

# Medizinische Biophysik

3. Vorlesung  
23. 09. 2015

## Struktur der Materie

### II. Aggregatzustände: Flüssigkristalle

#### 7. Flüssigkristalle

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

#### 8. Phase, Phasendiagramm, Phasenübergänge

### III. Eigenschaften der Materialien

1. Thermische Eigenschaften
  - a) Erwärmung/Abkühlung
  - b) Wärmeleitung
  - c) Wärmeausdehnung
2. Elektrische Eigenschaften
3. Einige mechanischen Eigenschaften
  - a) Deformationstypen, Belastungsdiagramm
  - b) Dehnung, Hookesches Gesetz und die Steifigkeit
  - c) Festigkeit und Zähigkeit

### IV. Materialfamilien

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

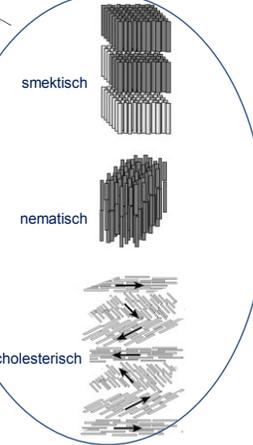
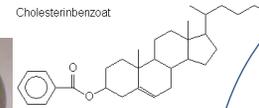
#### c) Anwendungen von Flüssigkristallen:

Kontaktthermographie/Plattenthermographie

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



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



#### a) Makroskopische Beschreibung:

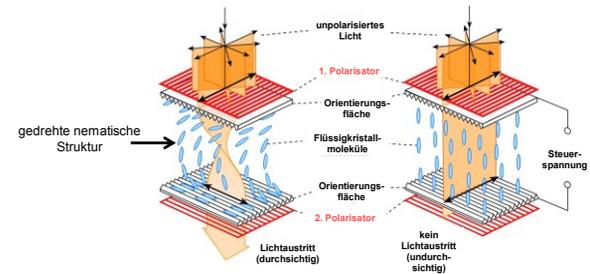
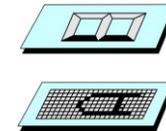
- Eigenvolumen aber keine Eigenform
- Optische Anisotropie
- Eigenschaften sind empfindlich gegen schwache äußere Einwirkungen

#### 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:

**Beispiel** Phospholipidmolekül

Hydrophiler Teil      Hydrophober Teil

**Lamellare Struktur**

**Liposom**

8. Phase, Phasendiagramm, Phasenübergänge

Aggregatzustände bei H<sub>2</sub>O:

Z. B. SiO<sub>2</sub>

fest      flüssig      gasförmig

Quarz 870°C      Tridymit 1470°C      Cristobalit 1713°C      2230°C

polymorphe Modifikationen von SiO<sub>2</sub>

Phasen

Druck, p (bar)

Temperatur, T (°C)

- Phase: physikalisch und chemisch homogener Stoffbereich
- Stabile Phase: unter den gegebenen Umständen die energetisch günstigste Phase (s. später Thermodynamik)
- Phasendiagramm: Darstellung der stabilen Phasen bei verschiedenen Bedingungen (Druck - p, Temperatur - T, Konzentration - c, ...)

- Phasenübergang: Übergang aus der unter den neuen Umständen schon instabilen Phase in die stabile Phase
- Phasenübergangswärme (ΔQ): die Energiemenge (Wärme), die bei dem Übergang aufgenommen (oder freigesetzt) wird (ΔQ ~ m)
- Spezifische Phasenübergangswärme (q):  $q = \frac{\Delta Q}{m} \left( \frac{J}{kg} \right)$

Masse des Körpers

Stoff	q <sub>Verdampfung</sub> (kJ/kg)
Wasser (100°C, 101 kPa)	2257
Wasser (30°C, 101 kPa)	2400

Stoff	q <sub>Schmelz</sub> (kJ/kg)
Eis	334,4
Aluminium	396,1
NaCl	517,1
Silizium	1656

~ Bindungsenergie!

III. Eigenschaften der Materialien

1. Thermische Eigenschaften

a) Erwärmung/Abkühlung

- spezifische Wärmekapazität (c):

„Erwärmbarkeit“

aufgenommene/freigesetzte Wärme

$$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T} \left( \frac{J}{kg \cdot K} \right)$$

Masse des Körpers      Temperaturänderung

Wasserstoffbrückenbindungen

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

hohe Temperaturstabilisierungsfähigkeit

## b) Wärmeleitung

Mechanismus der Energieweitergabe:  
Stöße zw. Atomen (Molekülen) + freie Elektronen

**Fourier-Gesetz:**

$$\frac{\Delta E}{A \cdot \Delta t} = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Labels: Transportierte Energie (Wärme, J), Temperatur-differenz (K), Strecke (m), Querschnittsfläche (m<sup>2</sup>), Zeitspanne (s), Wärmeleitfähigkeit Wärmeleitzahl (W/(m·K))

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

## c) Wärmeausdehnung

▪ **Längenausdehnung:**

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

Labels: Längenänderung, ursprüngliche Länge, linearer Wärmeausdehnungskoeffizient (Längenausdehnungskoeffizient) (1/K), Temperaturänderung

▪ **Volumenausdehnung:**

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

Labels: Volumenänderung, ursprüngliches Volumen, räumlicher Wärmeausdehnungskoeffizient (Volumenausdehnungskoeffizient) (1/K)

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

~ 1/Bindungsenergie!

⇒ innere Spannungen

## 2. Elektrische Eigenschaften

**Ohmsches Gesetz:**  $U = R \cdot I$

Labels: Spannung (V), Stromstärke (A), el. Widerstand (Ω)

Der elektrische Widerstand:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Labels: Länge (m), Querschnittsfläche (m<sup>2</sup>)

**Spezifischer Widerstand (Ωm)**

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

**Elektrische Leitfähigkeit (S/m)**

Stoff	$\sigma$ (S/m)	Kategorie
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	$\approx 10^{-16}$	

## 3. Einige mechanischen Eigenschaften

### a) Deformationstypen und das Belastungsdiagramm :

**Belastungsdiagramm:**

Y-Achse: Belastung  
X-Achse: Verformung

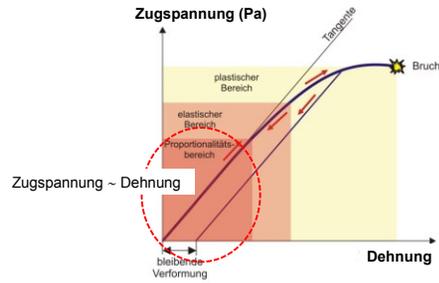
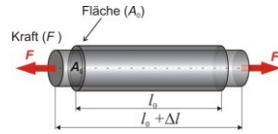
Labels: bleibende Verformung, elastischer Bereich, Proportionalitätsbereich, Bruch, Tangente

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

b) Dehnung (Zug):

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

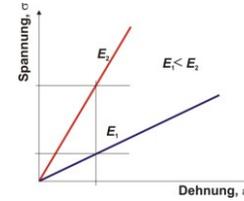
▪ **Dehnung ( $\epsilon$ ):**  $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$



▪ **Hooke'sches Gesetz:**  $\sigma = E \epsilon$

Young-Modul oder Elastizitätsmodul oder Steifigkeit (Pa)

(Gilt in dem Proportionalitätsbereich!)



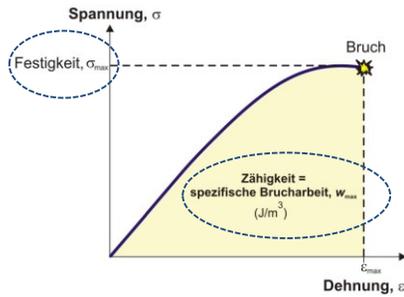
Stoff	E (GPa)
Aluminiumoxid	350-410
Stahl	200-230
Zirkon (mit Yttrium stabilisiert)	200
Porzellan	60-110
Titan	110
Gold	79
Knochen	10-15
PMMA (Polymethylmethacrylat)	2,4-3,8
Kollagen	0,3-2,5
Silikon Gummi	≈ 0,0003

~ Bindungsenergie!

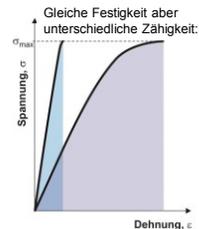
13

14

c) Festigkeit und Zähigkeit:



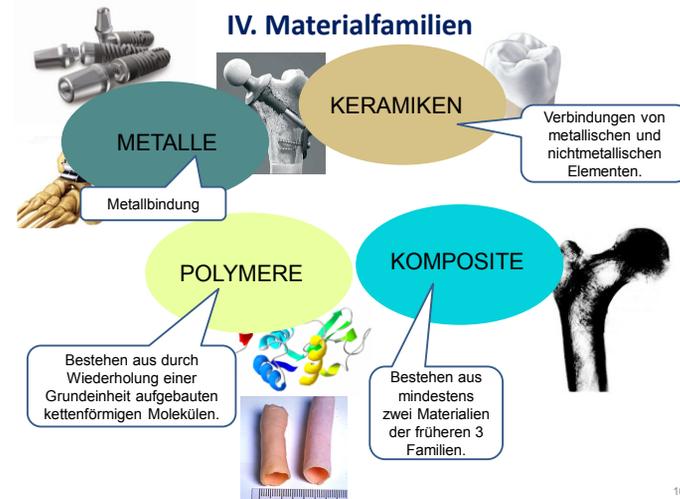
Material	$\sigma_{max}$ (MPa)
kohlenstofffaserverstärktes (61%) Epoxid	≈ 1700
Ti Legierungen	900-1100
Zirkon	≈ 250
Gold	108
Dentin	≈ 110
Glas	≈ 70
PMMA (Polymethylmethacrylat)	≈ 50
Porzellan	≈ 25
Polyethylen	≈ 30



Optische Eigenschaften siehe später!

15

IV. Materialfamilien



16

## 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
- Thermische Eigenschaften: mittelhoher Schmelzpunkt, mittelgroßer Wärmeausdehnungskoeffizient, hohe Wärmeleitfähigkeit
- Elektrische Eigenschaften: hohe elektrische Leitfähigkeit
- Mechanische Eigenschaften: mittelhohe Steifigkeit, hohe Festigkeit, breiter plastischer Bereich und hohe Zähigkeit



17

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



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
- Thermische Eigenschaften: hoher Schmelzpunkt, geringer Wärmeausdehnungskoeffizient, geringe Wärmeleitfähigkeit
- Elektrische Eigenschaften: sehr geringe elektrische Leitfähigkeit (Isolator)
- Mechanische Eigenschaften: hohe Steifigkeit, mittelmäßige Festigkeit, plastischer Bereich fehlt, sehr geringe Zähigkeit, brüchig



19

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



20

