

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

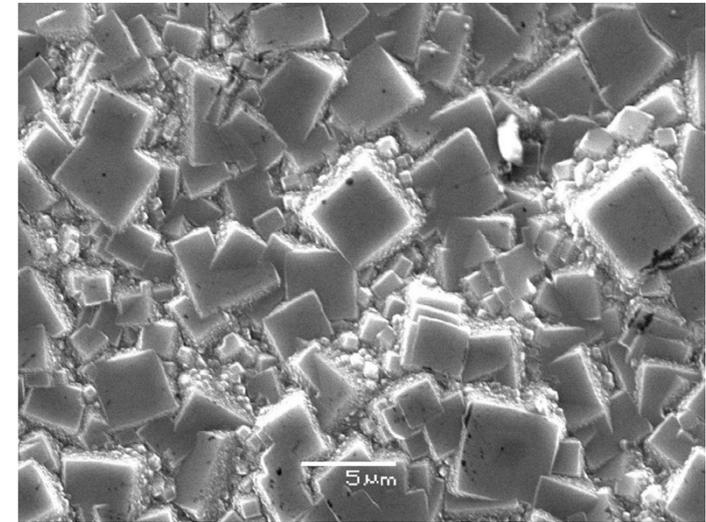
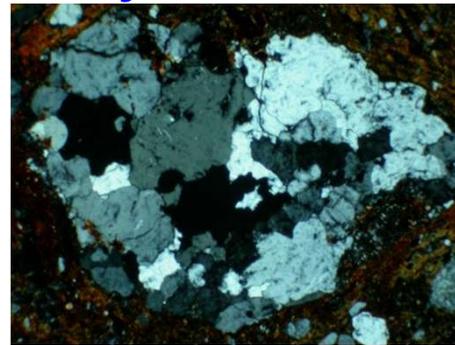
(Kristall = Festkörper)

Kristalline
Stoffe

Amorphe
Stoffe

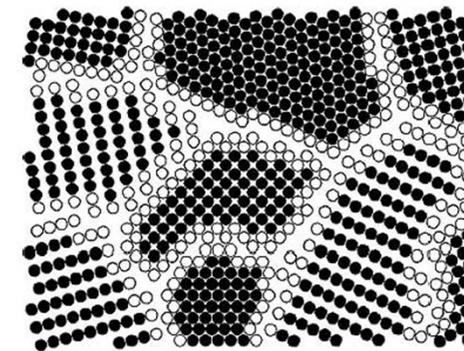
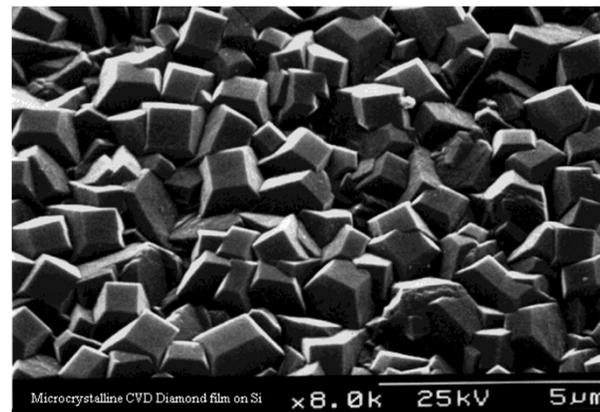
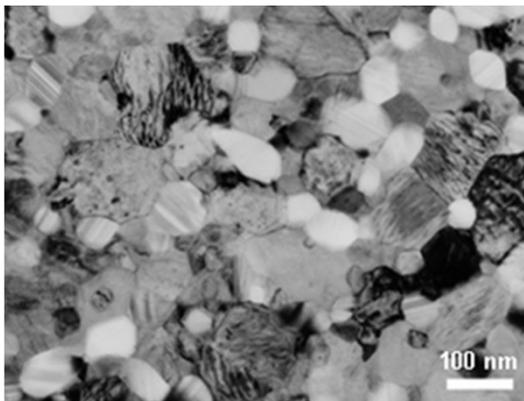
Einkristalle

Polykristalle



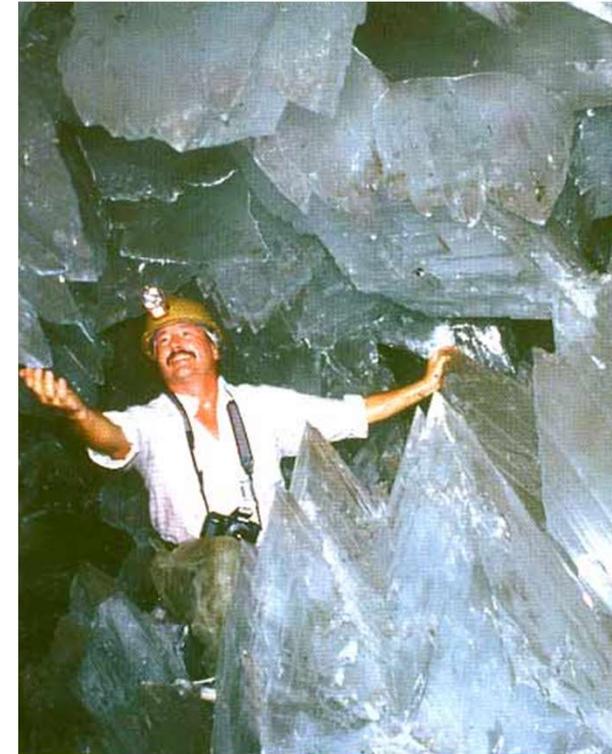
Nanokristalline
Stoffe

Mikrokristalline
Stoffe

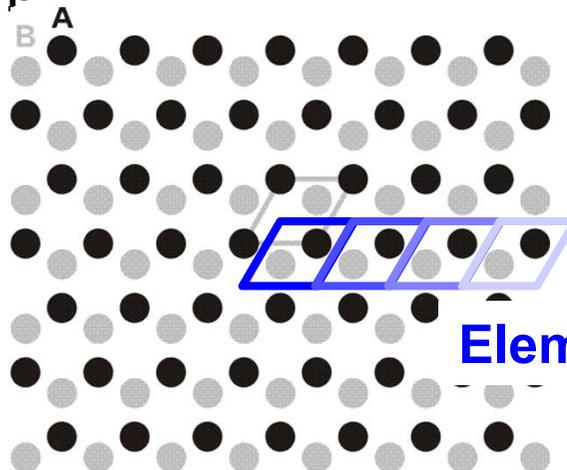


Festkörper (Kristalle)

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



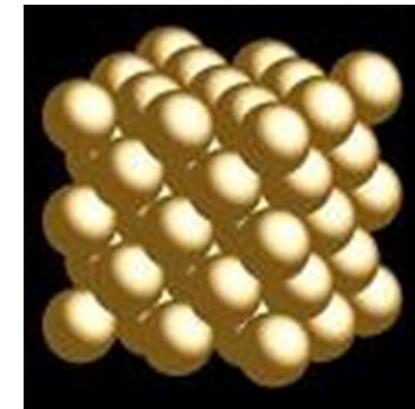
- Makroskopische
- Mikroskopische Beschreibung



Kristallgitter
(Raumgitter)

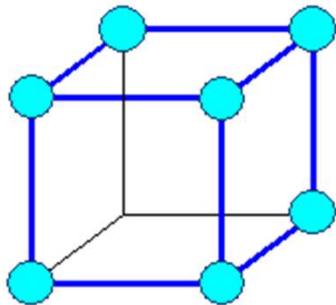


Elementarzelle

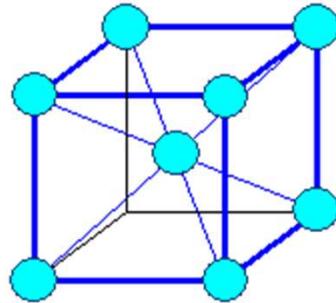


Raumgitter (Kristallklassen)

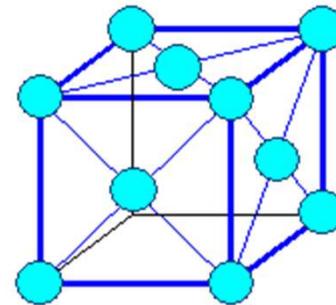
kubisch



einfach

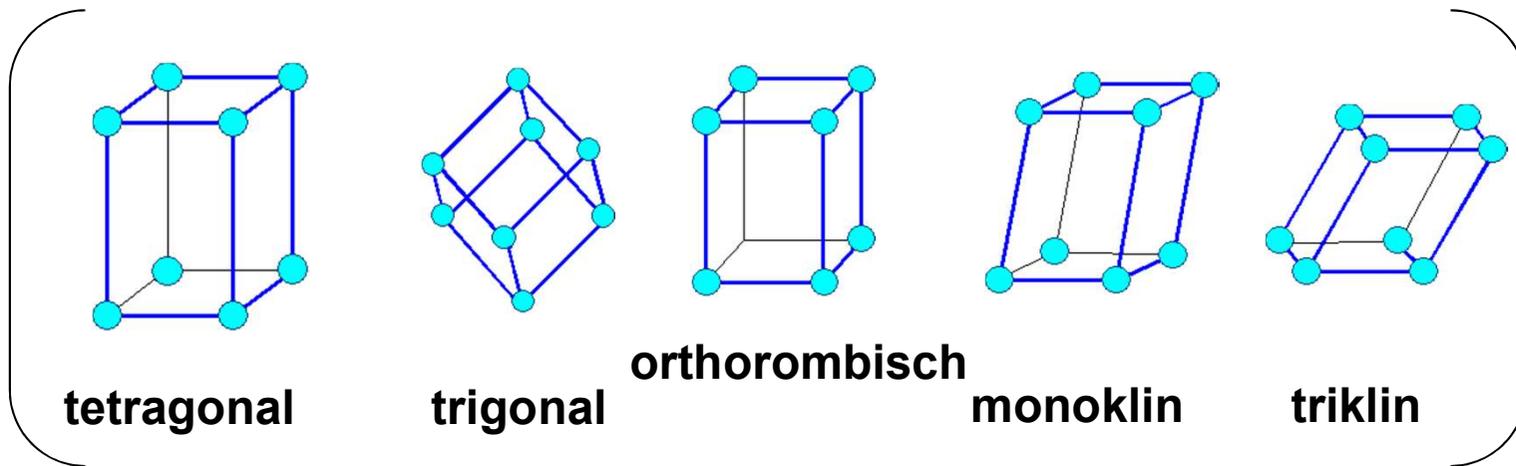
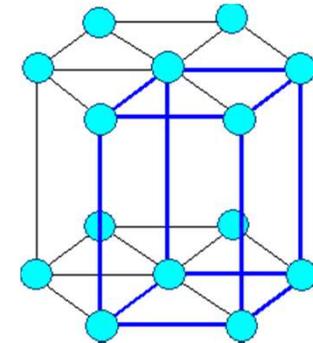


raumzentriert



flächenzentriert

hexagonal



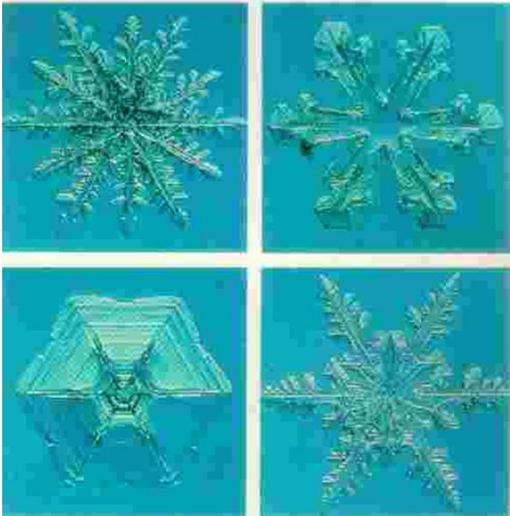
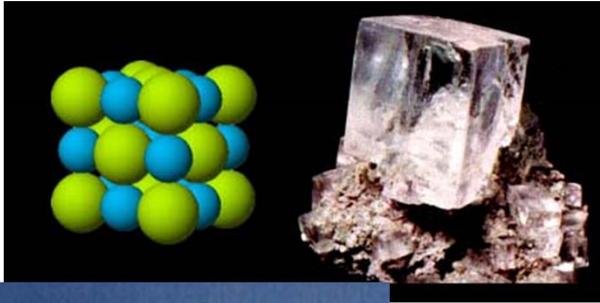
tetragonal

trigonal

orthorombisch

monoklin

triklin

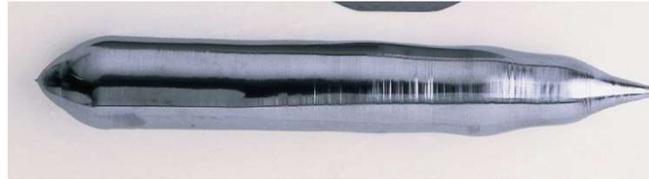


Kristalltypen

- Atomkristall



Diamant



Si

- Ionenkristall



Salz



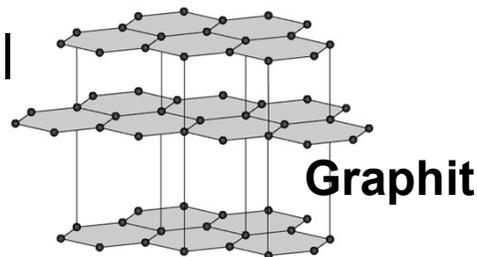
Apatit

- Metallkristall



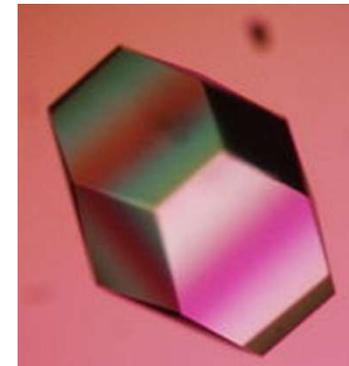
Gold

- Molekülkristall



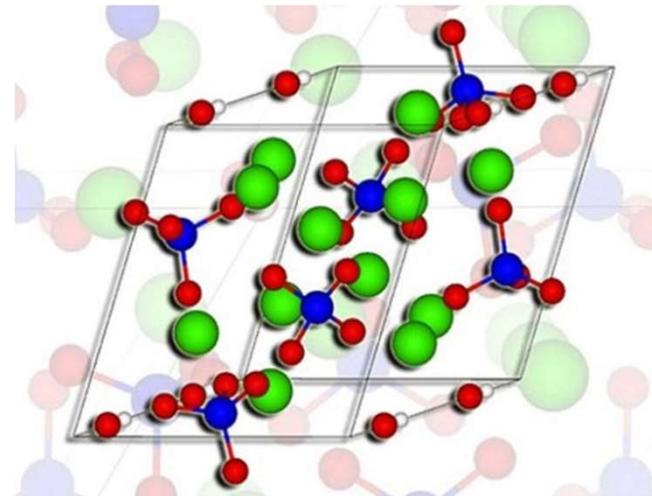
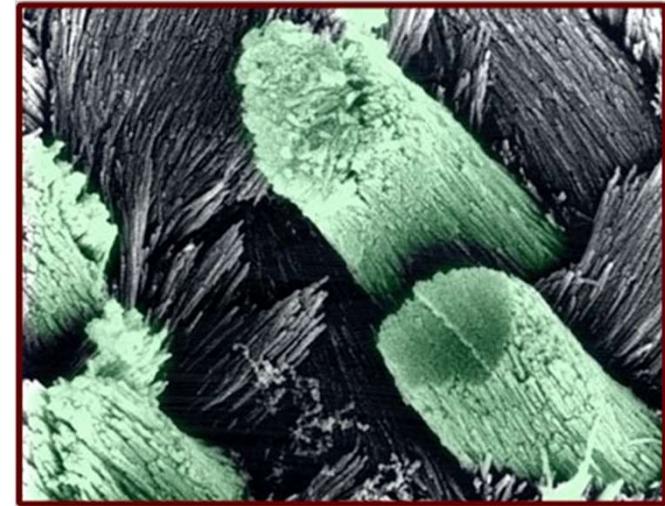
Eis

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**

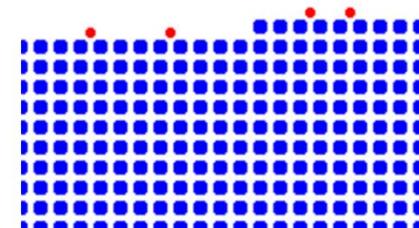
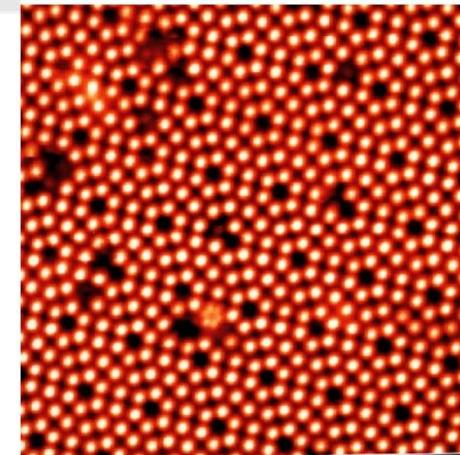
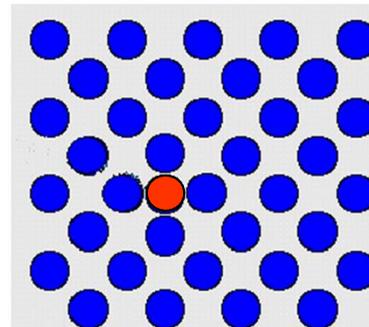
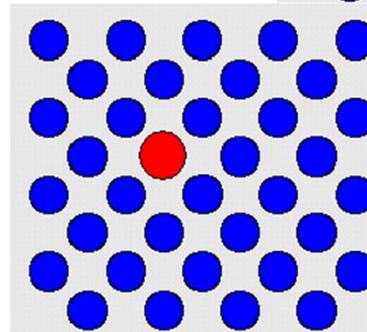
- **Vakanz/Leerstelle (Schottky-Defekt)**
 - **Interstitielles Atom (Zwischengitteratom)**

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

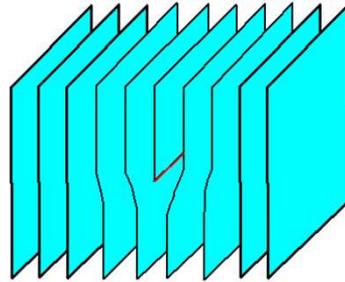
Zahl der Schottky-Defekte

- **Fremdatom**

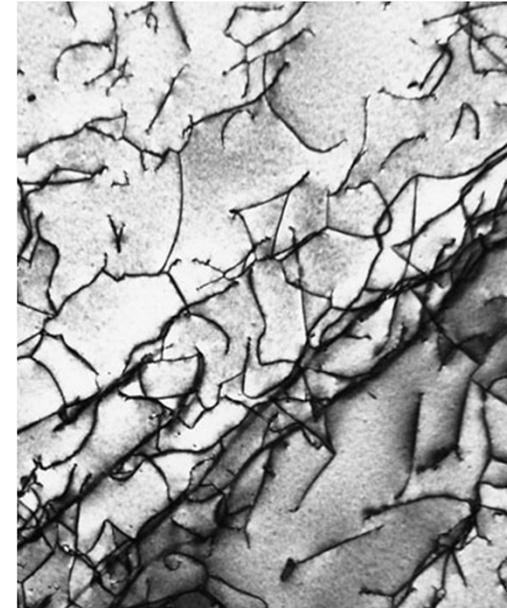
- **An einer Gitterstelle (Substitutionsatom)**
 - **An einer Zwischengitterstelle (interstitielles Atom)**



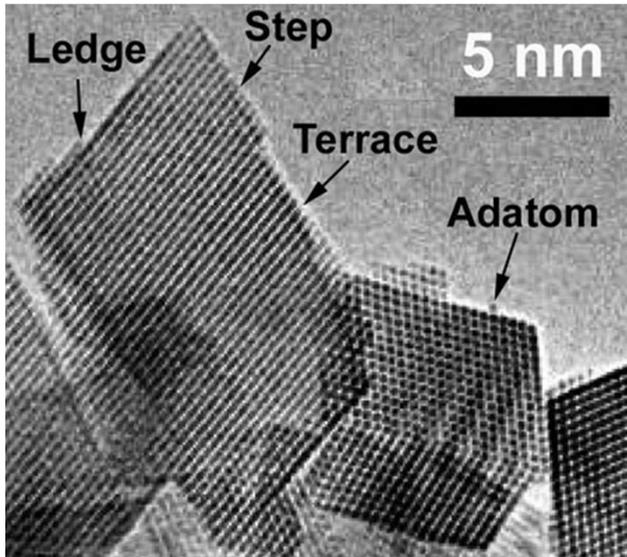
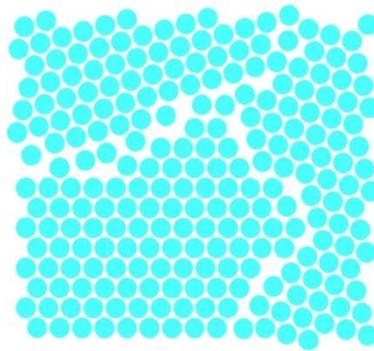
- Versetzungen
 - Stufenversetzung
 - Schraubenversetzung



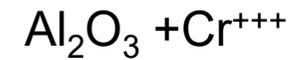
Versetzungen in einer Ti-Legierung



- Korngrenzen

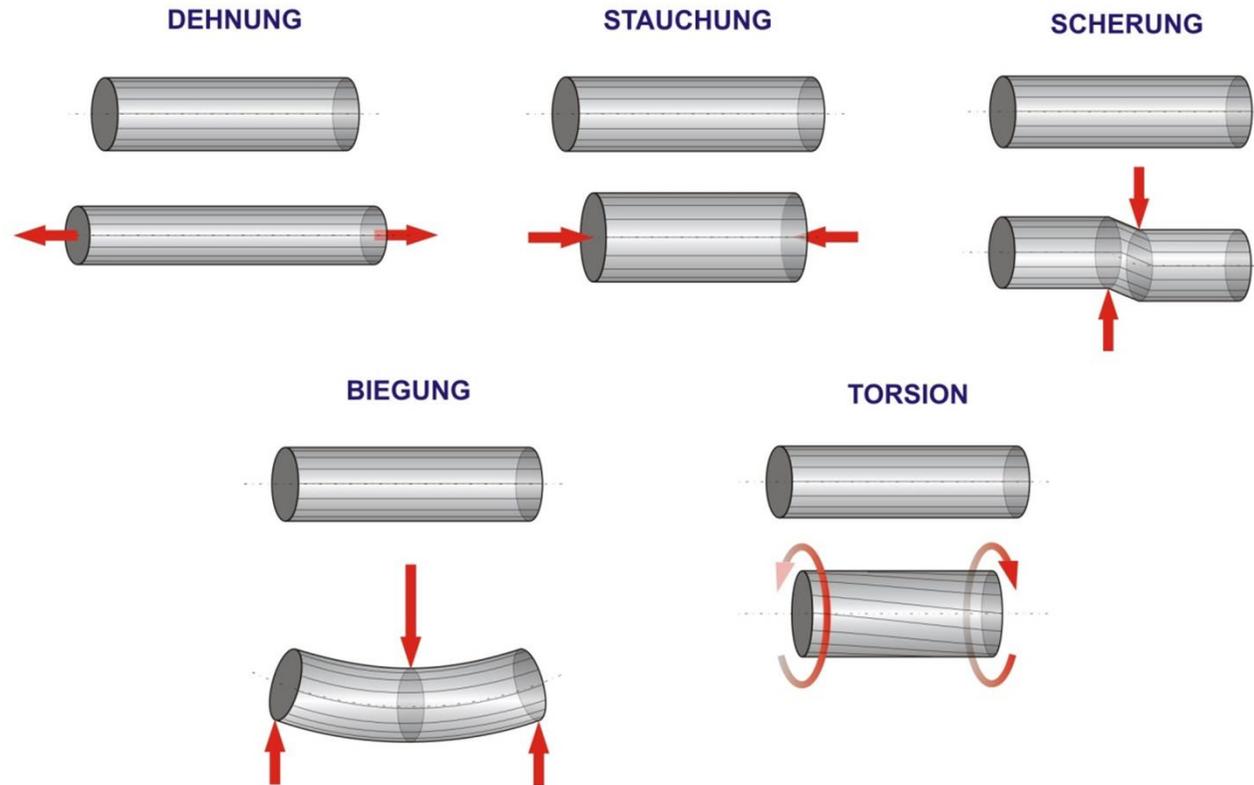


Gitterdefekte ⇒ Eigenschaften!!

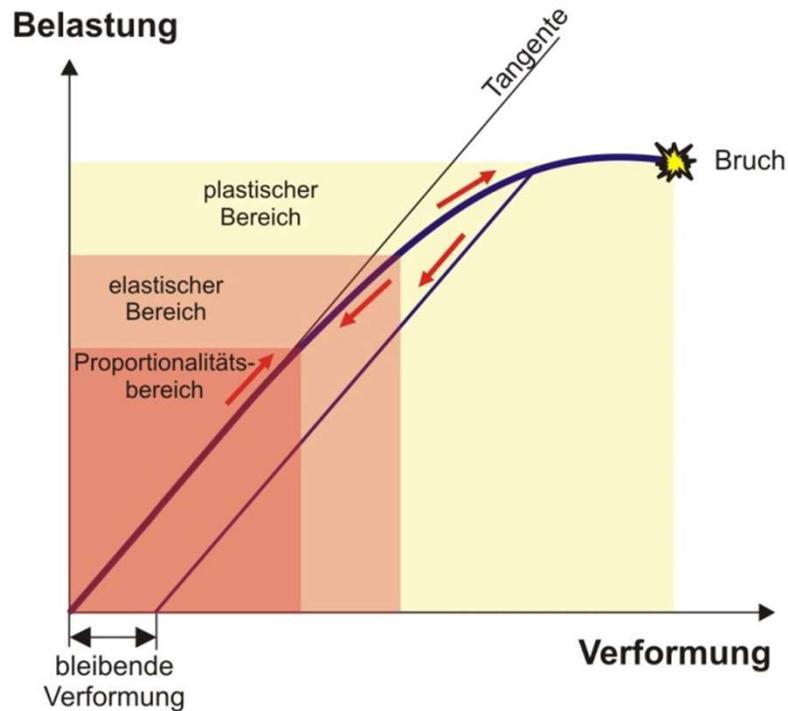


Mechanische Eigenschaften der Materialien

a) Deformationstypen und das Belastungsdiagramm:



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

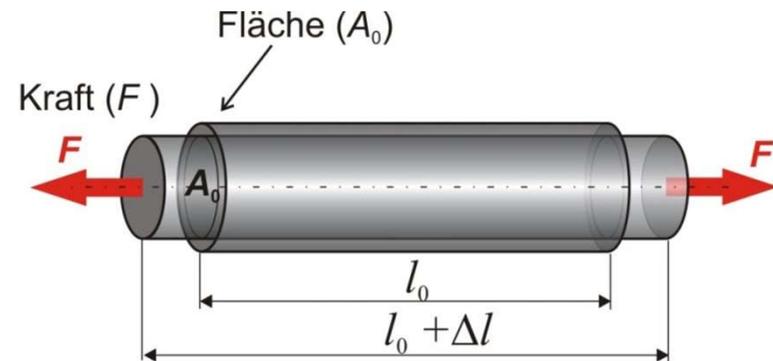


Als Beispiel wird die **Dehnung (Zug)** im Weiteren diskutiert.

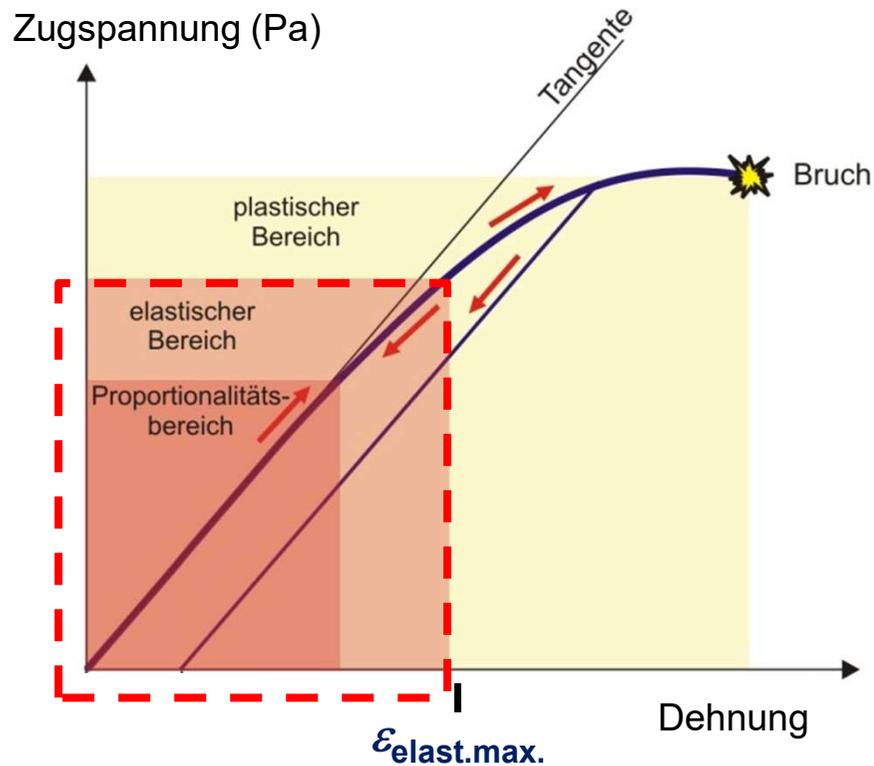
Bei der Dehnung (Zug) wird die Belastung mit Hilfe der Zugspannung (σ) und die Verformung mit Hilfe der Dehnung (ε) quantitativ charakterisiert:

- **Zugspannung (σ):** $\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \right)$

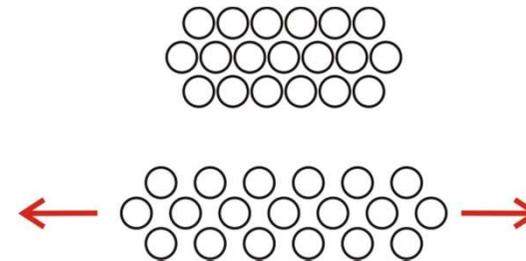
- **Dehnung (ε):** $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} (\cdot 100\%)$



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: $\epsilon_{\text{elast.max.}}$ (%)

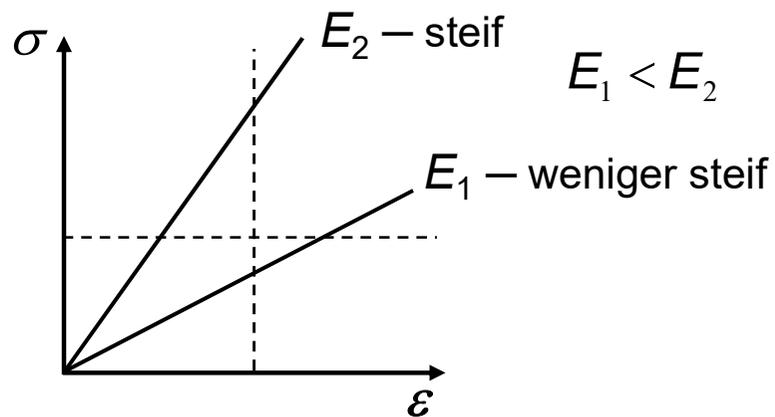
Die Größe $\epsilon_{\text{elast.max.}}$ könnte man auch **Elastizität** nennen.

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)



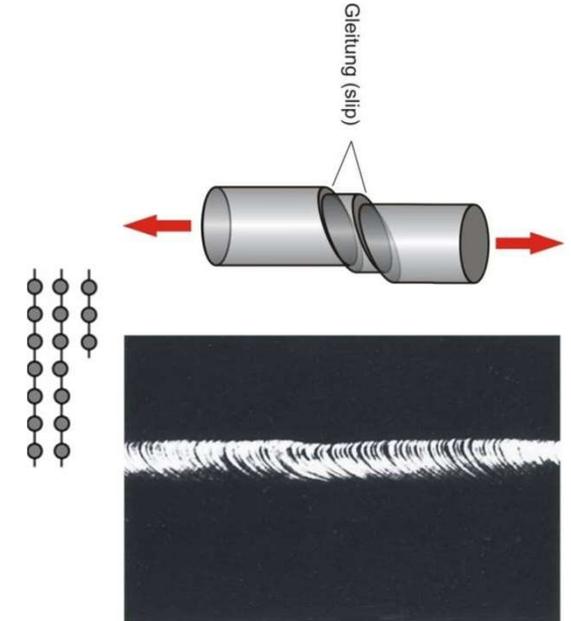
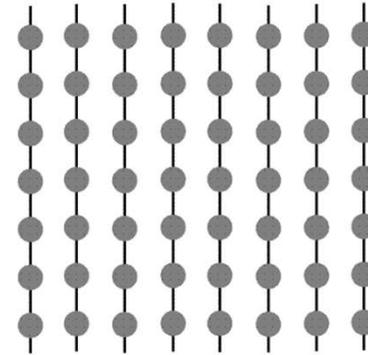
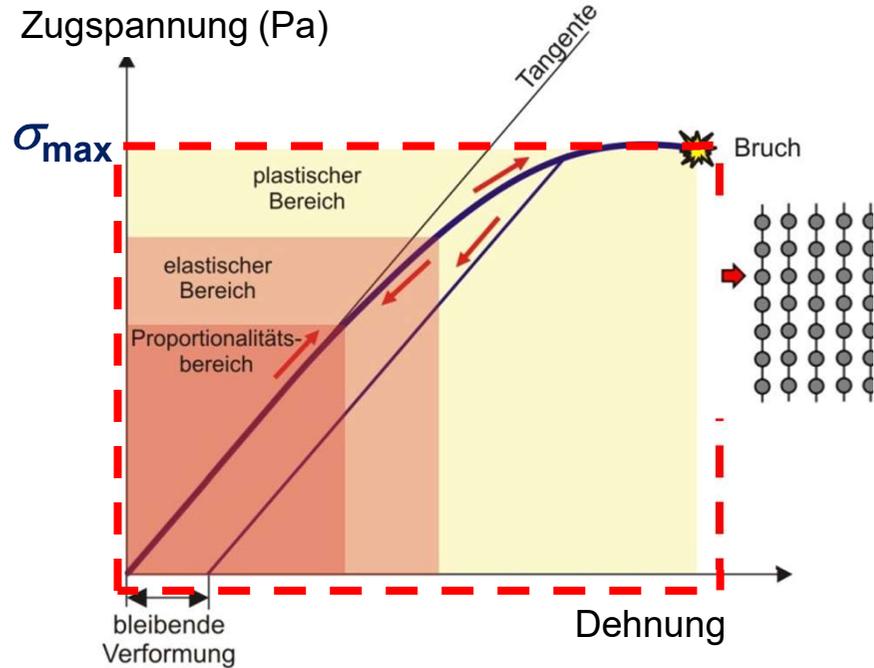
Stoff	E (GPa)
Knochen	10-15
Kollagen	0,3-2,5
Bandscheibe	0,005
Elastin	0,0005
Aluminiumoxid	350-410
Stahl	220
Titan	110
PMMA (Polymethylmethacrylat)	2,4-3,8
Silikongummi	$\approx 0,0003$

Wovon hängt die Steifigkeit der
Materialien ab?



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

c) Plastische Verformung – Festigkeit und Zähigkeit:

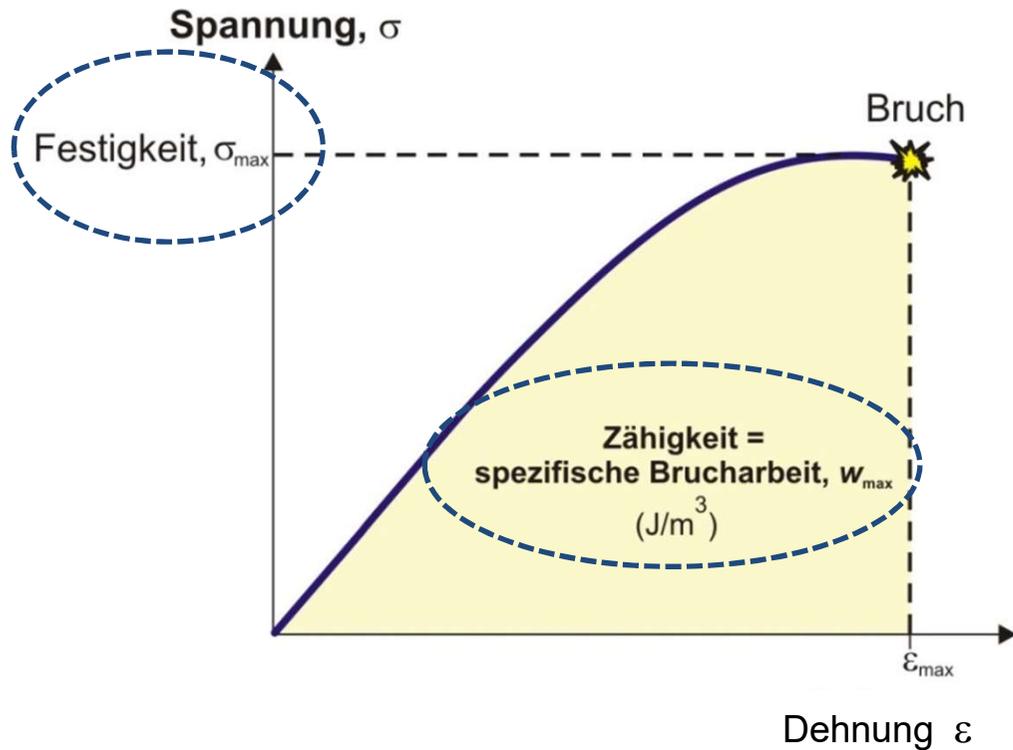


- **Festigkeit (σ_{max}) (Pa):** die maximale Spannung, bei welcher der Bruch auftritt

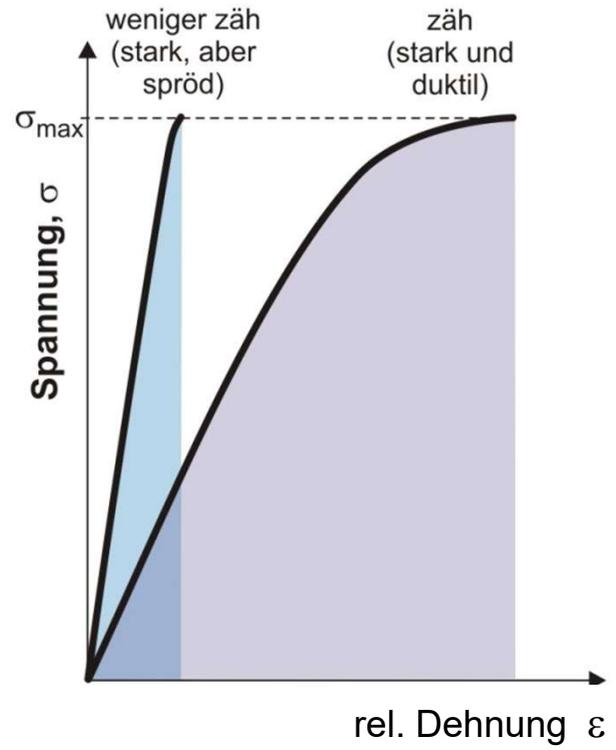


Wovon hängt die Festigkeit der Materialien ab?

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

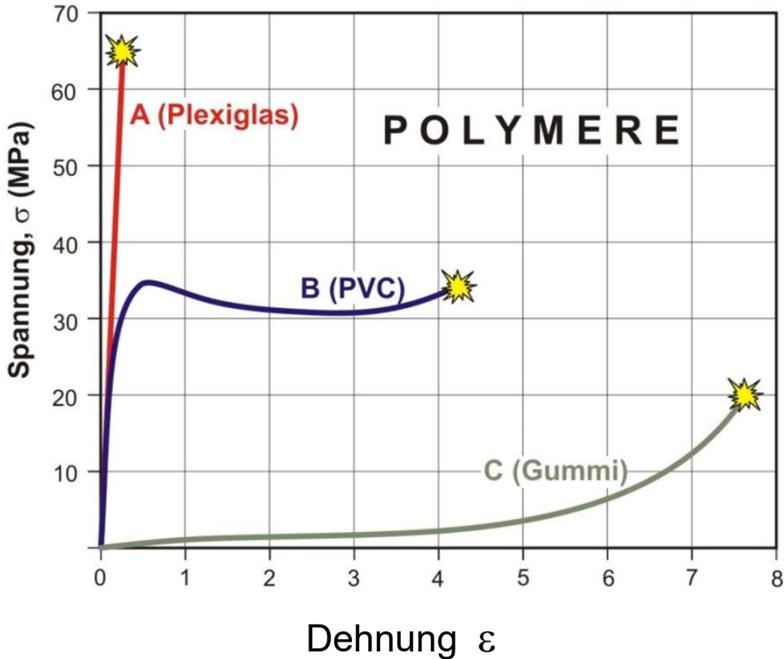
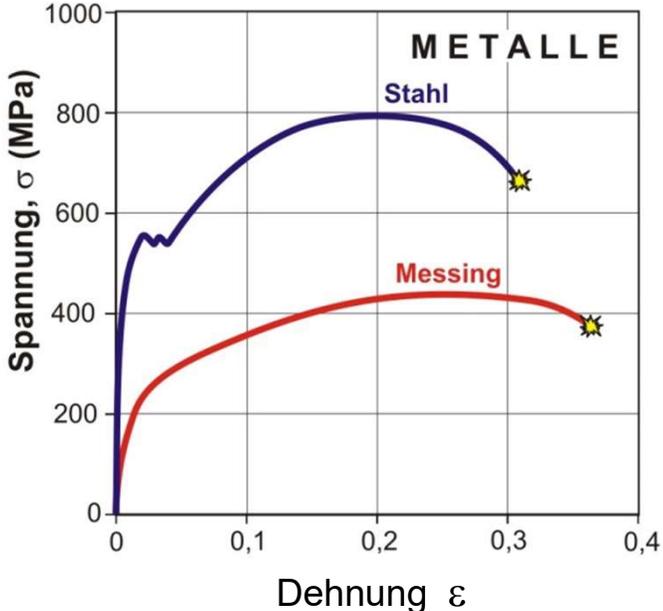
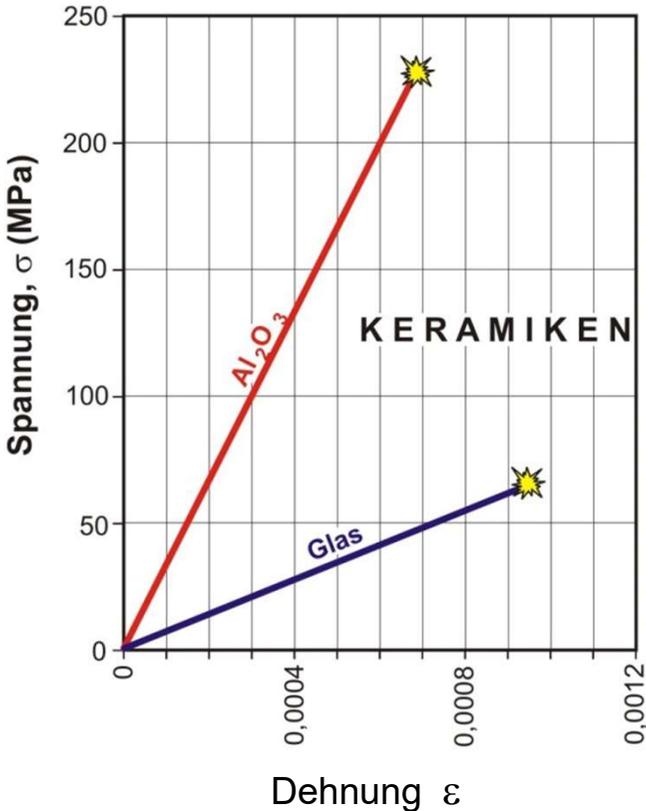


Gleiche Festigkeit aber unterschiedliche Zähigkeit:



- **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.

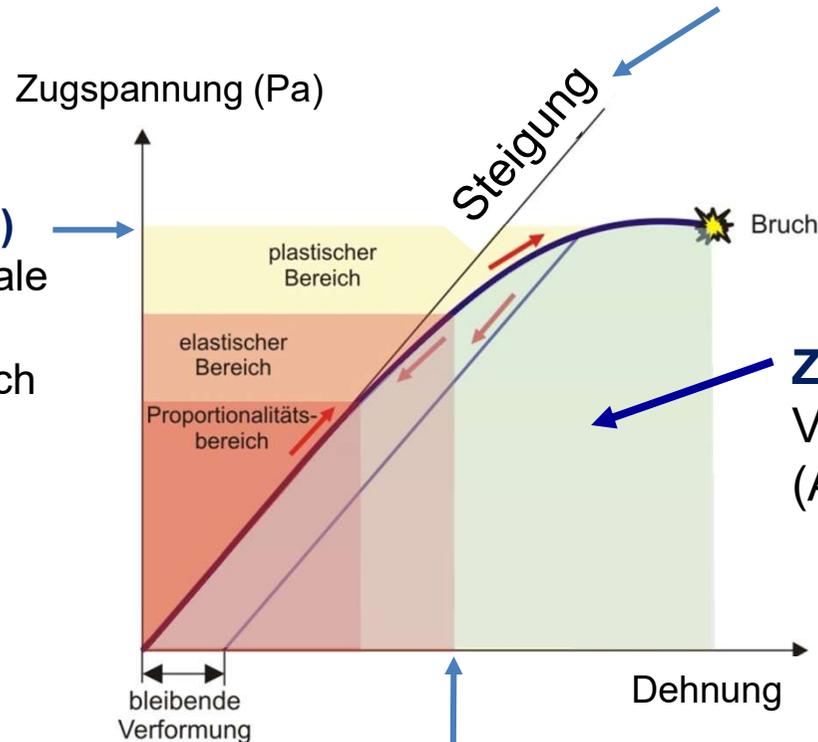
Beispiele:



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

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

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

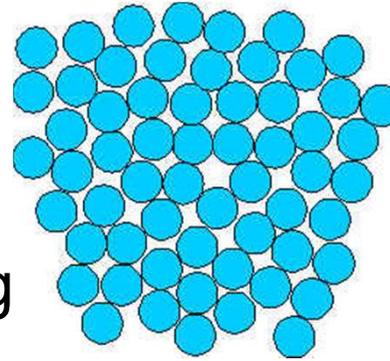


Zähigkeit (w_{\max}) (J/m^3): die zur Verformung zugeführte Energie (Arbeit) bis zum Bruch (pro m^3)

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

Amorphe (feste) Körper

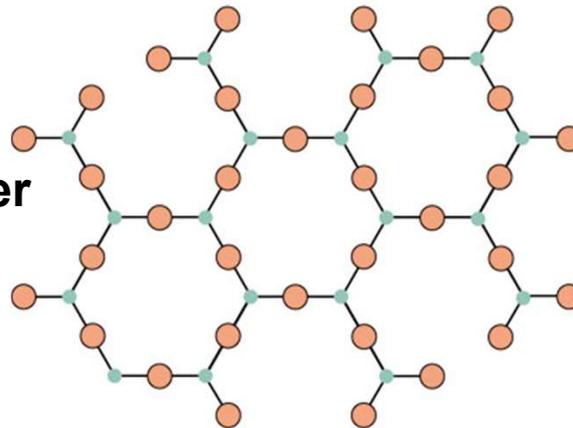
- Eigenvolumen
- Mechanisch hart
- Keine Eigenform/flüssig
sehr hohe Viskosität;
„gefrorene Flüssigkeit“
- Nahordnung
- Viele Defekte
- Isotrop



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

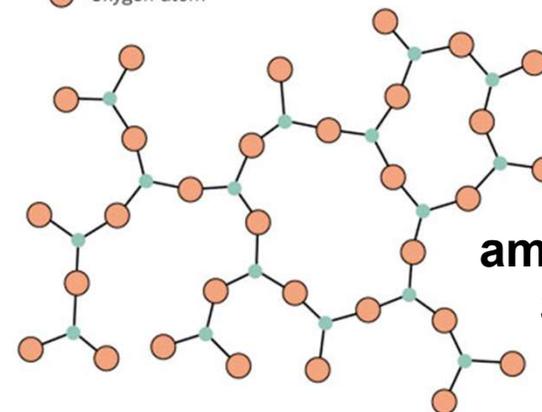


kristalliner
 SiO_2



(a)

● Silicon atom
● Oxygen atom



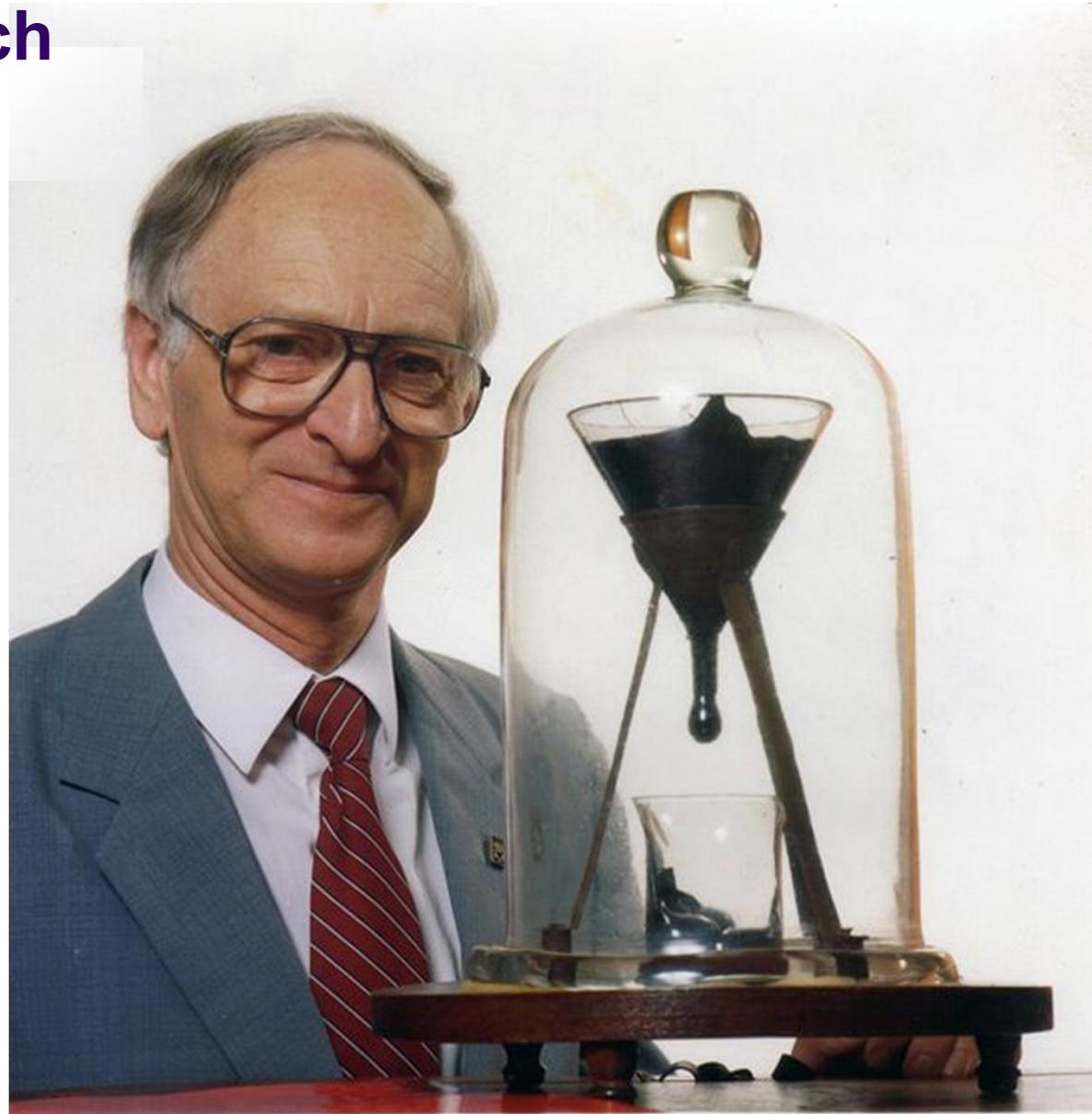
amorpher
 SiO_2

(b)

Längster Versuch der Welt

- Pechtropfen-
Experiment
- In 1927 gestartet
- 9 Tropfen

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

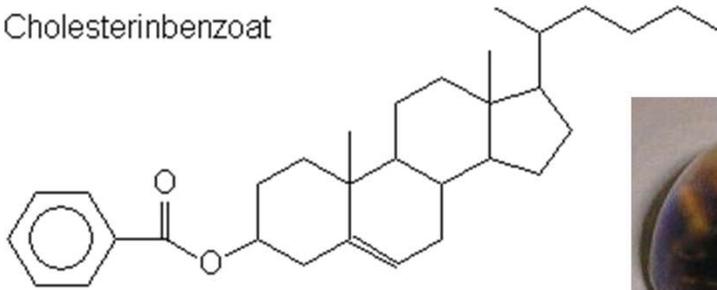


<https://de.wikipedia.org/wiki/Pechtropfenexperiment>

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

Flüssigkristalle

Cholesterinbenzoat



1883 Reinitzer

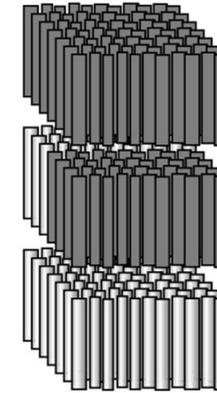


Termotrope Flüssigkristalle:

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

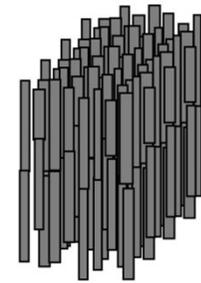


a



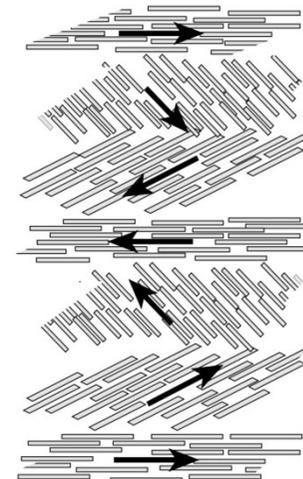
smektisch

b



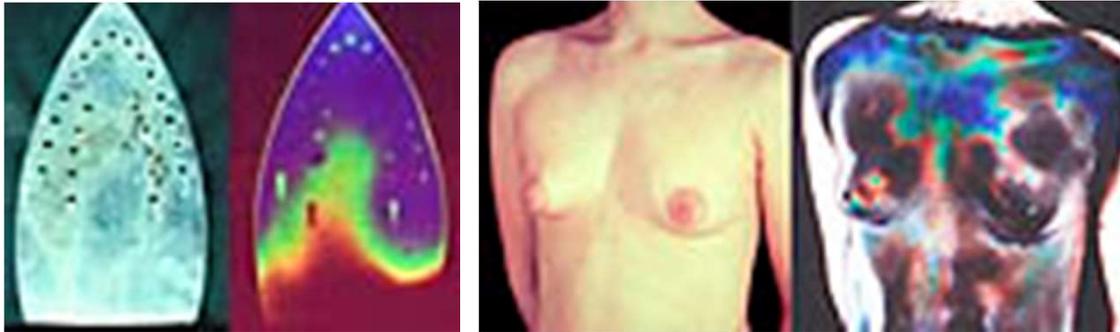
nematisch

c

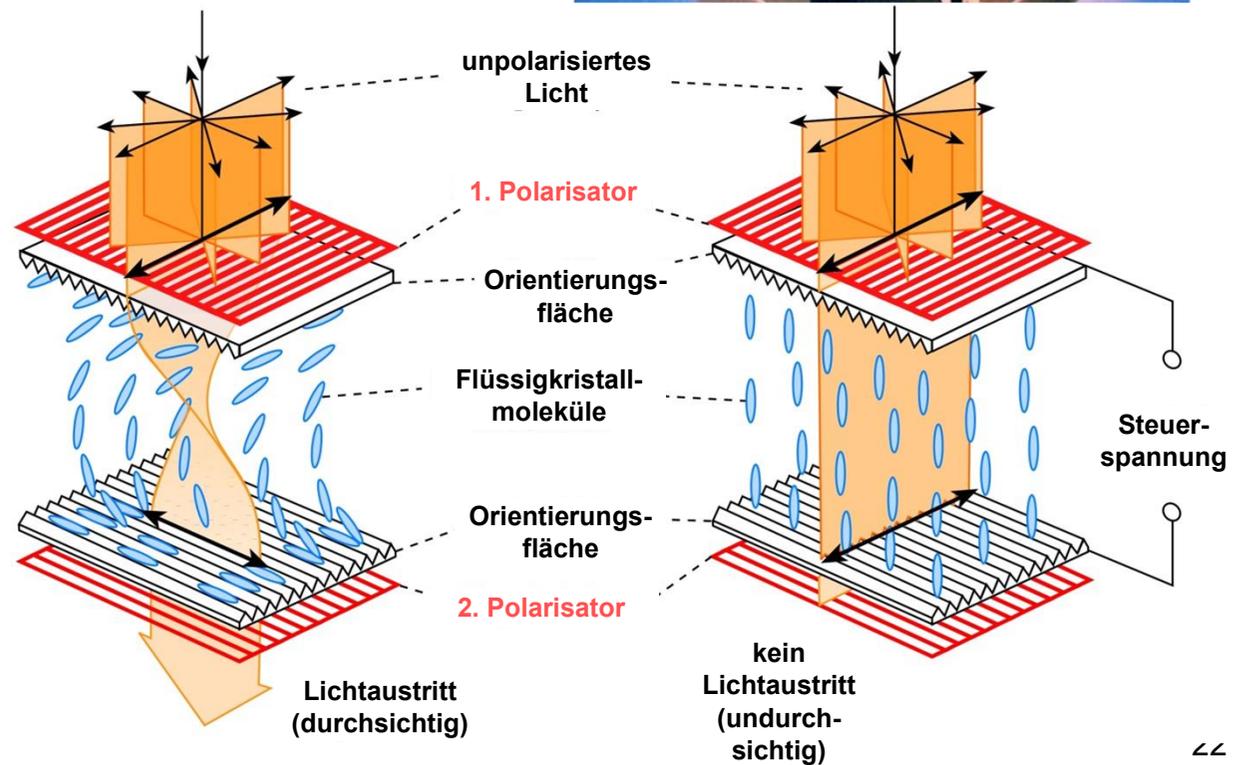
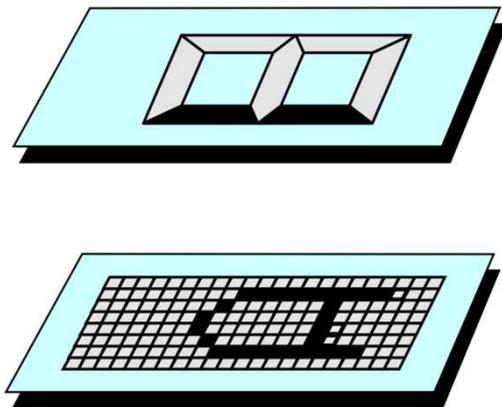


cholesterisch

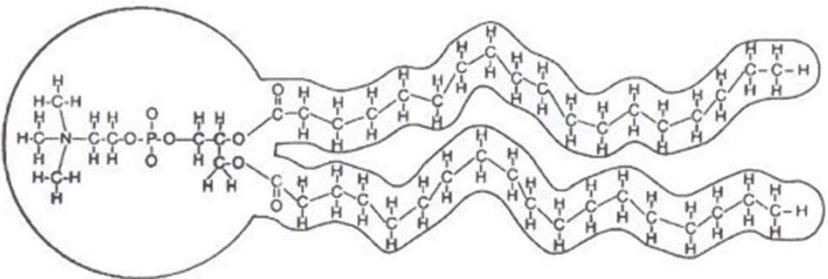
Kontaktthermographie/Plattenthermographie (thermo-optisches Phänomen)



LCD (elektro-optisches Phänomen)



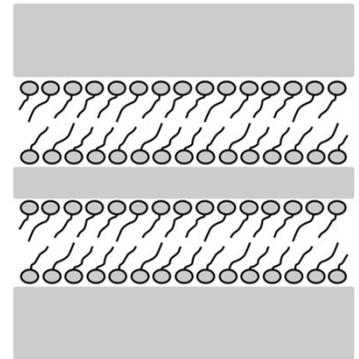
Lyotrope Flüssigkristalle:



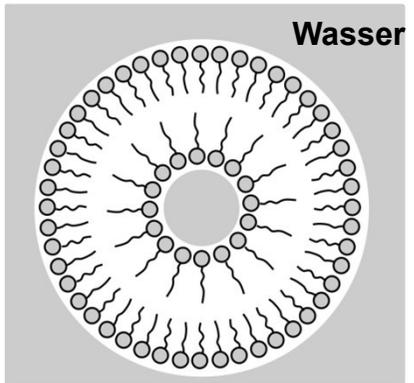
hydrophil

hydrophob

Phospholipidmolekül



Lamellare Struktur



Wasser

Liposom

