

# Medizinische Biophysik

3. Vorlesung  
19. 09. 2016

## Struktur der Materie

### II. Aggregatzustände

#### 7. Flüssigkristalle

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

### IV. Materialfamilien

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

### 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

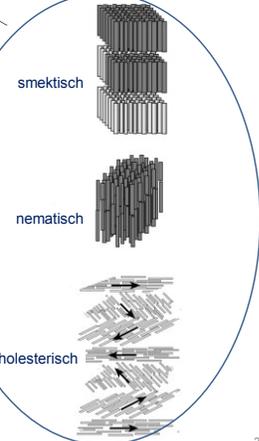
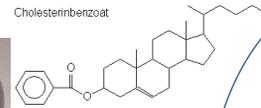
#### c) Anwendungen von Flüssigkristallen:

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:

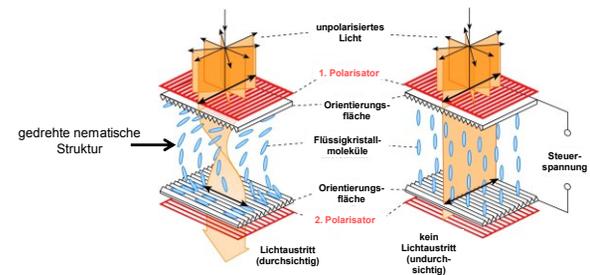
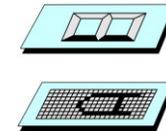
- Eigenvolumen aber keine Eigenform
- Optische Anisotropie
- Eigenschaften sind empfindlich gegen schwache äußere Einwirkungen

#### 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**

Wasser

**Liposom**

Wasser

### III. Eigenschaften der Materialien

#### 1. Einige mechanischen Eigenschaften (von festen Stoffen)

##### a) Deformationstypen und das Belastungsdiagramm:

**Belastungsdiagramm:**

Belastung

plastischer Bereich

elastischer Bereich

Proportionalitätsbereich

Tangentiale

Bruch

bleibende Verformung

Verformung

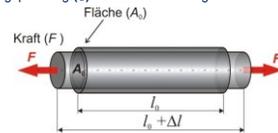
Als Beispiel wird die **Dehnung (Zug)** im Weiteren diskutiert.

5

Bei der Dehnung (Zug) wird die Belastung mit Hilfe der Zugspannung ( $\sigma$ ) und die Verformung mit Hilfe der Dehnung ( $\epsilon$ ) quantitativ charakterisiert:

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

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



##### b) Elastische Verformung – Elastizität und Steifigkeit:

Zugspannung (Pa)

In dem elastischen Bereich:

In dem Proportionalitätsbereich: Zugspannung ~ Dehnung

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

Young-Modul oder Elastizitätsmodul oder Steifigkeit (Pa)

bleibende Verformung

elast.max.

Dehnung

**Elastizität ( $\epsilon_{elast.max.}$ )** oder elastische Rückstellung (%)

7

##### Über die Elastizität:

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

##### Über die Steifigkeit:

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
Silikon Gummi	$\approx 0,0003$

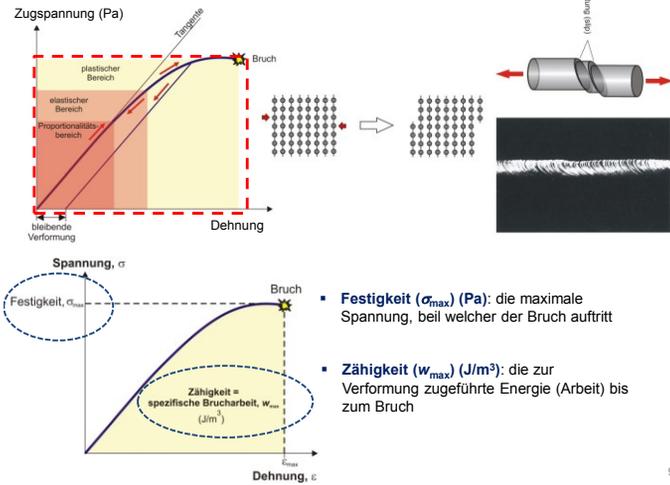
Wovon hängt die Steifigkeit der Materialien ab?

##### Über das Hookesche Gesetz:



8

### c) Plastische Verformung – Festigkeit und Zähigkeit:



- **Festigkeit ( $\sigma_{max}$ ) (Pa):** die maximale Spannung, bei welcher der Bruch auftritt
- **Zähigkeit ( $w_{max}$ ) ( $J/m^3$ ):** die zur Verformung zugeführte Energie (Arbeit) bis zum Bruch

9

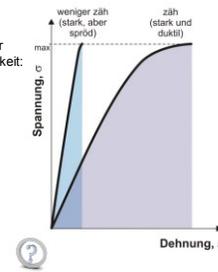
Über die Festigkeit:

Material	$\sigma_{max}$ (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?

Über die Zähigkeit:

Gleiche Festigkeit aber unterschiedliche Zähigkeit:



10

## 2. Elektrische Eigenschaften

- **Elektrische Leitfähigkeit ( $\sigma$ ) (S/m)**

s. Grundschrift

Flüssigkeiten: Leitfähigkeit ~ Ionenkonzentration

Feste Stoffe:

Stoff	$\sigma$ (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	$\sigma$ (mS/m)
Blut	700
graue Hirnmasse	300
weiße Hirnmasse	150
Haut	100
Fett	40
Knochen	10

11

## 3. Thermische Eigenschaften

- a) **Erwärmung/Abkühlung**

s. Grundschrift

- **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 ( $\lambda$ )**

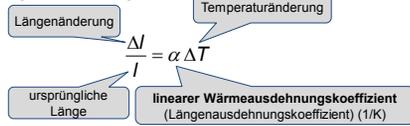
s. im 2. Semester

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

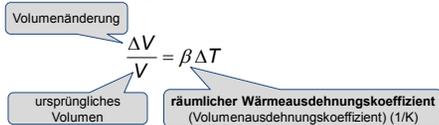
12

### c) Wärmeausdehnung

#### Längenausdehnung:



#### Volumenausdehnung:



Stoff	$\alpha$ ( $10^{-6}$ 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:  $\beta \approx 3\alpha$

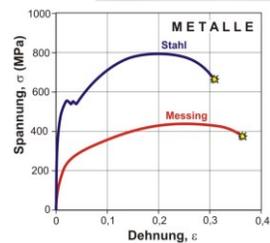
**Optische Eigenschaften:** s. später im 1. Semester

**Chemische und biologische Eigenschaften:** s. andere Kurse

13

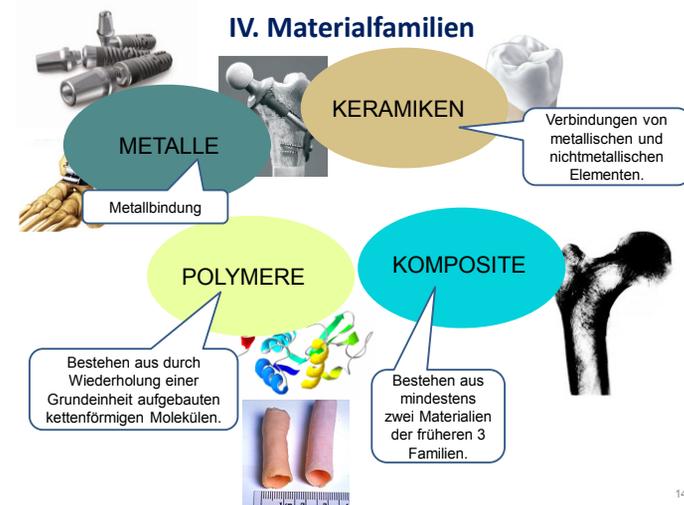
### 1. Metalle

- 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



15

### IV. Materialfamilien



14

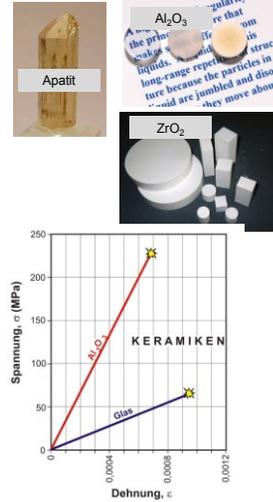
- Beispiele aus der Medizin: Titan, Ni-Ti-Legierungen
- Anwendungsbeispiele: Implantate, Zahnkrone, Brücke, kieferorthopädischer Bogen



16

## 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



17

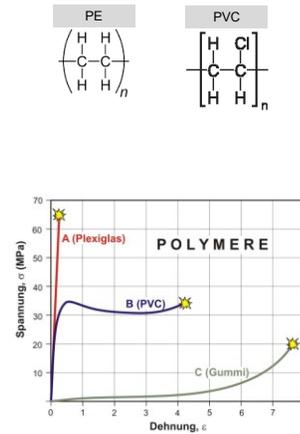
- Beispiele aus der Medizin:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Porzellan, Zirkon ( $\text{ZrO}_2$ ), HAP
- Anwendungsbeispiele: Implantate, Zahnkrone, Brücke



18

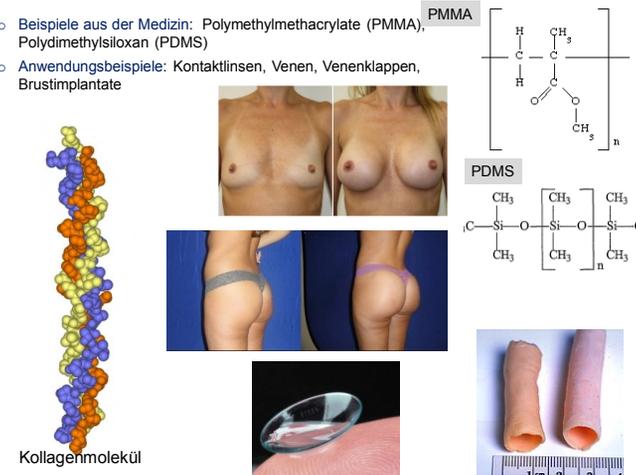
## 3. Polymere

- 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



19

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

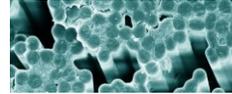
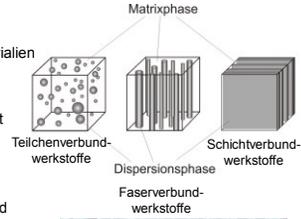


Kollagenmolekül

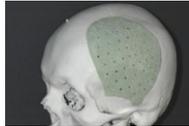
20

#### 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



21

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



22