

# Biophysik für Pharmazeuten I.

2023/24 I.

Vorlesung 3

Struktur der Materie II.

# Struktur der Materie

## Feste Stoffe

### Festkörper (Kristalle)

#### Raumgitter (Kristallklassen)

##### Kristalltypen

##### Gitterdefekte

#### Mechanische Eigenschaften der Materialien

##### Deformationstypen und das Belastungsdiagramm

##### Belastungsdiagramm

##### Elastische Verformung –

Elastizität, Steifigkeit, hooksche Gesetz

##### Plastische Verformung – Festigkeit und Zähigkeit

### Amorphe (feste) Körper

### Flüssigkristalle

#### Thermotrope und Lyotrope Flüssigkristalle, Anwendungen

# Feste Stoffe

(Kristall = Festkörper)

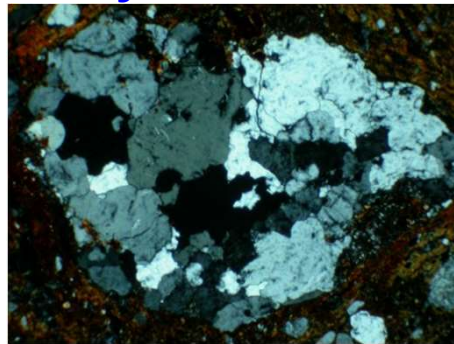
Kristalline  
Stoffe

Amorphe  
Stoffe

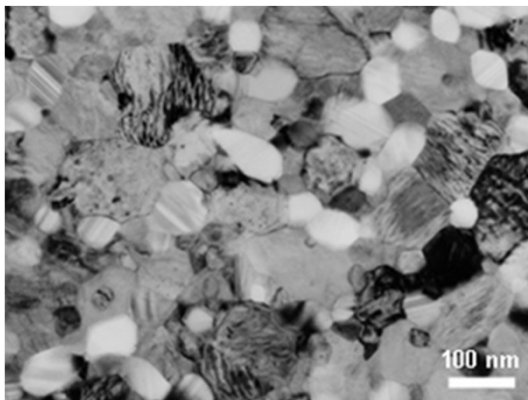
Einkristalle



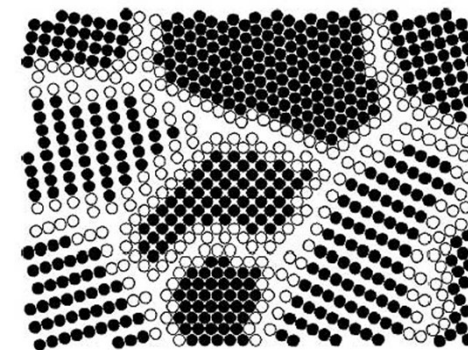
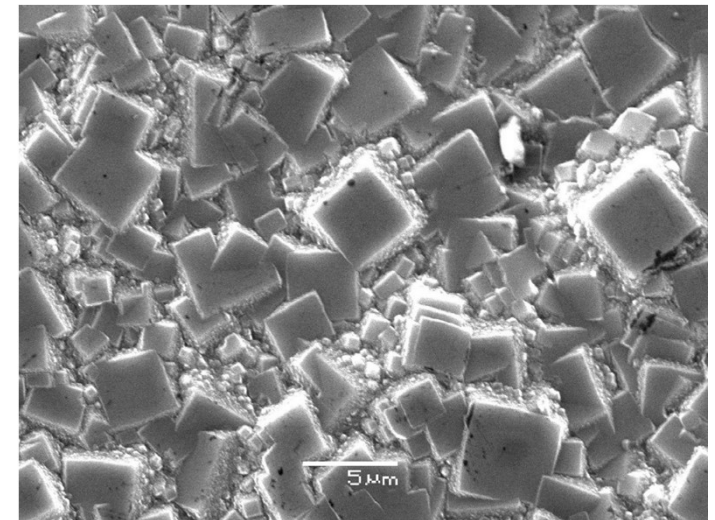
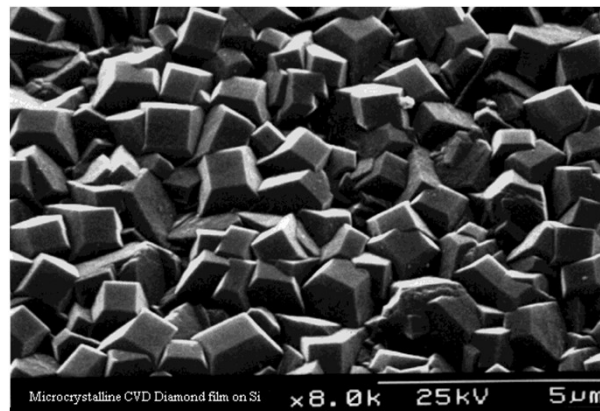
Polykristalle



Nanokristalline  
Stoffe



Mikrokristalline  
Stoffe

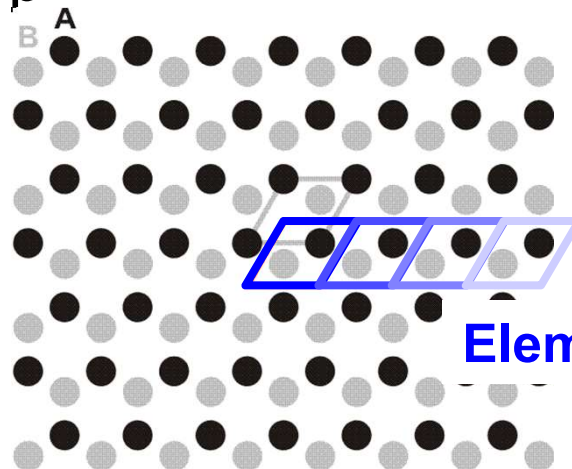


# Festkörper (Kristalle)

- Eigenvolumen/Eigenform
- Fernordnung  
geordnete Struktur in makroskopischen Bereichen
- Periodizität, Elementarzelle, Kristallgitter
- Wenig Defekte
- Schwache Bewegungen
- Oft anisotrop

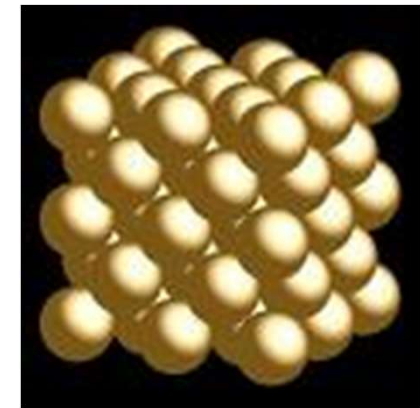


- Makroskopische
- Mikroskopische Beschreibung



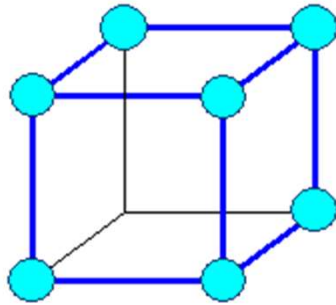
Kristallgitter  
(Raumgitter)

Elementarzelle

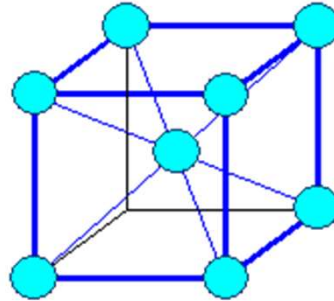


# Raumgitter (Kristallklassen)

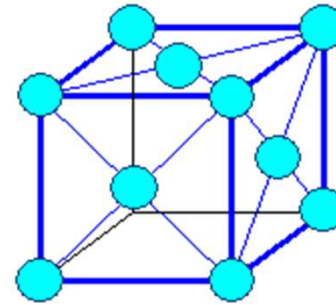
kubisch



einfach

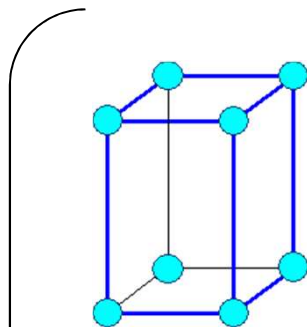
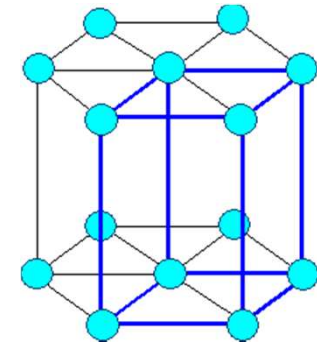


raumzentriert

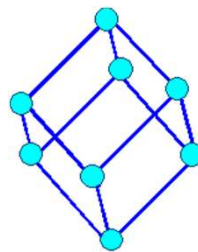


flächenzentriert

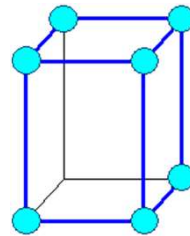
hexagonal



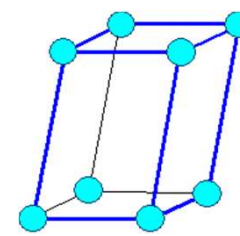
tetragonal



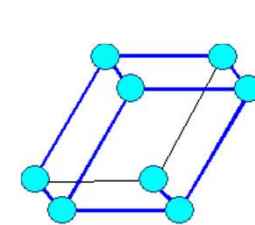
trigonal



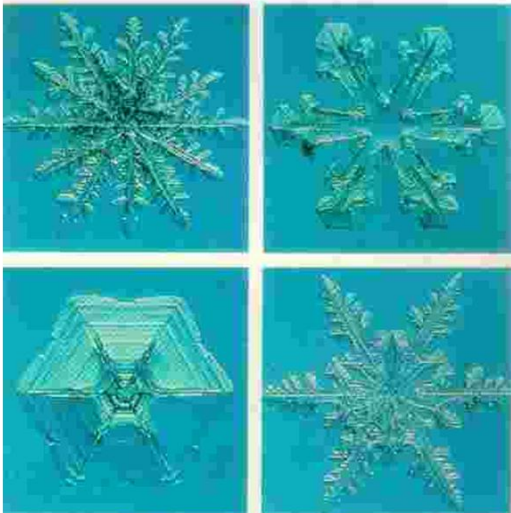
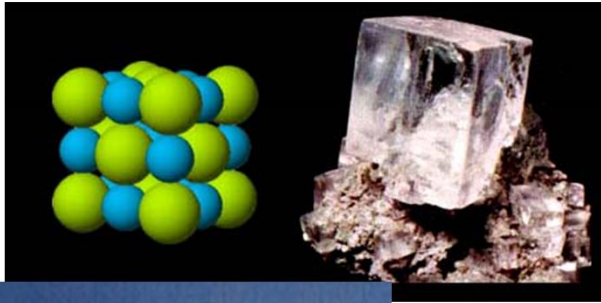
orthorombisch



monoklin



triklin

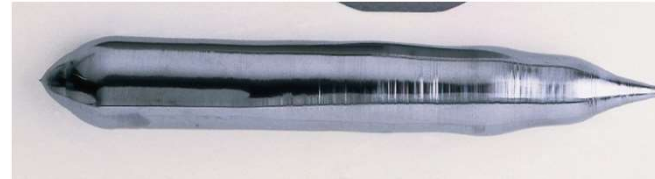


# Kristalltypen

- Atomkristall



**Diamant**



**Si**

- Ionenkristall



**Salz**



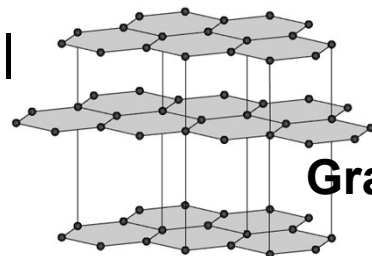
**Apatit**

- Metallkristall



**Gold**

- Molekülkristall

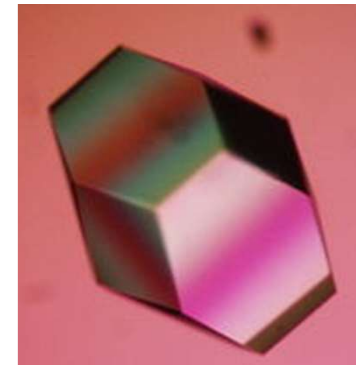


**Graphit**



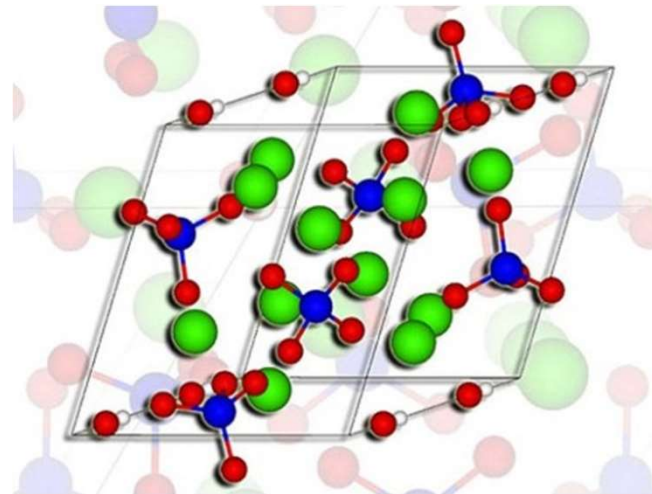
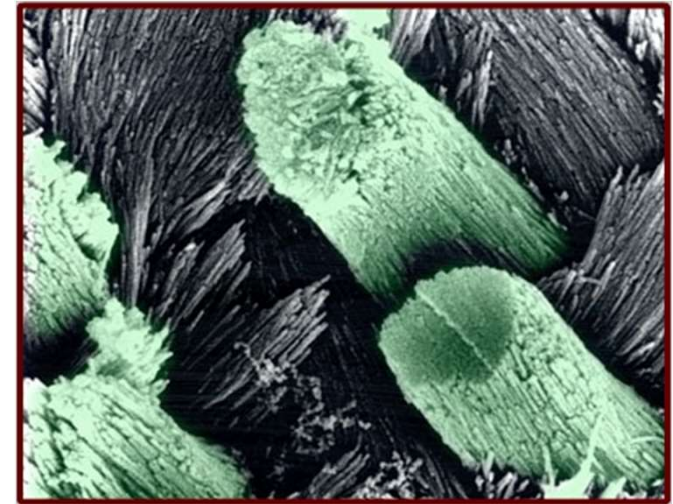
**Eis**

**Eiweiß (Lysozym)**



# Apatit

OH : Hydroxiapatit  
F : Fluorapatit



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

Zahnschmelz: 500-1000 nm x 30 nm große Kristalle

# Gitterdefekte

## • Punktdefekte

### • thermisch

- Vakanz/Leerstelle (Schottky-Defekt)
- Interstitielles Atom (Zwischengitteratom)

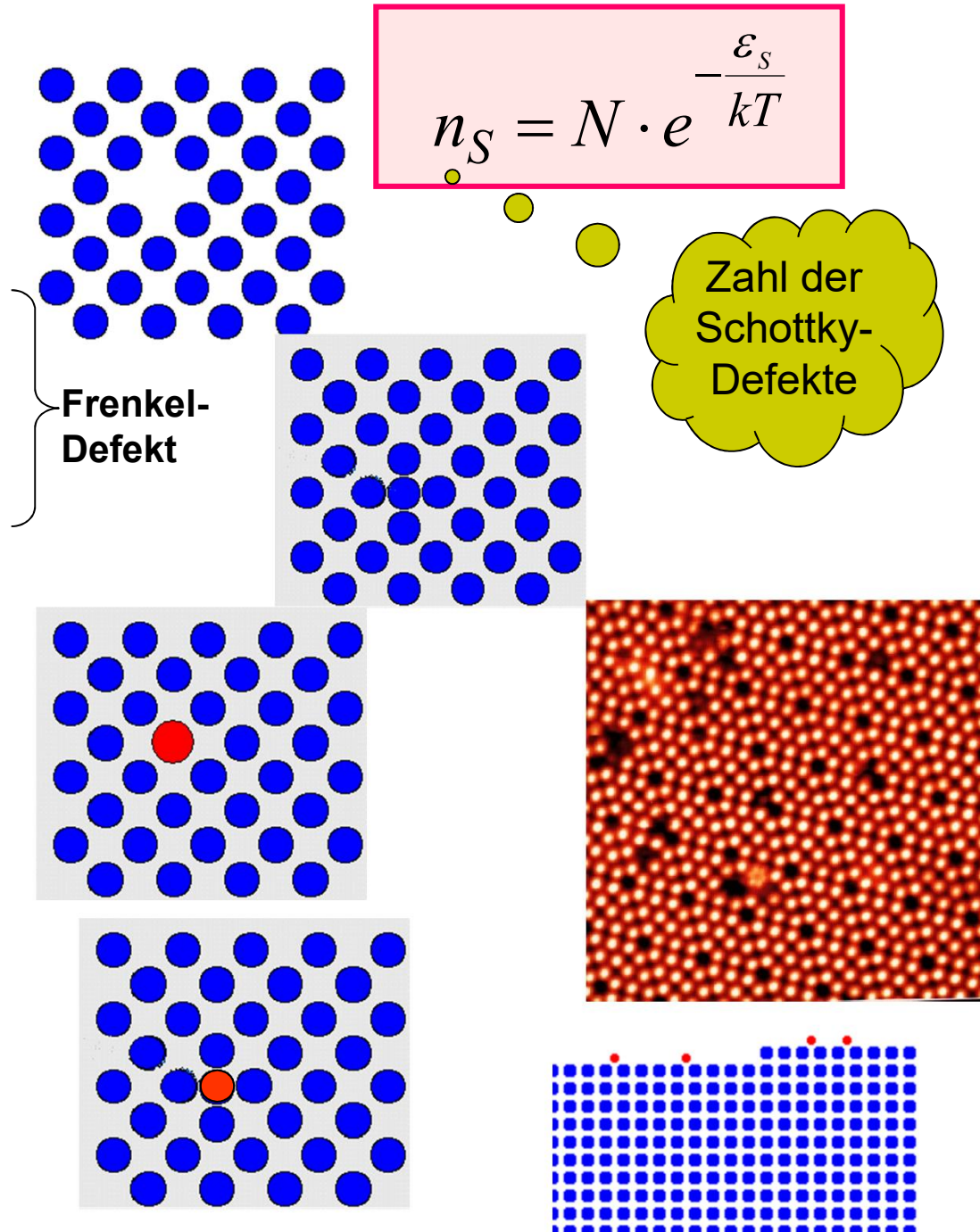
Frenkel-Defekt

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

Zahl der Schottky-Defekte

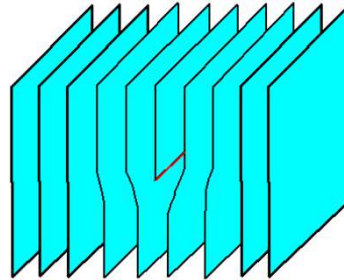
### • Fremdatom

- An einer Gitterstelle (Substitutionsatom)
- An einer Zwischengitterstelle (interstitielles Atom)

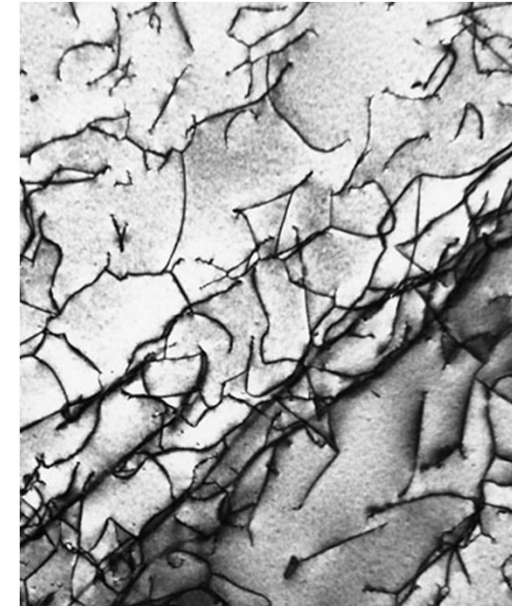


- Versetzungen

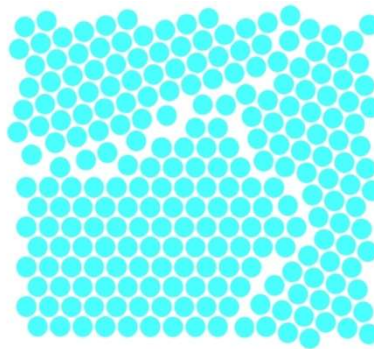
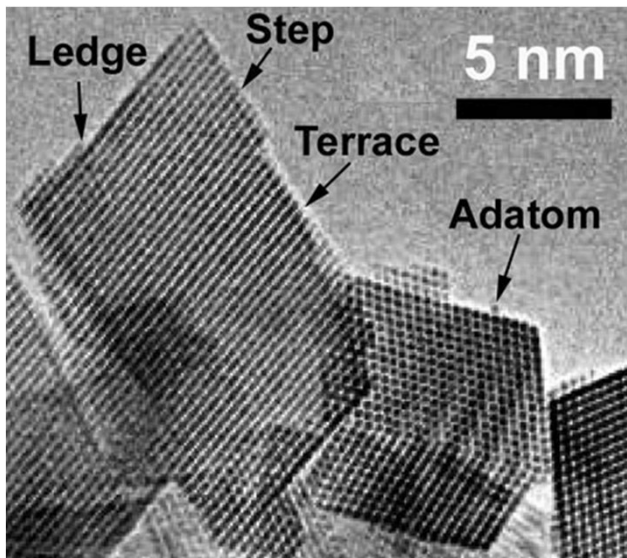
- Stufenversetzung
- Schraubenversetzung



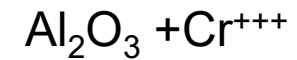
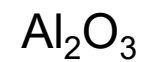
### Versetzungen in einer Ti-Legierung



- Korngrenzen

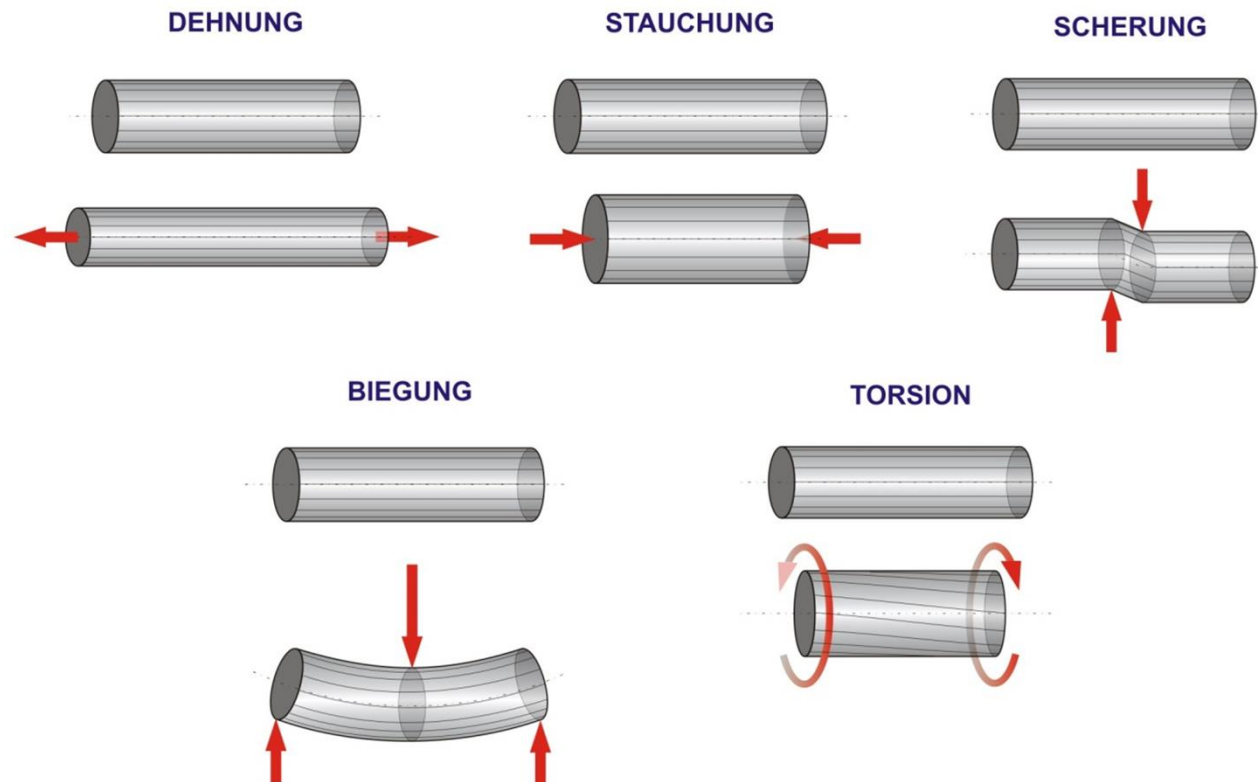


**Gitterdefekte  $\Rightarrow$  Eigenschaften!!**

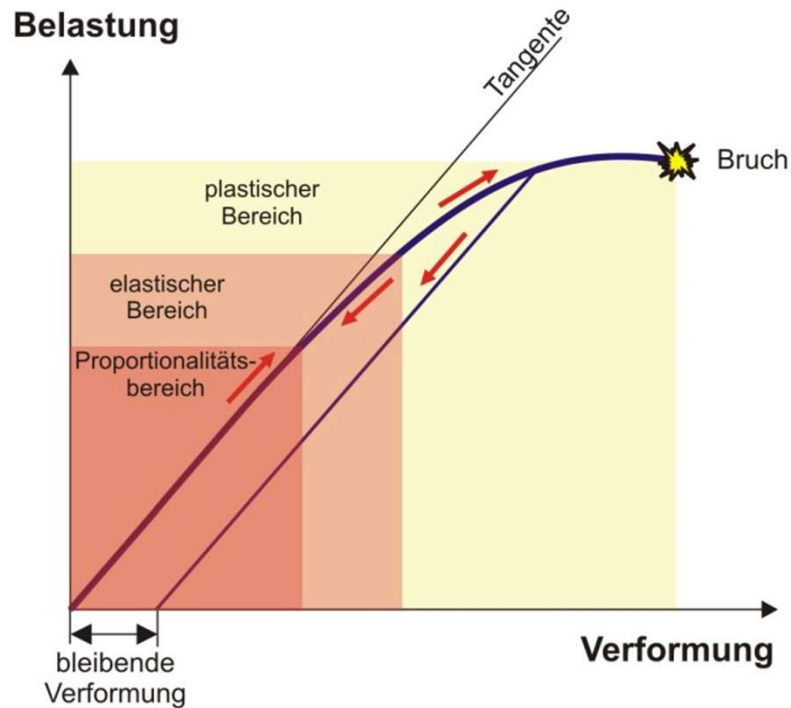


# Mechanische Eigenschaften der Materialien

## a) Deformationstypen und das Belastungsdiagramm:



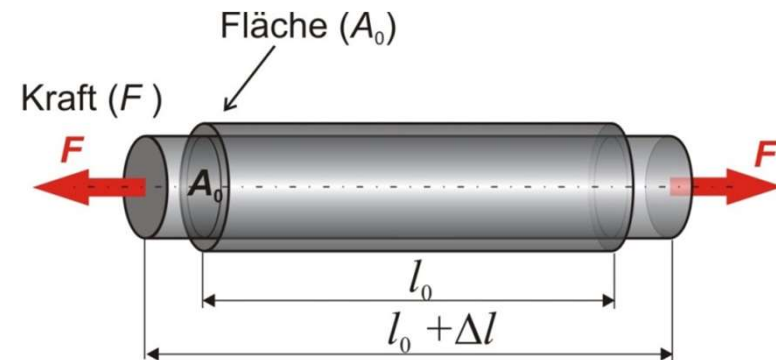
## Belastungsdiagramm/Belastung-Verformungs-Diagramm/Spannung-Dehnungs-Diagramm:



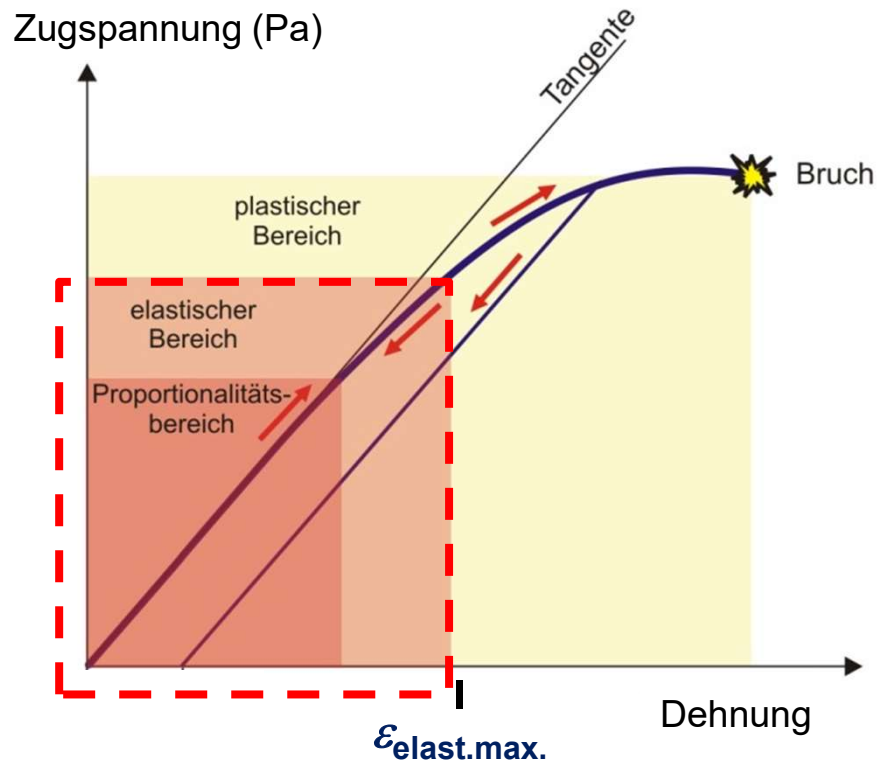
Als Beispiel wird die **Dehnung (Zug)** im Weiteren diskutiert.

Bei der Dehnung (Zug) wird die Belastung mit Hilfe der Zugspannung ( $\sigma$ ) und die Verformung mit Hilfe der Dehnung ( $\varepsilon$ ) quantitativ charakterisiert:

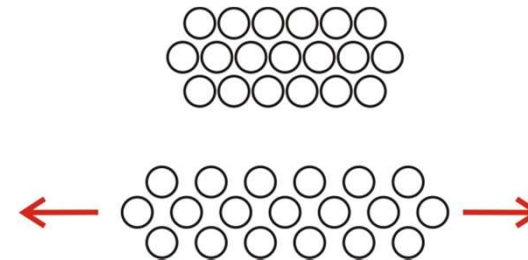
- **Zugspannung ( $\sigma$ ):**  $\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \left( \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \right)$
- **Dehnung ( $\varepsilon$ ):**  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} (\cdot 100\%)$



## b) Elastische Verformung – Elastizität, Steifigkeit und das hooksche Gesetz:



In dem **elastischen Bereich** werden die Atome ohne Aufspaltung der Bindungen reversibel voneinander entfernt :



Stoff	$\epsilon_{\text{elast.max.}}$ (%)
Knochen	0,5
Kollagen	10
Elastin	130
Aluminiumoxid	0,1
Titan	2
PMMA (Polymethylmethacrylat)	20
Silikongummi	700

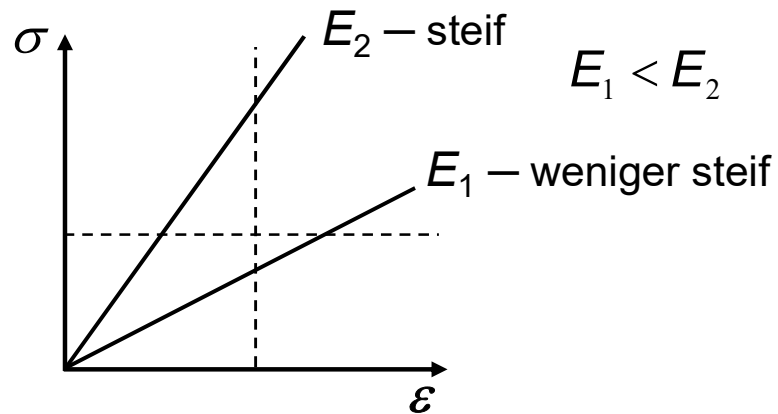
Die Elastizität eines Körpers kann mit der **elastischen Rückstellung** charakterisiert werden. Sie ist die maximal mögliche reversible Dehnung:  $\epsilon_{\text{elast.max.}}$  (%)

Die Größe  $\epsilon_{\text{elast.max.}}$  könnte man auch **Elastizität** nennen.

In dem **Proportionalitätsbereich** gilt: Zugspannung  $\sim$  Dehnung

- **Hookesches Gesetz:**  $\sigma = E \varepsilon$

Young-Modul oder Elastizitätsmodul oder  
**Steifigkeit (Pa)**



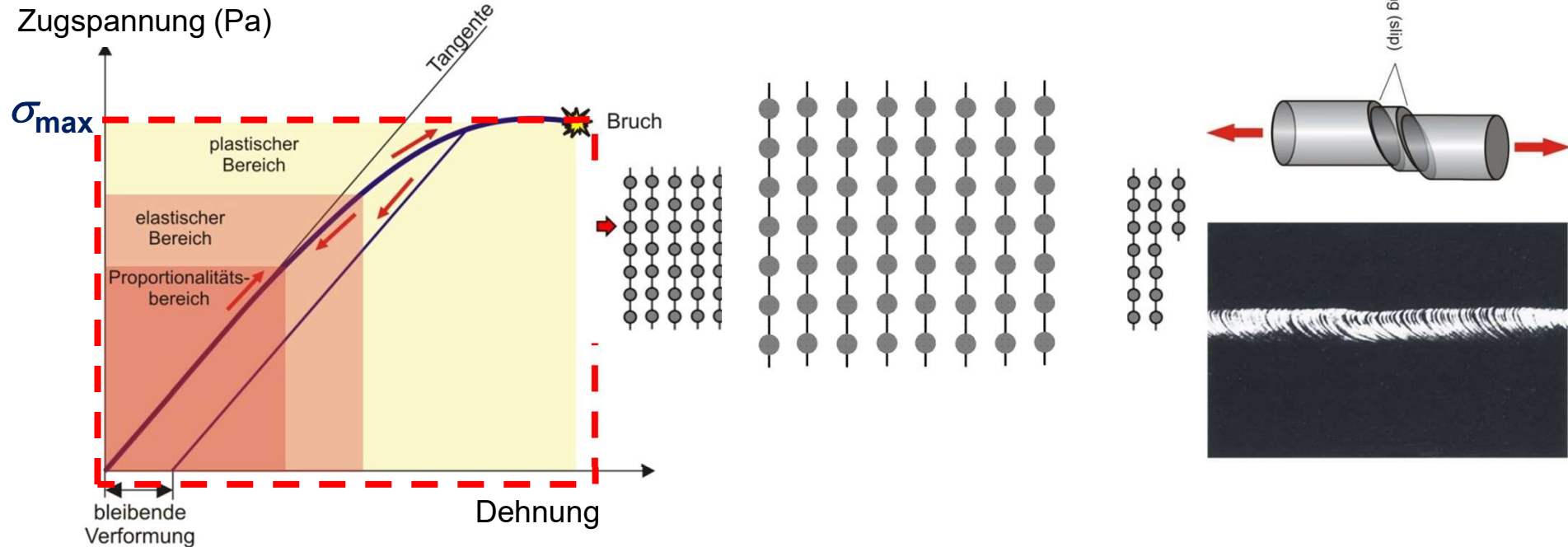
Stoff	$E$ (GPa)
Knochen	10-15
Kollagen	0,3-2,5
Bandscheibe	0,005
Elastin	0,0005
Aluminiumoxid	350-410
Stahl	220
Titan	110
PMMA (Polymethylmethacrylat)	2,4-3,8
Silikongummi	$\approx 0,0003$

Wovon hängt die Steifigkeit der Materialien ab?



Eine andere Form des hookeschen Gesetzes (für eine Feder):

### c) Plastische Verformung – Festigkeit und Zähigkeit:

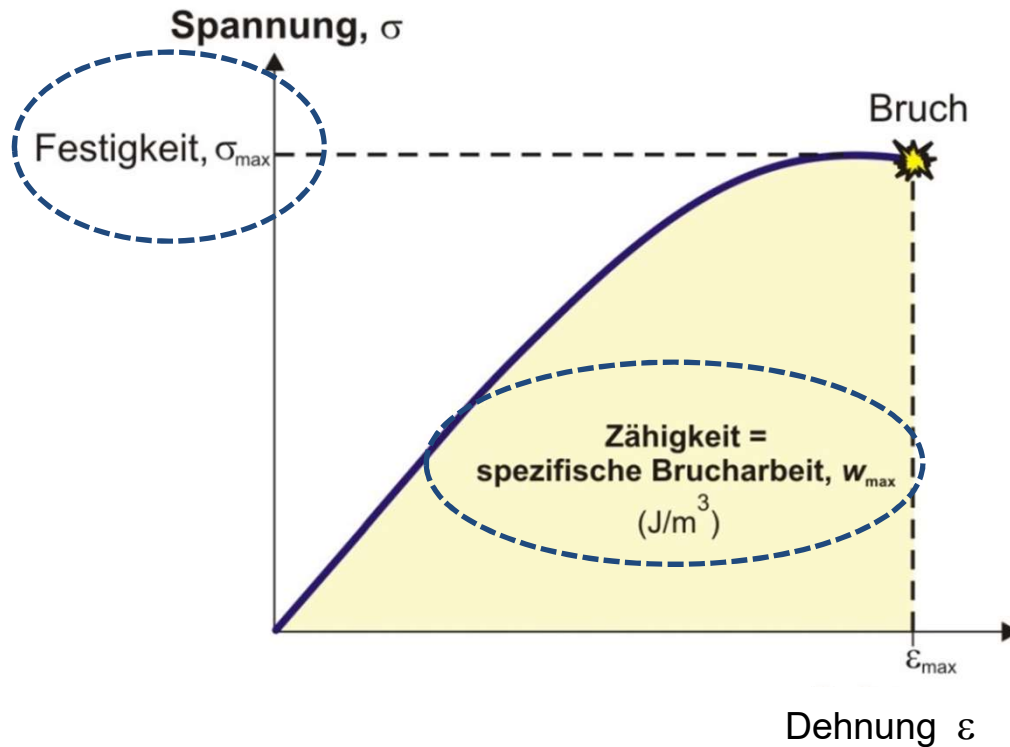


- **Festigkeit ( $\sigma_{\max}$ ) (Pa):** die maximale Spannung, bei welcher der Bruch auftritt



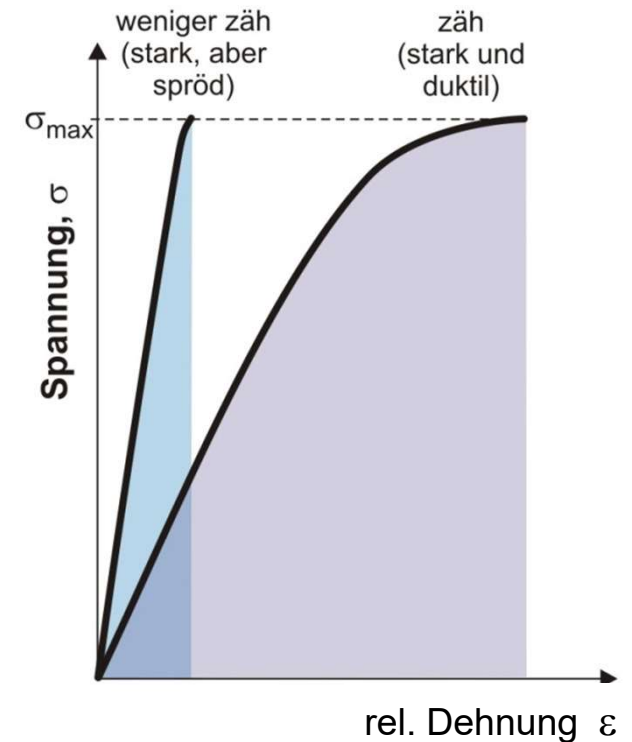
Wovon hängt die Festigkeit der Materialien ab?

Material	$\sigma_{\max}$ (MPa)
Knochen	100
Kollagen	60
Elastin	0,6
kohlenstofffaserverstärktes (61%) Epoxid	$\approx 1700$
Stahl	500
Titan	430
Aluminiumoxid	250
PMMA (Polymethylmethacrylat)	$\approx 50$

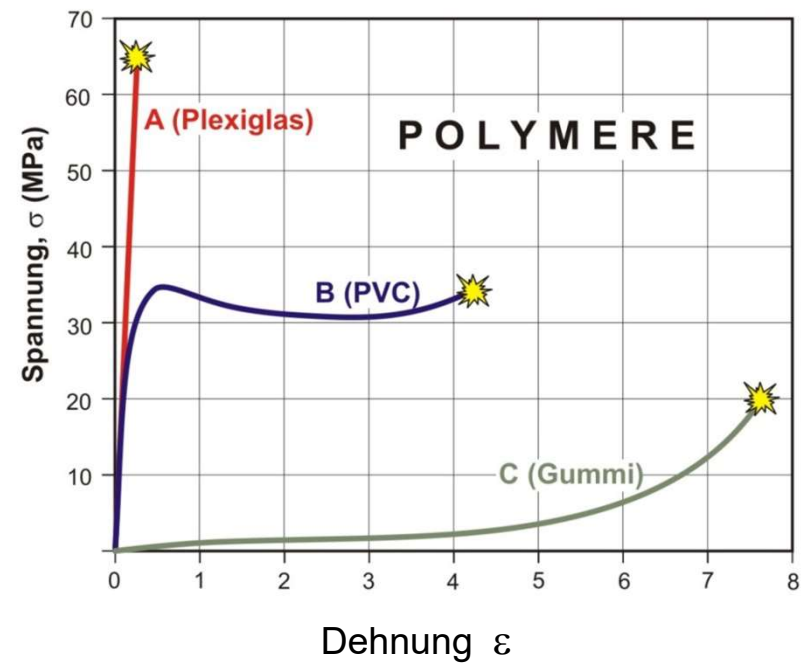
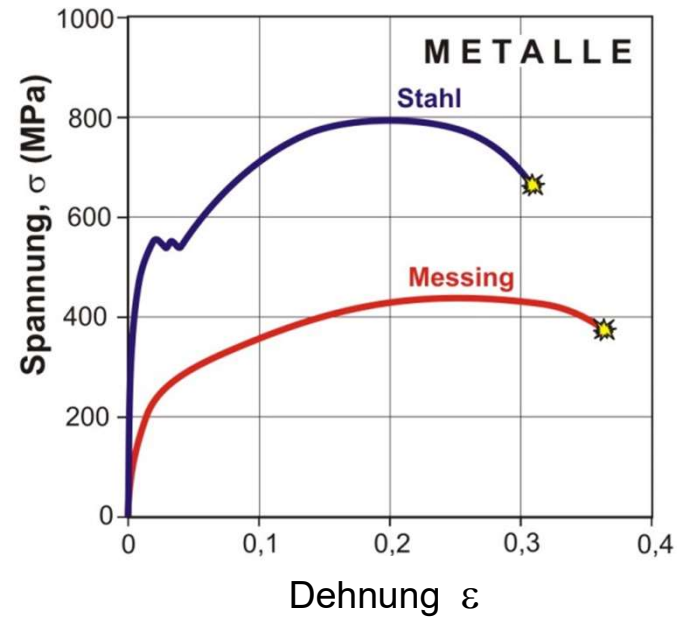
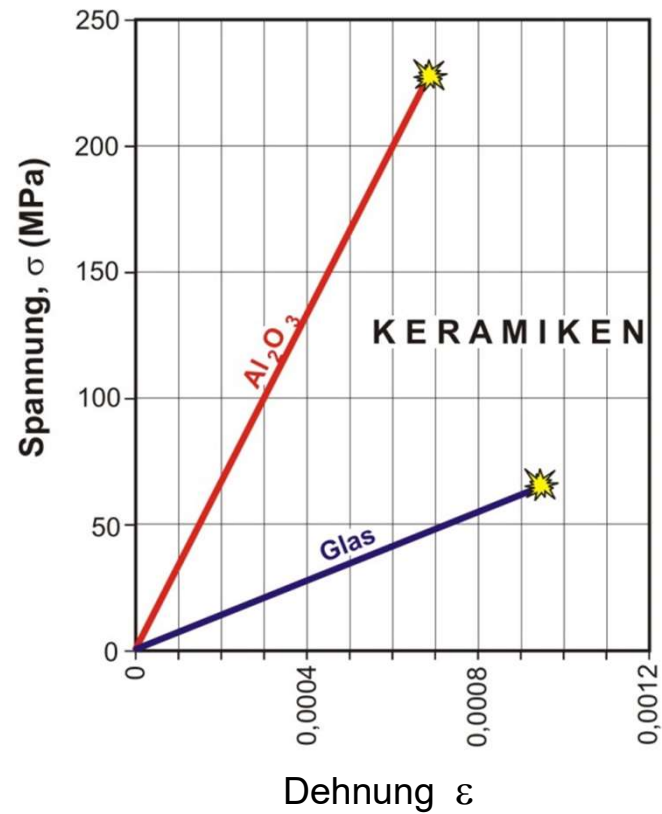


- **Zähigkeit ( $w_{\max}$ ) ( $\text{J/m}^3$ ):** die zur Verformung zugeführte Energie (Arbeit) bis zum Bruch (pro  $\text{m}^3$ )
  - Sie kann durch das Flächenstück unter der Kurve bis zum Bruch veranschaulicht werden.
  - Die Zähigkeit hängt von der Festigkeit aber auch von der maximalen Dehnbarkeit des Stoffes ab.

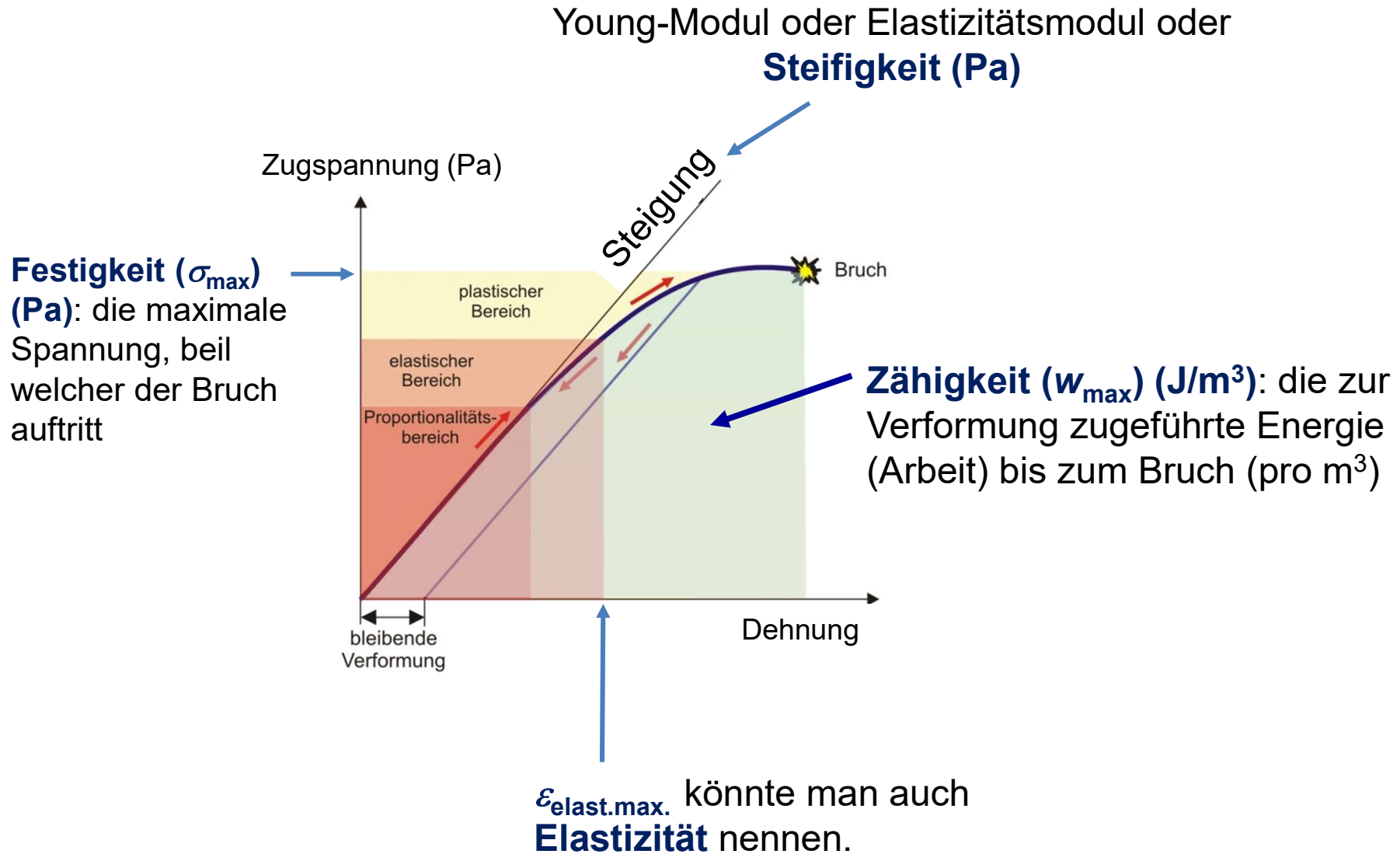
Gleiche Festigkeit aber unterschiedliche Zähigkeit:



Beispiele:

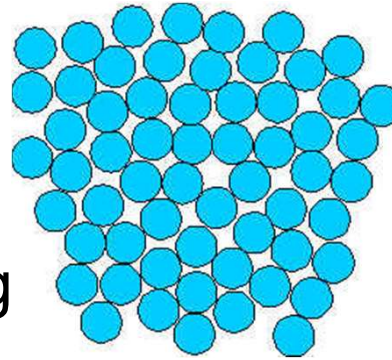


## Zusammenfassung der wichtigsten Grössen bei der Beschreibung der Elastischen Eigenschaften lastische Verformung – Festigkeit und Zähigkeit:

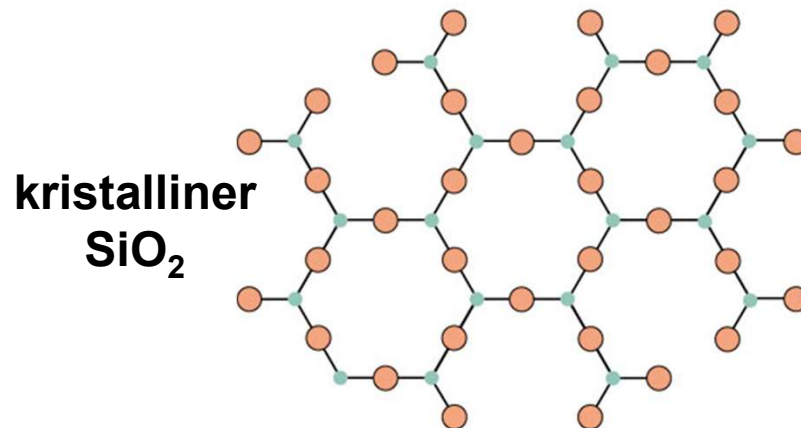


# Amorphe (feste) Körper

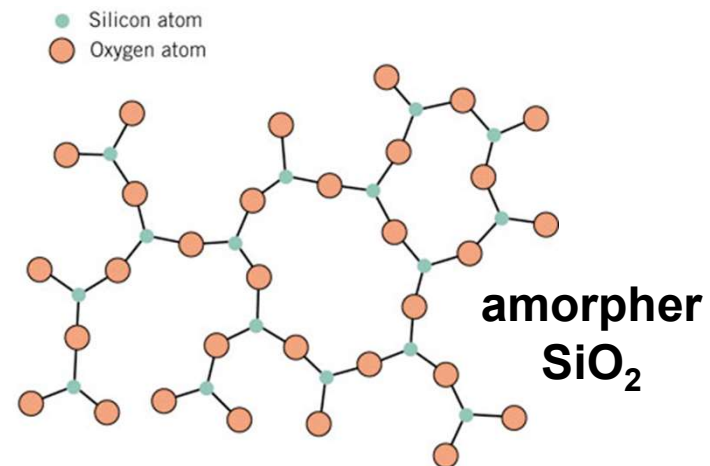
- Eigenvolumen
- Mechanisch hart
- Keine Eigenform/flüssig  
sehr hohe Viskosität;  
„gefrorene Flüssigkeit“
- Nahordnung
- Viele Defekte
- Isotrop



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



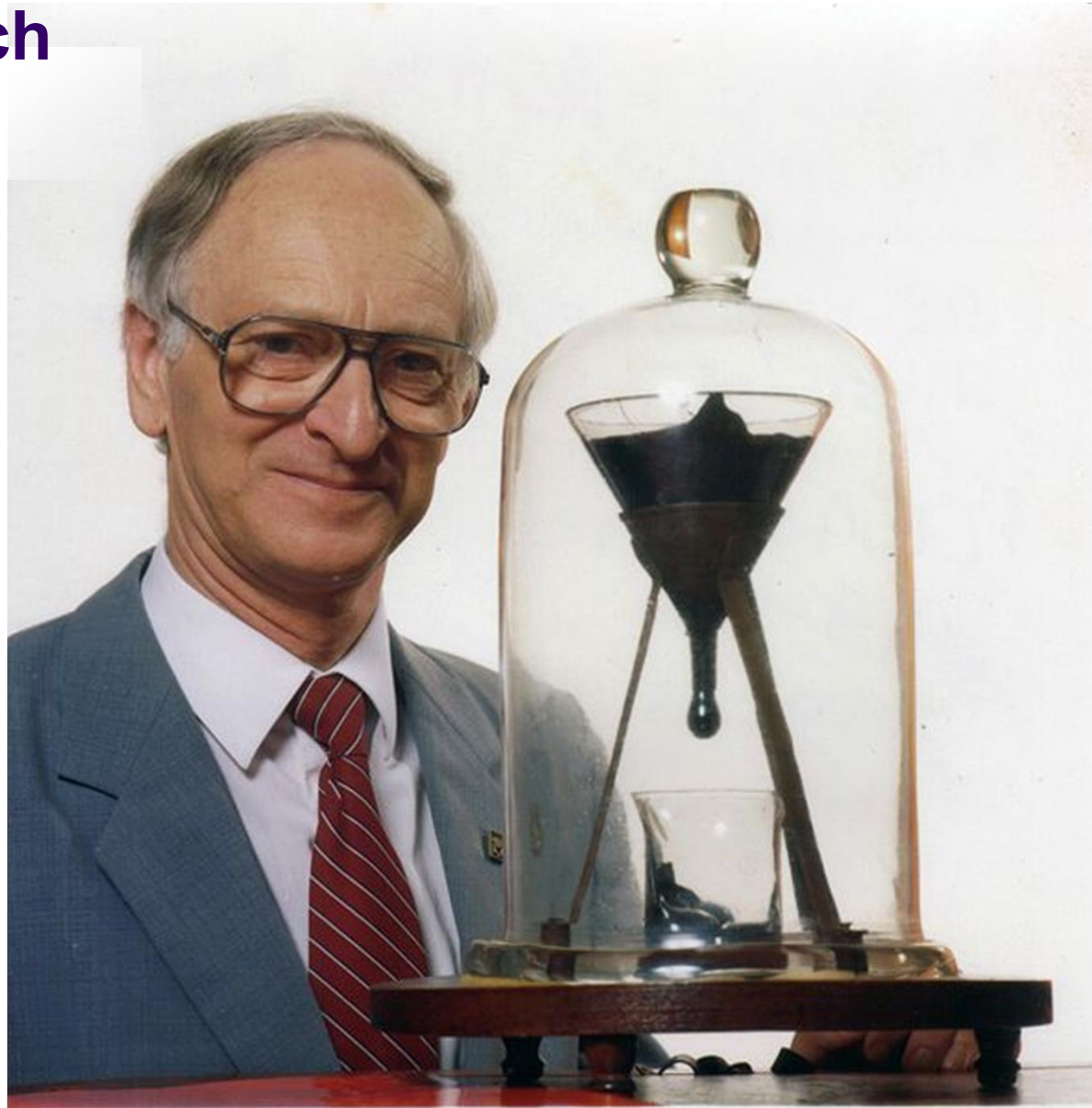
(a)



(b)

# Längster Versuch der Welt

- Pechtropfen-Experiment
- In 1927 gestartet
- 9 Tropfen  
(in 1938, 1947,  
1954, 1962, 1970,  
1979, 1988, 2000  
und 2014)

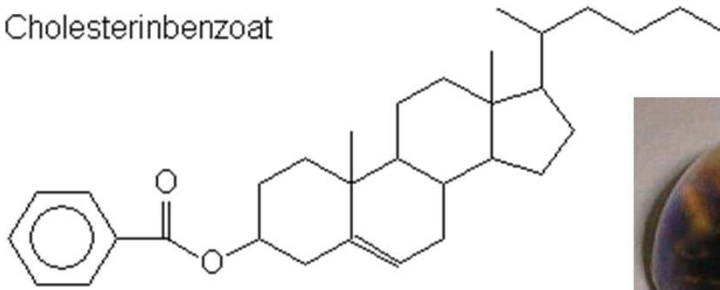


<https://de.wikipedia.org/wiki/Pechtropfenexperiment>

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

# Flüssigkristalle

Cholesterinbenzoat

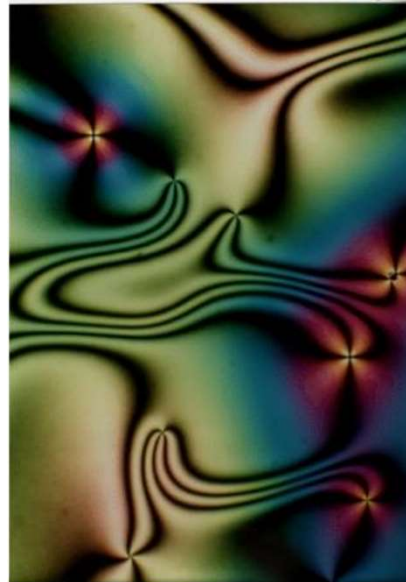


1883 Reinitzer

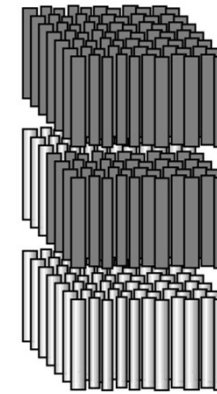


Termotrope  
Flüssigkristalle:

- Anisodimensionale Moleküle
- Mesophase
- Flüssig
- Teilweise geordnete Strukturen
- Optisch anisotrop
- Gegen äußere Einwirkungen empfindliche Struktur

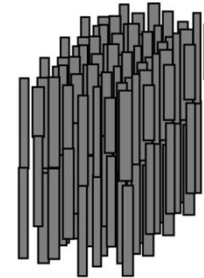


a



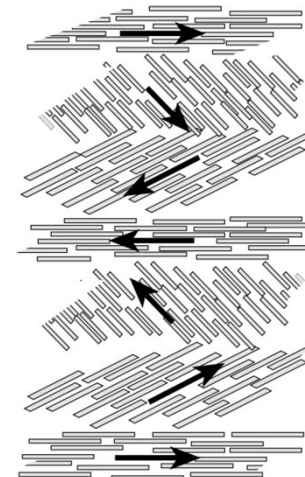
smektisch

b



nematisch

c

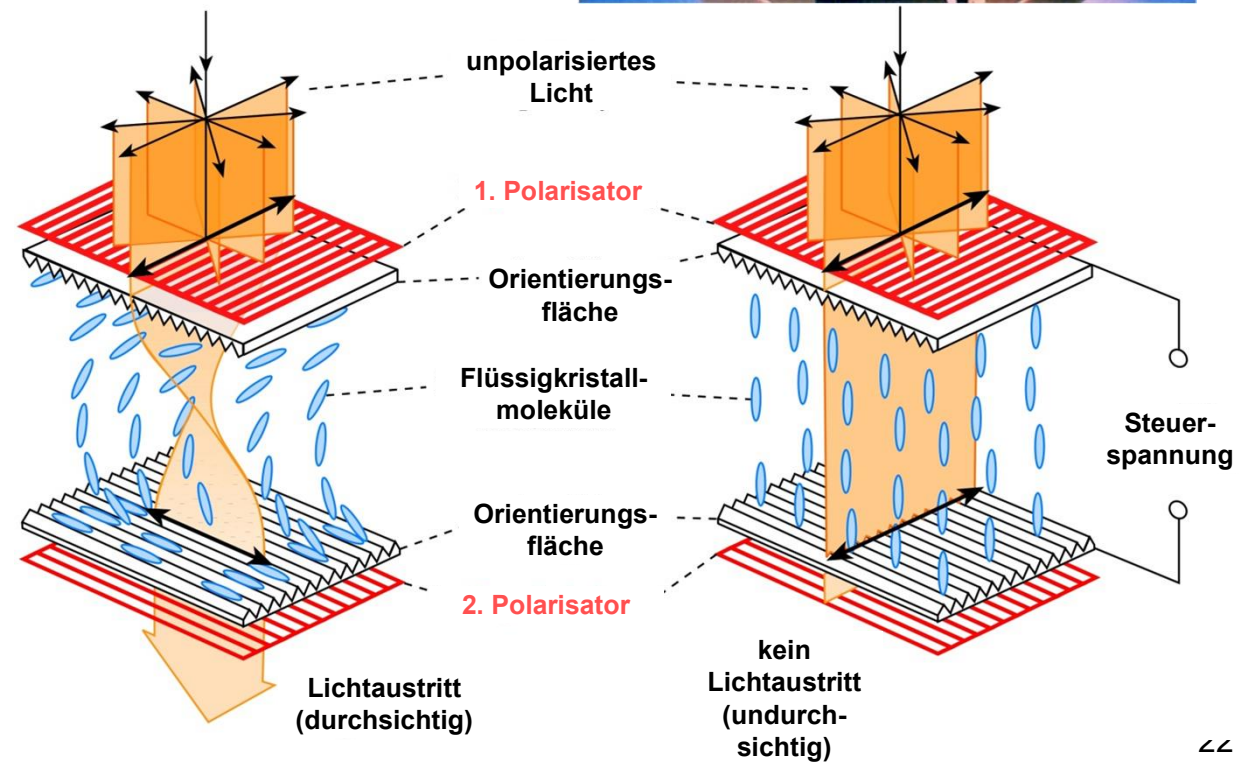
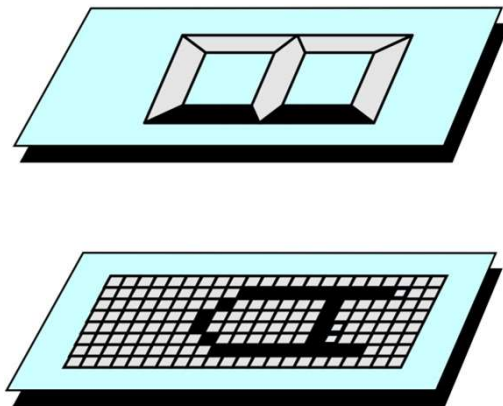


cholesterisch

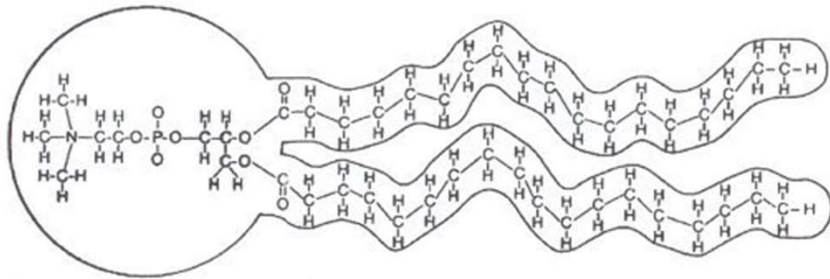
## Kontaktthermographie/Plattenthermographie (thermo-optisches Phänomen)



## LCD (elektro-optisches Phänomen)



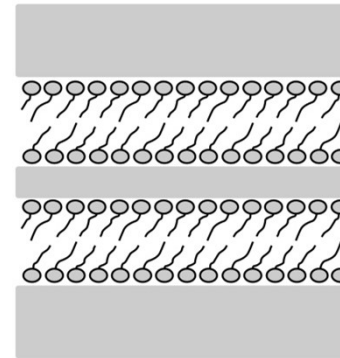
# Lyotrope Flüssigkristalle:



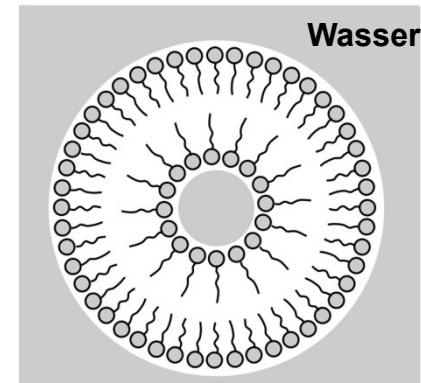
hydrophil

hydrophob

Phospholipidmolekül



Lamellare  
Struktur



Liposom

