

Medizinische Biophysik

2. Vorlesung

Struktur der Materie

Aggregatzustände:
Gase, Flüssigkeiten, feste Körper

2. Gasförmiger Aggregatzustand

- Makroskopische Beschreibung:
- Mikroskopische Beschreibung:
- Kinetische Deutung der Temperatur:
- Maxwell-Boltzmann-Verteilung
- Barometrische Höhenformel (Gas im Gravitationsfeld)
- Boltzmann-Verteilung

3. Flüssiger Aggregatzustand

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

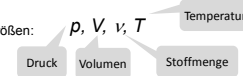
4. Fester Aggregatzustand - Kristalle

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

2. Gasförmiger Aggregatzustand

a) Makroskopische Beschreibung:

- Kein Eigenvolumen und keine Eigenform
- Isotrop
- Messbare Größen:



allgemeine Gaskonstante
 $R = 8,31 \text{ J/(mol·K)}$

$$pV = \nu RT \quad (\text{für ideale Gase})$$

b) Mikroskopische Beschreibung:

- Ungeordnet
- Starke und fast freie Bewegungen



c) Kinetische Deutung der Temperatur

durchschnittliche kinetische Energie eines Teilchens

$$\overline{E_{\text{kin}}} = \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} kT$$

Boltzmann-Konstante $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

Temperatur

Masse eines Teilchens, Geschwindigkeit des Teilchens

$kT = \text{„thermische Energie“}$

Eine andere Form:

durchschnittliche kinetische Energie von einem Mol

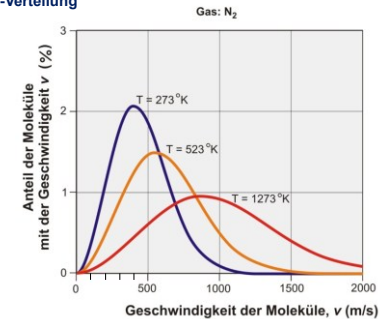
$$\overline{E_{\text{kin, mol}}} = \frac{1}{2} M \overline{v^2} = \frac{3}{2} RT$$

Allgemeine Gaskonstante $R = 8,31 \text{ J/(mol·K)}$

$RT = \text{„molare thermische Energie“}$

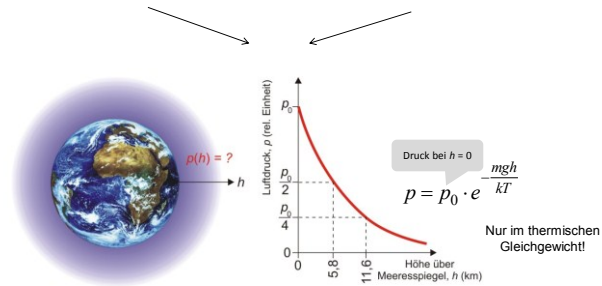
Molare Masse

d) Maxwell-Boltzmann-Verteilung



e) Barometrische Höhenformel (Gas im Gravitationsfeld)

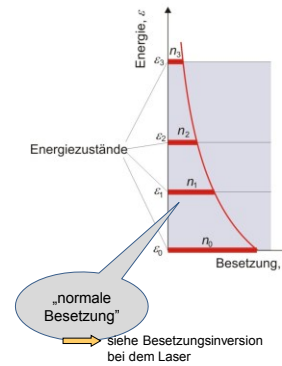
Gravitation \longleftrightarrow Bewegungen



5

f) Boltzmann-Verteilung

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



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

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

$$R = k \cdot N_A$$

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!)

6

3. Flüssiger Aggregatzustand

a) Makroskopische Beschreibung:

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

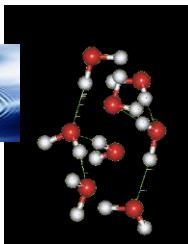
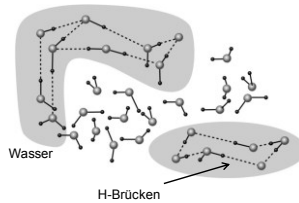


Keine Eigenform:
Nach Deformieren bleibt so, es
gibt keine rückstellende
Scherkräfte.

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

b) Mikroskopische Beschreibung:

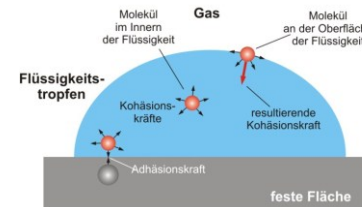
- Dynamische Nahordnung
- Mittelstarke Bewegungen



Isotropie

7

c) Oberflächenspannung

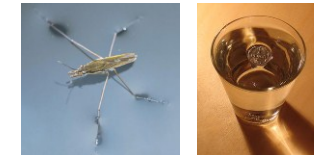


- Oberflächenspannung, oder spezifische Oberflächenenergie (σ):

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

Zur Flächenvergrößerung von ΔA nötige Energie

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

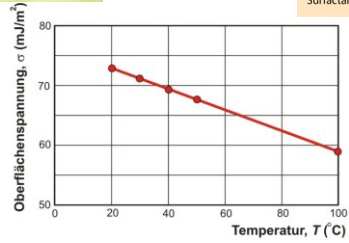
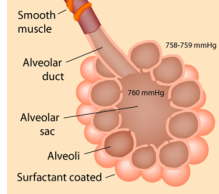
Ein Maß für „Narzissismus“.

8



Die hohe Oberflächenspannung des Wassers kann Probleme verursachen!

„Neonatales Atemnotsyndrom“
RDS=respiratory distress syndrome



9

feste Stoffe
Kristalle (Festkörper) amorphe Stoffe

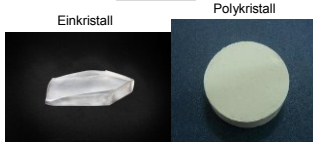


4. Fester Aggregatzustand - Kristalle

a) Makroskopische Beschreibung:

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

z. B. Al_2O_3



(bestehen aus mehreren Kristallen)

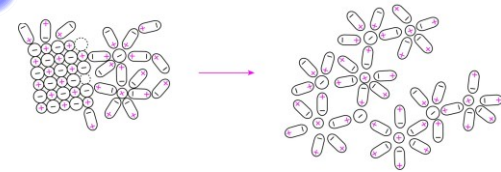
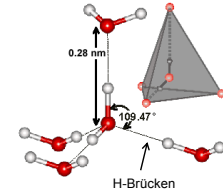
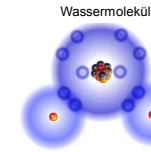
z. B. Tantal (Metall)



11

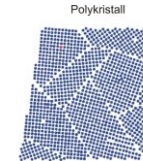
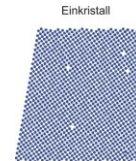
d) Wasser und seine günstige Eigenschaften:

- hohe spezifische Wärmekapazität, Schmelzwärme und Verdampfungswärme
- hohe Oberflächenspannung
- gutes Lösungsmittel für viele Stoffe



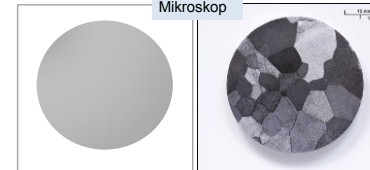
10

— Einkristalle ↔ Polykristalle



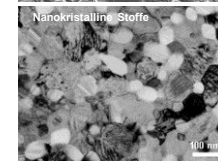
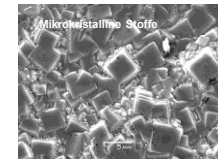
ein Korn

mehrere Körner



oft anisotrop

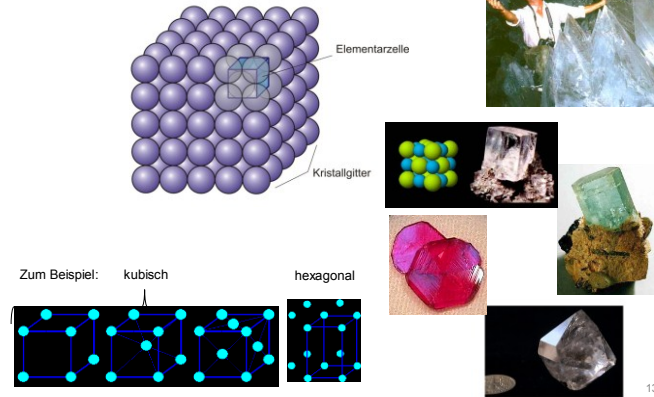
oft isotrop



12

b) Mikroskopische Beschreibung:

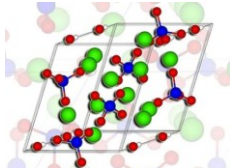
- Fernordnung
- Periodizität – Kristallgitter
- Schwache Bewegungen (Schwingungen)



13

d) Apatit

- $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{X})_2$
 $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{X}]$
- X =
 OH : Hydroxiapatit
 F : Fluorapatit
- ein hexagonales Ionenkristall
 - anorganische Substanz der harten Gewebe (Knochen, Dentin, Zahnschmelz)
 - etwa 2/3 des Knochengewebes



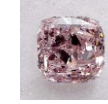
Dentin, Knochen: 20-60 nm x 6 nm große Kristalle
 Zahnschmelz: 500-1000 nm x 30 nm große Kristalle



15

c) Kristalltypen:

- Atomkristall (kovalente Bindung)
- Ionenkristall (Ionenbindung)



Diamant



Salz

- Metalkristall (Metallbindung)
- Molekulkristall (sekundäre Bindung)



Gold



Eis

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

14

e) Gitterfehler:

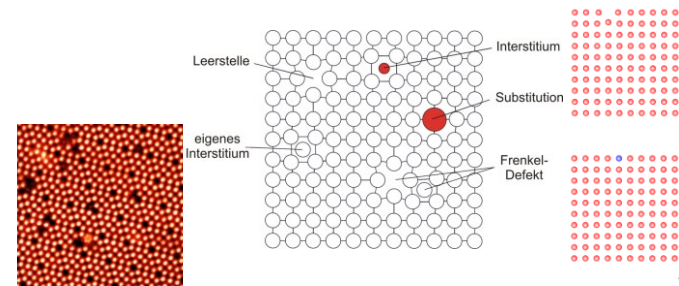
- Punktfehler
 - Thermische Fehler
 - Leerstelle (Vakanz, Schottky-Defekt)
 - Interstitium (Zwischengitteratom)
 - Frenkel-Defekt
 - Fremdatome (chemische Fehler, Dotierung)
 - Substitutionsatom
 - Interstitielles Atom (Interstitialium)

Zahl der Schottky-Defekte (n_s):

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

Aktivierungsenergie
 (= Bindungsenergie)

Zahl der besetzten Gitterstelle
 (\approx Zahl der Atome)



16

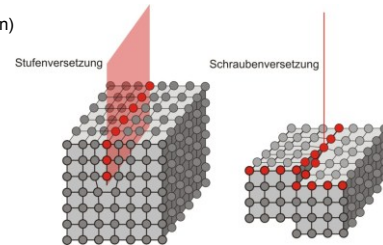
Thermische Fehler in biologischen Makromolekülen:

Zahl der aufgespalteten H-Brücken

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

Zahl der intakten H-Brücken

— Versetzungen (Dislokationen)



17

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

19

Gitterfehler ⇒ Eigenschaften!!

z. B. optische Eigenschaften

Al_2O_3

+ Cr^{3+} → Rubin (siehe Rubinlaser)

+ V^{2+} → Violetter Kristall

+ Fe^{2+} → Grüner Kristall

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

Nal

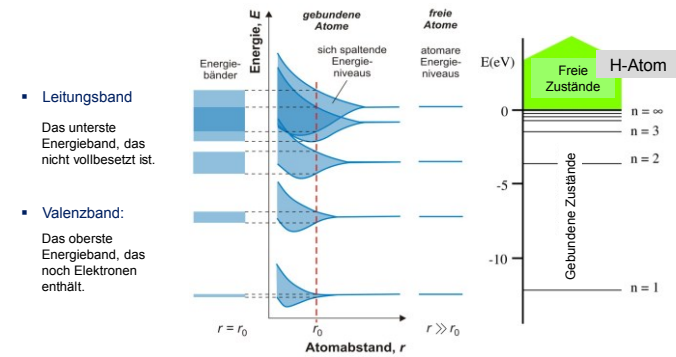
Nal + Ti

(unter Röntgenbestrahlung)

→ siehe Szintillationskristall in der Nuklearmedizin
Praktikum „Nukleare Grundmessung“

18

f) Elektronenstruktur (Bändermodell):



20

▪ Elektrische Eigenschaften der Festkörper

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

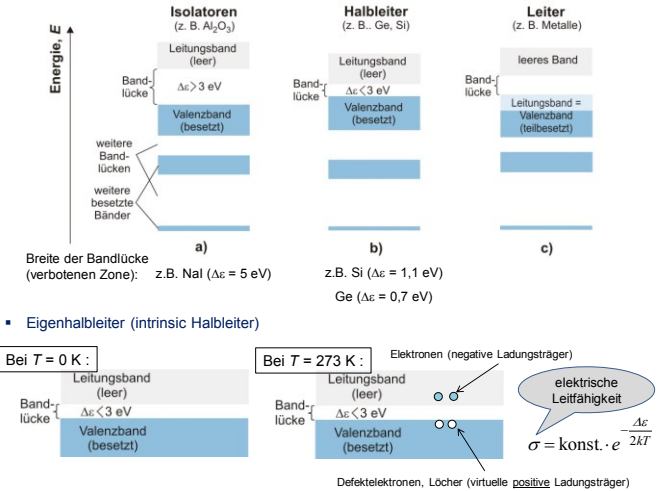
➔ Dazu sind freie (quasifreie) Ladungsträger nötig.

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.

21



22

Hausaufgaben: ▪ Neue Aufgabensammlung
1.34, 36, 38, 40, 43, 47, 49, 50, 52



23