

Struktur der Materie

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
- f) Elektronenstruktur (Bändermodell)

7. Fester Aggregatzustand - amorphe Stoffe


- a) Makroskopische Beschreibung
- b) Mikroskopische Beschreibung

8. Flüssigkristalle

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

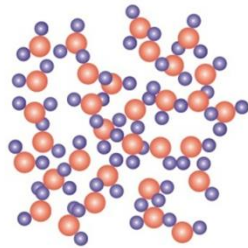
II. Aggregatzustände

1. Allgemeine Beschreibung

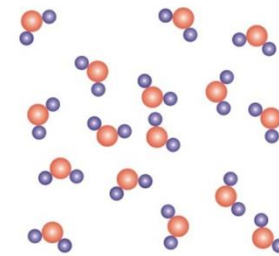
	 T		
	Fest	Flüssig	Gasförmig
Eigenvolumen	+	+	-
Eigenform	+	-	-



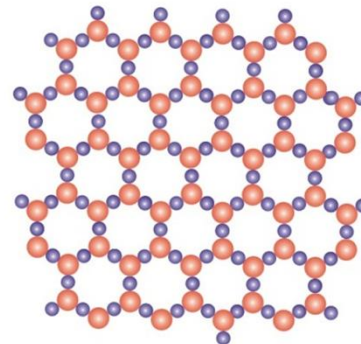
flüssiges H₂O
WASSER



gasförmiges H₂O
DAMPF



festes H₂O
EIS



2. Gasförmiger Aggregatzustand

a) Makroskopische Beschreibung:

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

Druck

Volumen

Stoffmenge

Temperatur

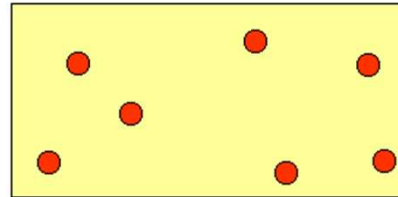
Vorkenntnisse
(s. Skript „Physikalische
Grundkenntnisse“ Kapitel 9)

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**

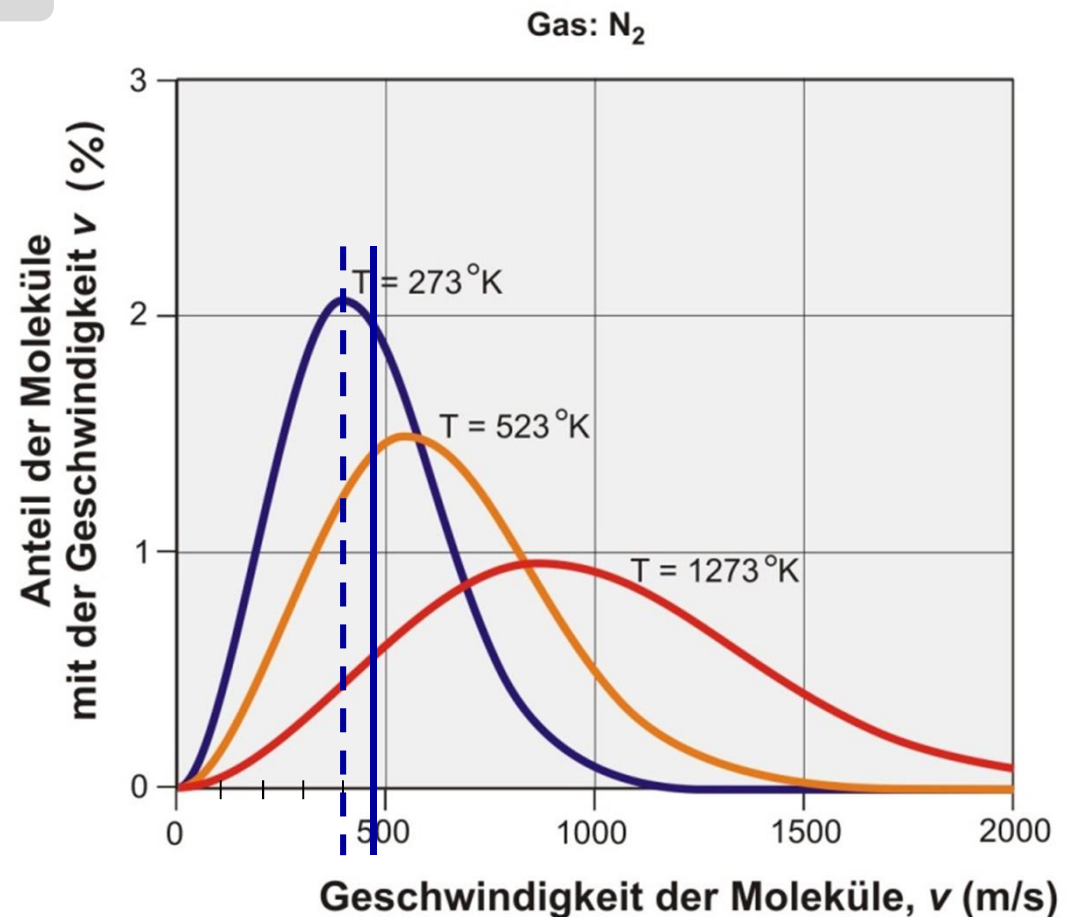
Allgemeine Gaskonstante
 $R = 8,34 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

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

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

Molare Masse

d) Maxwell-Boltzmann-Verteilung



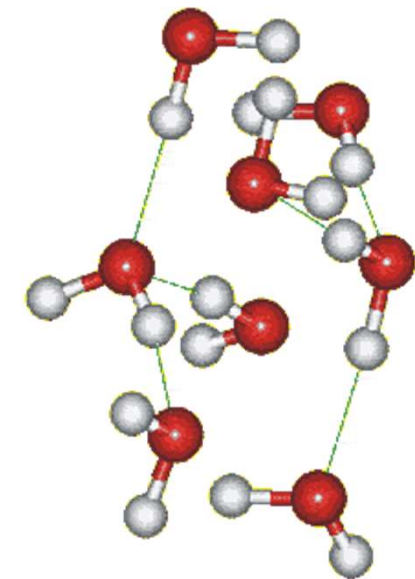
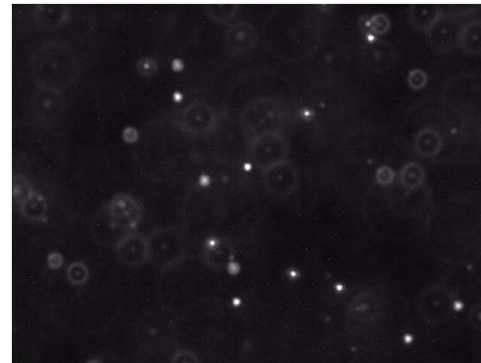
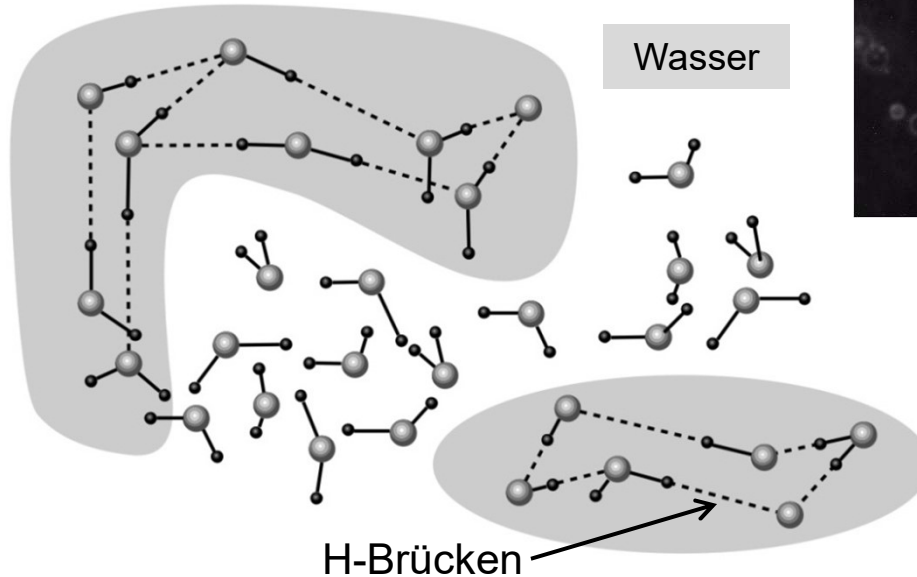
3. Flüssiger Aggregatzustand

a) Makroskopische Beschreibung:

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

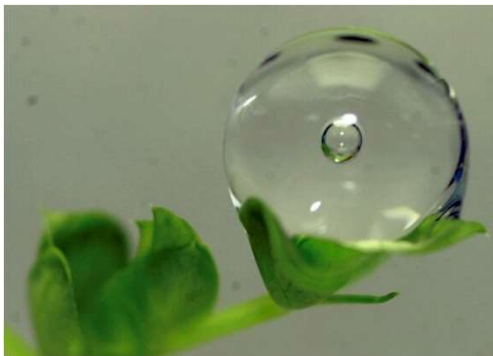
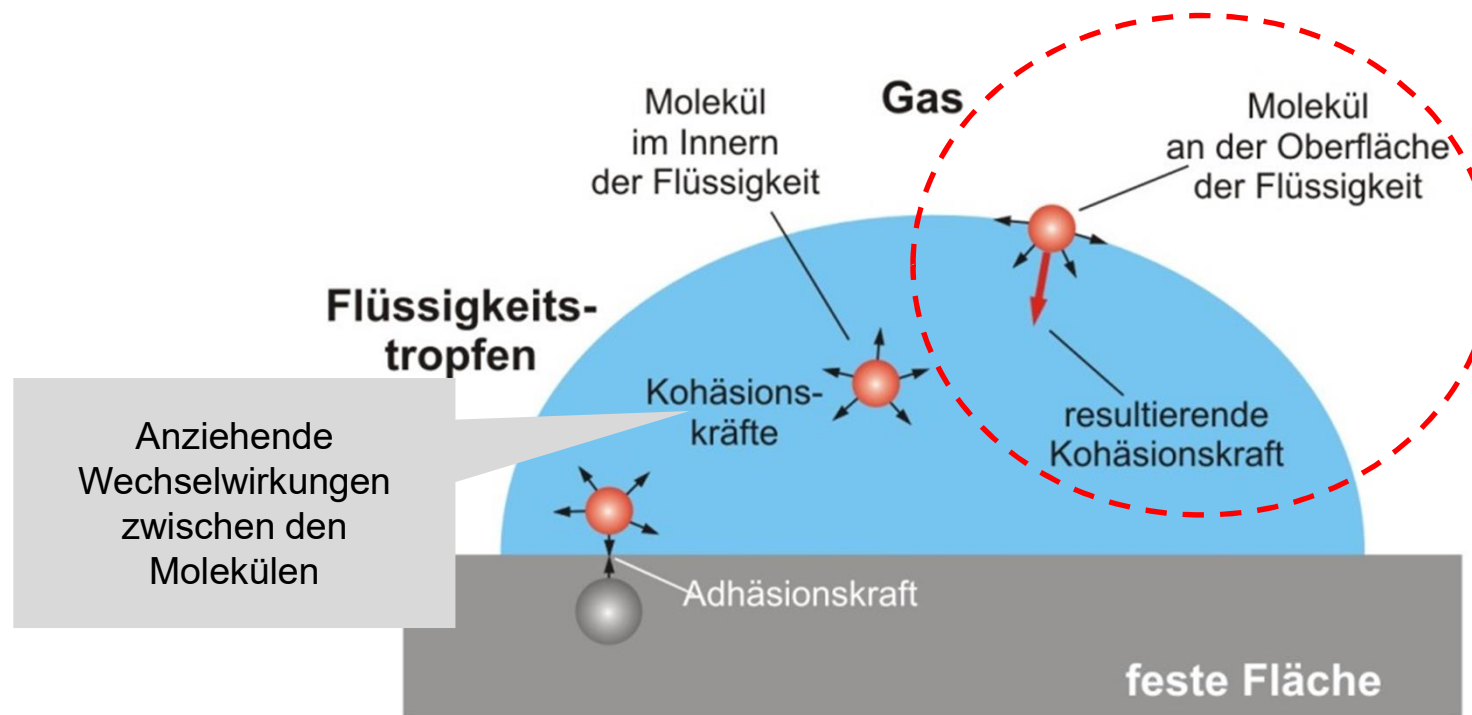
b) Mikroskopische Beschreibung:

- Dynamische Nahordnung
- Mittelstarke Bewegungen



↓
Isotropie

c) Oberflächenspannung



- Oberflächenspannung, oder spezifische Oberflächenenergie (σ):

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

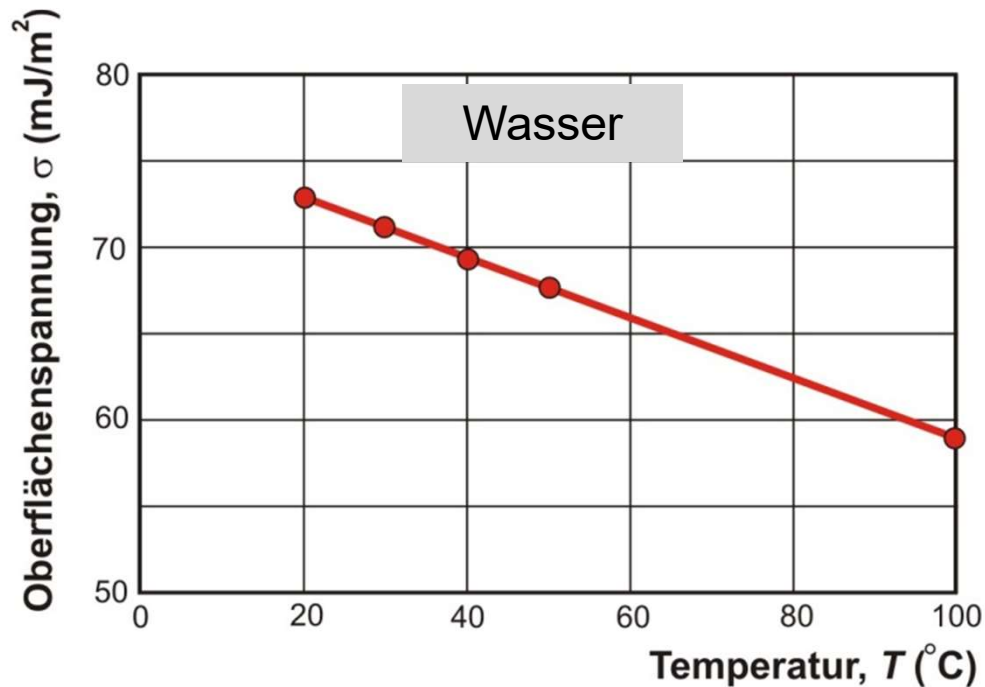
Zur Flächenvergrößerung von ΔA nötige Energie

Oberflächenvergrößerung

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

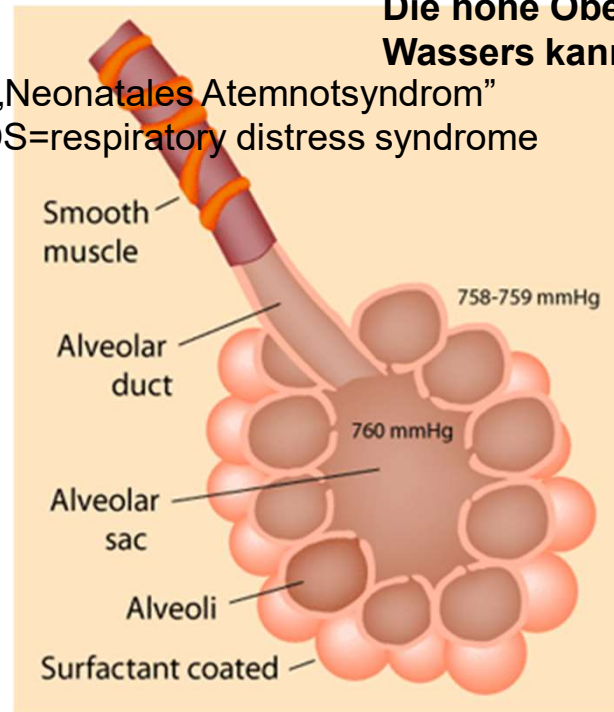
* In Bezug auf Luft, 20°C

Die Temperaturabhängigkeit der Oberflächenspannung:





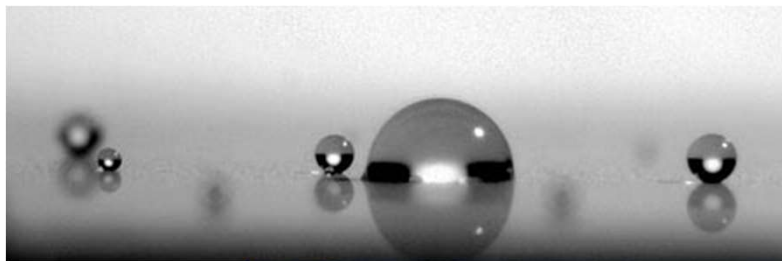
Die hohe Oberflächenspannung des Wassers kann Probleme verursachen!
 „Neonatales Atemnotsyndrom“
 RDS=respiratory distress syndrome



Weitere Erscheinungen, wobei die Oberflächenspannung eine Rolle spielt:

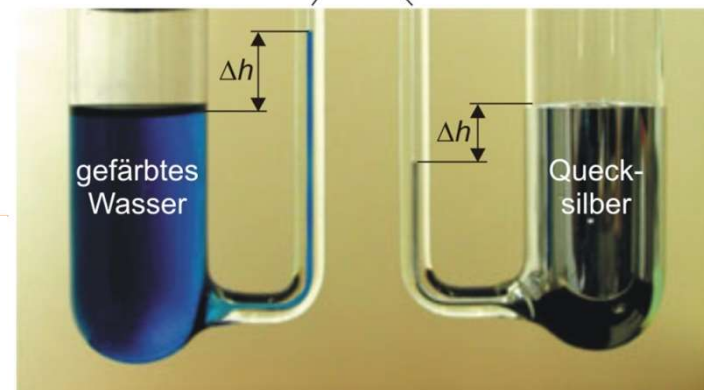


Benetzung



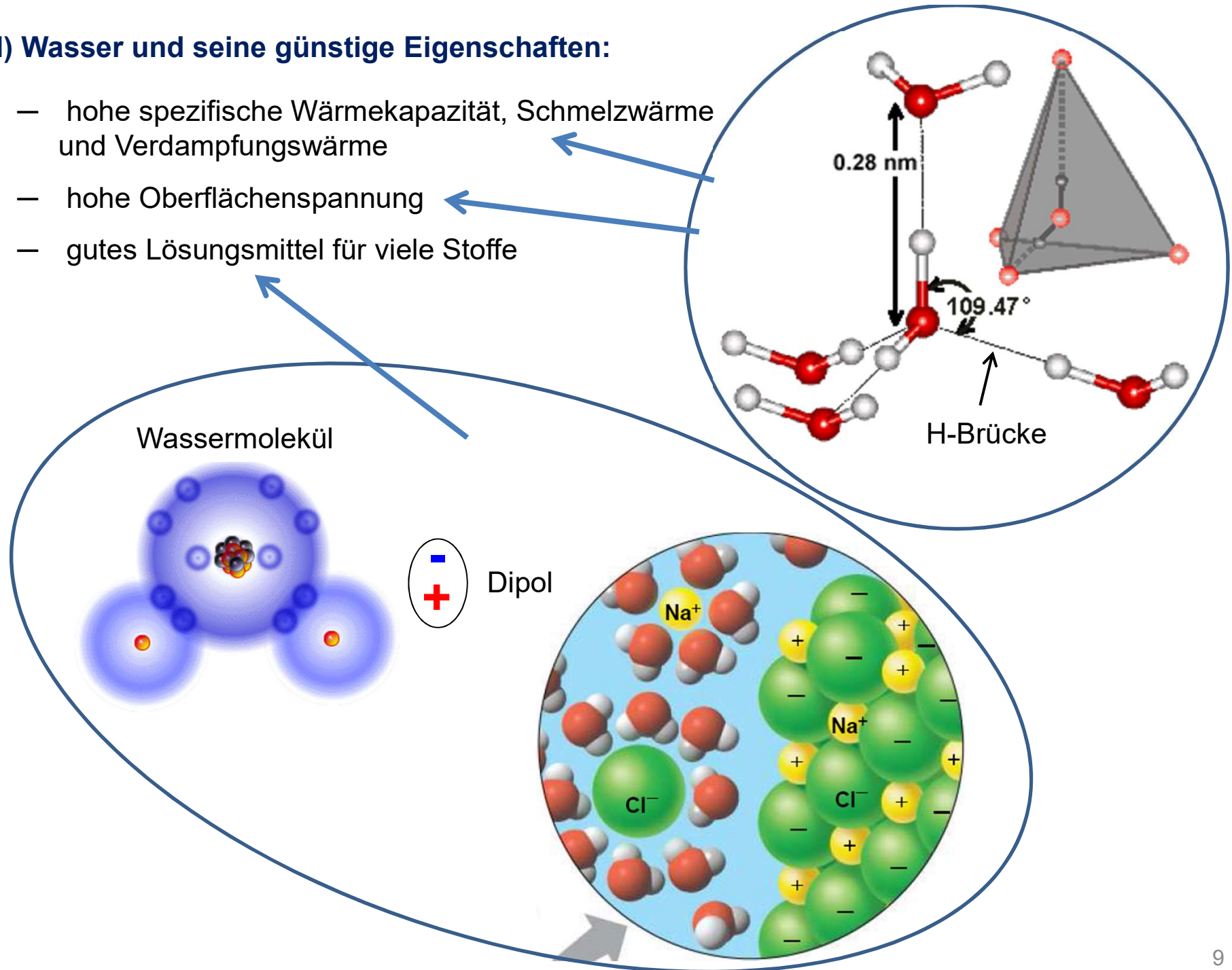
Kapillareffekt

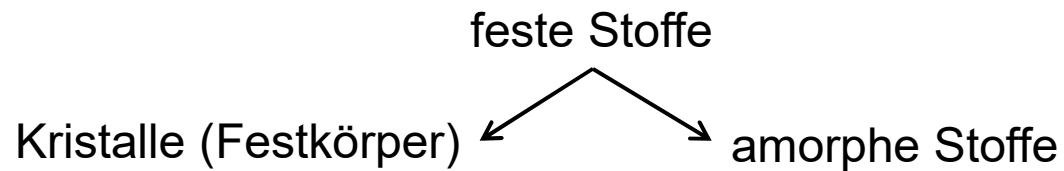
dünnes Rohr



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. Al_2O_3

Einkristall



Polykristall



(besteht aus mehreren Kristallen)

z. B. Tantal (Metall)

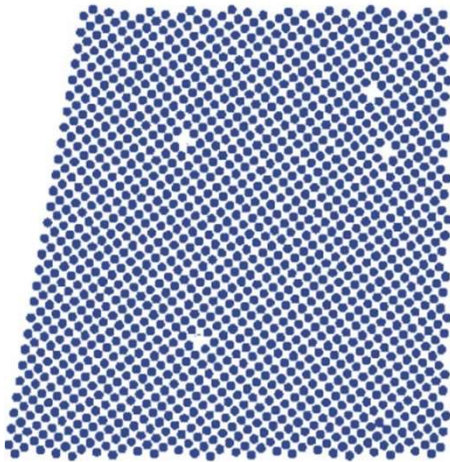
Polykristall



Einkristall

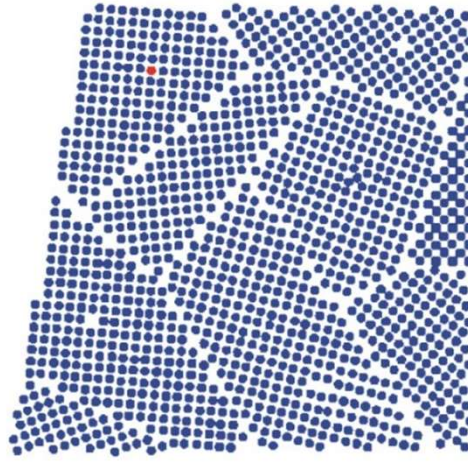


Einkristall



ein Korn

Polykristall

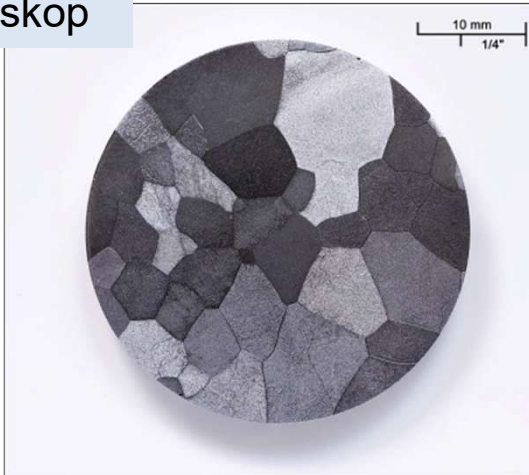


mehrere Körner

Unter dem
Mikroskop

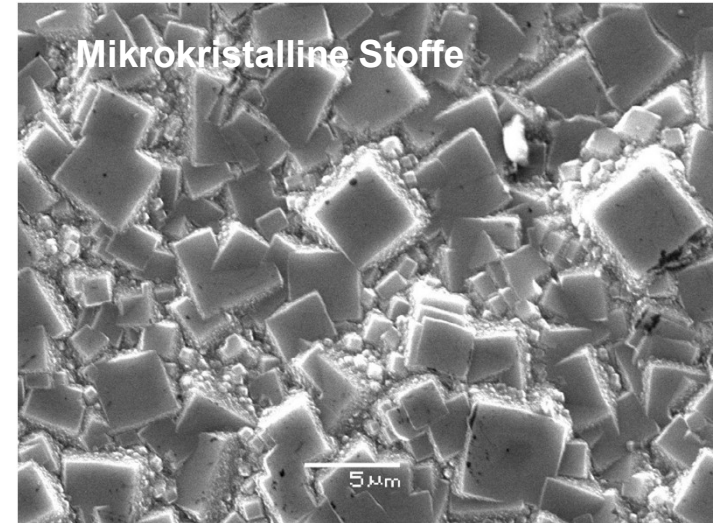


oft anisotrop

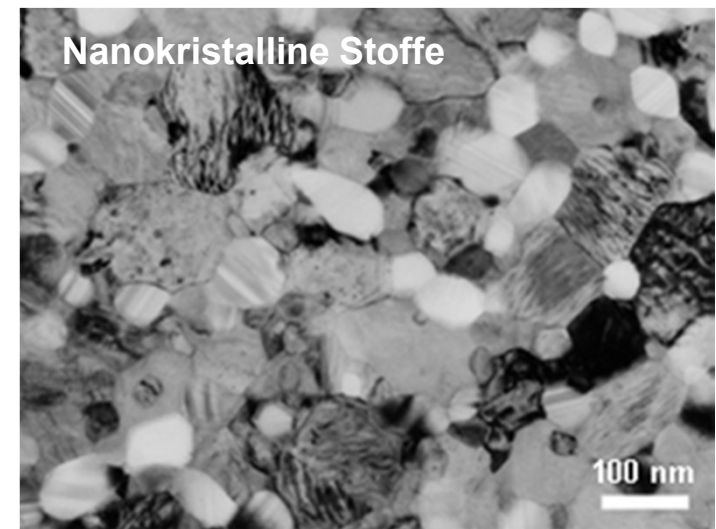


oft isotrop

Mikrokristalline Stoffe

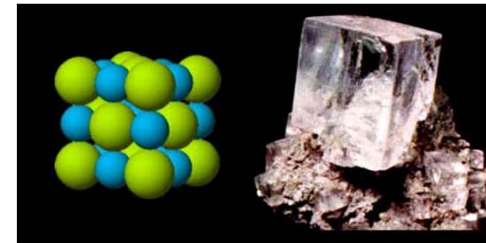
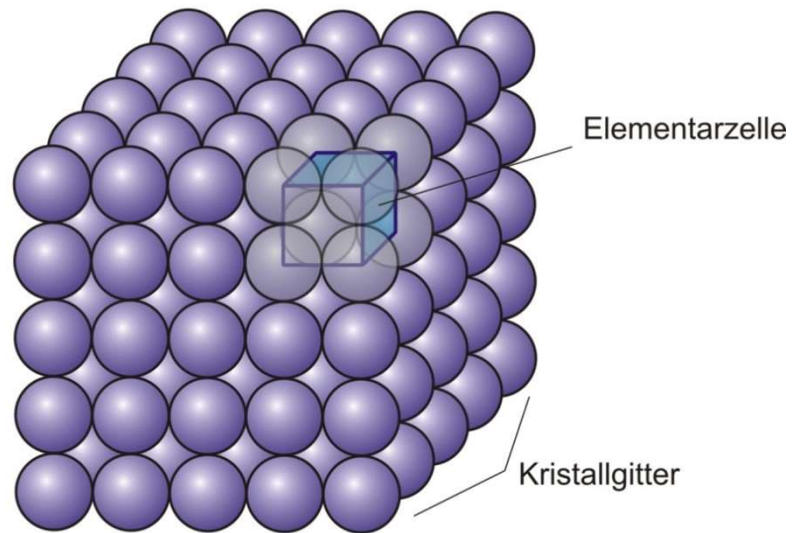


Nanokristalline Stoffe

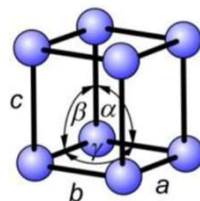


b) Mikroskopische Beschreibung:

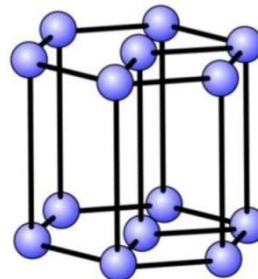
- Fernordnung
- Periodizität – Kristallgitter
- Schwache Bewegungen (Schwingungen)



Zum Beispiel: kubisch



hexagonal



c) Kristalltypen:

- Atomkristall (kovalente Bindung)



Diamant

- Ionenkristall (Ionenbindung)



Salz

- Metallkristall (Metallbindung)

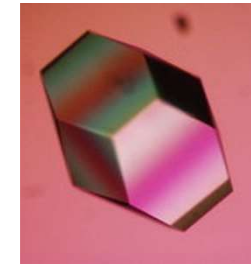


Gold


- Molekulkristall (sekundäre Bindung)



Eis

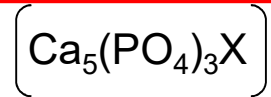


**Eiweiß
(Lysozym)**

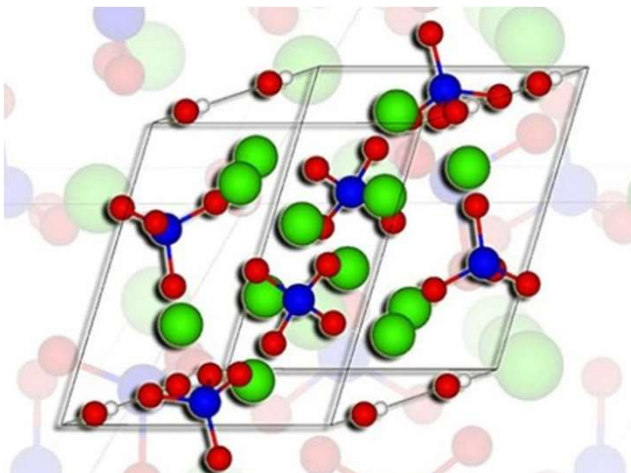
Bindungsenergie (E_0)  Eigenschaften, wie Schmelzpunkt, Schmelzwärme, Steifigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient, ...

d) Apatit

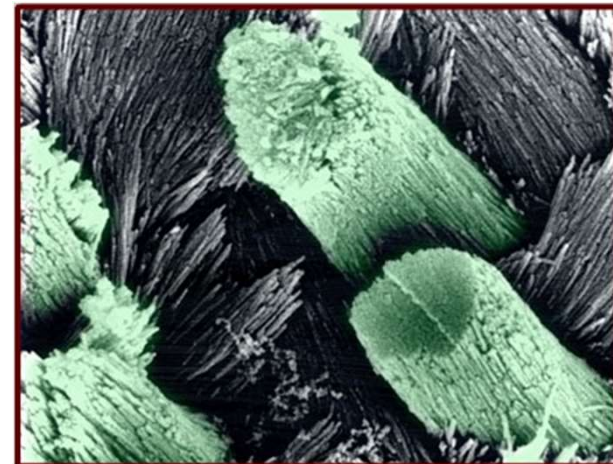
X =
OH : Hydroxiapatit
F : Fluorapatit



- 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

← Zahl der Schottky-Defekte (n_s):

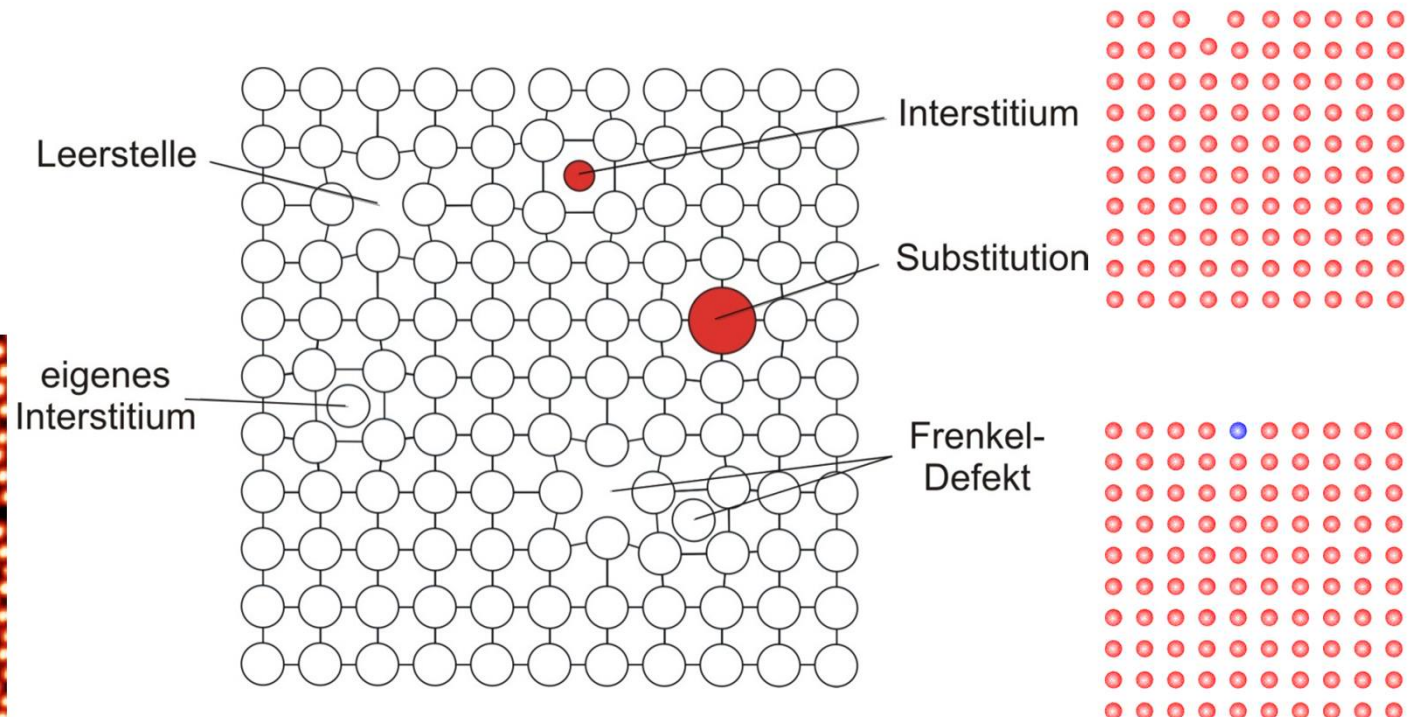
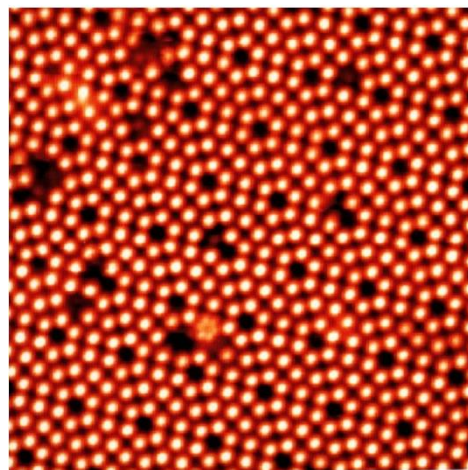
Aktivierungsenergie
(\approx Bindungsenergie)

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

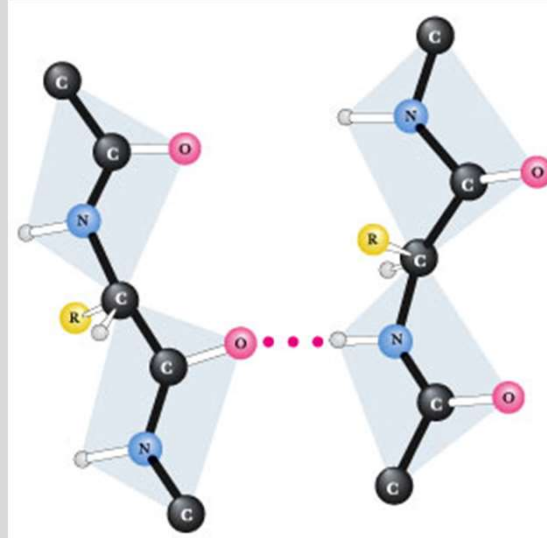
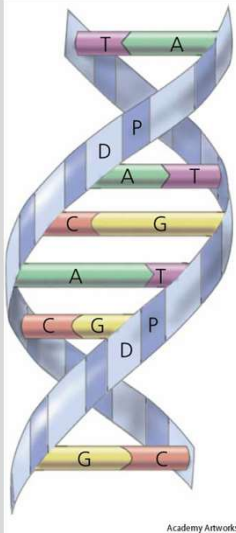
- Fremdatome (chemische Fehler, Dotierung)

- Substitutionsatom
 - Interstitielles Atom (Interstitium)

Zahl der besetzten Gitterstelle
(\approx Zahl der Atome)



Thermische Fehler in biologischen Makromolekülen:



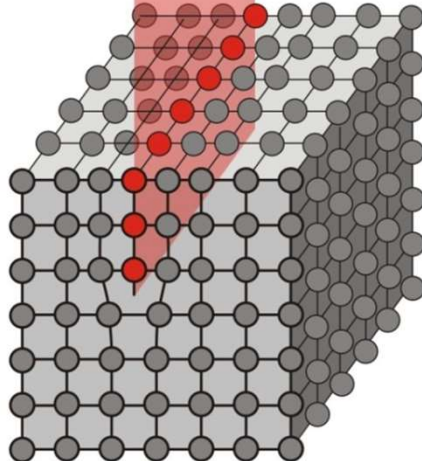
Zahl der aufgespalteten H-Brücken

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

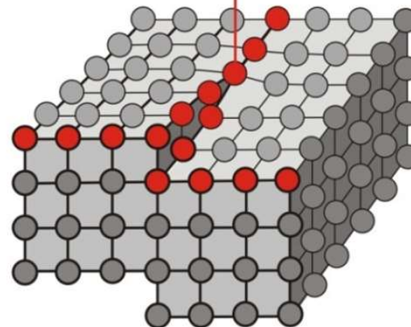
Zahl der intakten H-Brücken

— Versetzungen (Dislokationen)

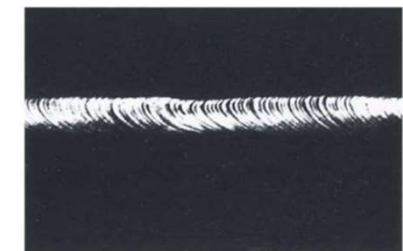
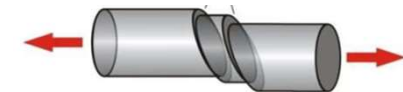
Stufenversetzung



Schraubenversetzung

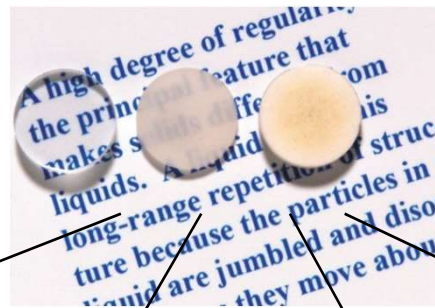
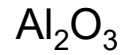


Spielen eine wichtige Rolle bei der mechanischen Eigenschaften des Stoffes



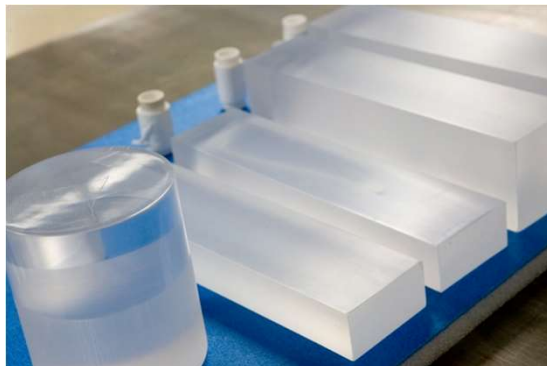
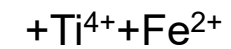
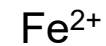
Gitterfehler \Rightarrow Eigenschaften!!

z. B. optische
Eigenschaften



Rubin

\rightarrow siehe Rubinlaser



(unter Röntgenbestrahlung)

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

7. 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

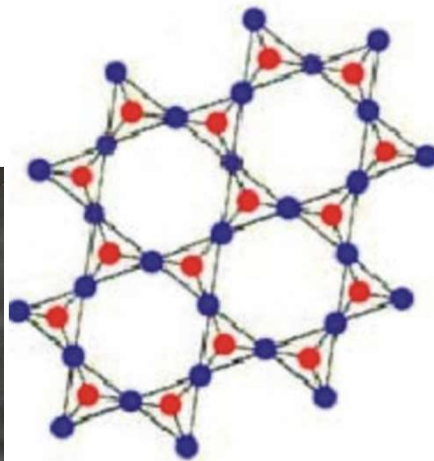


Siehe: Pechtropfenexperiment

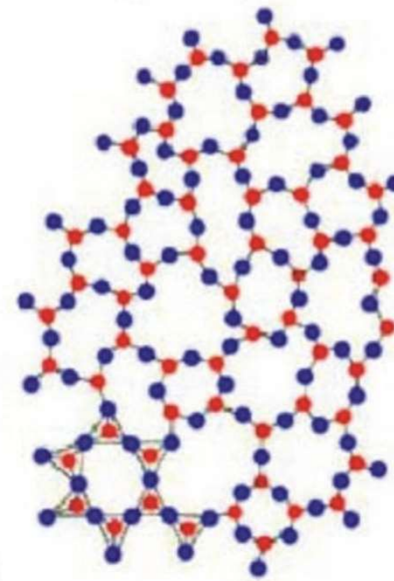


= gefrorene unterkühlte Flüssigkeiten, Gläser !

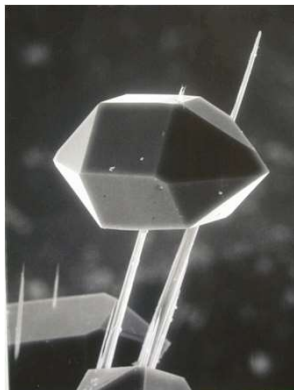
kristallines SiO_2



amorphes SiO_2



Quartz



Glas



Ein Beispiel:
Längster Versuch der Welt

- Pechtropfen-Experiment
- In 1927 gestartet
- 9 Tropfen



Thomas
Parnell

(in 1938, 1947, 1954,
1962, 1970, 1979,
1988, 2000 und 2014



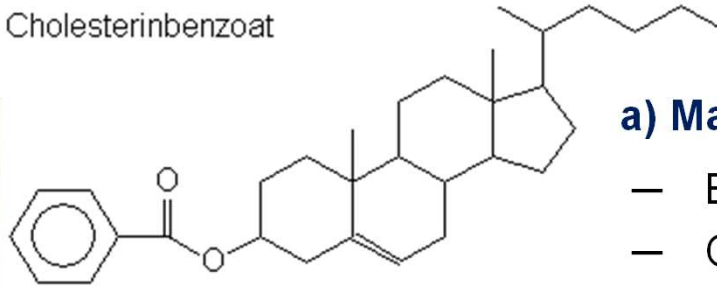
<https://de.wikipedia.org/wiki/Pechtropfenexperiment>

<http://www.nature.com/news/world-s-slowest-moving-drop-caught-on-camera-at-last-1.13418>

8. Flüssigkristalle - Mesophase zw. dem festen und flüssigen Zustand

1883 Reinitzer

Cholesterinbenzoat



a) Makroskopische Beschreibung:

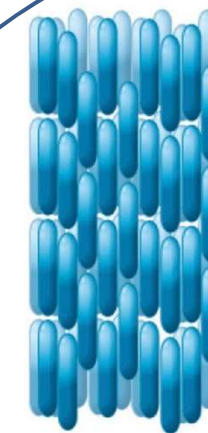
- Eigenvolumen aber keine Eigenform
- Optische Anisotropie
- Eigenschaften sind empfindlich gegen schwache äußere Einwirkungen

b) Mikroskopische Beschreibung:

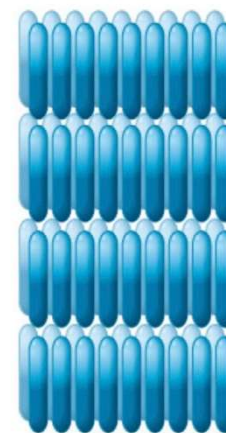
- Teilweise geordnete Strukturen (Orientierung, Schichten)
- Faden-, stäbchen, oder scheibenförmige Moleküle



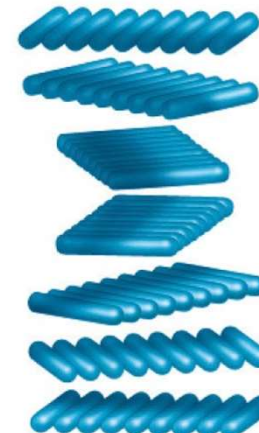
Translations-, und Orientationsordnung



nematisch



smektisch

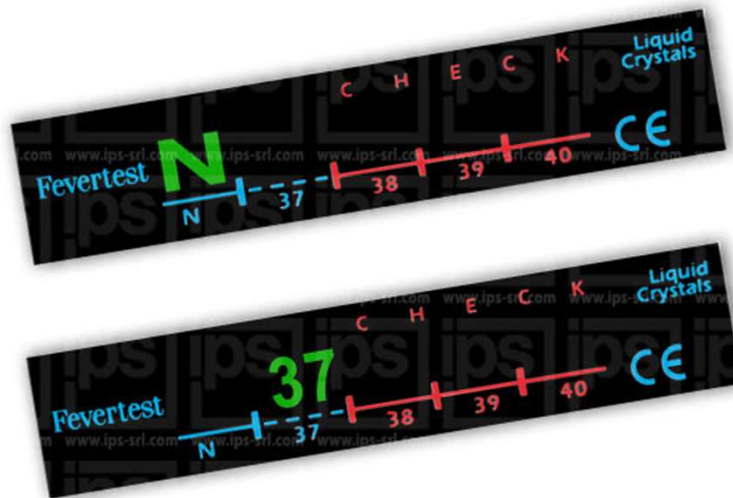
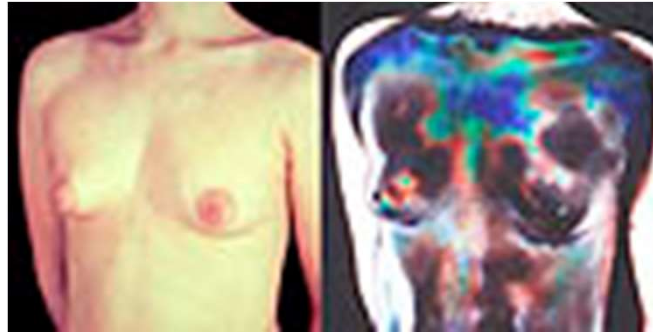
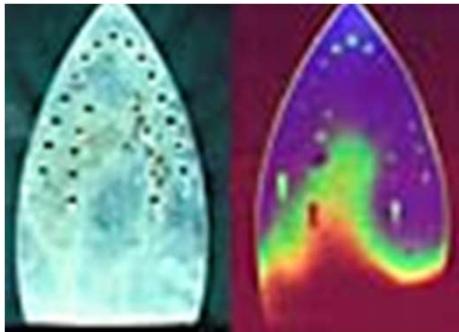


cholesterisch

c) Anwendungen von Flüssigkristallen:

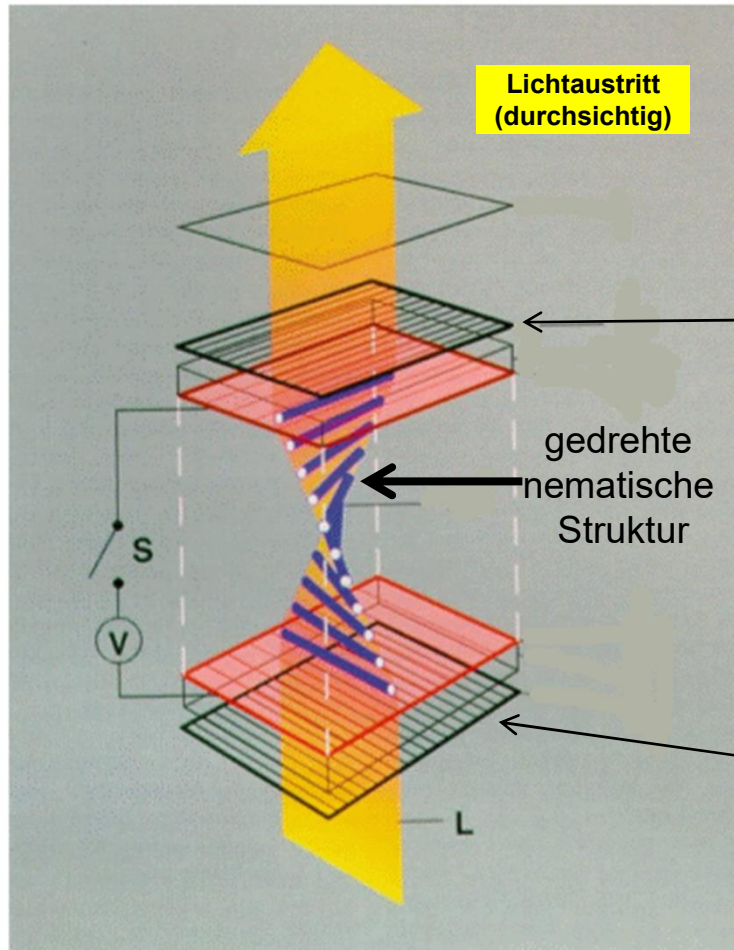
Kontaktthermographie/Plattenthermographie

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)



2. Polarisator

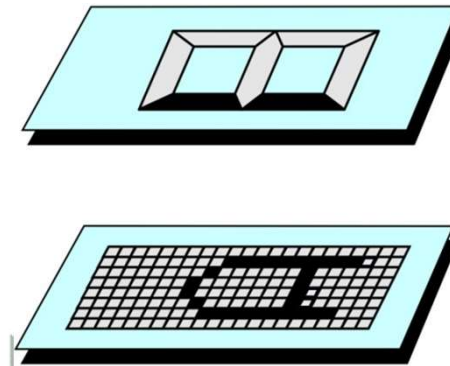
Orientierungs-
fläche

Flüssigkristall-
moleküle

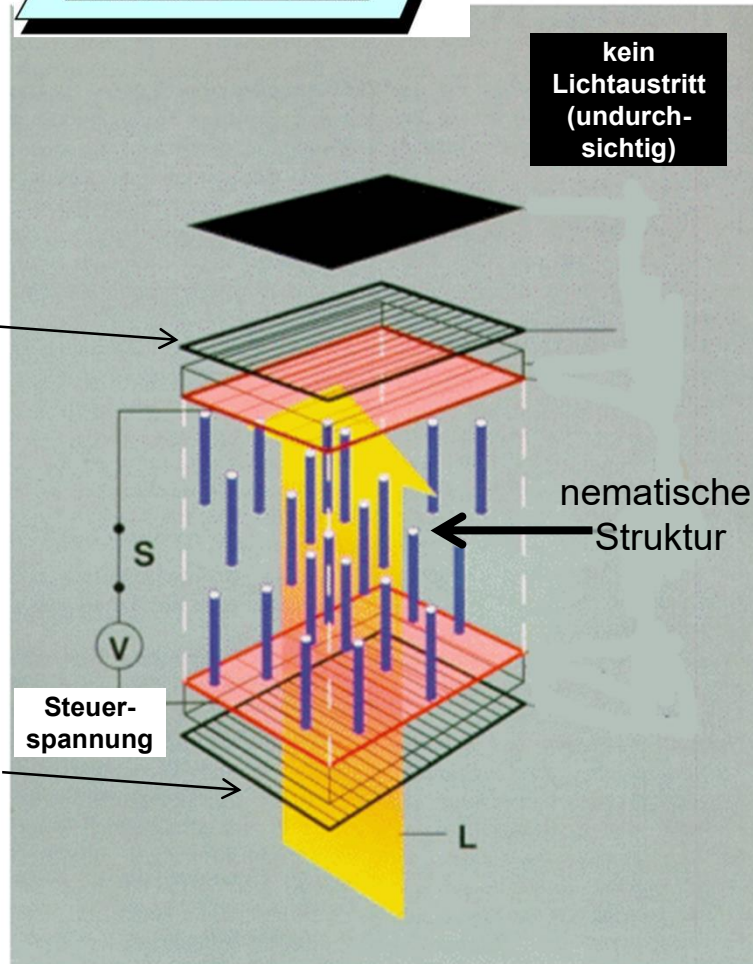
Orientierungs-
fläche

1. Polarisator

unpolarisiertes
Licht



kein
Lichtaustritt
(undurch-
sichtig)



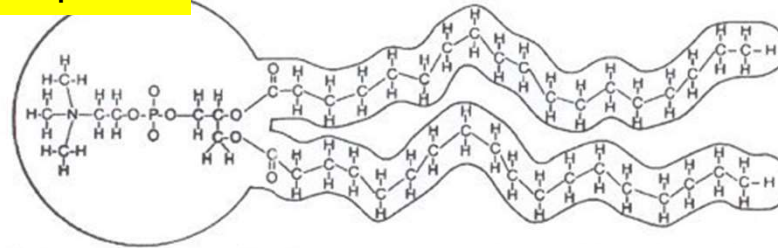
Steuer-
spannung

nematische
Struktur

d) Lyotrope Flüssigkristalle:

Beispiel

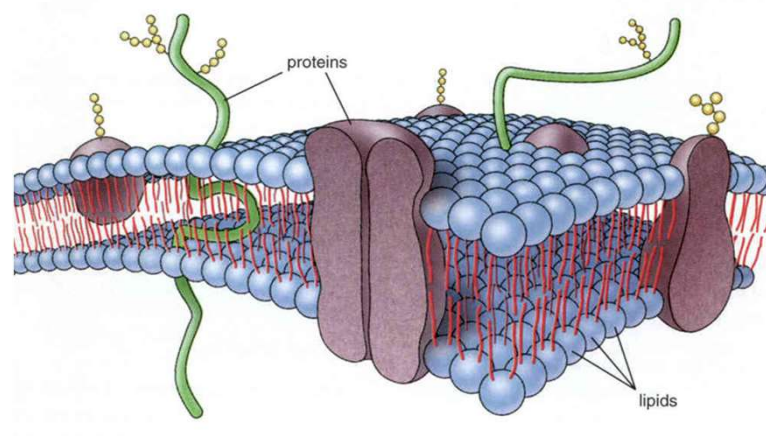
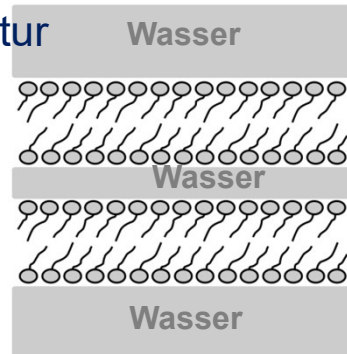
Phospholipidmolekül



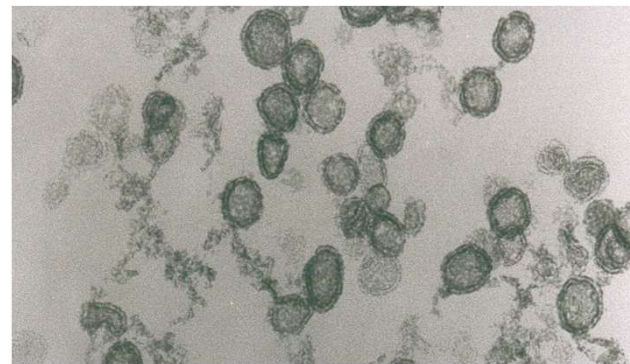
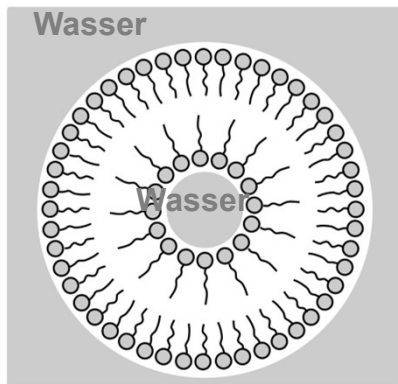
Hydrophiler Teil

Hydrophober Teil

Lamellare Struktur



Liposom



Hausaufgaben:

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

