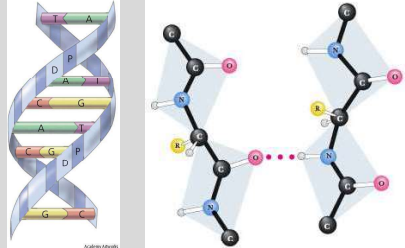
Zahl der besetzten Gitterstelle ( $\approx$  Zahl der Atome)



12



Thermische Fehler in biologischen Makromolekülen:

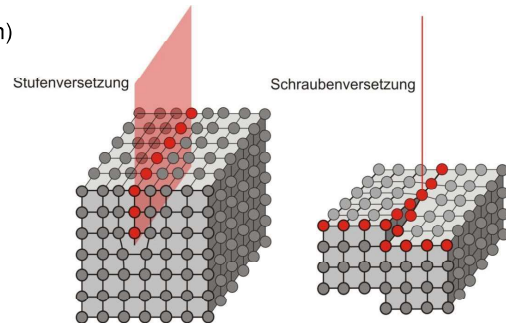


Zahl der aufgespalteten H-Brücken

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


Zahl der intakten H-Brücken

— Versetzungen (Dislokationen)



13

z. B. mechanische Eigenschaften



z. B. chemische Eigenschaften

Ca\_{10}(PO\_4)\_6(OH)\_2  $\rightleftharpoons$  Ca\_{10}(PO\_4)\_6F\_2

Hydroxiapatit      Fluorapatit

Kleinere Löslichkeit in Säuren

z. B. elektrische Eigenschaften

→ siehe reine und dotierte Halbleiter

15

Gitterfehler  $\Rightarrow$  Eigenschaften!!

$Al_2O_3$

z. B. optische Eigenschaften

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

+  $V^{2+}$  →

+  $Fe^{2+}$  →

+  $Ti^{4+} + Fe^{2+}$  →

NaI

NaI + TI

→ siehe Szintillationskristall in der Nuklearmedizin  
Praktikum „Nukleare Grundmessung“

(unter Röntgenbestrahlung)

14

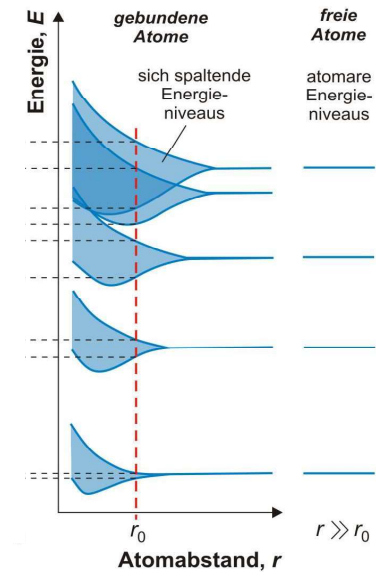
## f) Elektronenstruktur von Festkörpern (Bändermodell):

### Leitungsband:

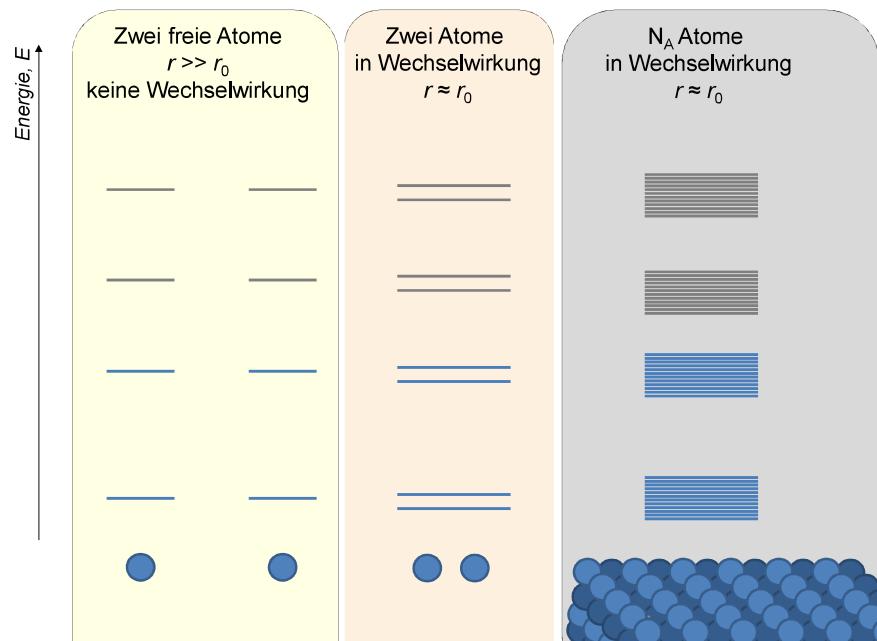
Von hohen Energiewerten ausgehend, das unterste Energieband, das nicht vollbesetzt ist.

### Valenzband:

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



16

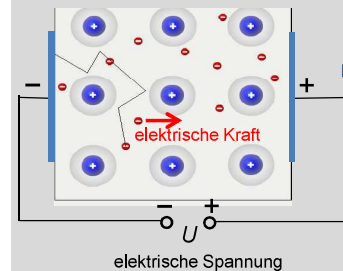


## Elektrische Eigenschaften der Festkörper

Elektrischer Strom = kollektive Wanderung von elektrischen Ladungsträgern (Elektronen, Ionen, ...)

Dazu sind freie (quasifreie) Ladungsträger nötig.

Z. B. Bewegung von Elektronen in einem Metallgitter:  
zufällige thermische Bewegung + kollektive Wanderung

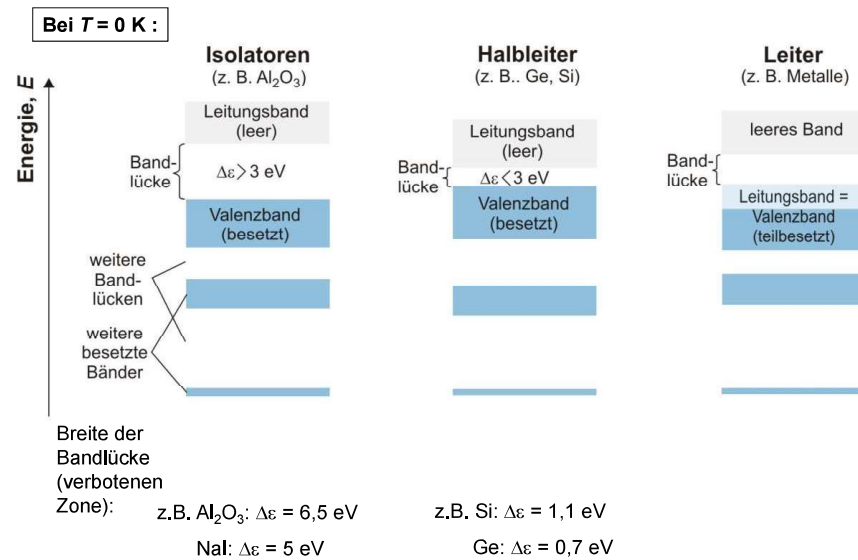


abwechselnd: Beschleunigung, Abbremsen

ständige Energieaufnahme, -abgabe

Elektrischer Strom, elektrische Leitung ist nur dann möglich, wenn die Elektronen ihren Energiezustand um eine geringe Energiemenge ständig ändern können.

18



→ siehe die optischen Eigenschaften später

19

## Hausaufgaben: ■ Aufgabensammlung

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



28