

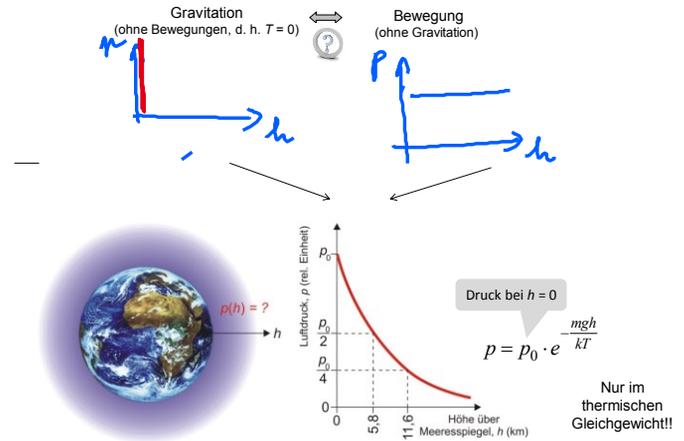
Medizinische Biophysik 2. Vorlesung 12.09.2016

Struktur der Materie
Aggregatzustände:
Gase, Flüssigkeiten, feste Körper

- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>3. Gasförmiger Aggregatzustand</p> <p>...</p> <p>e) Barometrische Höhenformel (Gas im Gravitationsfeld)</p> <p>f) Boltzmann-Verteilung</p> | <p>5. Fester Aggregatzustand - Kristalle</p> <p>a) Makroskopische Beschreibung</p> <p>b) Mikroskopische Beschreibung</p> <p>c) Kristalltypen</p> <p>d) Apatit</p> <p>e) Gitterfehler</p> <p>f) Elektronenstruktur (Bändermodell)</p> |
| <p>4. Flüssiger Aggregatzustand</p> <p>a) Makroskopische Beschreibung</p> <p>b) Mikroskopische Beschreibung</p> <p>c) Oberflächenspannung</p> <p>d) Wasser und seine günstige Eigenschaften</p> | <p>6. Fester Aggregatzustand - amorphe Stoffe</p> <p>a) Makroskopische Beschreibung</p> <p>b) Mikroskopische Beschreibung</p> |

1

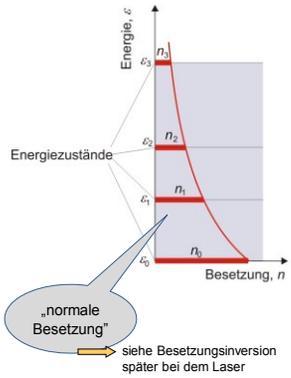
e) Barometrische Höhenformel (Gas im Gravitationsfeld)



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

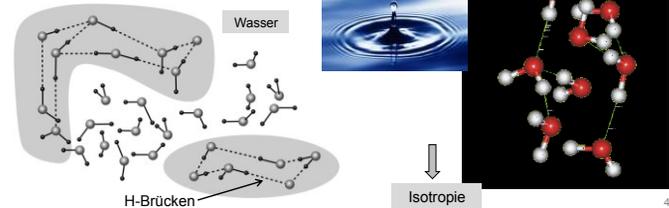
a) Makroskopische Beschreibung:

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



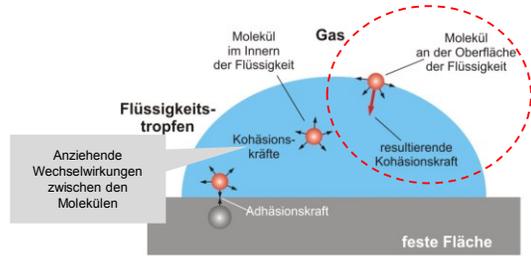
b) Mikroskopische Beschreibung:

- Dynamische Nahordnung
- Mittelstarke Bewegungen



4

c) Oberflächenspannung



5

- Oberflächenspannung, oder spezifische Oberflächenenergie (σ):

Zur Flächenvergrößerung von ΔA nötige Energie

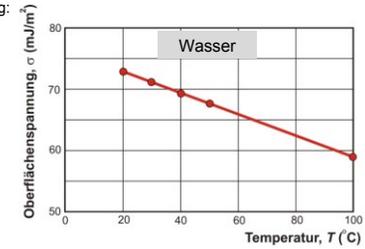
$$\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta A} \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}} \right)$$

Oberflächenvergrößerung

Stoff	σ (J/m ²)*
Wasser	0,073
Blut	0,06
Speichel	0,05
Alkohol	0,023
Quecksilber	0,484

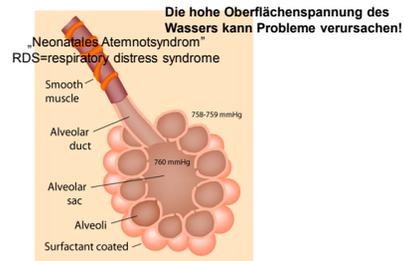
* In Bezug auf Luft, 20°C

Die Temperaturabhängigkeit der Oberflächenspannung:

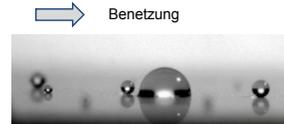


?

6



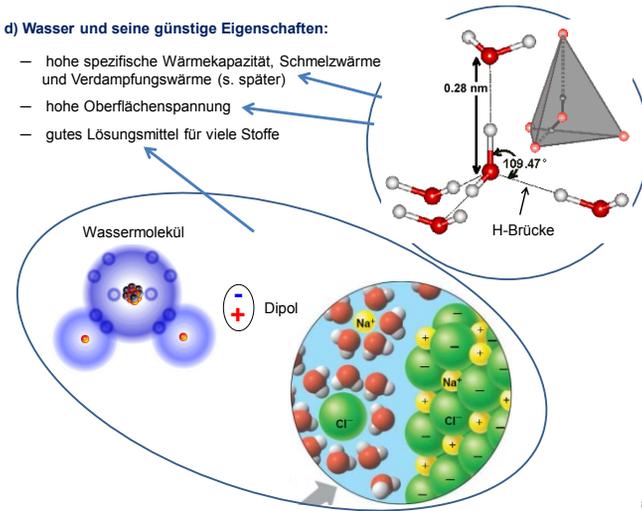
Weitere Erscheinungen, wobei die Oberflächenspannung eine Rolle spielt:



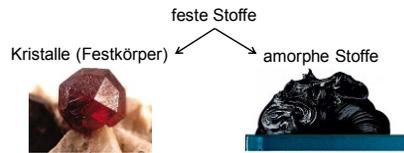
7

d) Wasser und seine günstige Eigenschaften:

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



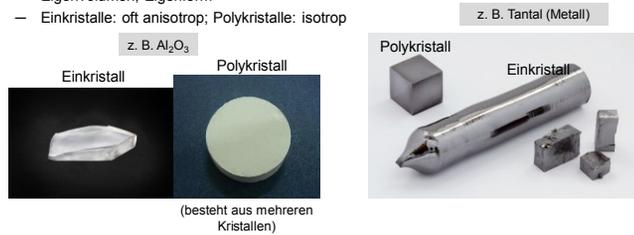
8



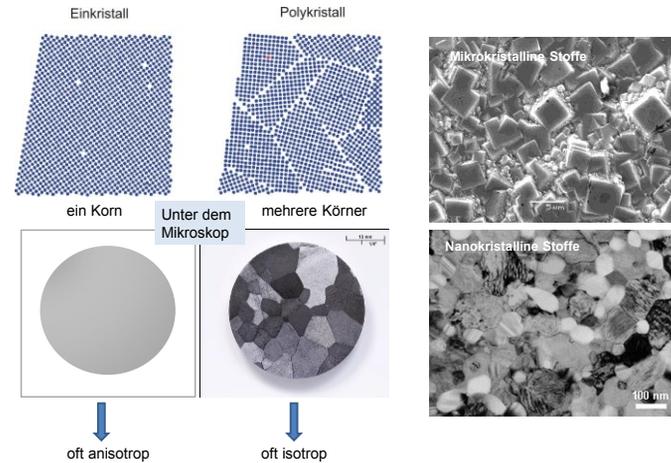
5. Fester Aggregatzustand - Kristalle

a) Makroskopische Beschreibung:

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



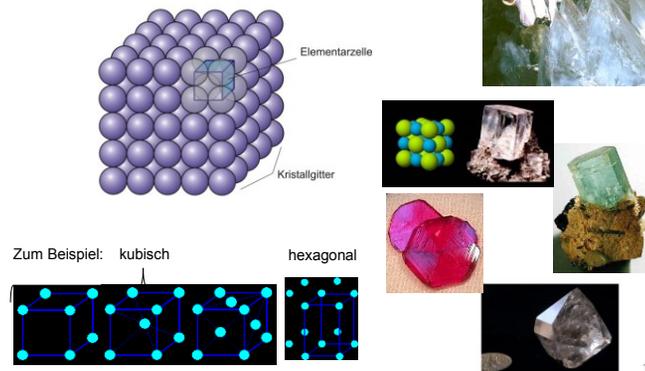
9



10

b) Mikroskopische Beschreibung:

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



11

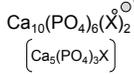
c) Kristalltypen:

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

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

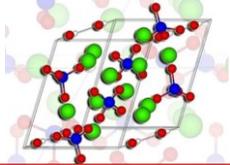
12

d) Apatit



X =
OH : Hydroxiapatit
F : Fluorapatit

- 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:

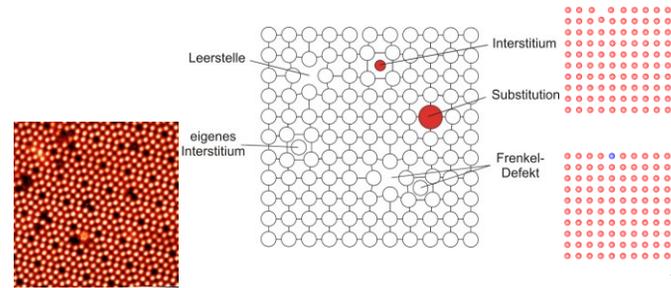
- Punktfehler
 - Thermische Fehler
 - Leerstelle (Vakanz, Schottky-Defekt)
 - Interstitium (Zwischengitteratom)
 - Frenkel-Defekt
 - Fremdatome (chemische Fehler, Dotierung)
 - Substitutionsatom
 - Interstitielles Atom (Interstitium)

Aktivierungsenergie
(≈ Bindungsenergie)

Zahl der Schottky-Defekte (n_S):

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

Zahl der besetzten Gitterstelle
(≈ Zahl der Atome)



14

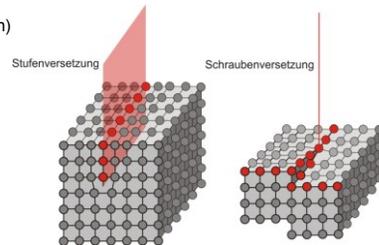
Thermische Fehler in biologischen Makromolekülen:

Zahl der aufgespaltenen H-Brücken

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

Zahl der intakten H-Brücken

- Versetzungen (Dislokationen)



15

Gitterfehler ⇒ Eigenschaften!!

z. B. optische Eigenschaften

Al_2O_3

+ Cr^{3+} → Rubin
→ siehe Rubinlaser

+ V^{2+} → violetter Rubin

+ Fe^{2+} → grüner Rubin

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

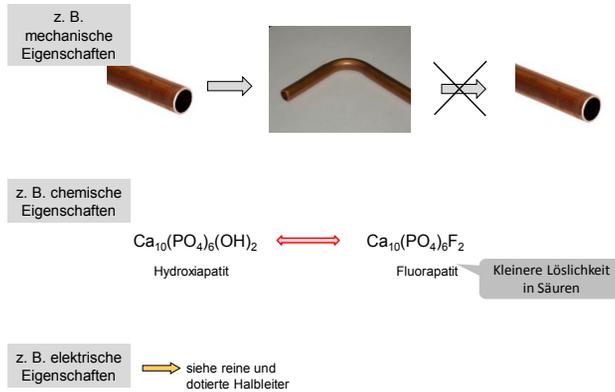
Nal → Natriumiodid

Nal + TI → Natriumiodid + Tellur

→ siehe Szintillationskristall in der Nuklearmedizin
Praktikum „Nukleare Grundmessung“

(unter Röntgenbestrahlung)

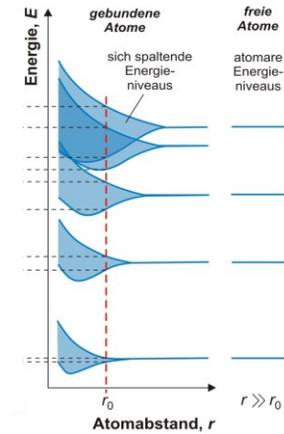
16



17

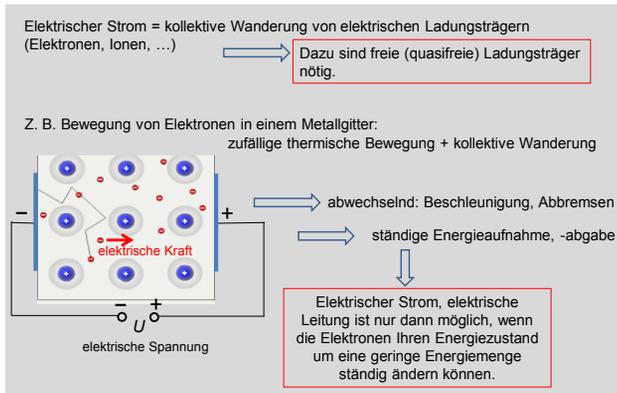
f) Elektronenstruktur (Bändermodell):

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

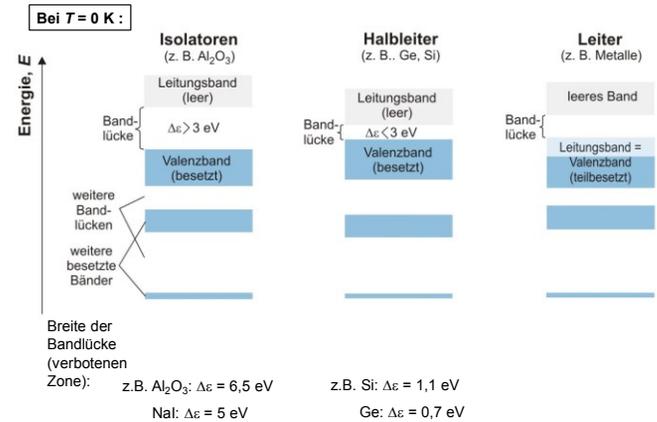


18

Elektrische Eigenschaften der Festkörper



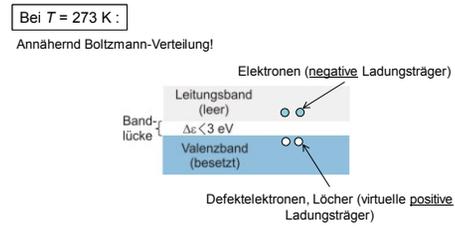
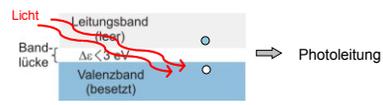
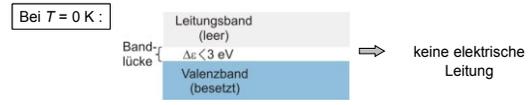
19



→ siehe die optischen Eigenschaften später

20

▪ Eigenhalbleiter (intrinsic Halbleiter)



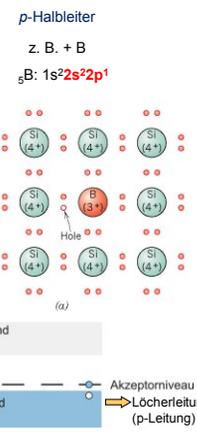
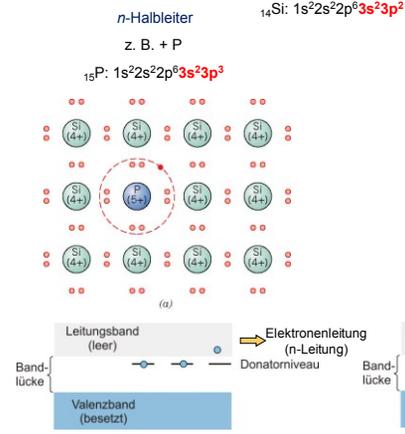
Zahl der freien Ladungsträger

$$\sigma \sim N \sim e^{-\frac{\Delta\epsilon}{2kT}}$$

elektrische Leitfähigkeit

21

▪ Dotierte Halbleiter



22

6. Fester Aggregatzustand - amorphe Stoffe

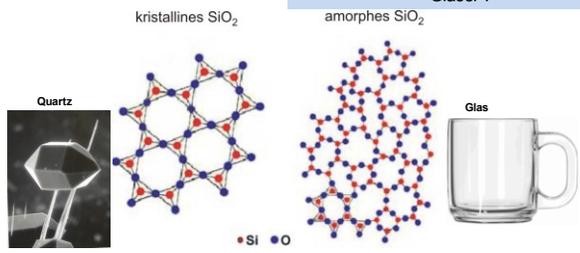
- a) Makroskopische Beschreibung:
- Eigenvolumen aber keine Eigenform
 - Isotrop
 - sehr hohe Viskosität

- b) Mikroskopische Beschreibung:
- Nahordnung
 - Schwache Bewegungen

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



= gefrorene unterkühlte Flüssigkeiten, Gläser!



23

Hausaufgaben: ■ Aufgabensammlung
1.40, 43, 44, 47, 49, 50, 52



24