

Medizinische Biophysik

3. Vorlesung
27. 09. 2017

Struktur der Materie

II. Aggregatzustände

7. Flüssigkristalle

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

III. Eigenschaften der Materialien

1. Einige mechanischen Eigenschaften
 - a) Deformationstypen, Belastungsdiagramm
 - b) Elastische Verformung – Elastizität und Steifigkeit
 - c) Plastische Verformung – Festigkeit und Zähigkeit
2. Elektrische Eigenschaften
3. Thermische Eigenschaften
 - a) Erwärmung/Abkühlung
 - b) Wärmeleitung
 - c) Wärmeausdehnung

IV. Materialfamilien

1. Metalle
2. Keramiken
3. Polymere
4. Komposite

c) Anwendungen von Flüssigkristallen:

Kontaktthermographie/Plattenthermographie

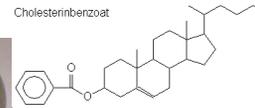
Grundlage: thermo-optisches Phänomen
(bei Temperaturänderungen ändern sich die optischen Eigenschaften)



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

1883 Reinitzer

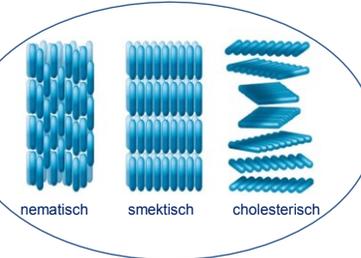
Cholesterinbenzoat



makroskopische Beschreibung:
 Eigenvolumen aber keine Eigenform
 optische Anisotropie
 – Eigenschaften sind empfindlich gegen schwache äußere Einwirkungen

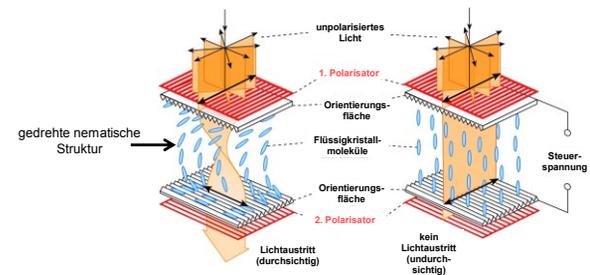
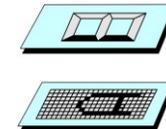
b) Mikroskopische Beschreibung:

– Teilweise geordnete Strukturen (Orientierung, Schichten)



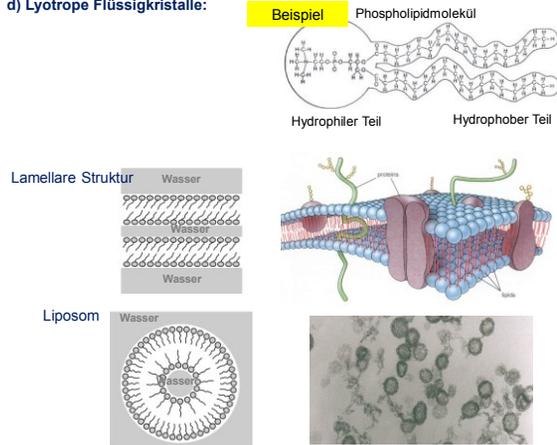
LCD (liquid crystal display)

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



⇒ Erklärung siehe später bei den Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie! 4

d) Lyotrope Flüssigkristalle:

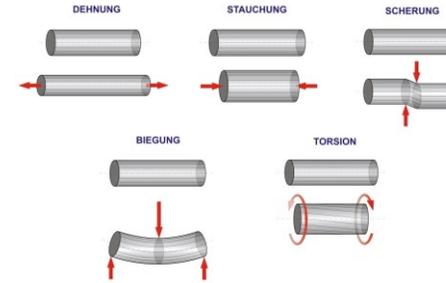


5

III. Eigenschaften der Materialien

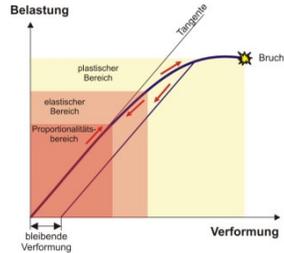
1. Einige mechanischen Eigenschaften (von festen Stoffen)

a) Deformationstypen und das Belastungsdiagramm:



6

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

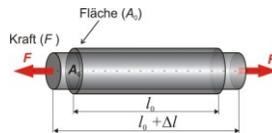


Als Beispiel wird die **Dehnung (Zug)** im Weiteren diskutiert.

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

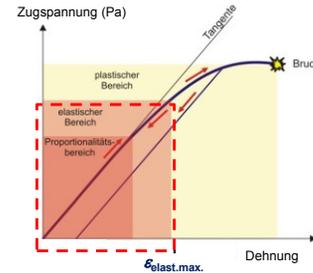
• **Zugspannung (σ):** $\sigma = \frac{F}{A_0} \left(\frac{N}{m^2} = Pa \right)$

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

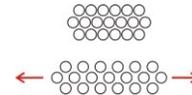


7

b) Elastische Verformung – Elastizität und Steifigkeit:



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: $\epsilon_{elast,max}$ (%)

(Die Größe könnte man auch **Elastizität** nennen.)

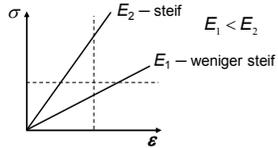
Stoff	$\epsilon_{elast,max}$ (%)
Knochen	0,5
Kollagen	10
Elastin	130
Aluminiumoxid	0,1
Titan	2
PMMA (Polymethylmethacrylat)	20
Silikon gummi	700

8

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

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

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

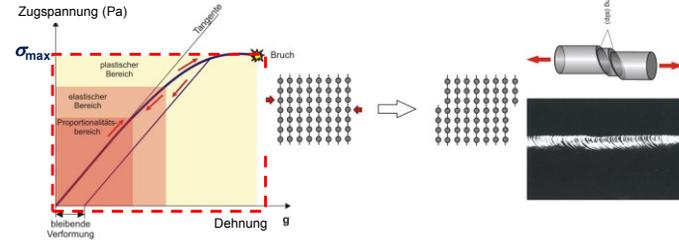


☐ Eine andere Form des hookeschen Gesetzes (für eine Feder):

Stoff	E (GPa)
Knochen	10-15
Kollagen	0.3-2.5
Bandscheibe	0.005
Elastin	0.0005
Aluminiumoxid	350-410
Titan	110
PMMA (Polymethylmethacrylat)	2.4-3.8
Silikongummi	≈ 0,0003

Wovon hängt die Steifigkeit der Materialien ab? ☐

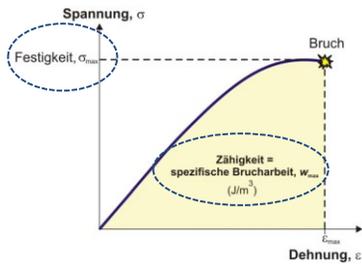
c) Plastische Verformung – Festigkeit und Zähigkeit:



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

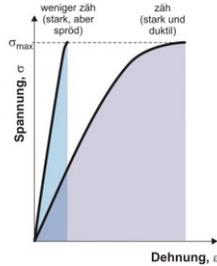
Material	σ_{max} (MPa)
Knochen	100
Kollagen	60
Elastin	0.6
kohlenstoffaserverstärktes (61%) Epoxid	≈ 1700
Kupfer	380
Aluminiumoxid	250
PMMA (Polymethylmethacrylat)	≈ 50

☐ Wovon hängt die Steifigkeit der Materialien ab?

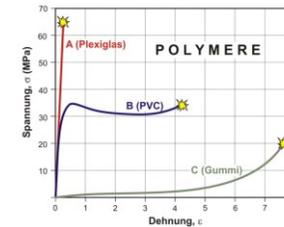
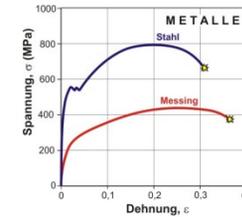
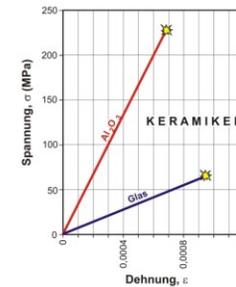


- **Zähigkeit (w_{max}) (J/m³):** die zur Verformung zugeführte Energie (Arbeit) bis zum Bruch (pro m³)
 - Sie kann durch das Flächenstück unter der Kurve bis zum Bruch veranschaulicht werden.
 - Die Zähigkeit hängt von der Festigkeit aber auch von der maximalen Dehnbarkeit des Stoffes ab.

Gleiche Festigkeit aber unterschiedliche Zähigkeit:



Beispiele:



2. Elektrische Eigenschaften

s. Grundschrift

- Elektrische Leitfähigkeit (σ) (S/m)

Flüssigkeiten: Leitfähigkeit ~ Ionenkonzentration

Feste Stoffe:

Stoff	σ (S/m)	
Silber	$6,8 \cdot 10^7$	Leiter
Gold	$4,3 \cdot 10^7$	
Platin	$0,94 \cdot 10^7$	
Germanium	2,2	Halbleiter
Silizium	$4 \cdot 10^{-4}$	
Zirkon	$\approx 10^{-10}$	Isolator
Porzellan	$\approx 10^{-11}$	
Glas	$\approx 10^{-13}$	
PMMA	$\approx 10^{-12}$	
Polyethylene	$\approx 10^{-16}$	

s. Bändermodell

Körpergewebe:

Gewebe	σ (mS/m)
Blut	700
graue Hirnmasse	300
weiße Hirnmasse	150
Haut	100
Fett	40
Knochen	10

13

3. Thermische Eigenschaften

s. Grundschrift

- a) Erwärmung/Abkühlung

- spezifische Wärmekapazität (c)

„Erwärmbarkeit“

Stoff	c (J/(kg·K))
Wasser	4190
Muskelgewebe	3760
Fettgewebe	3000
Körpergewebe (durchschnittlich)	3500
Gold	126
Porzellan	1100
Glas	800

hohe Temperaturstabilisierungsfähigkeit

- b) Wärmeleitung

- Wärmeleitfähigkeit (λ)

s. im 2. Semester

Stoff	λ (W/(m·K))
Silber	420
Glas	1
Wasser	0,6
Muskel	0,4
Fett	0,2
Luft	0,025

14

c) Wärmeausdehnung

- Längenausdehnung:

$$\frac{\Delta l}{l} = \alpha \Delta T$$

Längenänderung Δl
 ursprüngliche Länge l
 Temperaturänderung ΔT
 linearer Wärmeausdehnungskoeffizient (Längenausdehnungskoeffizient) (1/K)

Stoff	α (10^{-6} 1/K)
Knochen	≈ 25
Zahnschmelz	$\approx 11,4$
Porzellan	4-16
Glas	≈ 8
Zirkon	≈ 11
Titan	8,6
Gold	14,2
Amalgam	≈ 25
PMMA	70-81
Wachs	300-500

$\sim 1/\text{Bindungsenergie!}$

- Volumenausdehnung:

$$\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta T$$

Volumenänderung ΔV
 ursprüngliches Volumen V
 räumlicher Wärmeausdehnungskoeffizient (Volumenausdehnungskoeffizient) (1/K)

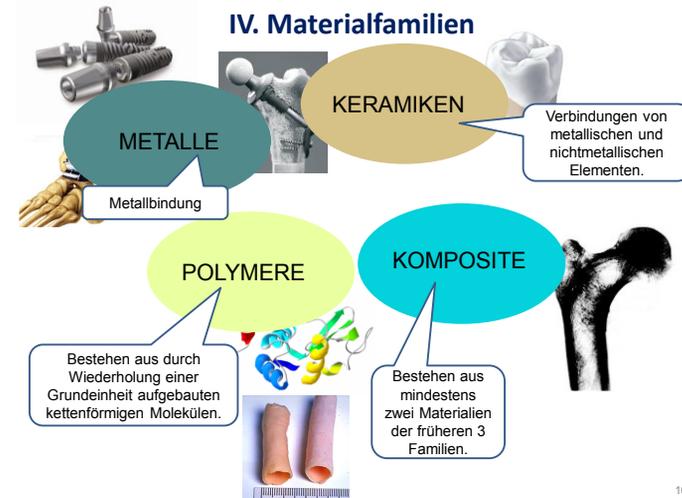
Für die meisten Stoffe gilt annähernd: $\beta \approx 3\alpha$

Optische Eigenschaften: s. später im 1. Semester

Chemische und biologische Eigenschaften: s. andere Kurse

15

IV. Materialfamilien



16

Ein Beispiel für die Verwendung (Hüftgelenkprothese):



17

- Beispiele aus der Medizin: Titan, Ni-Ti-Legierungen
- Anwendungsbeispiele: Implantate, Zahnkrone, Brücke, kieferorthopädischer Bogen



19

1. Metalle

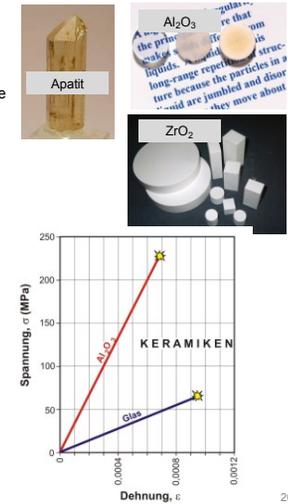
- Definition: Metallbindung
- Bindungstyp: Metallbindung
- Aggregatzustand bei üblichen Bedingungen: fest (kristallin) mit einigen Ausnahmen (z.B. Hg)
- Herstellung: aus Schmelze
- Struktur: **Polykristalle**, aber Einkristalle und amorphe Metalle (Metallgläser) auch möglich
- Dichte: groß
- Mechanische Eigenschaften: mittelhohe Steifigkeit, hohe Festigkeit, breiter plastischer Bereich und hohe Zähigkeit
- Elektrische Eigenschaften: hohe elektrische Leitfähigkeit
- Thermische Eigenschaften: mittelhoher Schmelzpunkt, mittelgroßer Wärmeausdehnungskoeffizient, hohe Wärmeleitfähigkeit



18

2. Keramiken

- Definition: Verbindungen von metallischen und nichtmetallischen Elementen
- Bindungstyp: Ionenbindung, weniger auch kovalente Bindung
- Aggregatzustand bei üblichen Bedingungen: fest (kristallin/amorph)
- Herstellung: Sintern oder aus Schmelze
- Struktur: Polykristalle/Einkristalle/amorphe Struktur (Gläser)
- Dichte: mittelgroß
- Mechanische Eigenschaften: hohe Steifigkeit, mittelmäßige Festigkeit, plastischer Bereich fehlt, sehr geringe Zähigkeit, brüchig
- Elektrische Eigenschaften: sehr geringe elektrische Leitfähigkeit (Isolator)
- Thermische Eigenschaften: hoher Schmelzpunkt, geringer Wärmeausdehnungskoeffizient, geringe Wärmeleitfähigkeit



20

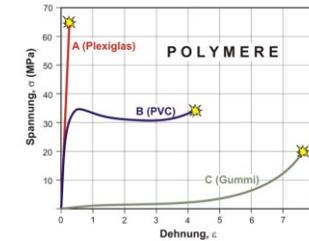
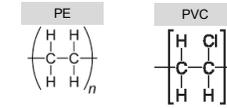
- Beispiele aus der Medizin: Al_2O_3 , Porzellan, Zirkon (ZrO_2), HAP
- Anwendungsbeispiele: Implantate, Zahnkrone, Brücke



21

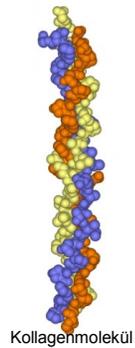
3. Polymere

- Definition: Bestehen aus durch Wiederholung einer Grundeinheit aufgebauten kettenförmigen Molekülen.
- Bindungstyp: kovalente Bindung+sekundäre Bindungen
- Aggregatzustand bei üblichen Bedingungen: flüssig/fest (kristallin/amorph)
- Herstellung: durch Polymerisation aus Monomeren
- Struktur: amorph/teilweise kristallin
- Dichte: klein
- Mechanische Eigenschaften: kleine Steifigkeit, geringe Festigkeit, breiter elastischer und/oder plastischer Bereich und mittelmäßige/hohe Zähigkeit
- Elektrische Eigenschaften: geringe elektrische Leitfähigkeit (Isolator)
- Thermische Eigenschaften: niedriger Schmelzpunkt, mittelmäßiger Wärmeausdehnungskoeffizient, geringe Wärmeleitfähigkeit

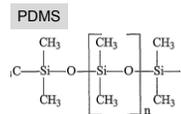
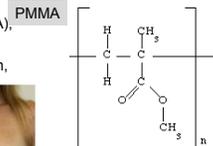
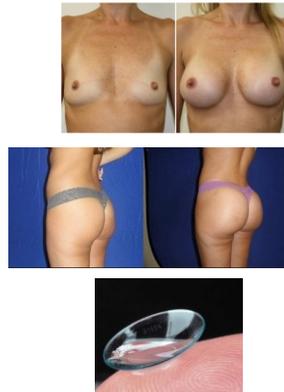


22

- Beispiele aus der Medizin: Polymethylmethacrylate (PMMA), Polydimethylsiloxan (PDMS)
- Anwendungsbeispiele: Kontaktlinsen, Venen, Venenklappen, Brustimplantate



Kollagenmolekül



23

4. Komposite (Verbundwerkstoffe)

- Definition: Bestehen aus mindestens zwei Materialien der früheren 3 Familien.
- Bindungstyp: -
- Aggregatzustand bei üblichen Bedingungen: fest (kristallin/amorph)
- Struktur: -
- Dichte: Klein/mittelmäßig
- Mechanische Eigenschaften: hohe Festigkeit und Zähigkeit
- Beispiele aus der Medizin: mit Keramiken verstärkte Polymere
- Anwendungsbeispiele: Prothesen, Zahnfüllung



Knochengewebe:
Kollagen + Apatit



24

Hausaufgaben: ■ Aufgabensammlung
1.56, 59, 61-63, 65-72

