

# Medizinische Biophysik

## Struktur der Materie

9. Vorlesung  
03.11. 2021

### II. Aggregatzustände

#### 1. Allgemeine Beschreibung

#### 2. Gasförmiger Aggregatzustand

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

#### 3. Flüssiger Aggregatzustand


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

#### 4. Fester Aggregatzustand - Kristalle

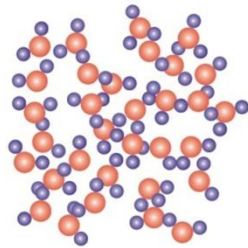
- a) Makroskopische Beschreibung
- b) Mikroskopische Beschreibung
- c) Kristalltypen
- d) Apatit
- e) Gitterfehler
- f) Elektronenstruktur (Bändermodell)

# II. Aggregatzustände

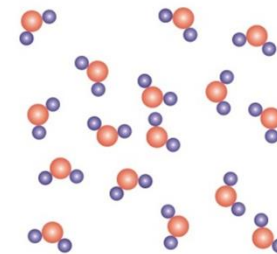
## 1. Allgemeine Beschreibung

	 <b>T</b>		
	Fest	Flüssig	Gasförmig
Eigenvolumen	+	+	-
Eigenform	+	-	-

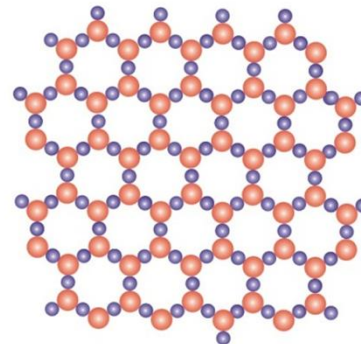
flüssiges H<sub>2</sub>O  
WASSER



gasförmiges H<sub>2</sub>O  
DAMPF



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



## 2. Gasförmiger Aggregatzustand

### a) Makroskopische Beschreibung:

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

Druck

Volumen

Stoffmenge

Temperatur

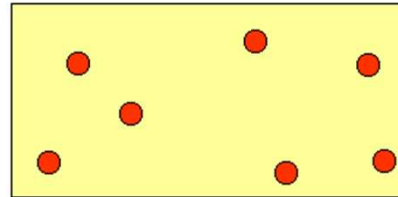
Vorkenntnisse  
(s. Skript „Physikalische  
Grundkenntnisse“ Kapitel 9)

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 Energie der Gasteilchen:

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

Siehe auch: kinetische  
Deutung der Temperatur

$kT = \text{„thermische Energie“}$

Eine andere Form:

durchschnittliche kinetische  
Energie **von einem Mol**

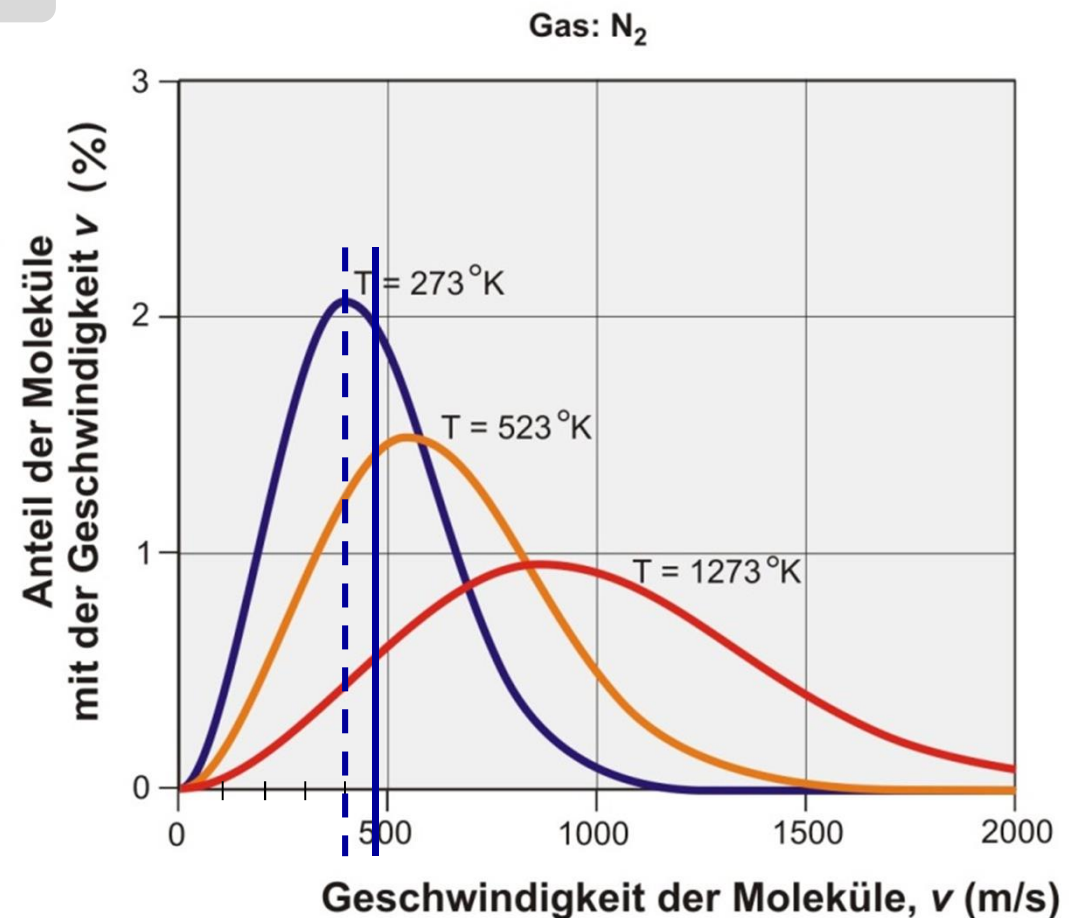
Allgemeine Gaskonstante  
 $R = 8,34 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

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

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

Molare Masse

#### d) Maxwell-Boltzmann-Verteilung



### 3. Flüssiger Aggregatzustand

#### a) Makroskopische Beschreibung:

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



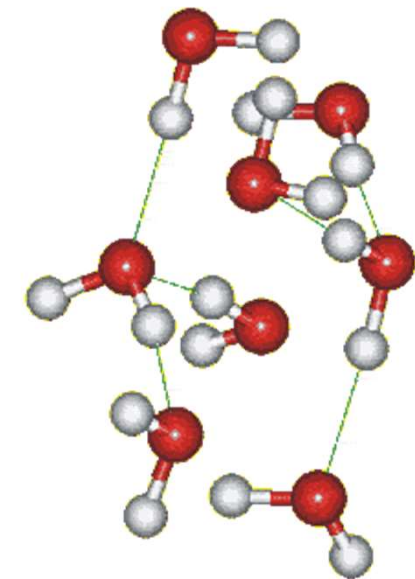
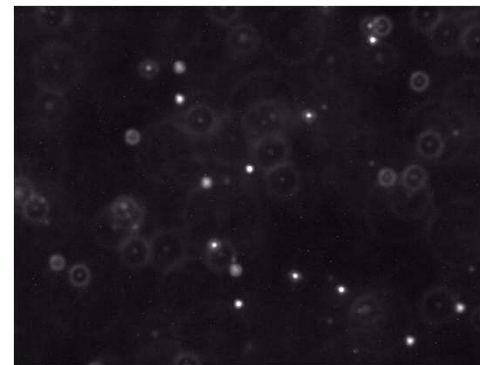
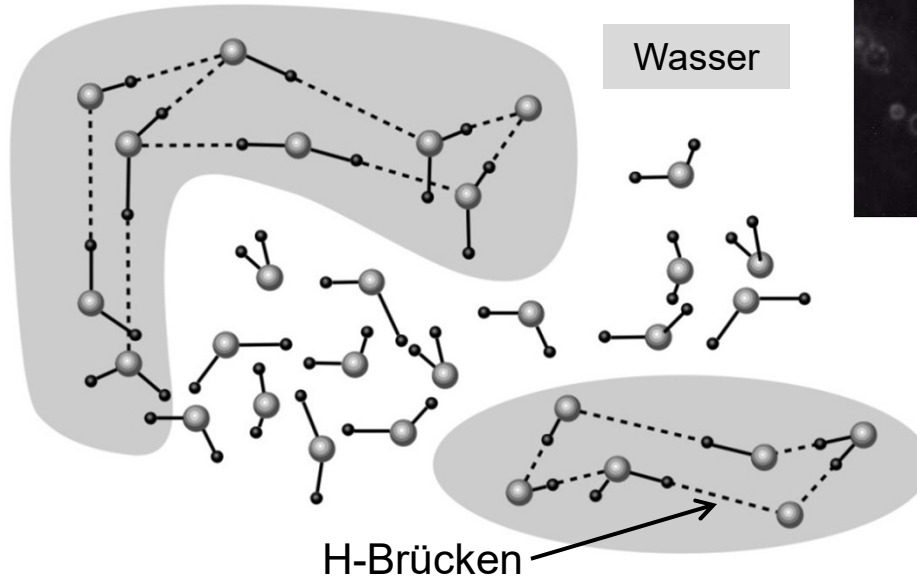
Keine Eigenform:  
Nach Deformieren bleibt  
so, es gibt nämlich **keine**  
rückstellende **Scherkräfte**.



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

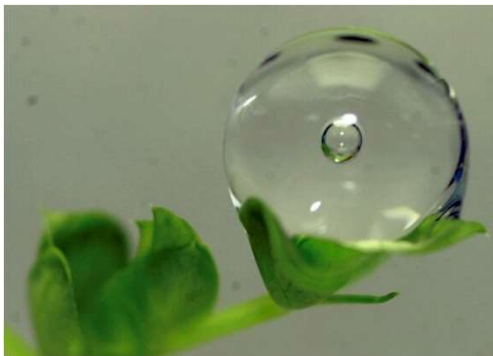
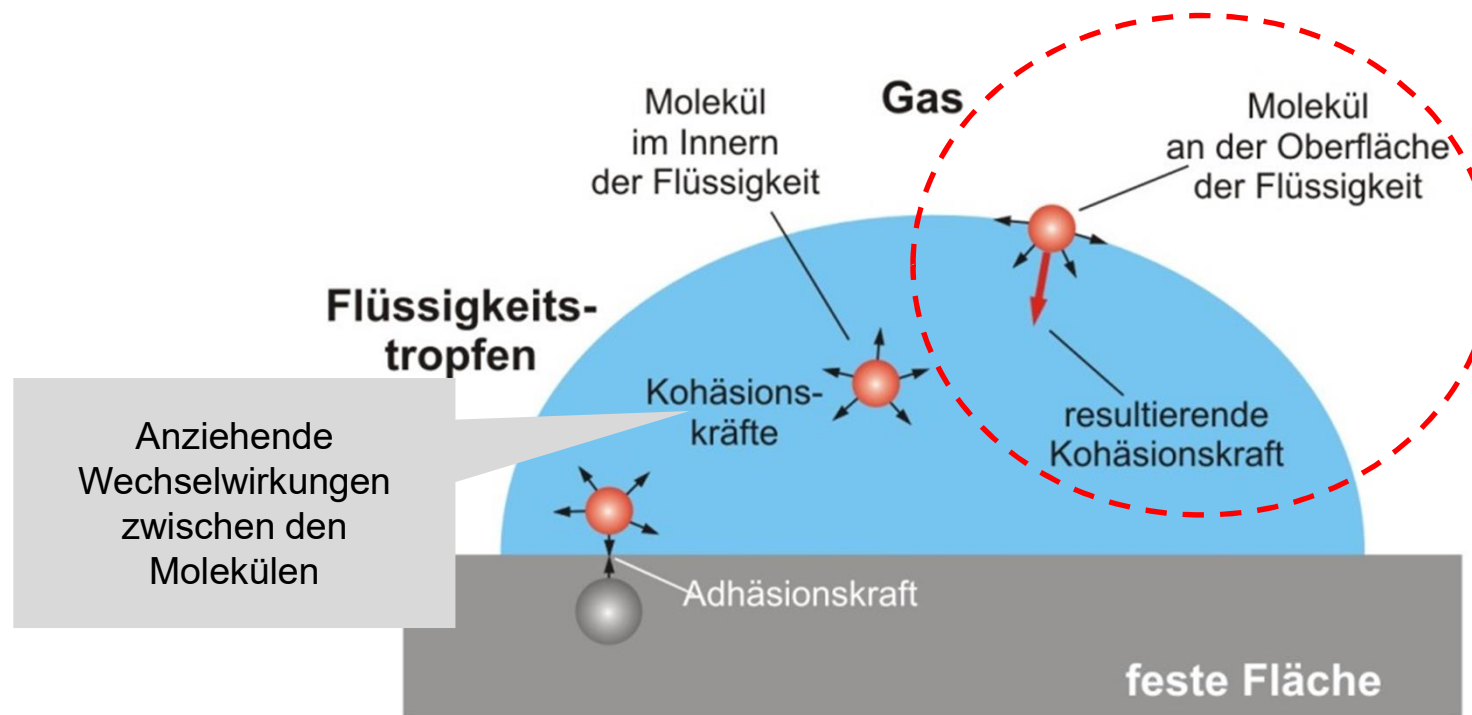
#### b) Mikroskopische Beschreibung:

- Dynamische Nahordnung
- Mittelstarke Bewegungen



Isotropie

### c) Oberflächenspannung



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

Zur Flächenvergrößerung  
von  $\Delta A$  nötige Energie

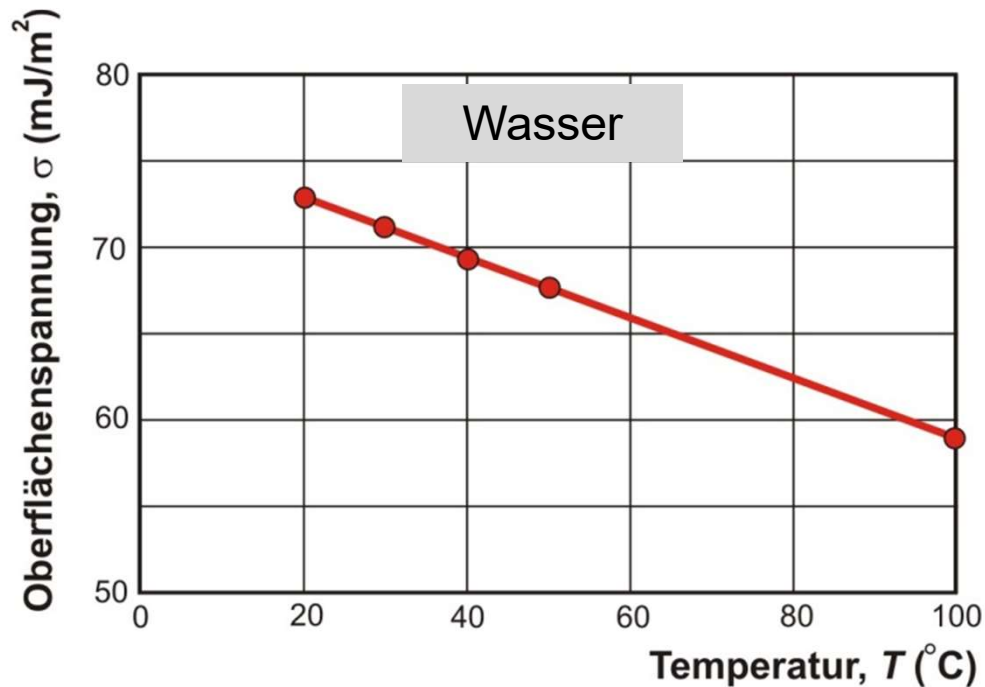
$$\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta A} \quad \left( \frac{\text{J}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}} \right)$$

Oberflächenvergrößerung

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

\* In Bezug auf Luft, 20°C

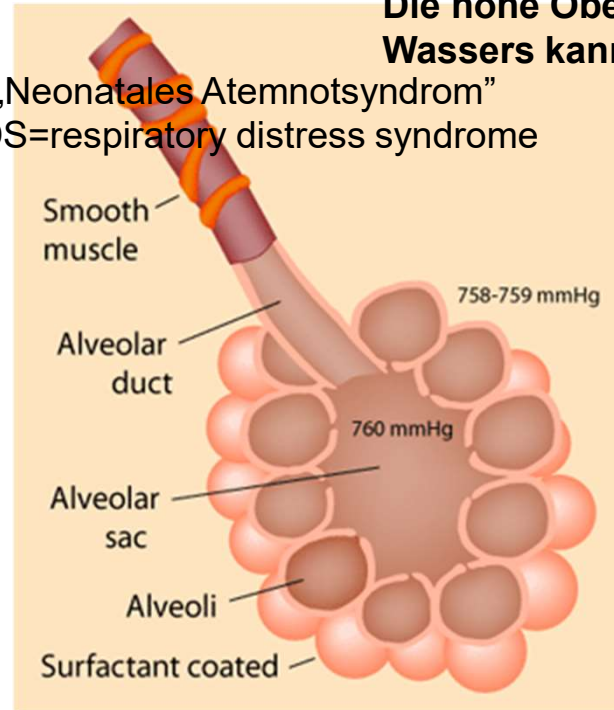
Die Temperaturabhängigkeit der  
Oberflächenspannung:







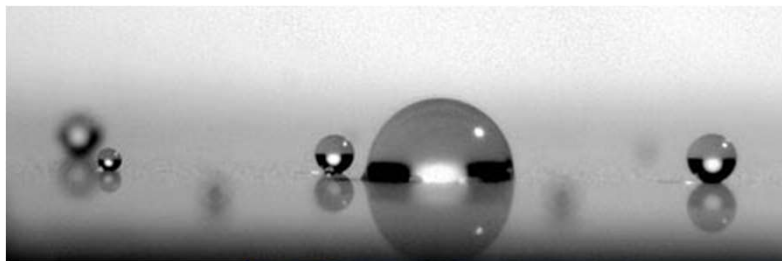
**Die hohe Oberflächenspannung des Wassers kann Probleme verursachen!**  
 „Neonatales Atemnotsyndrom“  
 RDS=respiratory distress syndrome



Weitere Erscheinungen, wobei die Oberflächenspannung eine Rolle spielt:

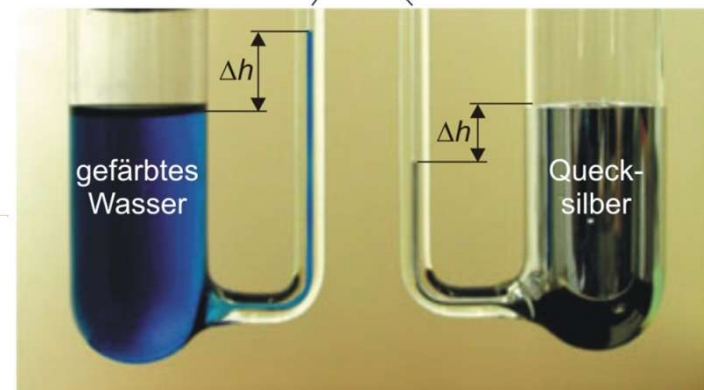


**Benetzung**



**Kapillareffekt**

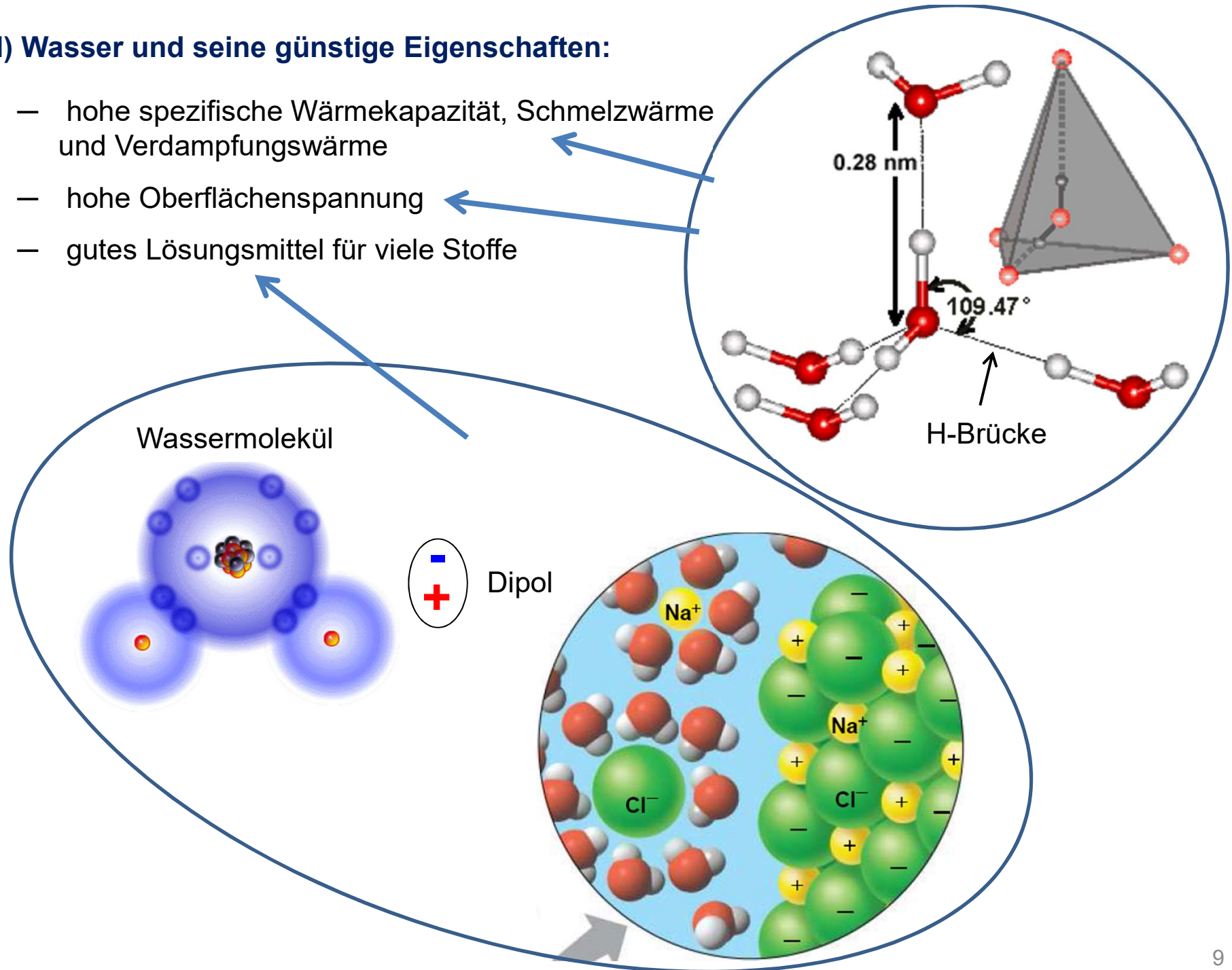
dünnes Rohr

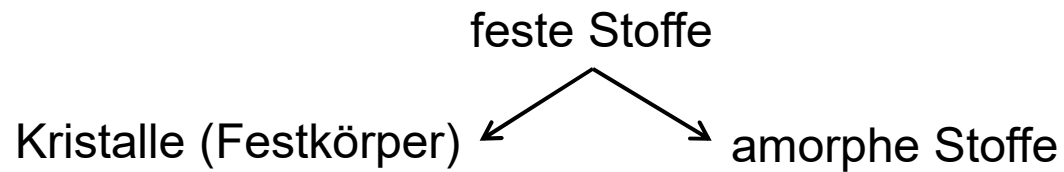




#### d) Wasser und seine günstige Eigenschaften:

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





## 4. 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)

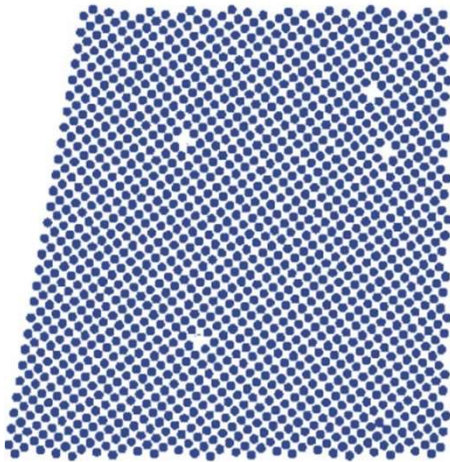
Polykristall



Einkristall

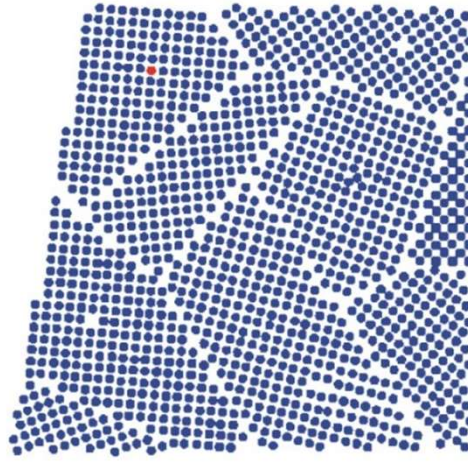


Einkristall



ein Korn

Polykristall

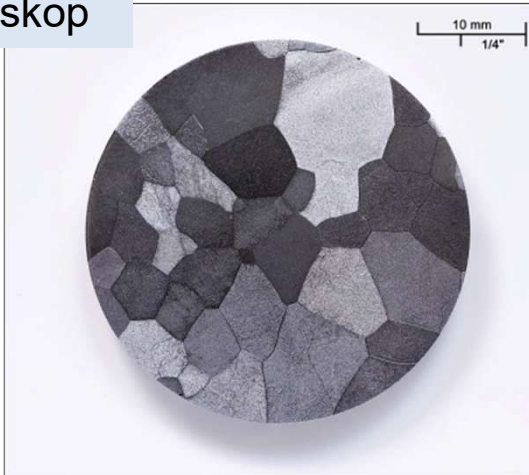


mehrere Körner

Unter dem  
Mikroskop



oft anisotrop

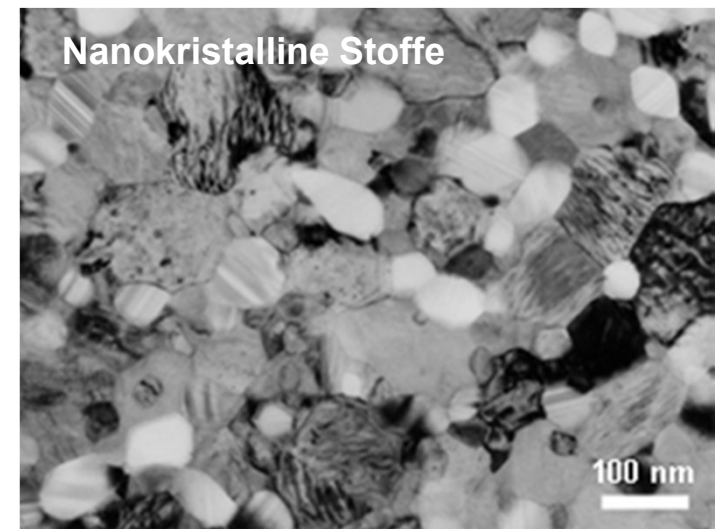


oft isotrop

Mikrokristalline Stoffe



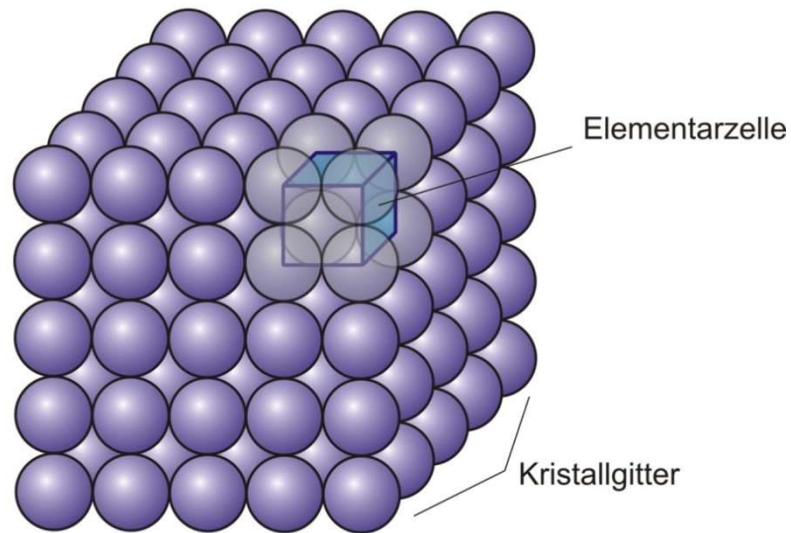
Nanokristalline Stoffe



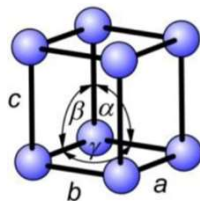


## b) Mikroskopische Beschreibung:

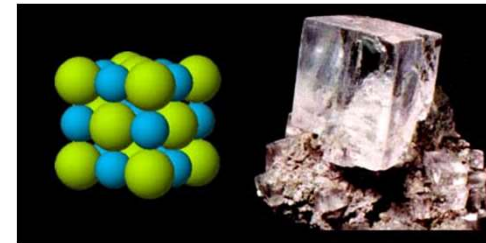
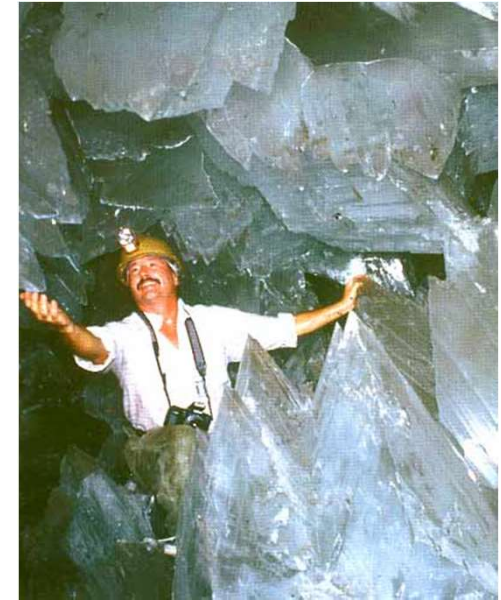
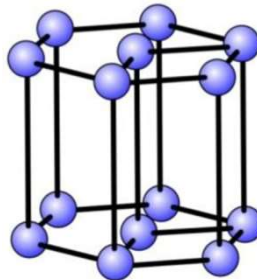
- Fernordnung
- Periodizität – Kristallgitter
- Schwache Bewegungen (Schwingungen)



Zum Beispiel: kubisch



hexagonal



### c) Kristalltypen:

- Atomkristall (kovalente Bindung)



**Diamant**

- Ionenkristall (Ionenbindung)



**Salz**

- Metallkristall (Metallbindung)




**Gold**

- Molekulkristall (sekundäre Bindung)

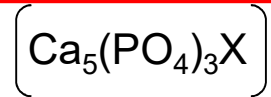


**Eis**

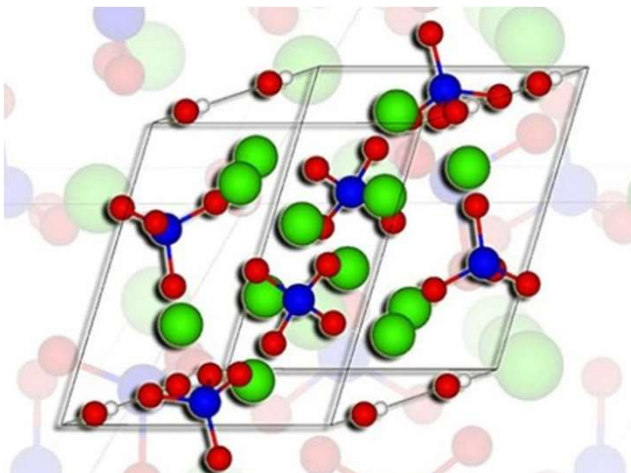
Bindungsenergie ( $E_0$ )  Eigenschaften, wie Schmelzpunkt, Schmelzwärme, Steifigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient, ...

#### d) Apatit

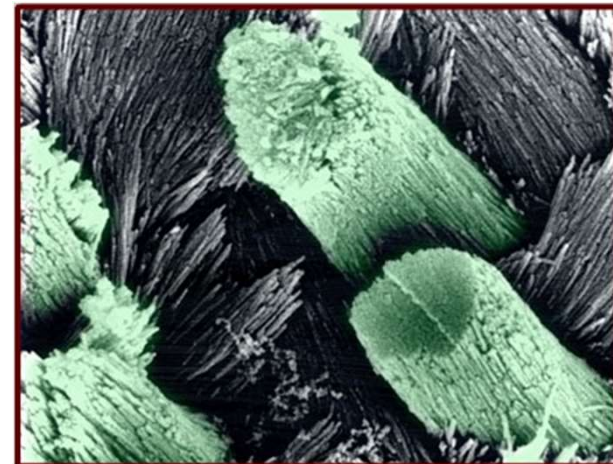
X =  
OH : Hydroxiapatit  
F : Fluorapatit



- 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





## Hausaufgaben:

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

