

Struktur der Materie: Aggregatzustände, atomare und molekulare Wechselwirkungen.

Balázs Kiss

kissb3@gmail.com



**Institut für Biophysik und Strahlenbiologie,
Myofilament-Mechanobiophysik Forschungsgruppe,
Semmelweis Universität**

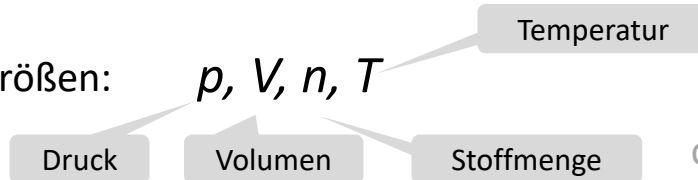
28. Oktober 2025.

	Fest	Flüssig	Gasförmig
Eigenvolumen	+	+	-
Eigenform	+	-	-

Gasförmiger Aggregatzustand

a) Makroskopische Beschreibung:

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



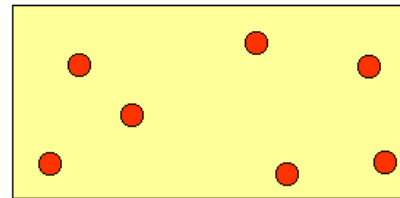
allgemeine Gaskonstante
 $R = 8,31 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (\text{für ideale Gase})$$

$$\text{oder } p \cdot V = \nu \cdot R \cdot T$$

b) Mikroskopische Beschreibung:

- Ungeordnet
- freie Teilchenbewegungen



(elastische Stöße)

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

durchschnittliche Geschwindigkeit des Teilchens

d) Kinetische Energie von 1 mol Gasteilchen:

durchschnittliche kinetische Energie
von einem Mol Teilchen

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

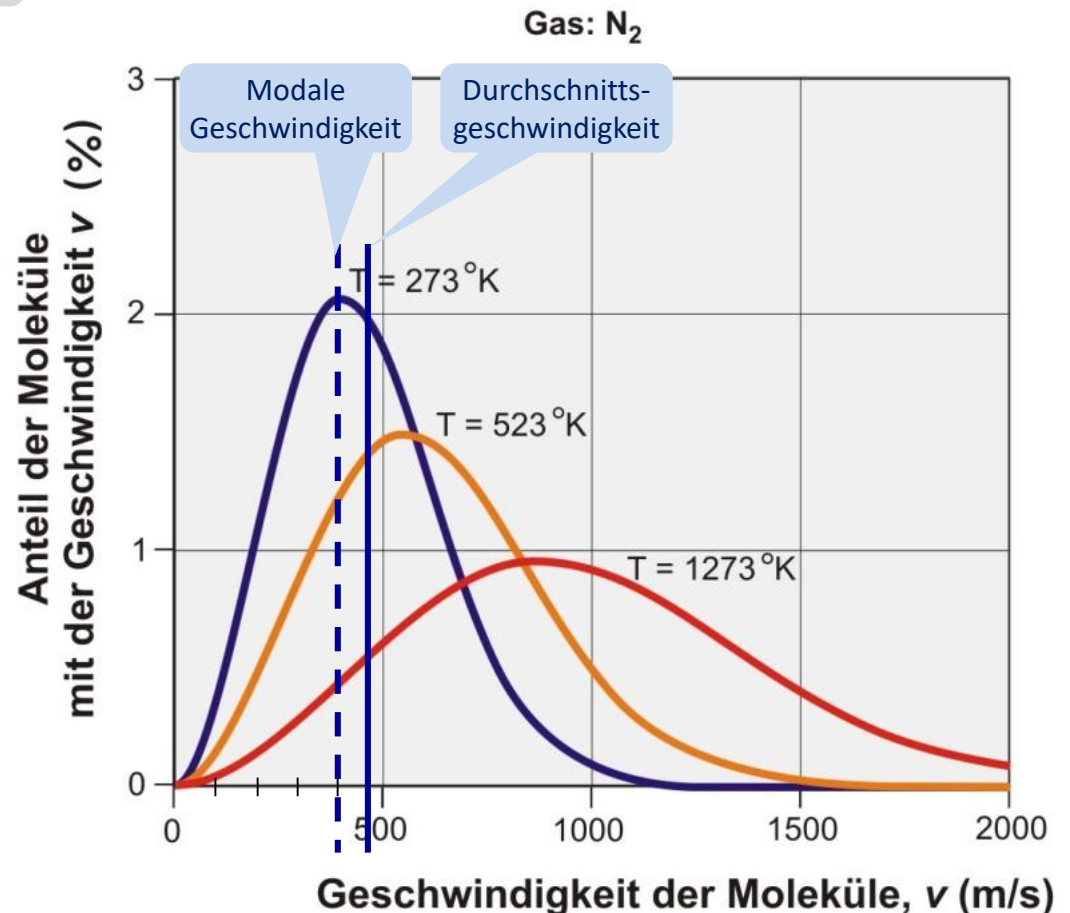
$$\overline{E}_{\text{kin, mol}} = \frac{1}{2} M \overline{v^2} = \frac{3}{2} RT$$

Molare Masse
in kg/mol

e) Maxwell-Boltzmann-Verteilung

Eigenschaften:

- die Momentangeschwindigkeit ist für jedes Teilchen unterschiedlich
- nichtsymmetrisch
- modale Geschwindigkeit (häufigster Wert) ist kleiner, als Durchschnittsgeschwindigkeit der Teilchen
- mit zunehmender Temperatur nimmt die Breite der Kurve zu
- mit zunehmender Temperatur nimmt die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen zu



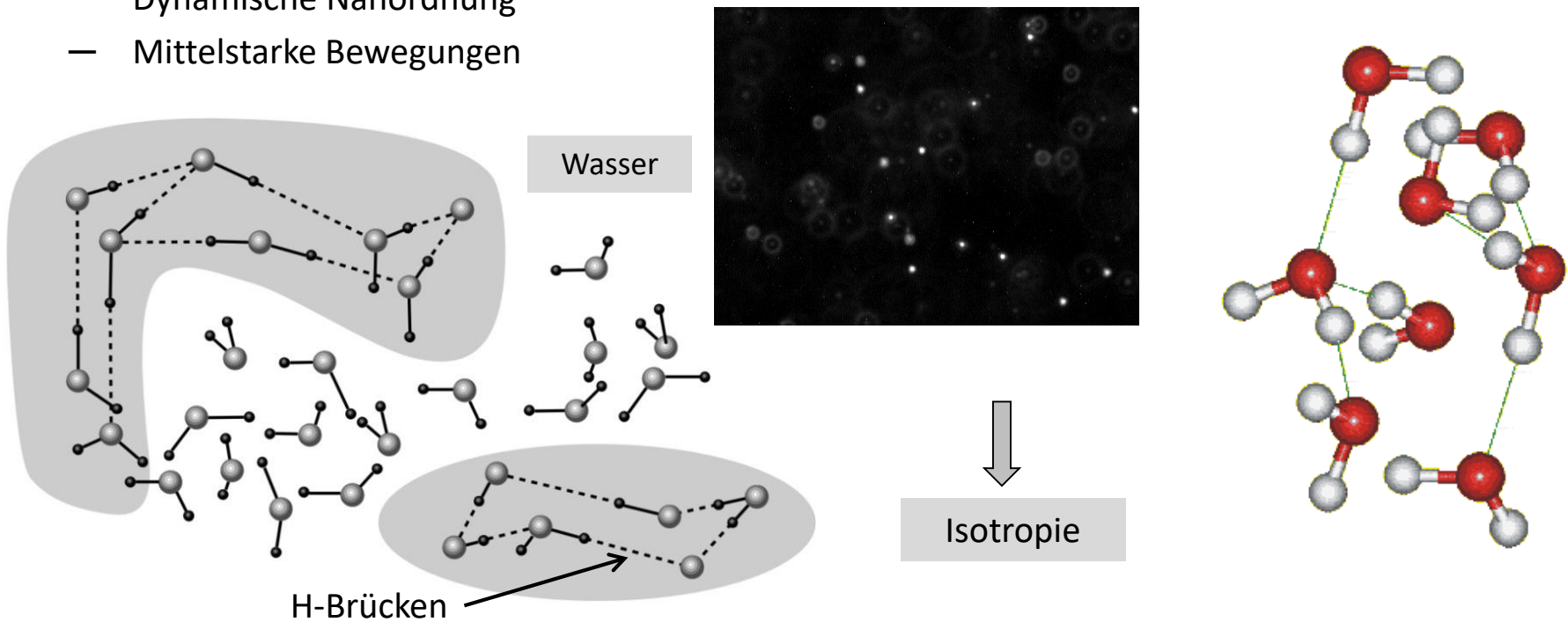
Flüssiger Aggregatzustand

a) Makroskopische Beschreibung:

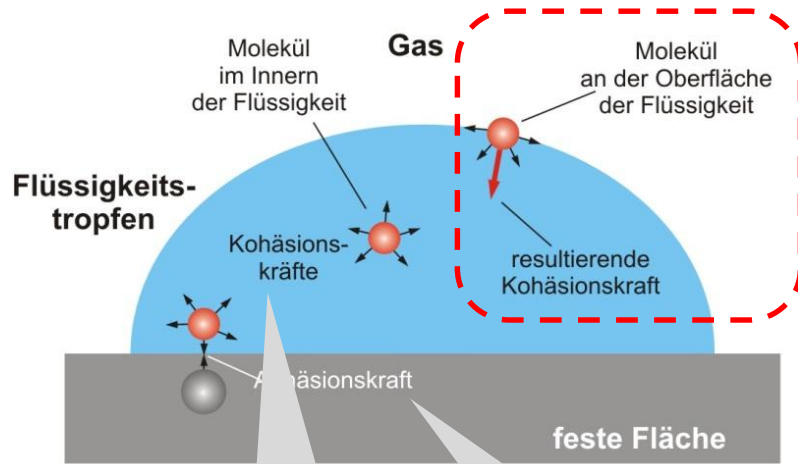
- Eigenvolumen aber keine Eigenform (keine rückstellende Scherkräfte)
- Isotrop
- Viskosität (innere Reibung)
(s. später bei Transportprozessen)

b) Mikroskopische Beschreibung:

- Dynamische Nahordnung
- Mittelstarke Bewegungen



c) Oberflächenspannung oder spezifische Oberflächenenergie (σ):



Anziehende Wechselwirkungen zwischen den Molekülen

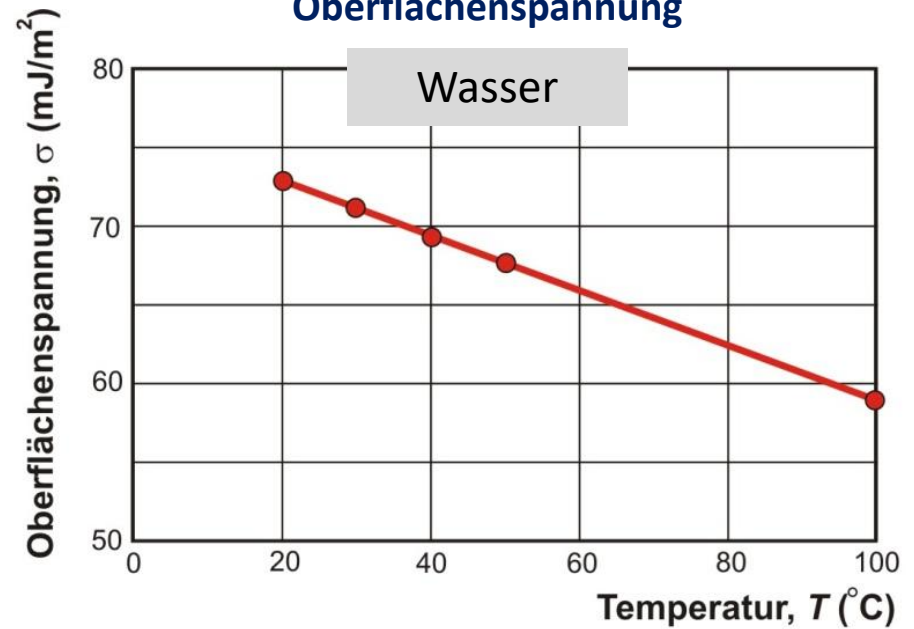
Anziehende Wechselwirkungen zwischen Molekül und Fläche

Zur Flächenvergrößerung von ΔA nötige Energie

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

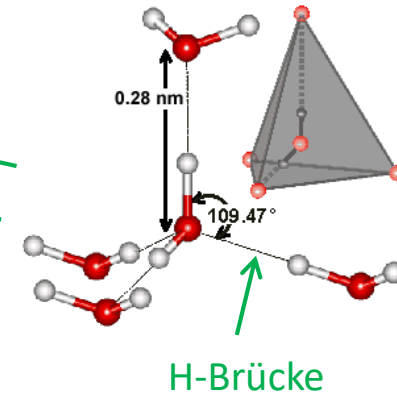
Oberflächenvergrößerung

Die Temperaturabhängigkeit der Oberflächenspannung

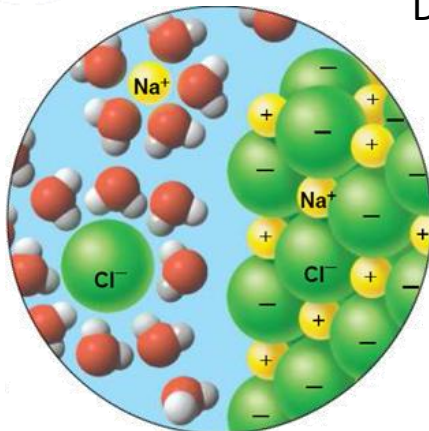
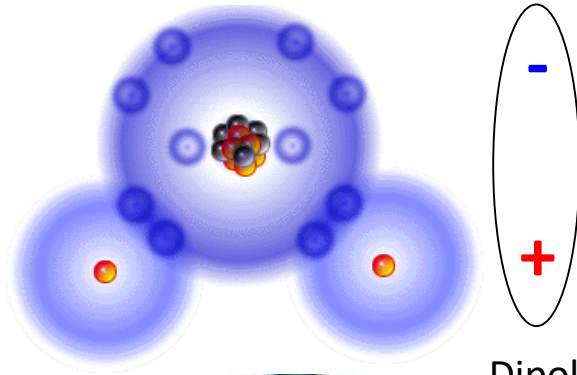


Wasser und seine besondere Eigenschaften

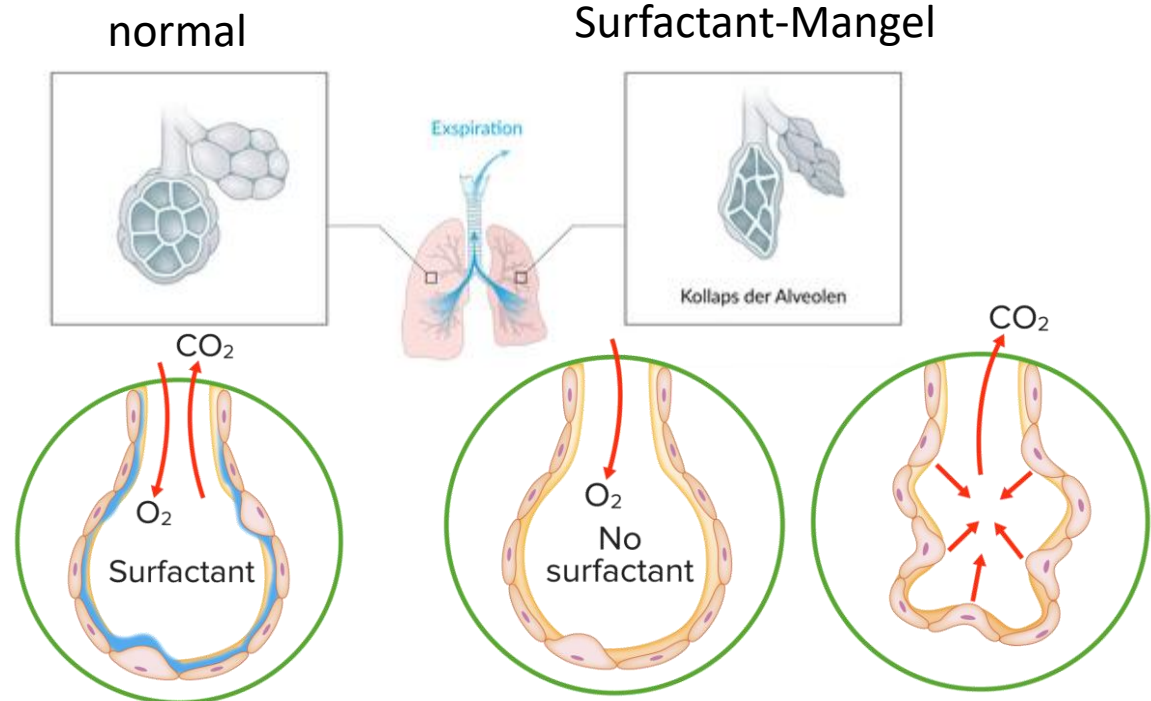
- hohe spezifische Wärmekapazität, Schmelzwärme und Verdampfungswärme
- hohe Oberflächenspannung
- gutes Lösungsmittel für viele Stoffe



Wassermolekül



Neonatales Atemnotsyndrom



Feste Stoffe

Kristalle (Festkörper)



amorphe Stoffe



Fester Aggregatzustand - Kristalle

a) Makroskopische Beschreibung:

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

z. B. Al_2O_3

Einkristall

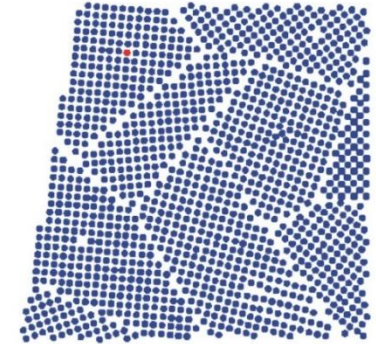
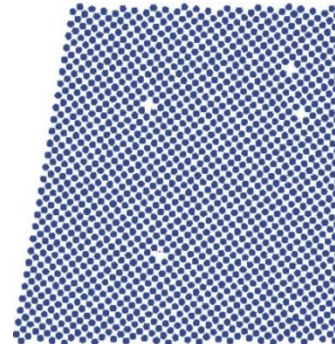
Polykristall



(besteht aus mehreren Kristallen)

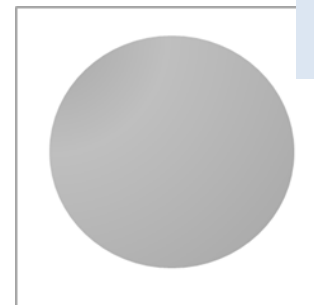
Einkristall

Polykristall

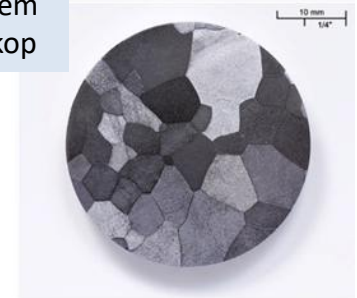


ein Korn

mehrere Körner



Unter dem Mikroskop

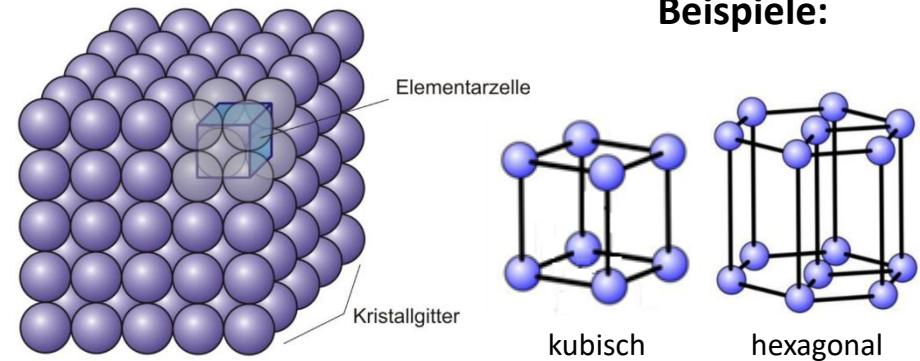


oft anisotrop

oft isotrop

b) Mikroskopische Beschreibung:

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

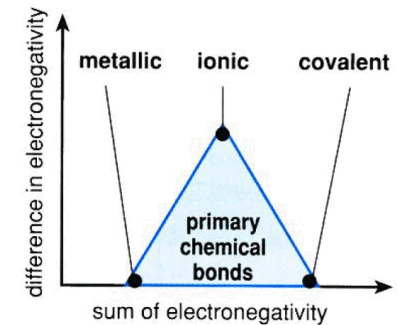


c) Kristalltypen:

- Atomkristall (kovalente Bindung)



- Ionenkristall (Ionenbindung)



- Metallkristall (Metallbindung)

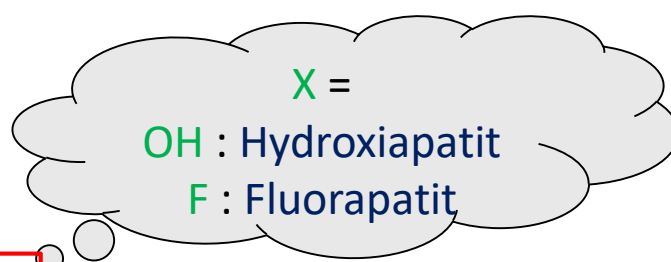


- Molekülkristall (sekundäre Bindung)

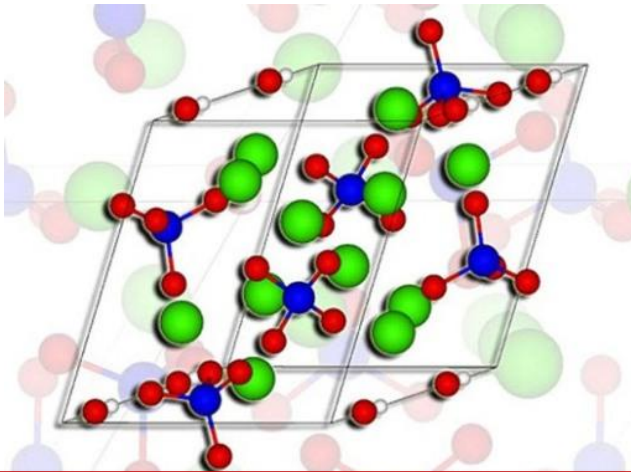


Bindungsenergie (E_0) \longrightarrow Eigenschaften, wie Schmelzpunkt, Schmelzwärme, Steifigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient, ...

Apatit

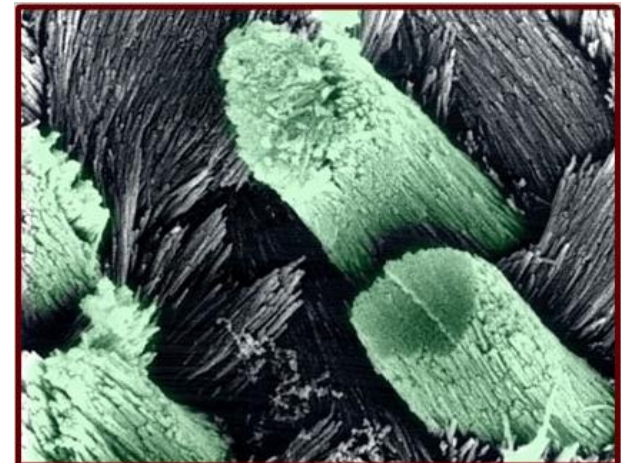


- ein hexagonales Ionenkristall
- anorganische Substanz der harten Gewebe (Knochen, Dentin, Zahnschmelz)
- etwa 2/3 des Knochengewebes



Dentin, Knochen: 20-60 nm x 6 nm große Kristalle

Zahnschmelz: 500-1000 nm x 30 nm große Kristalle



d) Gitterfehler:

— Punktfehler

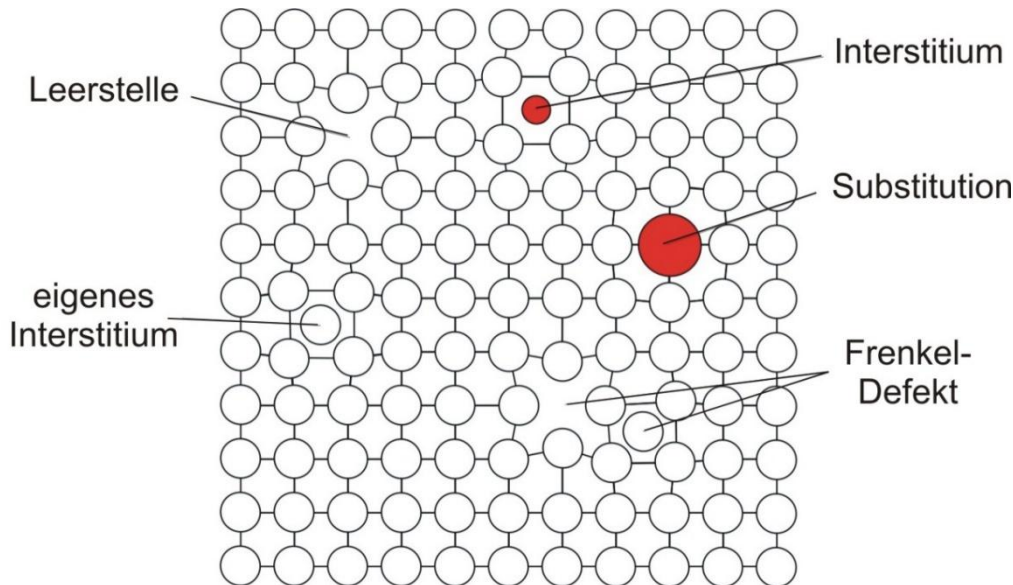
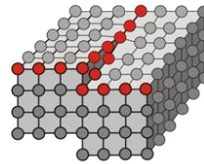
— Thermische Fehler

- Leerstelle (Vakanz, Schottky-Defekt)
- Interstitium (Zwischengitteratom)
- Frenkel-Defekt

— Fremdatome (chemische Fehler, Dotierung)

- Substitutionsatom
- Interstitielles Atom (Interstitium)

— Versetzungen (Dislokationen)



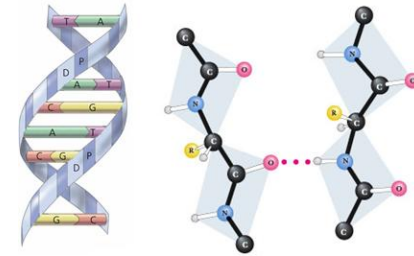
Zahl der Schottky-Defekte (n_s):

Zahl der aufgespalteten H-Brücken

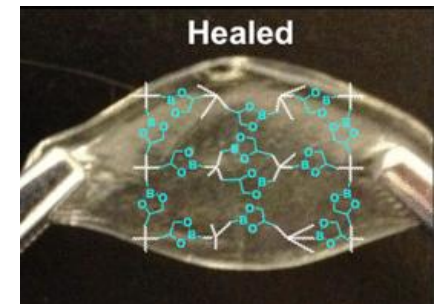
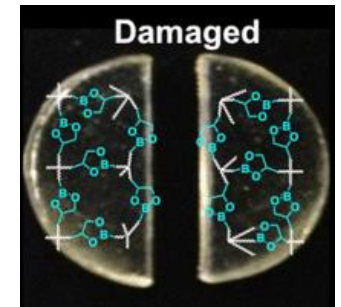
$$n_s = N \cdot e^{-\frac{\varepsilon_s}{kT}}$$

Aktivierungsenergie
(\approx Bindungsenergie)

Gilt auch für die thermische Fehlstellen in biologischen Makromolekülen...



Technische Anwendung: selbstheilendes Polymer



Fester Aggregatzustand - Amorphe Stoffe

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

a) Makroskopische Beschreibung:

- Eigenvolumen aber keine Eigenform
- Isotrop
- sehr hohe Viskosität

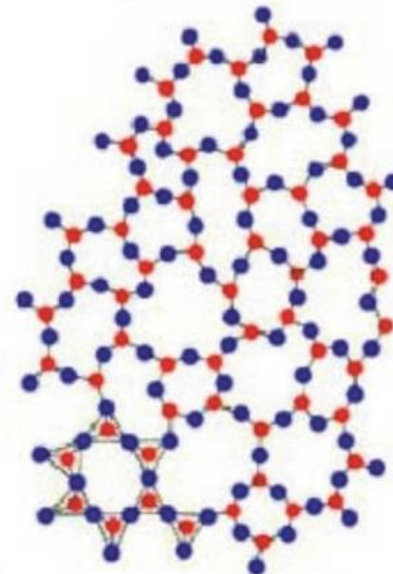
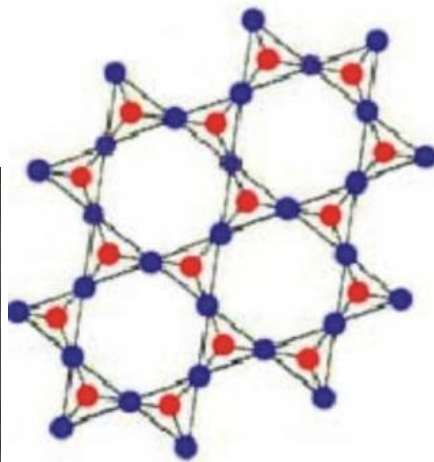


b) Mikroskopische Beschreibung:

- Nahordnung
- Schwache Bewegungen = gefrorene unterkühlte Flüssigkeiten, Gläser

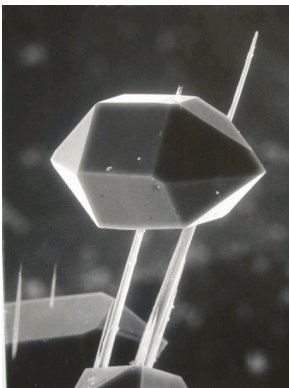
kristallines SiO_2

amorphes SiO_2



● Si ● O

Quartz



Glas

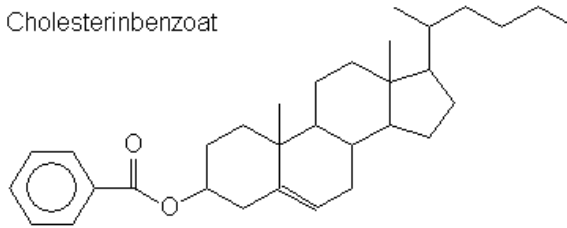


Flüssigkristalle

Mesophase zw. dem festen und flüssigen Zustand



Cholesterinbenzoat

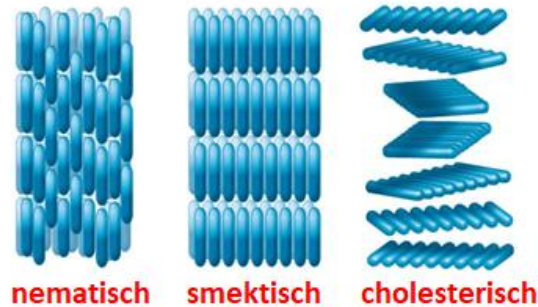


a) Makroskopische Beschreibung:

- 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



LCD-Anzeige

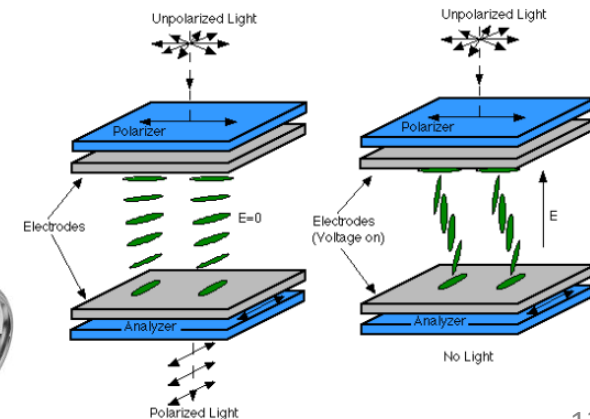
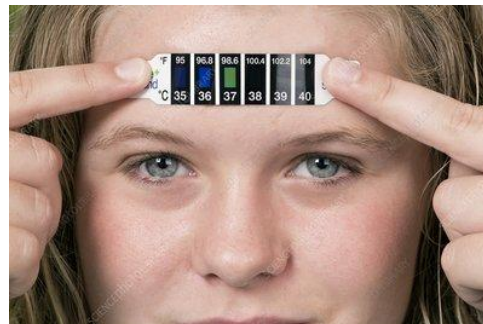
Grundlage: **elektro-optisches Phänomen**

c) Anwendungen von Flüssigkristallen:

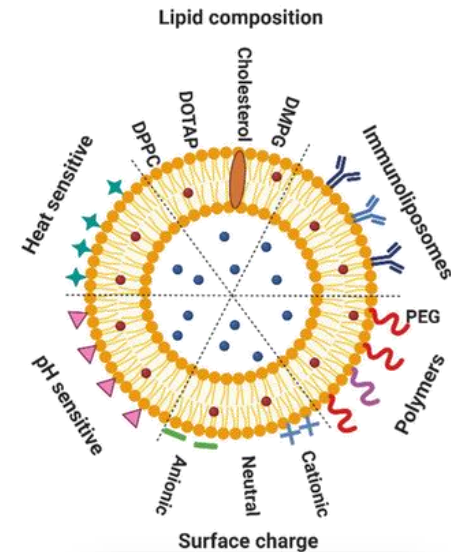
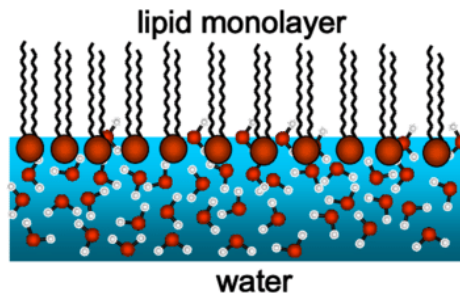
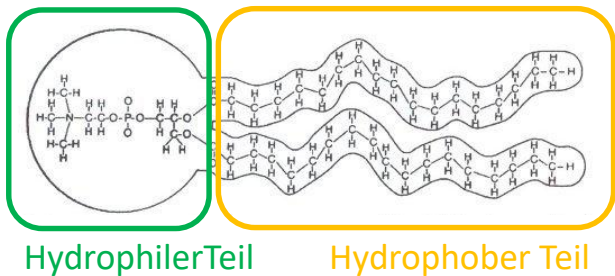
Kontaktthermographie

Grundlage: **thermo-optisches Phänomen**

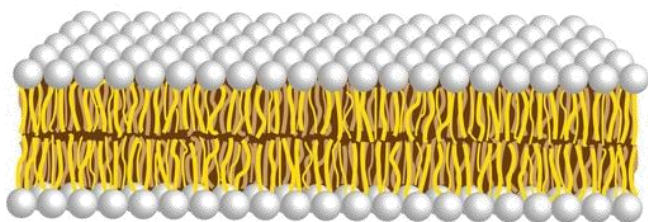
(bei Temperaturänderungen ändern sich die optischen Eigenschaften)



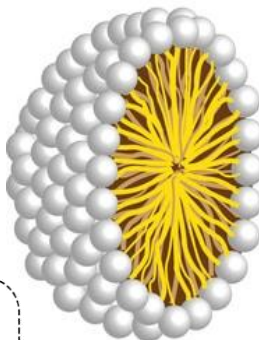
d) Lyotrope Flüssigkristalle: Beispiel: Phospholipidmolekül



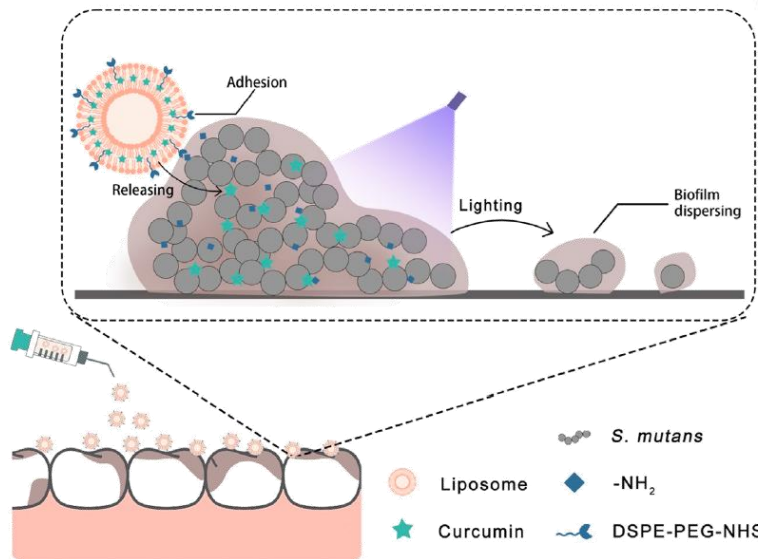
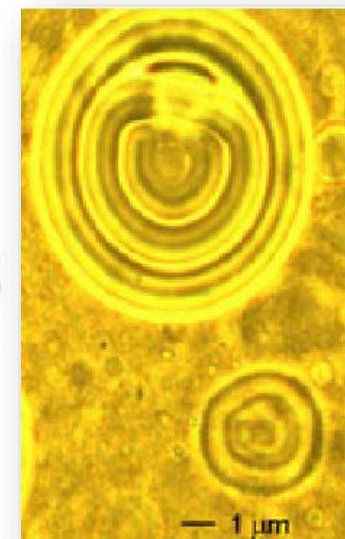
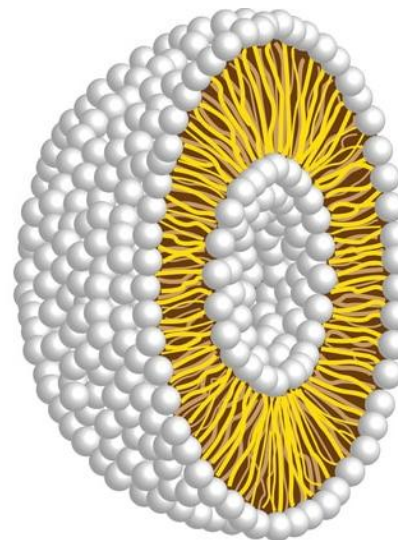
Lamellare Struktur



Mizelle



Liposom



Zahnmedizinisches Anwendungsbeispiel: Antibiofilm

Plaque-Biofilme, die hauptsächlich von *Streptococcus mutans* gebildet werden, spielen eine wichtige Rolle bei der Entstehung und Entwicklung von Zahnkaries. **Liposomen** geladen mit Antibiotika besitzen hoher Wirkstoffbeladungseffizienz, hoher Stabilität und Biokompatibilität: weit verbreitet.

Hausaufgaben

Aufgabensammlung

1.22, 26, 27, 31, 34, 36, 40

Feedback