



## Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

7.

Mechanische Eigenschaften 1

Schwerpunkte:

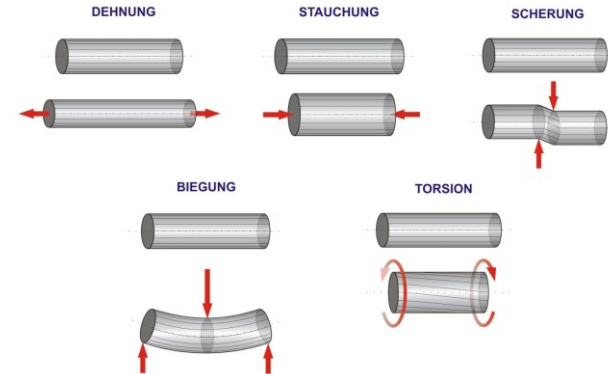
- ❖ Elastische Formänderungen
- ❖ Steifigkeit und ihr Zusammenhang mit der Bindungsenergie
- ❖ Geometrische Faktoren bei der Steifigkeit einer Körpers

Kapitel des Lehrbuches:  
14-15

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

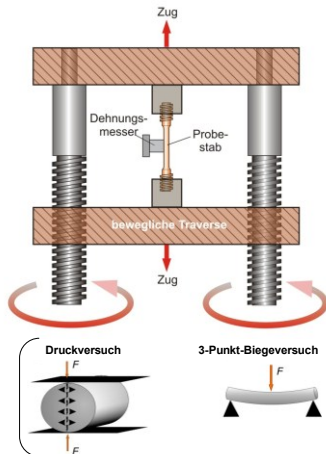
## Deformationen (Verformungen)

Kraftwirkung → Verformung (Deformation)



2

## Test

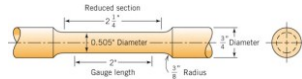


Die Ergebnisse sind beeinflusst durch:

- Deformationstyp (Zug, ...)

- Geometrie des Probekörpers

Genormter Probekörper



- Zeitlicher Verlauf des Beanspruchung

- statisch
- dynamisch

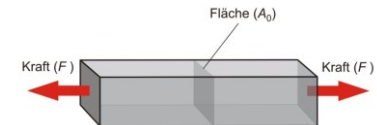
- Temperatur

3

## Zugversuch

Spannung ( $\sigma$ ):

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



Technische (nominelle) Spannung!

Dehnung/Stauchung ( $\epsilon$ ):

Relative Formänderung → relative Längenänderung:

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

$$[\epsilon] = 1$$

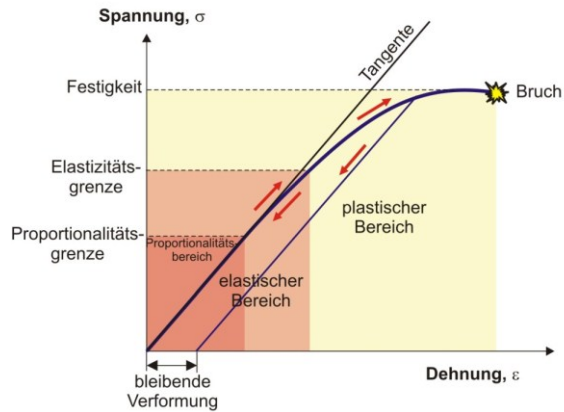
nominelle Dehnung!

Beim Druck/Stauchung: negatives Vorzeichen.

→ Innere Spannungen!

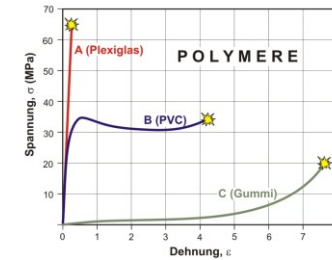
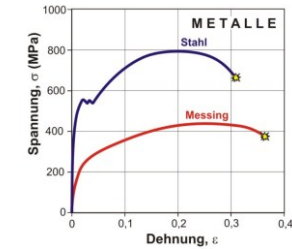
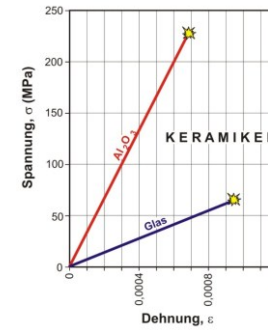
4

## Belastungsdiagramm Spannungs-Dehnungs-Diagramm



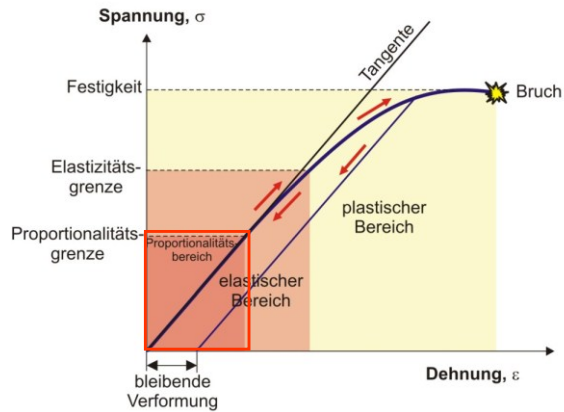
5

### Beispiele:



6

## Belastungsdiagramm



7

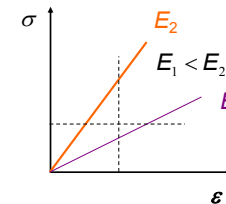
## Elastische Verformung (Proportionalitätsbereich)

### 1. Zug/Druck (Dehnung/Stauchung)

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

$E$  — Elastizitätsmodul (Young-Modul)

$[E] = \text{Pa}$

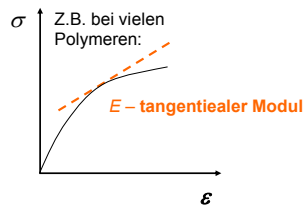
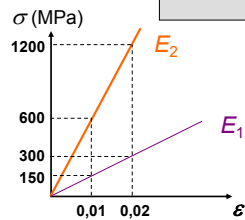


$E$  — Widerstand gegen Verlängerung,  
„Steifigkeit eines Stoffes“

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

8

Beispiel:

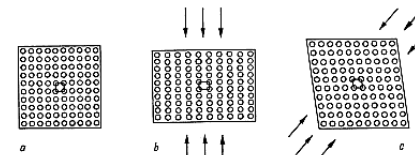


### Einige Steifigkeitswerte:

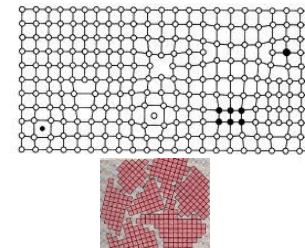
Material	E (GPa)
Zahnschmelz	≈ 100
Dentin	≈ 15
Stahl	200-230
Amalgam	50-60
Gold	79
Goldlegierungen	75-110
Pd-Ag-Legierungen	100-120
Co-Cr-Legierungen	120-220
Ni-Cr-Legierungen	140-190
Glas	60-90
Keramiken	60-130
Porzellan	60-110
PMMA (Polymethylmethacrylat)	2,4-3,8
Silikon	≈ 0,0003

9

### Elastische Verformung auf dem atomaren Niveau



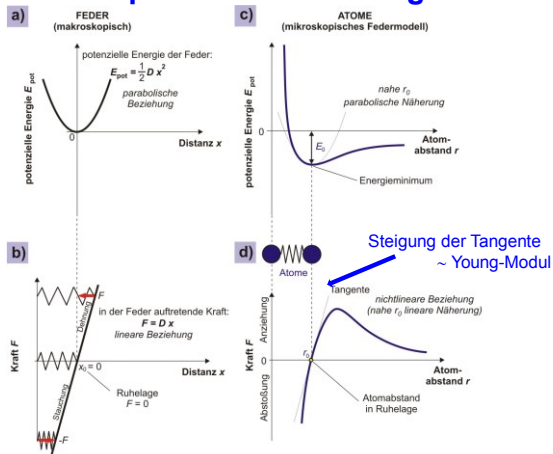
Auswirkung der Gitterdefekte, Korngröße?



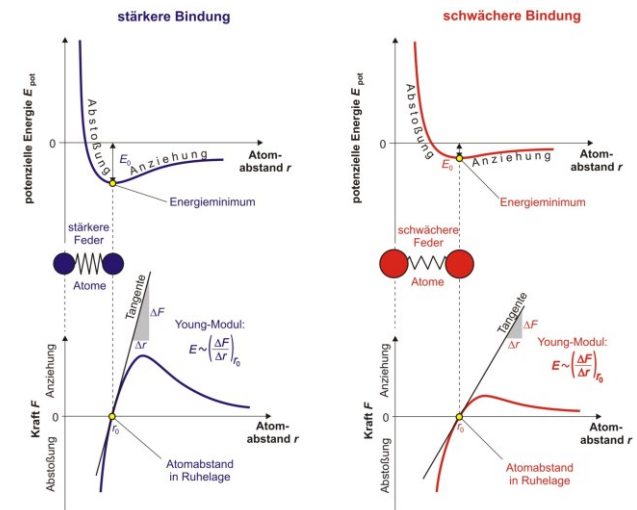
Der Young-Modul ( $E$ ) und die Poisson-Zahl ( $\mu$ ) (s. später) sind nicht empfindlich gegen Gitterdefekte.

10

### Atomare Interpretation des Young-Moduls

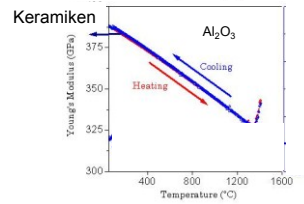
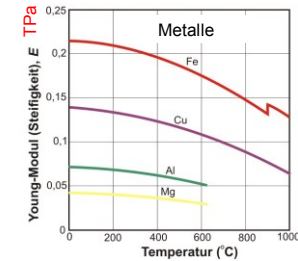


11

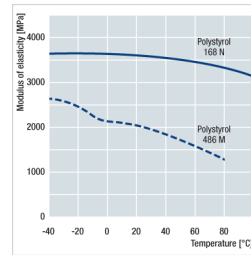
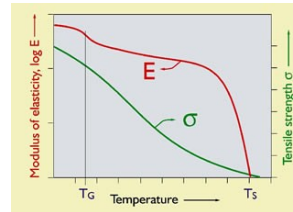


12

## Bei Erwärmung:



## Teilkristalline Polymere



13

## Steifigkeit eines Körpers

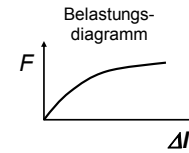


$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Materialkoeffizient!  
„Steifigkeit des Materials“

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

Körpereigenschaft  
(Material + Geometrie)!  
**Steifigkeit**  
(**Dehnsteifigkeit**)

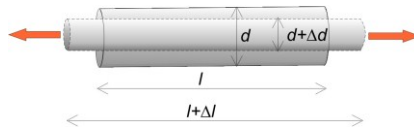


„Steifigkeit des Materials“ : die zur einheitlichen relativen Längenänderung notwendige Spannung

**Steifigkeit**: die zur einheitlichen absoluten Längenänderung notwendige Kraft

14

## Querkontraktion/dehnung:



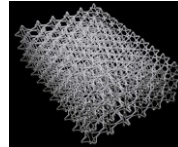
$$\frac{\Delta d}{d} = -\mu \frac{\Delta l}{l} \quad \mu = \text{Poisson-Zahl} \quad [\mu] = 1$$

(Querkontraktionszahl, Querdehnungszahl)

Z.B.

Material	$\mu$
Zahnschmelz	0,33
Dentin	0,31
Amalgam	0,31
PDL	0,45
Polymere	0,40–0,50

Auxetische Materialien  
(negative Poisson-Zahl):

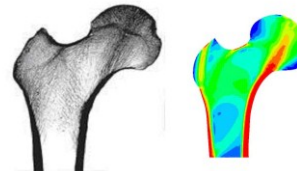
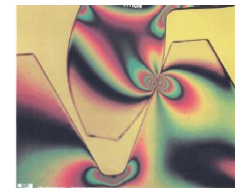


Elastische Formänderungen von homogenen isotropen Materialien sind durch  $E$  und  $\mu$  völlig bestimmt.

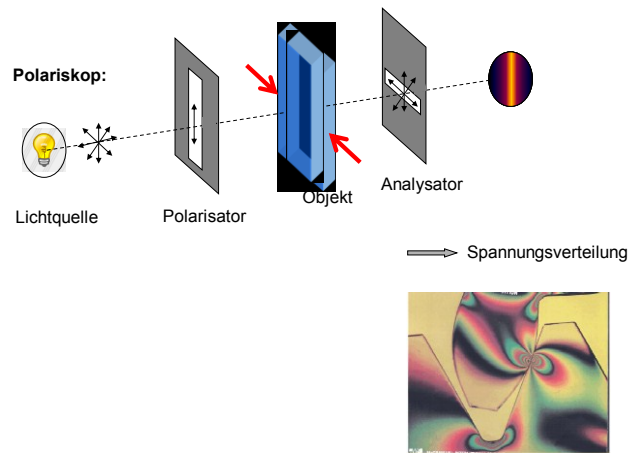
15

## Untersuchung der Spannungsverteilung

- experimentell: Spannungsoptik

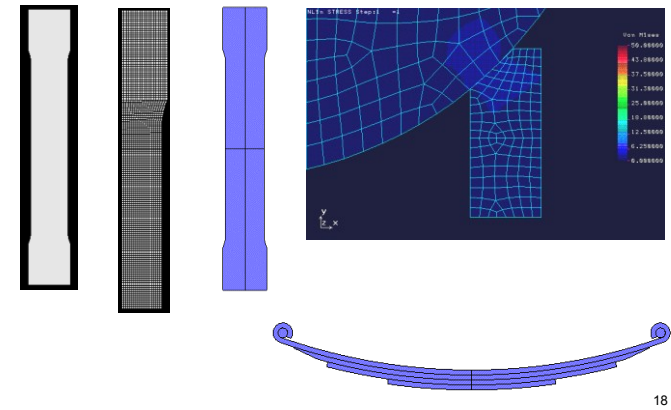


16



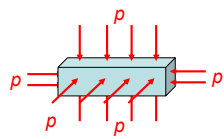
17

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



18

## 2. Kompression



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

$K$ : Kompressionsmodul  
Volumenelastizitätskoeffizient (Pa)

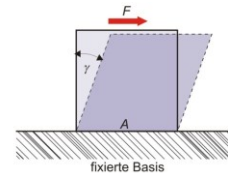
$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{3(1-2\mu)}{E} p$$

$\kappa$ : Kompressibilität (1/Pa)

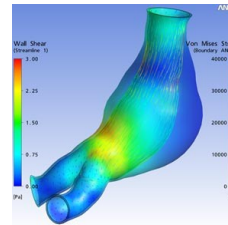
Material	$\kappa$ (1/GPa)
Luft	7650
Wasser	0,45
Aluminium	0,009

19

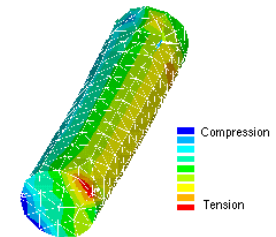
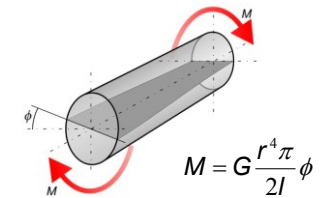
## 3. Scherung



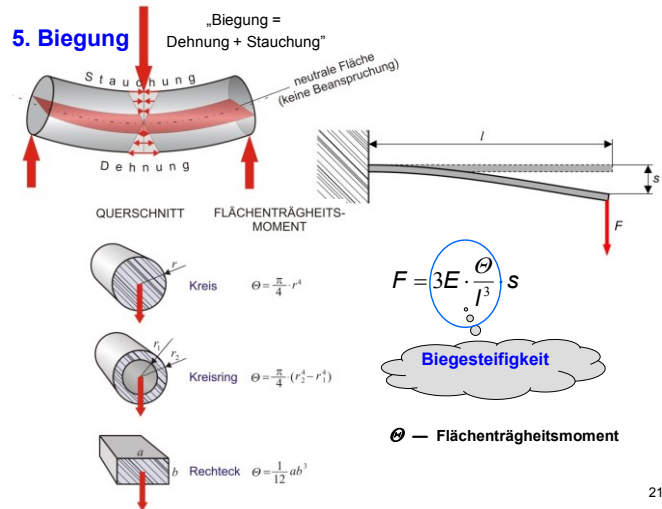
$$\sigma = G\gamma$$



## 4. Torsion

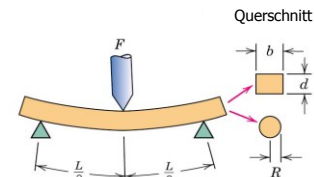


20



21

### 3-Punkt-Biegeversuch



$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

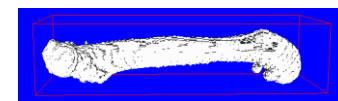
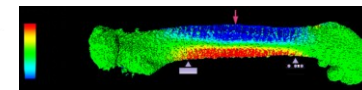
$M$  = Biegemoment

$c$  = Abstand neutrale Fläche-Rand

$I$  = Flächenträgheitsmoment

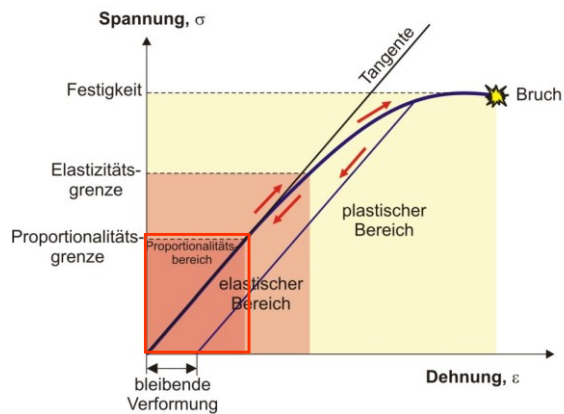
$F$  = Kraft

	$\frac{M}{I}$	$\frac{c}{I}$	$\frac{I}{I}$	$\frac{\sigma}{I}$
Querschnitt	$\frac{FL}{4}$	$\frac{d}{2}$	$\frac{bd^3}{12}$	$\frac{3FL}{2bd^2}$
Kreis	$\frac{FL}{4}$	$R$	$\frac{\pi R^4}{4}$	$\frac{FL}{\pi R^3}$



22

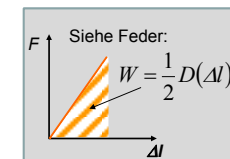
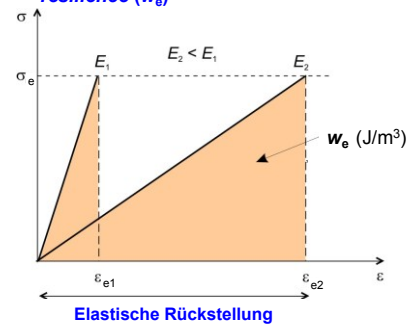
### Belastungsdiagramm



23

### Weitere elastische Kenngrößen

Spezifische elastische Verformungsarbeit; resilience ( $w_e$ )



$$w_r \approx \frac{1}{2} \sigma_e \epsilon_e =$$

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

Nächste  
Vorlesung:  
Kapitel  
16

24