

# Medizinische Biophysik

2. Vorlesung  
12. 09. 2016

Struktur der Materie  
Aggregatzustände:  
Gase, Flüssigkeiten, feste Körper

## 3. Gasförmiger Aggregatzustand

- ...
- e) Barometrische Höhenformel (Gas im Gravitationsfeld)
- f) Boltzmann-Verteilung

## 4. Flüssiger Aggregatzustand

- a) Makroskopische Beschreibung
- b) Mikroskopische Beschreibung
- c) Oberflächenspannung
- d) Wasser und seine günstige Eigenschaften

## 5. Fester Aggregatzustand - Kristalle

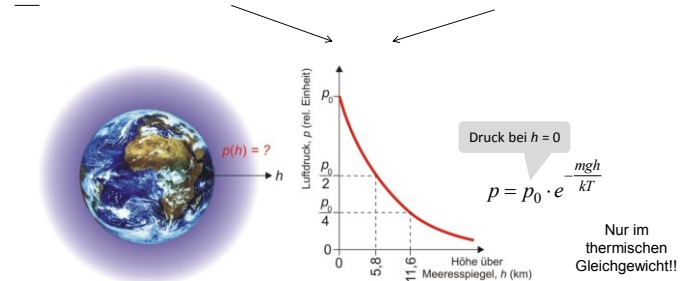
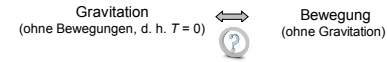
- a) Makroskopische Beschreibung
- b) Mikroskopische Beschreibung
- c) Kristalltypen
- d) Apatit
- e) Gitterfehler
- f) Elektronenstruktur (Bändermodell)

## 6. Fester Aggregatzustand - amorphe Stoffe

- a) Makroskopische Beschreibung
- b) Mikroskopische Beschreibung

1

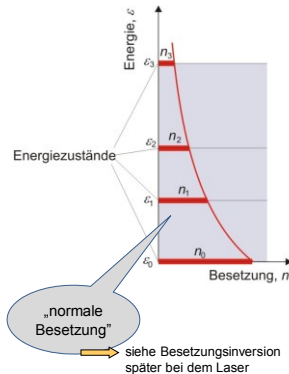
## e) Barometrische Höhenformel (Gas im Gravitationsfeld)



2

## f) Boltzmann-Verteilung

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



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

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

### 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

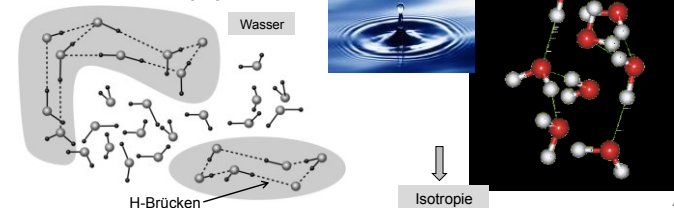
### a) Makroskopische Beschreibung:

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



### b) Mikroskopische Beschreibung:

- Dynamische Nahordnung
- Mittelstarke Bewegungen



4

Das Diagramm illustriert die Kräfte, die die Form einer Flüssigkeitstropfen auf einer festen Oberfläche bestimmen. Es zeigt eine blaue Kugel, die die Flüssigkeit darstellt, auf einer grauen, ebenen Fläche, die als 'feste Fläche' beschriftet ist. Oben rechts ist das 'Gas' beschriftet. Ein Molekül im Inneren der Flüssigkeit ist mit einem anderen Molekül verbunden, was als 'Kohäsionskräfte' bezeichnet wird. Ein Molekül an der Oberfläche der Flüssigkeit ist mit einem Molekül auf der festen Fläche verbunden, was als 'Adhäsionskraft' bezeichnet wird. Die resultierende Kohäsionskraft ist als rote Pfeile dargestellt, die von der Oberfläche wegweisen. Ein roter gestrichelter Kreis markiert die Grenzfläche zwischen Gas und Flüssigkeit. Ein grauer Kasten links unten enthält den Text 'Anziehende Wechselwirkungen zwischen den Molekülen'.



3

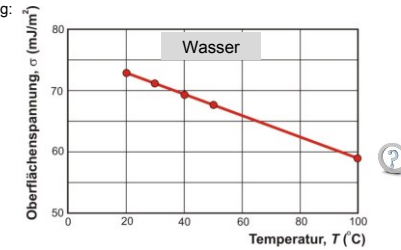
Zur Flächenvergrößerung von  $\Delta A$  nötige Energie

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

Oberflächenvergrößerung

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

Die Temperaturabhängigkeit der  
Oberflächenspannung:  $\text{m}^2$ )

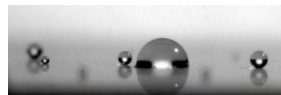


6



Diagram illustrating the transition from the terminal bronchiole to the alveoli. The terminal bronchiole is shown with a pressure of 758-759 mmHg. It branches into the alveolar duct, which leads to the alveolar sac. The alveoli are shown with a pressure of 760 mmHg. The alveoli are coated with surfactant. Labels include: Smooth muscle, Alveolar duct, Alveolar sac, Alveoli, and Surfactant coated.

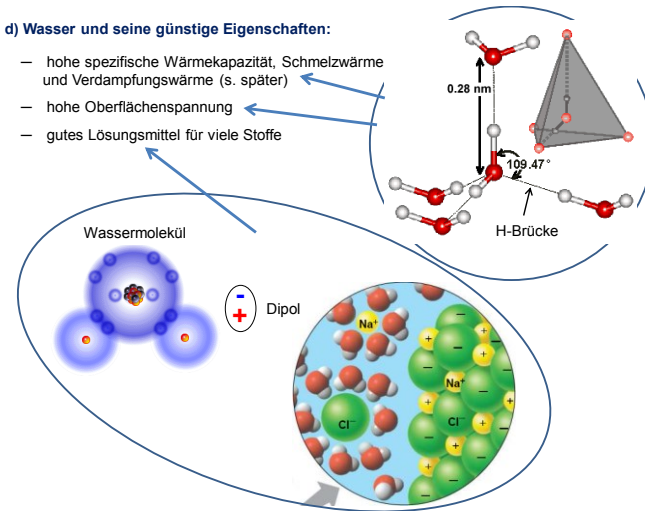
➔ Benetzung



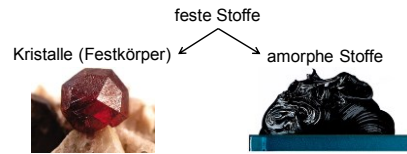
Das Diagramm zeigt zwei U-Rohr-Manometer zur Veranschaulichung der Kapillarkonstante. Das linke Rohr enthält gefärbtes Wasser, das rechte Rohr Quecksilber. In beiden Fällen ist die Steighöhe  $\Delta h$  über der Nullmarke markiert. Ein dünnes Rohr ist an der Spitze des linken Rohrs angedeutet.

7

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



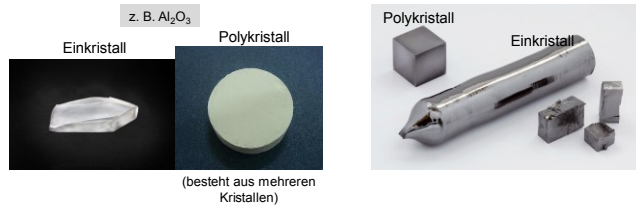
8



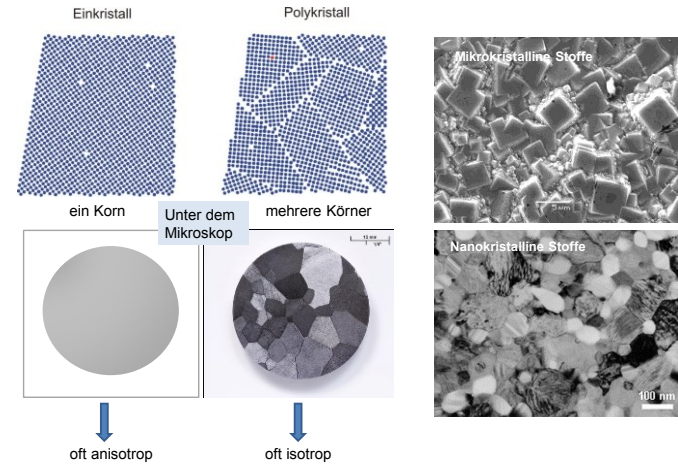
## 5. Fester Aggregatzustand - Kristalle

### a) Makroskopische Beschreibung:

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



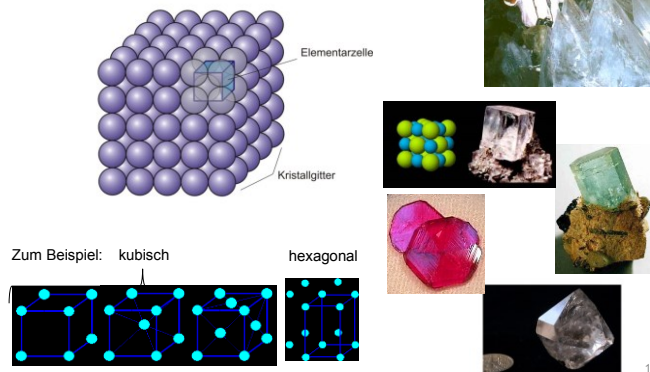
9



10

### b) Mikroskopische Beschreibung:

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



11

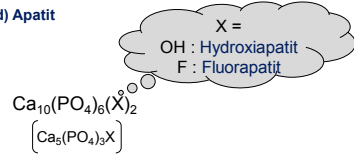
### c) Kristalltypen:

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

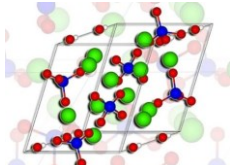
Bindungsenergie ( $E_0$ ) → Eigenschaften, wie Schmelzpunkt, Schmelzwärme, Steifigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient, ...

12

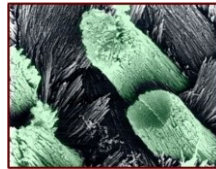
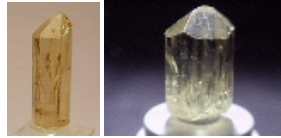
#### d) Apatit



- 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:

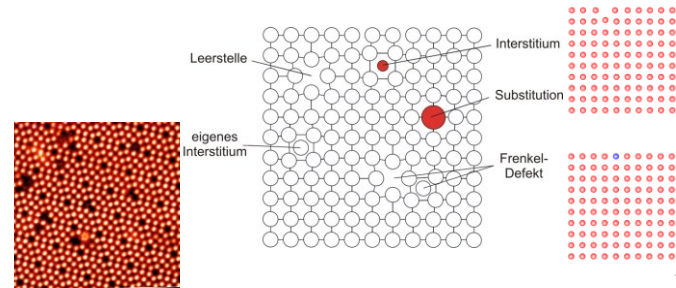
- Punktfehler
  - Thermische Fehler
    - Leerstelle (Vakanz, Schottky-Defekt)
    - Interstitium (Zwischengitteratom)
    - Frenkel-Defekt
  - Fremdatome (chemische Fehler, Dotierung)
    - Substitutionsatom
    - Interstitielles Atom (Interstitium)

Aktivierungsenergie  
(≈ Bindungsenergie)

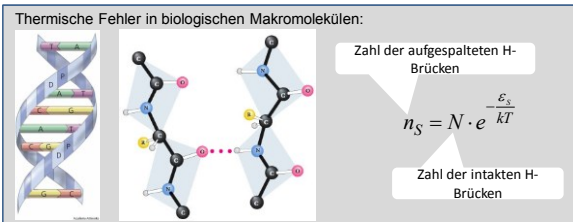
Zahl der Schottky-Defekte ( $n_s$ ):

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

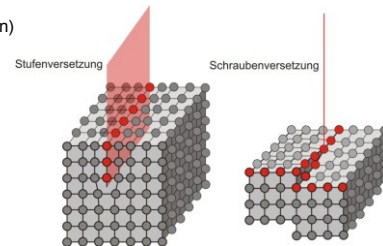
Zahl der besetzten Gitterstelle  
(≈ Zahl der Atome)



14



#### — Versetzungen (Dislokationen)

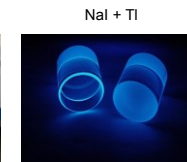


15

#### Gitterfehler ⇒ Eigenschaften!!



NaI

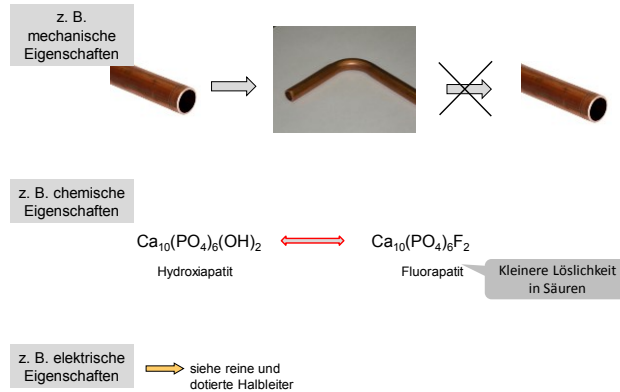


NaI + Ti

siehe Szintillationskristall  
 in der Nuklearmedizin  
 Praktikum „Nukleare  
 Grundmessung“

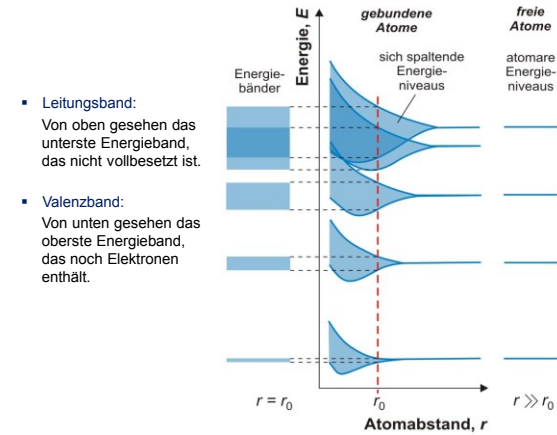
(unter Röntgenbestrahlung)

16



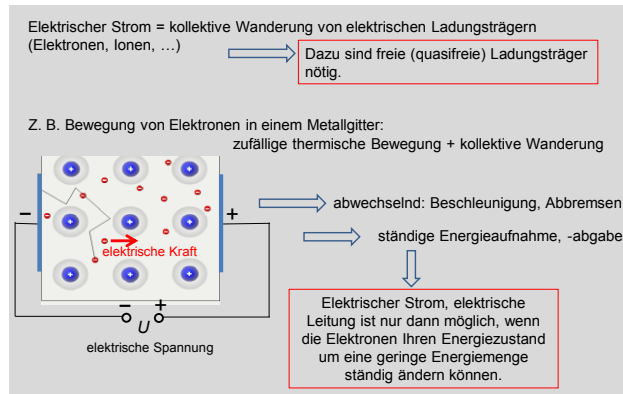
17

# f) Elektronenstruktur (Bändermodell):

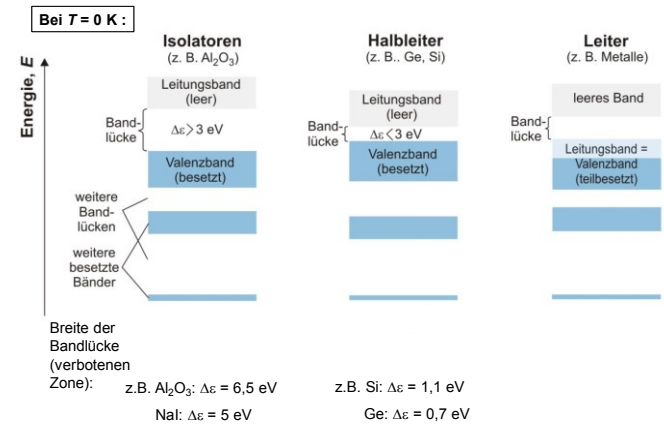


18

## Elektrische Eigenschaften der Festkörper



19

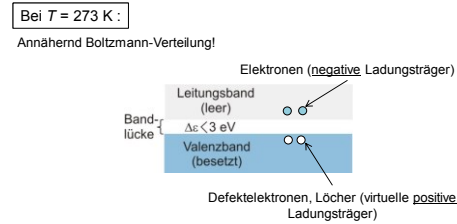
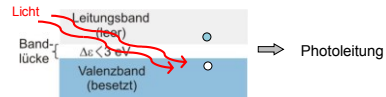


→ siehe die optischen Eigenschaften später

20



▪ Eigenhalbleiter (intrinsic Halbleiter)



Zahl der freien Ladungsträger

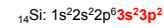
$$\sigma \sim N \sim e^{-\frac{\Delta \epsilon}{2kT}}$$

elektrische Leitfähigkeit

21

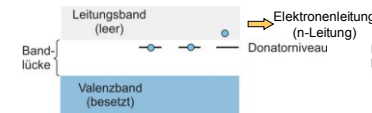
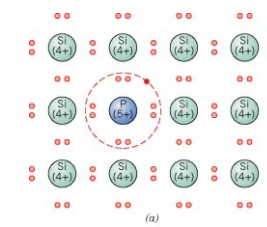
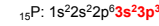
▪ Dotierte Halbleiter

Grundkristall z.B. Si



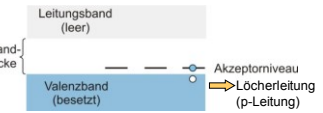
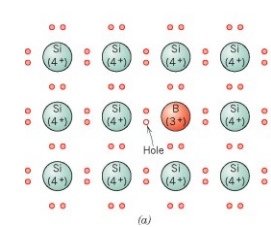
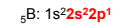
$n$ -Halbleiter

z. B. + P



$p$ -Halbleiter

z. B. + B



22

6. Fester Aggregatzustand - amorphe Stoffe

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

a) Makroskopische Beschreibung:

- Eigenvolumen aber keine Eigenform
- Isotrop
- sehr hohe Viskosität



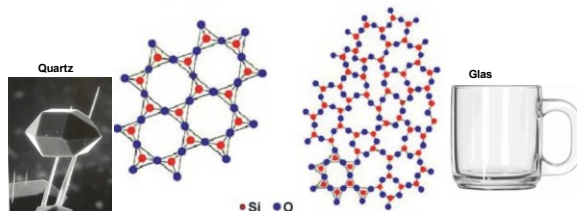
b) Mikroskopische Beschreibung:

- Nahordnung
- Schwache Bewegungen

= gefrorene unterkühlte Flüssigkeiten, Gläser!

kristallines  $\text{SiO}_2$

amorphes  $\text{SiO}_2$



23

Hausaufgaben: ■ Aufgabensammlung

1.40, 43, 44, 47, 49, 50, 52



24