

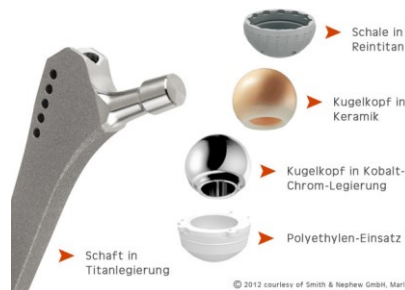
III. Materialfamilien

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

IV. Eigenschaften der Materialien

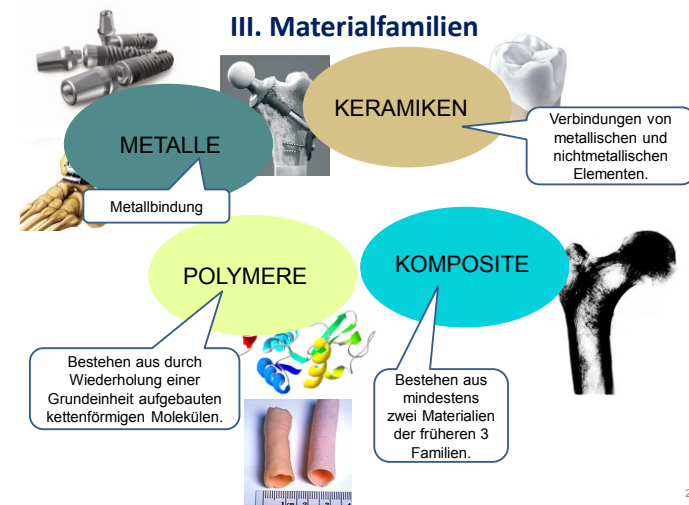
1. Einige mechanischen Eigenschaften
 - a) Deformationstypen, Belastungsdiagramm
 - b) Elastische Verformung – Elastizität und Steifigkeit
 - c) Plastische Verformung – Festigkeit und Zähigkeit
2. Elektrische Eigenschaften
3. Thermische Eigenschaften
 - a) Erwärmung/Abkühlung
 - b) Wärmeleitung
 - c)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

Ein Beispiel für die Verwendung (Hüftgelenkprothese):



1

III. Materialfamilien



2

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
- Reine Metalle oder Legierungen



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)

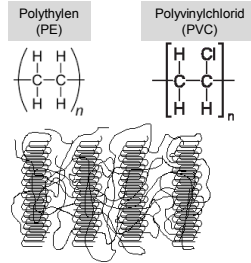


3

4

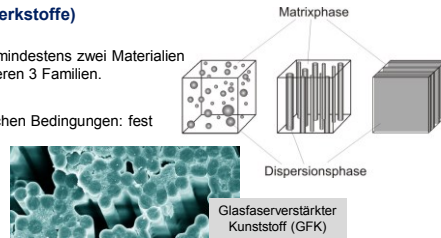
3. Polymere

- 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
- Polymerisationsgrad



4. Komposite (Verbundwerkstoffe)

- Definition: Bestehen aus mindestens zwei Materialien der früheren 3 Familien.
- Bindungstyp: -
- Aggregatzustand bei üblichen Bedingungen: fest (kristallin/amorph)
- Struktur: -

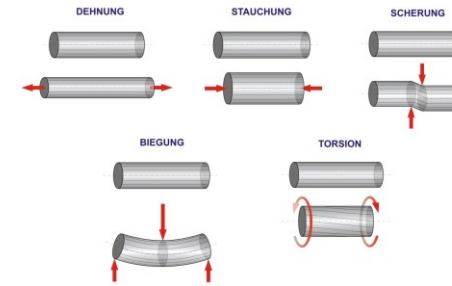


5

III. Eigenschaften der Materialien

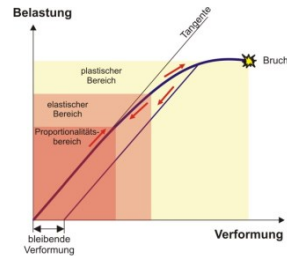
1. Einige mechanischen Eigenschaften (von festen Stoffen)

a) Deformationstypen und das Belastungsdiagramm:



6

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

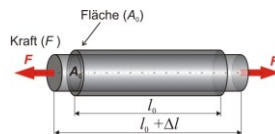


Als Beispiel wird die **Dehnung (Zug)** im Weiteren diskutiert.

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

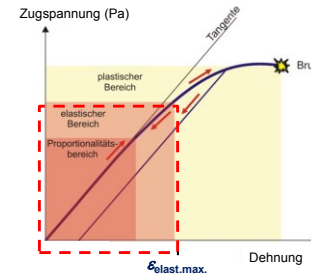
▪ **Zugspannung (σ):** $\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \right)$

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

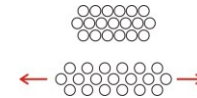


7

b) Elastische Verformung – Elastizität, Steifigkeit und das hooksche Gesetz:



In dem **elastischen Bereich** werden die Atome ohne Aufspaltung der Bindungen reversibel voneinander entfernt:



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

Die Elastizität eines Körpers kann mit der **elastischen Rückstellung** charakterisiert werden. Sie ist die maximal mögliche reversible Dehnung: $\epsilon_{elast.max.} (\%)$

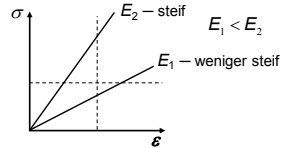
Die Größe $\epsilon_{elast.max.}$ könnte man auch **Elastizität** nennen.

8

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

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

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

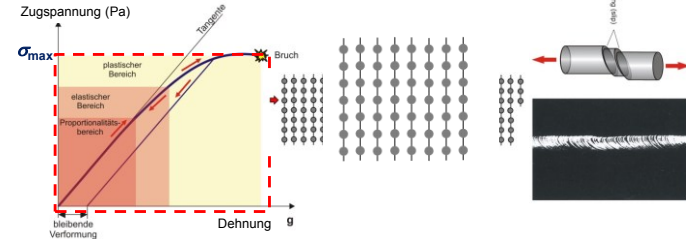


Stoff	E (GPa)
Knochen	10-15
Kollagen	0.3-2,5
Bandscheibe	0,005
Elastin	0,0005
Aluminiumoxid	350-410
Stahl	220
Titan	110
PMMA (Polymethylmethacrylat)	2,4-3,8
Silikon Gummi	≈ 0,0003

Wovon hängt die Steifigkeit der Materialien ab?

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

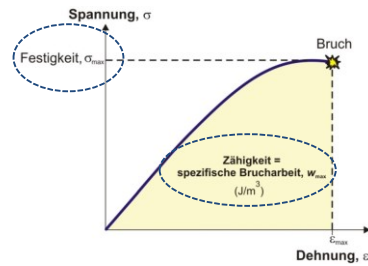
c) Plastische Verformung – Festigkeit und Zähigkeit:



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

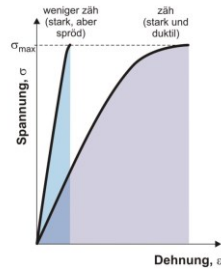
Material	σ_{\max} (MPa)
Knochen	100
Kollagen	60
Elastin	0,6
kohlenstofffaserverstärktes (61%) Epoxid	≈ 1700
Stahl	500
Titan	430
Aluminiumoxid	250
PMMA (Polymethylmethacrylat)	≈ 50

⊛ Wovon hängt die Festigkeit der Materialien ab?

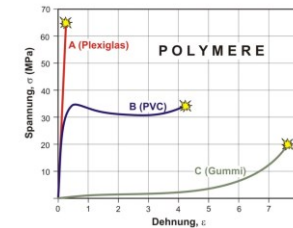
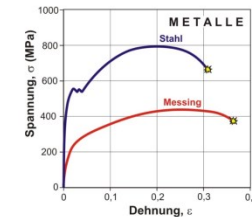
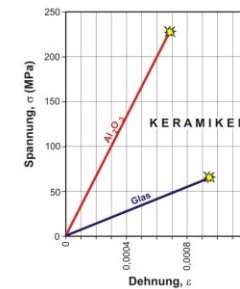


- **Zähigkeit (w_{\max}) (J/m³):** die zur Verformung zugeführte Energie (Arbeit) bis zum Bruch (pro m³)
 - Sie kann durch das Flächenstück unter der Kurve bis zum Bruch veranschaulicht werden.
 - Die Zähigkeit hängt von der Festigkeit aber auch von der maximalen Dehnbarkeit des Stoffes ab.

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	$6,8 \cdot 10^7$
Gold	$4,3 \cdot 10^7$
Platin	$0,94 \cdot 10^7$
Titan	$0,24 \cdot 10^7$
Germanium	2,2
Silizium	$4 \cdot 10^{-4}$
Zirkon	$\approx 10^{-10}$
Porzellan	$\approx 10^{-11}$
Glas	$\approx 10^{-13}$
PMMA	$\approx 10^{-12}$
Polyethylene	$\approx 10^{-16}$

Leiter
Halbleiter
Isolator

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)

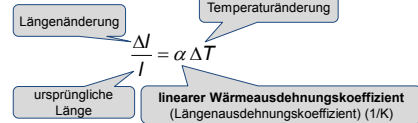
s. im 2. Semester

Stoff	λ (W/(m·K))
Silber	420
Titan	22
Glas	1
Wasser	0,6
Muskel	0,4
Fett	0,2
Luft	0,025

14

c) Wärmeausdehnung

▪ Längenausdehnung:

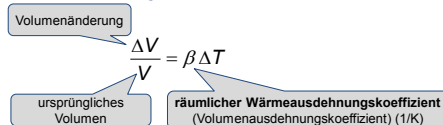


Stoff	α ($10^{-6} 1/K$)
Knochen	≈ 25
Zahnschmelz	$\approx 11,4$
Porzellan	4-16
Glas	≈ 8
Zirkon	≈ 11
Titan	8,6
Gold	14,2
Amalgam	≈ 25
PMMA	70-81
Wachs	300-500

~ 1/Bindungsenergie!

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

▪ Volumenausdehnung:



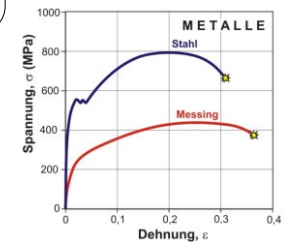
Optische Eigenschaften: s. später im 1. Semester

Chemische und biologische Eigenschaften: s. andere Kurse

15



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
- Weitere Eigenschaften: Neigung zur Korrosion, Metallische Farbe, oft nicht biokompatibel




16



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

Günstige Eigenschaften von Titan:

- Kleine Dichte ($4,5 \text{ g/cm}^3$)
- Hohe Festigkeit
- Kleine Steifigkeit (Young-Modul)
- Kleine elektrische und Wärmeleitfähigkeit
- Biokompatibel
- Nicht ferromagnetisch → geeignet für MRT-Untersuchungen

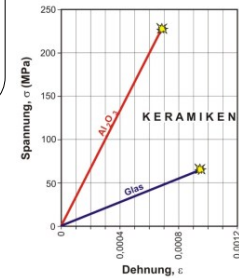


17

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



18

- Beispiele aus der Medizin: Aluminiumoxid (Al_2O_3), Zirkoniumdioxid (ZrO_2), Hydroxiapatit (HAP)
- Anwendungsbeispiele: Implantate, Zahnkrone, Brücke







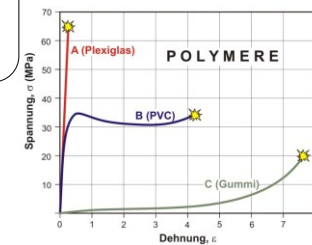




19

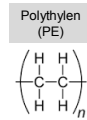
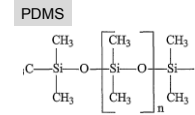
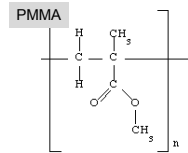
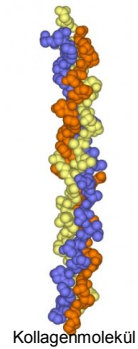
3. Polymere

- 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



20

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



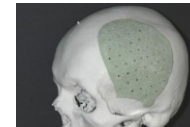
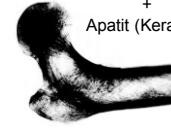
21

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 und Dentin sind Komposite:

Kollagen (Polymer)
+
Apatit (Keramik)



22

Hausaufgaben: ■ Aufgabensammlung

1.56, 59, 61-63, 65-72



23