

Biophysik für Pharmazeuten I.

2020/21
Vorlesung 3

Struktur der Materie

1

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

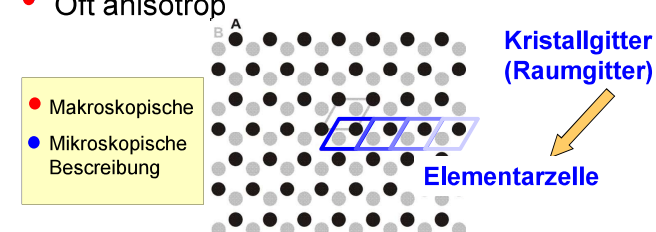
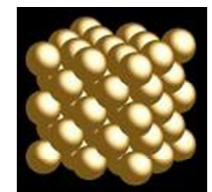
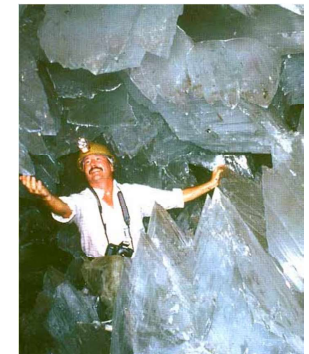
Flüssigkristalle

Thermotrope und Lyotrope Flüssigkristalle, Anwendungen

2

Festkörper (Kristalle)

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



4

Feste Stoffe

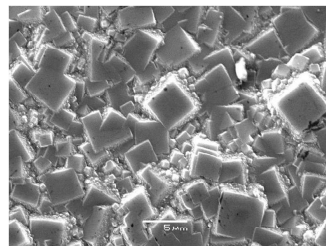
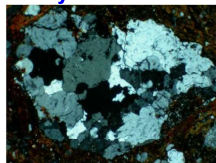
(Kristall = Festkörper)

Kristalline
Stoffe

Amorphe
Stoffe

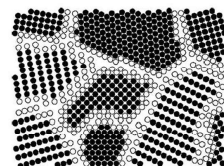
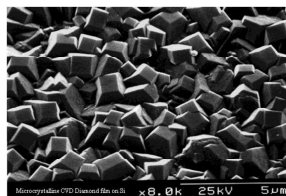
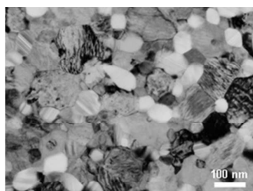
Einkristalle

Polykristalle



Nanokristalline
Stoffe

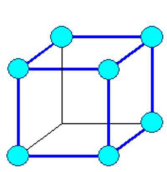
Mikrokristalline
Stoffe



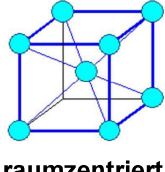
3

Raumgitter (Kristallklassen)

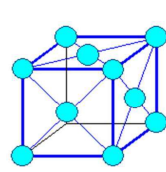
kubisch



einfach

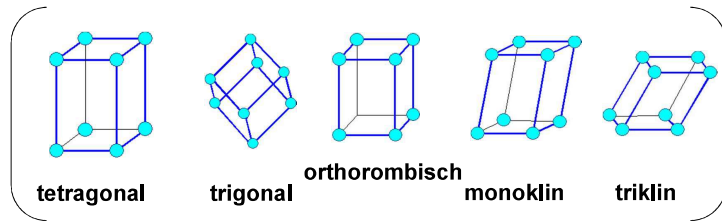
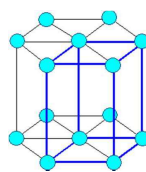


raumzentriert



flächenzentriert

hexagonal



tetragonal

trigonal

orthorombisch

monoklin

triklin

5



6

Kristalltypen

- Atomkristall



Diamant



Si

- Ionenkristall



Salz



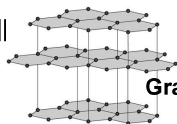
Apatit

- Metallkristall



Gold

- Molekülkristall

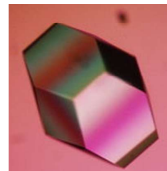


Graphit



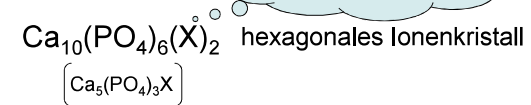
Eis

Eiweiß (Lysozym)

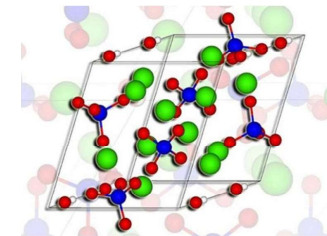
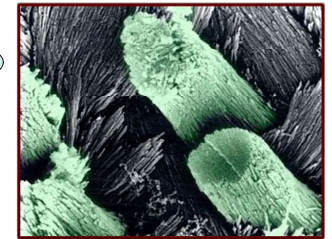


7

Apatit



OH : Hydroxiapatit
 F : Fluorapatit



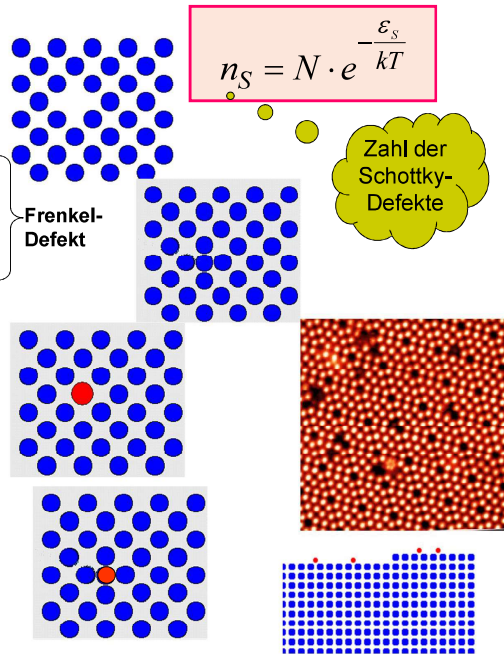
Dentin, Knochen: 20-60 nm x 6 nm große Kristalle
 Zahnschmelz: 500-1000 nm x 30 nm große Kristalle

8

Gitterdefekte

Punktdefekte

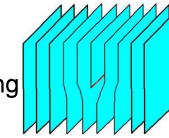
- thermisch
 - Vakanz/Leerstelle (Schottky-Defekt)
 - Interstitielles Atom (Zwischengitteratom)
- Fremdatom
 - An einer Gitterstelle (Substitutionsatom)
 - An einer Zwischengitterstelle (interstitielles Atom)



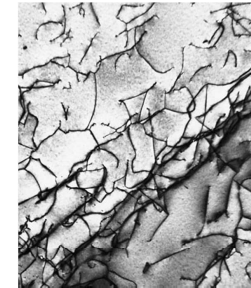
9

Versetzungen

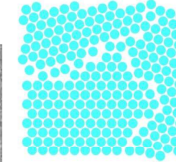
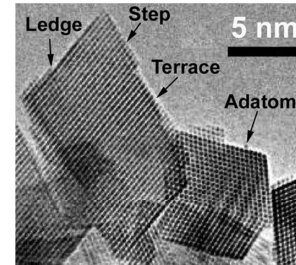
- Stufenversetzung
- Schraubenversetzung



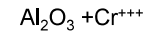
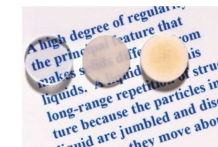
Versetzungen in einer Ti-Legierung



Korngrenzen



Gitterdefekte \Rightarrow Eigenschaften!!



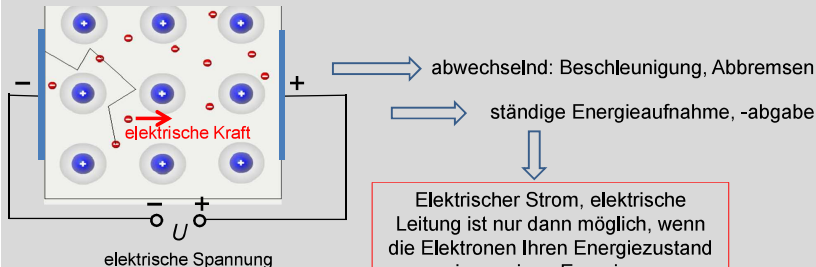
10

Elektrische Eigenschaften der Festkörper

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

Dazu sind freie (quasifreie) Ladungsträger nötig.

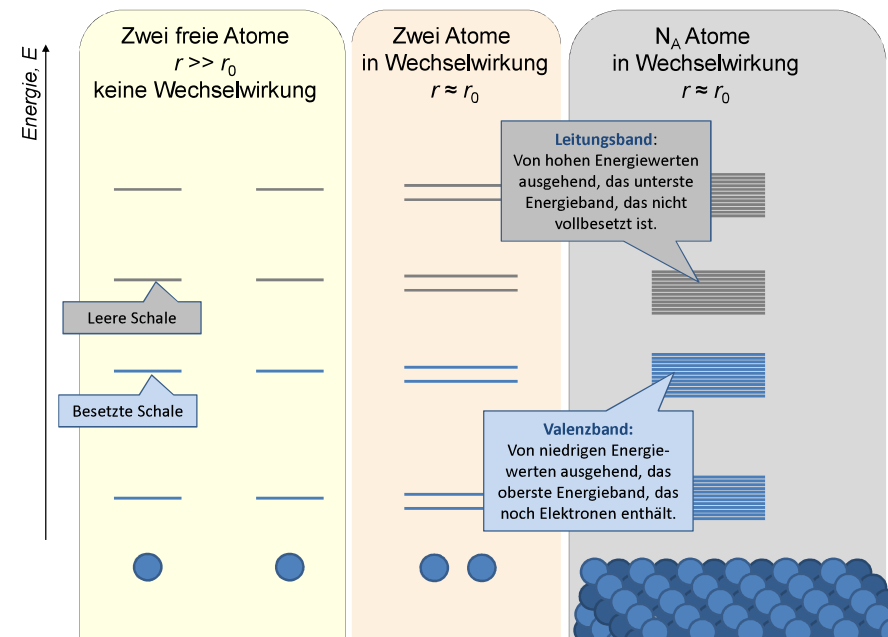
Z. B. Bewegung von Elektronen in einem Metallgitter:
zufällige thermische Bewegung + kollektive Wanderung

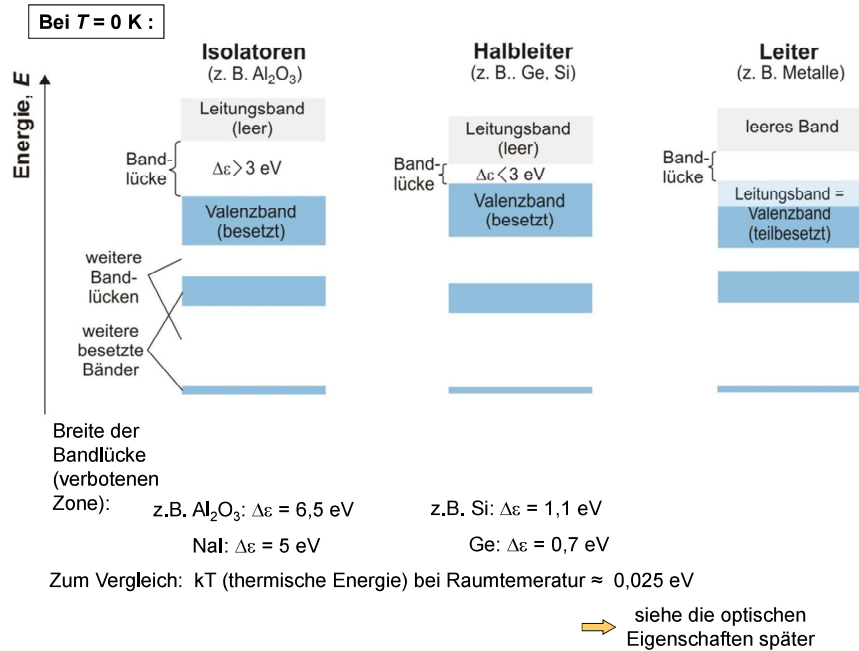


Elektrischer Strom, elektrische Leitung ist nur dann möglich, wenn die Elektronen ihren Energiezustand um eine geringe Energiemenge ständig ändern können.

11

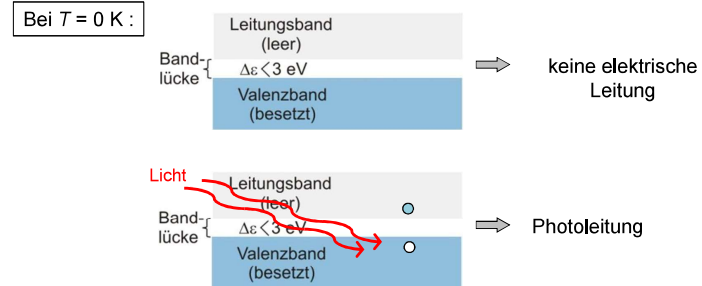
Elektronenstruktur von Festkörpern (Bändermodell):



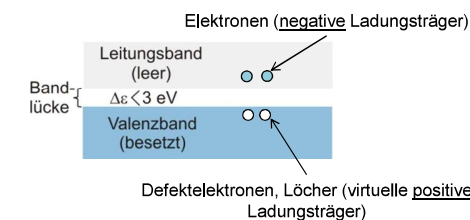


13

Eigenhalbleiter (intrinsic Halbleiter)



Bei $T = 273 \text{ K}$:
Annähernd Boltzmann-Verteilung!



Zahl der freien Ladungsträger

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

elektrische Leitfähigkeit

14

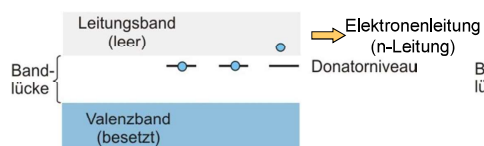
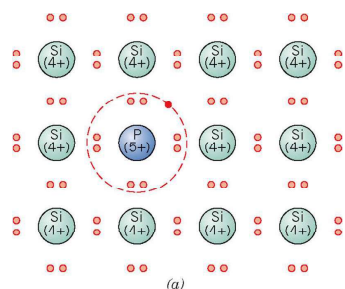
Dotierte Halbleiter

Grundkristall z.B. Si

n-Halbleiter

z. B. + P

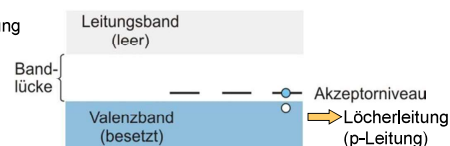
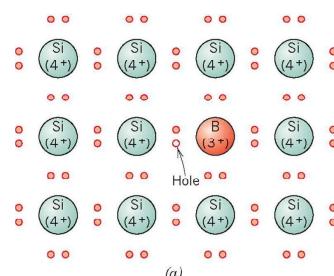
$_{15}\text{P}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$



p-Halbleiter

z. B. + B

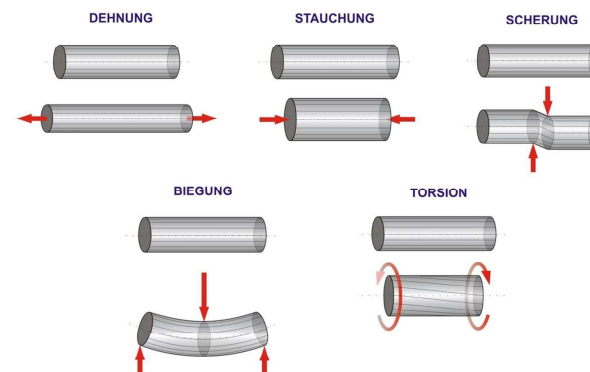
$_{5}\text{B}: 1s^2 2s^2 2p^1$



15

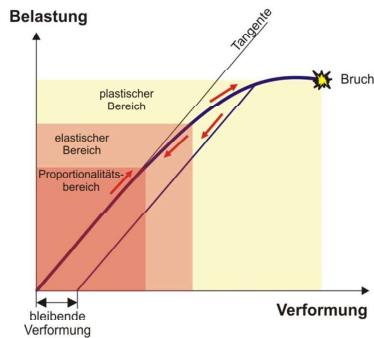
Mechanische Eigenschaften der Materialien

a) Deformationstypen und das Belastungsdiagramm:



16

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

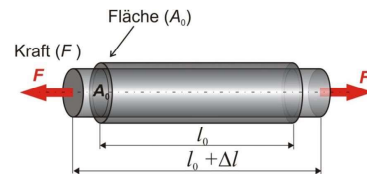


Als Beispiel wird die **Dehnung (Zug)** im Weiteren diskutiert.

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

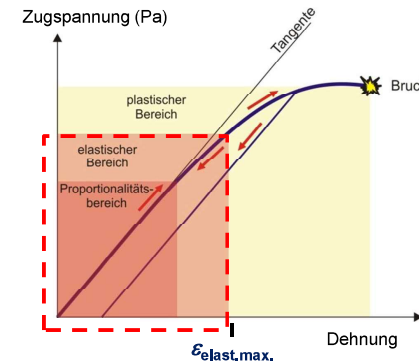
▪ **Zugspannung (σ):** $\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa}\right)$

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

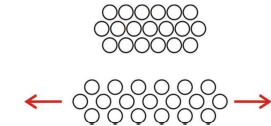


17

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



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



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

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

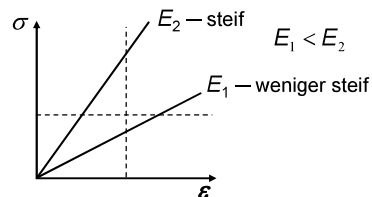
Die Größe $\varepsilon_{\text{elast.max.}}$ könnte man auch **Elastizität** nennen.

18

In dem **Proportionalitätsbereich** gilt: Zugspannung ~ Dehnung

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

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

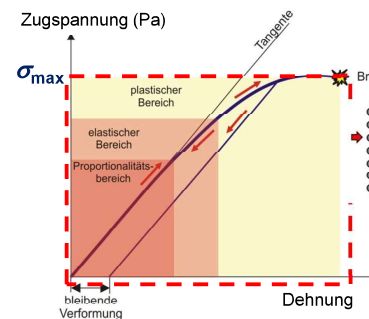


Stoff	E (GPa)
Knochen	10-15
Kollagen	0,3-2,5
Bandscheibe	0,005
Elastin	0,0005
Aluminiumoxid	350-410
Stahl	220
Titan	110
PMMA (Polymethylmethacrylat)	2,4-3,8
Silikon Gummi	≈ 0,0003

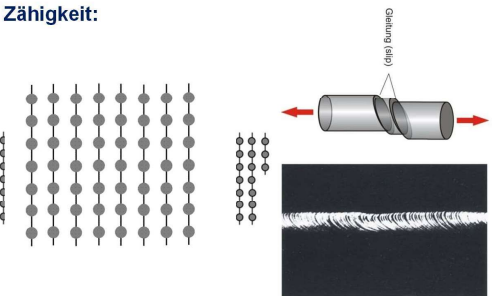
Wovon hängt die Steifigkeit der Materialien ab?



c) Plastische Verformung – Festigkeit und Zähigkeit:



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



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



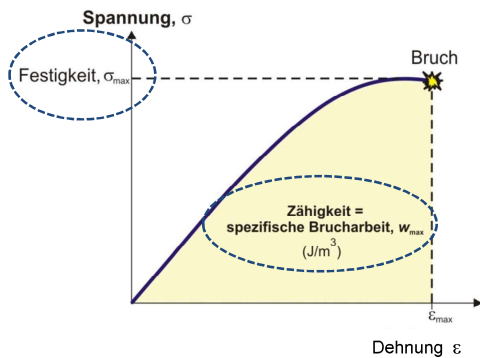
Wovon hängt die Festigkeit der Materialien ab?



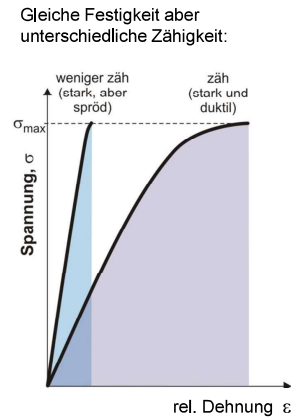
Eine andere Form des hookeschen Gesetzes (für eine Feder):

19

20

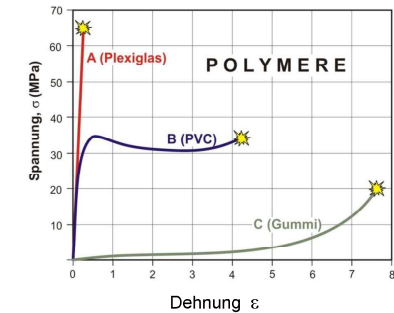
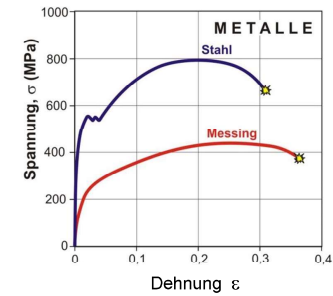
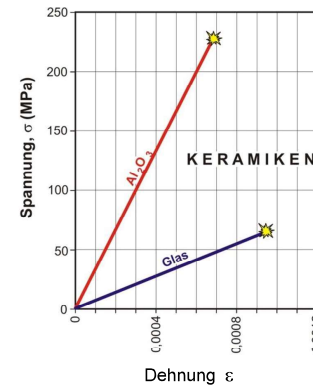


- **Zähigkeit (w_{\max}) (J/m^3):** die zur Verformung zugeführte Energie (Arbeit) bis zum Bruch (pro m^3)
 - Sie kann durch das Flächenstück unter der Kurve bis zum Bruch veranschaulicht werden.
 - Die Zähigkeit hängt von der Festigkeit aber auch von der maximalen Dehnbarkeit des Stoffes ab.



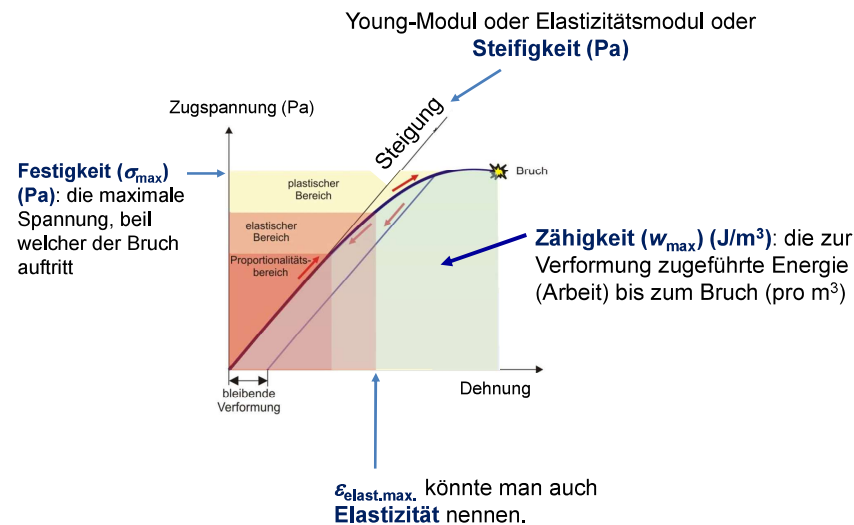
21

Beispiele:



22

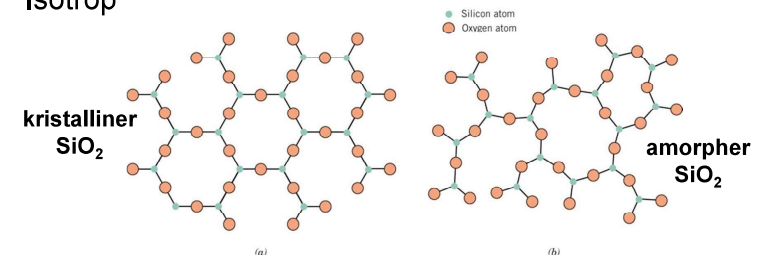
Zusammenfassung der wichtigsten Größen bei der Beschreibung der Elastischen eingenschaften lastische Verformung – Festigkeit und Zähigkeit:



23

Amorphe (feste) Körper

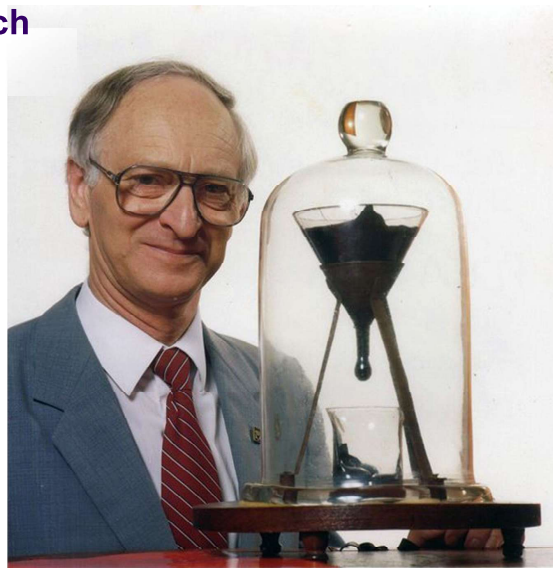
- Eigenvolumen
- Mechanisch hart
- Keine Eigenform/flüssig sehr hohe Viskosität; „gefrorene Flüssigkeit“
- Nahordnung
- Viele Defekte
- Isotrop



24

Längster Versuch der Welt

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

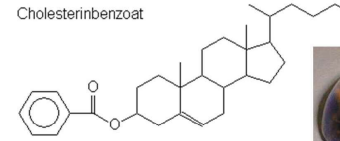


<https://de.wikipedia.org/wiki/Pechtropfenexperiment>

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

Flüssigkristalle

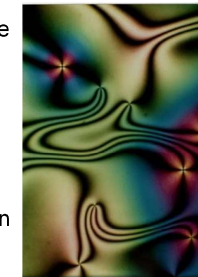
Cholesterinbenzoat



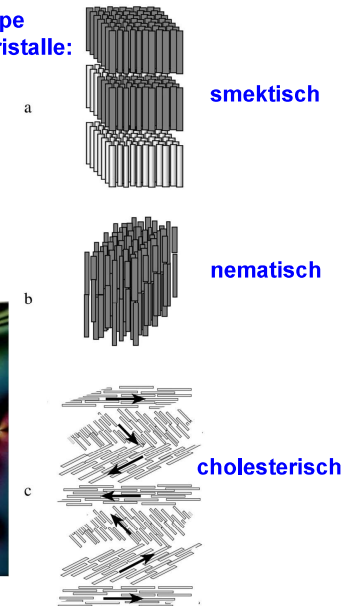
1883 Reinitzer



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

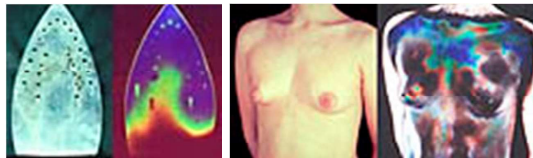


Termotrope Flüssigkristalle:

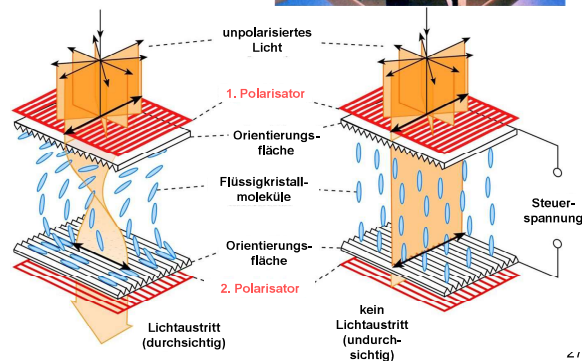
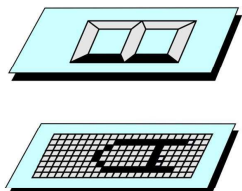


26

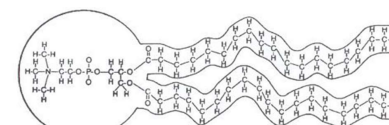
Kontaktthermographie/Plattenthermographie (thermo-optisches Phänomen)



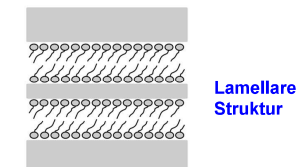
LCD (elektro-optisches Phänomen)



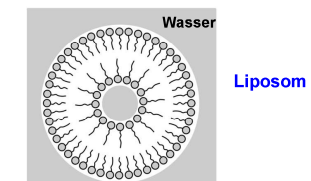
Lyotrope Flüssigkristalle:



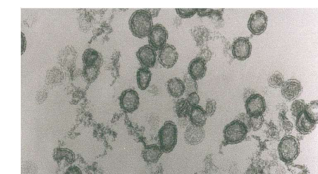
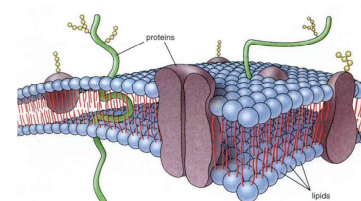
hydrophil hydrophob
Phospholipidmolekül



Lamellare Struktur



Liposom



28