

# Medizinische Biophysik

3. Vorlesung

## Struktur der Materie

### II. Aggregatzustände: feste Körper, Flüssigkristalle

#### 5. Fester Aggregatzustand - amorphe Stoffe

- a) Makroskopische Beschreibung:
- b) Mikroskopische Beschreibung:

#### 6. Flüssigkristalle

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

#### 7. Phase, Phasendiagramm, Phasenübergänge

### III. Materialfamilien

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

### IV. Eigenschaften der Materialien

#### 1. Thermische Eigenschaften

- a) Erwärmung/Abkühlung
- b) Wärmeausdehnung

#### 2. Einige mechanischen Eigenschaften

- a) Deformationstypen:
- b) Belastungsdiagramm:
- c) Dehnung (Zug):
- d) Hookesches Gesetz und die Steifigkeit:
- e) Festigkeit:
- f) Zähigkeit:

#### 3. Elektrische Eigenschaften

1

### 5. Fester Aggregatzustand - amorphe Stoffe

Z.B. Glas, Harz, Wachs, Bitumen, ....

#### a) Makroskopische Beschreibung:

- Eigenvolumen aber keine Eigenform
- Isotrop
- sehr hohe Viskosität



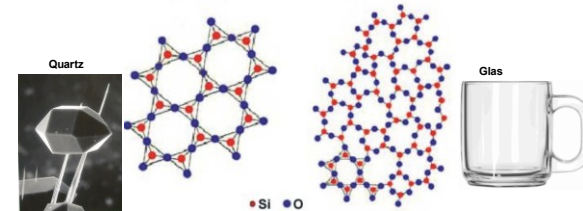
#### b) Mikroskopische Beschreibung:

- Nahordnung
- Schwache Bewegungen

= gefrorene unterkühlte Flüssigkeiten, Gläser !

kristallines SiO<sub>2</sub>

amorphes SiO<sub>2</sub>

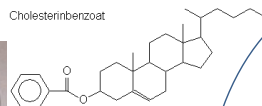


2

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



Cholesterinbenzoat



smektisch

nematisch

cholesterisch

#### a) Makroskopische Beschreibung:

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

#### b) Mikroskopische Beschreibung:

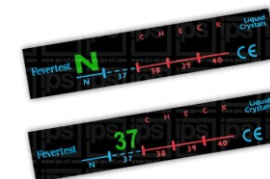
- Teilweise geordnete Strukturen (Orientierung, Schichten)

3

### c) Anwendungen von Flüssigkristallen:

Kontaktthermographie/Plattenthermographie

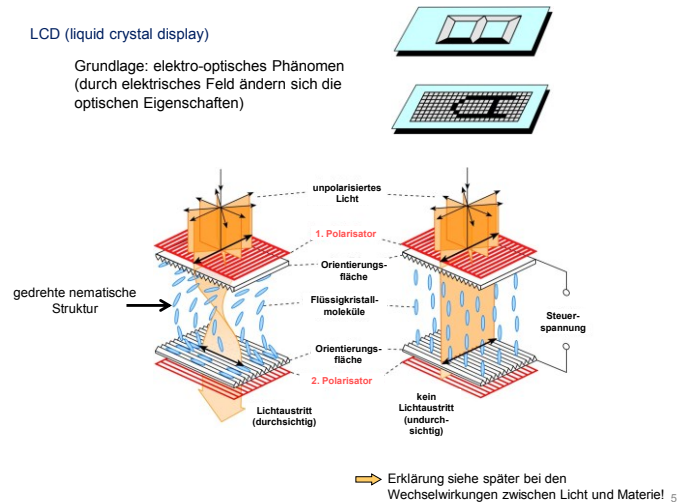
Grundlage: thermo-optisches Phänomen (bei Temperaturänderungen ändern sich die optischen Eigenschaften)



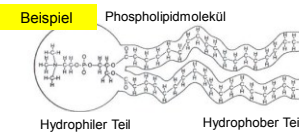
4

## LCD (liquid crystal display)

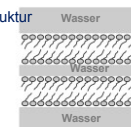
Grundlage: elektro-optisches Phänomen  
(durch elektrisches Feld ändern sich die optischen Eigenschaften)



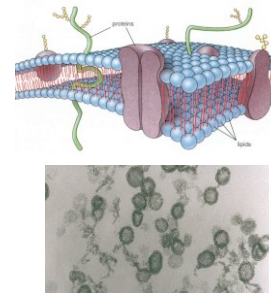
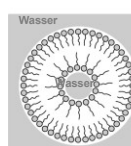
## d) Lyotrope Flüssigkristalle:



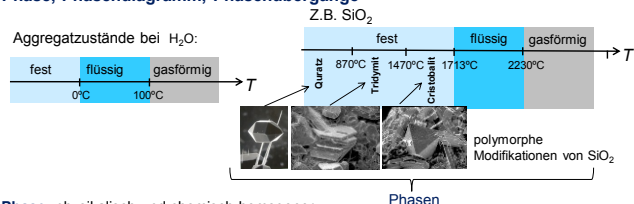
### Lamellare Struktur



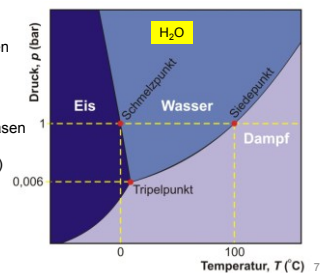
### Liposom



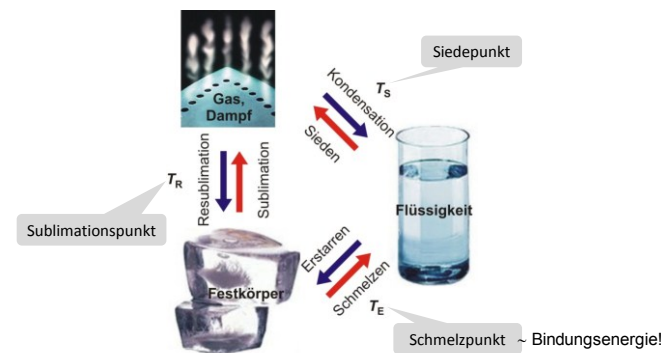
## 7. Phase, Phasendiagramm, Phasenübergänge



- **Phase:** physikalisch und chemisch homogener Stoffbereich
- **Stabile Phase:** unter den gegebenen Umständen die energetisch günstigste Phase
- **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



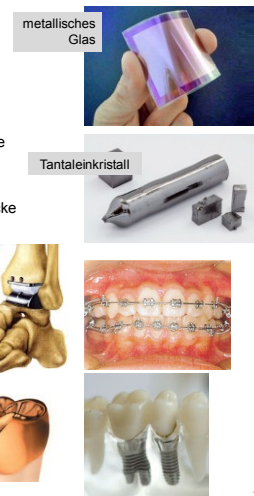
### III. Materialfamilien

The diagram illustrates four material families, each represented by a colored oval, a central image, and a descriptive text box:

- METALLE** (Teal oval):
  - Central image: Various metal fasteners (screws, bolts, and a nut).
  - Text box: "Metallbindung"
- KERAMIKEN** (Tan oval):
  - Central image: A white ceramic dental crown.
  - Text box: "Verbindungen von metallischen und nichtmetallischen Elementen."
- POLYMERE** (Light green oval):
  - Central image: A 3D molecular model of a polymer chain with blue and yellow segments.
  - Text box: "Bestehen aus durch Wiederholung einer Grundeinheit aufgebauten kettenförmigen Molekülen."
- KOMPOSITE** (Cyan oval):
  - Central image: A black and white photograph of a human femur (thigh bone).
  - Text box: "Bestehen aus mindestens zwei Materialien der früheren 3 Familien."

## 1. Metalle

- **Definition:** Metallbindung
- **Bindungstyp:** Metallbindung
- **Aggregatzustand** bei üblichen Bedingungen: fest (kristallin) mit einigen Ausnahmen (z.B. Hg)
- **Struktur:** Polykristalle, aber Einkristalle und amorphe Metalle (Metallgläser) auch möglich
- **Beispiele aus der Medizin:** Titan, Ni-Ti-Legierungen
- **Anwendungsbeispiele:** Implantate, Zahnkrone, Brücke



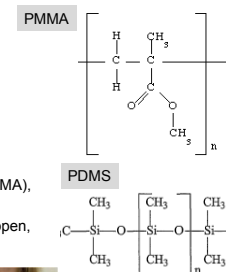
## 2. Keramiken

- **Definition:** Verbindungen von metallischen und nichtmetallischen Elementen.
- **Bindungstyp:** Ionenbindung, weniger auch kovalente Bindung
- **Aggregatzustand** bei üblichen Bedingungen: fest  
(kristallin/amorph)
- **Struktur:** Polykristalle/Einkristalle/amorphe Struktur (Gläser)
- **Beispiele aus der Medizin:**  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Porzellan,  $\text{ZrO}_2$ , HAP
- **Anwendungsbeispiele:** Implantate, Zahnkronen, Brücke



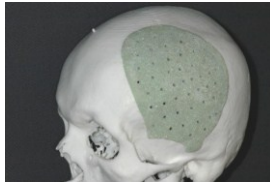
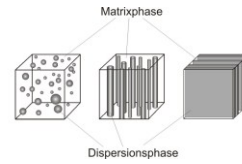
### 3. Polymere

- **Definition:** Bestehen aus durch Wiederholung einer Grundeinheit aufgebauten kettenförmigen Molekülen.
- **Bindungstyp:** kovalente Bindung+sekundäre Bindungen
- **Aggregatzustand** bei üblichen Bedingungen: flüssig/fest (kristallin/amorph)
- **Struktur:** teilkristallin
- **Beispiele aus der Medizin:** Polymethylmethacrilate (PMMA), Polydimethylsiloxan (PDMS)
- **Anwendungsbeispiele:** Kontaktlinsen, Venen, Venenklappen, Brustimplantate



#### 4. Komposite (Verbundwerkstoffe)

- Definition: Bestehen aus mindestens zwei Materialien der früheren 3 Familien.
- Bindungstyp: -
- Aggregatzustand bei üblichen Bedingungen: fest (kristallin/amorph)
- Struktur: -
- Beispiele aus der Medizin: mit Keramiken verstärkte Polymere
- Anwendungsbeispiele: Prothesen, Zahnfüllung



13

## IV. Eigenschaften der Materialien

### 1. Thermische Eigenschaften

#### a) Erwärmung/Abkühlung

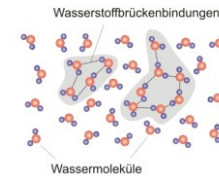
- spezifische Wärmekapazität (c):

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

aufgenommene/freigesetzte Wärme

Masse des Körpers

Temperaturänderung



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

hohe Temperaturstabilisierungsfähigkeit

14

- spezifische Phasenübergangswärme (q):

- spezifische Schmelzwärme ( $q_{\text{Schmelz}}$ ):

$$q_{\text{Schmelz}} = \frac{\Delta Q_{\text{Schmelz}}}{m} \quad \left( \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right)$$

aufgenommene Wärme

Masse des Körpers



Stoff	q (kJ/kg)
Eis	334,4
Wasser (100°C, 101 kPa)	2257
Wasser (30°C, 101 kPa)	2400
Gold	67
Aluminium	396,1
NaCl	517,1
Silizium	1656

- spezifische Verdampfungswärme ( $q_{\text{Verdampfung}}$ ):

$$q_{\text{Verdampfung}} = \frac{\Delta Q_{\text{Verdampfung}}}{m} \quad \left( \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right)$$

~ Bindungsenergie!

15

#### b) Wärmeausdehnung

- Längenausdehnung:

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

Längenänderung

ursprüngliche Länge

Temperaturänderung

linearer Wärmeausdehnungskoeffizient (Längenausdehnungskoeffizient) (1/K)

- Volumenausdehnung:

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

Volumenänderung

ursprüngliches Volumen

Temperaturänderung

räumlicher Wärmeausdehnungskoeffizient (Volumenausdehnungskoeffizient) (1/K)

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

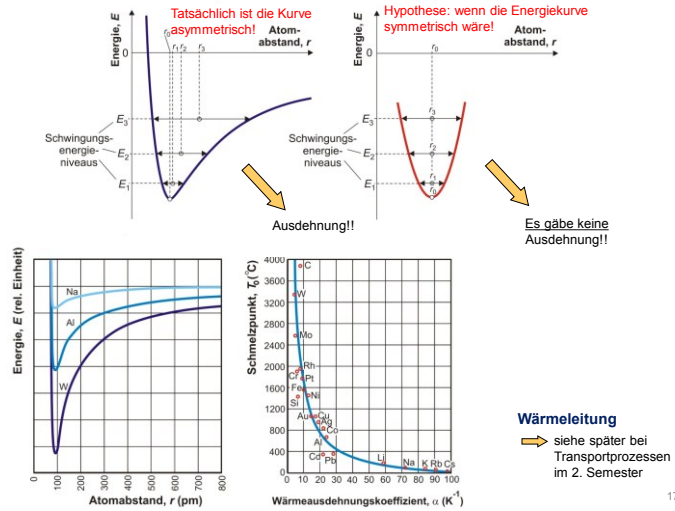
Stoff	$\alpha (10^{-6} 1/\text{K})$
Knochen	≈ 25
Zahnschmelz	≈ 11,4
Porzellan	4-16
Glas	≈ 8
Zirkon	≈ 11
Titan	8,6
Gold	14,2
Amalgam	≈ 25
PMMA	70-81
Wachs	300-500

~ 1/Bindungsenergie!



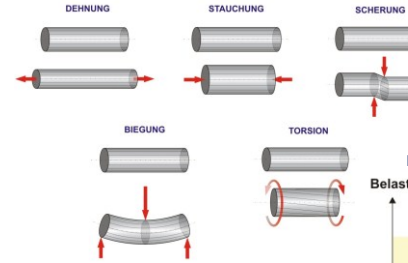
→ innere Spannungen

16

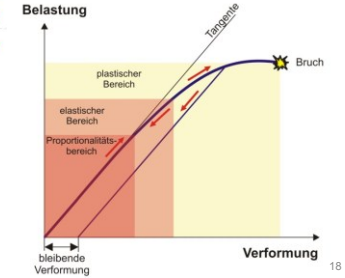


## 2. Einige mechanischen Eigenschaften

### a) Deformationstypen:



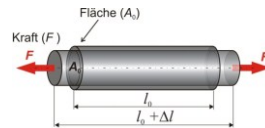
### b) Belastungsdiagramm:



### c) Dehnung (Zug):

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

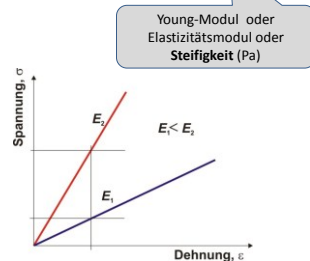
Dehnung ( $\varepsilon$ ):  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$



### d) Hookesches Gesetz und die Steifigkeit ( $E$ ):

Hookesches Gesetz:  $\sigma = E \varepsilon$

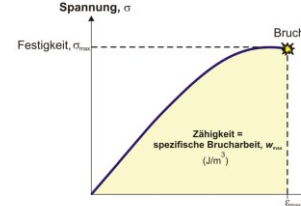
Gilt in dem Proportionalitätsbereich!



Material	$E$ (GPa)
Kollagen	0,3-2,5
Knochen	10-15
Dentin	10-15
Zahnschmelz	≈ 100
Silikon Gummi	≈ 0,0003
PMMA (Polymethylmethacrylat)	2,4-3,8
Porzellan	60-110
Gold	79
Titan	110
Zirkon (mit Yttrium stabilisiert)	200
Stahl	200-230
Aluminiumoxid	350-410

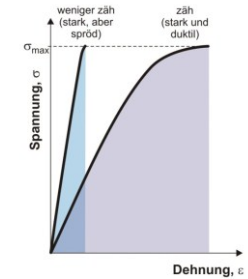
~ Bindungsenergie!

### e) Festigkeit ( $\sigma_{\max}$ ):

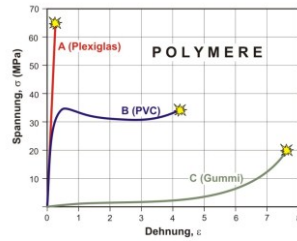
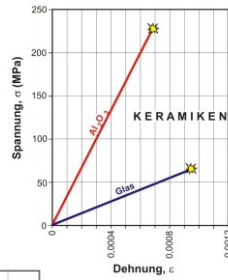
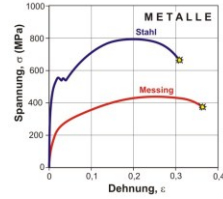


Material	$\sigma_{\max, \text{Zug}}$ (MPa)	$\sigma_{\max, \text{Druck}}$ (MPa)
Zahnschmelz	≈ 10	≈ 400
Dentin	≈ 110	≈ 300
Keramiken	5-400	20-5000
Porzellan	≈ 25	≈ 300
PMMA (Polymethylmethacrylat)	≈ 50	≈ 80
Zirkoniumdioxid	≈ 250	≈ 2500
Pd-Ag Legierungen	400-700	
Co-Cr Legierungen	600-800	
Ti Legierungen	900-1100	
kohlenstofffaserverstärkte s (61%) Epoxid	≈ 1700	

### f) Zähigkeit ( $w_{\max}$ ):



### Beispiele:



#### Grobe Charakterisierung:

Material	Steifigkeit	Festigkeit	Zähigkeit
Metalle	mittelmäßig	sehr	sehr
Keramiken	sehr	sehr/mittelmäßig	wenig
Polymere	wenig	mittelmäßig	mittelmäßig
Komposite	mittelmäßig	mittelmäßig	sehr

21

### 3. Elektrische Eigenschaften

Elektrische Leitfähigkeit: Der Kehrwert des spezifischen Widerstandes  $\sigma = \frac{1}{\rho}$

Spezifischer Widerstand

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	$\approx 10^{-10}$	
Porzellan	$\approx 10^{-11}$	Isolator
Glas	$\approx 10^{-13}$	
PMMA	$\approx 10^{-12}$	
Polyethylene	$\approx 10^{-16}$	

Metalle sind Leiter, Keramiken und Polymere sind Isolatoren.

Stoff	$\rho$ ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )
Blut	150
graue Hirnmasse	300
weiße Hirnmasse	700
Haut	1000
Fett	2500
Knochen	10000

Die Unterschiede werden bei den elektrischen Methoden wie z. B. Impedanztomographie ausgenutzt.

Optische Eigenschaften siehe später!

22

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



23