

Medizinische Biophysik

Struktur der Materie

3. Vorlesung
23. 09. 2015

II. Aggregatzustände: Flüssigkristalle

7. Flüssigkristalle

- Makroskopische Beschreibung:
- Mikroskopische Beschreibung:
- Anwendungen von Flüssigkristallen:
- Lyotrope Flüssigkristalle:

8. Phase, Phasendiagramm, Phasenübergänge

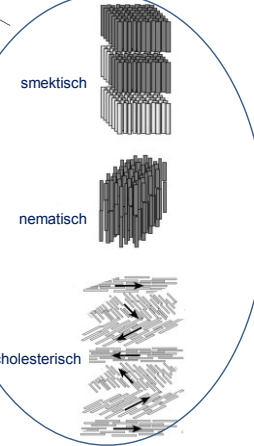
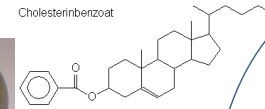
III. Eigenschaften der Materialien

- Thermische Eigenschaften
 - Erwärmung/Abkühlung
 - Wärmeleitung
 - Wärmeausdehnung
- Elektrische Eigenschaften
- Einige mechanischen Eigenschaften
 - Deformationstypen, Belastungsdiagramm
 - Dehnung, hookesches Gesetz und die Steifigkeit
 - Festigkeit und Zähigkeit

IV. Materialfamilien

- Metalle
- Keramiken
- Polymere
- Komposite

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

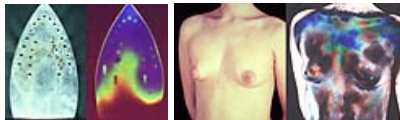
b) Mikroskopische Beschreibung:

- Teilweise geordnete Strukturen (Orientierung, Schichten)

c) Anwendungen von Flüssigkristallen:

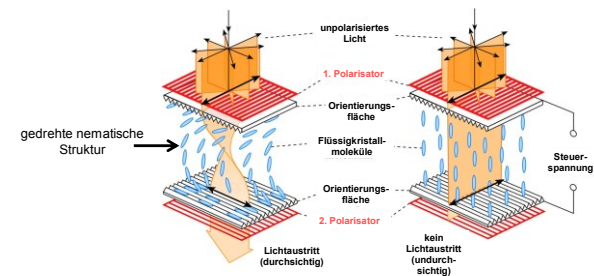
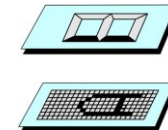
Kontaktthermographie/Plattenthermographie

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



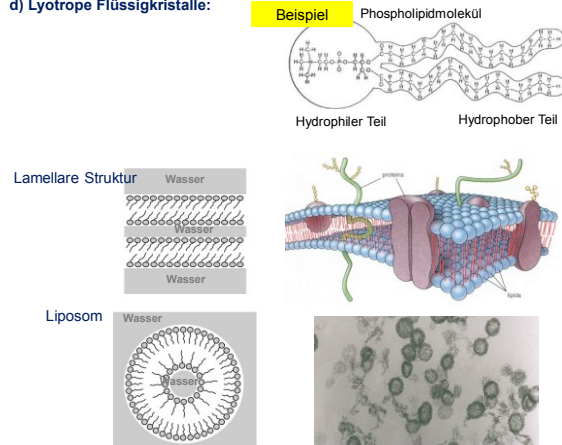
LCD (liquid crystal display)

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

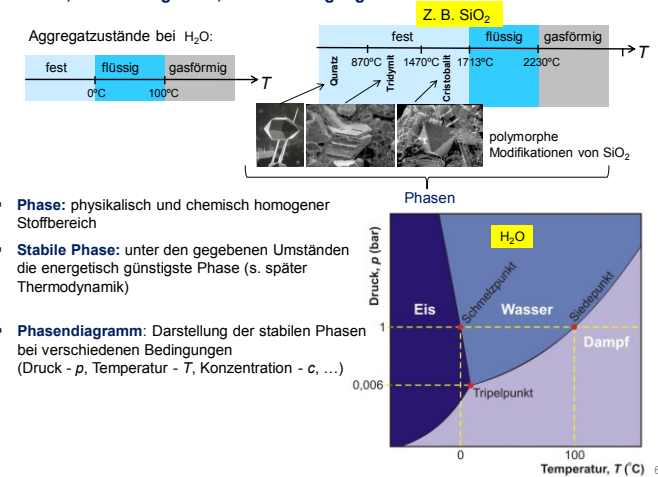


Erklärung siehe später bei den Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie!

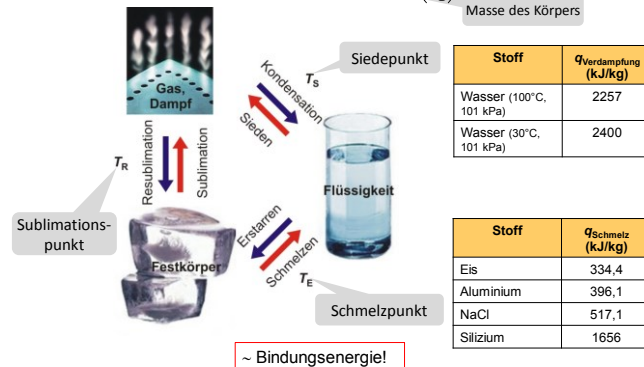
d) Lyotrope Flüssigkristalle:



8. Phase, Phasendiagramm, Phasenübergänge



- 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):** $q = \frac{\Delta Q}{m} \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right)$



III. Eigenschaften der Materialien

1. Thermische Eigenschaften

a) Erwärmung/Abkühlung

- spezifische Wärmekapazität (c):**

„Erwärmbarkeit“

aufgenommene/freigesetzte Wärme

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

Temperaturänderung

Massen des Körpers

Wasserstoffbrückenbindungen

Wassermoleküle

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:

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

Transportierte Energie (Wärme, J)
Temperatur-differenz (K)
Querschnittsfläche (m²)
Zeitspanne (s)
Strecke (m)
Wärmeleitfähigkeit
Wärmeleitzahl (W/(m·K))

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

9

c) Wärmeausdehnung

Längenausdehnung:

Temperaturänderung

Längenänderung

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

ursprüngliche Länge

linearer Wärmeausdehnungskoeffizient
(Längenausdehnungskoeffizient) (1/K)

Volumenausdehnung:

Volumenänderung

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

ursprüngliches Volumen

räumlicher Wärmeausdehnungskoeffizient
(Volumenausdehnungskoeffizient) (1/K)

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

~ 1/Bindungsenergie!

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

⇒ innere Spannungen



10

2. Elektrische Eigenschaften

Spannung (V)
Stromstärke (A)

Ohmsches Gesetz: $U = R \cdot I$

el. Widerstand (Ω)

Der elektrische Widerstand:

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

Länge (m)
Querschnittsfläche (m²)

Spezifischer Widerstand (Ωm)

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

Elektrische Leitfähigkeit (S/m)

Stoff	σ (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	$\approx 10^{-16}$	

11

3. Einige mechanische Eigenschaften

a) Deformationstypen und das Belastungsdiagramm :

DEHNUNG STAUCHUNG SCHERUNG

BIEGUNG TORSION

Belastungsdiagramm:

Belastung

Verformung

bleibende Verformung

elastischer Bereich

plastischer Bereich

Proportionalitätsbereich

Tangente

Bruch

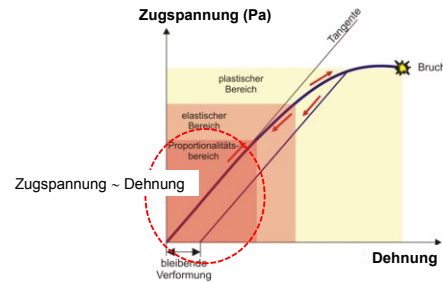
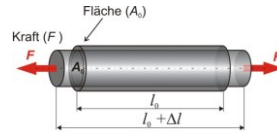
Als Beispiel wird die Dehnung (Zug) im Weiteren diskutiert.

12

b) Dehnung (Zug):

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

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

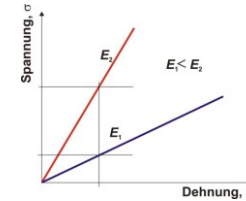


13

▪ Hookesches Gesetz: $\sigma = E \epsilon$

Young-Modul oder
Elastizitätsmodul oder
Steifigkeit (Pa)

(Gilt in dem Proportionalitätsbereich!)

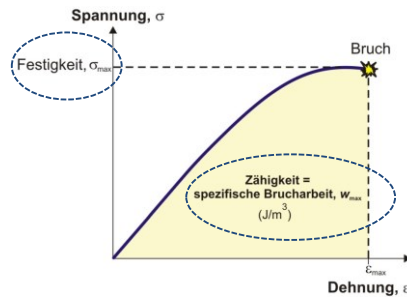


Stoff	E (GPa)
Aluminiumoxid	350-410
Stahl	200-230
Zirkon (mit Yttrium stabilisiert)	200
Porzellan	60-110
Titan	110
Gold	79
Knochen	10-15
PMMA (Polymethylmethacrylat)	2,4-3,8
Kollagen	0,3-2,5
Silikon Gummi	≈ 0,0003

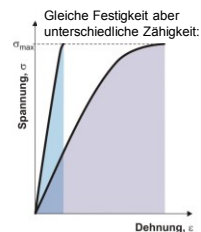
~ Bindungsenergie!

14

c) Festigkeit und Zähigkeit:



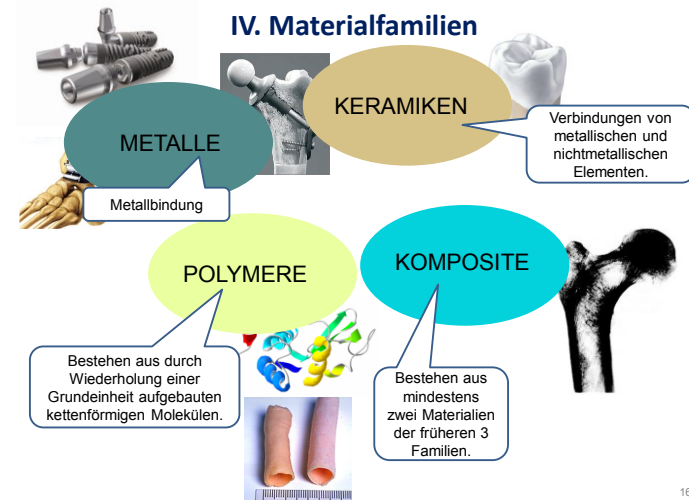
Material	σ_{max} (MPa)
kohlenstofffaserverstärktes (61%) Epoxid	≈ 1700
Ti Legierungen	900-1100
Zirkon	≈ 250
Gold	108
Dentin	≈ 110
Glas	≈ 70
PMMA (Polymethylmethacrylat)	≈ 50
Porzellan	≈ 25
Polyethylen	≈ 30



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

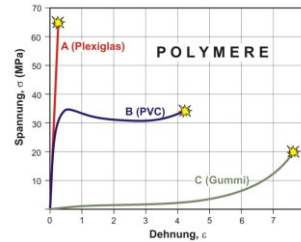
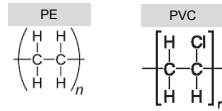
- Beispiele aus der Medizin: Al_2O_3 , Porzellan, Zirkon (ZrO_2), HAP
- Anwendungsbeispiele: Implantate, Zahnkrone, Brücke



20

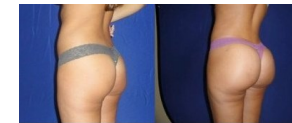
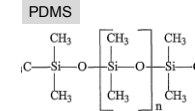
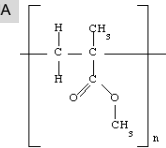
3. Polymere

- 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
- Thermische Eigenschaften: niedriger Schmelzpunkt, mittelmäßiger Wärmeausdehnungskoeffizient, geringe Wärmeleitfähigkeit
- Elektrische Eigenschaften: geringe elektrische Leitfähigkeit (Isolator)
- Mechanische Eigenschaften: kleine Steifigkeit, geringe Festigkeit, breiter elastische und/oder plastischer Bereich und mittelmäßige/hohe Zähigkeit



21

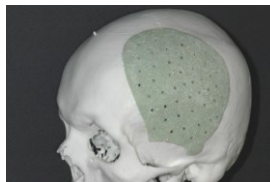
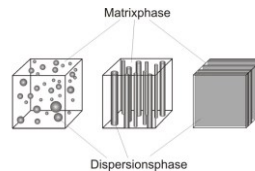
- Beispiele aus der Medizin: Polymethylmethacrylate (PMMA), Polydimethylsiloxan (PDMS)
- Anwendungsbeispiele: Kontaktlinsen, Venen, Venenklappen, Brustimplantate



22

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



23

Hausaufgaben: ■ Neue Aufgabensammlung
1.54-57, 59, 61-63, 65-72



24