

# Medizinische Biophysik

10. Vorlesung  
11. 11. 2020

## 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

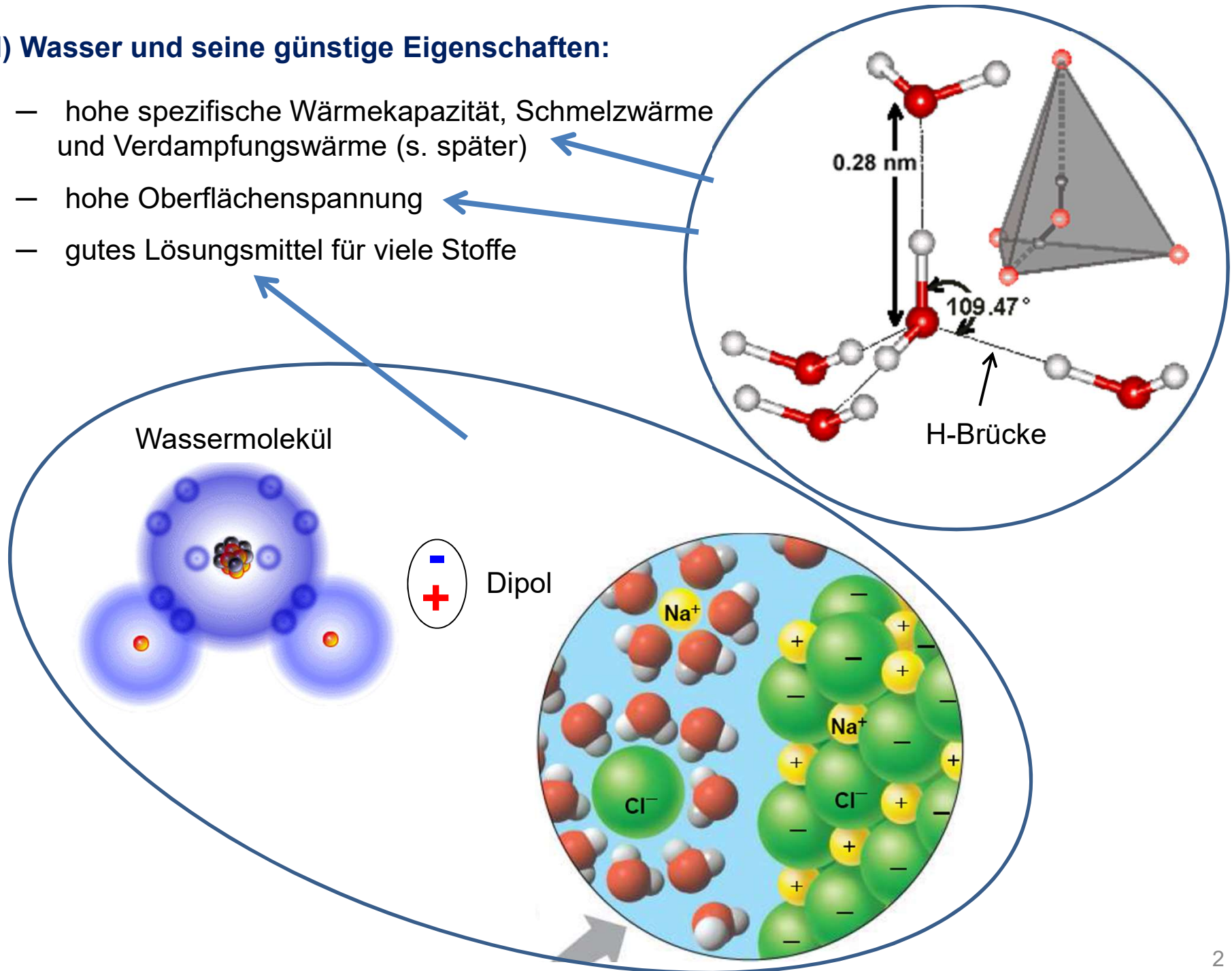
- a) Makroskopische Beschreibung
- b) Mikroskopische Beschreibung

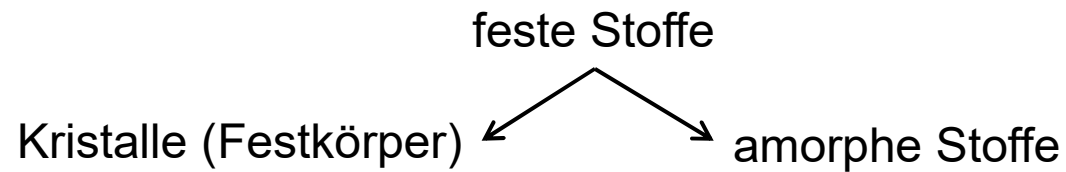
#### 7. Flüssigkristalle

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

#### 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.  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Einkristall



Polykristall



(besteht aus mehreren Kristallen)

z. B. Tantal (Metall)

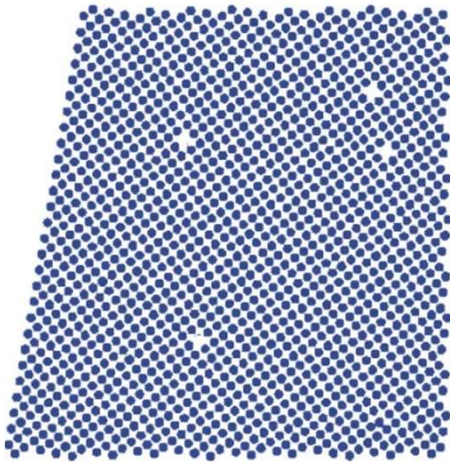
Polykristall



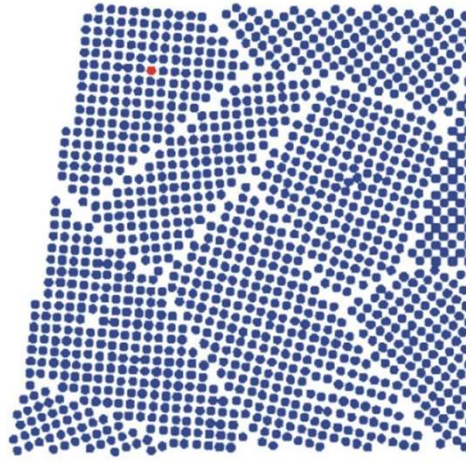
Einkristall



Einkristall



Polykristall



ein Korn

Unter dem  
Mikroskop

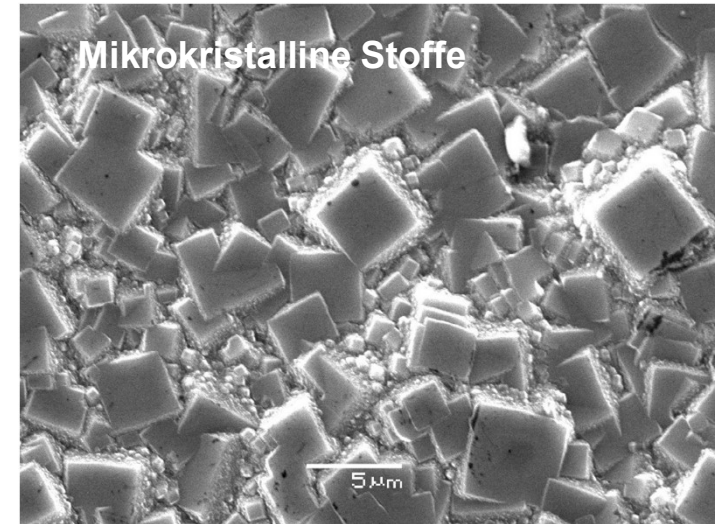
mehrere Körner



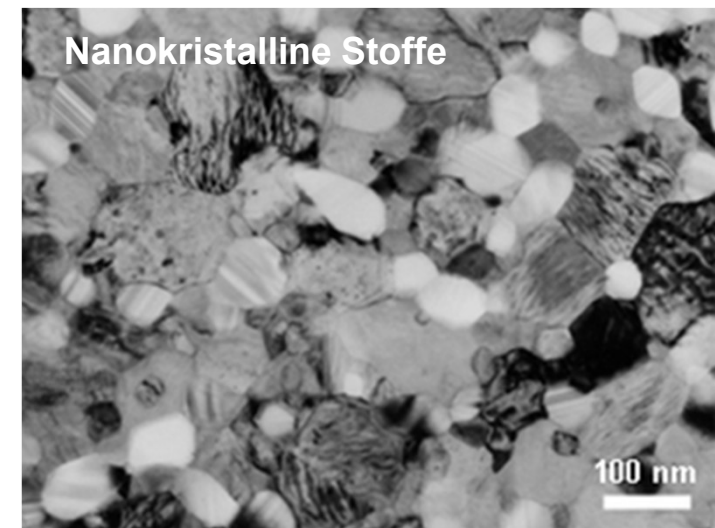
oft anisotrop

oft isotrop

Mikrokristalline Stoffe



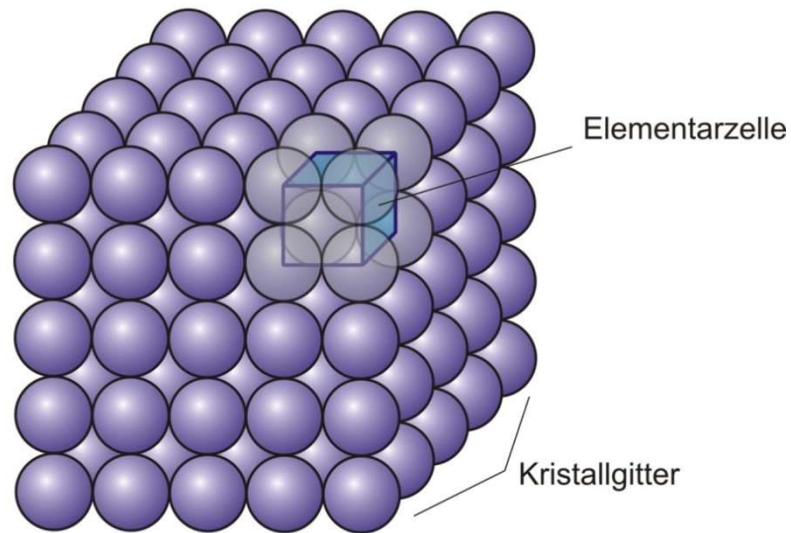
Nanokristalline Stoffe



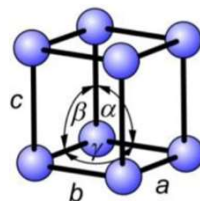


## b) Mikroskopische Beschreibung:

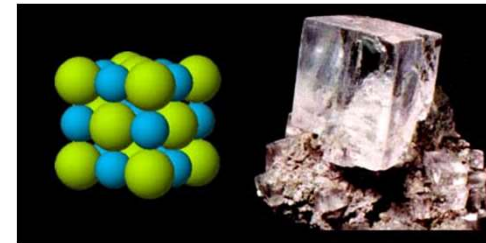
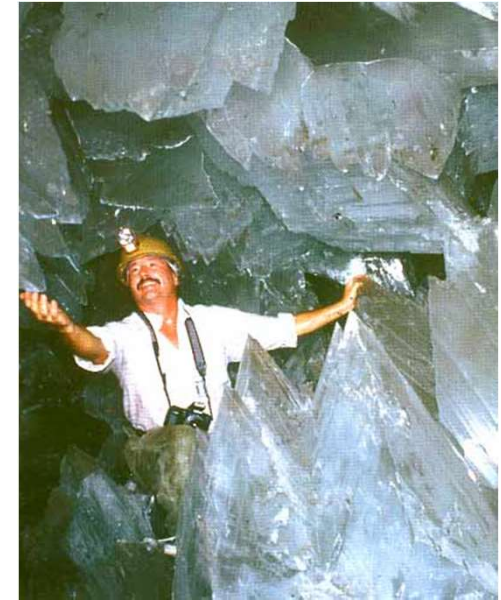
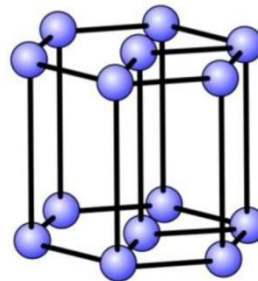
- Fernordnung
- Periodizität – Kristallgitter
- Schwache Bewegungen (Schwingungen)



Zum Beispiel: kubisch



hexagonal



### c) Kristalltypen:

- Atomkristall (kovalente Bindung)



**Diamant**

- Ionenkristall (Ionenbindung)



**Salz**

- Metallkristall (Metallbindung)




**Gold**

- Molekulkristall (sekundäre Bindung)

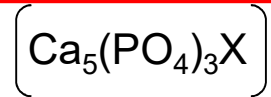


**Eis**

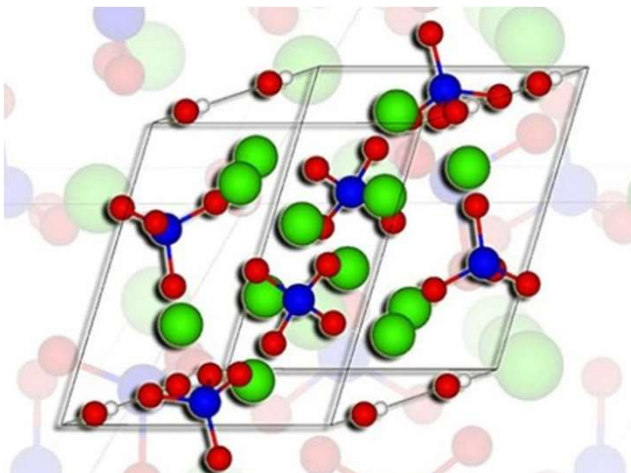
Bindungsenergie ( $E_0$ )  Eigenschaften, wie Schmelzpunkt, Schmelzwärme, Steifigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient, ...

#### d) Apatit

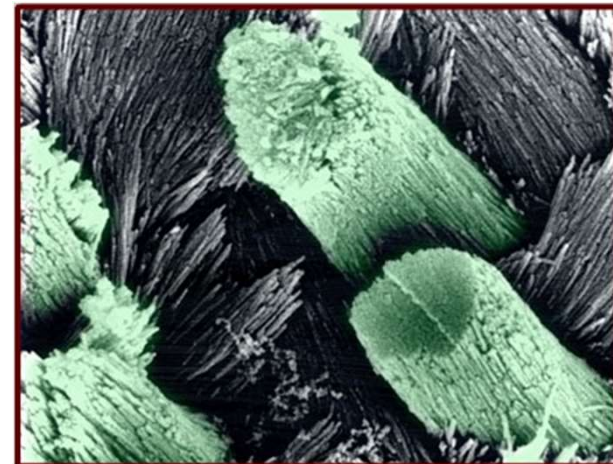
X =  
OH : Hydroxiapatit  
F : Fluorapatit



- 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





## e) Gitterfehler:

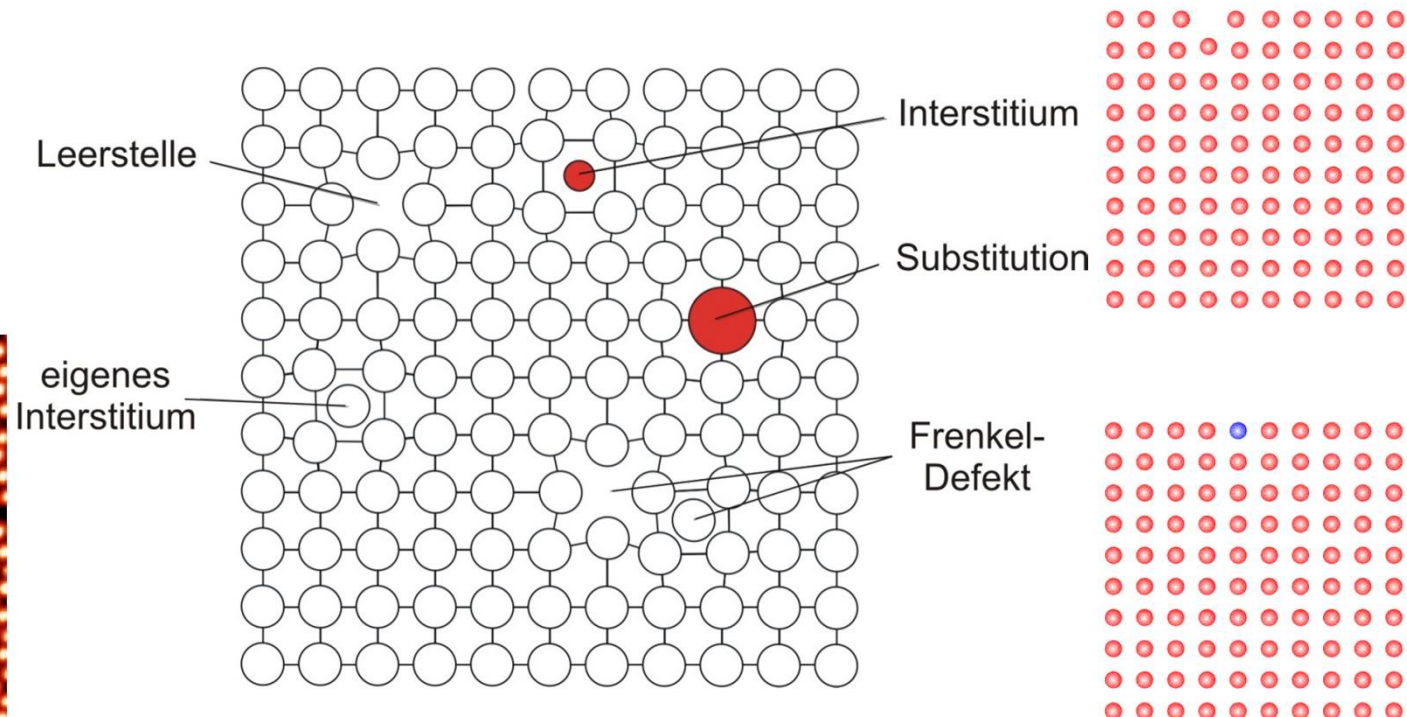
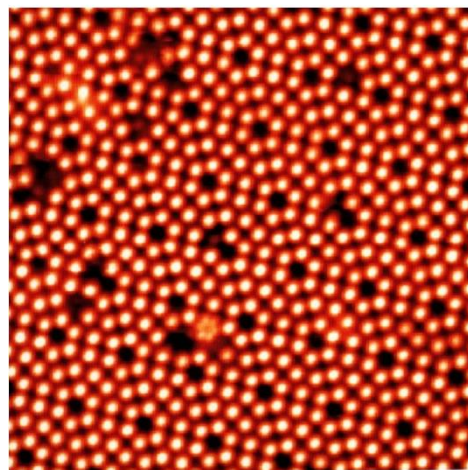
- Punktfehler
  - Thermische Fehler
    - Leerstelle (Vakanz, Schottky-Defekt)
    - Interstitium (Zwischengitteratom)
    - Frenkel-Defekt
- Fremdatome (chemische Fehler, Dotierung)
  - Substitutionsatom
  - Interstitielles Atom (Interstitium)

← Zahl der Schottky-Defekte ( $n_s$ ):

Aktivierungsenergie  
( $\approx$  Bindungsenergie)

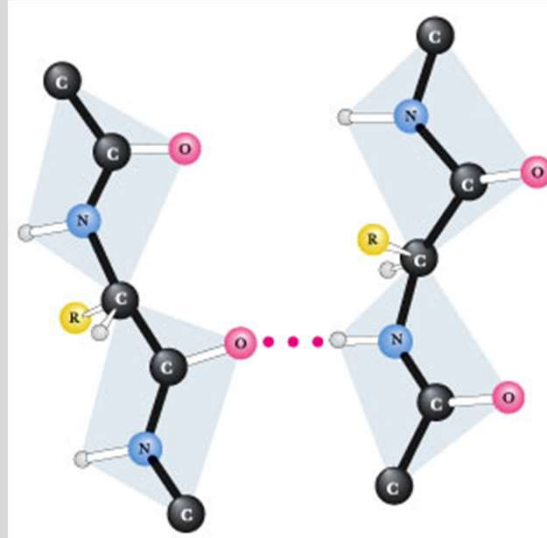
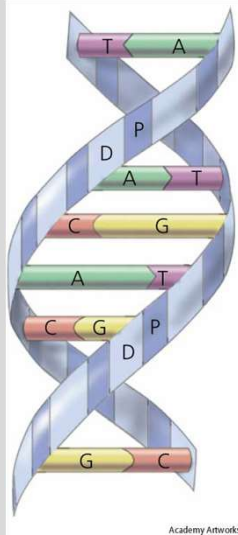
$$n_s = N \cdot e^{-\frac{\varepsilon_s}{kT}}$$

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





## Thermische Fehler in biologischen Makromolekülen:



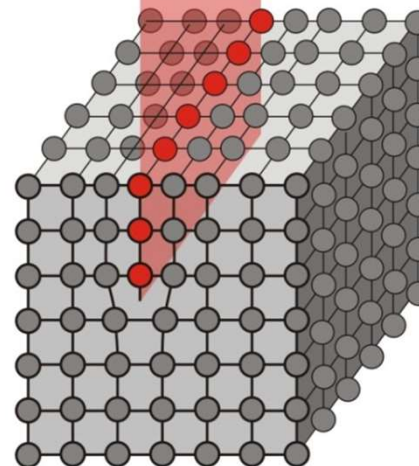
Zahl der aufgespaltenen H-Brücken

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

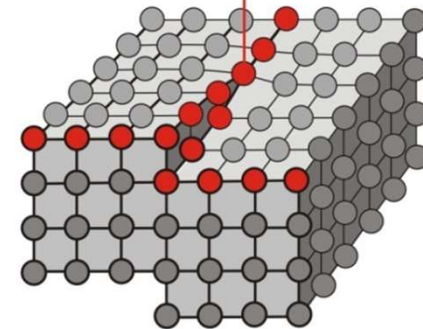
Zahl der intakten H-Brücken

## — Versetzungen (Dislokationen)

Stufenversetzung

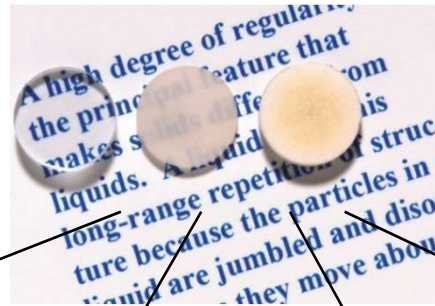
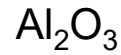


Schraubenversetzung



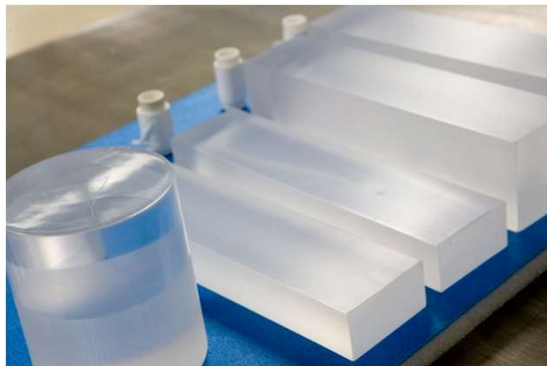
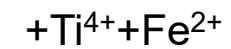
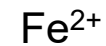
# Gitterfehler $\Rightarrow$ Eigenschaften!!

z. B. optische  
Eigenschaften



Rubin

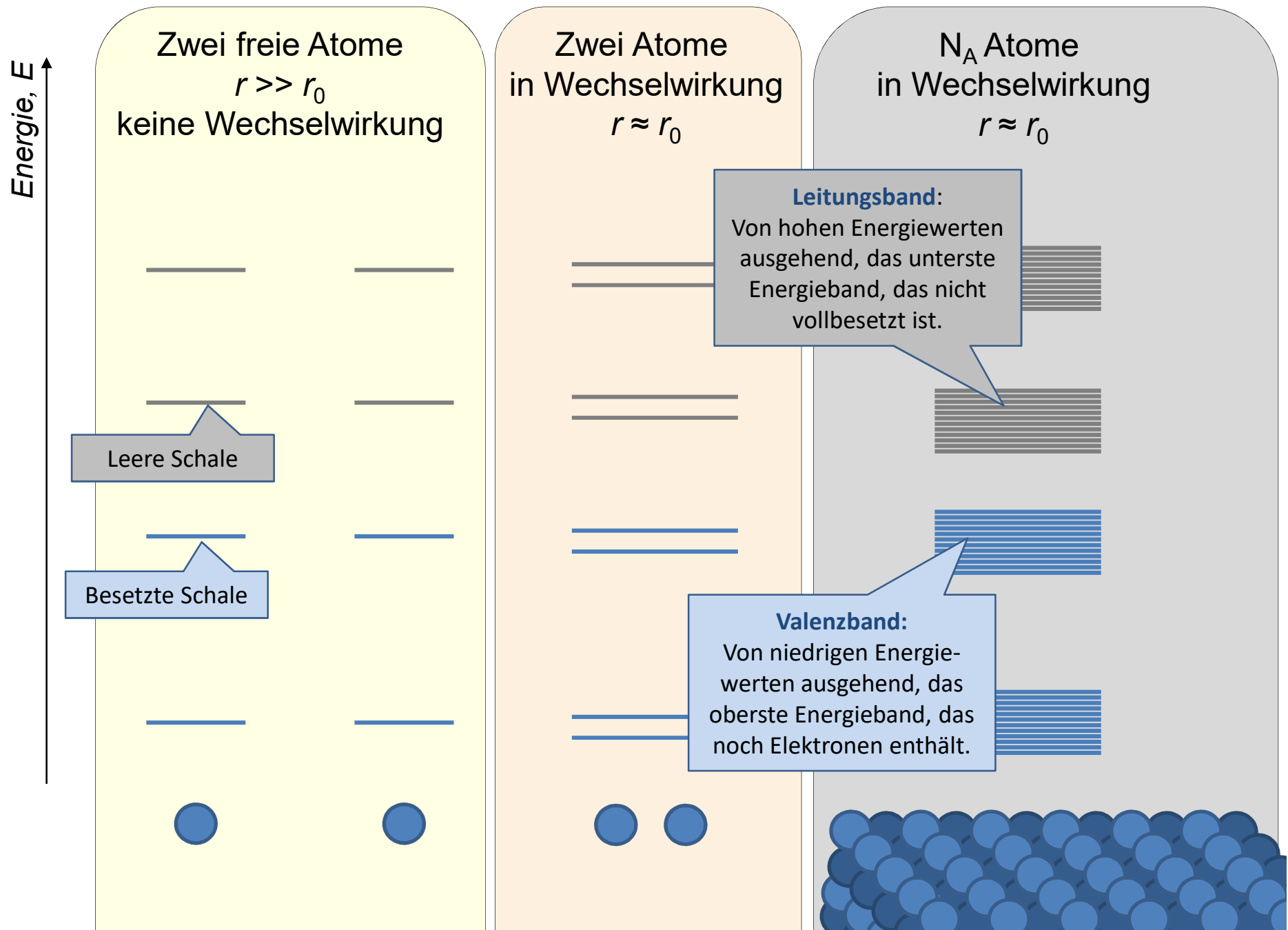
$\rightarrow$  siehe Rubinlaser



(unter Röntgenbestrahlung)

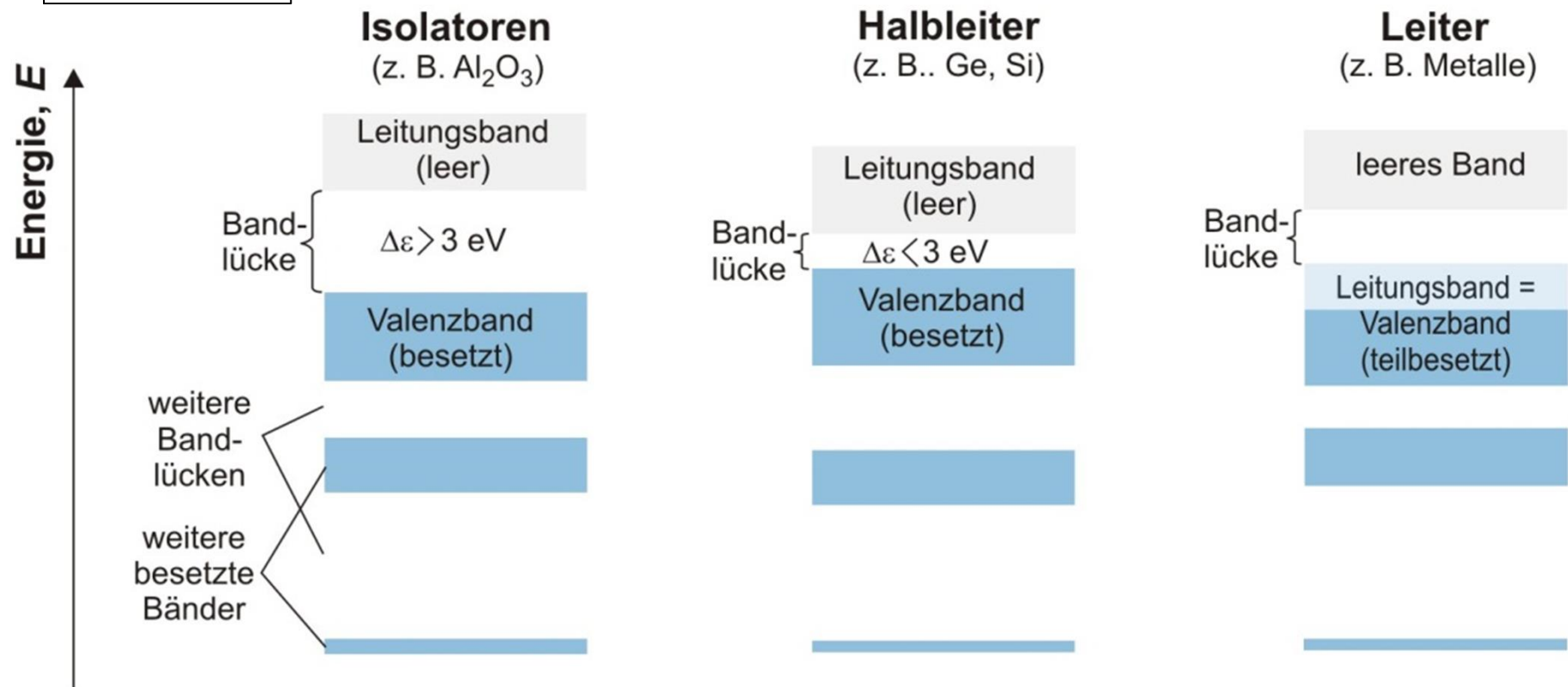
$\rightarrow$  siehe Szintillationskristall  
in der Nuklearmedizin  
Praktikum „Nukleare  
Grundmessung“

## f) Elektronenstruktur von Festkörpern (Bändermodell):





Bei  $T = 0 \text{ K}$  :



Breite der  
Bandlücke  
(verbotenen  
Zone):

z.B.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ :  $\Delta\epsilon = 6,5 \text{ eV}$

$\text{NaI}$ :  $\Delta\epsilon = 5 \text{ eV}$

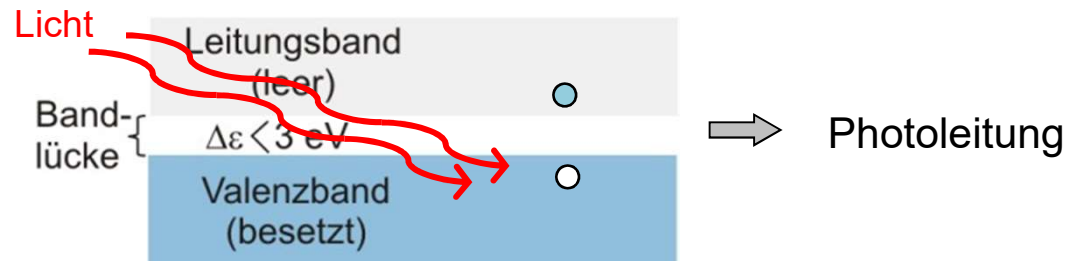
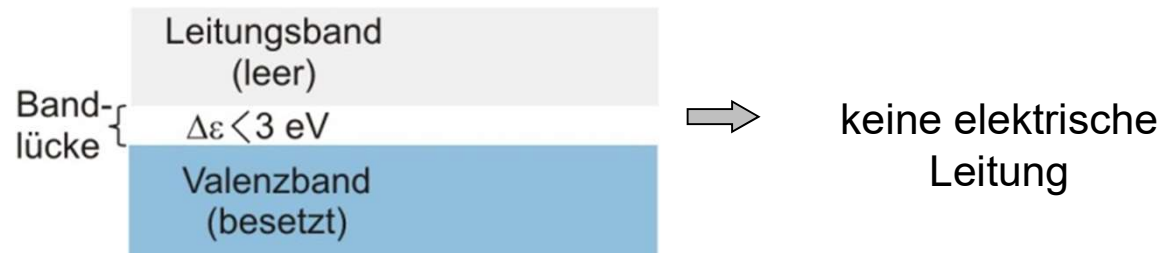
z.B. Si:  $\Delta\epsilon = 1,1 \text{ eV}$

Ge:  $\Delta\epsilon = 0,7 \text{ eV}$

→ siehe die optischen  
Eigenschaften später

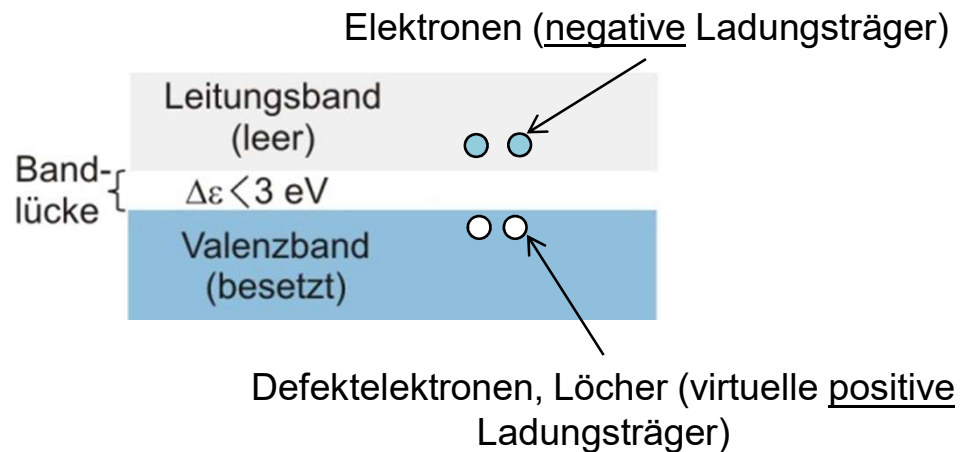
- Eigenhalbleiter (intrinsic Halbleiter)

Bei  $T = 0 \text{ K}$  :



Bei  $T = 273 \text{ K}$  :

Annähernd Boltzmann-Verteilung!



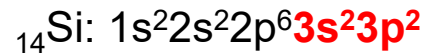
Zahl der freien  
Ladungsträger

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

elektrische  
Leitfähigkeit

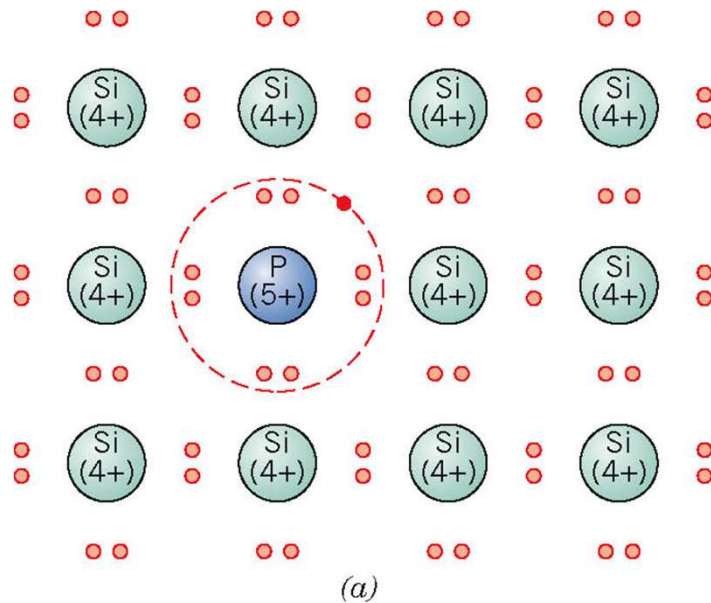
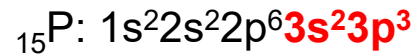
## ▪ Dotierte Halbleiter

Grundkristall z.B. Si



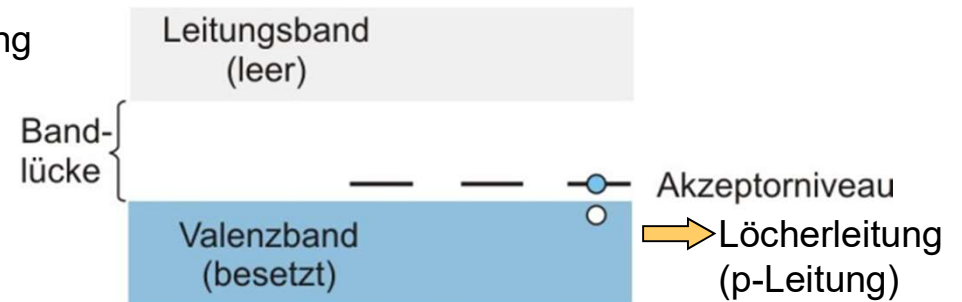
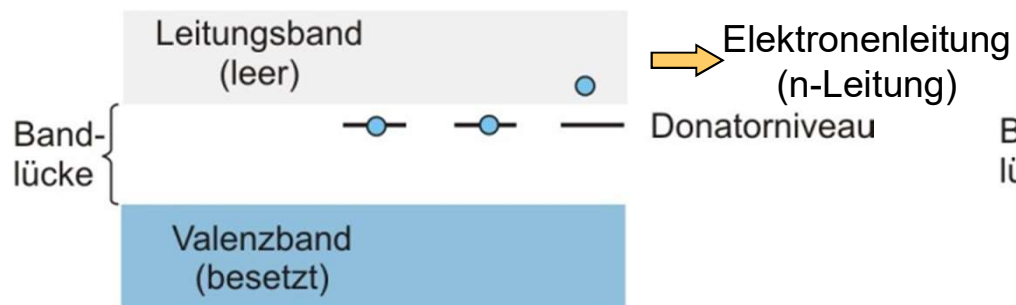
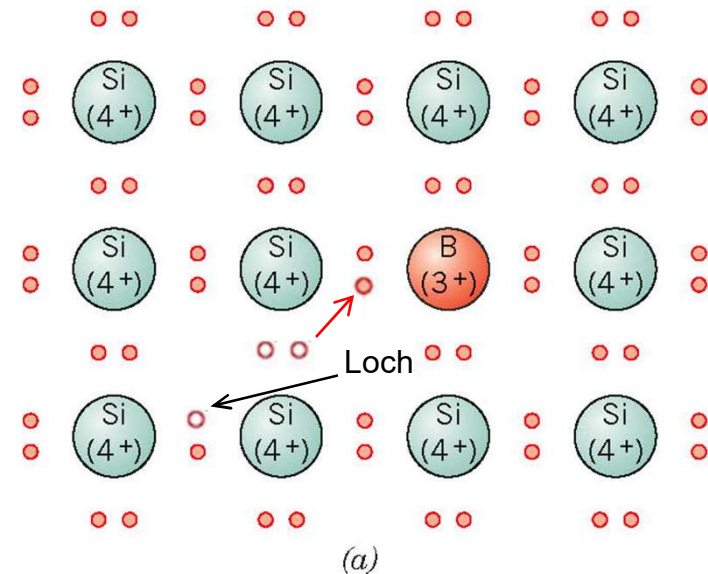
*n*-Halbleiter

z. B. + P



*p*-Halbleiter

z. B. + B





## 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

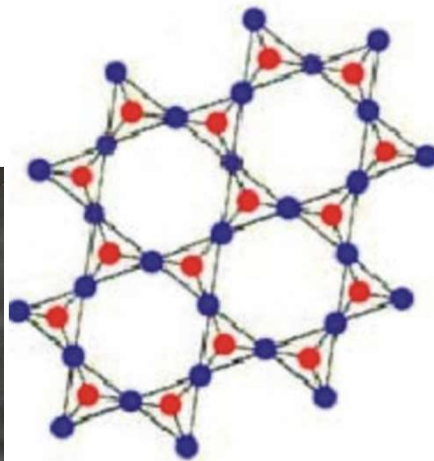


Siehe: Pechtropfenexperiment

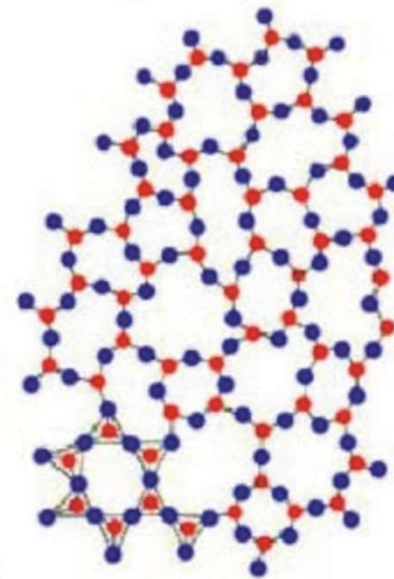


= gefrorene unterkühlte Flüssigkeiten, Gläser !

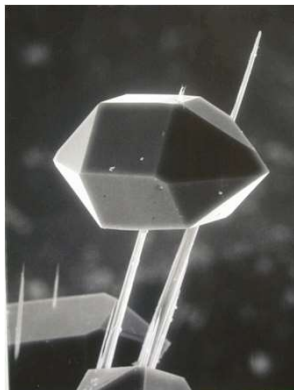
kristallines  $\text{SiO}_2$



amorphes  $\text{SiO}_2$



Quartz



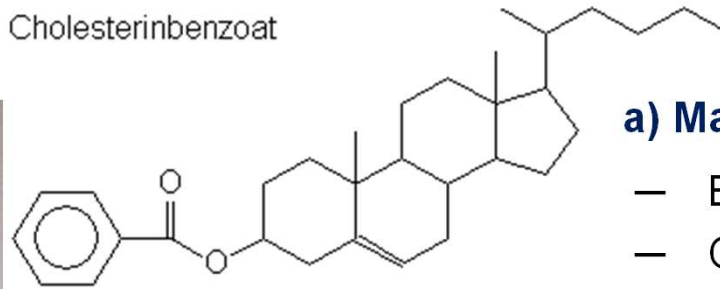
Glas



## 7. Flüssigkristalle - Mesophase zw. dem festen und flüssigen Zustand

1883 Reinitzer

Cholesterinbenzoat



### a) Makroskopische Beschreibung:

- Eigenvolumen aber keine Eigenform
- Optische Anisotropie
- Eigenschaften sind empfindlich gegen schwache äußere Einwirkungen

### b) Mikroskopische Beschreibung:

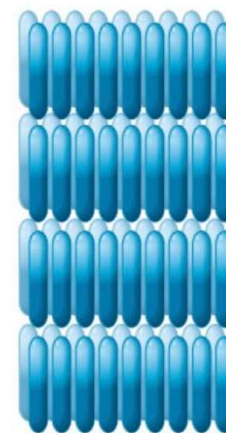
- Teilweise geordnete Strukturen (Orientierung, Schichten)
- Faden-, stäbchen, oder scheibenförmige Moleküle



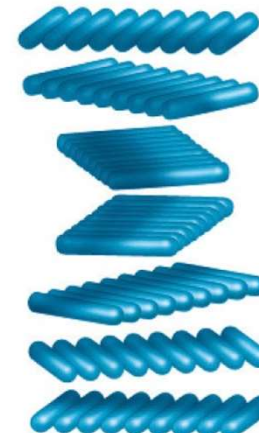
Translations-, und Orientationsordnung



nematisch



smektisch

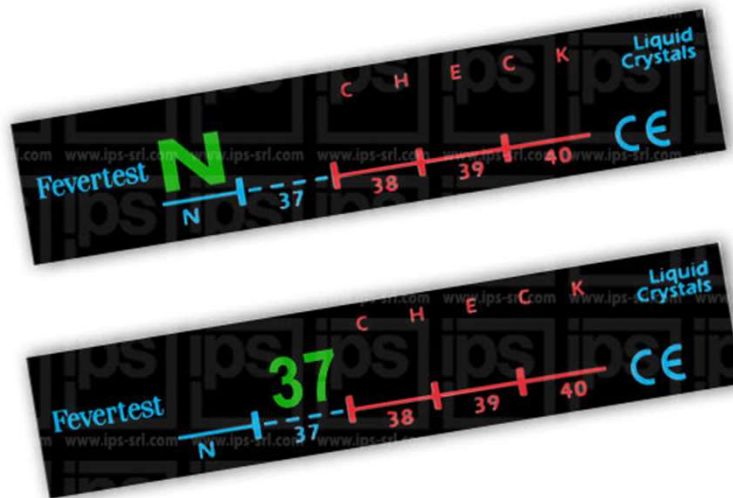
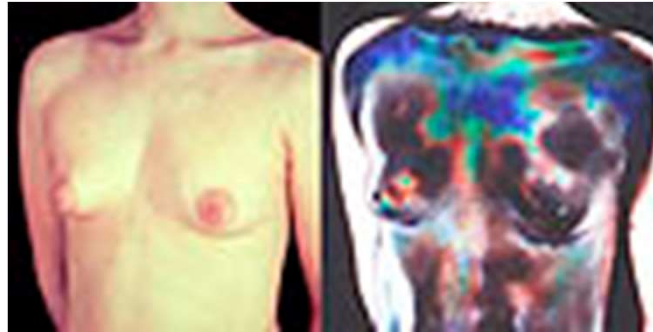
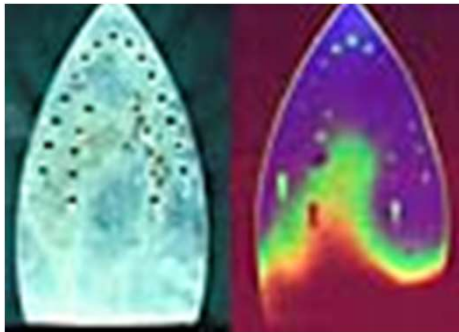


cholesterisch

### c) Anwendungen von Flüssigkristallen:

#### Kontaktthermographie/Plattenthermographie

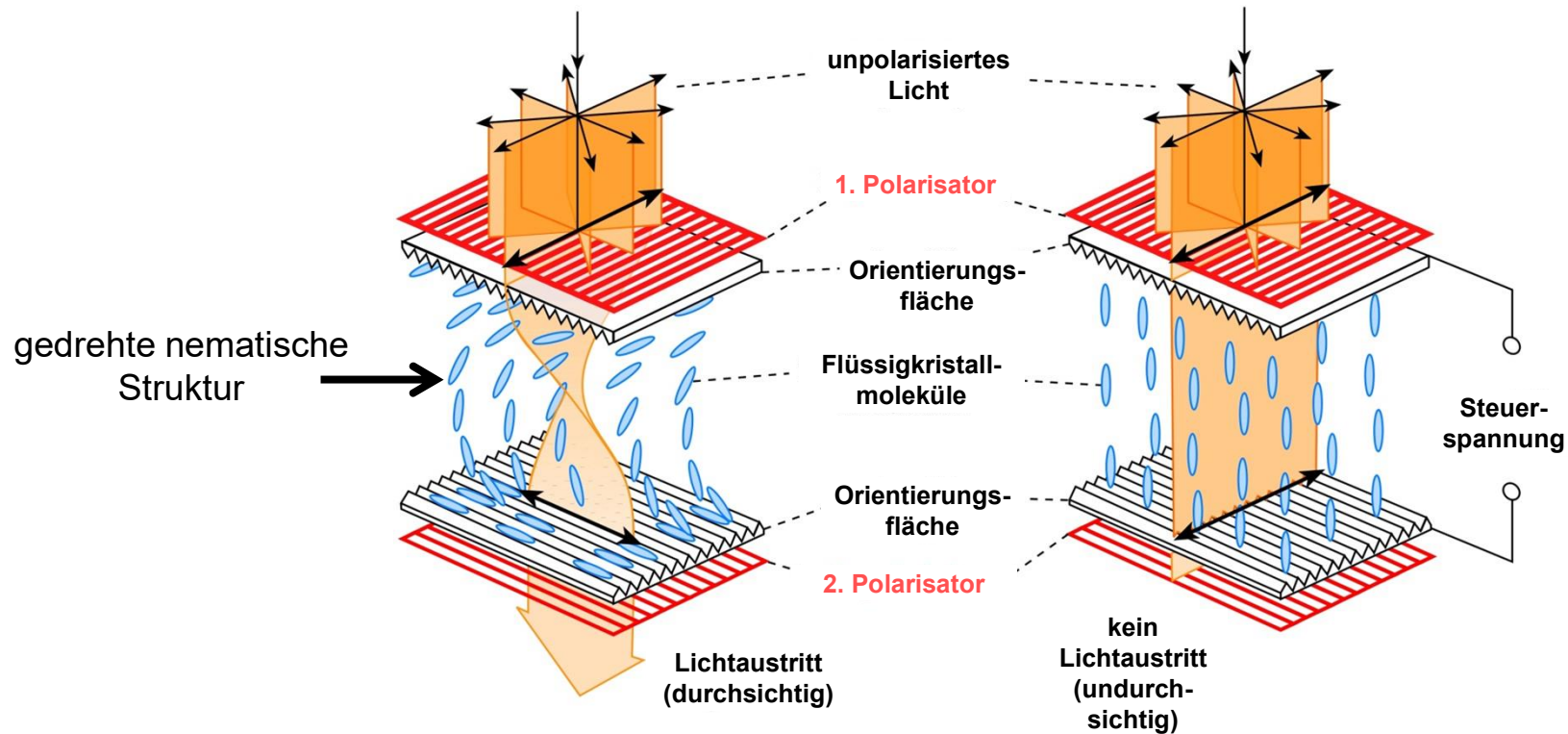
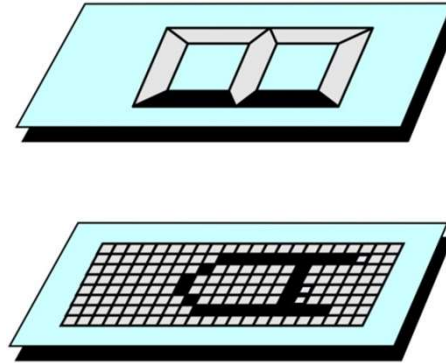
Grundlage: thermo-optisches Phänomen  
(bei Temperaturänderungen ändern sich  
die optischen Eigenschaften)





## LCD (liquid crystal display)

Grundlage: elektro-optisches Phänomen  
(durch elektrisches Feld ändern sich die optischen Eigenschaften)

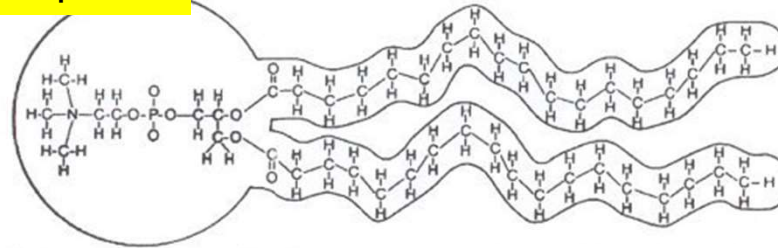


➡ Erklärung siehe später bei den Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie! 19

## d) Lyotrope Flüssigkristalle:

Beispiel

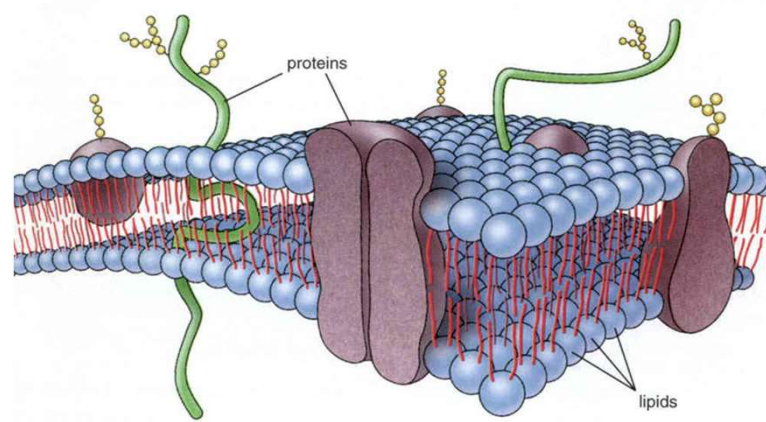
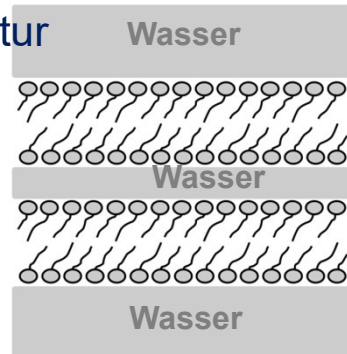
Phospholipidmolekül



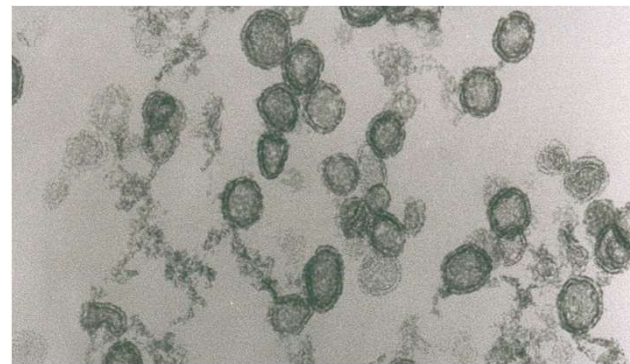
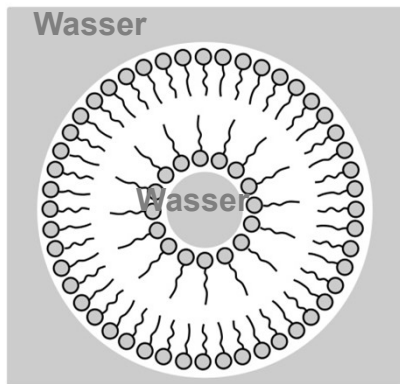
Hydrophiler Teil

Hydrophober Teil

Lamellare Struktur



Liposom



Hausaufgaben: ■ Aufgabensammlung

1. 43, 44, 47, 49, 50a, 51

