



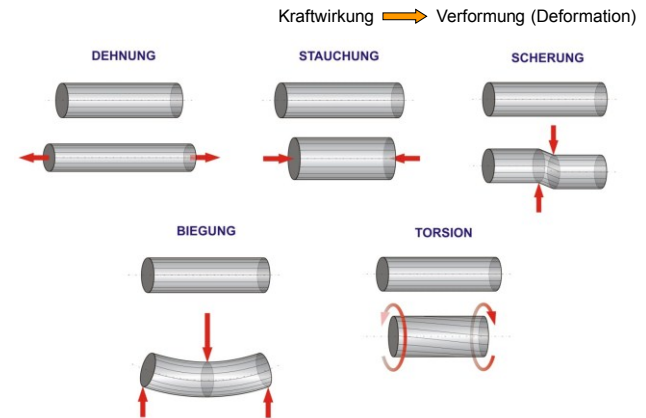
## Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

### 6.

#### Mechanische Eigenschaften 1.

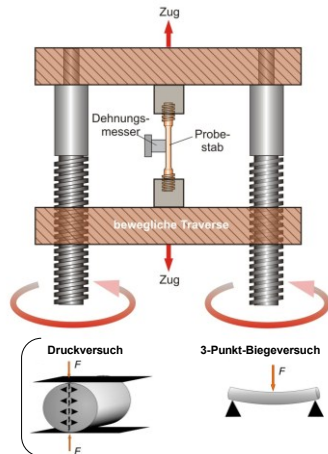
1

## Deformationen (Verformungen)



2

## Test

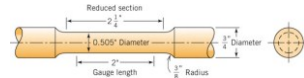


Die Ergebnisse sind beeinflusst durch:

- Deformationstyp (Zug, ...)

- Geometrie des Probekörpers

**Genormter Probekörper**



- Zeitlicher Verlauf des Beanspruchung

- statisch
- dynamisch

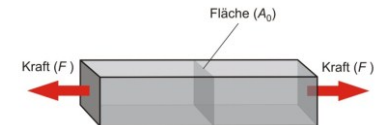
- Temperatur

3

## Zugversuch

Spannung ( $\sigma$ ):

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



Technische (nominelle) Spannung!

Dehnung/Stauchung ( $\epsilon$ ):

Relative Formänderung → relative Längenänderung:

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

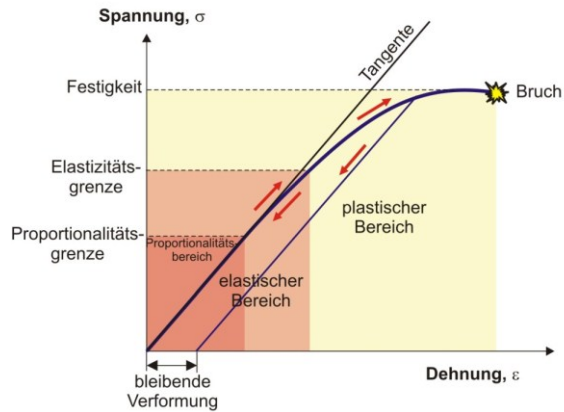
nominelle Dehnung!

Beim Druck/Stauchung: negatives Vorzeichen.

→ Innere Spannungen!

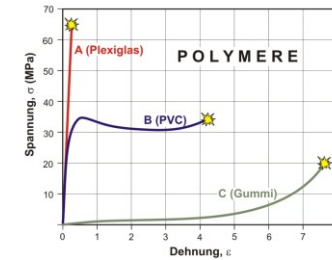
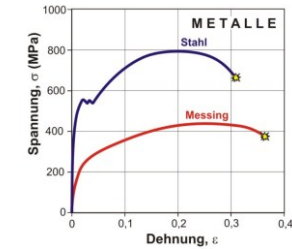
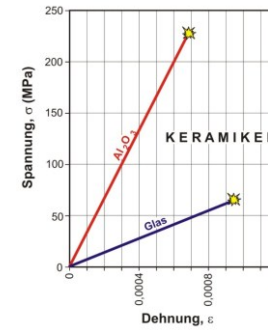
4

## Belastungsdiagramm Spannungs-Dehnungs-Diagramm



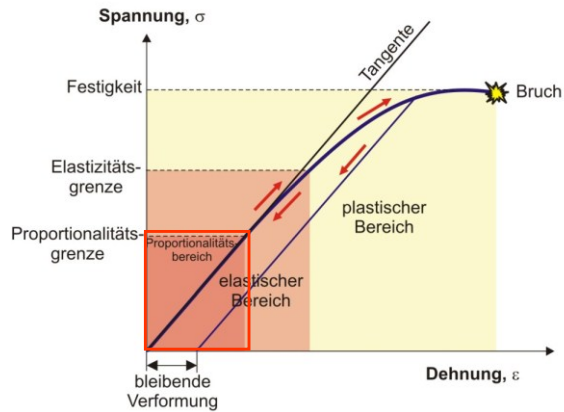
5

### Beispiele:



6

## Belastungsdiagramm



7

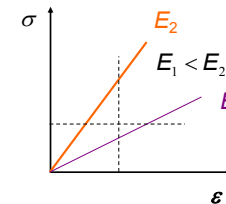
## Elastische Verformung (Proportionalitätsbereich)

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

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

$E$  — Elastizitätsmodul (Young-Modul)

$[E] = \text{Pa}$

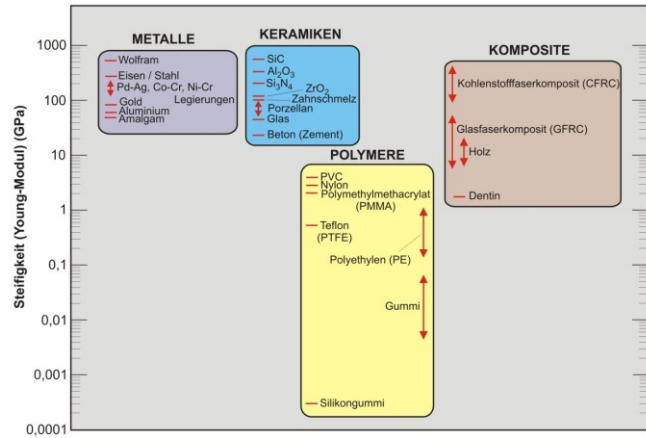


$E$  — Widerstand gegen Verlängerung,  
„Steifigkeit eines Stoffes“

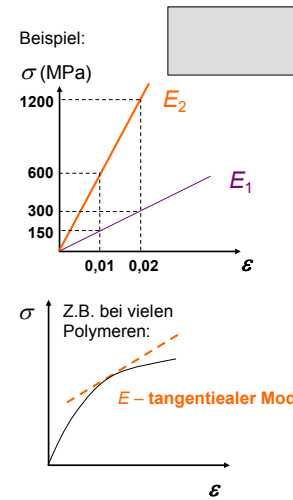
$1/E$  — Fähigkeit für Verlängerung,  
„Elastizität, Nachgiebigkeit eines  
Stoffes“

8

## Steifigkeit (Young-Modul)



9

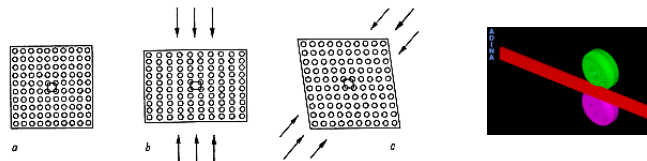


## Einige Steifigkeitswerte:

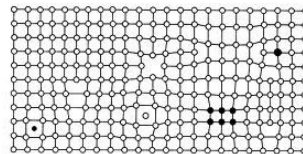
Material	$E$ (GPa)
Zahnschmelz	$\approx 100$
Dentin	$\approx 15$
Stahl	200-230
Amalgam	50-60
Gold	79
Goldlegierungen	75-110
Pd-Ag-Legierungen	100-120
Co-Cr-Legierungen	120-220
Ni-Cr-Legierungen	140-190
Glas	60-90
Keramiken	60-130
Porzellan	60-110
PMMA (Polymethylmethacrylat)	2,4-3,8
Silikon	$\approx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

10

## Elastische Verformung auf dem atomaren Niveau



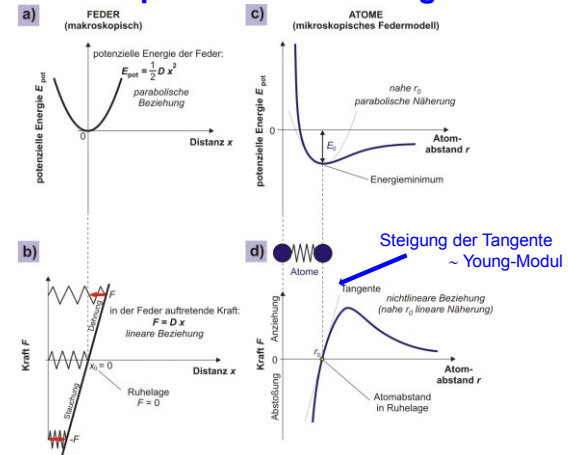
Auswirkung der Gitterdefekte, Korngröße?



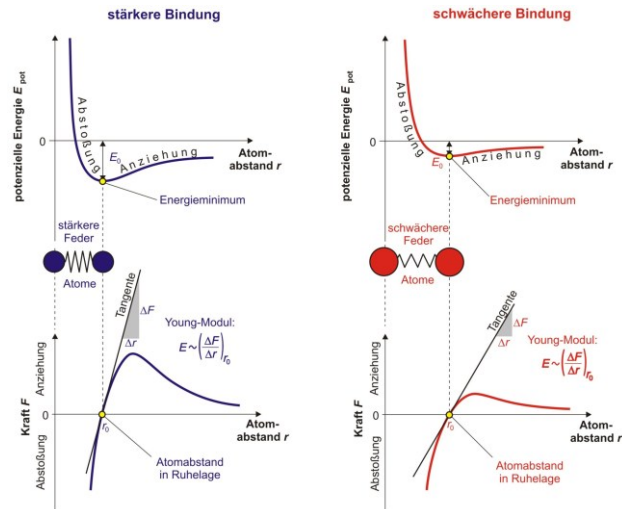
Der Young-Modul ( $E$ ) und die Poisson-Zahl ( $\mu$ ) (s. später) sind nicht empfindlich gegen Gitterdefekte.

11

## Atomare Interpretation des Young-Moduls

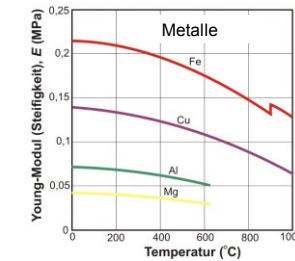


12

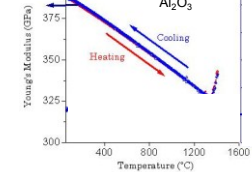


13

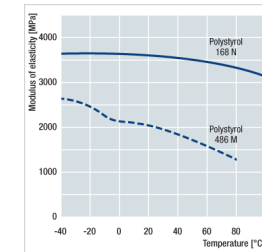
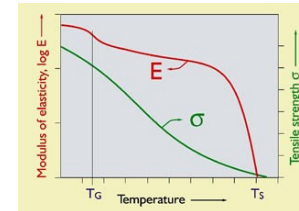
Bei Erwärmung:



Keramiken



Teilkristalline Polymere



14

## Steifigkeit eines Körpers

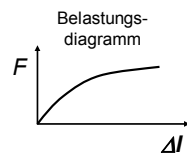


$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

Materialkoeffizient!  
„Steifigkeit des Materials“

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

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

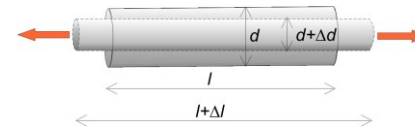


„Steifigkeit des Materials“ : die zur einheitlichen relativen Längenänderung notwendige Spannung

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

15

Querkontraktion/dehnung:



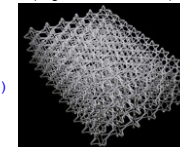
$$\frac{\Delta d}{d} = -\mu \frac{\Delta l}{l} \quad \mu \text{ — Poisson-Zahl } [\mu] = 1$$

(Querkontraktionszahl, Querdehnungszahl)

Z.B.

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

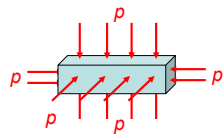
Auxetische Materialien  
(negative Poisson-Zahl):



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

16

## 2. Kompression



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

$K$  : Kompressionsmodul  
Volumenelastizitätskoeffizient (Pa)

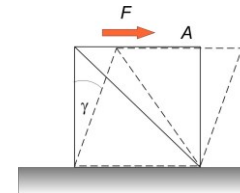
$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{3(1-2\mu)}{E} p$$

$\kappa$  : Kompressibilität (1/Pa)

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

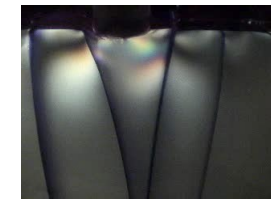
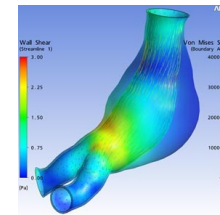
17

## 3. Scherung



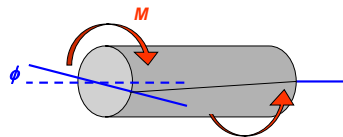
$$\sigma = G\gamma$$

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad \text{Schubmodul}$$

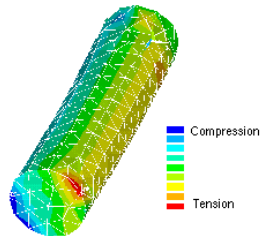
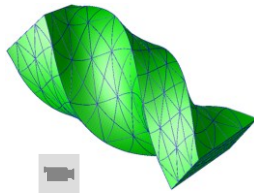


18

## 4. Torsion



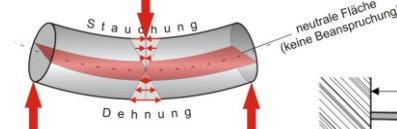
$$M = G \frac{r^4 \pi}{2I} \phi$$



19

## 5. Biegung

„Biegung =  
Dehnung + Stauchung“

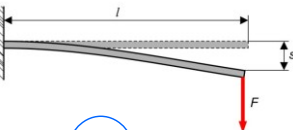


QUERSCHNITT FLÄCHENTRÄGHEITSMOMENT

Kreis  $\Theta = \frac{\pi}{4} r^4$

Kreisring  $\Theta = \frac{\pi}{4} (r_2^4 - r_1^4)$

Rechteck  $\Theta = \frac{1}{12} ab^3$



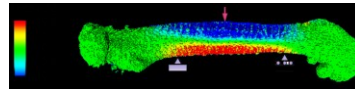
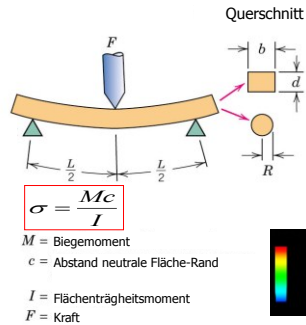
$$F = 3E \cdot \frac{\Theta}{l^3} s$$

Biegesteifigkeit

$\Theta$  — Flächenträgheitsmoment

20

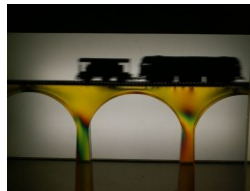
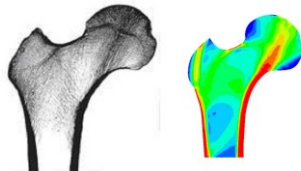
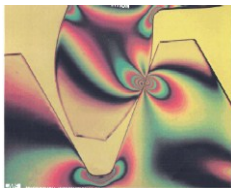
### 3-Punkt-Biegeversuch



21

### Untersuchung der Spannungsverteilung

- experimentell: Spannungsoptik



23

### Zusammenfassung:

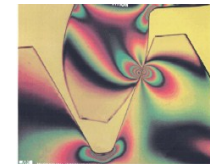
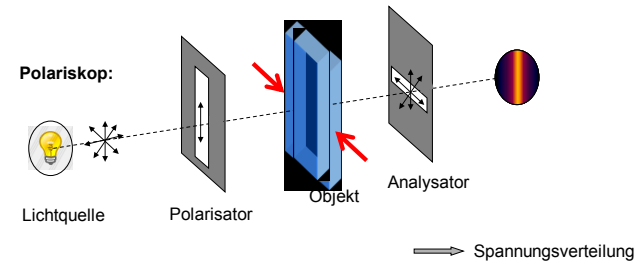
	Hookesches Gesetz:	
	Für Stoff	Für Körper
• Dehnung/Stauchung	$\sigma = E \cdot \varepsilon$	$F = E \cdot \frac{A}{l} \Delta L$
• Scherung	$\sigma = G \gamma$	$F = 2G \cdot \frac{A}{L^3} \cdot \Delta L$
• Biegung		$F = 3E \cdot \frac{\Theta}{l^3} \cdot s$
• Torsion		$M = G \frac{r^4 \pi}{2l} \phi$

$E$  — Elastizitätsmodul  $[E] = \text{Pa}$   
 $\mu$  — Poisson-Zahl  $[\mu] = 1$   
 $G$  — Schubmodul  $[G] = \text{Pa}$

$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$

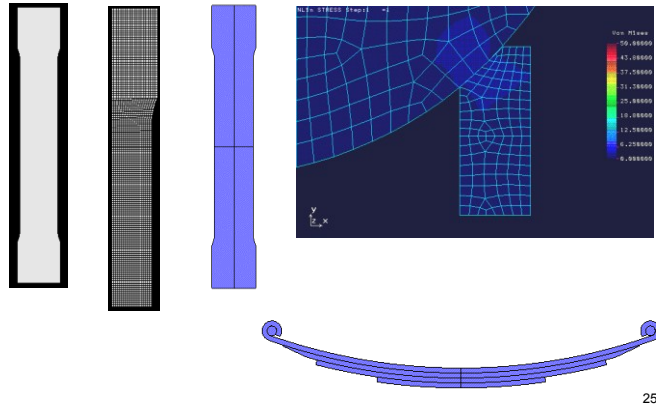
$\Theta$  — Flächenträgheitsmoment

22

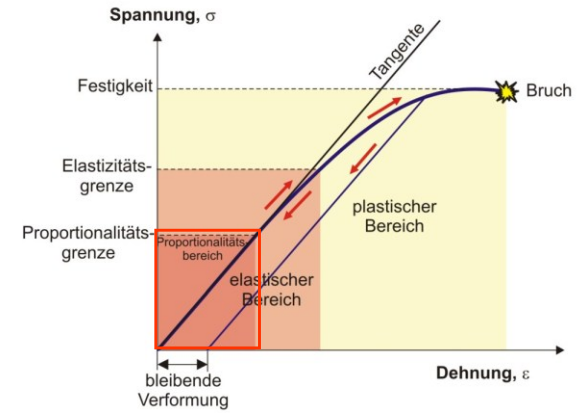


24

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

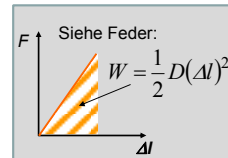
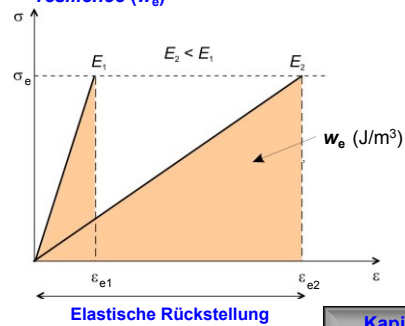


## Belastungsdiagramm



## Weitere elastische Kenngrößen

Spezifische elastische Verformungsarbeit;  
resilience ( $w_e$ )



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

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

Kapitel des  
Lehrbuches:  
14-15

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