

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)

Hausaufgaben:

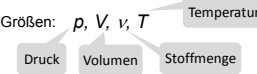
- Neue Aufgabensammlung

1.34, 36, 38, 40, 43, 47, 49, 50, 52

2. Gasförmiger Aggregatzustand

a) Makroskopische Beschreibung:

- Kein Eigenvolumen und keine Eigenform
- Isotrop
- Messbare Größen: p, V, ν, T



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

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

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

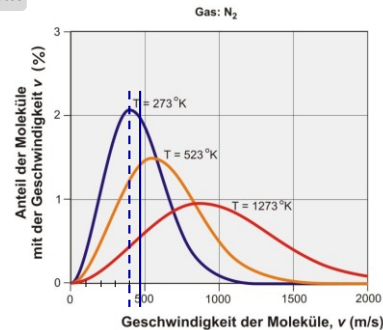
$$\overline{E_{\text{kin, mol}}} = \frac{1}{2} M \overline{v^2} = \frac{3}{2} RT$$

Allgemeine Gaskonstante
 $R = 8,34 \text{ J/(molK)}$

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

Molare Masse

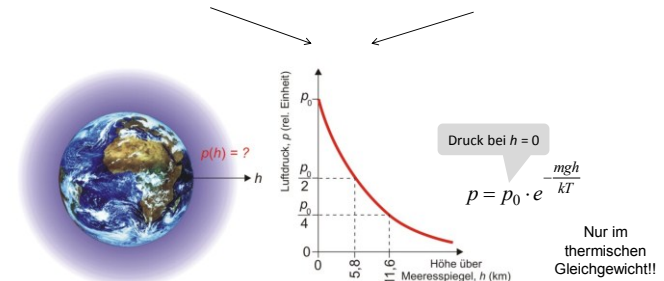
d) Maxwell-Boltzmann-Verteilung



e) Barometrische Höhenformel (Gas im Gravitationsfeld)

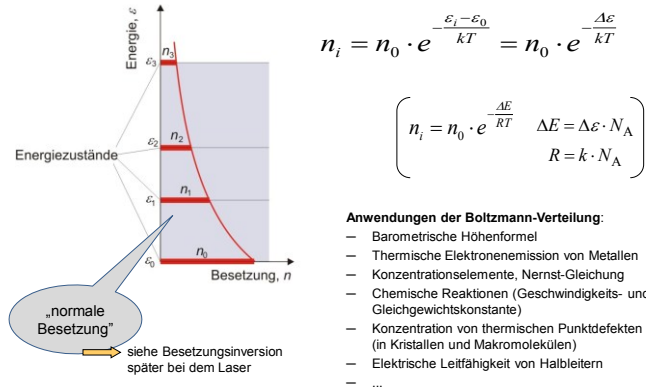
Gravitation
(ohne Bewegungen, d. h. $T = 0$)

Bewegung
(ohne Gravitation)



f) Boltzmann-Verteilung

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



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

5

3. Flüssiger Aggregatzustand

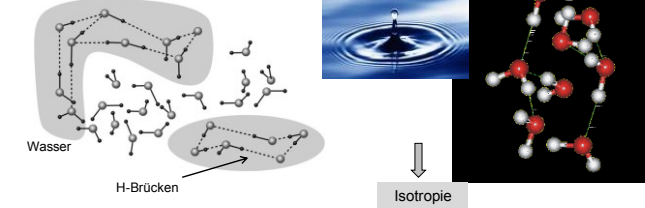
a) Makroskopische Beschreibung:

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



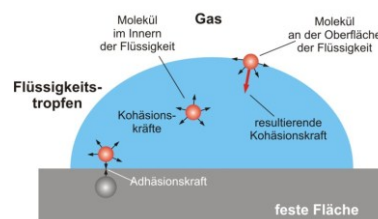
b) Mikroskopische Beschreibung:

- Dynamische Nahordnung
- Mittelstarke Bewegungen



6

c) Oberflächenspannung



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

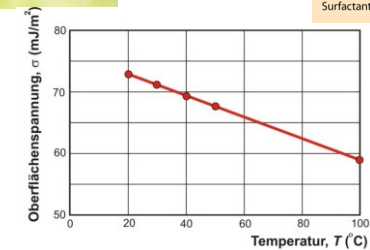
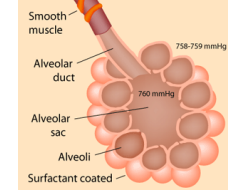
* In Bezug auf Luft, 20°C

7



Die hohe Oberflächenspannung des Wassers kann Probleme verursachen!

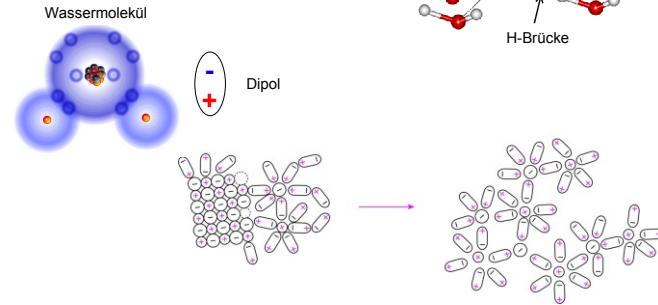
„Neonatales Atemnotsyndrom“
RDS=respiratory distress syndrome



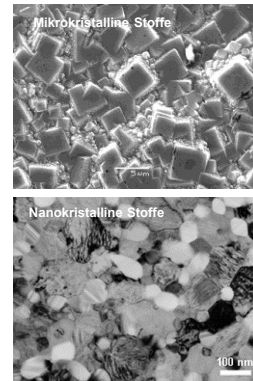
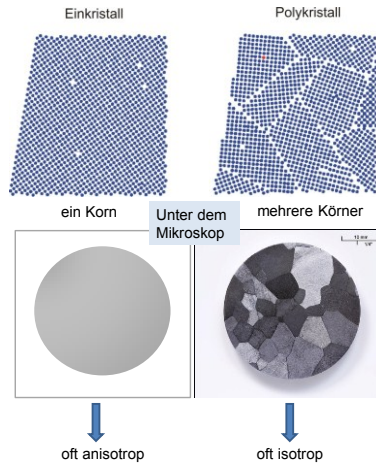
8

d) Wasser und seine günstige Eigenschaften:

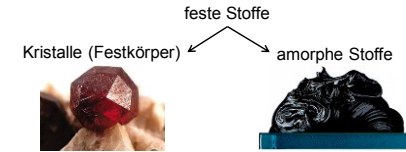
- hohe spezifische Wärmekapazität, Schmelzwärme und Verdampfungswärme
- hohe Oberflächenspannung
- gutes Lösungsmittel für viele Stoffe



9



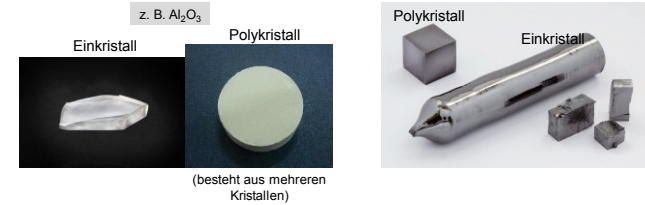
11



4. Fester Aggregatzustand - Kristalle

a) Makroskopische Beschreibung:

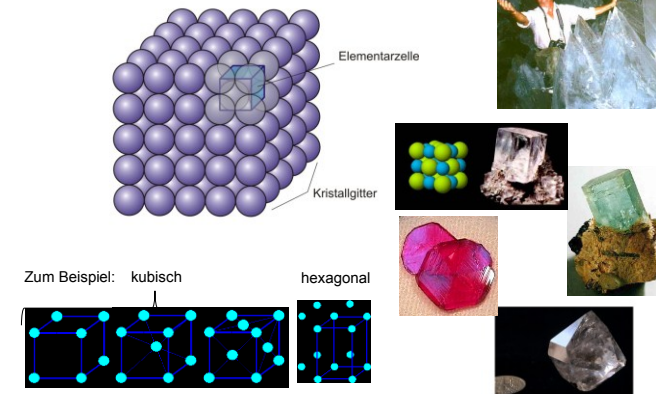
- Eigenvolumen, Eigenform
- Einkristalle: oft anisotrop; Polykristalle: isotrop



10

b) Mikroskopische Beschreibung:

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



12

c) Kristalltypen:

- Atomkristall (kovalente Bindung)
- Ionenkristall (Ionenbindung)



Diamant



Salz

- Metallkristall (Metallbindung)
- Molekülkristall (sekundäre Bindung)



Gold

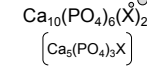
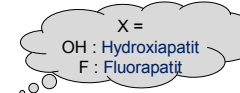


Eis

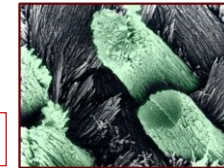
Bindungsenergie (E_0) \Rightarrow Eigenschaften, wie Schmelzpunkt, Schmelzwärme, Steifigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient, ...

13

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

14

e) Gitterfehler:

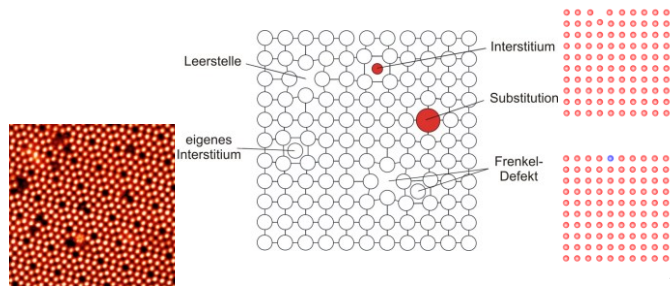
- Punktfehler
 - Thermische Fehler
 - Leerstelle (Vakanz, Schottky-Defekt)
 - Interstitialium (Zwischengitteratom)
 - Frenkel-Defekt
 - Fremdatome (chemische Fehler, Dotierung)
 - Substitutionsatom
 - Interstitialles Atom (Interstitialium)

Aktivierungsenergie
(\approx Bindungsenergie)

Zahl der Schottky-Defekte (n_s):

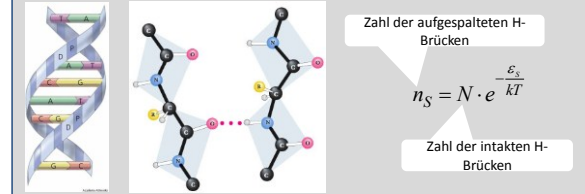
$$n_s = N \cdot e^{-\frac{E_s}{kT}}$$

Zahl der besetzten Gitterstelle
(\approx Zahl der Atome)

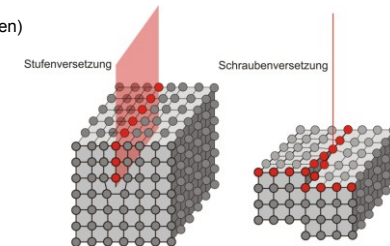


15

Thermische Fehler in biologischen Makromolekülen:



- Versetzungen (Dislokationen)



16

Gitterfehler \Rightarrow Eigenschaften!!

Al₂O₃

z. B. optische Eigenschaften

+ Cr³⁺ + V²⁺ + Fe²⁺ + Ti⁴⁺ + Fe²⁺

Rubin \rightarrow siehe Rubinlaser

Nal

Nal + Ti

(unter Röntgenbestrahlung)

siehe Szintillationskristall in der Nuklearmedizin
Praktikum „Nukleare Grundmessung“

High degree of regularity... the particles in a crystal are arranged in a regular range repeating structure because the particles in a crystal are jumbled and disorder they move about

17

z. B. mechanische Eigenschaften

z. B. chemische Eigenschaften

Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂ \rightleftharpoons Ca₁₀(PO₄)₆F₂

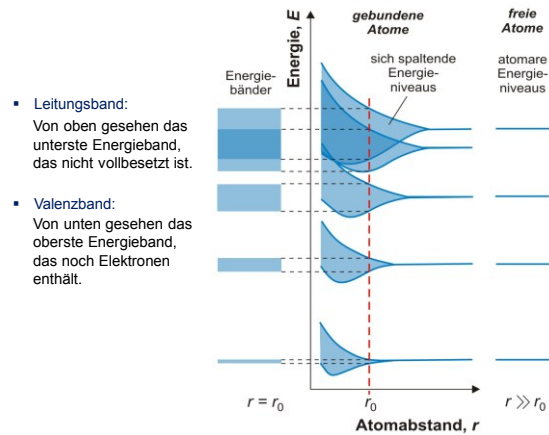
Hydroxiapatit Fluorapatit

Kleinere Löslichkeit in Säuren

z. B. elektrische Eigenschaften \rightarrow siehe reine und dotierte Halbleiter

18

f) Elektronenstruktur (Bändermodell):



19

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

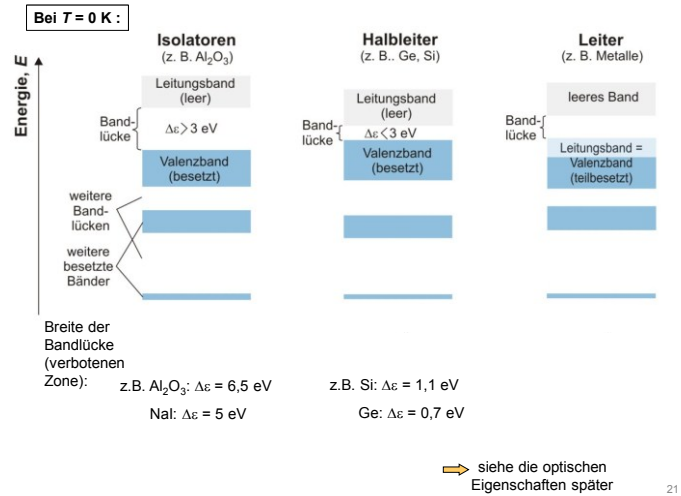
abwechselnd: Beschleunigung, Abbremsen

ständige Energieaufnahme, -abgabe

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

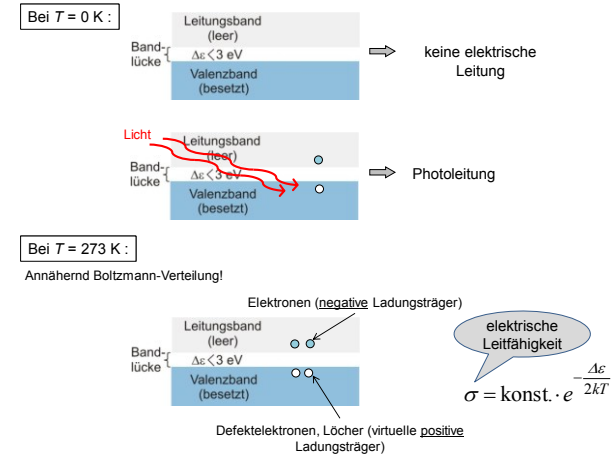
elektrische Spannung U

20

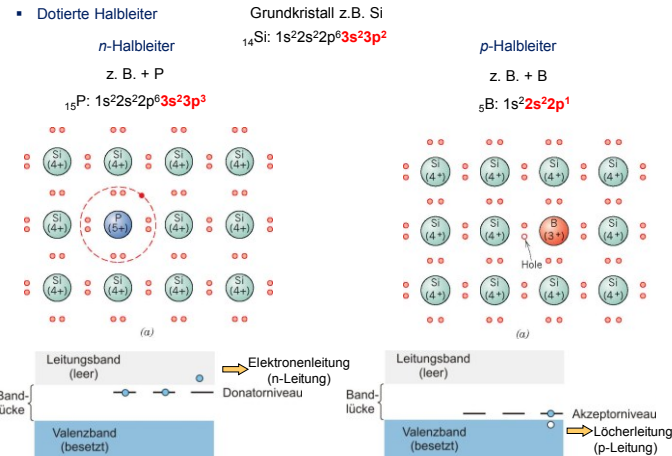


21

Eigenhalbleiter (intrinsic Halbleiter)

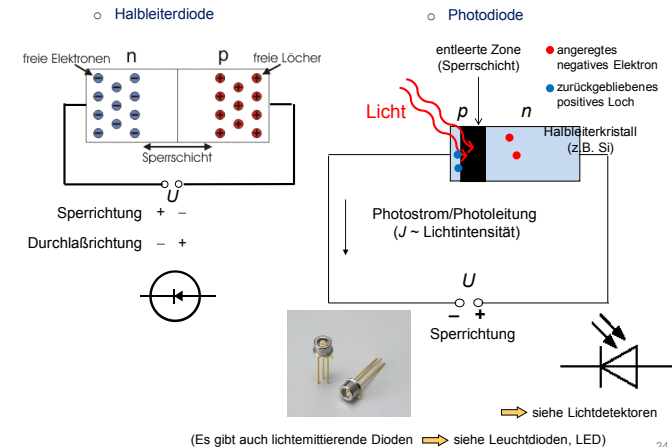


22



23

Anwendungen der dotierten Halbleiter



24