

Biophysik für Pharmazeuten I.

2022/23 I.

Vorlesung 6

Struktur der Materie II.

Struktur der Materie

Feste Stoffe

Festkörper (Kristalle)

Raumgitter (Kristallklassen)

Kristalltypen

Gitterdefekte

Elektrische Eigenschaften der Festkörper

Elektronenstruktur von Festkörpern (Bändermodell)

Leiter, Halbleiter, Isolator

Eigenhalbleiter (intrinsic Halbleiter)

Dotierte Halbleiter

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)

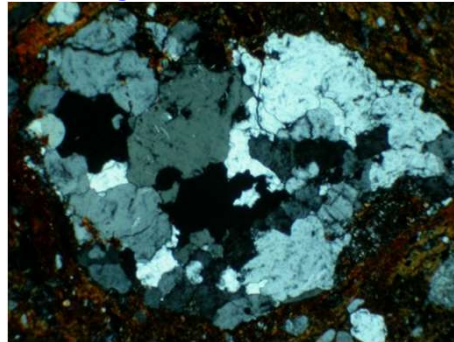
Kristalline
Stoffe

Amorphe
Stoffe

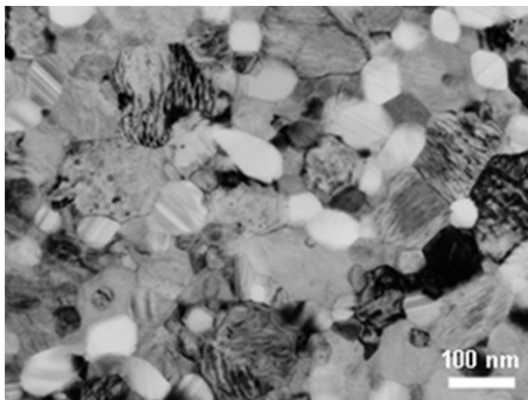
Einkristalle



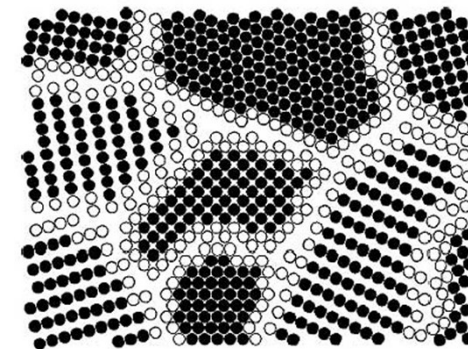
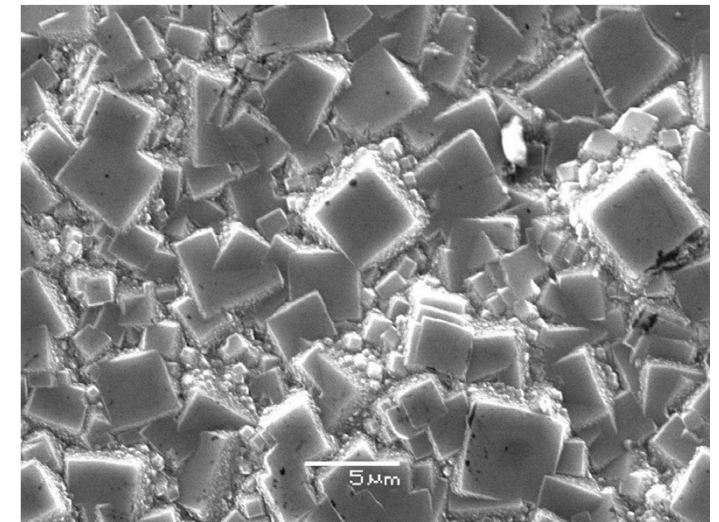
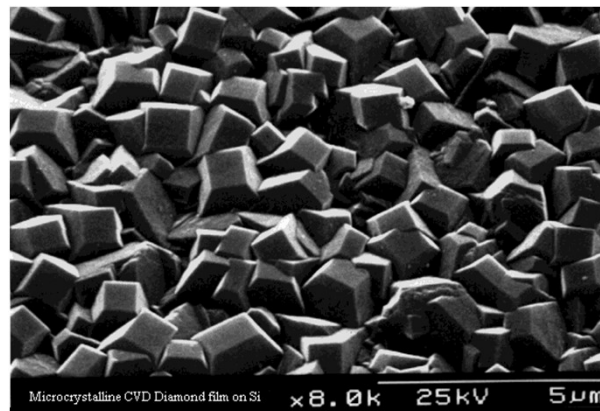
Polykristalle



Nanokristalline
Stoffe



Mikrokristalline
Stoffe

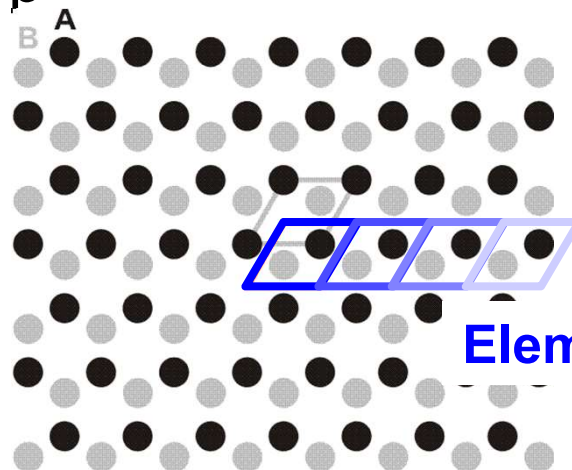


Festkörper (Kristalle)

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

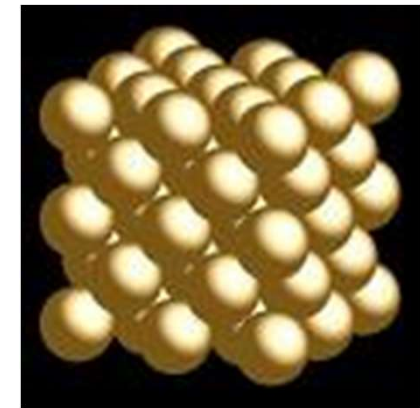


- Makroskopische
- Mikroskopische Beschreibung



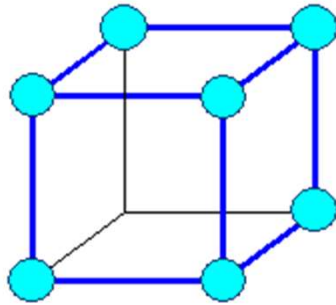
Kristallgitter
(Raumgitter)

Elementarzelle

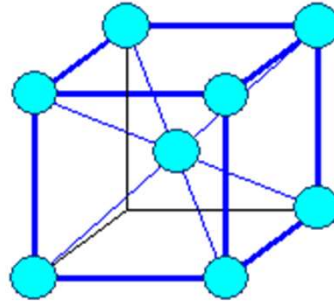


Raumgitter (Kristallklassen)

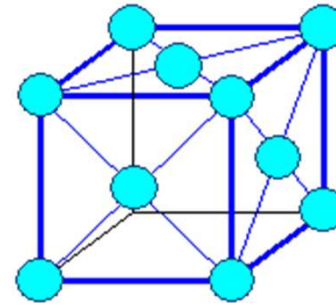
kubisch



einfach

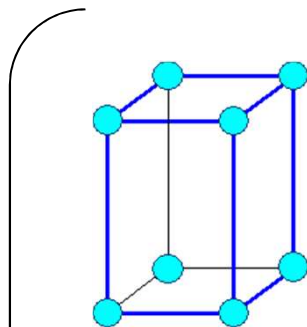
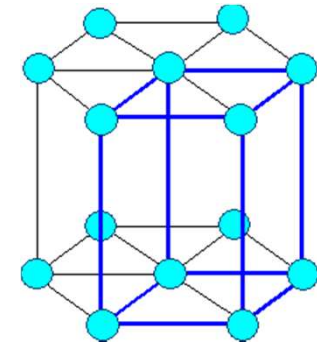


raumzentriert

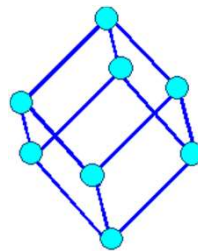


flächenzentriert

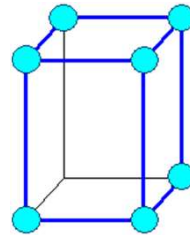
hexagonal



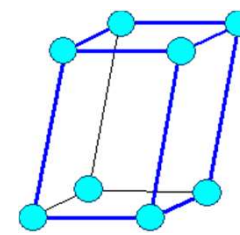
tetragonal



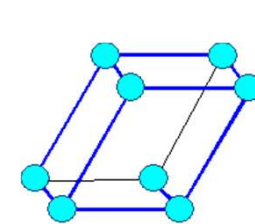
trigonal



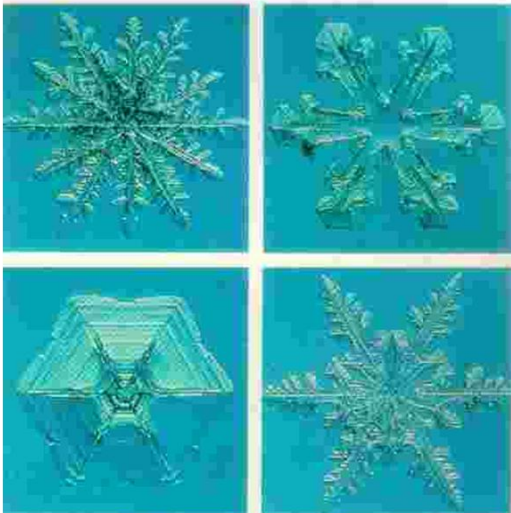
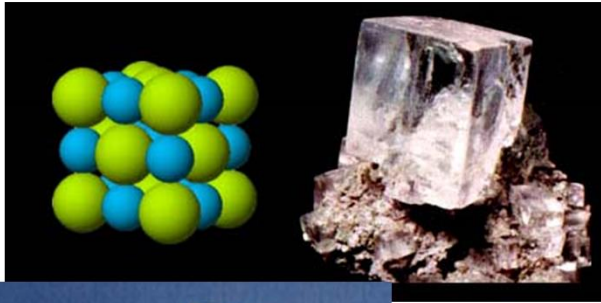
orthorombisch



monoklin



triklin

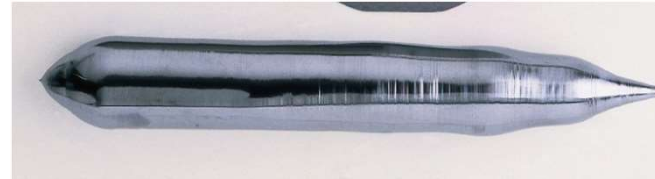


Kristalltypen

- Atomkristall



Diamant



Si

- Ionenkristall



Salz



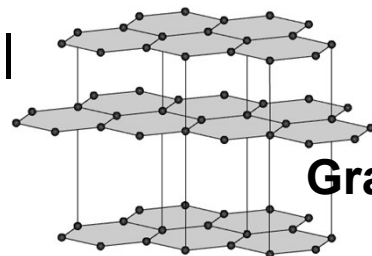
Apatit

- Metallkristall



Gold

- Molekülkristall

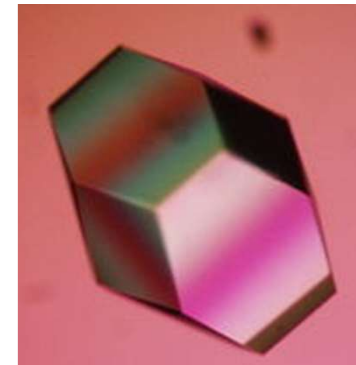


Graphit



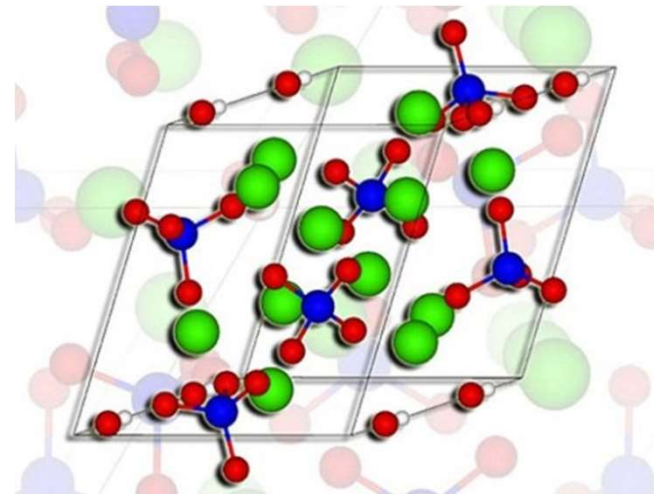
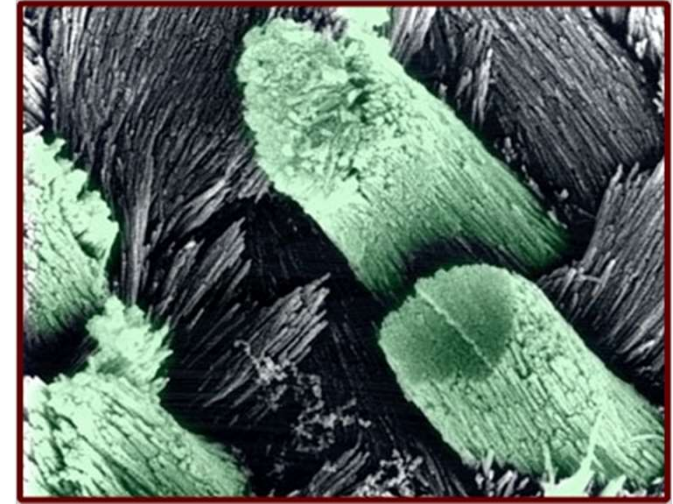
Eis

Eiweiß (Lysozym)



Apatit

OH : Hydroxiapatit
F : Fluorapatit



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

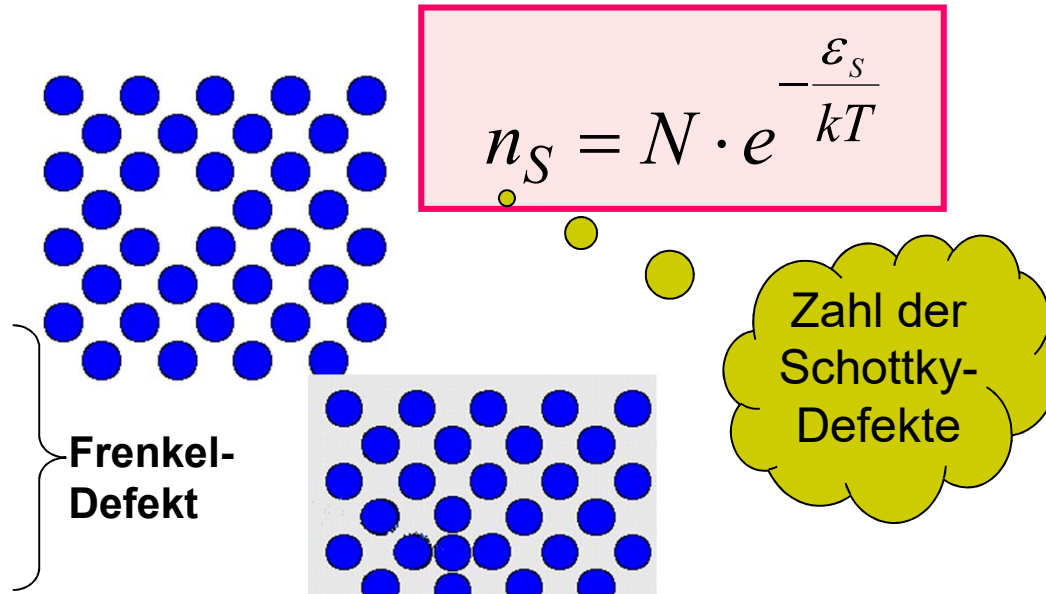
Zahnschmelz: 500-1000 nm x 30 nm große Kristalle

Gitterdefekte

- **Punktdefekte**

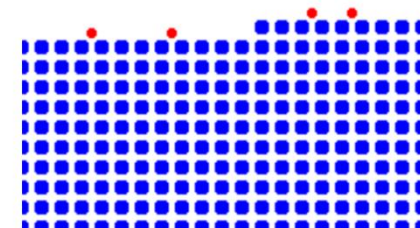
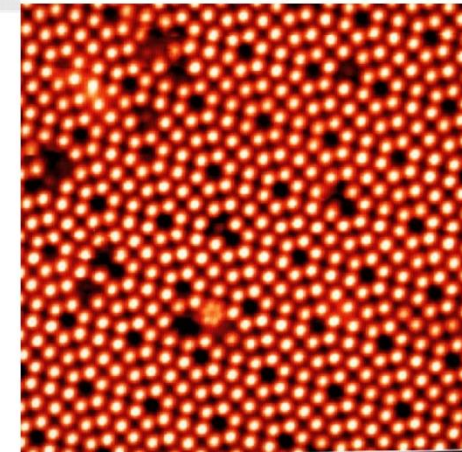
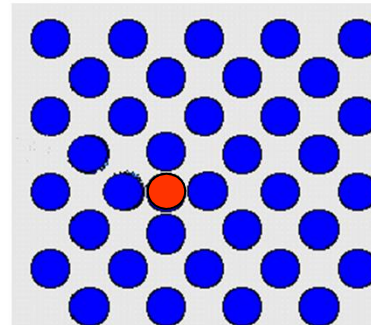
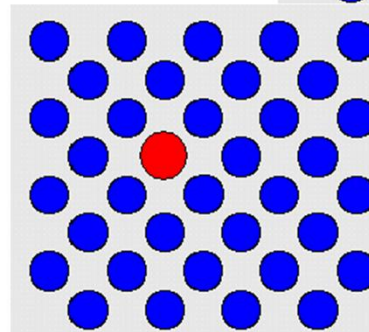
- **thermisch**

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



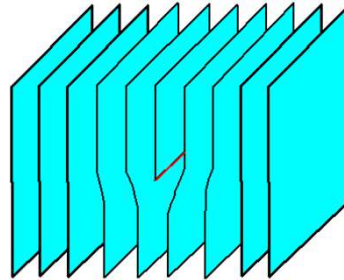
- **Fremdatom**

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

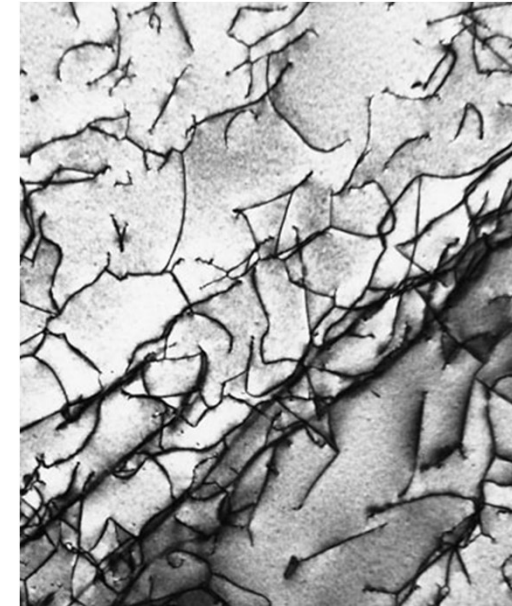


- Versetzungen

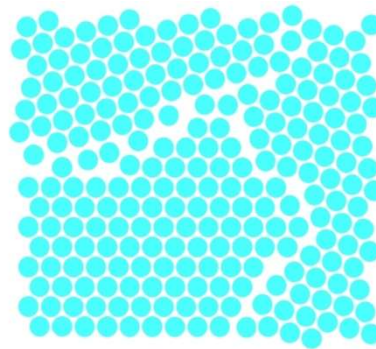
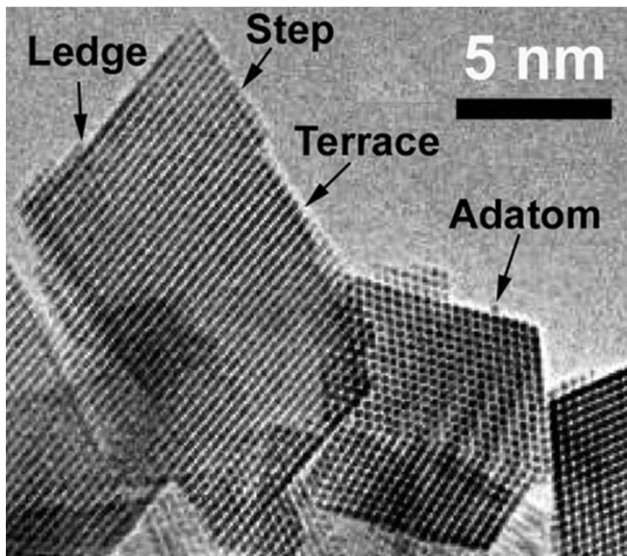
- Stufenversetzung
- Schraubenversetzung



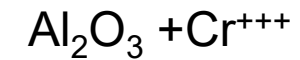
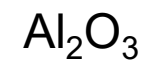
Versetzungen in einer Ti-Legierung



- Korngrenzen



Gitterdefekte \Rightarrow Eigenschaften!!



Elektrische Eigenschaften der Festkörper

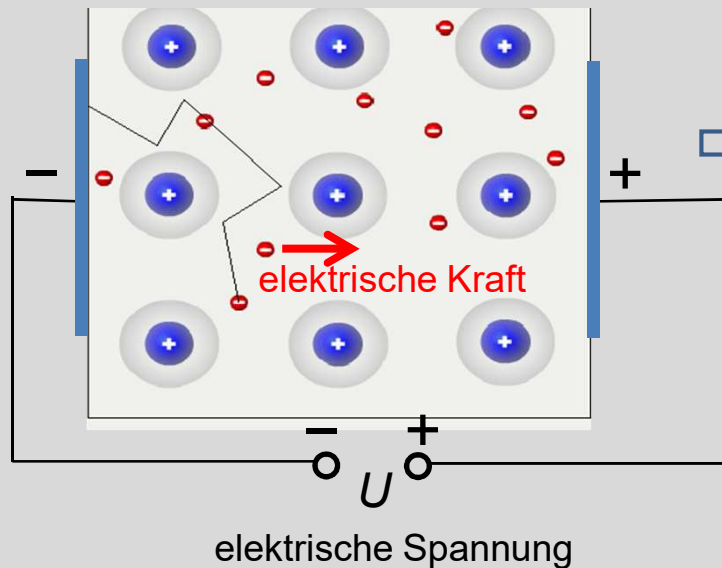
Elektrischer Strom = kollektive Wanderung von elektrischen Ladungsträgern
(Elektronen, Ionen, ...)



Dazu sind freie (quasifreie) Ladungsträger nötig.

Z. B. Bewegung von Elektronen in einem Metallgitter:

zufällige thermische Bewegung + kollektive Wanderung



abwechselnd: Beschleunigung, Abbremsen

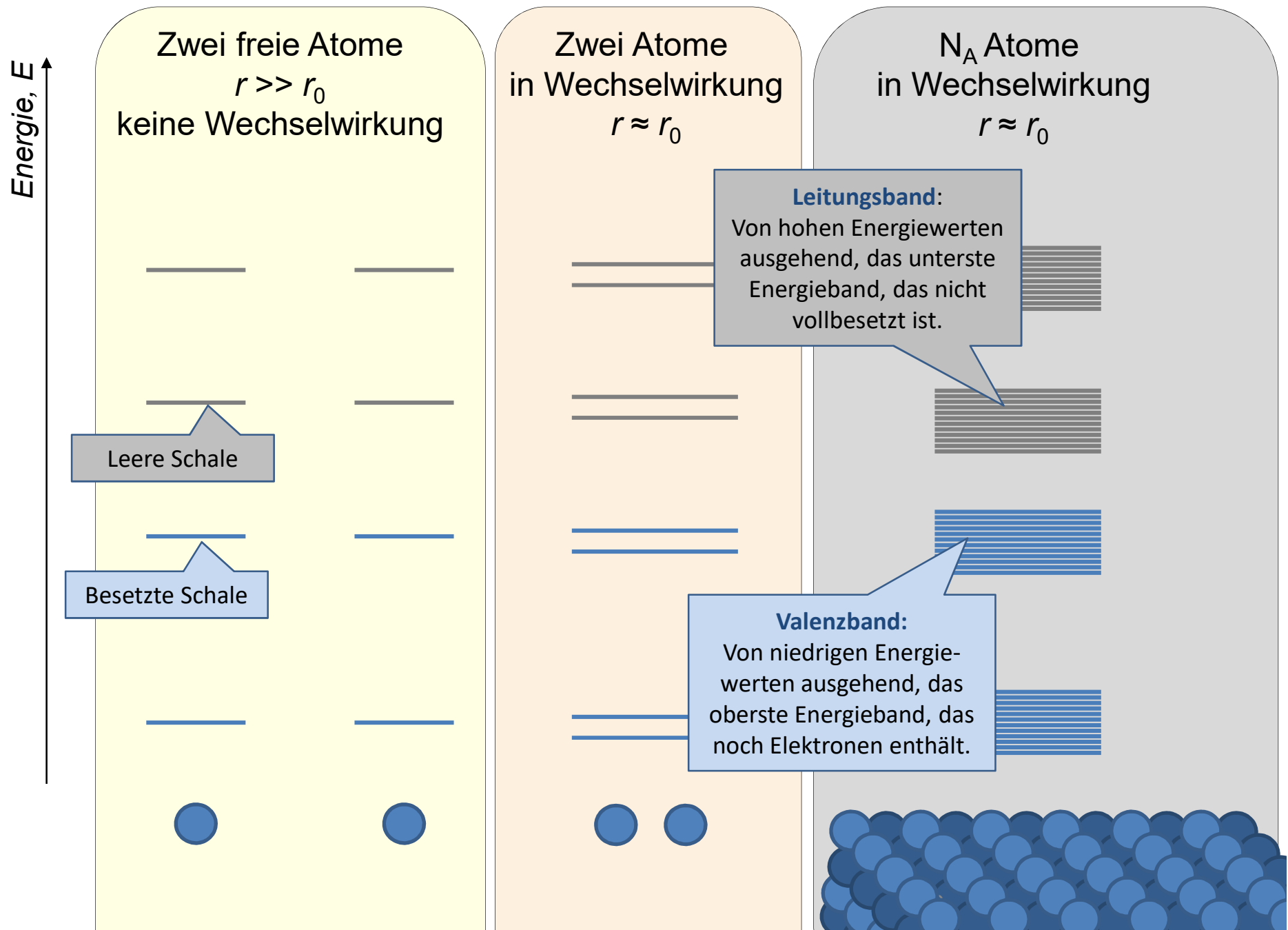


ständige Energieaufnahme, -abgabe

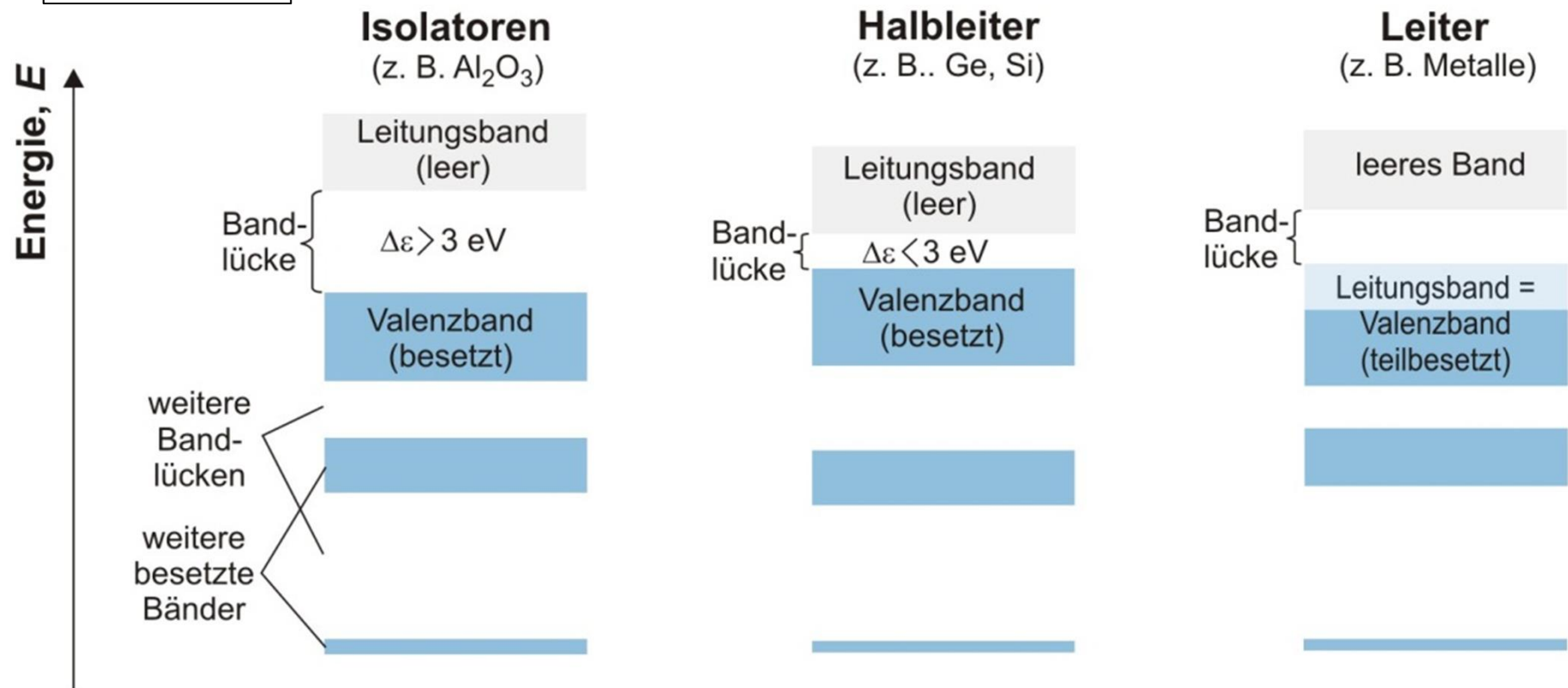


Elektrischer Strom, elektrische Leitung ist nur dann möglich, wenn die Elektronen ihren Energiezustand um eine geringe Energiemenge ständig ändern können.

Elektronenstruktur von Festkörpern (Bändermodell):



Bei $T = 0 \text{ K}$:



Breite der
Bandlücke
(verbotenen
Zone):

z.B. Al_2O_3 : $\Delta\epsilon = 6,5 \text{ eV}$

NaI : $\Delta\epsilon = 5 \text{ eV}$

z.B. Si: $\Delta\epsilon = 1,1 \text{ eV}$

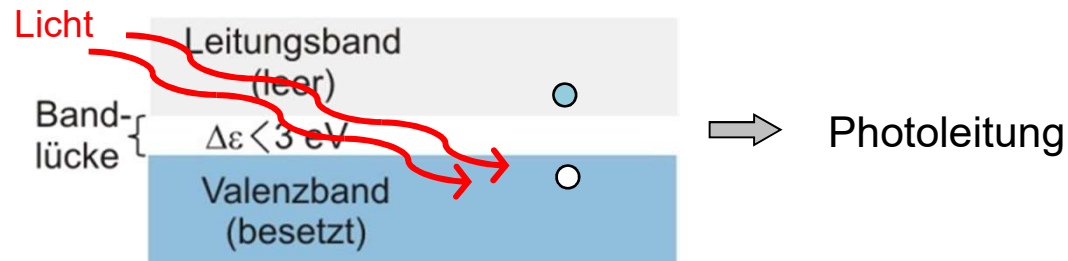
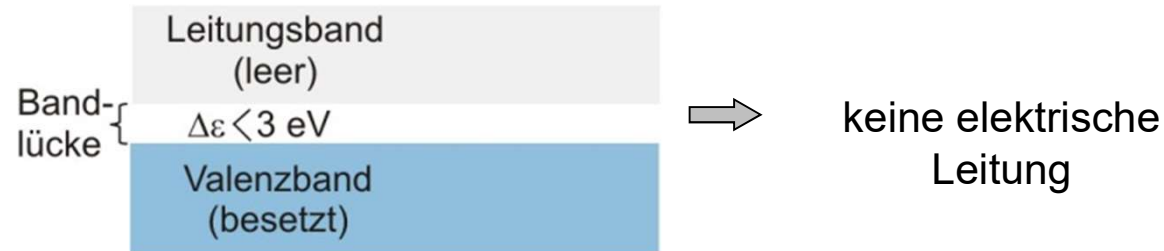
Ge: $\Delta\epsilon = 0,7 \text{ eV}$

Zum Vergleich: kT (thermische Energie) bei Raumtemperatur $\approx 0,025 \text{ eV}$

→ siehe die optischen
Eigenschaften später

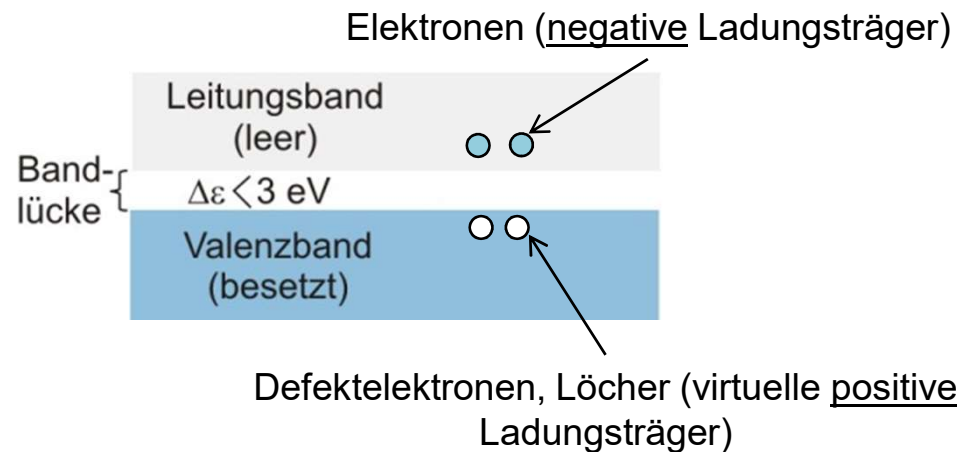
- Eigenhalbleiter (intrinsic Halbleiter)

Bei $T = 0 \text{ K}$:



Bei $T = 273 \text{ K}$:

Annähernd Boltzmann-Verteilung!



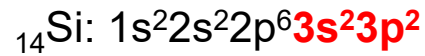
Zahl der freien
Ladungsträger

$$\sigma \sim N \sim e^{-\frac{\Delta\epsilon}{2kT}}$$

elektrische
Leitfähigkeit

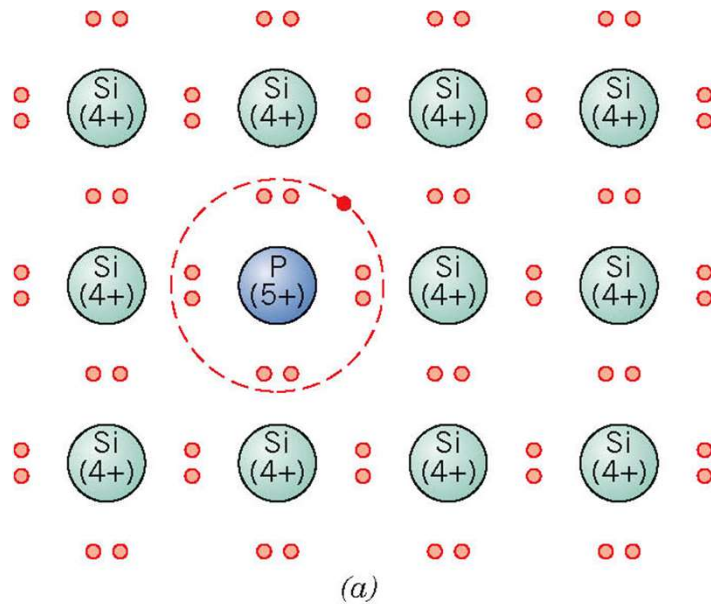
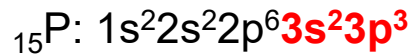
▪ Dotierte Halbleiter

Grundkristall z.B. Si



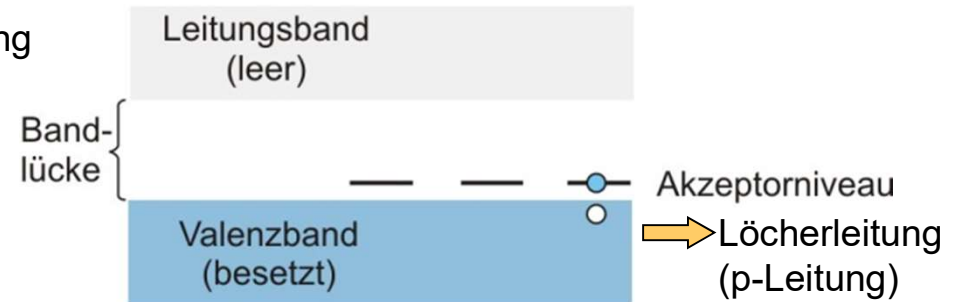
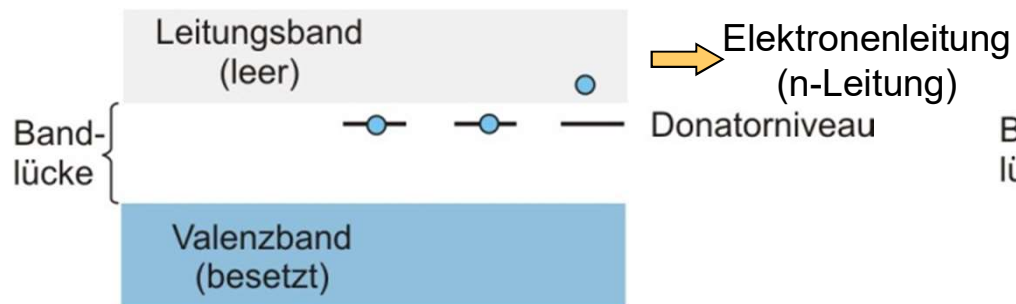
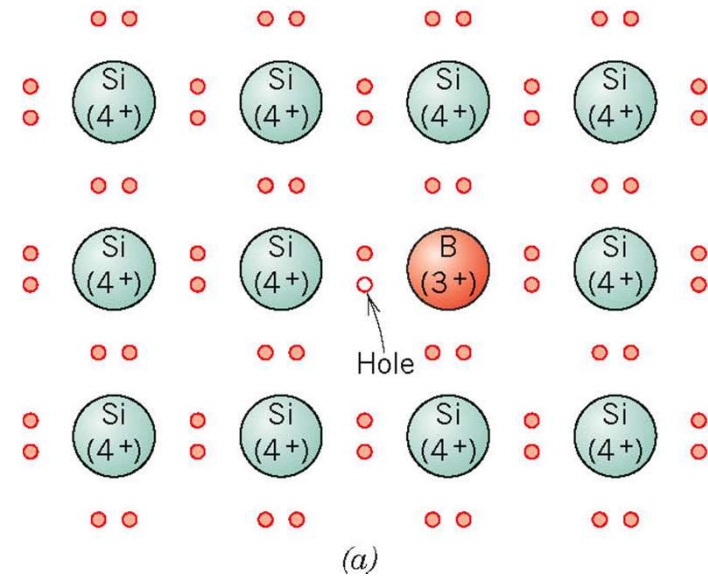
n-Halbleiter

z. B. + P



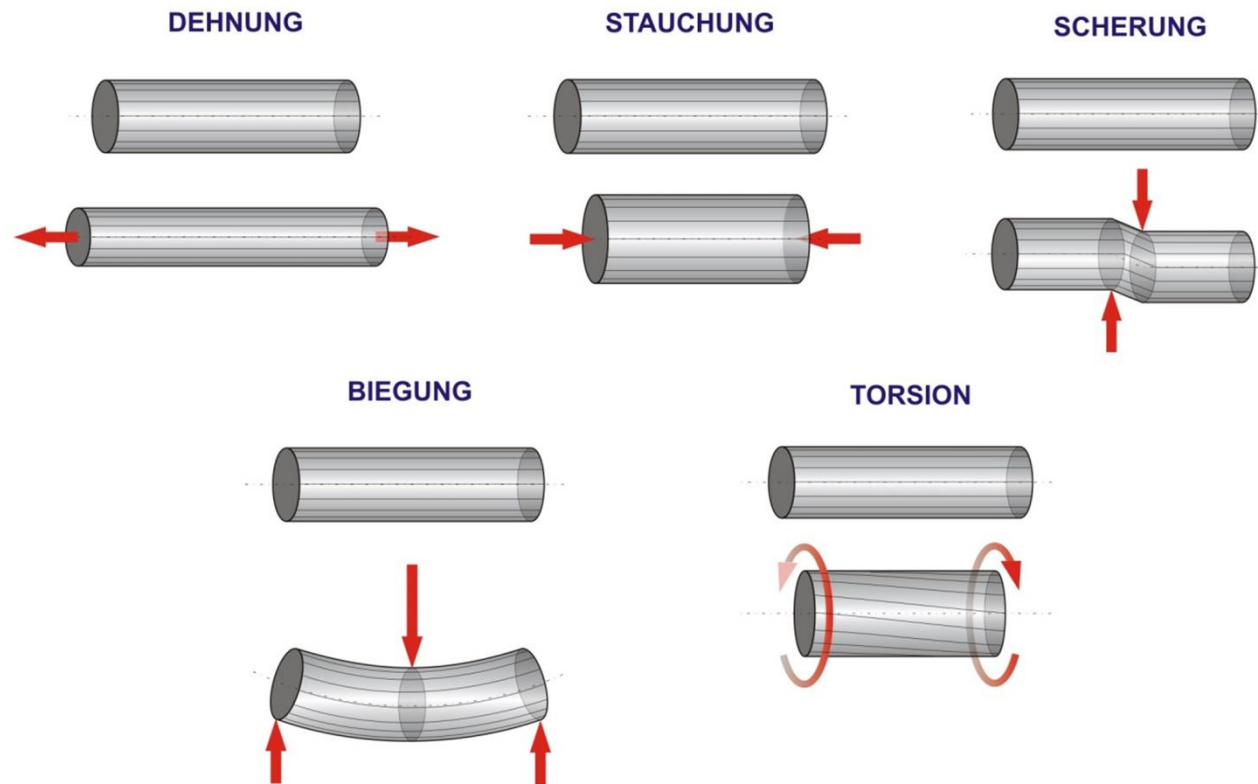
p-Halbleiter

z. B. + B

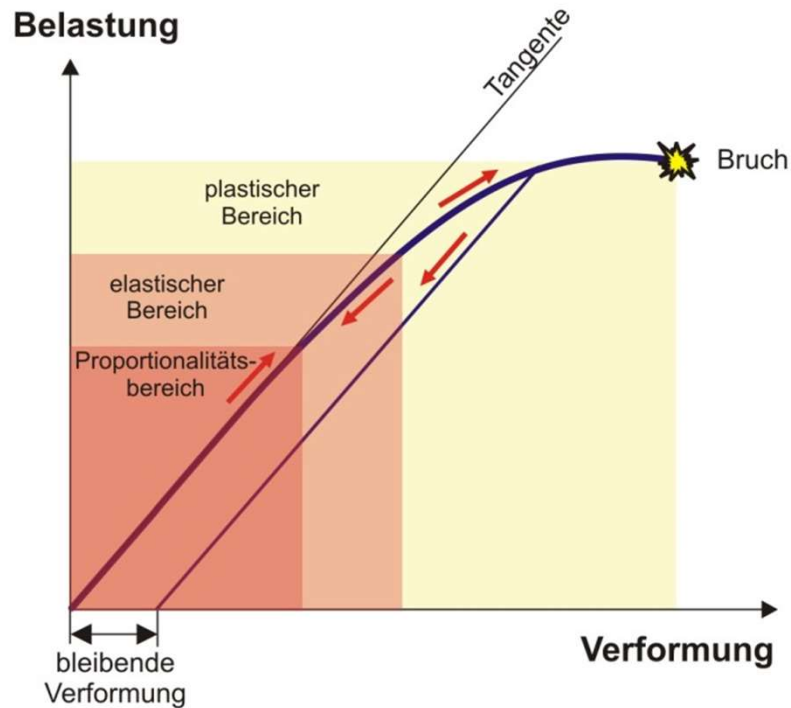


Mechanische Eigenschaften der Materialien

a) Deformationstypen und das Belastungsdiagramm:



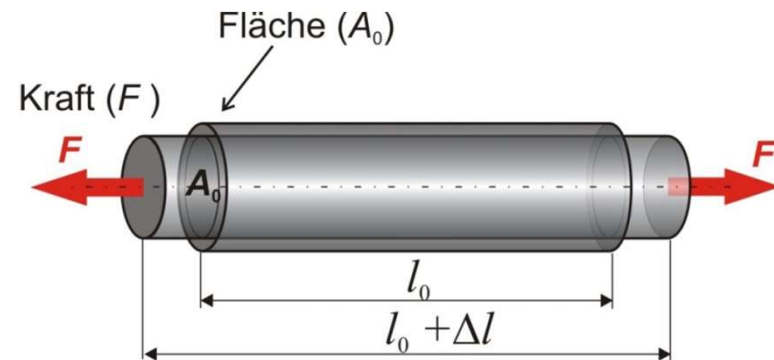
Belastungsdiagramm/Belastung-Verformungs-Diagramm/Spannung-Dehnungs-Diagramm:



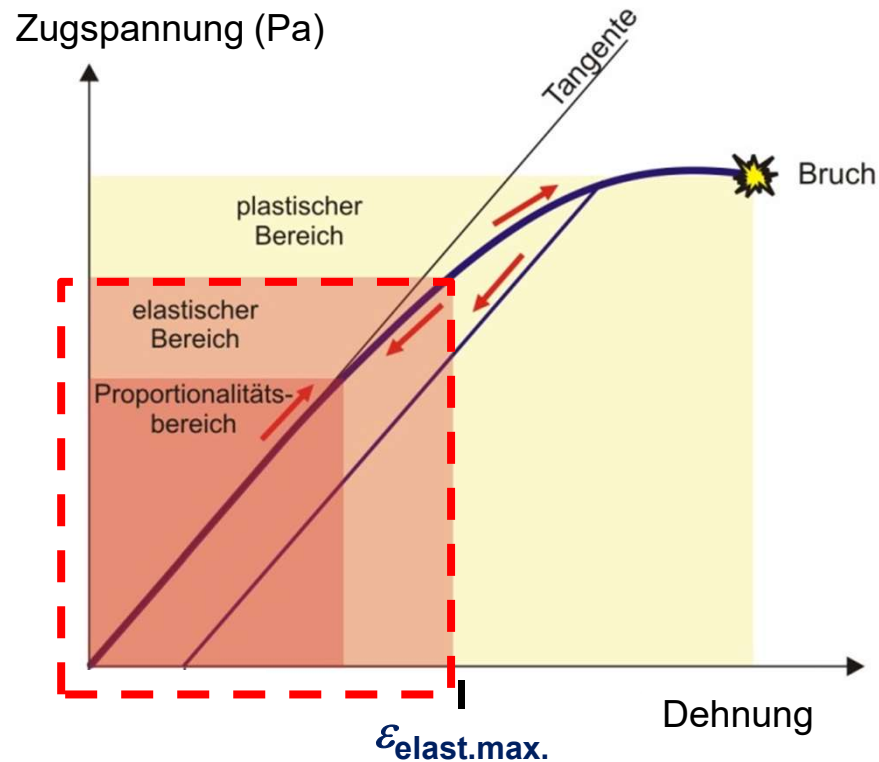
Als Beispiel wird die **Dehnung (Zug)** im Weiteren diskutiert.

Bei der Dehnung (Zug) wird die Belastung mit Hilfe der Zugspannung (σ) und die Verformung mit Hilfe der Dehnung (ε) quantitativ charakterisiert:

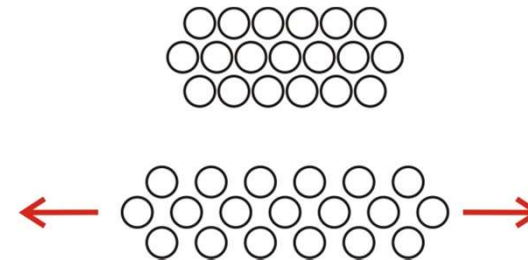
- **Zugspannung (σ):** $\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \right)$
- **Dehnung (ε):** $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} (\cdot 100\%)$



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

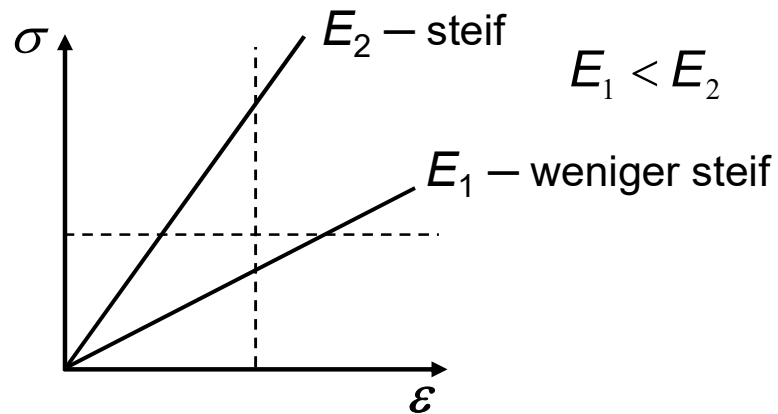
Die Elastizität eines Körpers kann mit der **elastischen Rückstellung** charakterisiert werden. Sie ist die maximal mögliche reversible Dehnung: $\epsilon_{\text{elast.max.}}$ (%)

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)



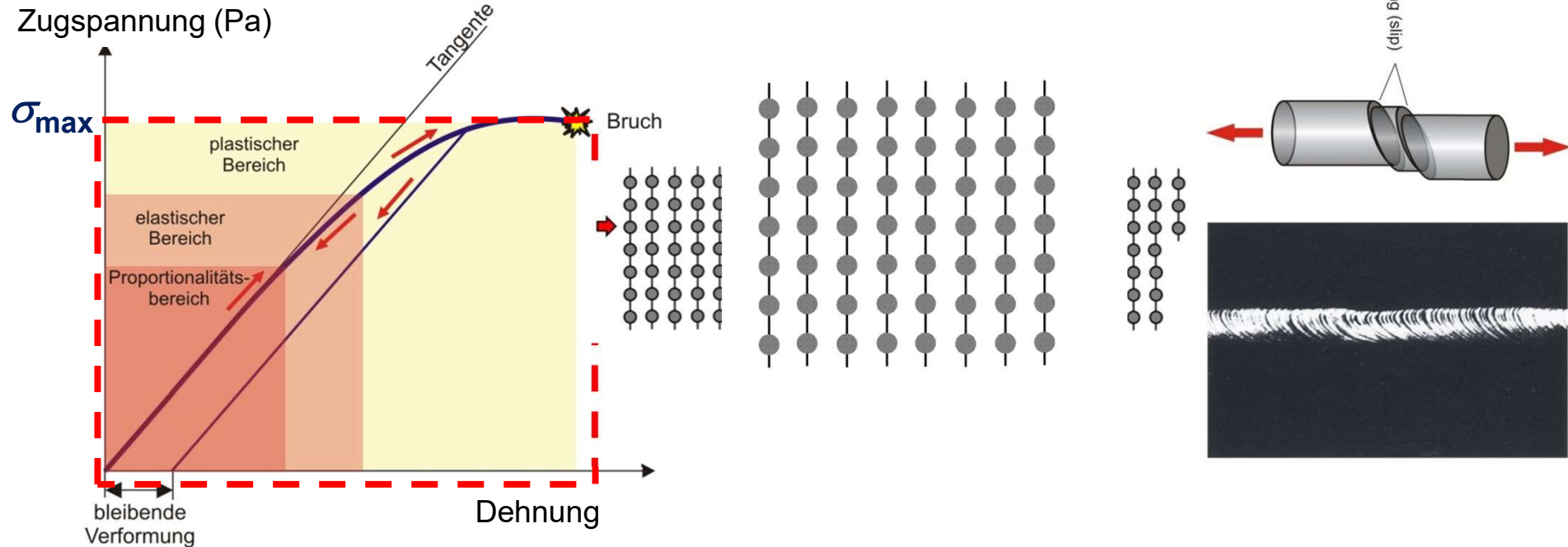
Stoff	E (GPa)
Knochen	10-15
Kollagen	0,3-2,5
Bandscheibe	0,005
Elastin	0,0005
Aluminiumoxid	350-410
Stahl	220
Titan	110
PMMA (Polymethylmethacrylat)	2,4-3,8
Silikongummi	$\approx 0,0003$

Wovon hängt die Steifigkeit der Materialien ab?



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

c) Plastische Verformung – Festigkeit und Zähigkeit:

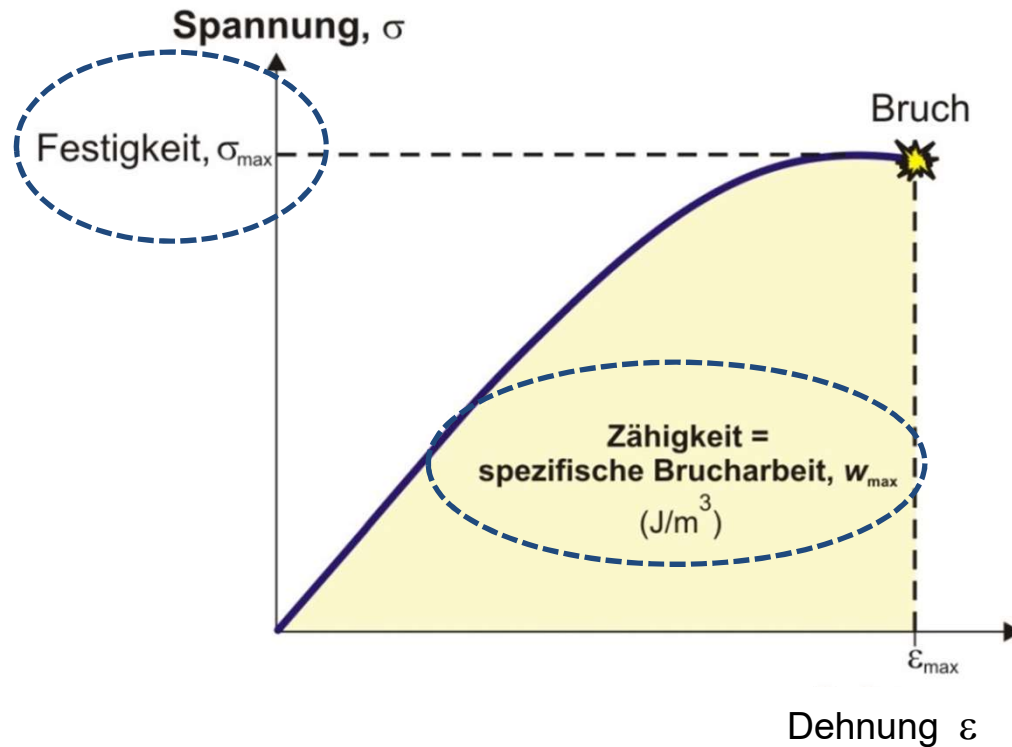


- **Festigkeit (σ_{\max}) (Pa):** die maximale Spannung, bei welcher der Bruch auftritt



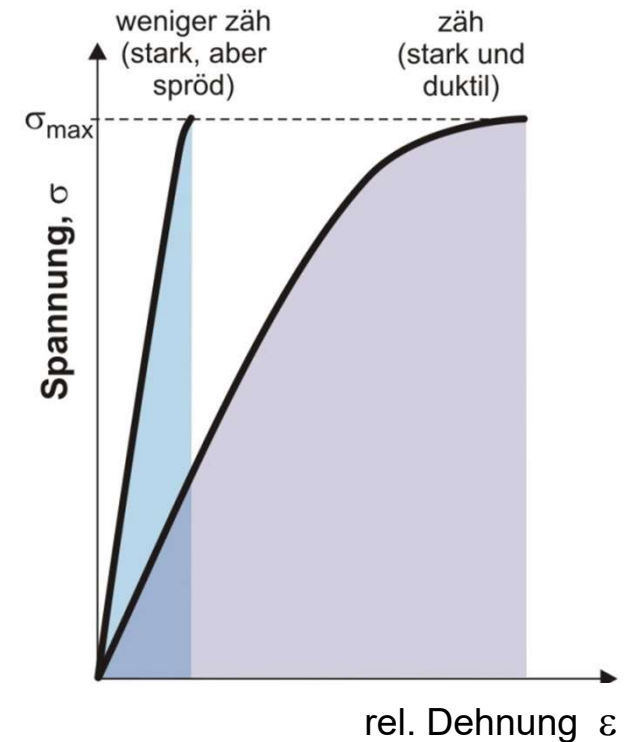
Wovon hängt die Festigkeit der Materialien ab?

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

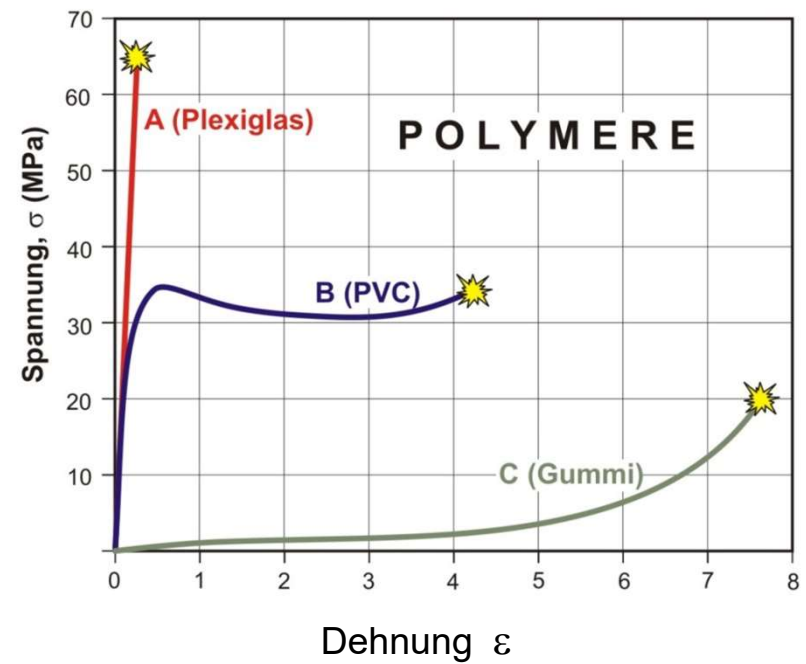
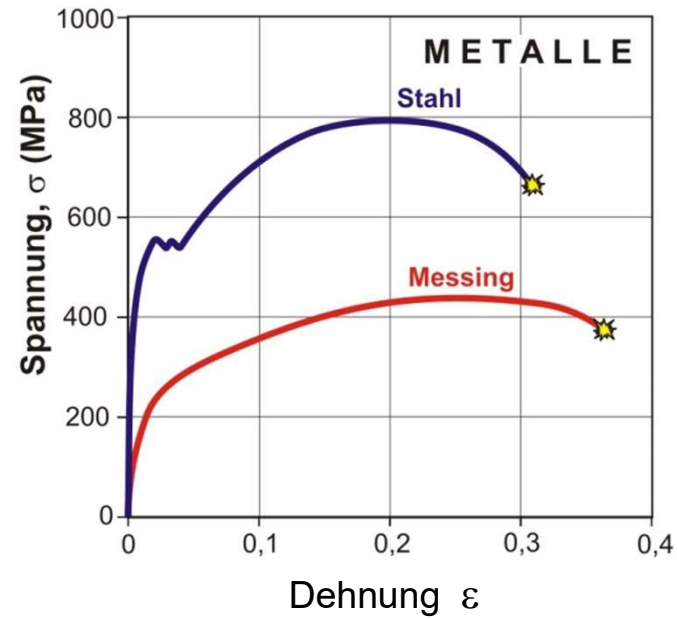
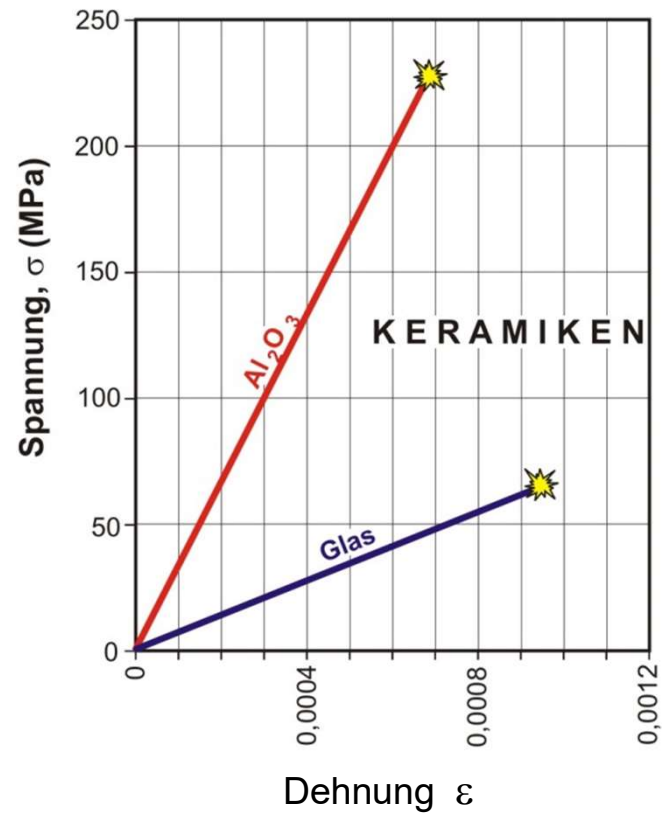


- **Zähigkeit (w_{\max}) (J/m^3):** die zur Verformung zugeführte Energie (Arbeit) bis zum Bruch (pro m^3)
 - Sie kann durch das Flächenstück unter der Kurve bis zum Bruch veranschaulicht werden.
 - Die Zähigkeit hängt von der Festigkeit aber auch von der maximalen Dehnbarkeit des Stoffes ab.

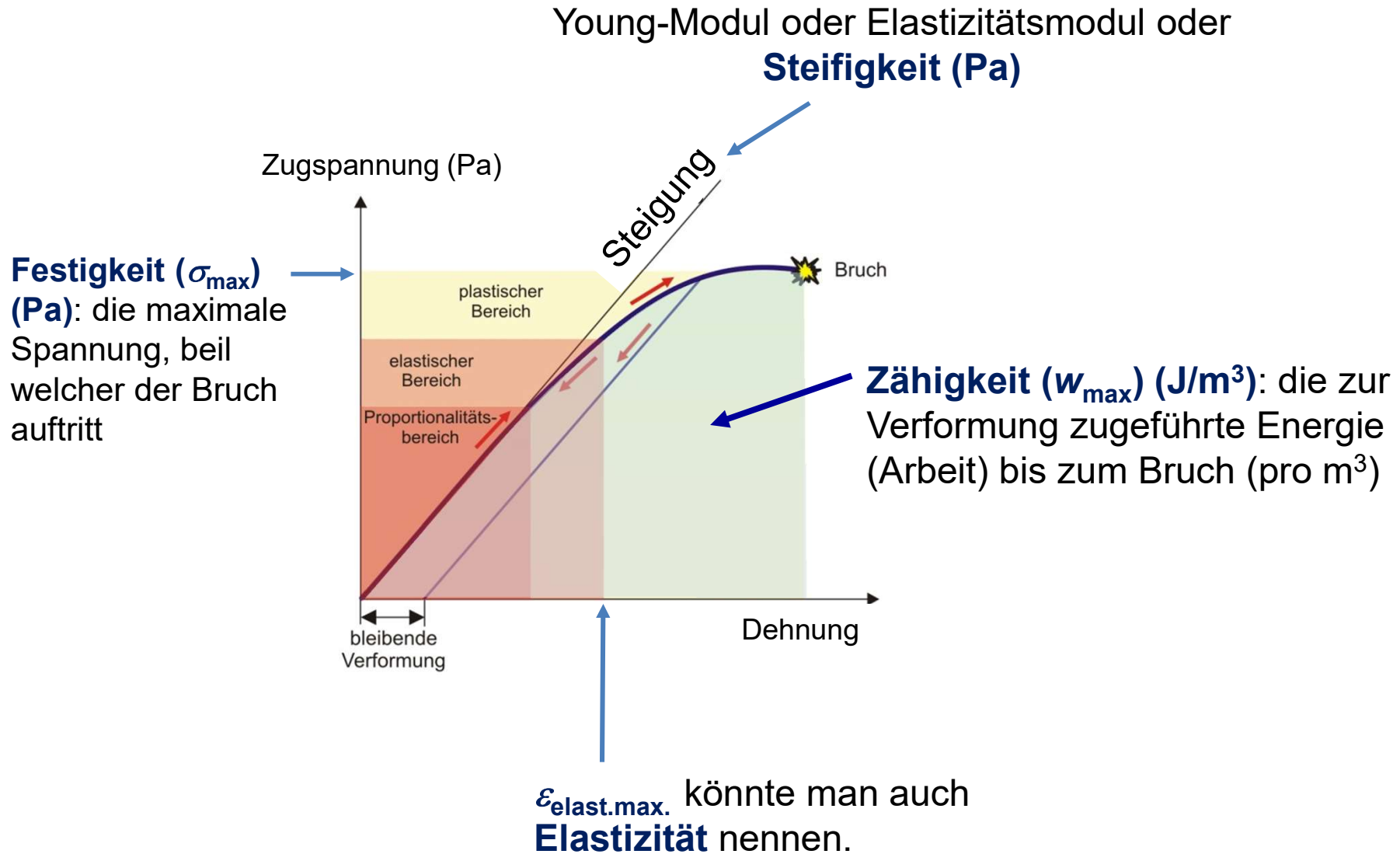
Gleiche Festigkeit aber unterschiedliche Zähigkeit:



Beispiele:

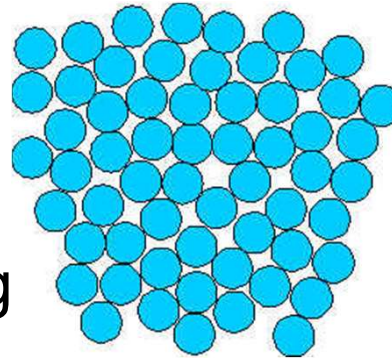


Zusammenfassung der wichtigsten Grössen bei der Beschreibung der Elastischen Eigenschaften lastische Verformung – Festigkeit und Zähigkeit:

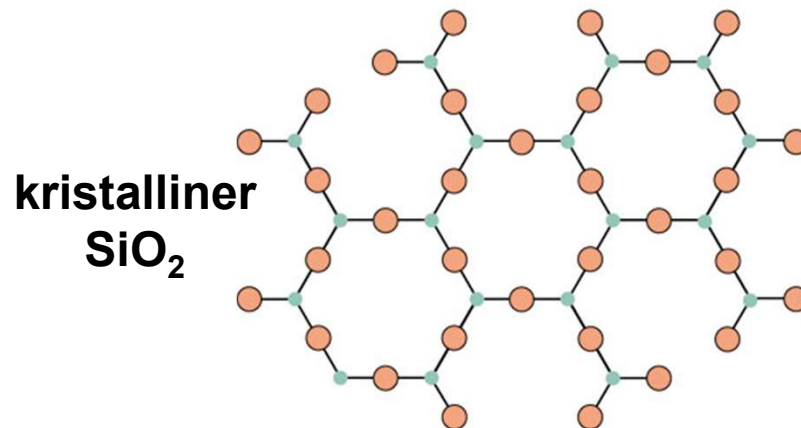


Amorphe (feste) Körper

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

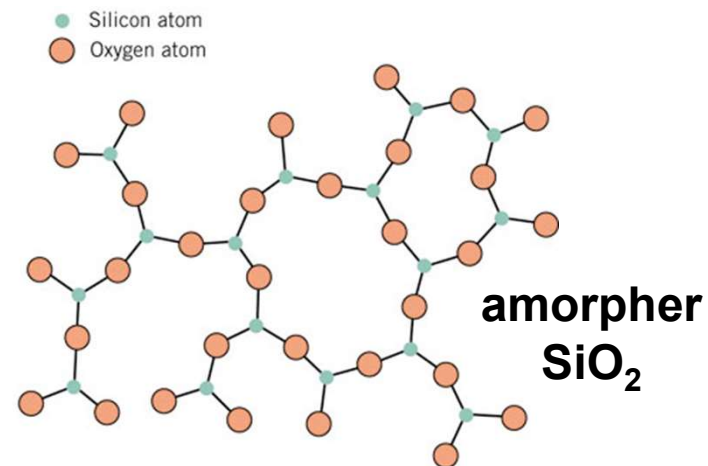


Z.B. Glas, Harz,
Wachs, Bitumen,



kristalliner
SiO₂

(a)



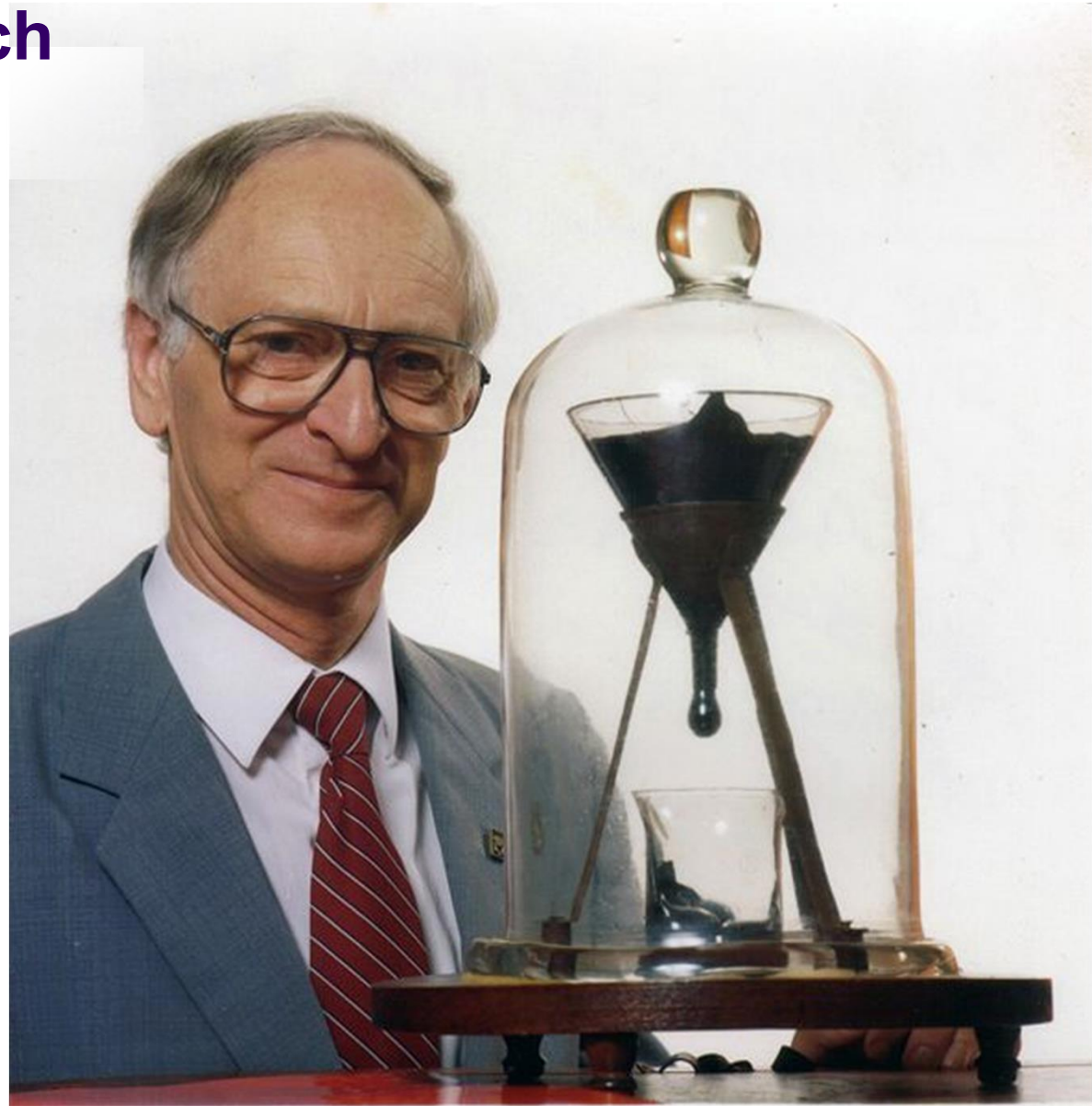
amorpher
SiO₂

(b)

Längster Versuch der Welt

- Pechtropfen-Experiment
- In 1927 gestartet
- 9 Tropfen

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

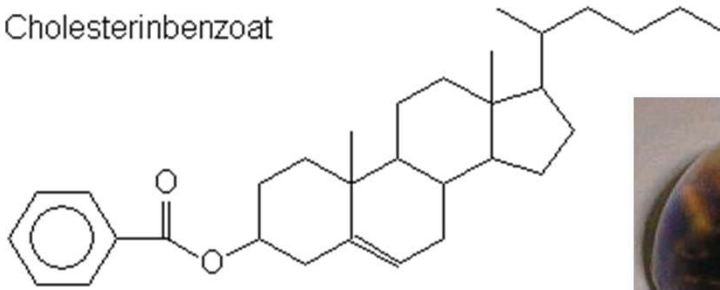


<https://de.wikipedia.org/wiki/Pechtropfenexperiment>

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

Flüssigkristalle

Cholesterinbenzoat

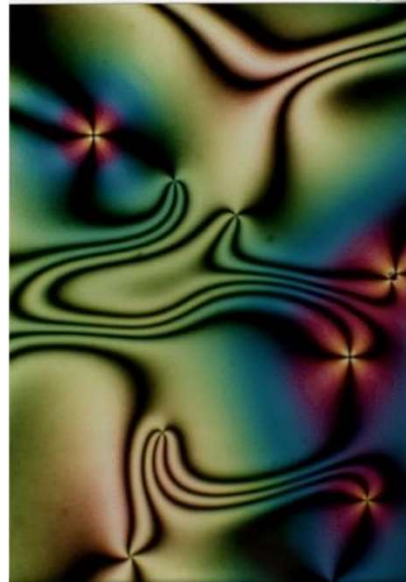


1883 Reinitzer

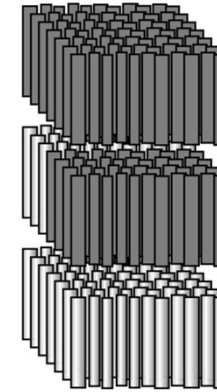


Termotrope
Flüssigkristalle:

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

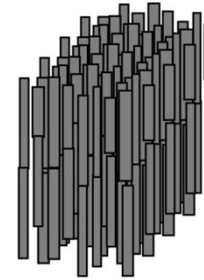


a



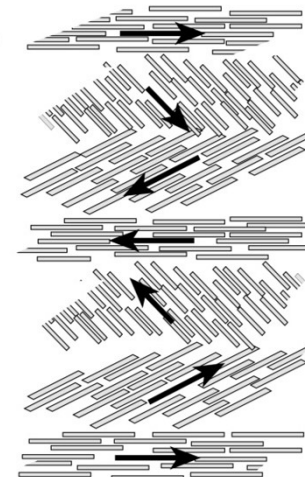
smektisch

b



nematisch

c

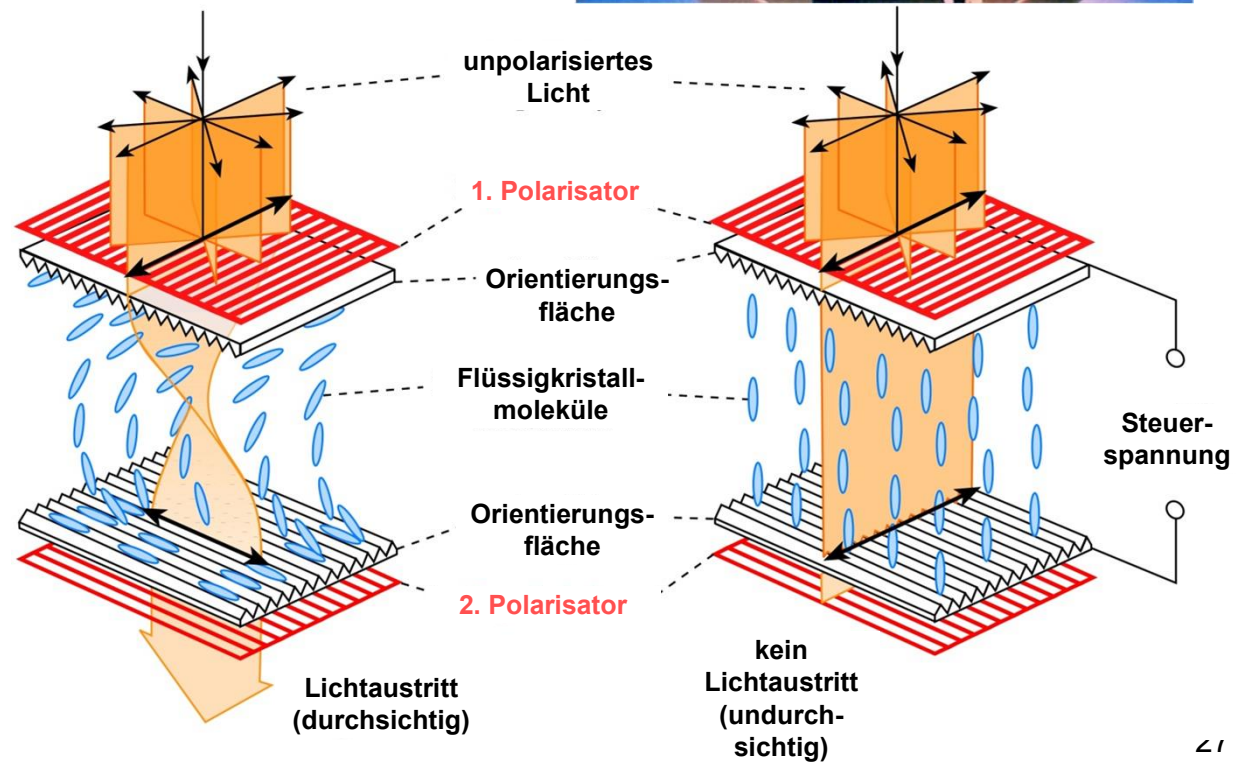
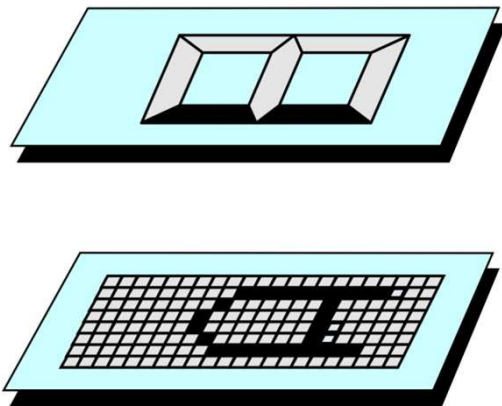


cholesterisch

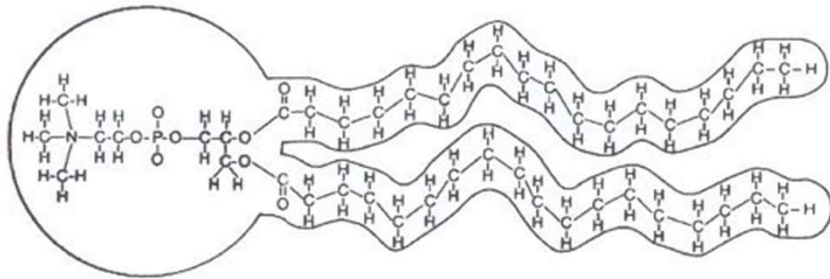
Kontaktthermographie/Plattenthermographie (thermo-optisches Phänomen)



LCD (elektro-optisches Phänomen)



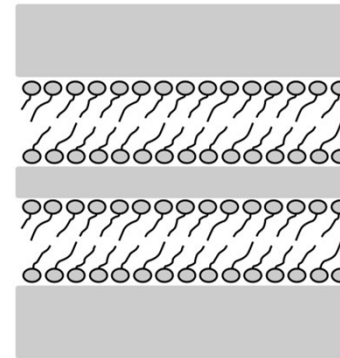
Lyotrope Flüssigkristalle:



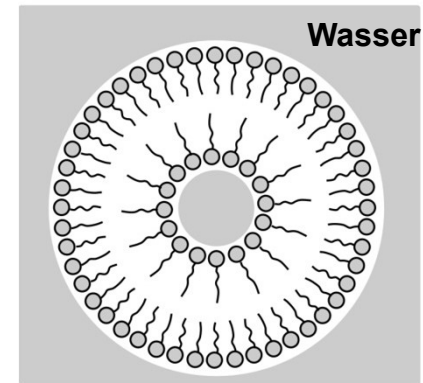
hydrophil

hydrophob

Phospholipidmolekül



Lamellare
Struktur



Liposom

