

Struktur der Materie

II. Aggregatzustände: Flüssigkeiten, feste Körper

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:

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

e) Gitterfehler:

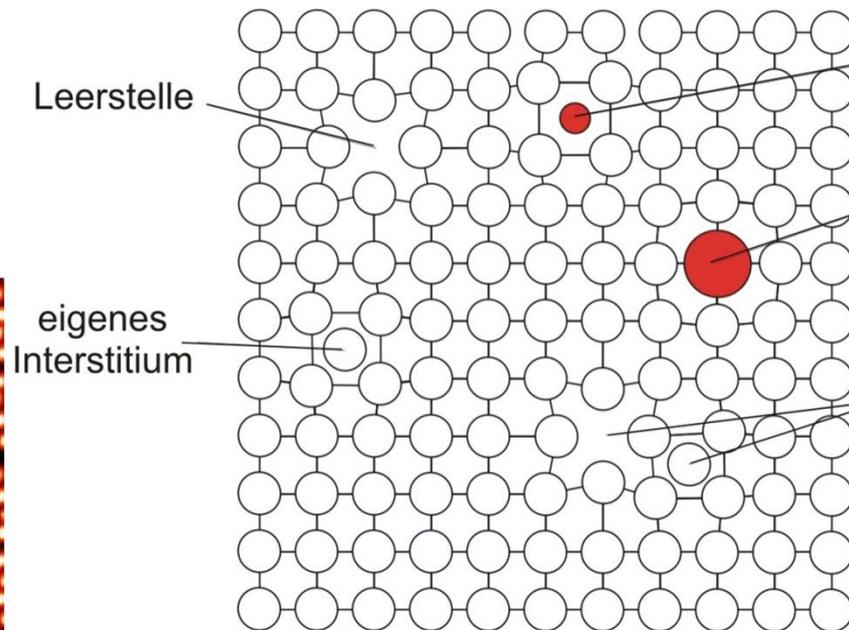
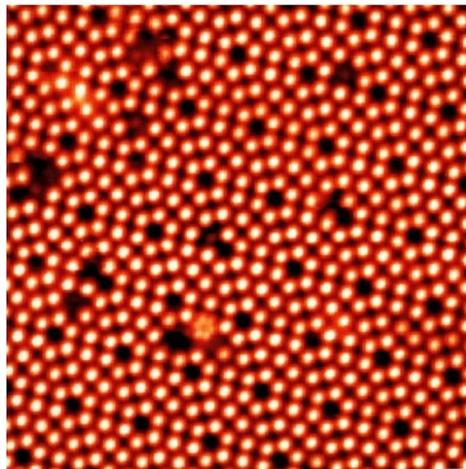
- Punktfehler
 - Thermische Fehler
 - Leerstelle (Vakanz, Schottky-Defekt)
 - Interstitium (Zwischengitteratom)
 - Frenkel-Defekt
 - Fremdatome (chemische Fehler, Dotierung)
 - Substitutionsatom
 - Interstitielles Atom (Interstitium)

← Zahl der Schottky-Defekte (n_s):

Aktivierungsenergie
(\approx Bindungsenergie)

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

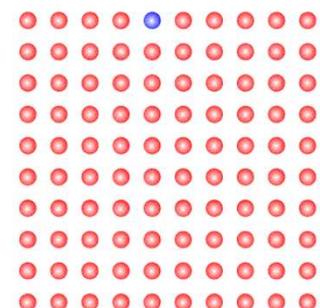
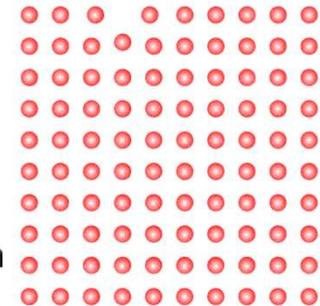
Zahl der besetzten Gitterstelle
(\approx Zahl der Atome)



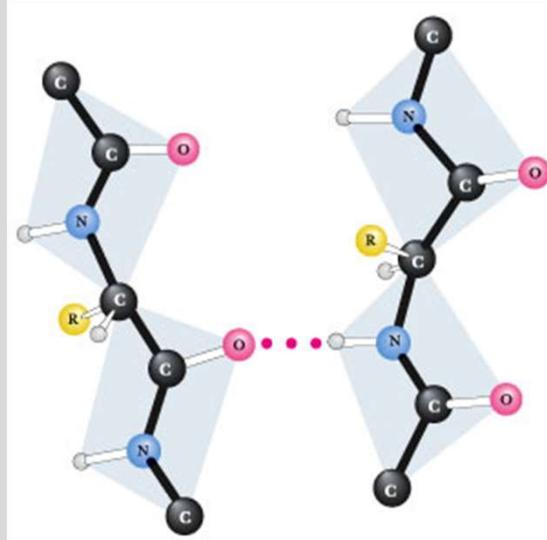
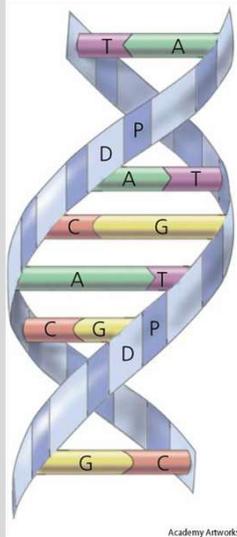
Interstitium

Substitution

Frenkel-Defekt



Thermische Fehler in biologischen Makromolekülen:



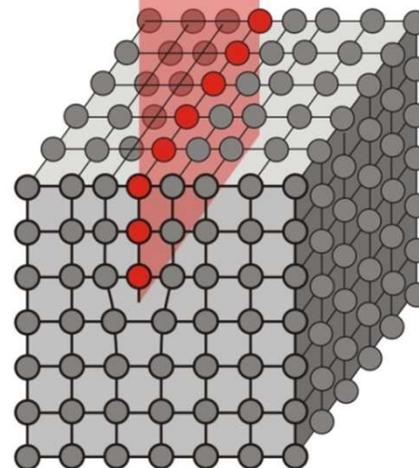
Zahl der aufgespaltenen H-
Brücken

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

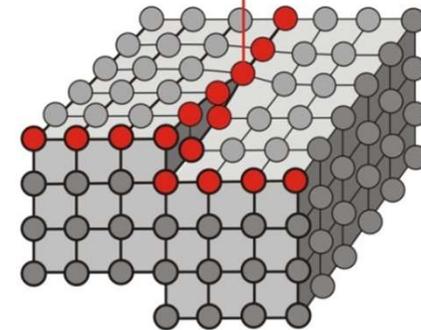
Zahl der intakten H-
Brücken

– Versetzungen (Dislokationen)

Stufenversetzung

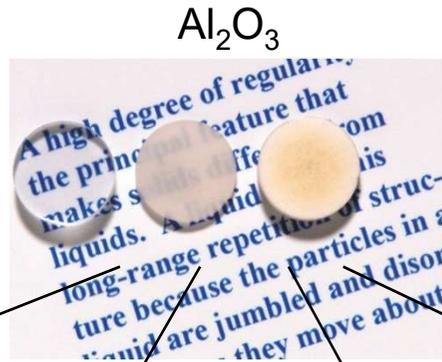


Schraubenversetzung



Gitterfehler \Rightarrow Eigenschaften!!

z. B. optische
Eigenschaften



+ Cr^{3+}



Rubin

\rightarrow siehe Rubinlaser

+ V^{2+}



Fe^{2+}



+ $\text{Ti}^{4+} + \text{Fe}^{2+}$



NaI



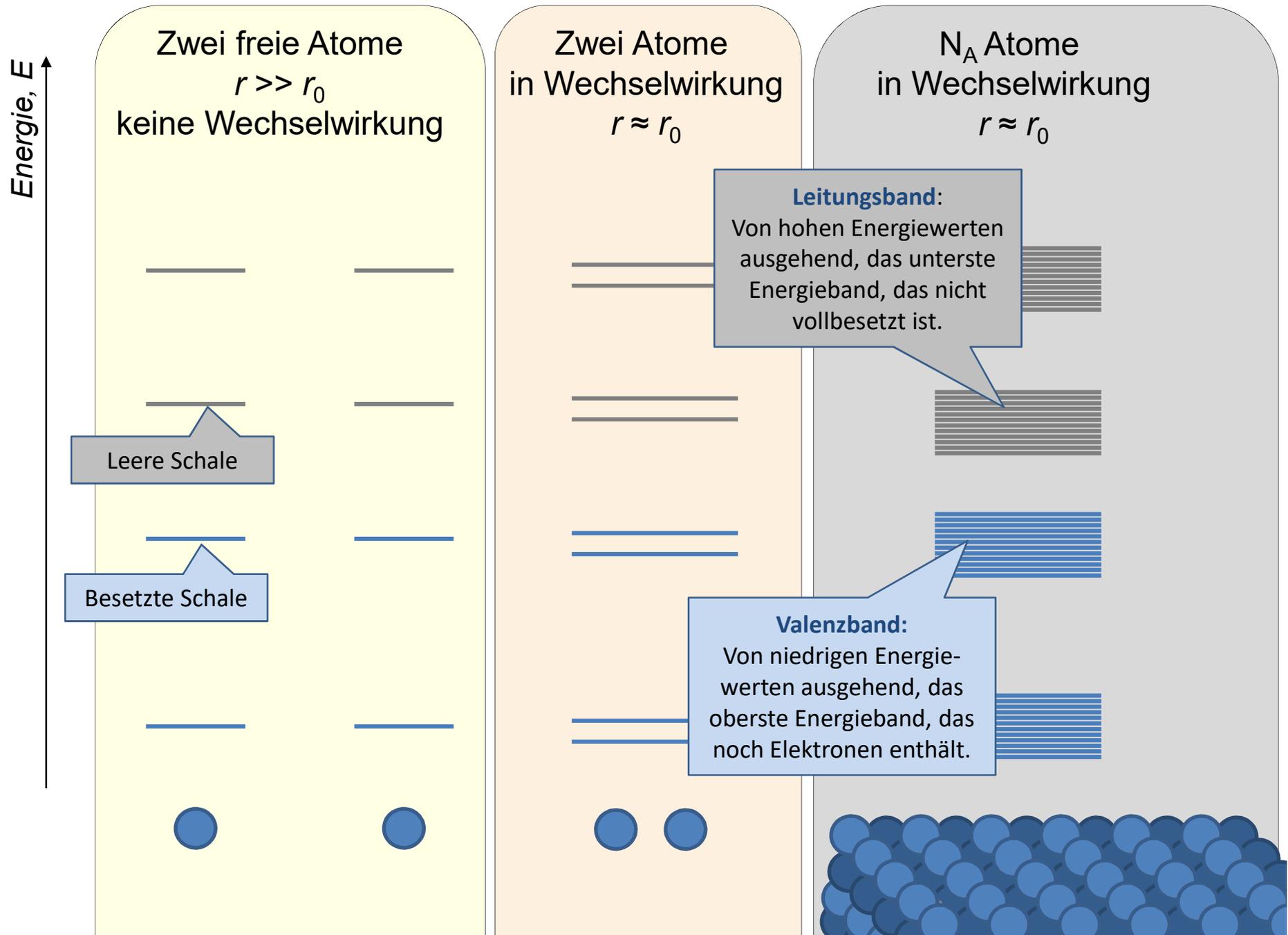
$\text{NaI} + \text{Tl}$

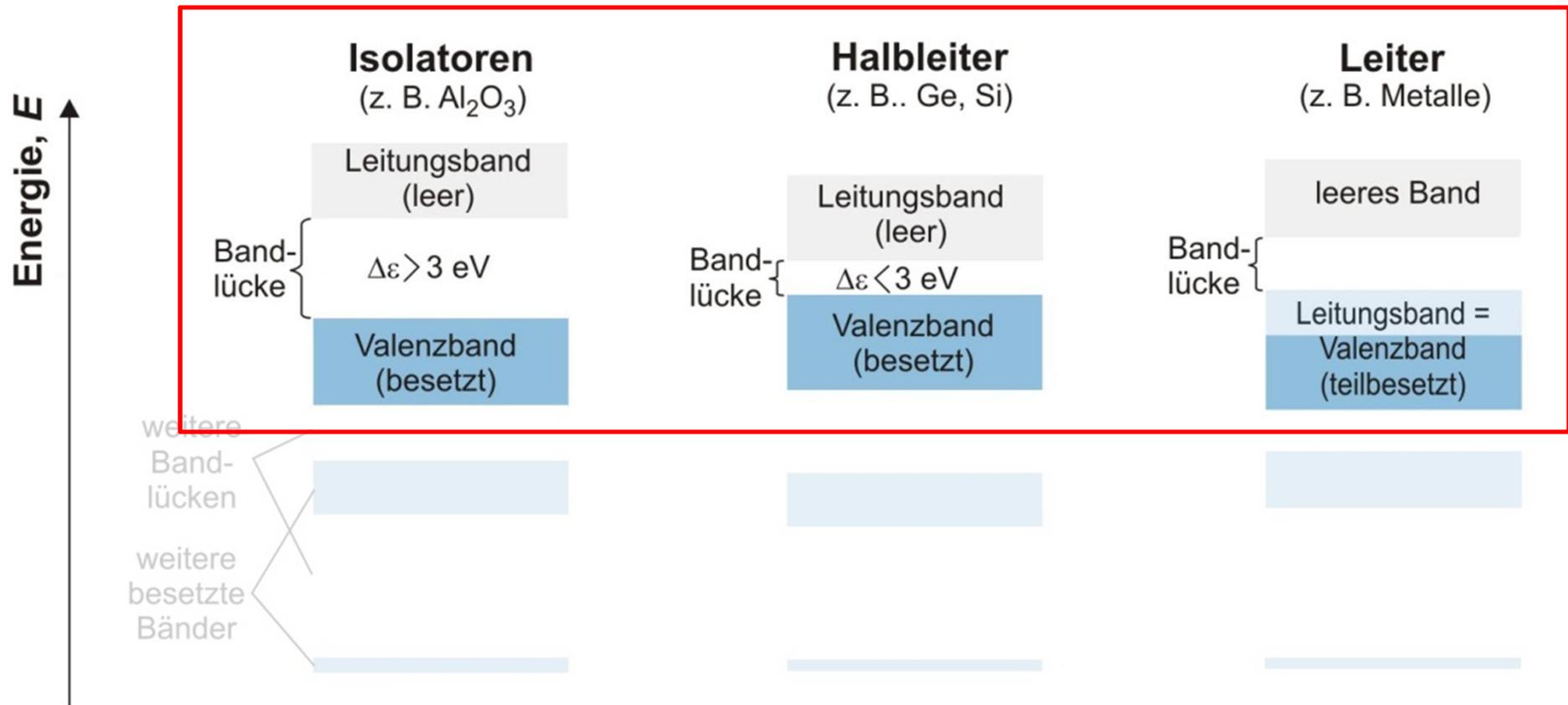


(unter Röntgenbestrahlung)

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

f) Elektronenstruktur von Festkörpern (Bändermodell):





Breite der Bandlücke (verbotene Zone):

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

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

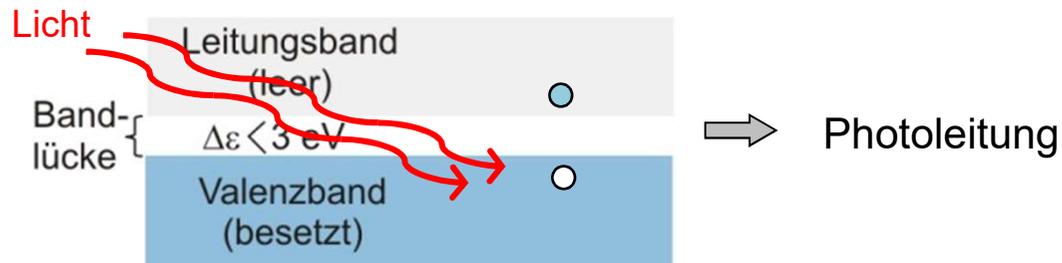
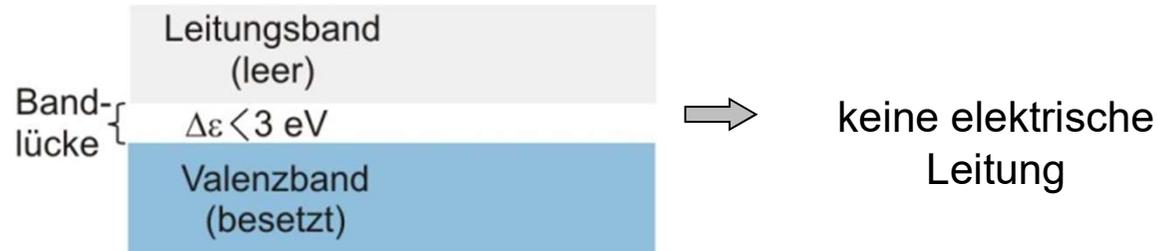
z.B. Si: $\Delta\varepsilon = 1,1 \text{ eV}$

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

→ siehe die optischen Eigenschaften später

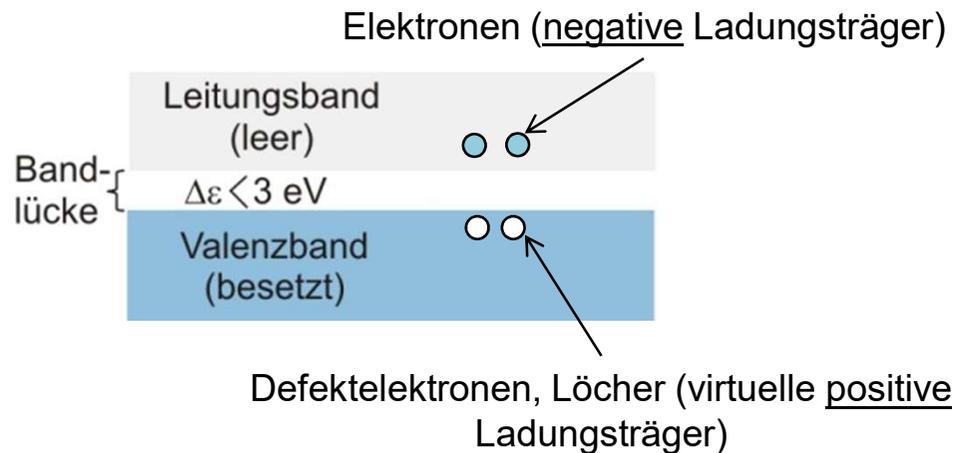
- Eigenhalbleiter (intrinsic Halbleiter)

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



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

Annähernd Boltzmann-Verteilung!



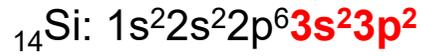
Zahl der freien Ladungsträger

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

elektrische Leitfähigkeit

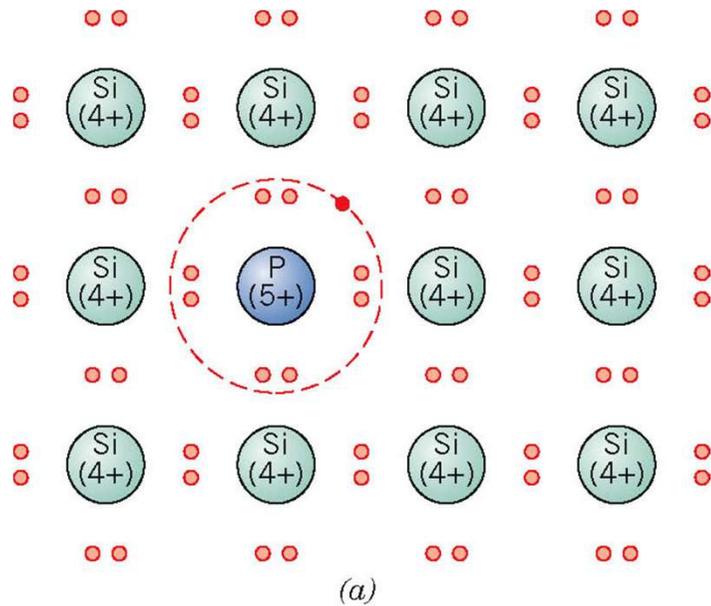
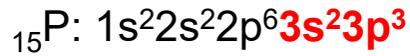
▪ Dotierte Halbleiter

Grundkristall z.B. Si



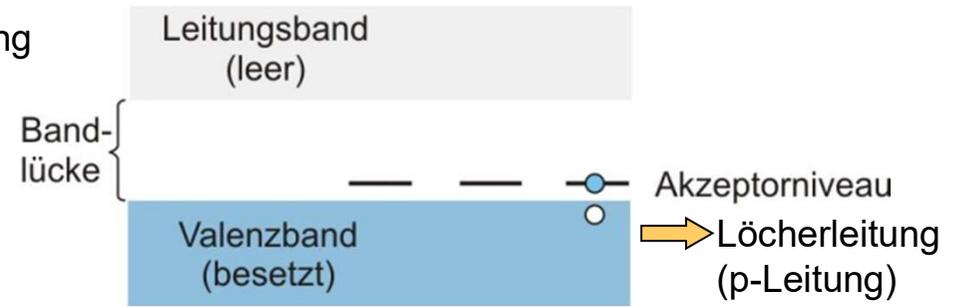
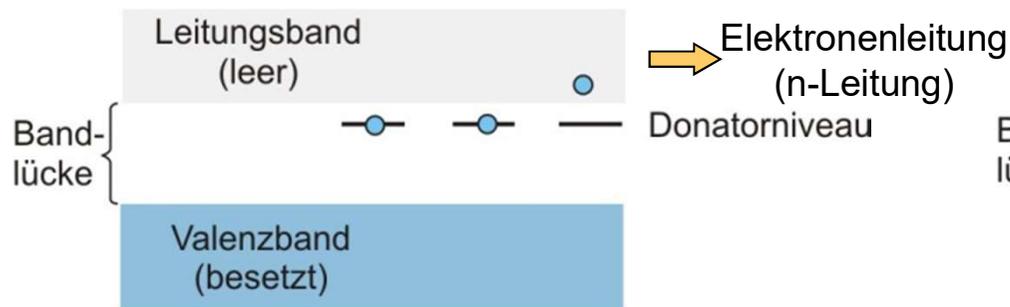
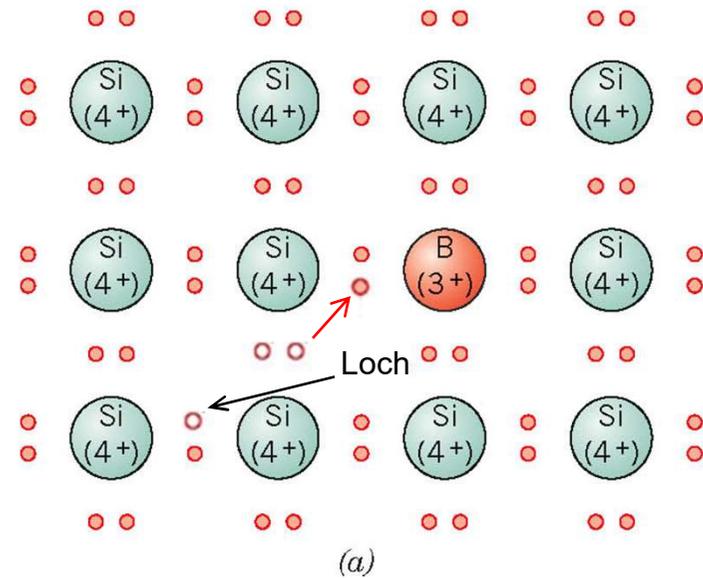
n-Halbleiter

z. B. + P



p-Halbleiter

z. B. + B



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



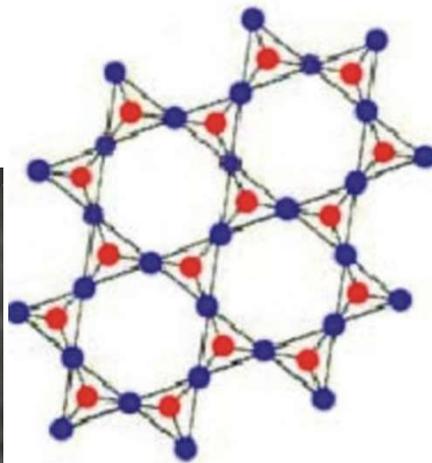
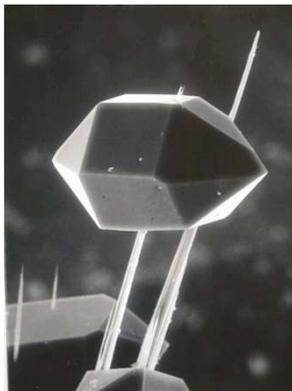
Siehe: Pechtöpfenexperiment

= gefrorene unterkühlte Flüssigkeiten, Gläser !

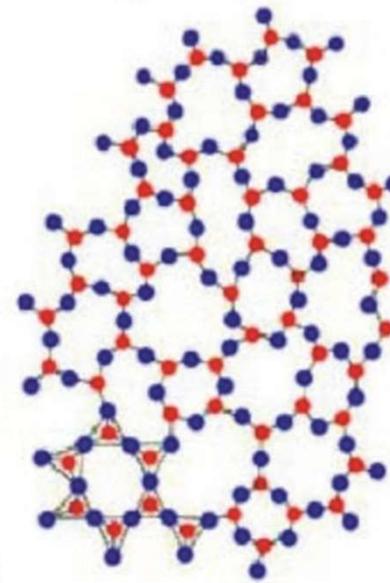
kristallines SiO_2

amorphes SiO_2

Quartz



● Si ● O



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



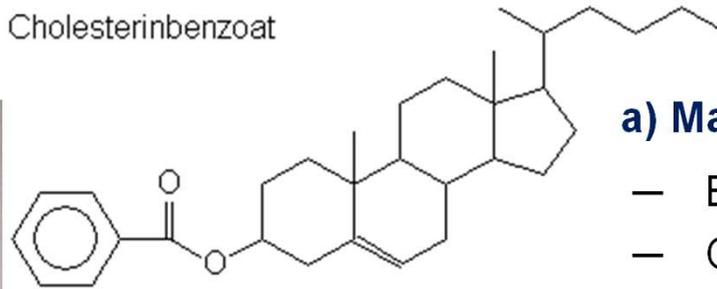
<https://de.wikipedia.org/wiki/Pechtropfenexperiment>

<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:

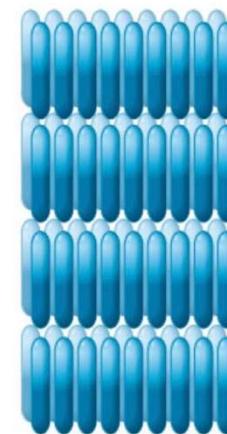
- Teilweise geordnete Strukturen (Orientierung, Schichten)
- Faden-, stäbchen, oder scheibenförmige Moleküle



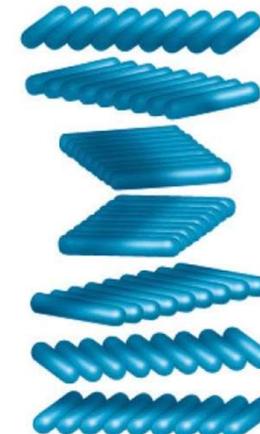
Translations-, und Orientationsordnung



nematisch



smektisch

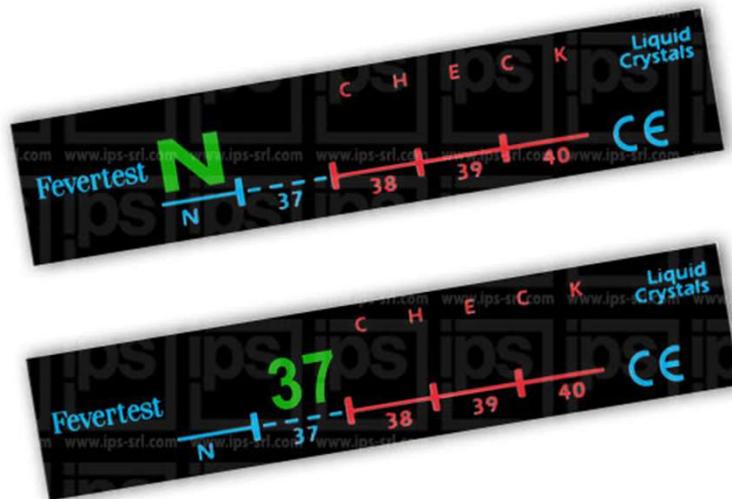
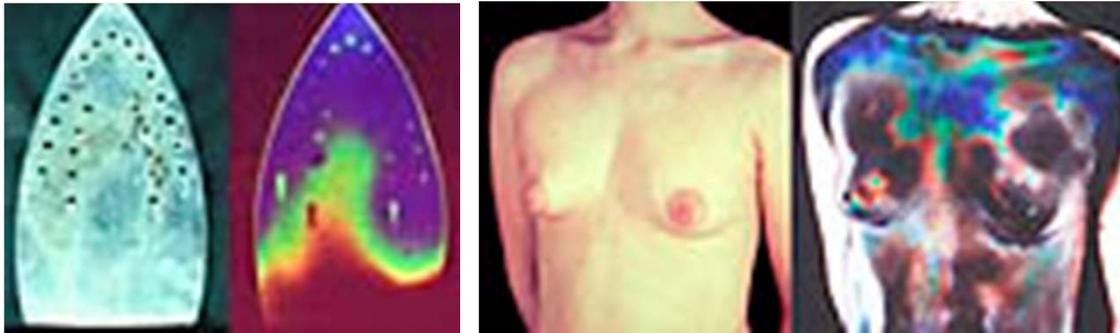


cholesterisch

c) Anwendungen von Flüssigkristallen:

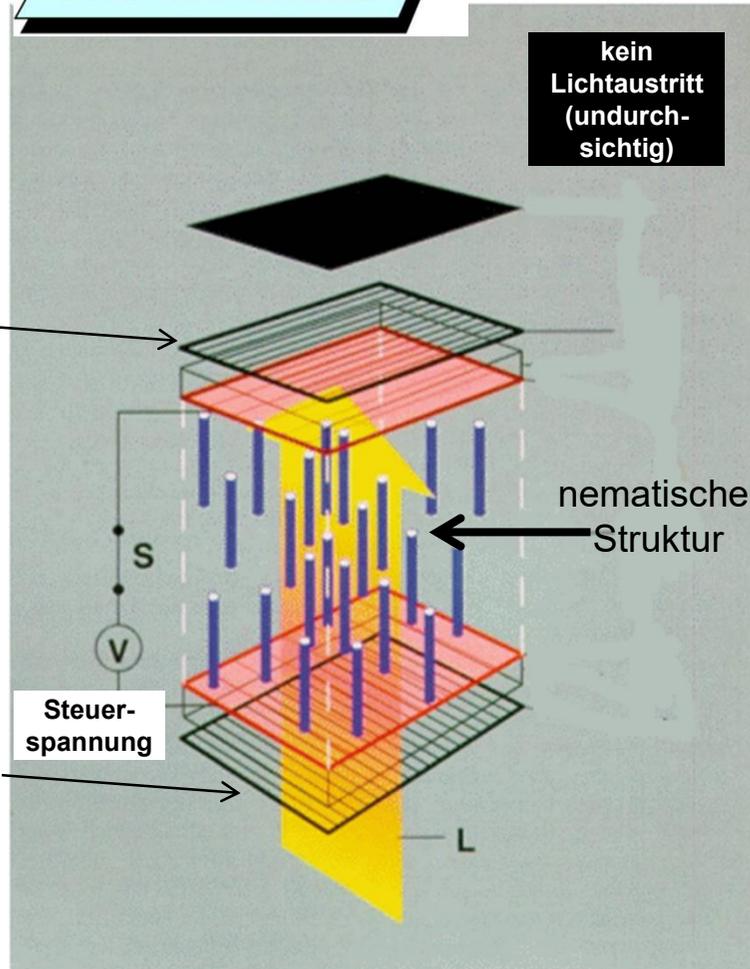
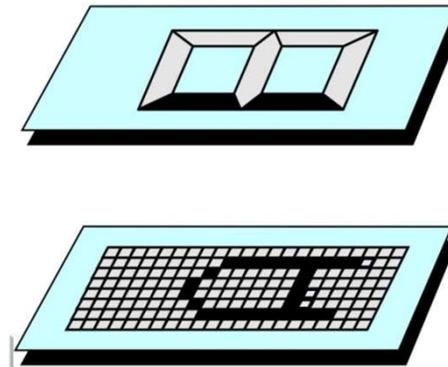
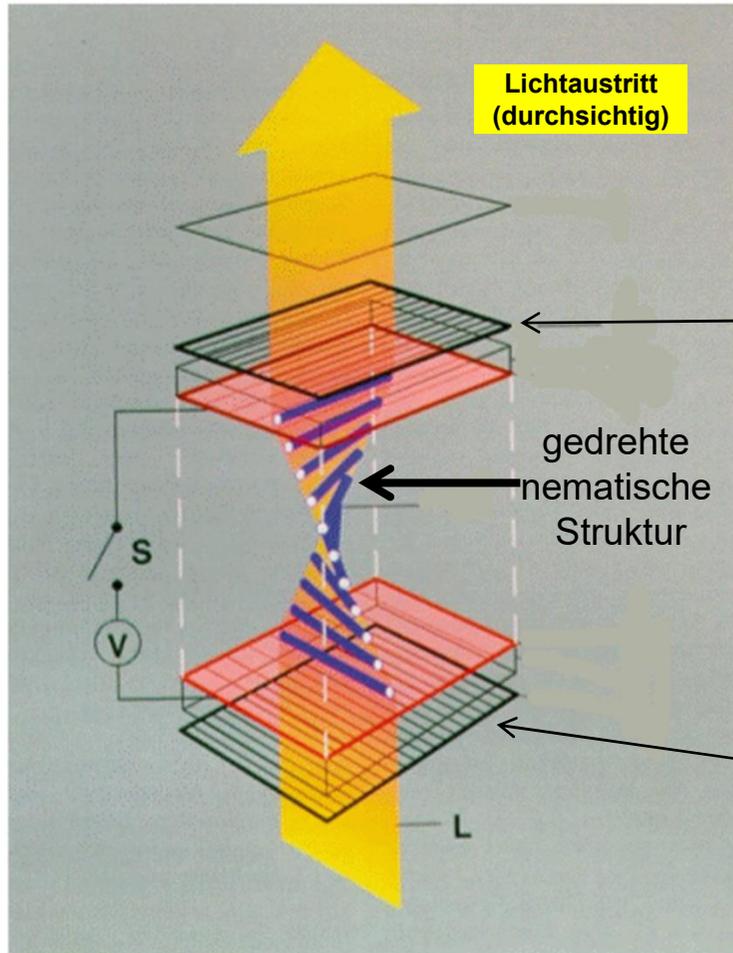
Kontaktthermographie/Plattenthermographie

Grundlage: thermo-optisches Phänomen
(bei Temperaturänderungen ändern sich die optischen Eigenschaften)



LCD (liquid crystal display)

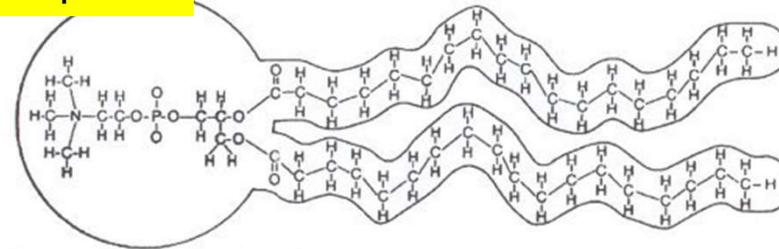
Grundlage: elektro-optisches Phänomen
(durch elektrisches Feld ändern sich die optischen Eigenschaften)



d) Lyotrope Flüssigkristalle:

Beispiel

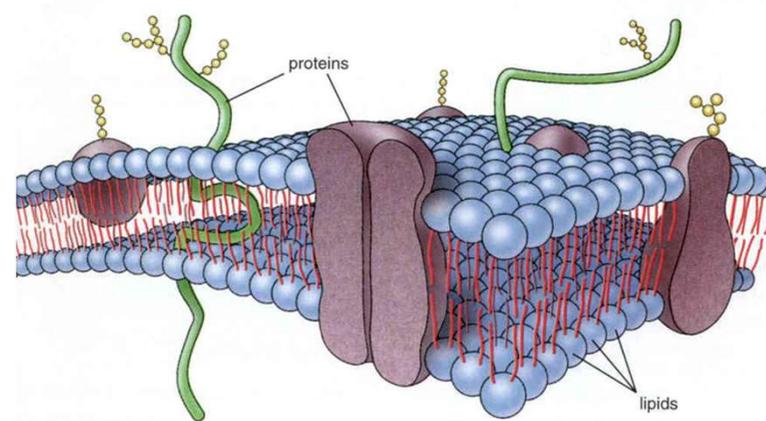
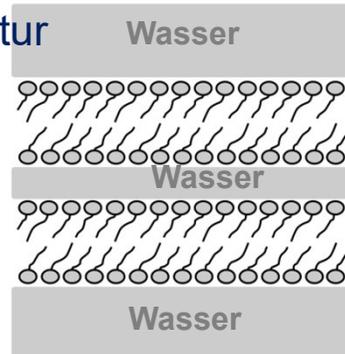
Phospholipidmolekül



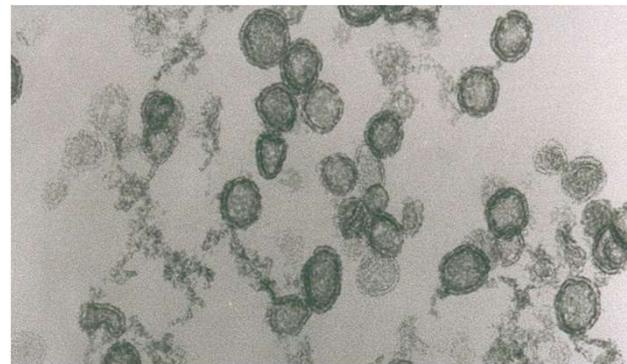
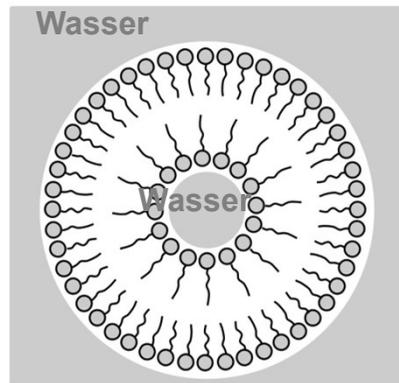
Hydrophiler Teil

Hydrophober Teil

Lamellare Struktur



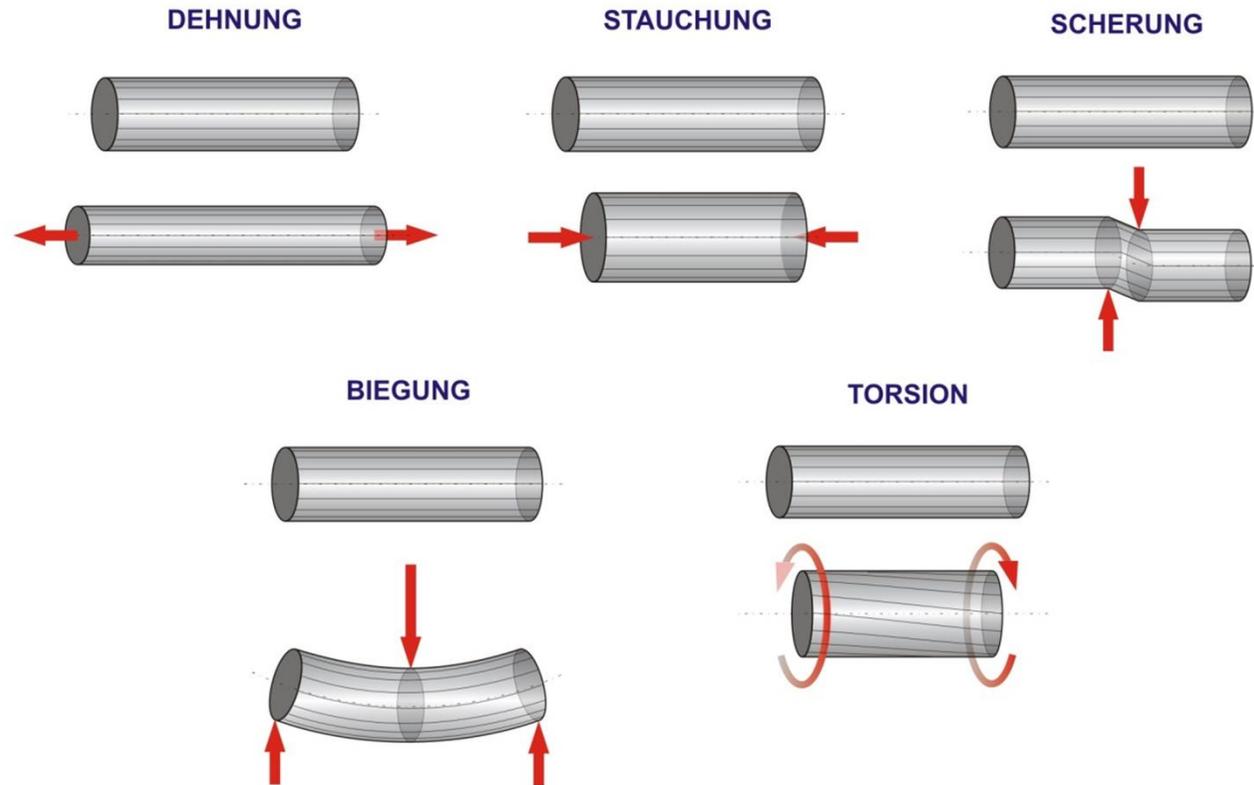
Liposom



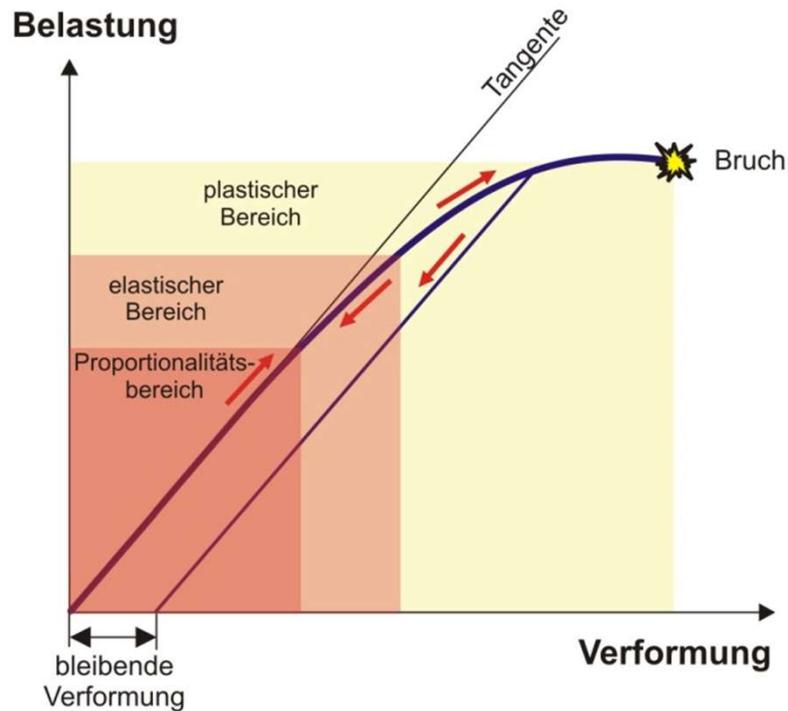
III. Mechanische Eigenschaften der Materialien

1. Mechanischen Eigenschaften von festen Stoffen

a) Deformationstypen und das Belastungsdiagramm:



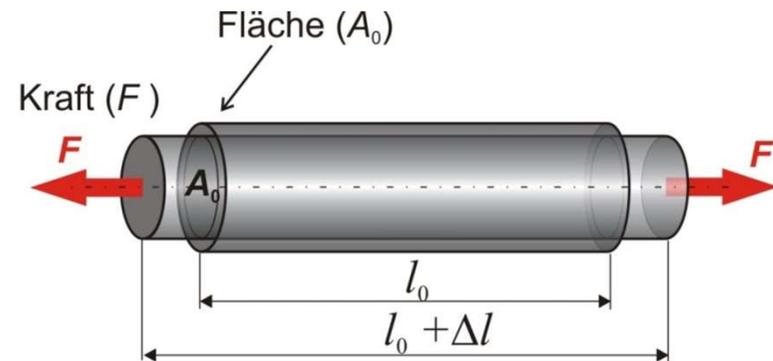
Belastungsdiagramm/Belastung-Verformungs-Diagramm/Spannung-Dehnungs-Diagramm:



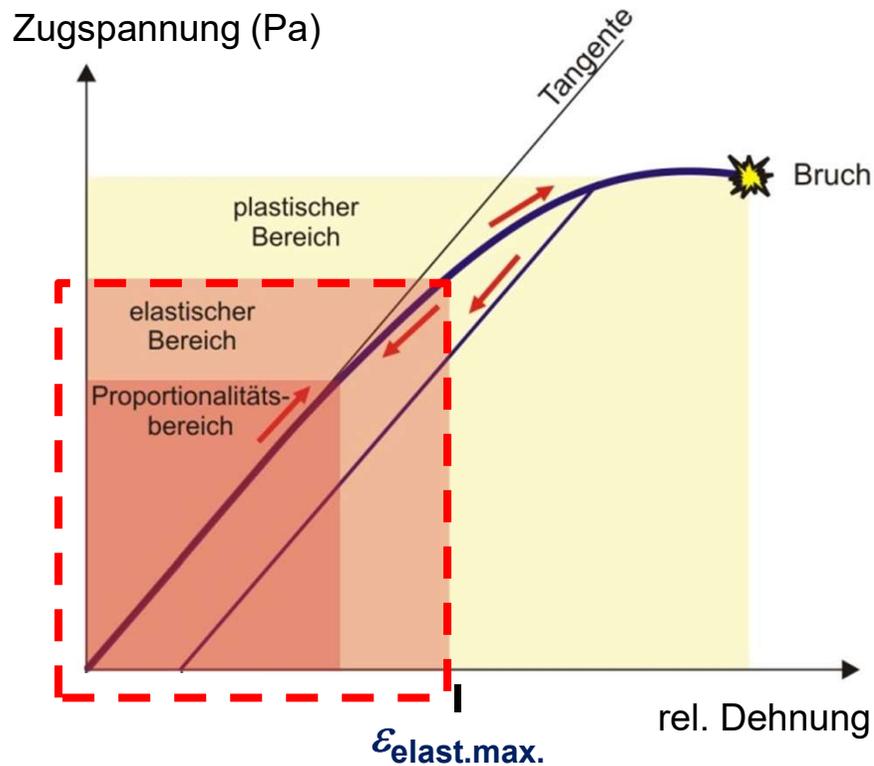
Als Beispiel wird die **Dehnung (Zug)** im Weiteren diskutiert.

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

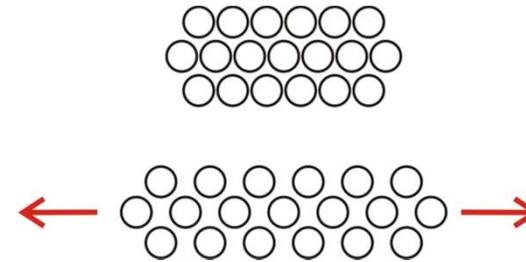
- **Zugspannung (σ):** $\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \right)$
- **Dehnung (ε):** $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} (\cdot 100\%)$



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



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



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

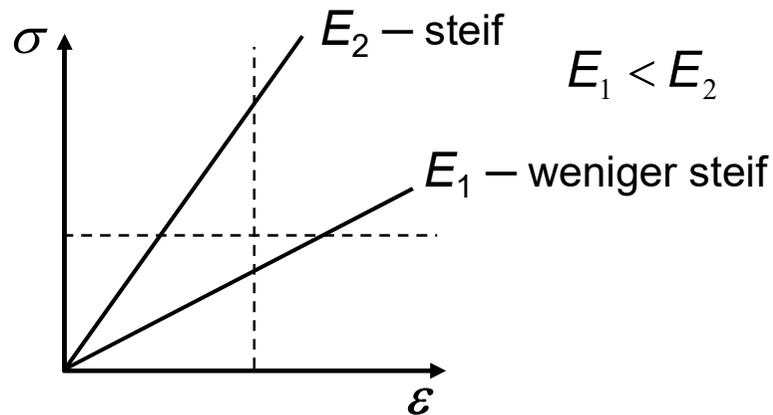
Die Größe $\epsilon_{\text{elast.max.}}$ könnte man auch **Elastizität** nennen.

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

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

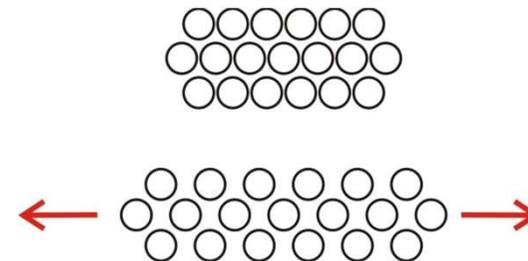
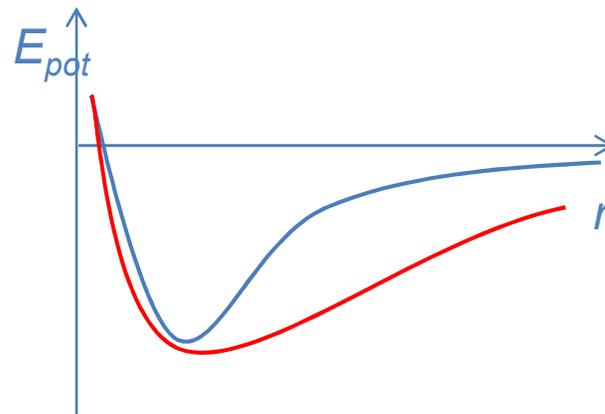
- **Hookesches Gesetz:** $\sigma = E \varepsilon$

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

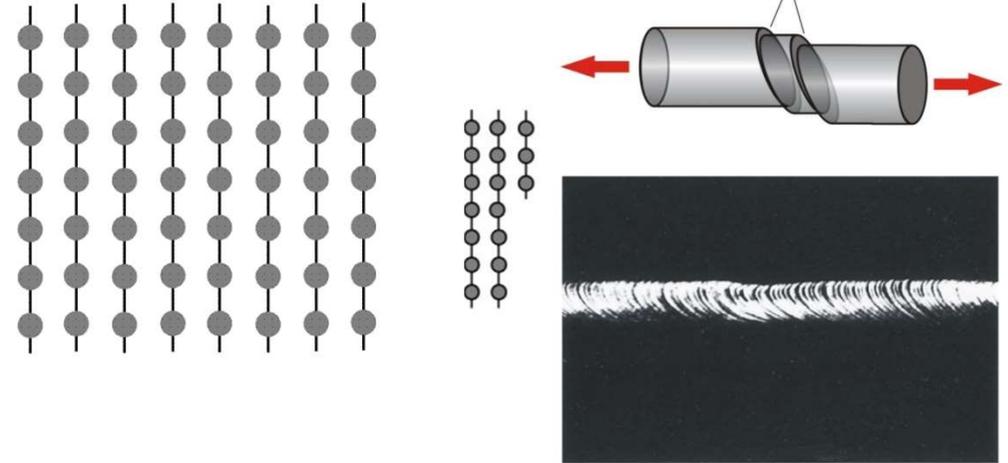
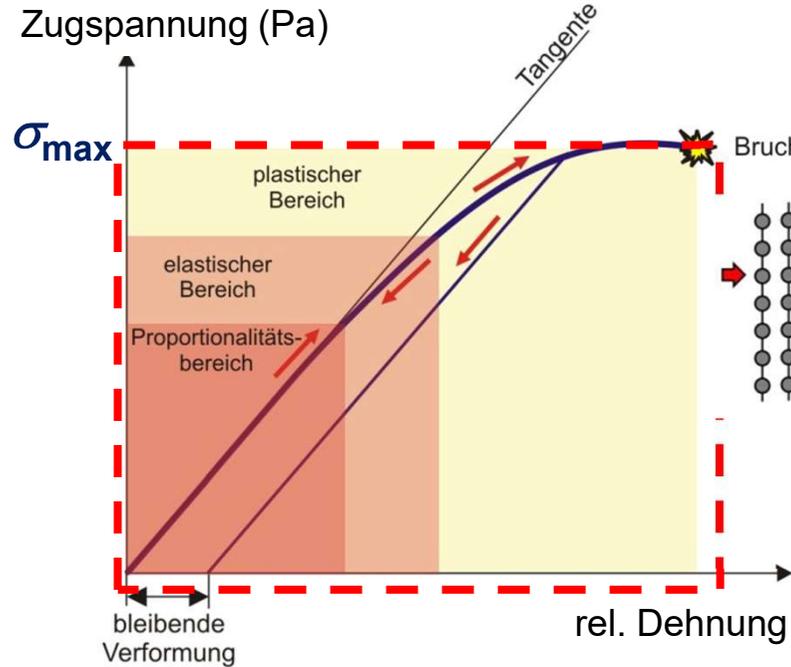


Stoff	E (GPa)
Knochen	10-15
Kollagen	0,3-2,5
Bandscheibe	0,005
Elastin	0,0005
Aluminiumoxid	350-410
Stahl	220
Titan	110
PMMA (Polymethylmethacrylat)	2,4-3,8
Silikongummi	$\approx 0,0003$

Wovon hängt die Steifigkeit der Materialien ab?



c) Plastische Verformung – Festigkeit und Zähigkeit:

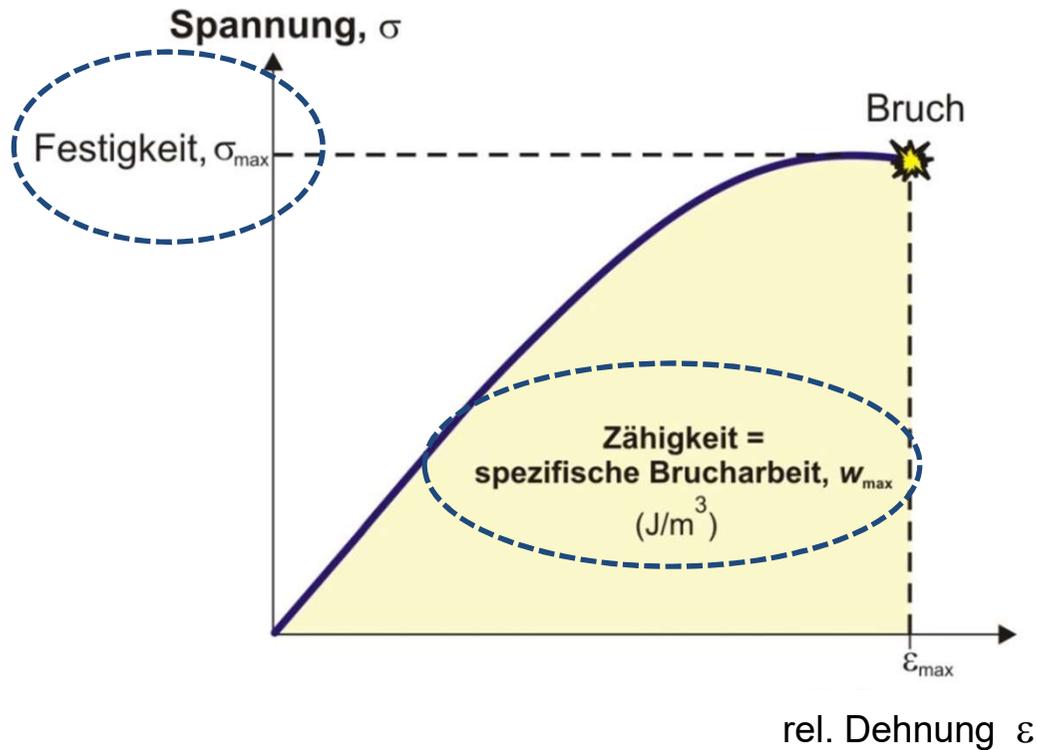


- **Festigkeit (σ_{max}) (Pa):** die maximale Spannung, bei welcher der Bruch auftritt

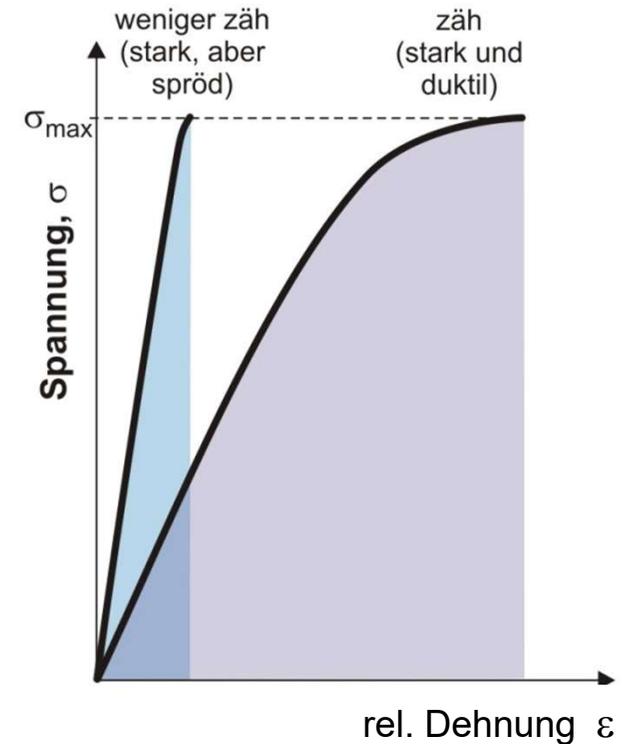


Wovon hängt die Festigkeit der Materialien ab?

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

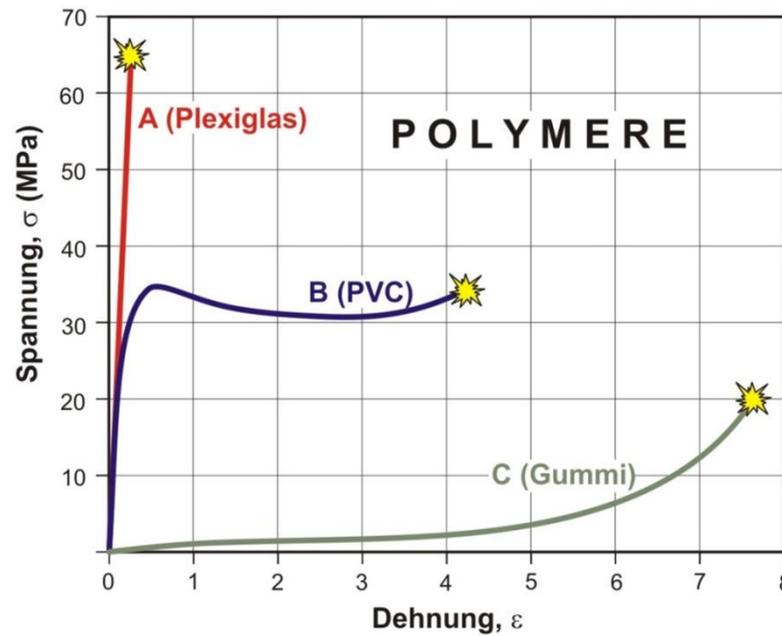
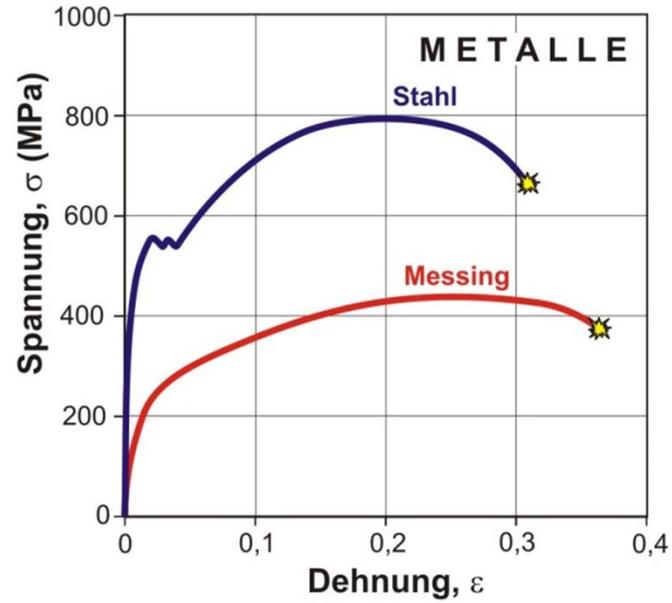
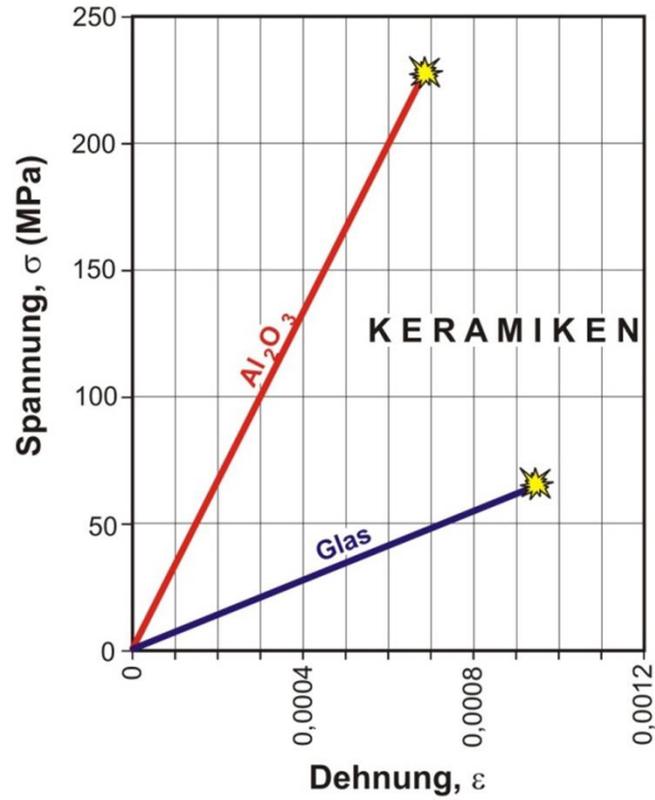


Gleiche Festigkeit aber
unterschiedliche Zähigkeit:

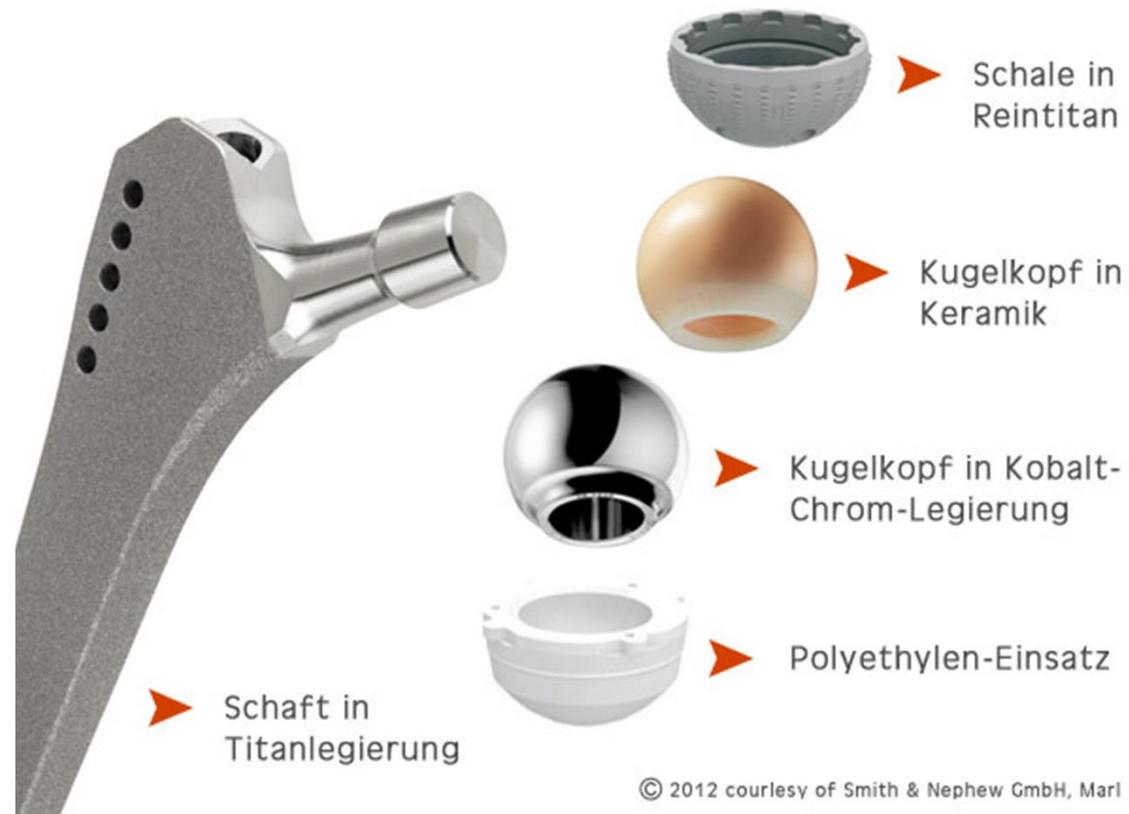


- **Zähigkeit (w_{\max}) (J/m^3):** die zur Verformung zugeführte Energie (Arbeit) bis zum Bruch (pro m^3)
 - Sie kann durch das Flächenstück unter der Kurve bis zum Bruch veranschaulicht werden.
 - Die Zähigkeit hängt von der Festigkeit aber auch von der maximalen Dehnbarkeit des Stoffes ab.

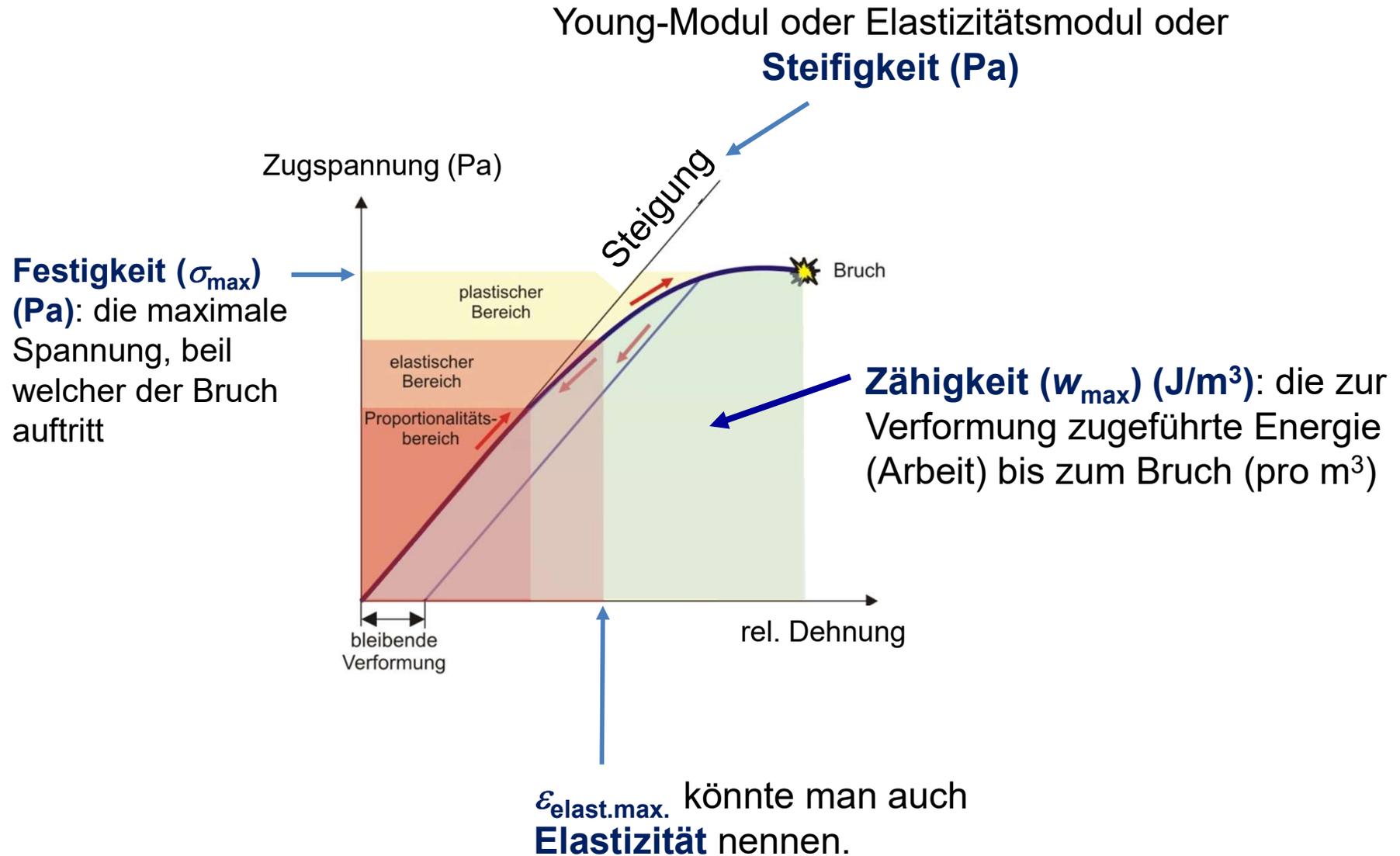
Beispiele:



Ein Beispiel für die Verwendung unterschiedlichen Materialtypen
(in Hüftgelenkprothese):



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

