

Struktur der Materie

II. Aggregatzustände: Flüssigkeiten, feste Körper

5. Fester Aggregatzustand - Kristalle

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

6. Fester Aggregatzustand - amorphe Stoffe

- a) Makroskopische Beschreibung
- b) Mikroskopische Beschreibung

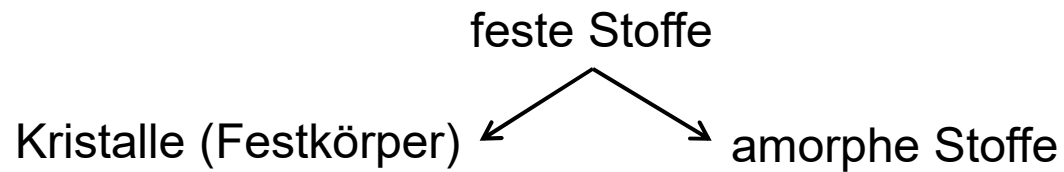
7. Flüssigkristalle

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

III. Mechanische Eigenschaften der Materialien

1. Mechanischen Eigenschaften von festen Stoffen

- a) Deformationstypen und das Belastungsdiagramm
- b) Elastische Verformung – Elastizität und Steifigkeit
- c) Plastische Verformung – Festigkeit und Zähigkeit



Zur Erinnerung

5. 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



Kristalltypen:

- Atomkristall (kovalente Bindung)



Diamant

- Ionenkristall (Ionenbindung)



Salz

- Metallkristall (Metallbindung)



Gold

- Molekulkristall (sekundäre Bindung)



Eis

Bindungsenergie (E_0) 

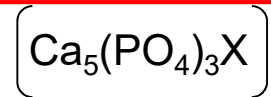
Eigenschaften, wie Schmelzpunkt, Schmelzwärme, Steifigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient, ...

Zur Erinnerung

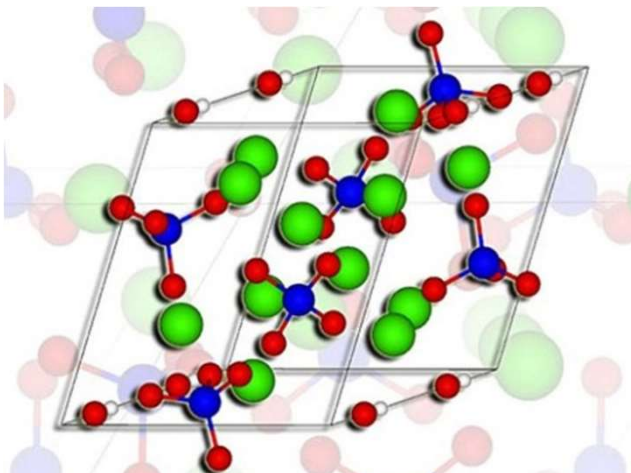
d) Apatit

Zur Erinnerung

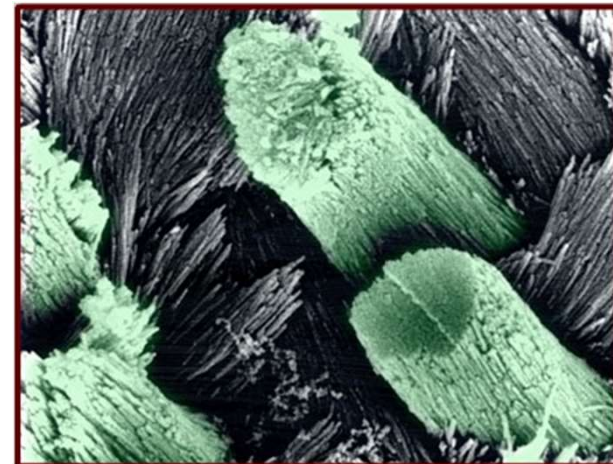
X =
OH : Hydroxiapatit
F : Fluorapatit



- 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:

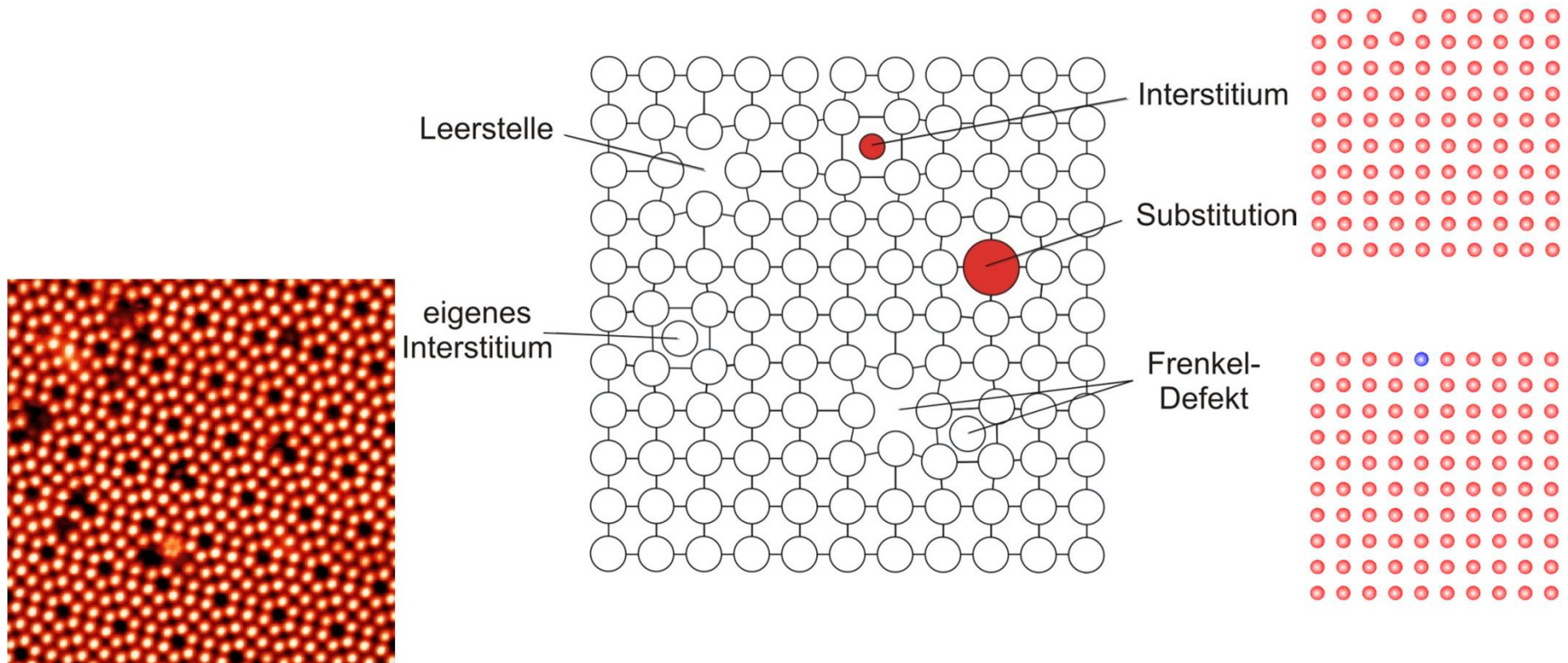
- Punktfehler
 - Thermische Fehler
 - Leerstelle (Vakanz, Schottky-Defekt)
 - Interstitium (Zwischengitteratom)
 - Frenkel-Defekt
- Fremdatome (chemische Fehler, Dotierung)
 - Substitutionsatom
 - Interstitielles Atom (Interstitium)

← Zahl der Schottky-Defekte (n_s):

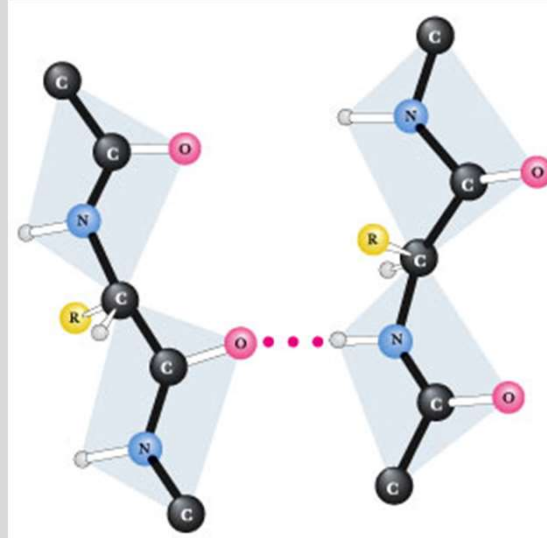
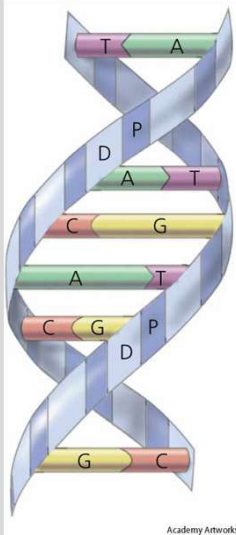
Aktivierungsenergie
(\approx Bindungsenergie)

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

Zahl der besetzten Gitterstelle
(\approx Zahl der Atome)



Thermische Fehler in biologischen Makromolekülen:



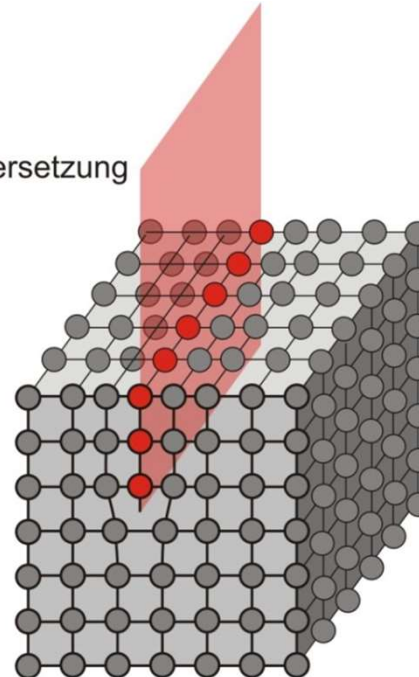
Zahl der aufgespaltenen H-
Brücken

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

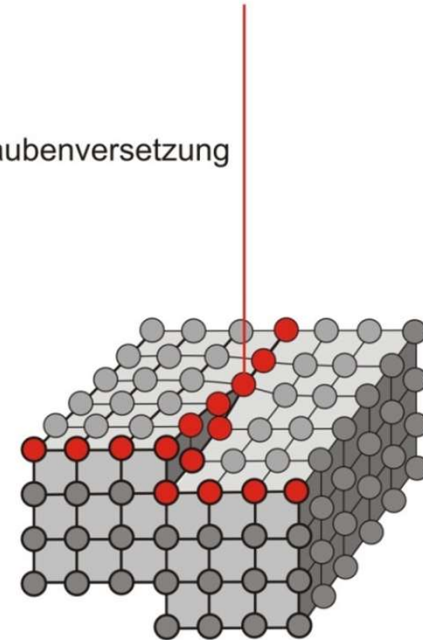
Zahl der intakten H-
Brücken

— Versetzungen (Dislokationen)

Stufenversetzung

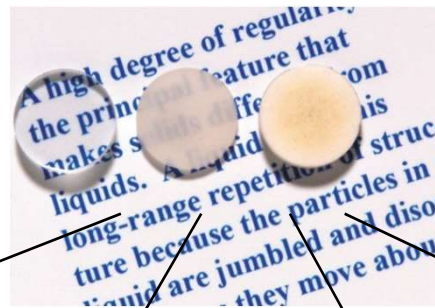
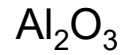


Schraubenversetzung



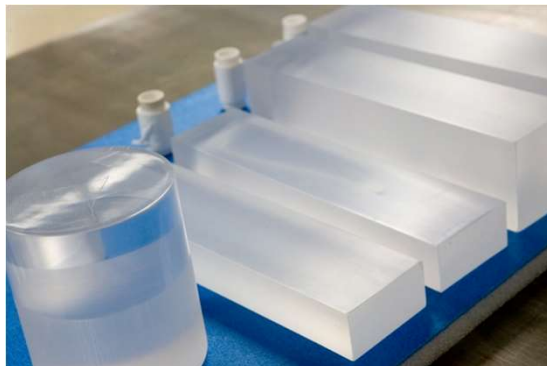
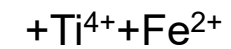
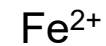
Gitterfehler \Rightarrow Eigenschaften!!

z. B. optische
Eigenschaften



Rubin

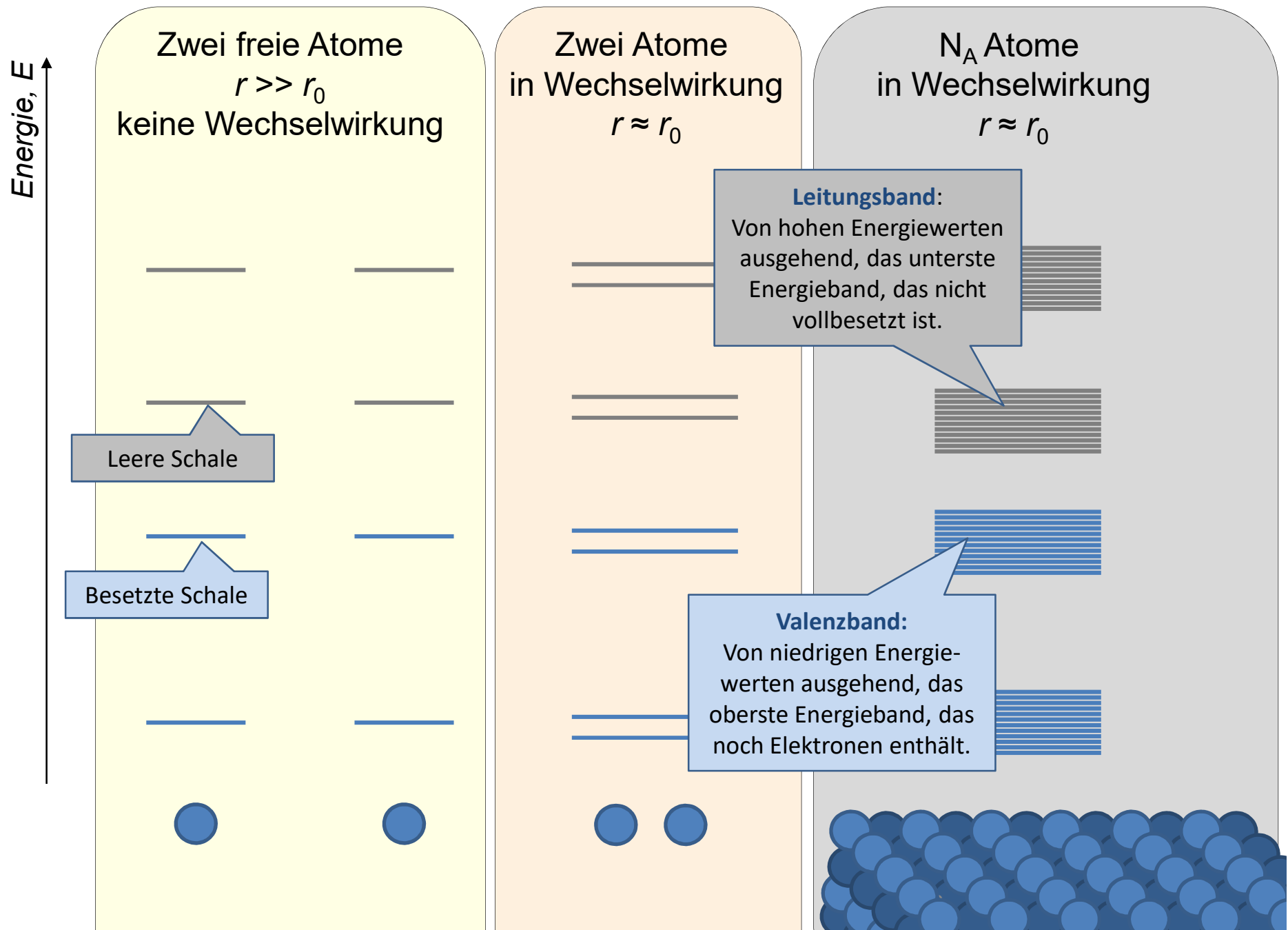
\rightarrow siehe Rubinlaser

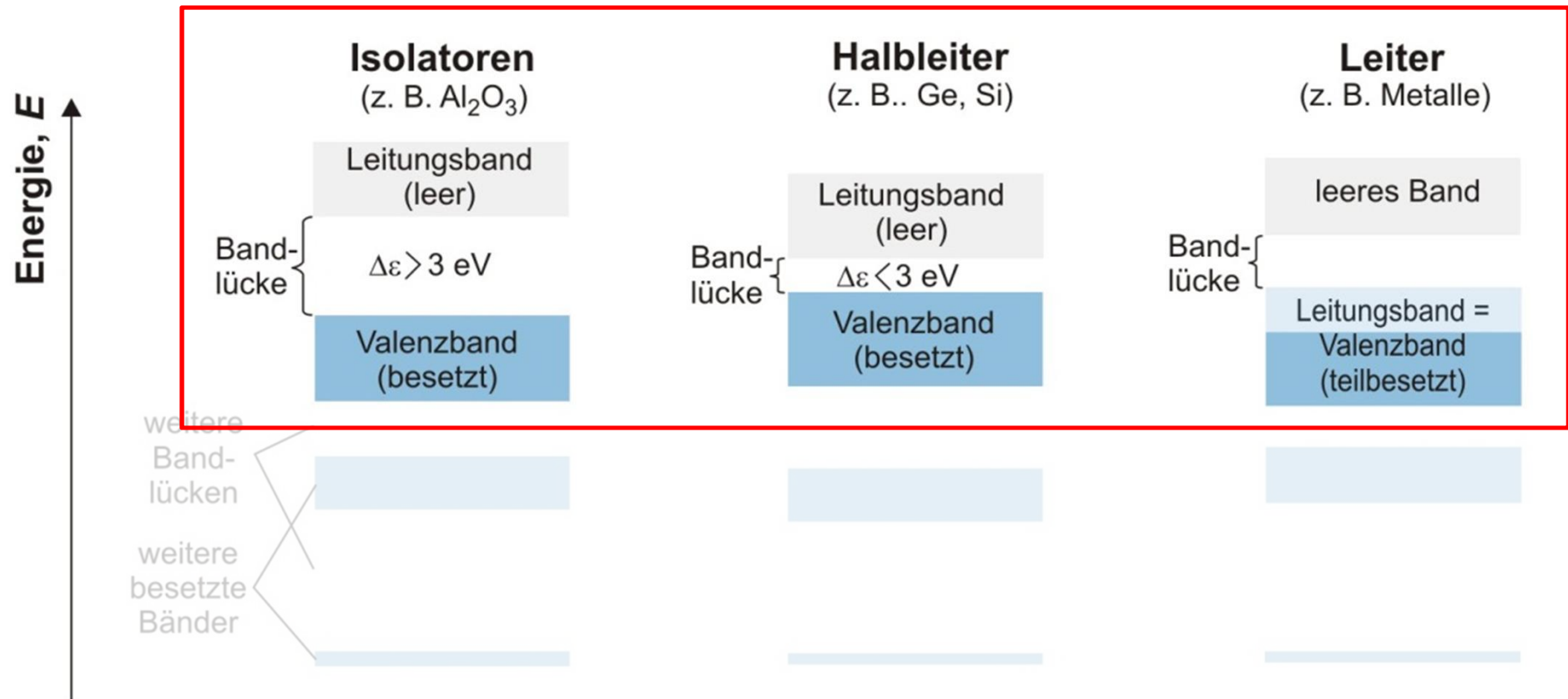


(unter Röntgenbestrahlung)

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

f) Elektronenstruktur von Festkörpern (Bändermodell):





Breite der
Bandlücke
(verbotene
Zone):

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

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

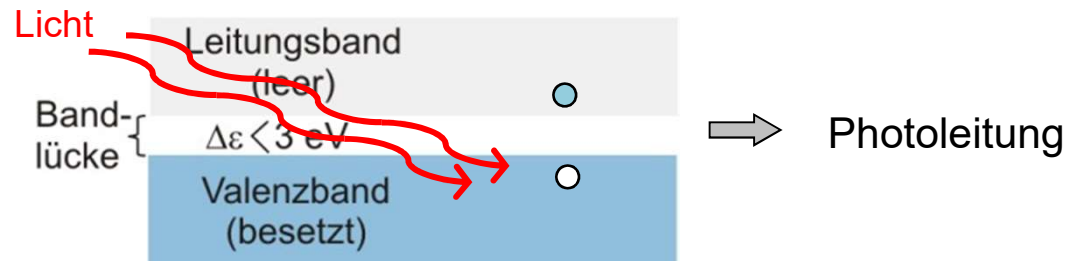
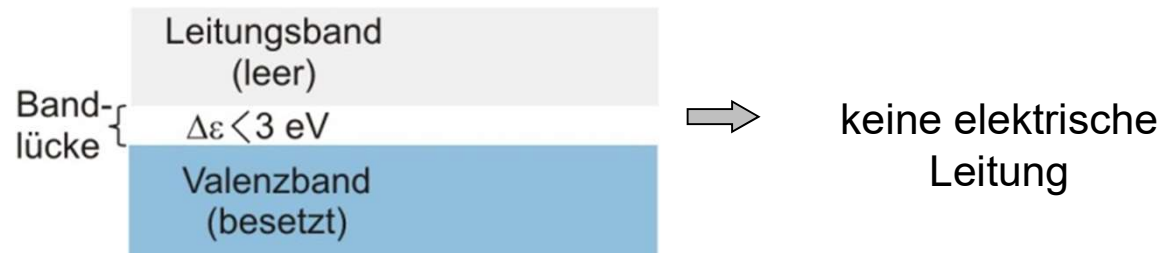
z.B. Si: $\Delta\epsilon = 1,1 \text{ eV}$

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

→ siehe die optischen
Eigenschaften später

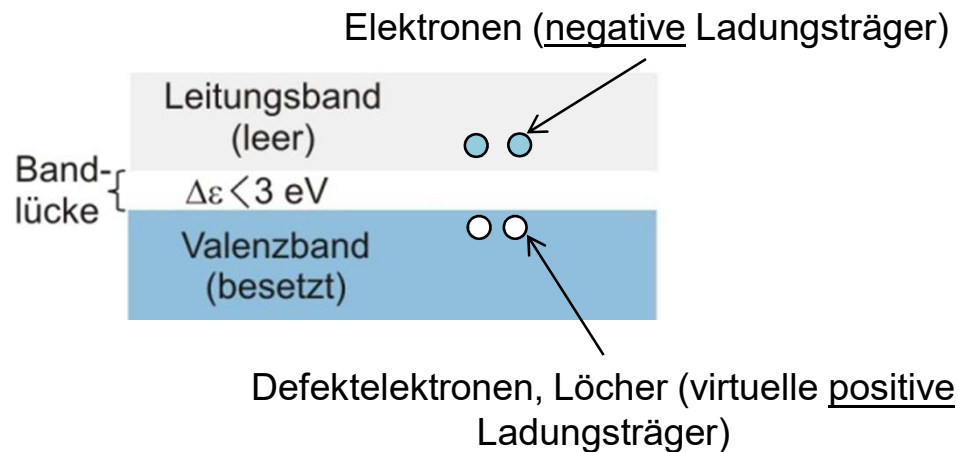
- Eigenhalbleiter (intrinsic Halbleiter)

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



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

Annähernd Boltzmann-Verteilung!



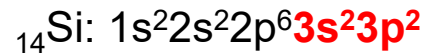
Zahl der freien
Ladungsträger

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

elektrische
Leitfähigkeit

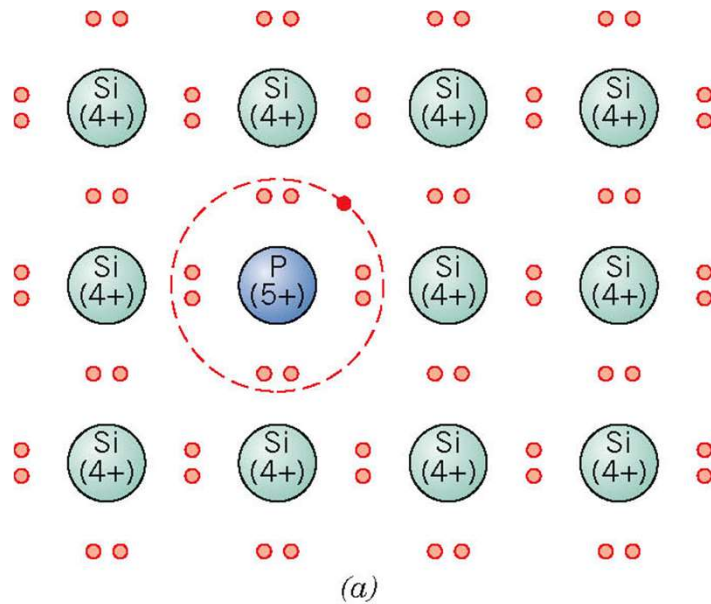
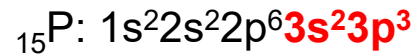
- Dotierte Halbleiter

Grundkristall z.B. Si



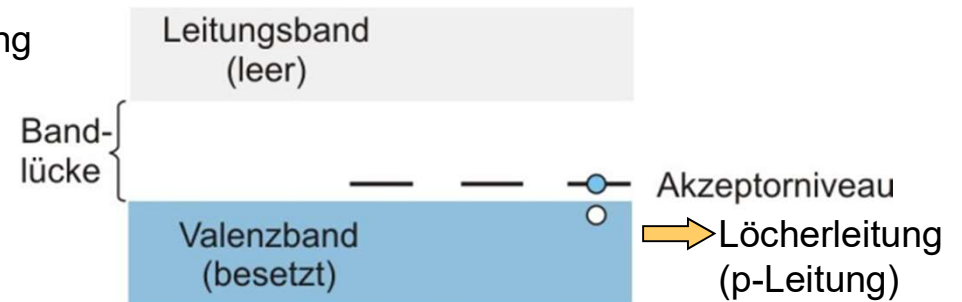
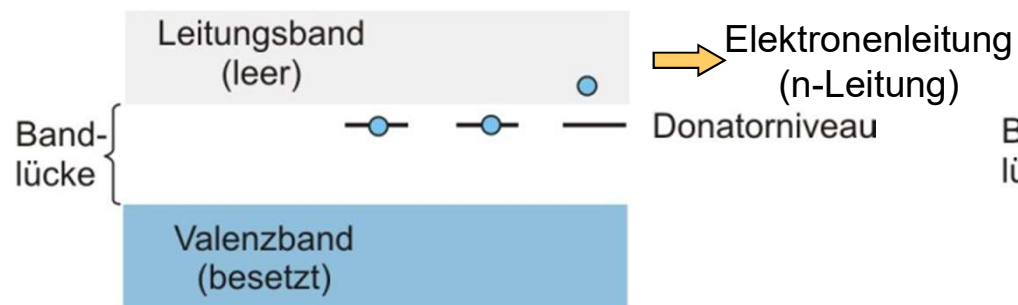
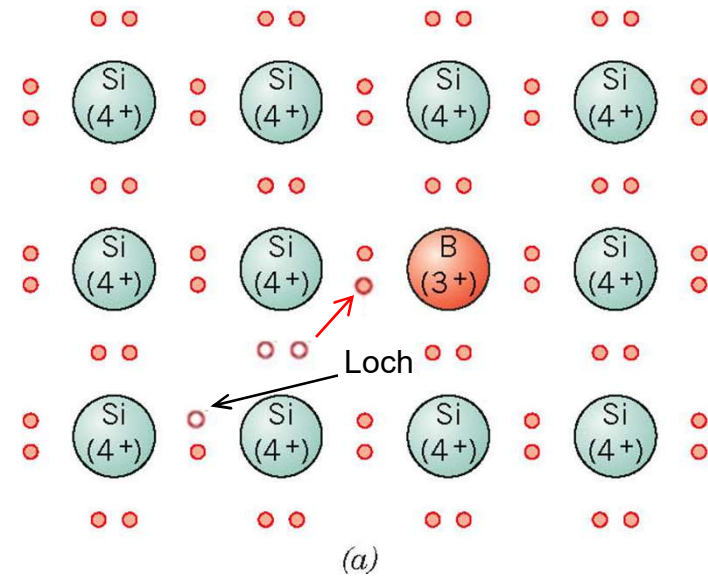
n-Halbleiter

z. B. + P



p-Halbleiter

z. B. + B



6. 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

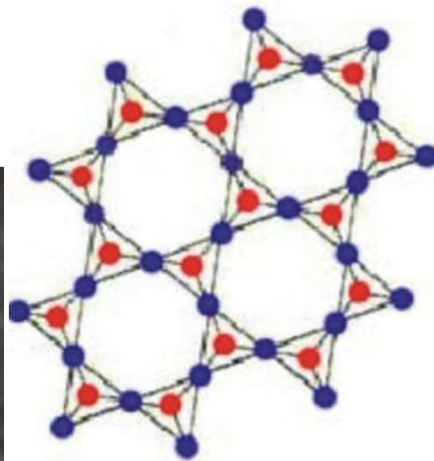


Siehe: Pechtropfenexperiment

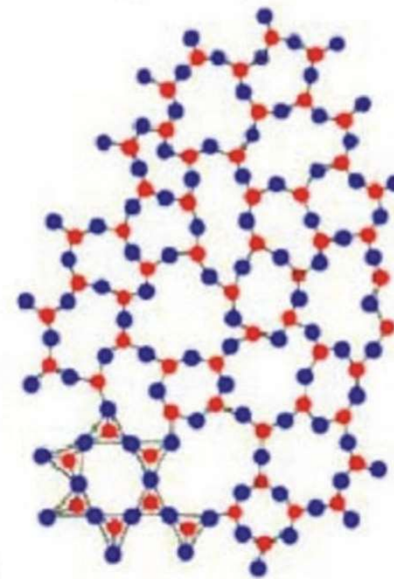


= gefrorene unterkühlte Flüssigkeiten, Gläser !

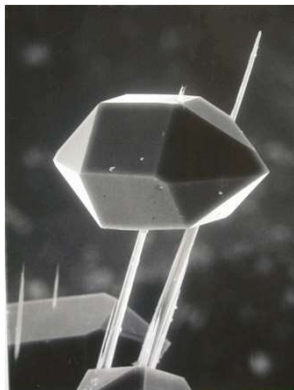
kristallines SiO_2



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



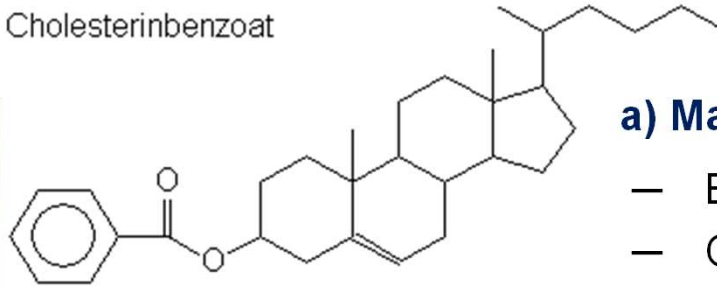
<https://de.wikipedia.org/wiki/Pechtropfenexperiment>

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

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

1883 Reinitzer

Cholesterinbenzoat



a) Makroskopische Beschreibung:

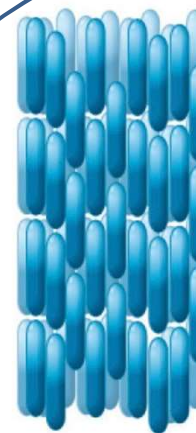
- Eigenvolumen aber keine Eigenform
- Optische Anisotropie
- Eigenschaften sind empfindlich gegen schwache äußere Einwirkungen

b) Mikroskopische Beschreibung:

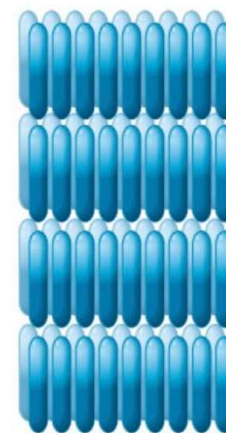
- Teilweise geordnete Strukturen (Orientierung, Schichten)
- Faden-, stäbchen, oder scheibenförmige Moleküle



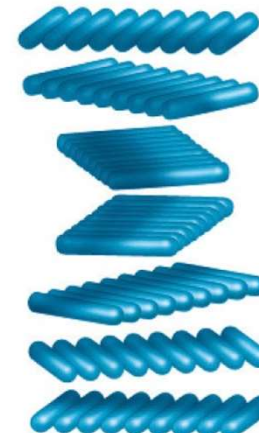
Translations-, und Orientationsordnung



nematisch



smektisch

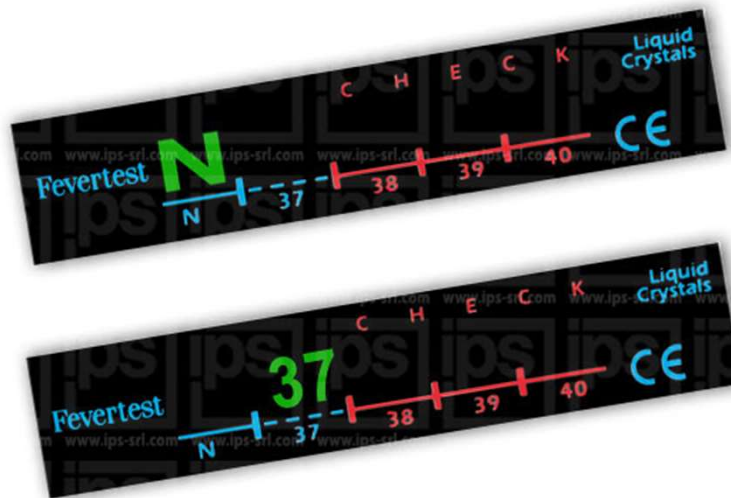
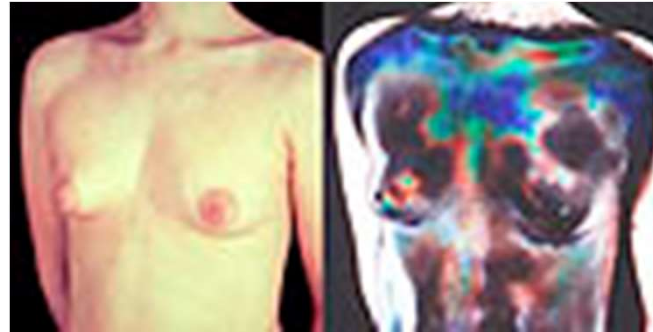
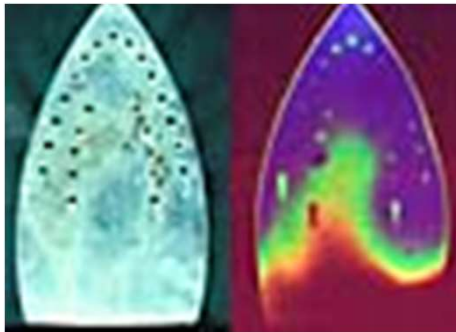


cholesterisch

c) Anwendungen von Flüssigkristallen:

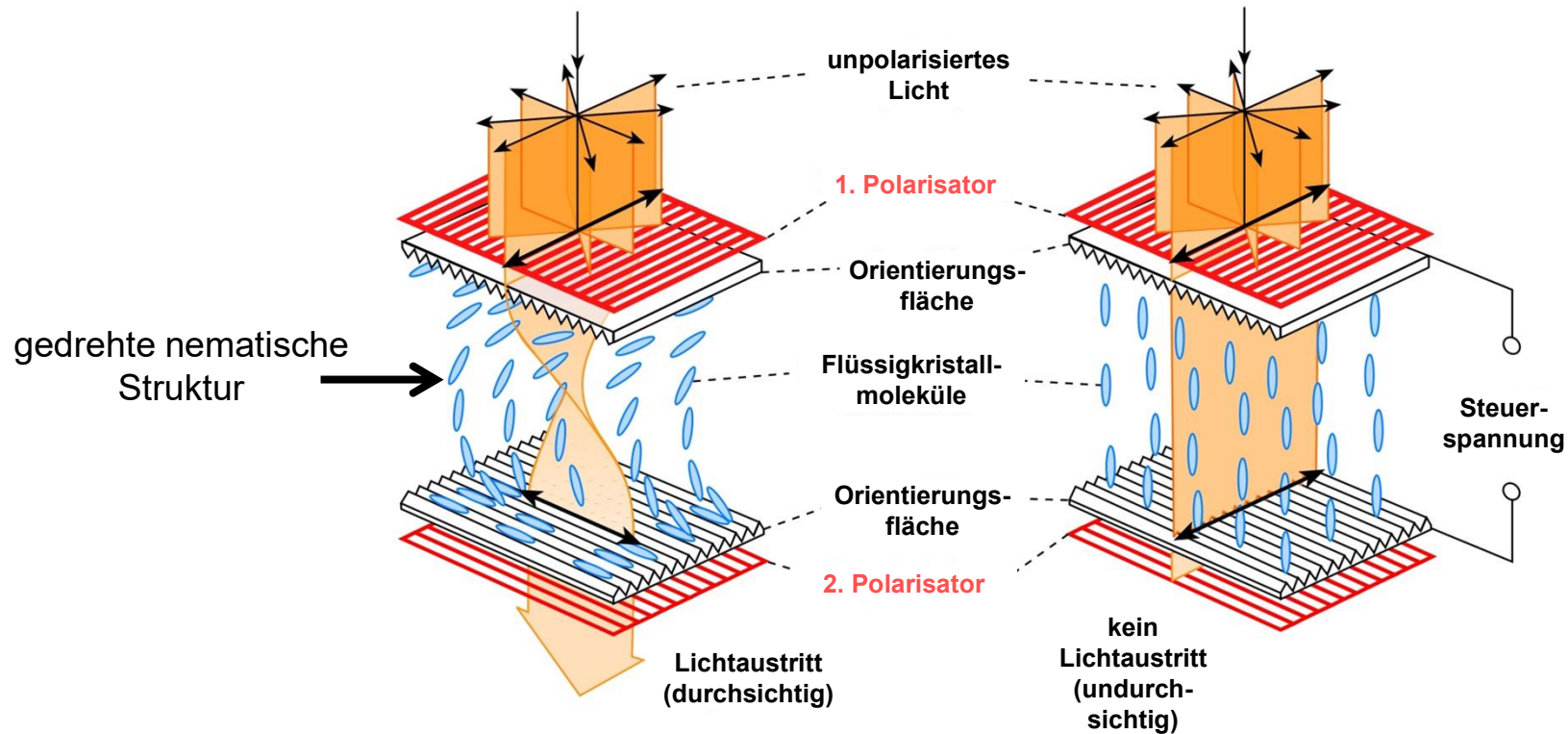
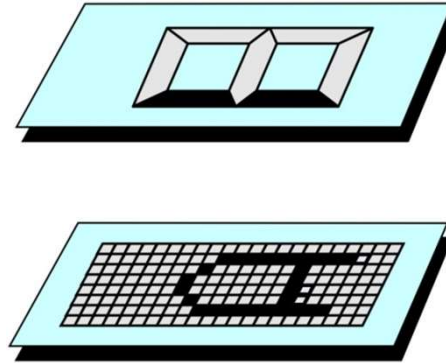
Kontaktthermographie/Plattenthermographie

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)

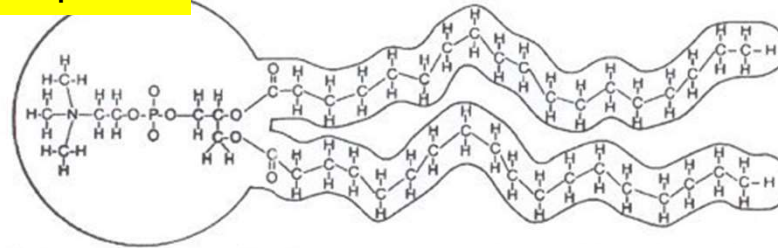


➡ Erklärung siehe später bei den Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie! 16

d) Lyotrope Flüssigkristalle:

Beispiel

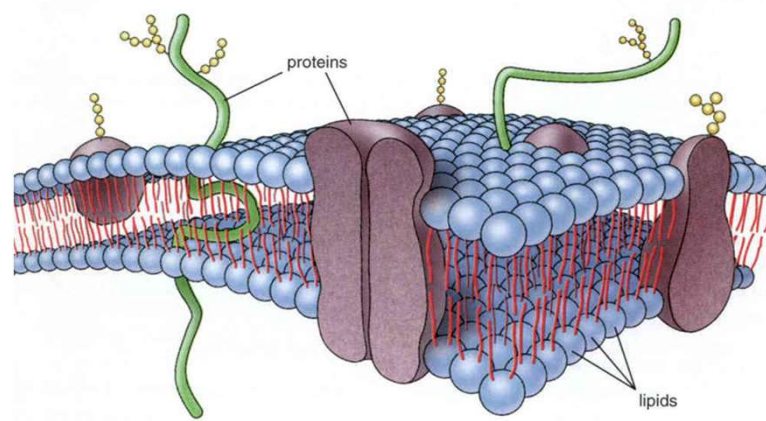
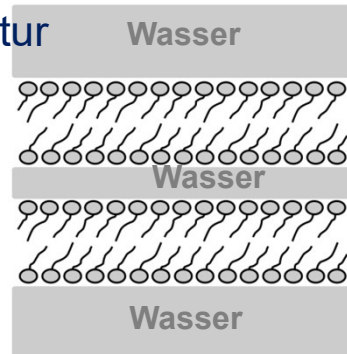
Phospholipidmolekül



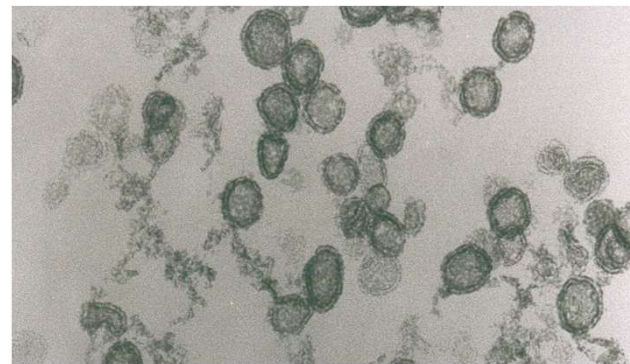
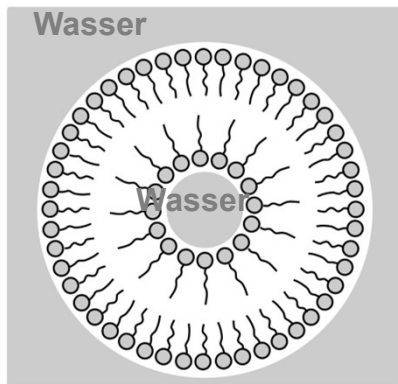
Hydrophiler Teil

Hydrophober Teil

Lamellare Struktur



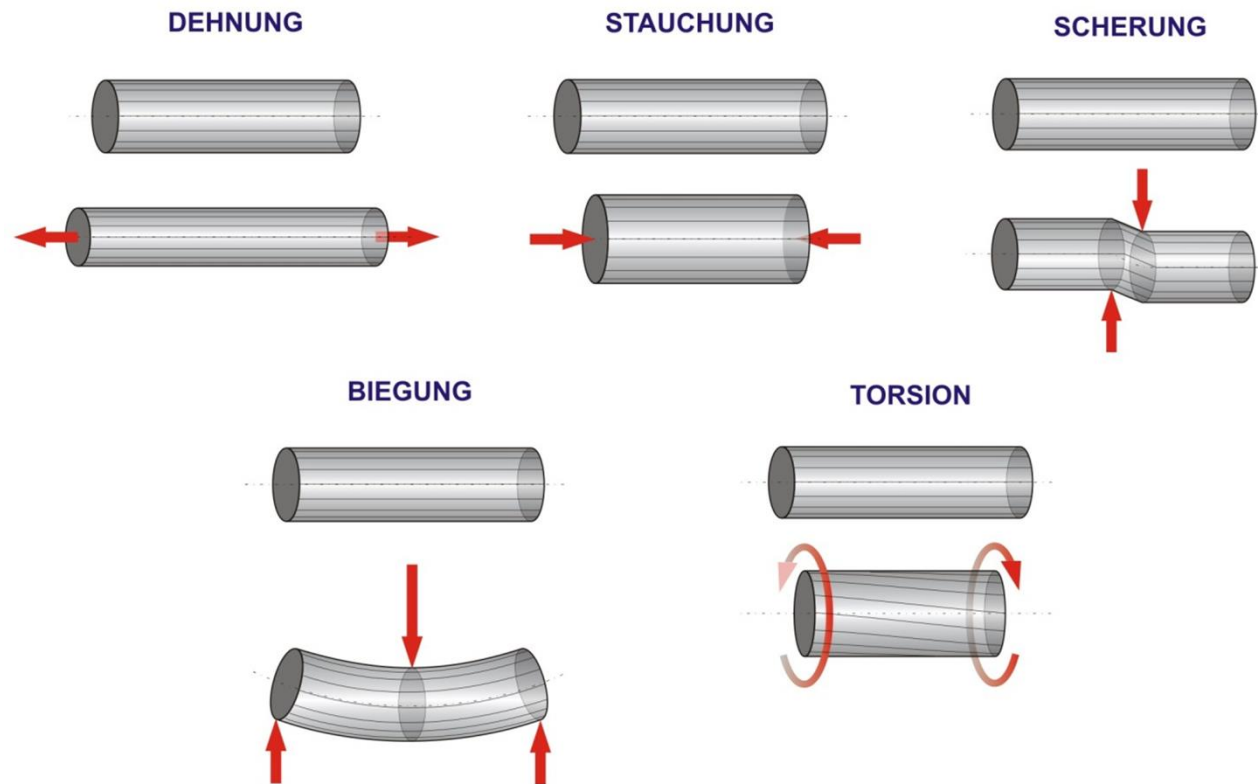
Liposom



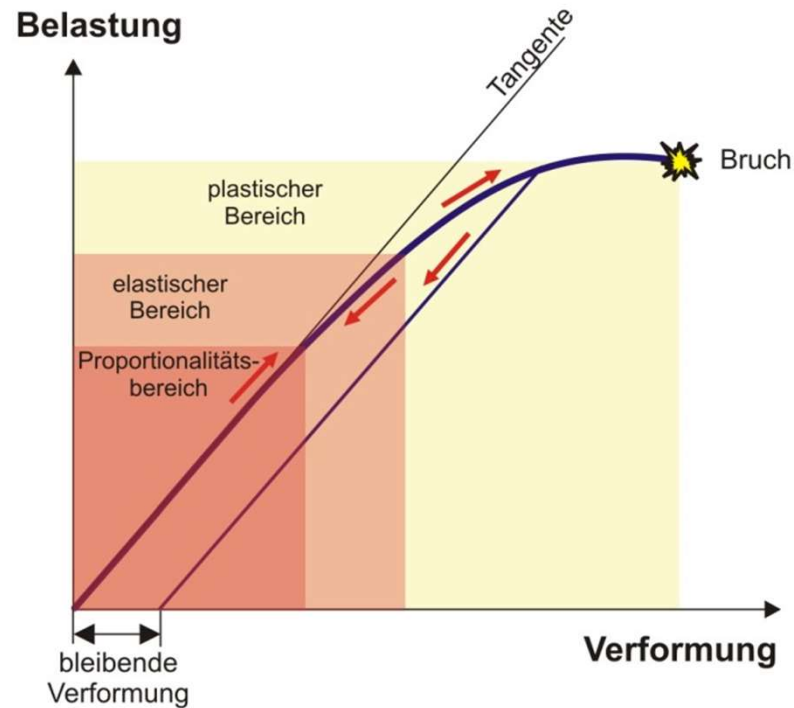
III. Mechanische Eigenschaften der Materialien

1. Mechanischen Eigenschaften von festen Stoffen

a) Deformationstypen und das Belastungsdiagramm:



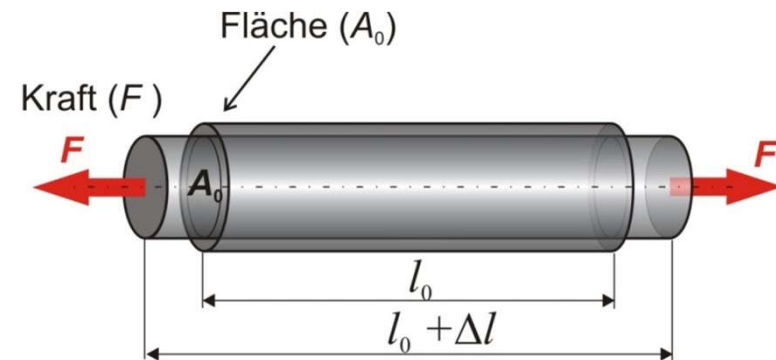
Belastungsdiagramm/Belastung-Verformungs-Diagramm/Spannung-Dehnungs-Diagramm:



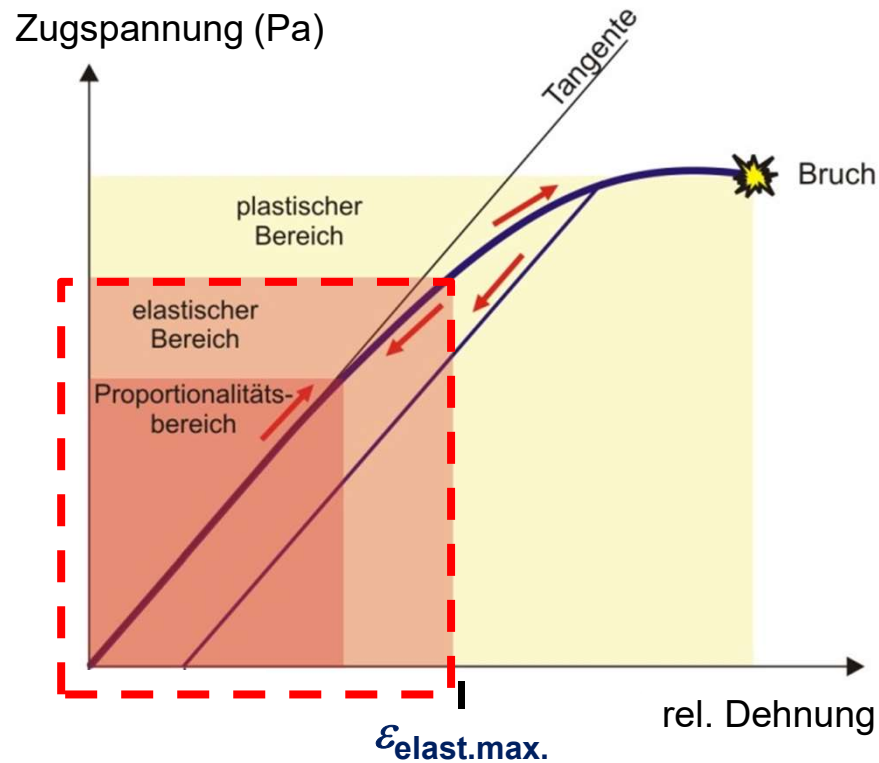
Als Beispiel wird die **Dehnung (Zug)** im Weiteren diskutiert.

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

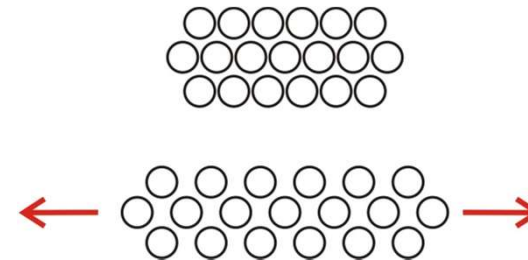
- **Zugspannung (σ):** $\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \right)$
- **Dehnung (ε):** $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} (\cdot 100\%)$



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

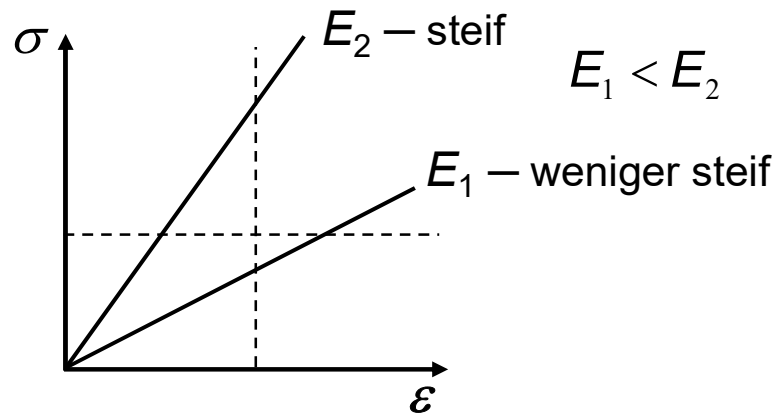
Die Elastizität eines Körpers kann mit der **elastischen Rückstellung** charakterisiert werden. Sie ist die maximal mögliche reversible Dehnung: $\epsilon_{\text{elast.max.}}$ (%)

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)



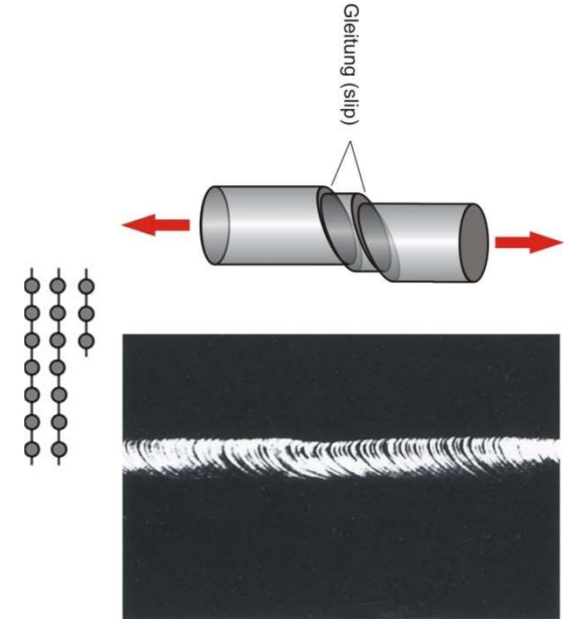
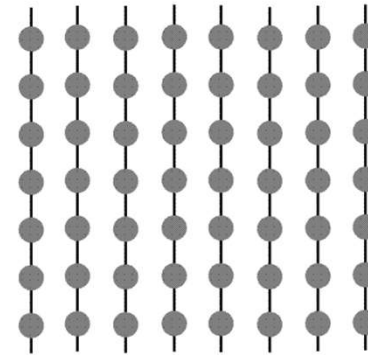
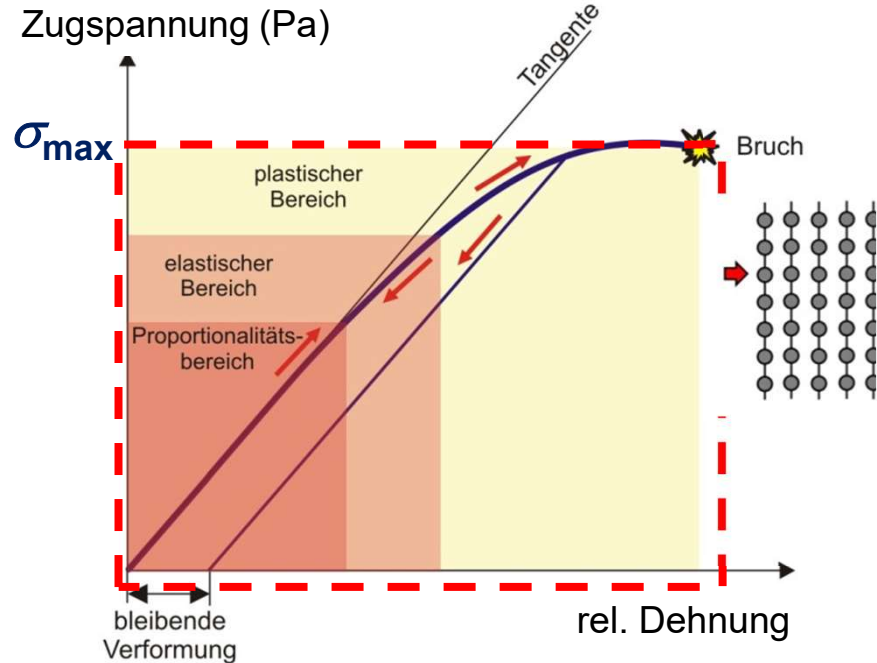
Stoff	E (GPa)
Knochen	10-15
Kollagen	0,3-2,5
Bandscheibe	0,005
Elastin	0,0005
Aluminiumoxid	350-410
Stahl	220
Titan	110
PMMA (Polymethylmethacrylat)	2,4-3,8
Silikongummi	$\approx 0,0003$

Wovon hängt die Steifigkeit der Materialien ab?



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

c) Plastische Verformung – Festigkeit und Zähigkeit:

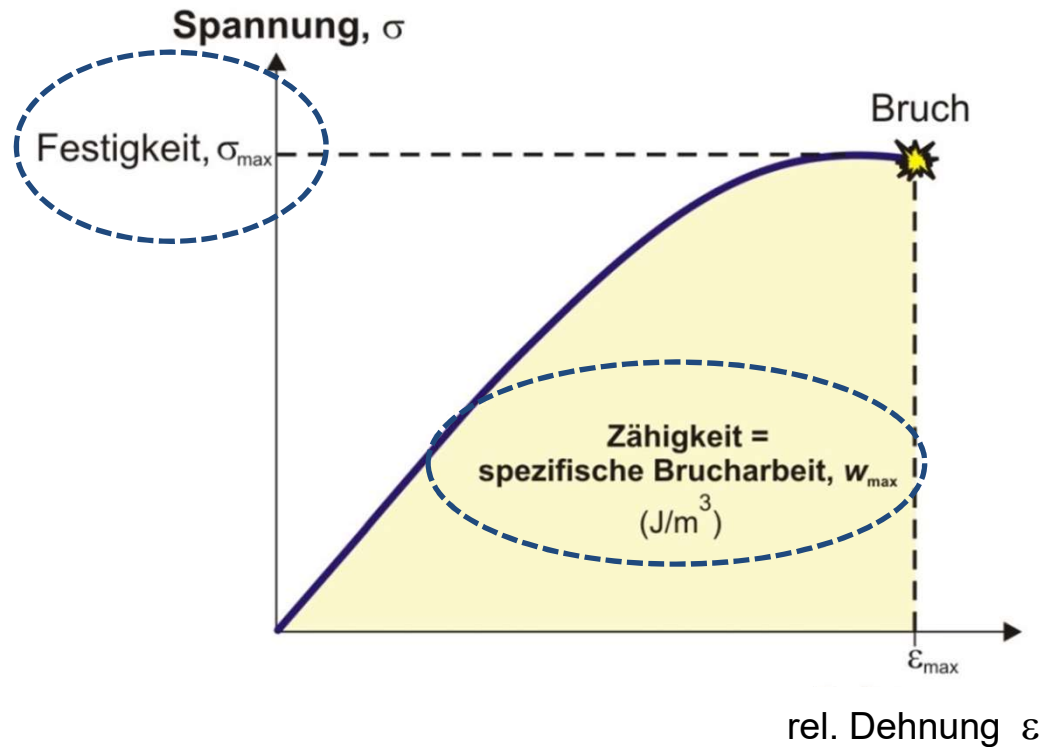


- **Festigkeit (σ_{\max}) (Pa):** die maximale Spannung, bei welcher der Bruch auftritt



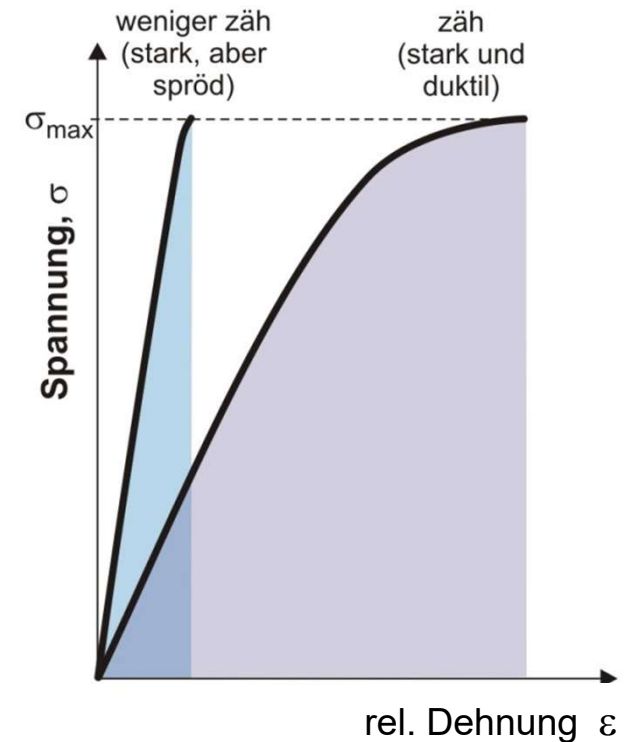
Wovon hängt die Festigkeit der Materialien ab?

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

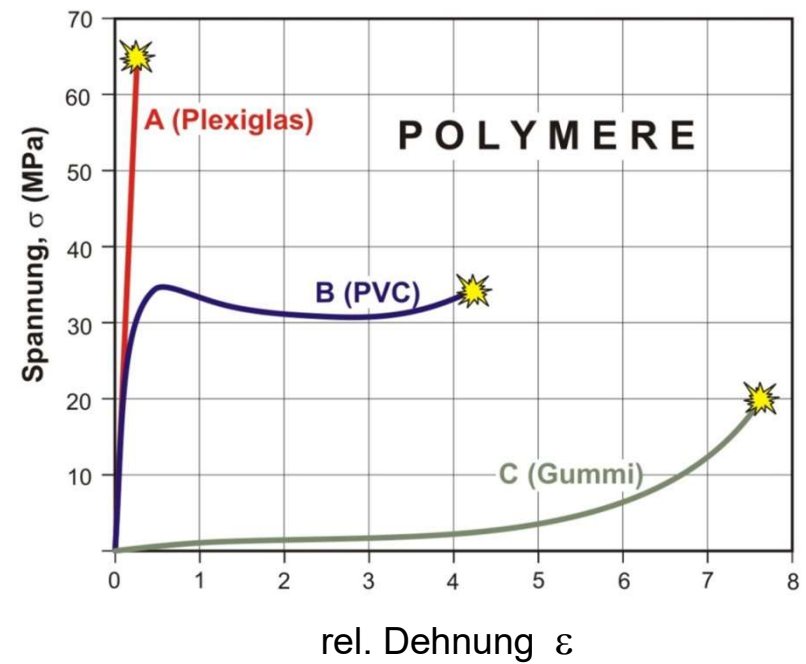
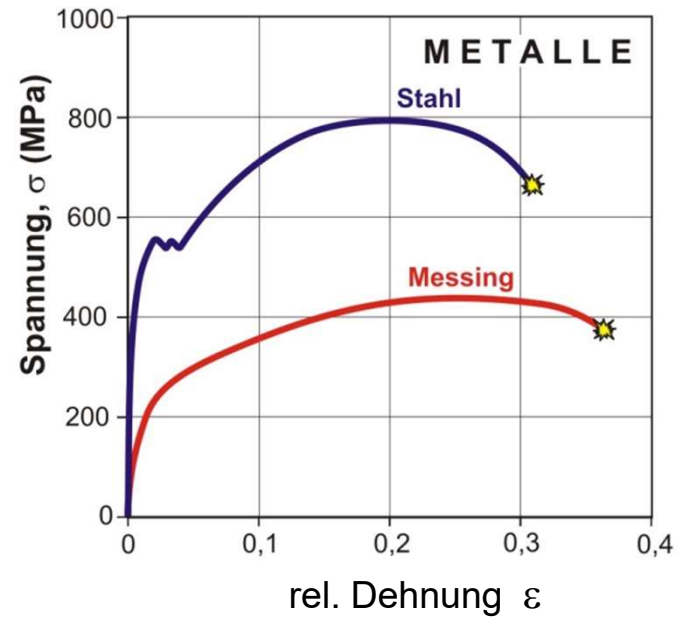
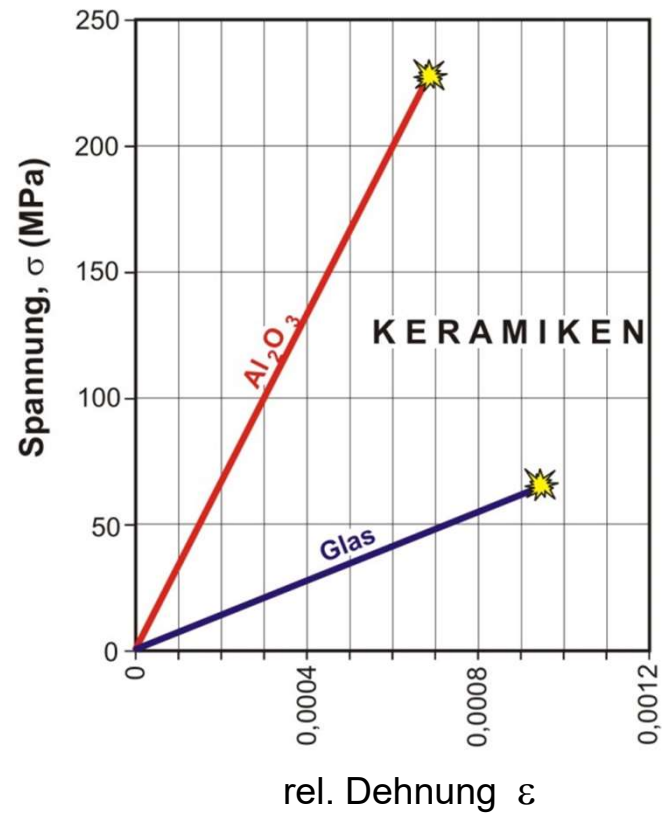


- **Zähigkeit (w_{\max}) (J/m^3):** die zur Verformung zugeführte Energie (Arbeit) bis zum Bruch (pro m^3)
 - Sie kann durch das Flächenstück unter der Kurve bis zum Bruch veranschaulicht werden.
 - Die Zähigkeit hängt von der Festigkeit aber auch von der maximalen Dehnbarkeit des Stoffes ab.

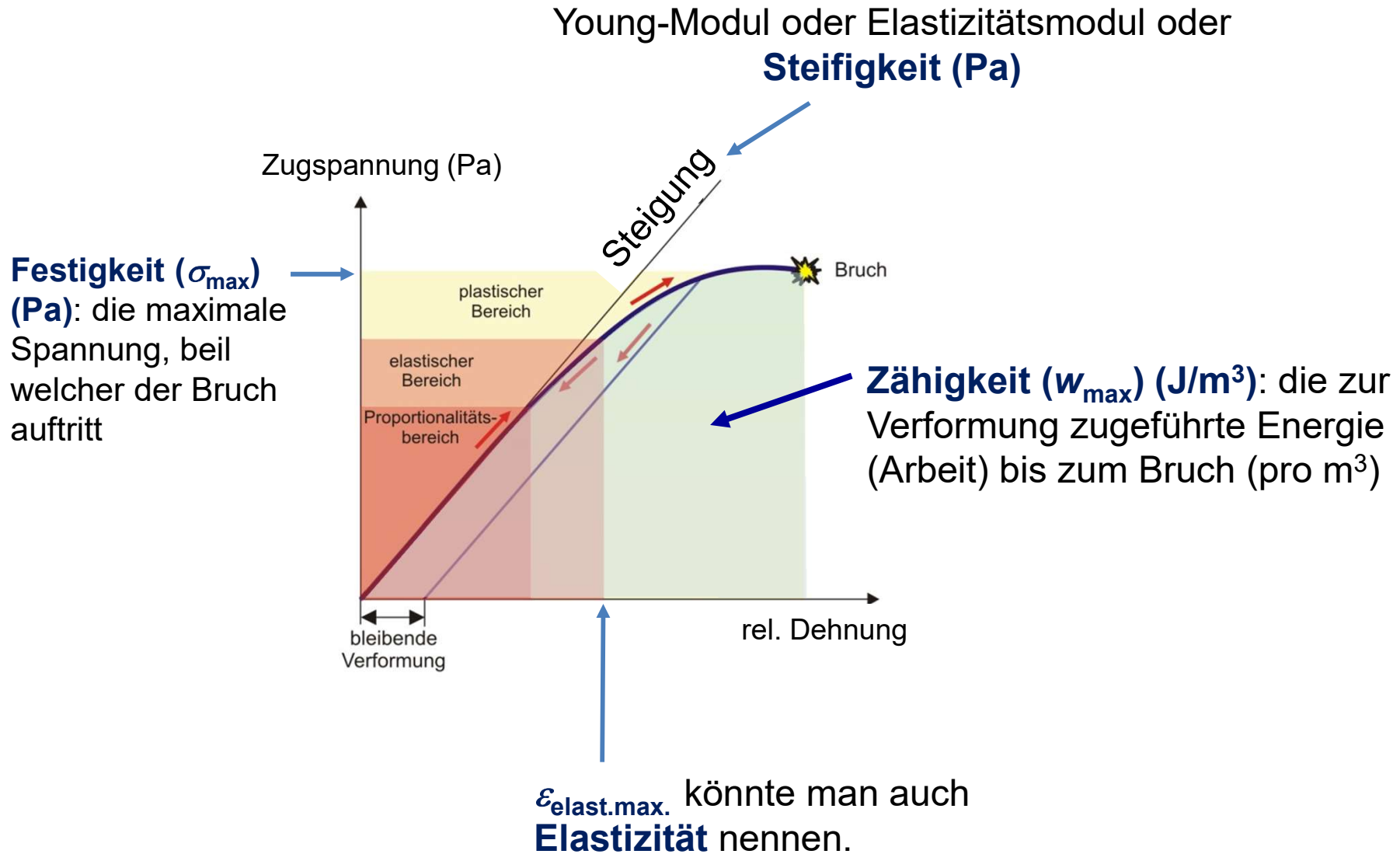
Gleiche Festigkeit aber unterschiedliche Zähigkeit:



Beispiele:



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



Hausaufgaben: ■ Aufgabensammlung

1. 43, 44, 47, 49, 50a, 51

1.56, 59, 61-63, 65-72

