

## Strahlungen

1. Gemeinsame Eigenschaften
2. Elektromagnetische Strahlungen
3. Teilchenstrahlungen

## Struktur der Materie

### II. Aggregatzustände

1. Allgemeine Beschreibung
2. Einige grundlegenden Größen zur Beschreibung von Körpern
3. Kinetische Deutung der Temperatur

} Siehe  
1. Vorlesung

#### 4. Gasförmiger Aggregatzustand

- a) Makroskopische Beschreibung
- b) Mikroskopische Beschreibung
- c) Kinetische Deutung der Temperatur
- d) Maxwell-Boltzmann-Verteilung

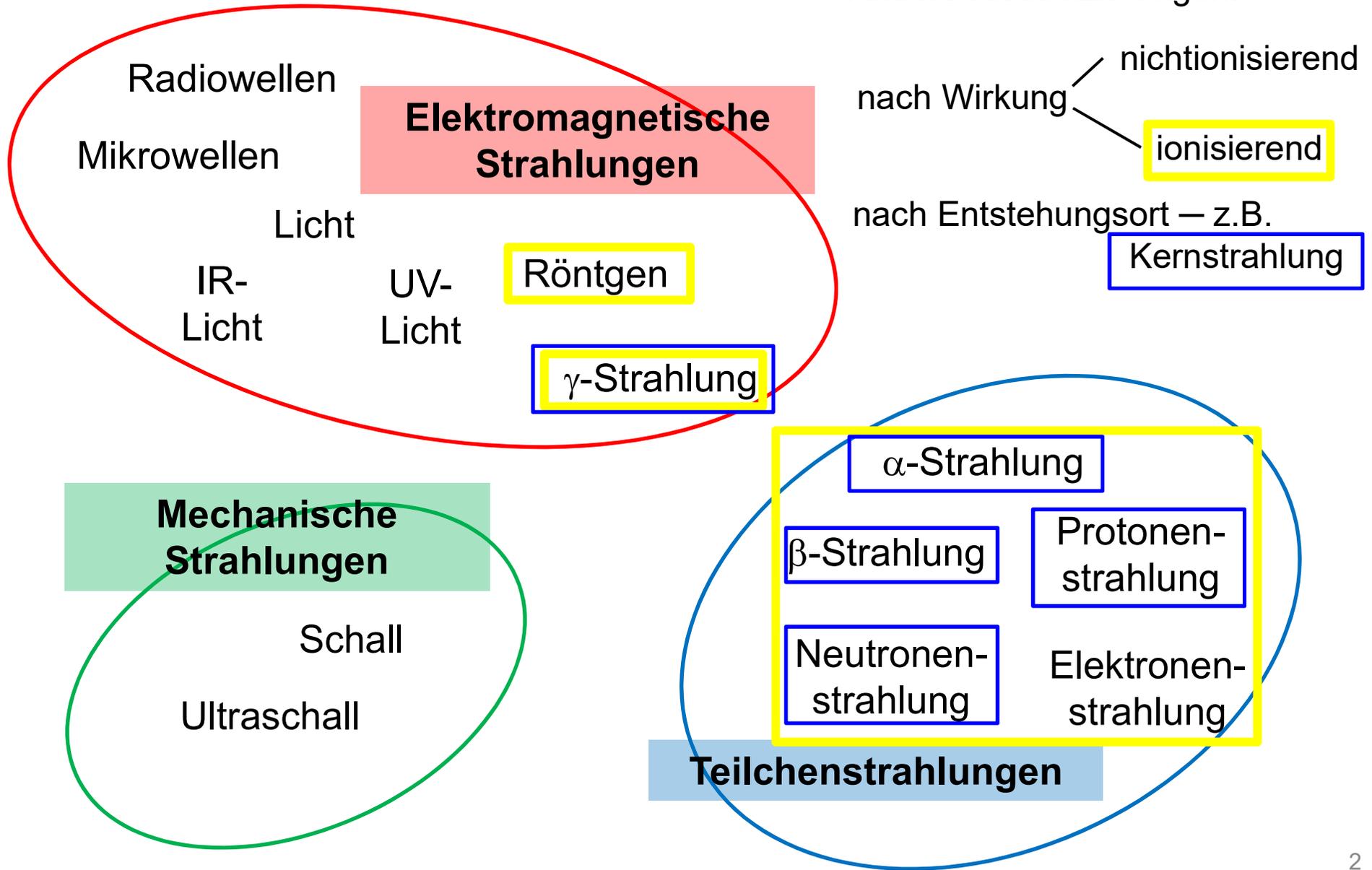
#### 5. Flüssiger Aggregatzustand

- a) Makroskopische Beschreibung
- b) Mikroskopische Beschreibung
- c) Oberflächenspannung

#### 6. Fester Aggregatzustand - Kristalle

# Strahlungen in der medizinischen Praxis

Andere Klassifizierungen:



# 1. Gemeinsame Eigenschaften

- Strahlung = Energietransport

Strahlungsintensität ( $J$ )

$$J = \frac{\Delta P}{\Delta A} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

$\Delta P$  = die Leistung, die auf  
 $\Delta A$  Fläche senkrecht fällt.

- Doppelcharakter = Wellencharakter & Teilchencharakter

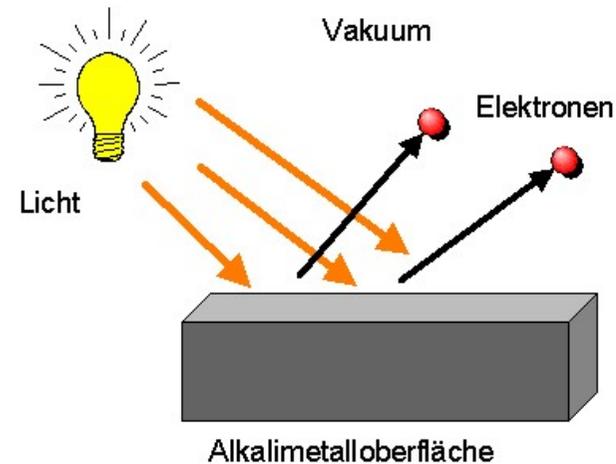
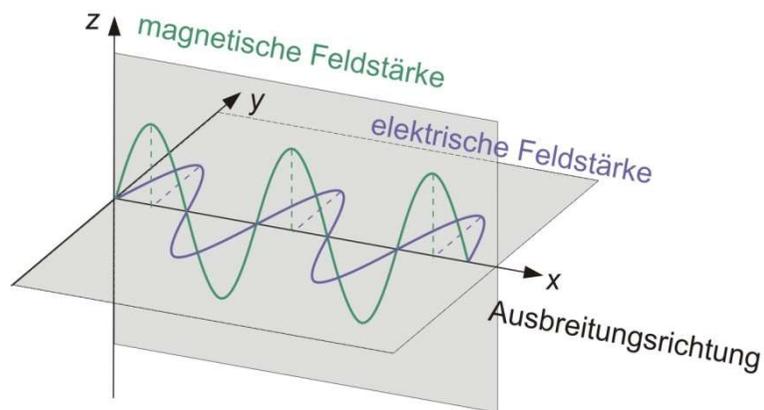
# 2. Elektromagnetische Strahlungen

Elektromagnetische Wellen – Transversalwellen & Teilchen - Photonen

$$c = \lambda \cdot f \quad c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{im Vakuum})$$

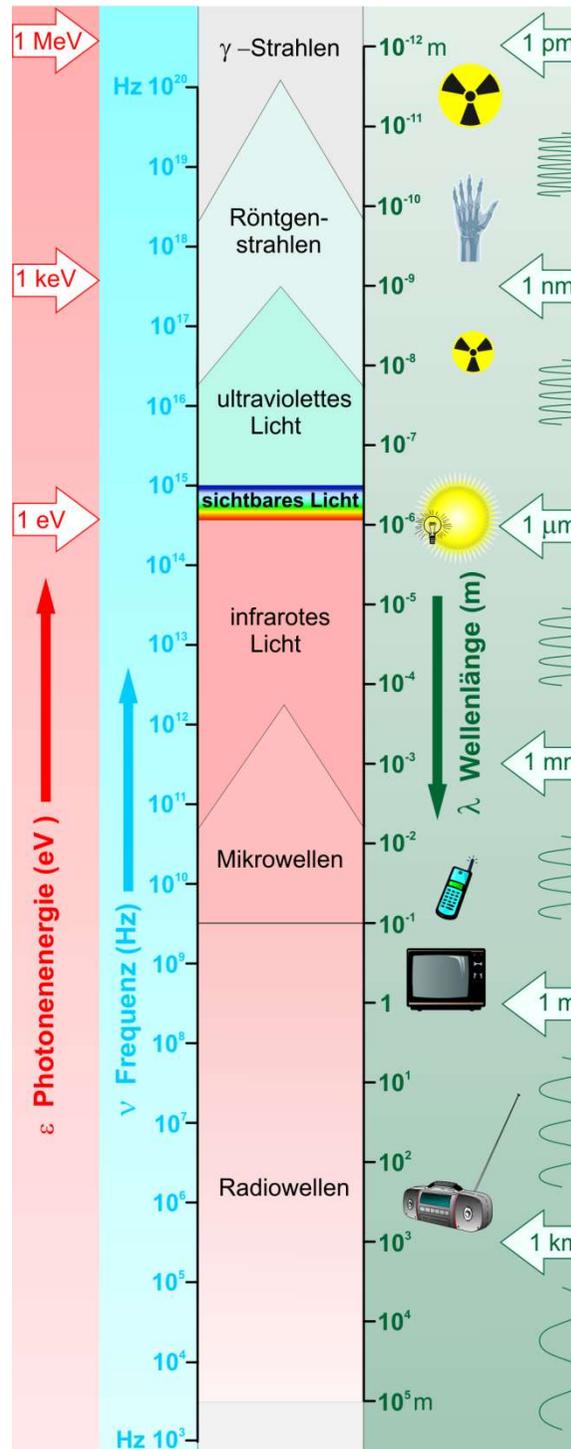
elektromagnetische Welle

$$\varepsilon = h \cdot f$$



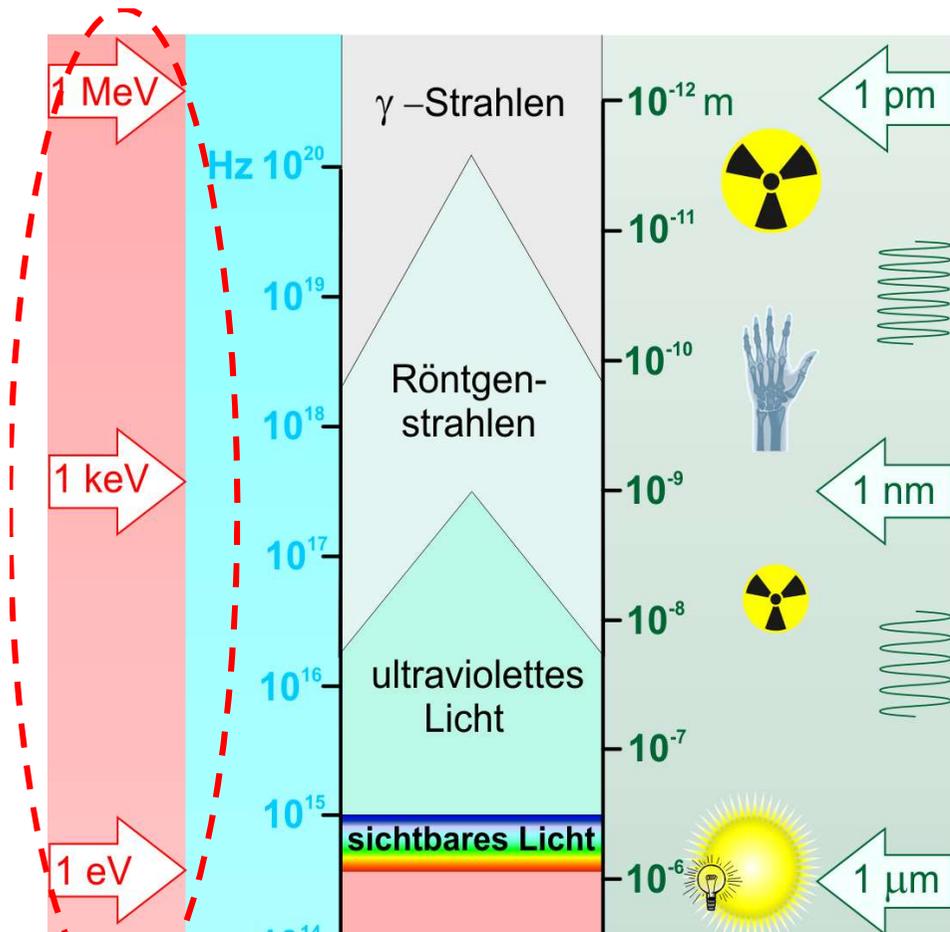
○ 7 Bereiche:

- $\gamma$ -Strahlen
- Röntgenstrahlen
- UV-Licht
- VIS-Licht
- IR-Licht
- Mikrowellen
- Radiowellen



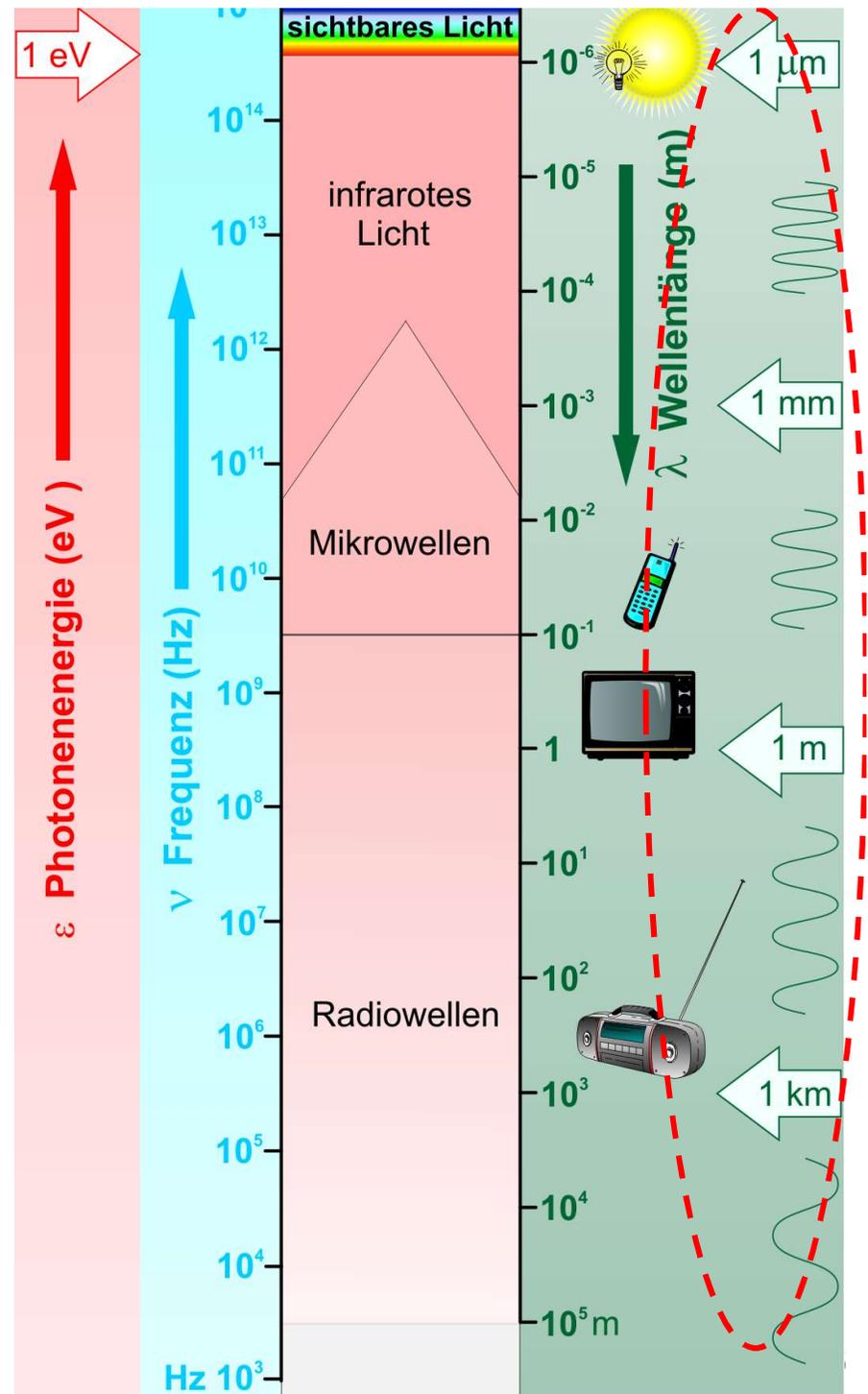
○ Anwendungsbeispiele:

- Gamma-Messer
- Röntgendiagnostik
- UV-Phototherapie
- Mikroskopie/Sehen
- Infrarotdiagnostik
- MRI



**Einige typische Größenordnungen:**

$\gamma$ -Strahlung	MeV
Rtg-Strahlung	einige 10 keV
UV Licht	einige eV
Sichtbares Licht	eV
Sichtbares Licht	400-800 nm
IR	800 nm-1mm
Mikrowellen	cm
Radiowellen	m-km



### 3. Teilchenstrahlungen

- Teilchen ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $e^-$ ,  $e^+$ ,  $p^+$ ,  $n^0$ , ...)

- Materiewellen

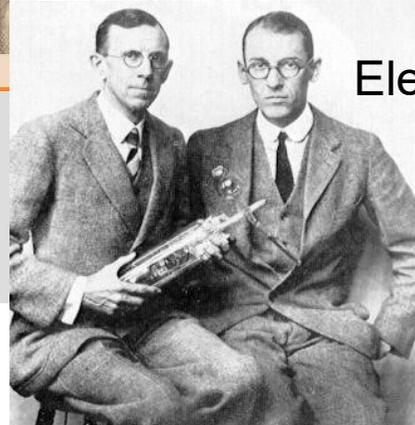


de Broglie (1923): Materiewellen

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

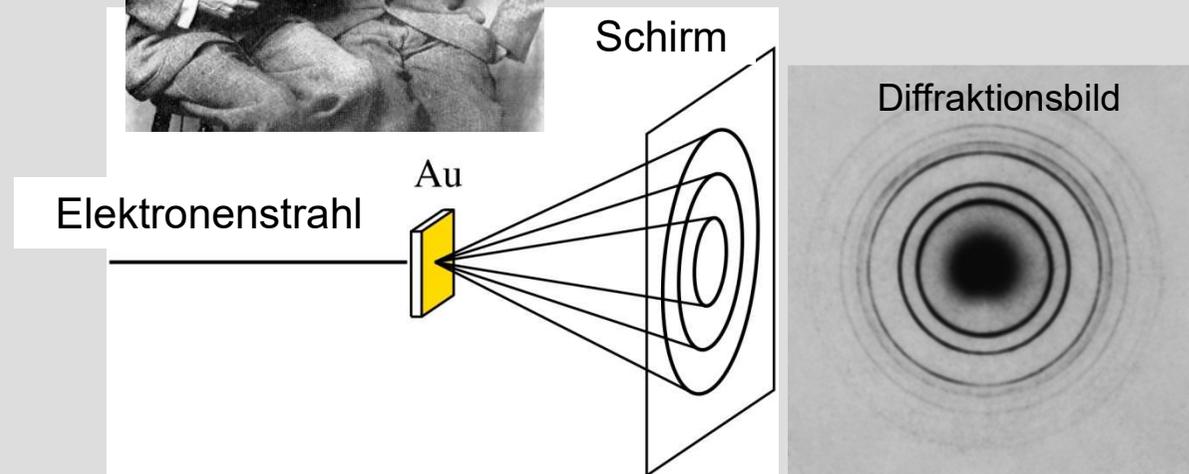
$\lambda$  Wellenlänge der Materialwelle des Körpers mit Masse  $m$  und Geschwindigkeit  $v$ ,  $h$  ist die Plancksche Wirkungskonstante

Davisson & Germer (1927):  
Elektronenbeugungsexperiment



- Anwendungsbeispiele:

- Elektronenmikroskop
- Neutronendiffraktion
- Strahlentherapie



## 4. Mechanische Strahlungen (Schall, Ultraschall, ...)

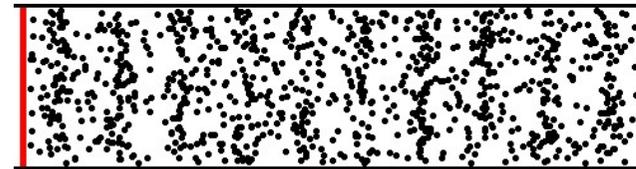
- Mechanische Wellen

$$c = \lambda \cdot f$$

$$c = 330 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{in der Luft})$$

$$c = 1500 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{im Wasser und im Weichteilgewebe})$$

Meistens Longitudinalwellen:

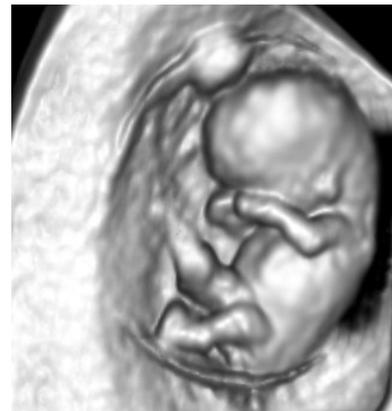


- transversale/longitudinale Wellen

○ 3 Bereiche:	Infraschall	–	Hörschall	–	Ultraschall
	< 20 Hz		20 Hz – 20 kHz		20 kHz <

- Anwendungsbeispiele:

- Sonographie
- Ultraschalltherapie
- Hören



# Struktur der Materie

## II. Aggregatzustände

1. Allgemeine Beschreibung
2. Einige grundlegenden Größen zur Beschreibung von Körpern
3. Kinetische Deutung der Temperatur

} Siehe  
1. Vorlesung

### 4. Gasförmiger Aggregatzustand

- a) Makroskopische Beschreibung
- b) Mikroskopische Beschreibung
- c) Kinetische Deutung der Temperatur
- d) Maxwell-Boltzmann-Verteilung

### 5. Flüssiger Aggregatzustand

- a) Makroskopische Beschreibung
- b) Mikroskopische Beschreibung
- c) Oberflächenspannung

### 6. Fester Aggregatzustand - Kristalle

- a) Makroskopische Beschreibung
- b) Mikroskopische Beschreibung
- c) Kristalltypen
- d) Apatit
- e) Gitterfehler

# II. Aggregatzustände

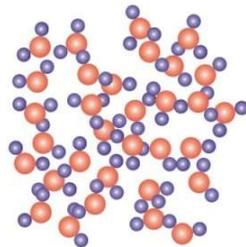
## 1. Allgemeine Beschreibung

Zur Erinnerung

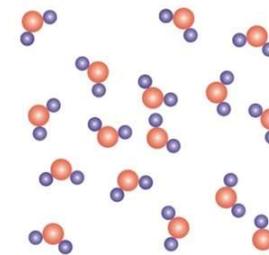
	Fest	Flüssig	Gasförmig
Eigenvolumen	+	+	-
Eigenform	+	-	-



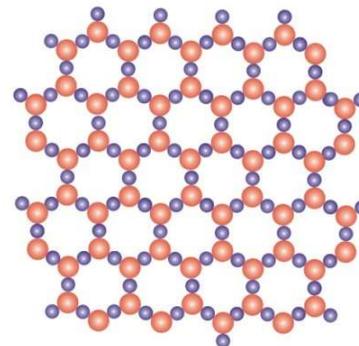
flüssiges H<sub>2</sub>O  
WASSER



gasförmiges H<sub>2</sub>O  
DAMPF



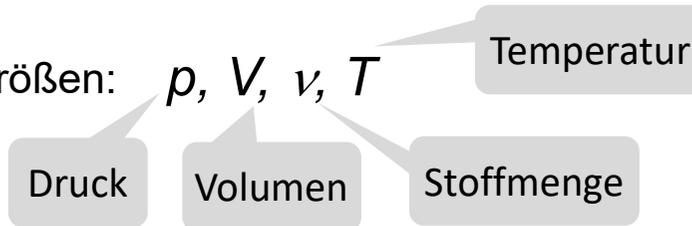
festes H<sub>2</sub>O  
EIS



## 4. Gasförmiger Aggregatzustand

### a) Makroskopische Beschreibung:

- Kein Eigenvolumen und keine Eigenform
- Isotrop
- Messbare Größen:  $p, V, \nu, T$



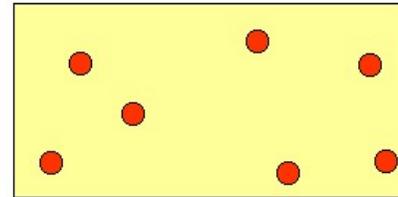
Vorkenntnisse  
(s. Skript „Physikalische  
Grundkenntnisse“ Kapitel 9)

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

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

### b) Mikroskopische Beschreibung:

- Ungeordnet
- Starke und fast freie Bewegungen



### c) Kinetische Energie der Gasteilchen:

durchschnittliche kinetische  
Energie **eines** Teilchens

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

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

Masse **eines**  
Teilchens

Geschwindigkeit  
des Teilchens

Temperatur

Siehe auch: kinetische  
Deutung der Temperatur  
 $kT = \text{„thermische Energie“}$

Eine andere Form:

durchschnittliche kinetische Energie **von einem Mol**

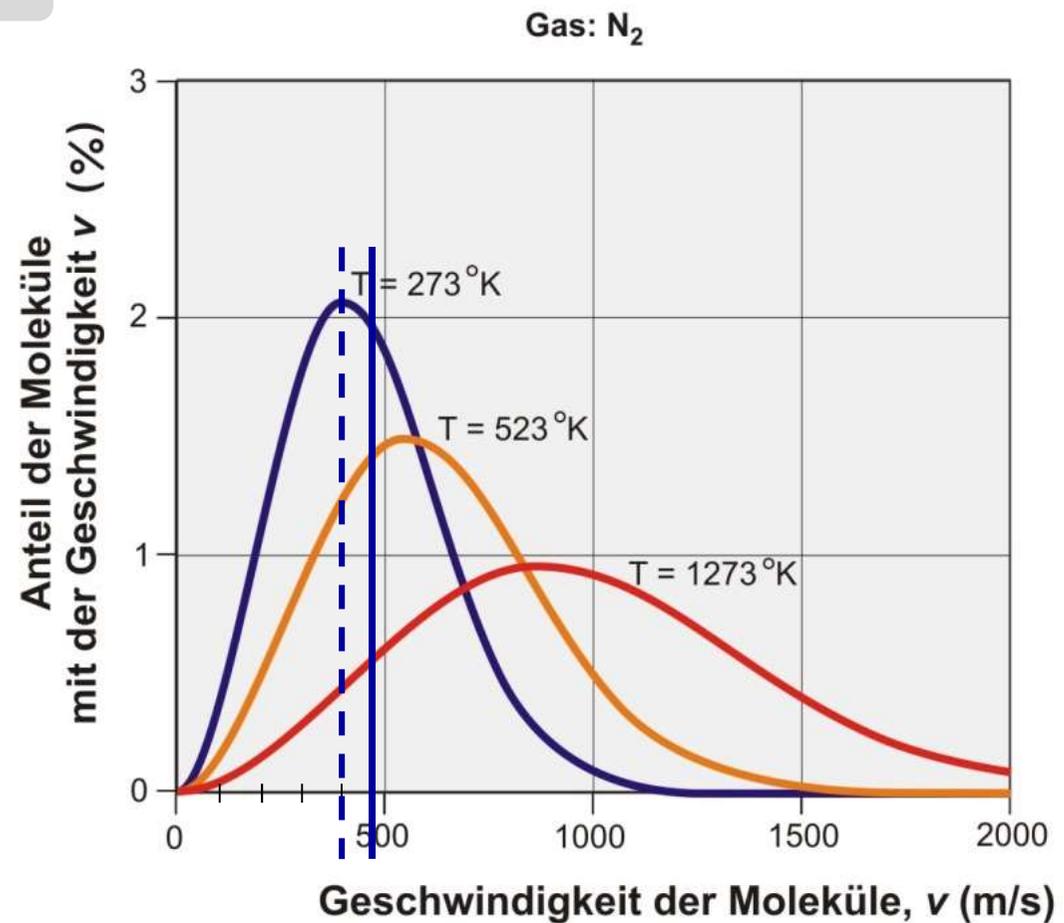
Allgemeine Gaskonstante  
 $R = 8,34 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$

$$\overline{E}_{\text{kin, mol}} = \frac{1}{2} \overline{Mv}^2 = \frac{3}{2} RT$$

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

**Molare** Masse

### d) Maxwell-Boltzmann-Verteilung



## 5. Flüssiger Aggregatzustand

### a) Makroskopische Beschreibung:

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



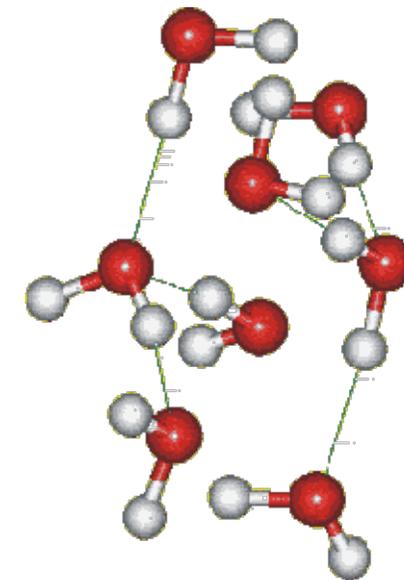
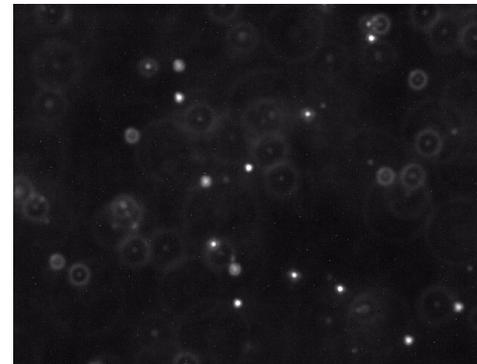
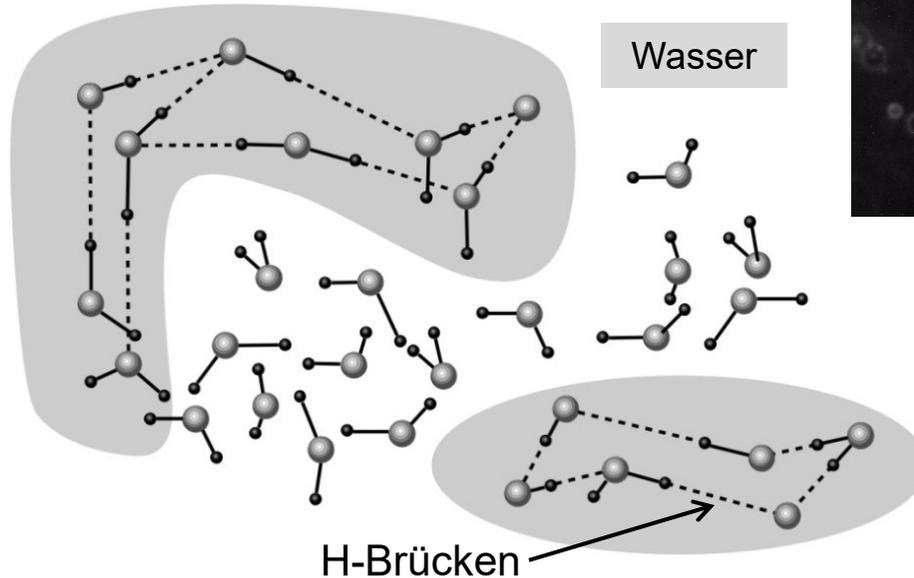
Keine Eigenform:  
Nach Deformieren bleibt  
so, es gibt nämlich **keine**  
rückstellende **Scherkräfte**.



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

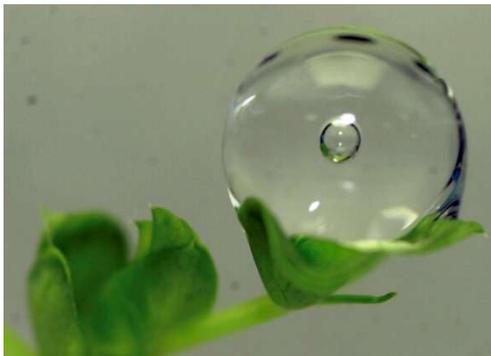
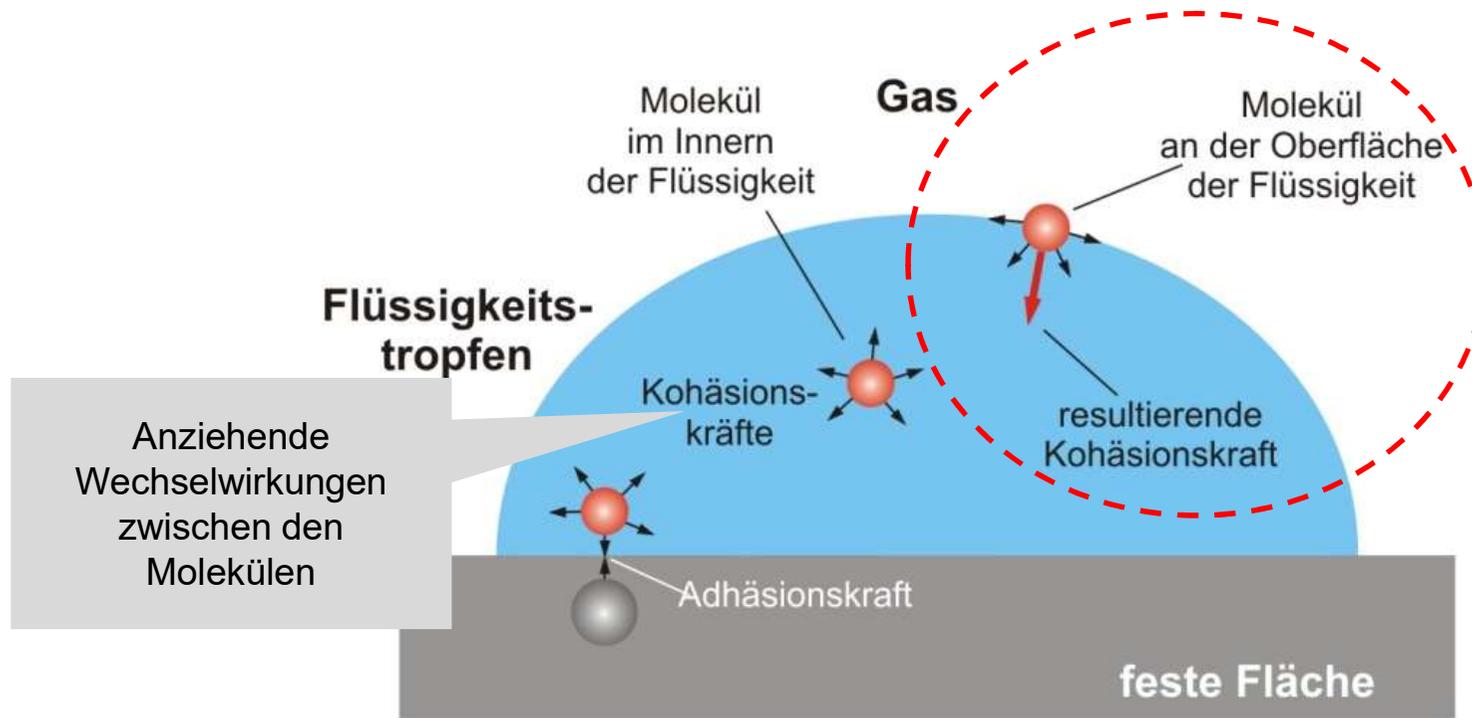
### b) Mikroskopische Beschreibung:

- Dynamische Nahordnung
- Mittelstarke Bewegungen



↓  
Isotropie

### c) Oberflächenspannung



- Oberflächenspannung, oder spezifische Oberflächenenergie ( $\sigma$ ):

Zur Flächenvergrößerung von  $\Delta A$  nötige Energie

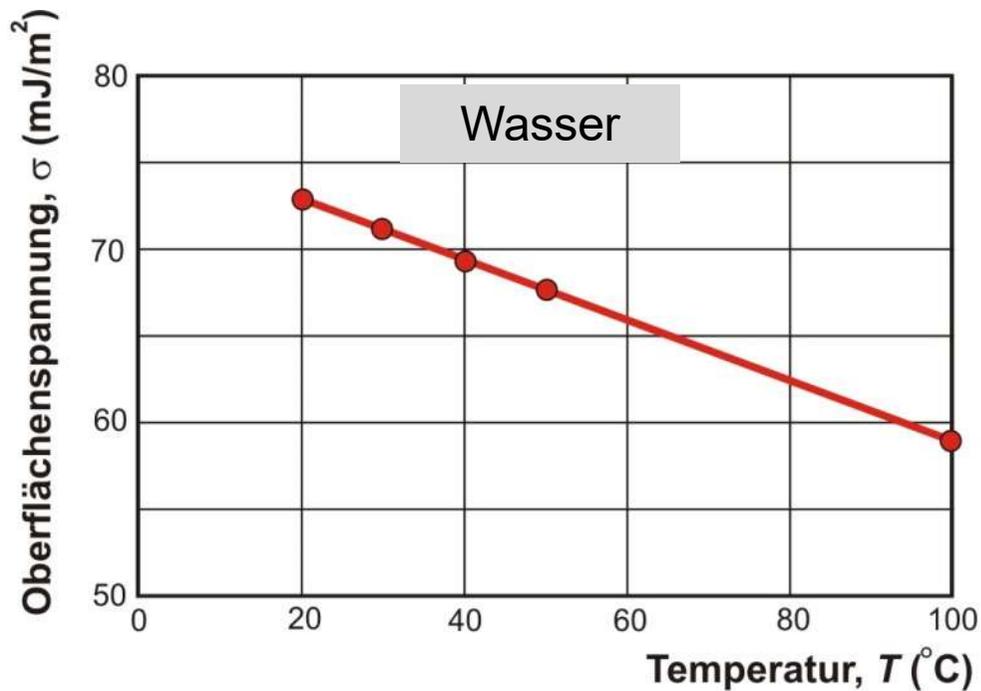
$$\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta A} \quad \left( \frac{\text{J}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}} \right)$$

Oberflächenvergrößerung

Stoff	$\sigma$ (J/m <sup>2</sup> )*
Wasser	0,073
Blut	0,06
Speichel	0,05
Alkohol	0,023
Quecksilber	0,484

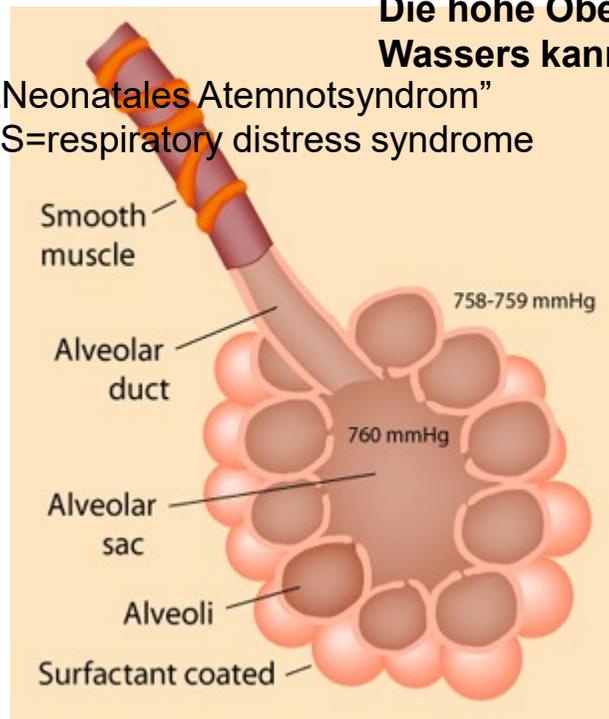
\* In Bezug auf Luft, 20°C

Die Temperaturabhängigkeit der Oberflächenspannung:



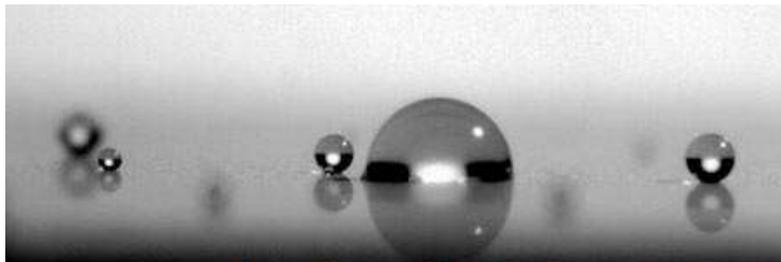


**Die hohe Oberflächenspannung des Wassers kann Probleme verursachen!**  
 „Neonatales Atemnotsyndrom“  
 RDS=respiratory distress syndrome



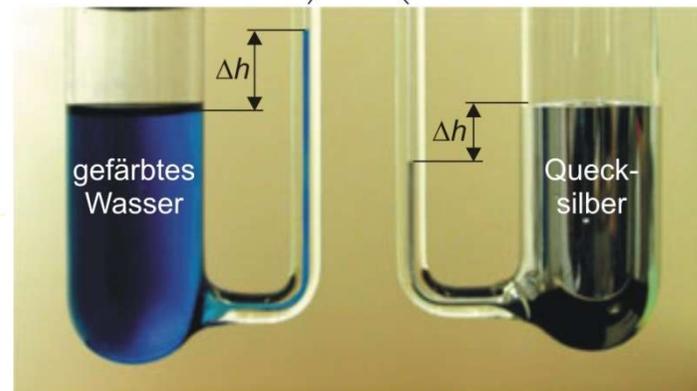
Weitere Erscheinungen, wobei die Oberflächenspannung eine Rolle spielt:

➔ Benetzung



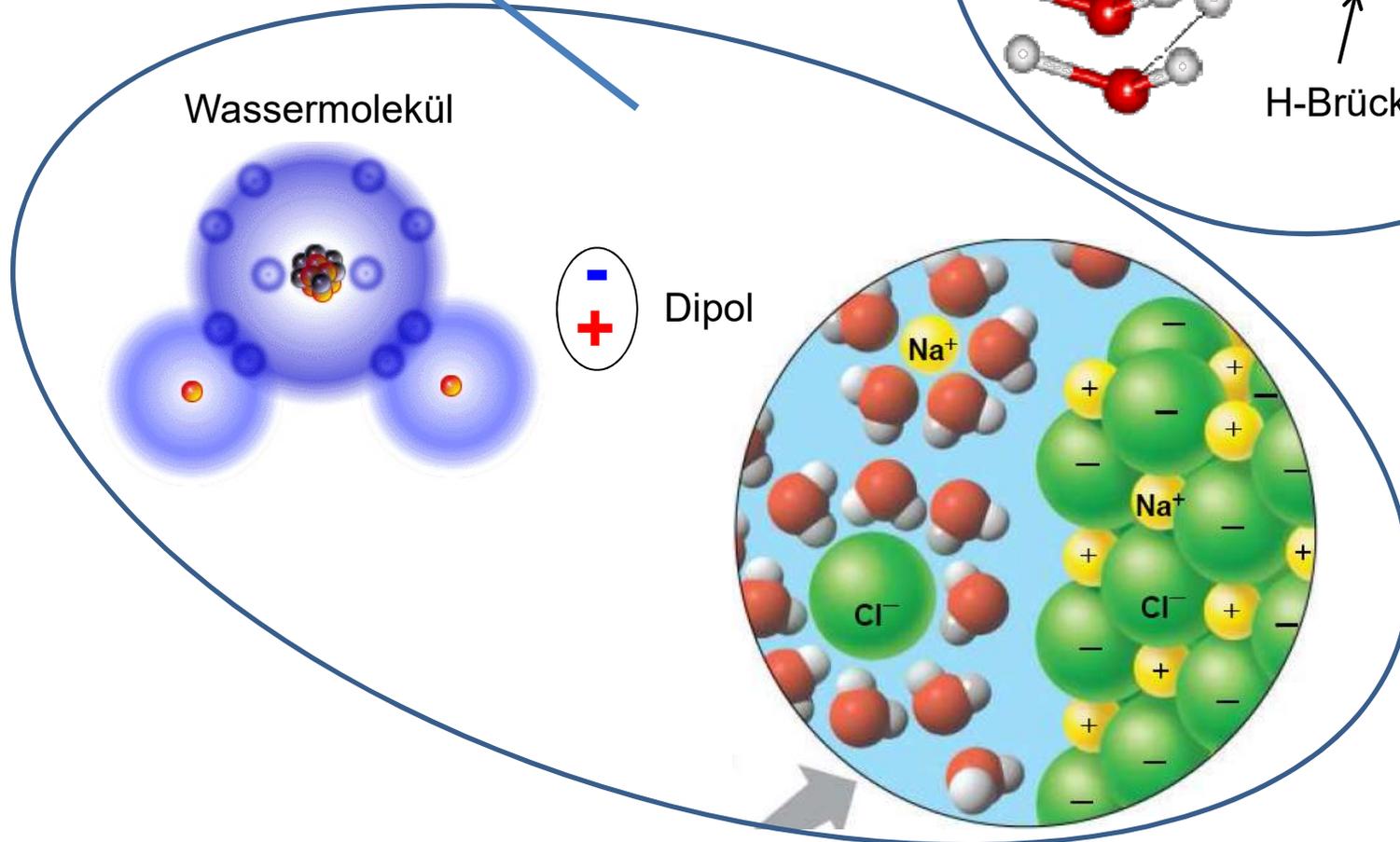
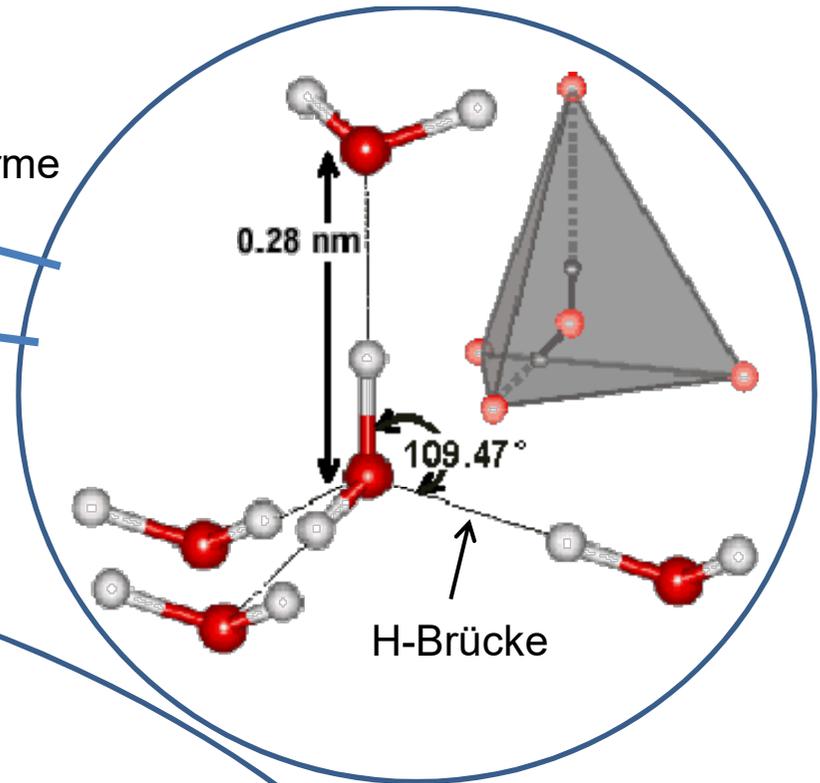
Kapillareffekt

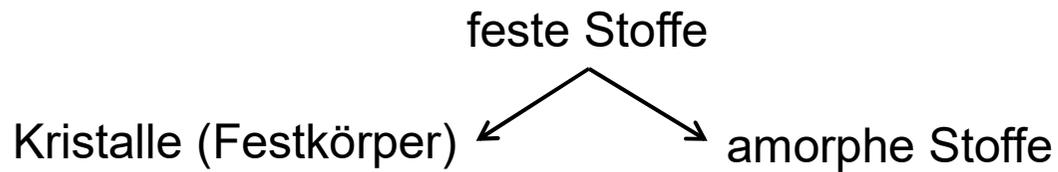
dünnes Rohr



#### d) Wasser und seine günstige Eigenschaften:

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





## 6. Fester Aggregatzustand - Kristalle

### a) Makroskopische Beschreibung:

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

z. B.  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Einkristall



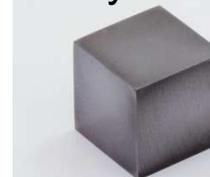
Polykristall



(besteht aus mehreren Kristallen)

z. B. Tantal (Metall)

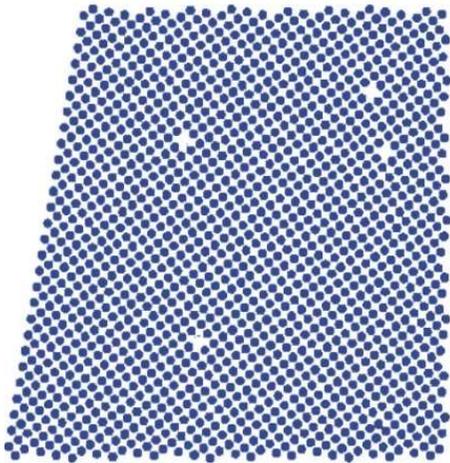
Polykristall



Einkristall

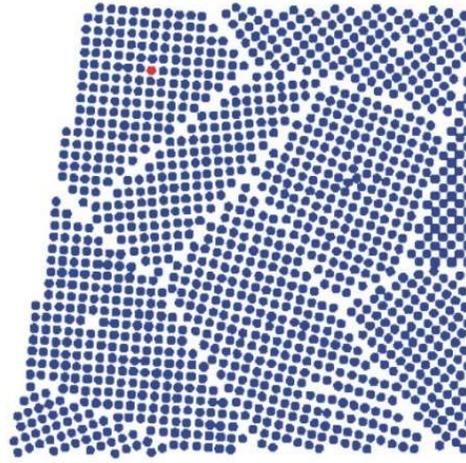


Einkristall



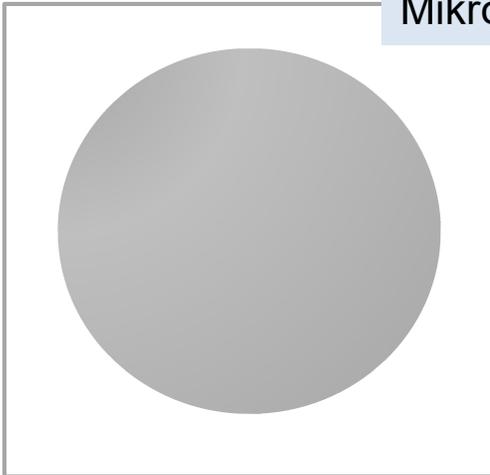
ein Korn

Polykristall



mehrere Körner

Unter dem  
Mikroskop



oft anisotrop

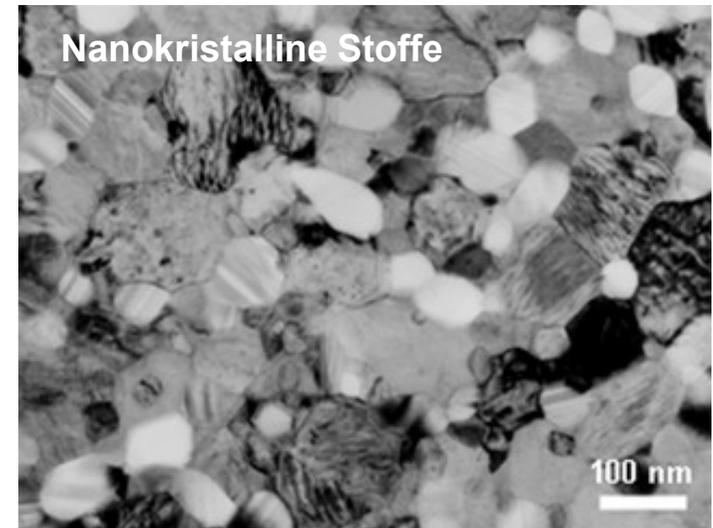


oft isotrop

Mikrokristalline Stoffe

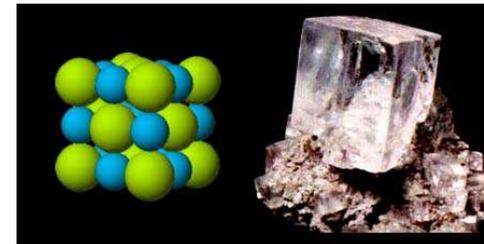
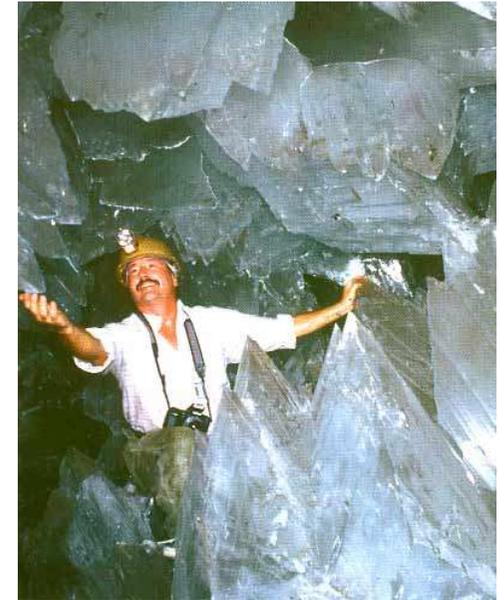
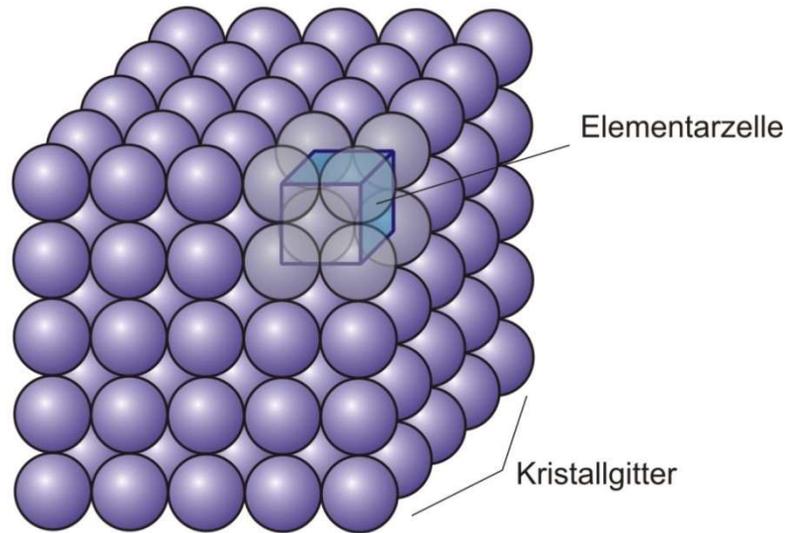


Nanokristalline Stoffe

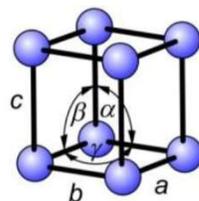


## b) Mikroskopische Beschreibung:

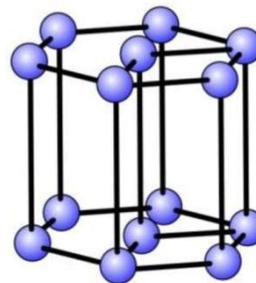
- Fernordnung
- Periodizität – Kristallgitter
- Schwache Bewegungen (Schwingungen)



Zum Beispiel: kubisch



hexagonal



### c) Kristalltypen:

- Atomkristall (kovalente Bindung)



**Diamant**

- Ionenkristall (Ionenbindung)



**Salz**

- Metallkristall (Metallbindung)



**Gold**

- Molekülkristall (sekundäre Bindung)

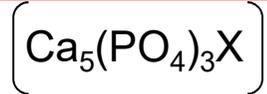


**Eis**

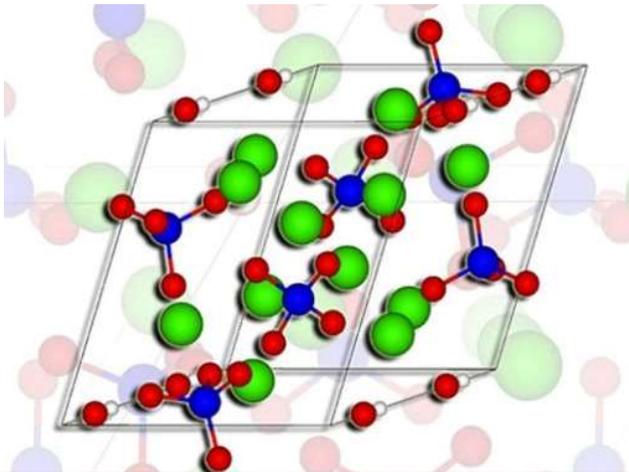
Bindungsenergie ( $E_0$ )  Eigenschaften, wie Schmelzpunkt, Schmelzwärme, Steifigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient, ...

## d) Apatit

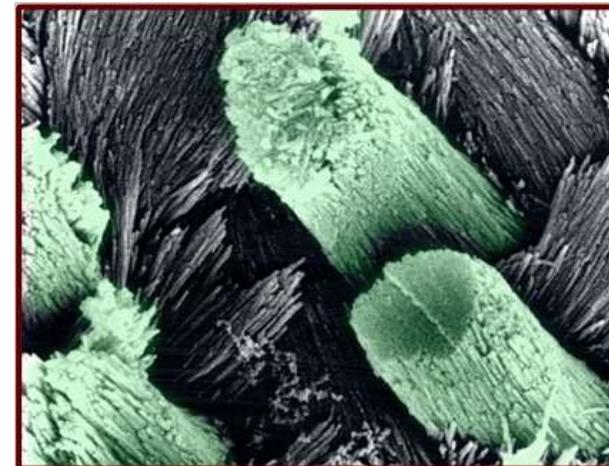
X =  
OH : Hydroxiapatit  
F : Fluorapatit



- 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:

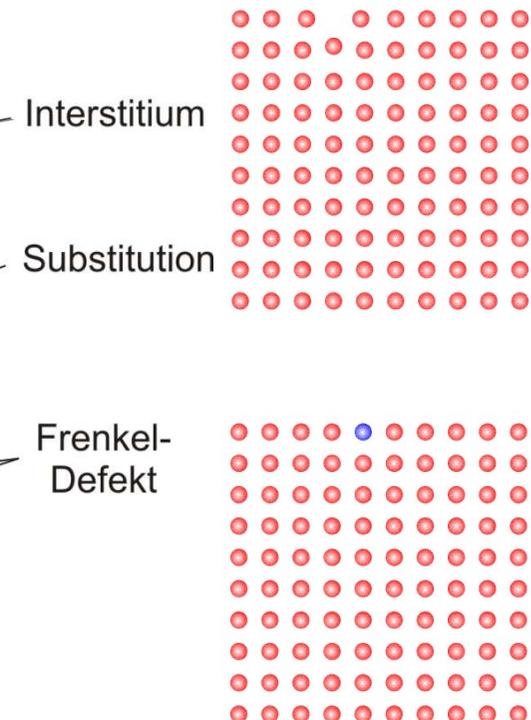
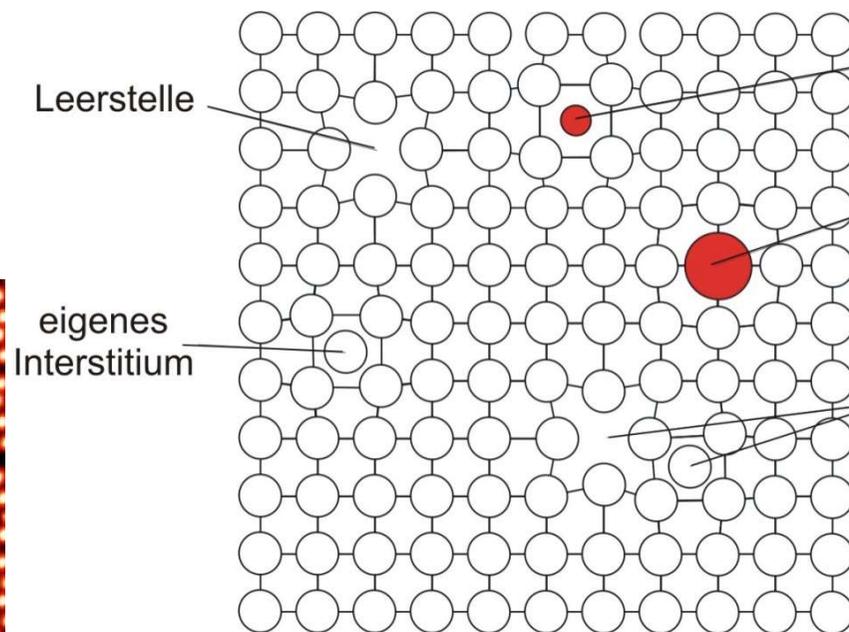
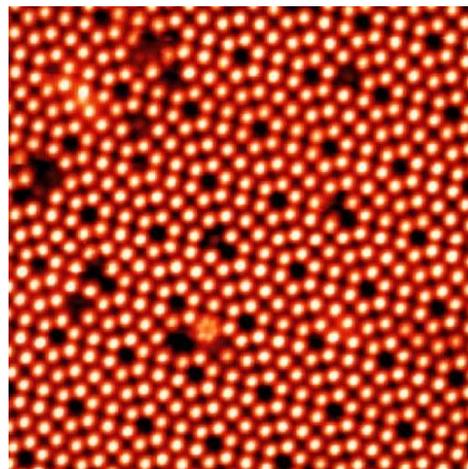
- Punktfehler
  - Thermische Fehler
    - Leerstelle (Vakanz, Schottky-Defekt)
    - Interstitium (Zwischengitteratom)
    - Frenkel-Defekt
  - Fremdatome (chemische Fehler, Dotierung)
    - Substitutionsatom
    - Interstitielles Atom (Interstitium)

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

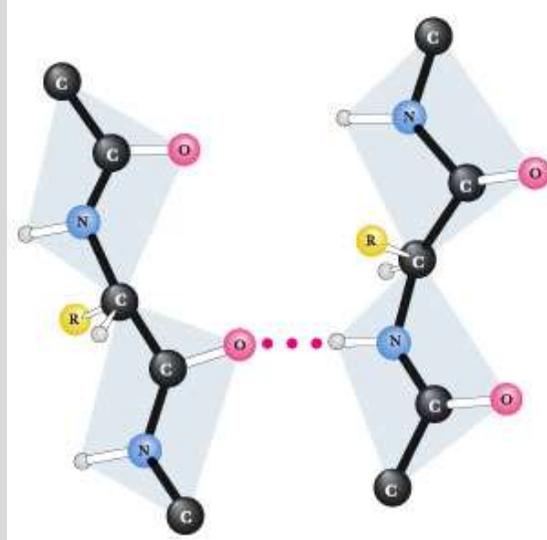
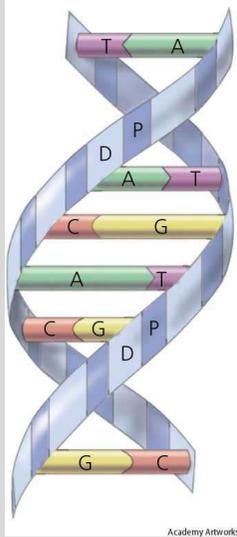
Aktivierungsenergie  
( $\approx$  Bindungsenergie)

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

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



## Thermische Fehler in biologischen Makromolekülen:



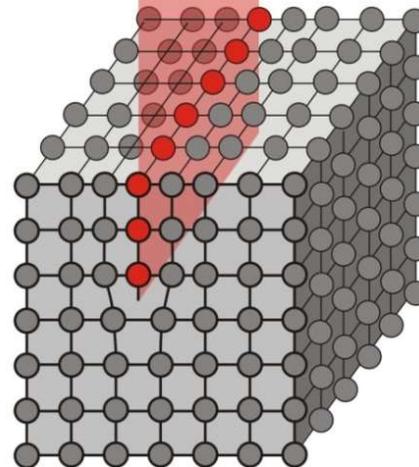
Zahl der aufgespaltenen H-  
Brücken

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

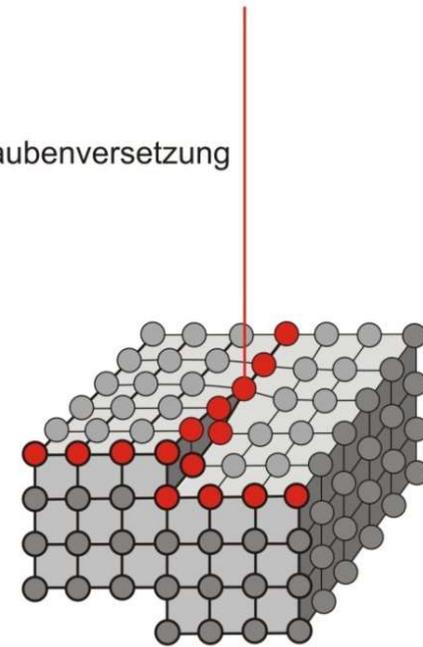
Zahl der intakten H-  
Brücken

## – Versetzungen (Dislokationen)

Stufenversetzung

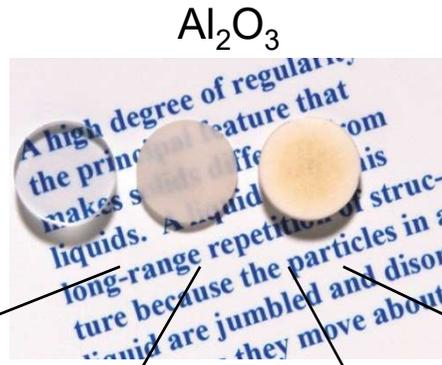


Schraubenversetzung



# Gitterfehler $\Rightarrow$ Eigenschaften!!

z. B. optische  
Eigenschaften



+  $\text{Cr}^{3+}$



Rubin

$\rightarrow$  siehe Rubinlaser

+  $\text{V}^{2+}$



$\text{Fe}^{2+}$



+  $\text{Ti}^{4+} + \text{Fe}^{2+}$



$\text{NaI}$



$\text{NaI} + \text{Tl}$



(unter Röntgenbestrahlung)

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

## Hausaufgaben:

- Aufgabensammlung :  
1. 22, 26, 27, 31, 34, 36, 40

