



Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

7.

Mechanische Eigenschaften 1

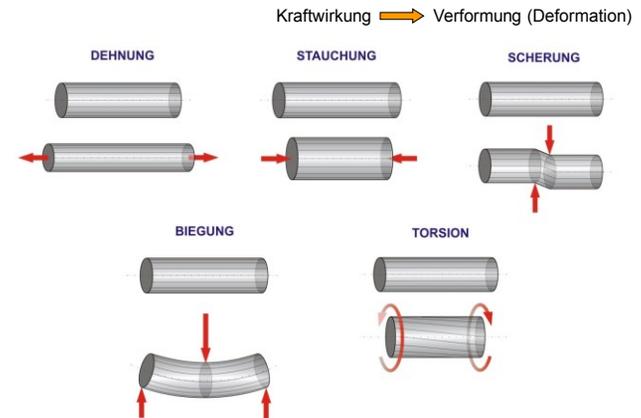
Schwerpunkte:

- ❖ Elastische Formänderungen
- ❖ Steifigkeit und ihr Zusammenhang mit der Bindungsenergie
- ❖ Geometrische Faktoren bei der Steifigkeit einer Körpers
- ❖ Elastizität

Kapitel des Lehrbuches:
14-15

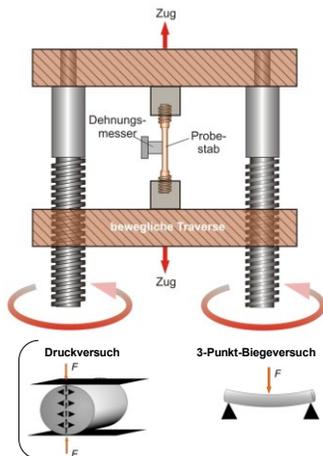
Hausaufgaben:
4. Kapitel:
1, 2, 4-6, 9, 11,
14, 16, 17, 24

Deformationen (Verformungen)



2

Test

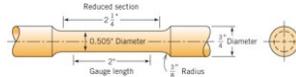


Die Ergebnisse sind beeinflusst durch:

- Deformationstyp (Zug, ...)

- Geometrie des Probekörpers

Genormter Probekörper



- Zeitlicher Verlauf des Beanspruchung

- statisch
- dynamisch

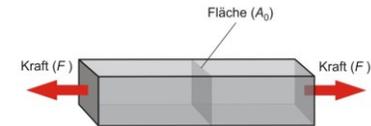
- Temperatur

3

Zugversuch

Spannung (σ):

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad [\sigma] = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa}$$



Technische (nominelle) Spannung!

Dehnung/Stauchung (ϵ):

Relative Formänderung \rightarrow relative Längenänderung:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad [\epsilon] = 1$$

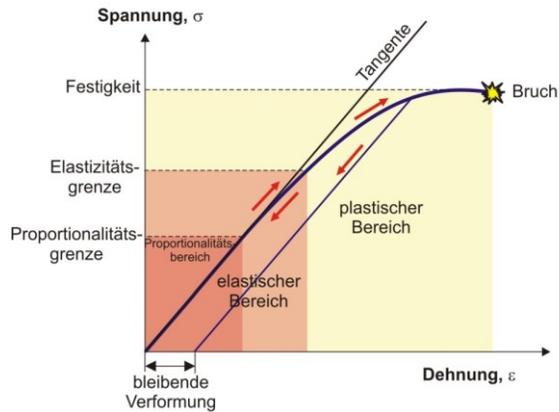
nominelle Dehnung!

Beim Druck/Stauchung: negatives Vorzeichen.

\rightarrow Innere Spannungen!

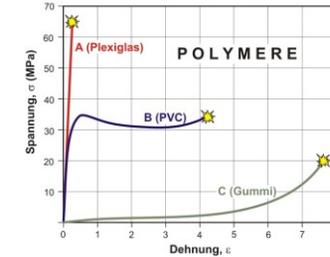
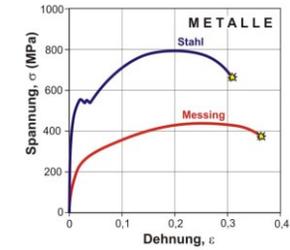
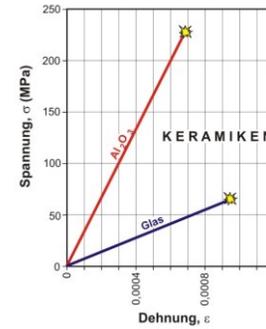
4

Belastungsdiagramm Spannungs-Dehnungs-Diagramm



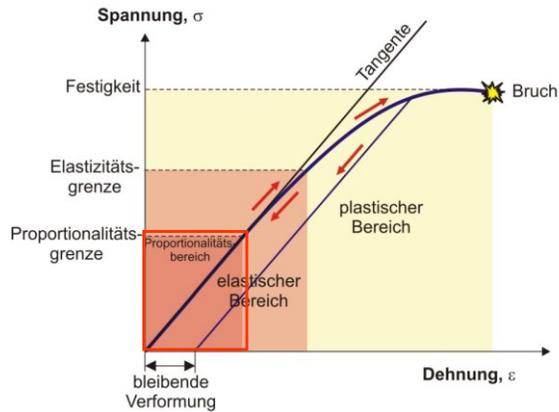
5

Beispiele:



6

Belastungsdiagramm



7

Elastische Verformung (Proportionalitätsbereich)

1. Zug/Druck (Dehnung/Stauchung)

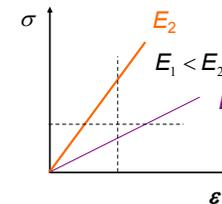
Hookesches Gesetz: $\sigma = E \cdot \epsilon$

E — Elastizitätsmodul (Young-Modul)

$[E] = \text{Pa}$

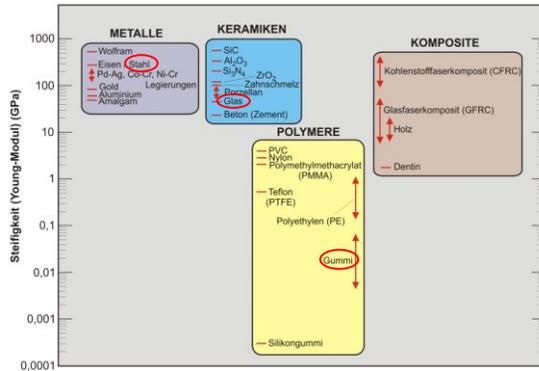
E — Widerstand gegen Verlängerung, „Steifigkeit eines Stoffes“

$1/E$ — Fähigkeit für Verlängerung, „Nachgiebigkeit eines Stoffes“



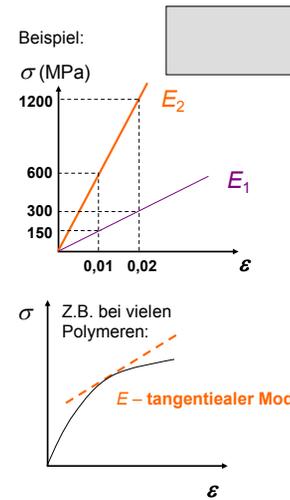
8

Steifigkeit (Young-Modul)



Aufgrund der Beispiele \Rightarrow weder E , noch $1/E$ sind als Maß der Elastizität geeignet

9

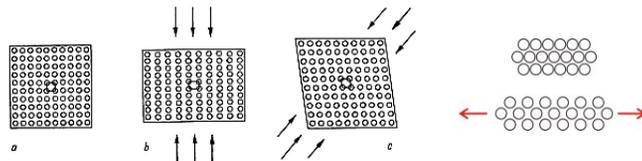


Einige Steifigkeitswerte:

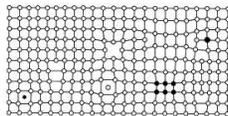
Material	E (GPa)
Zahnschmelz	≈ 100
Dentin	≈ 15
Stahl	200-230
Amalgam	50-60
Gold	79
Goldlegierungen	75-110
Pd-Ag-Legierungen	100-120
Co-Cr-Legierungen	120-220
Ni-Cr-Legierungen	140-190
Glas	60-90
Keramiken	60-130
Porzellan	60-110
PMMA (Polymethylmethacrylat)	2,4-3,8
Silikon	$\approx 0,0003$

10

Elastische Verformung auf dem atomaren Niveau



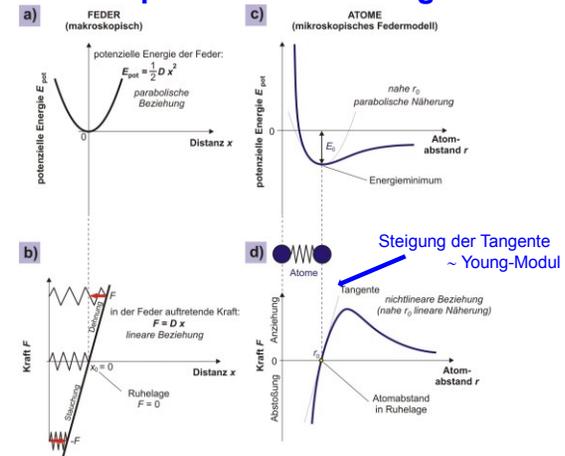
- In dem elastischen Bereich werden die Atome ohne Aufspaltung der Bindungen reversibel voneinander entfernt oder näher gebracht
- Kräfte treten zwischen den Atomen auf \Rightarrow **innere Spannungen** entwickeln sich



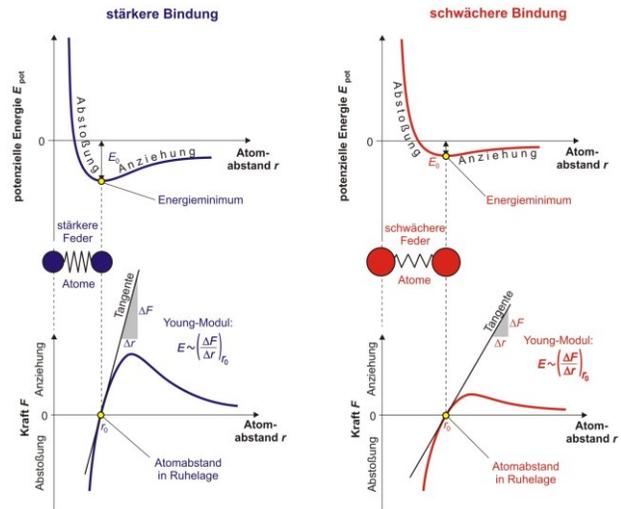
- Gitterdefekte beeinflussen nur wenig diese inneren Änderungen \Rightarrow Der Young-Modul (E) und die Poisson-Zahl (μ) (s. später) sind nicht empfindlich gegen Gitterdefekte

11

Atomare Interpretation des Young-Moduls

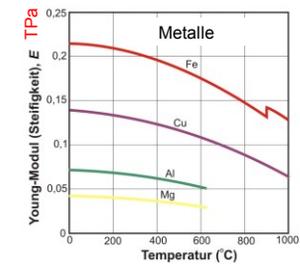


12

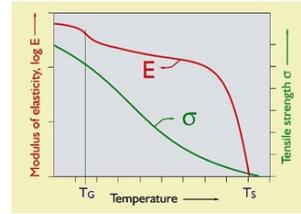


13

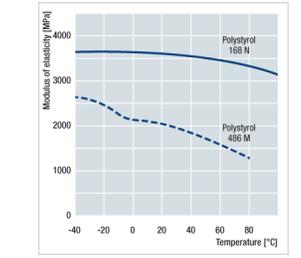
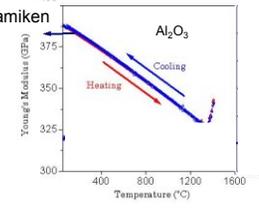
Bei Erwärmung:



Teilkristalline Polymere



Keramiken



14

Steifigkeit eines Körpers

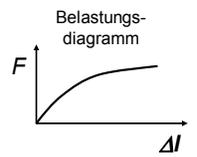


$\sigma = E \cdot \epsilon$

Materialkoeffizient!
„Steifigkeit des Materials“

$F = E \cdot \frac{A_0}{l_0} \Delta l = D \Delta l$

Körpereigenschaft
(Material + Geometrie)!
Steifigkeit
(Dehnsteifigkeit)

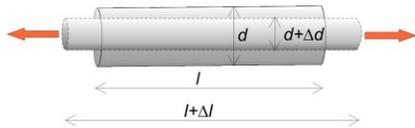


„Steifigkeit des Materials“ : die zur einheitlichen relativen Längenänderung notwendige Spannung

Steifigkeit: die zur einheitlichen absoluten Längenänderung notwendige Kraft

15

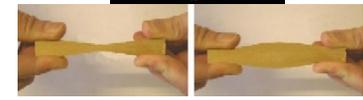
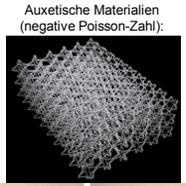
Querkontraktion/dehnung:



$\frac{\Delta d}{d} = -\mu \frac{\Delta l}{l}$ μ — Poisson-Zahl [μ] = 1
(Querkontraktionszahl, Querdehnungszahl)

Z.B.

Material	μ
Zahnschmelz	0,33
Dentin	0,31
Amalgam	0,31
PDL	0,45
Polymere	0,40–0,50

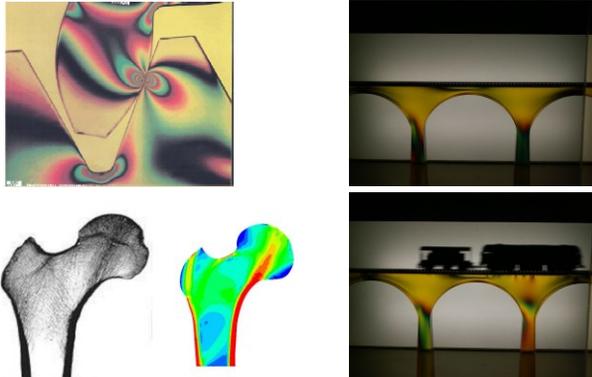


Elastische Formänderungen von homogenen isotropen Materialien sind durch E und μ völlig bestimmt.

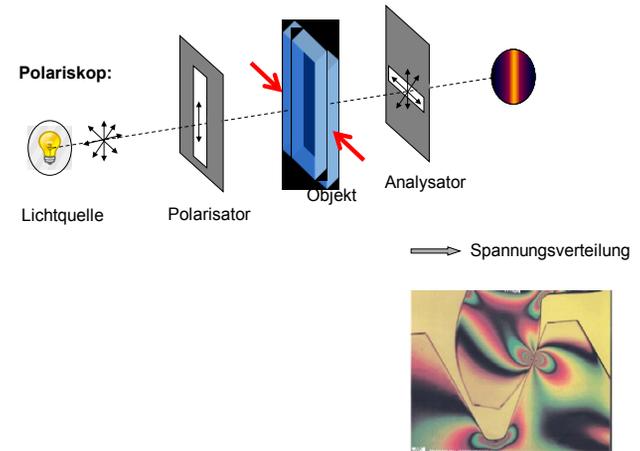
16

Untersuchung der inneren Spannungen

- experimentell: Spannungsoptik

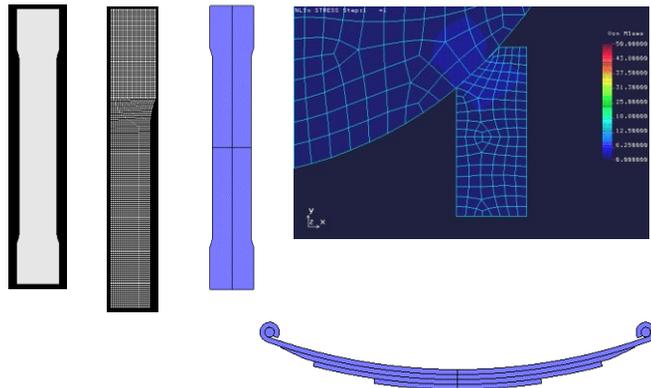


17



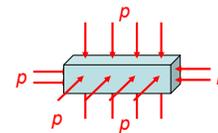
18

- rechnerisch: Finite-Elemente-Methode (finite element method)



19

2. Kompression



$$p = \frac{E}{3(1-2\mu)} \frac{\Delta V}{V_0}$$

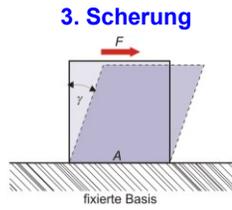
K : Kompressionsmodul
Volumenelastizitätskoeffizient (Pa)

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{3(1-2\mu)}{E} p$$

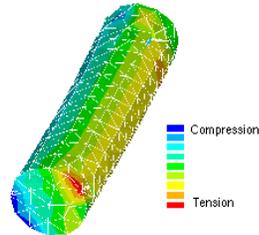
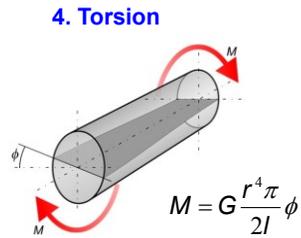
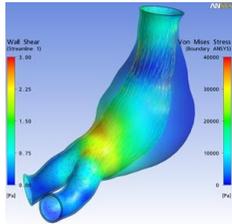
κ : Kompressibilität (1/Pa)

Material	κ (1/GPa)
Luft	7650
Wasser	0,45
Aluminium	0,009

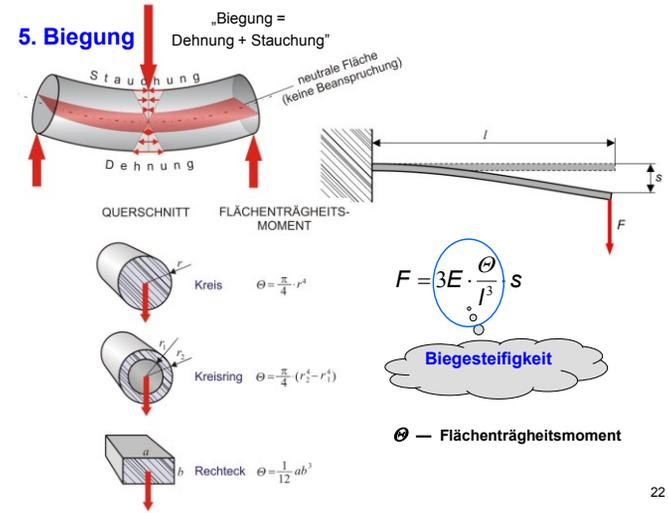
20



$$\sigma = G\gamma$$

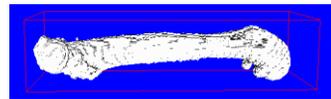
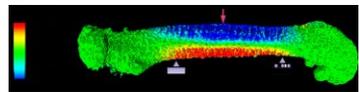
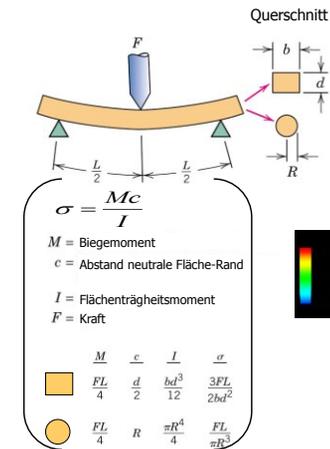


21



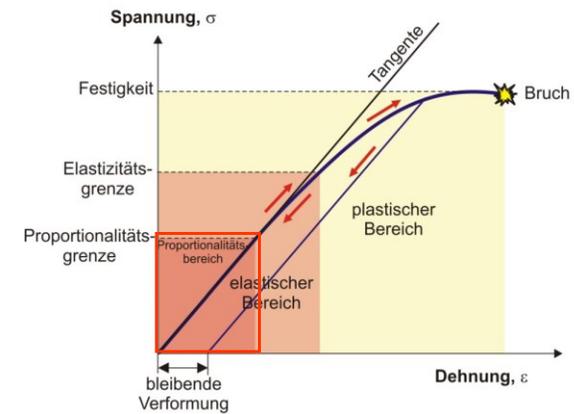
22

3-Punkt-Biegeversuch



23

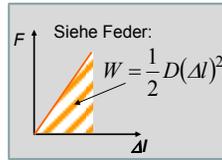
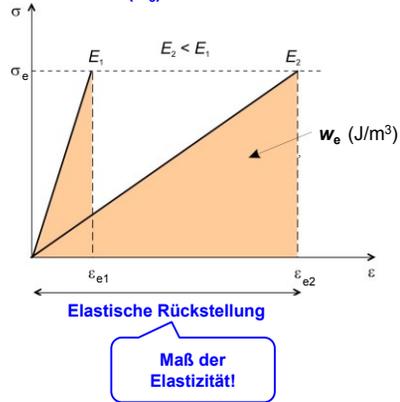
Belastungsdiagramm



24

Weitere elastische Kenngrößen

Spezifische elastische Verformungsarbeit;
resilience (w_e)



$$w_e \approx \frac{1}{2} \sigma_e \epsilon_e =$$
$$= \frac{1}{2} E \epsilon_e^2 = \frac{1}{2E} \sigma_e^2$$

Nächste
Vorlesung:
Kapitel
16