



Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

7.

Mechanische Eigenschaften 1

Schwerpunkte:

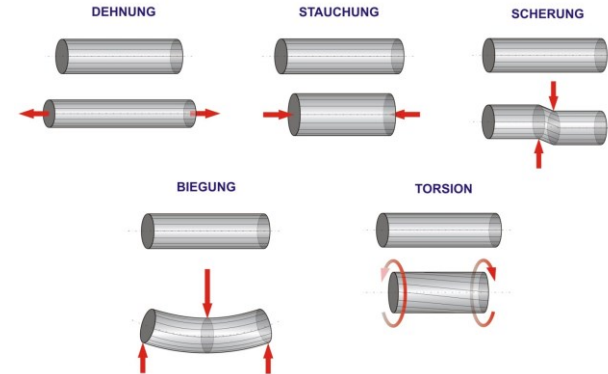
- ❖ Elastische Formänderungen
- ❖ Steifigkeit und ihr Zusammenhang mit der Bindungsenergie
- ❖ Geometrische Faktoren bei der Steifigkeit einer Körpers
- ❖ Elastizität

Kapitel des Lehrbuches:
14-15

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

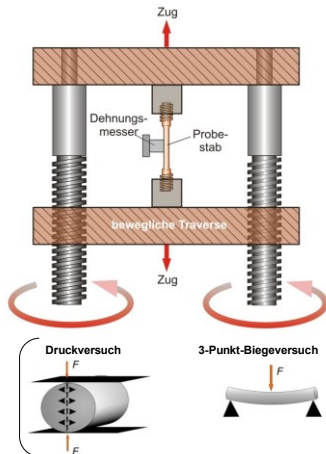
Deformationen (Verformungen)

Kraftwirkung → Verformung (Deformation)



2

Test

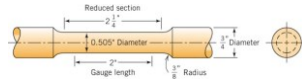


Die Ergebnisse sind beeinflusst durch:

- Deformationstyp (Zug, ...)

- Geometrie des Probestabes

Genormter Probestab



- Zeitlicher Verlauf des Beanspruchung

- statisch
- dynamisch

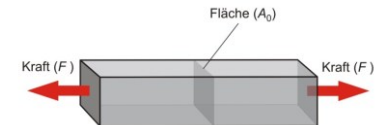
- Temperatur

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 → relative Längenänderung:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

$$[\epsilon] = 1$$

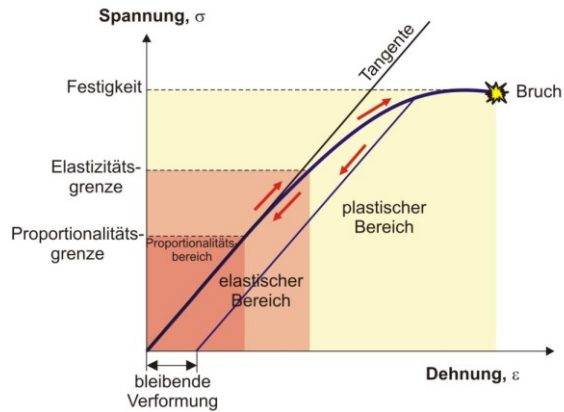
nominelle Dehnung!

Beim Druck/Stauchung: negatives Vorzeichen.

→ Innere Spannungen!

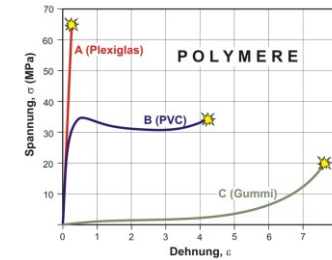
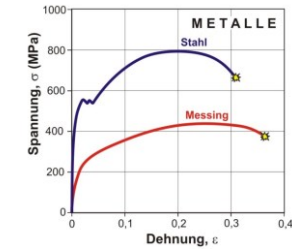
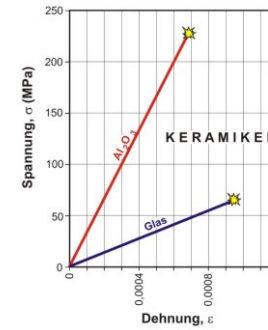
4

Belastungsdiagramm Spannungs-Dehnungs-Diagramm



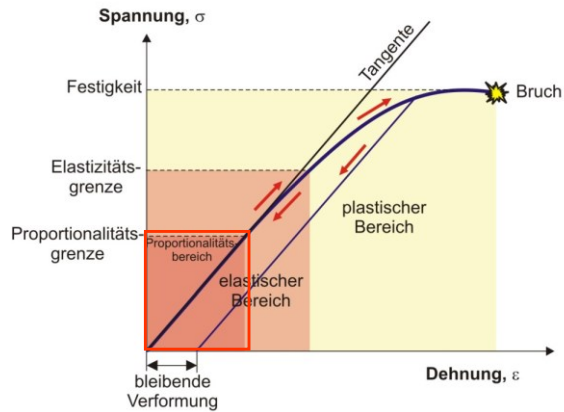
5

Beispiele:



6

Belastungsdiagramm



7

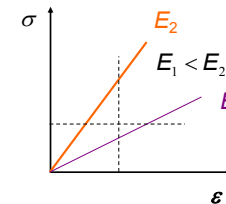
Elastische Verformung (Proportionalitätsbereich)

1. Zug/Druck (Dehnung/Stauchung)

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

E — Elastizitätsmodul (Young-Modul)

$[E] = \text{Pa}$

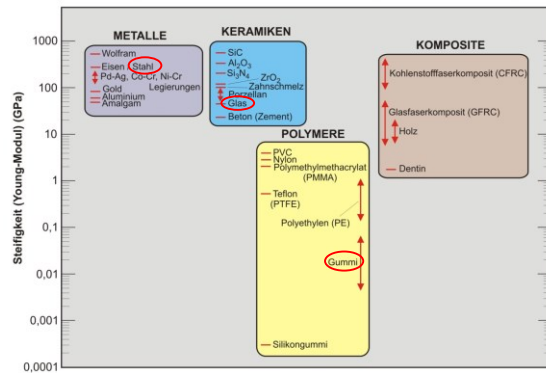


E — Widerstand gegen Verlängerung,
„Steifigkeit eines Stoffes“

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

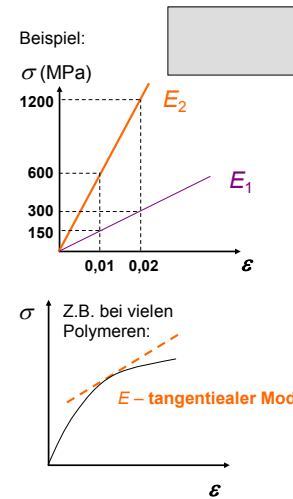
8

Steifigkeit (Young-Modul)



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

9

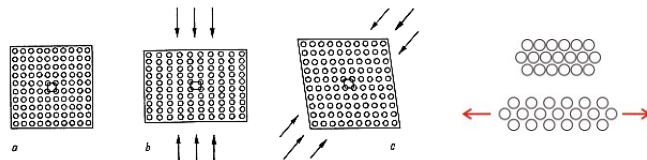


Einige Steifigkeitswerte:

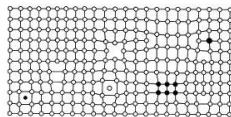
Material	E (GPa)
Zahnschmelz	≈ 100
Dentin	≈ 15
Stahl	200-230
Amalgam	50-60
Gold	79
Goldlegierungen	75-110
Pd-Ag-Legierungen	100-120
Co-Cr-Legierungen	120-220
Ni-Cr-Legierungen	140-190
Glas	60-90
Keramiken	60-130
Porzellan	60-110
PMMA (Polymethylmethacrylat)	2,4-3,8
Silikon	$\approx 0,0003$

10

Elastische Verformung auf dem atomaren Niveau



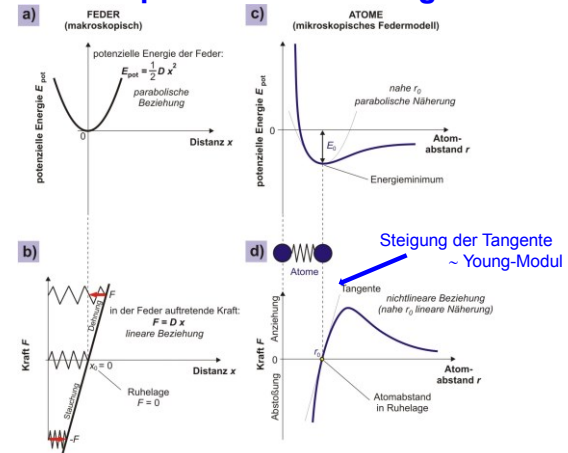
- In dem elastischen Bereich werden die Atome ohne Aufspaltung der Bindungen reversibel voneinander entfernt oder näher gebracht
- Kräfte treten zwischen den Atomen auf \Rightarrow **innere Spannungen** entwickeln sich



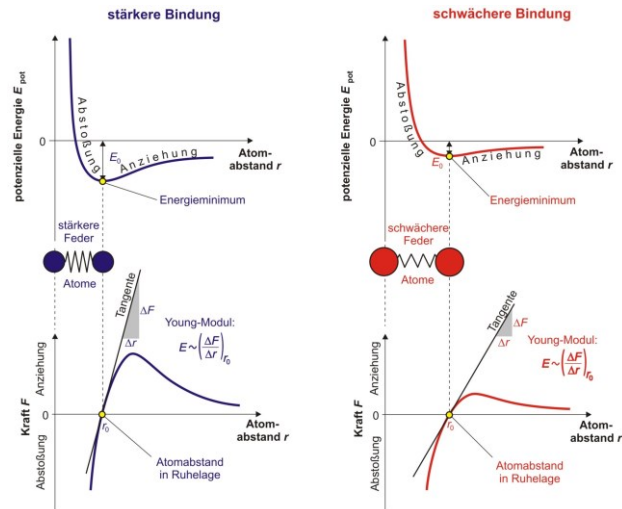
- Gitterdefekte beeinflussen nur wenig diese inneren Änderungen \Rightarrow Der Young-Modul (E) und die Poisson-Zahl (μ) (s. später) sind nicht empfindlich gegen Gitterdefekte

11

Atomare Interpretation des Young-Moduls

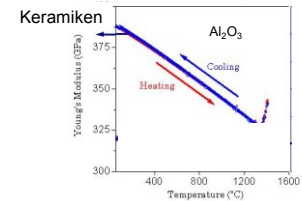
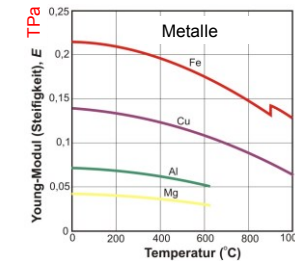


12

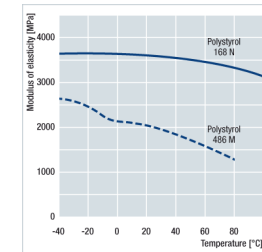
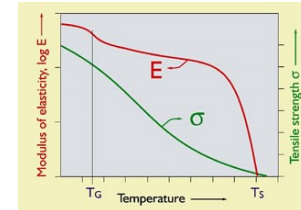


13

Bei Erwärmung:



Teilkristalline Polymere



14

Steifigkeit eines Körpers

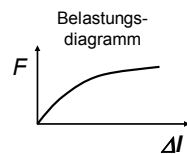


$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Materialkoeffizient!
„Steifigkeit des Materials“

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

Körpereigenschaft
(Material + Geometrie)!
Steifigkeit
(Dehnsteifigkeit)

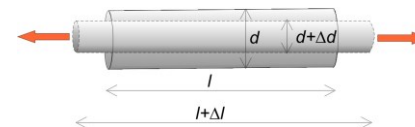


„Steifigkeit des Materials“ : die zur
einheitlichen relativen Längenänderung
notwendige Spannung

Steifigkeit: die zur einheitlichen absoluten
Längenänderung notwendige Kraft

15

Querkontraktion/dehnung:



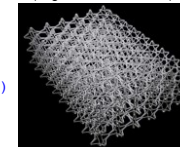
$$\frac{\Delta d}{d} = -\mu \frac{\Delta l}{l} \quad \mu \text{ — Poisson-Zahl } [\mu] = 1$$

(Querkontraktionszahl, Querdehnungszahl)

Z.B.

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

Auxetische Materialien
(negative Poisson-Zahl):

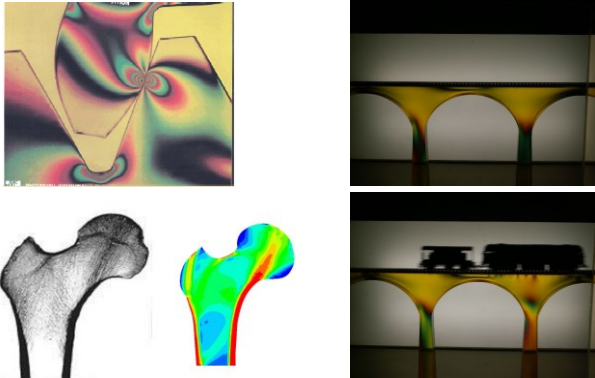


Elastische Formänderungen von homogenen isotropen Materialien
sind durch E und μ völlig bestimmt.

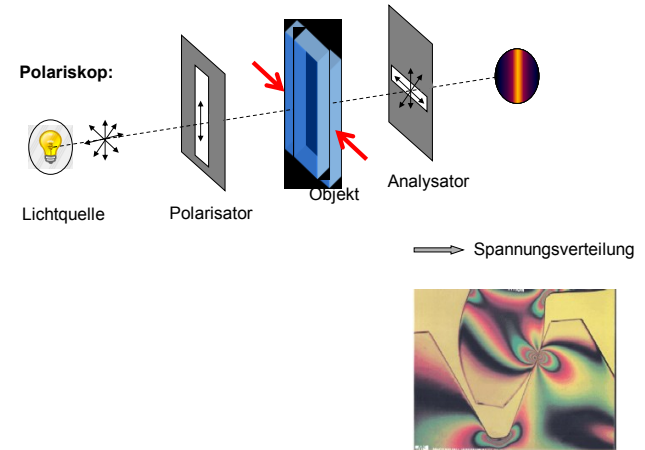
16

Untersuchung der inneren Spannungen

- experimentell: Spannungsoptik

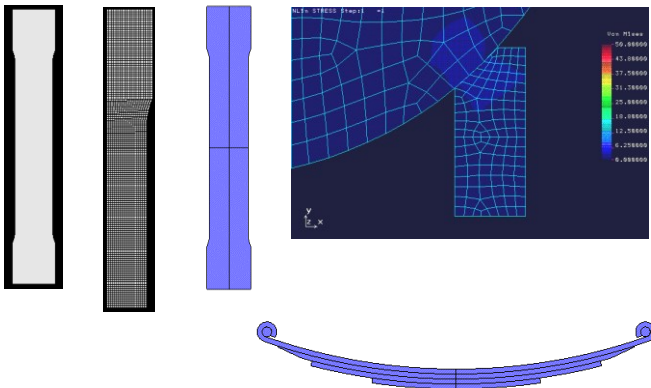


17



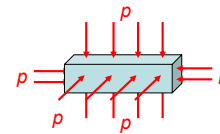
18

- 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)

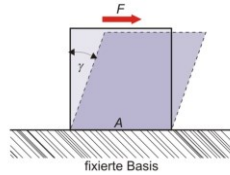
$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{3(1-2\mu)}{E} p$$

κ : Kompressibilität (1/Pa)

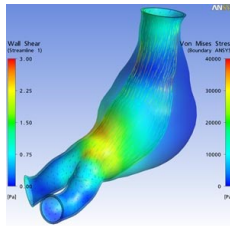
Material	κ (1/GPa)
Luft	7650
Wasser	0,45
Aluminium	0,009

20

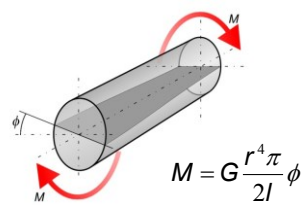
3. Scherung



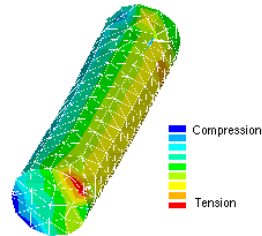
$$\sigma = G\gamma$$



4. Torsion

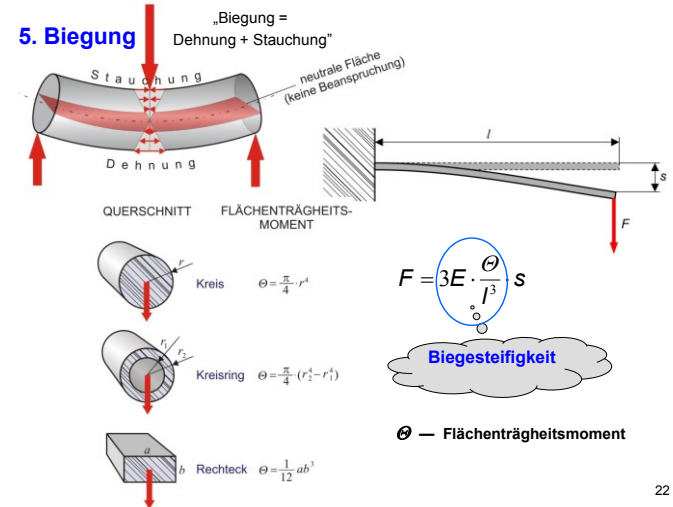


$$M = G \frac{r^4 \pi}{2l} \phi$$



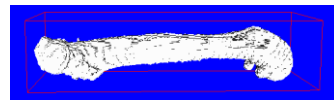
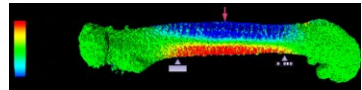
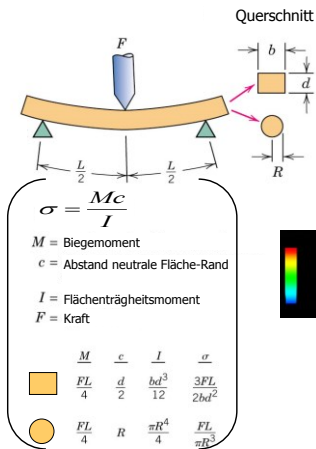
21

5. Biegung



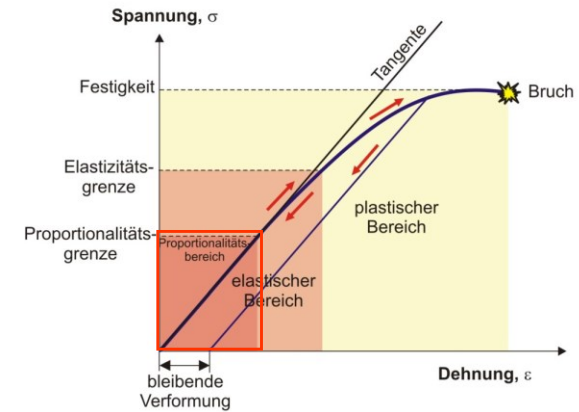
22

3-Punkt-Biegeversuch



23

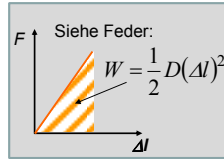
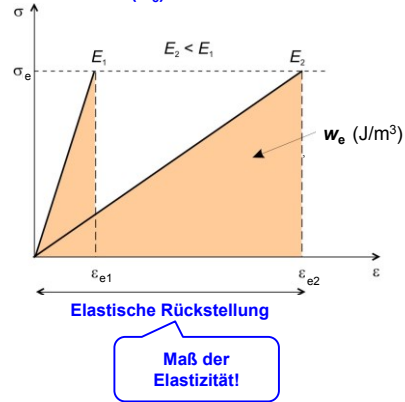
Belastungsdiagramm



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