



## Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

6.

Mechanische Eigenschaften 1

Schwerpunkte:

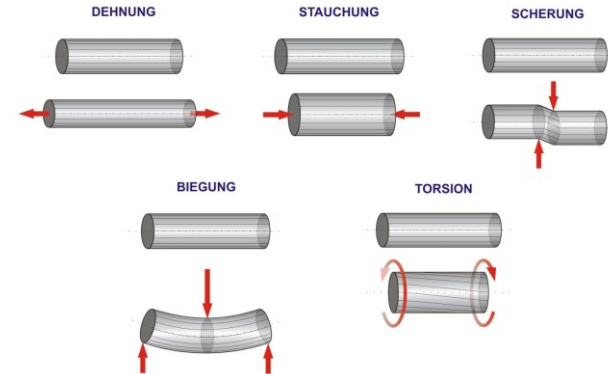
- ❖ Elastische Formänderungen
- ❖ Steifigkeit und ihr Zusammenhang mit der Bindungsenergie
- ❖ Geometrische Faktoren bei der Steifigkeit einer Körpers

Kapitel des Lehrbuches:  
14-15

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

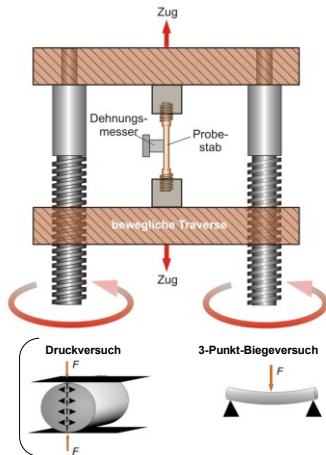
## Deformationen (Verformungen)

Kraftwirkung → Verformung (Deformation)



2

## Test

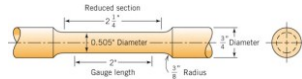


Die Ergebnisse sind beeinflusst durch:

- Deformationstyp (Zug, ...)

- Geometrie des Probekörpers

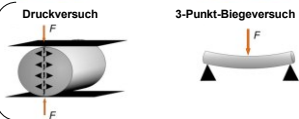
Genormter Probekörper



- Zeitlicher Verlauf des Beanspruchung

- statisch
- dynamisch

- Temperatur

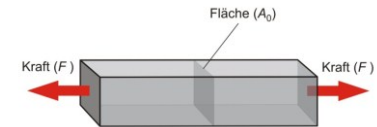


3

## 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:

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

$$[\epsilon] = 1$$

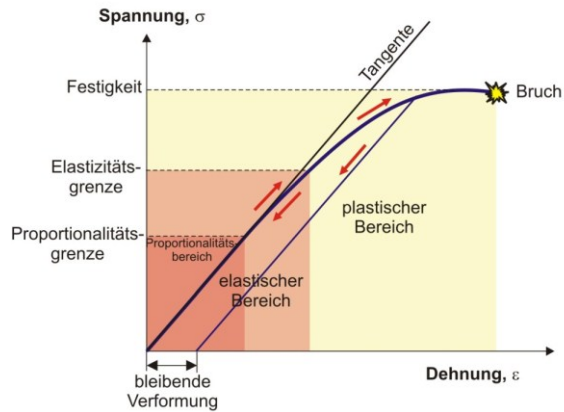
nominelle Dehnung!

Beim Druck/Stauchung: negatives Vorzeichen.

→ Innere Spannungen!

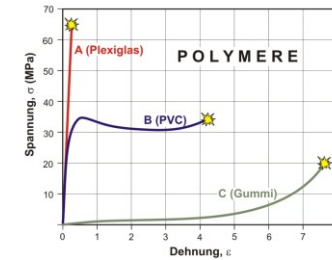
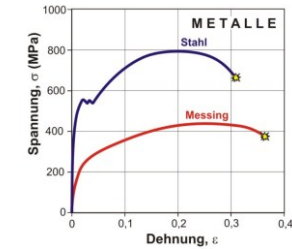
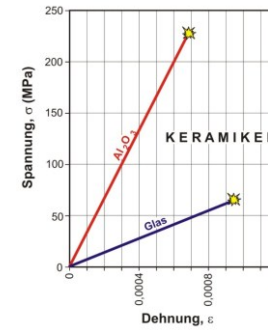
4

## Belastungsdiagramm Spannungs-Dehnungs-Diagramm



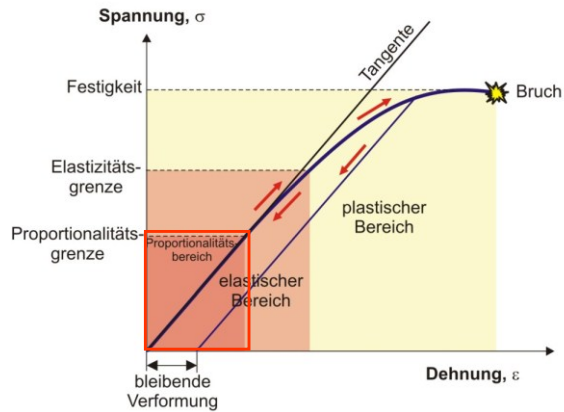
5

### Beispiele:



6

## Belastungsdiagramm



7

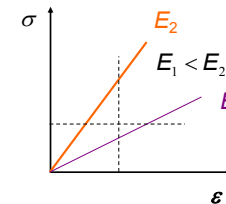
## Elastische Verformung (Proportionalitätsbereich)

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

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

$E$  — Elastizitätsmodul (Young-Modul)

$[E] = \text{Pa}$

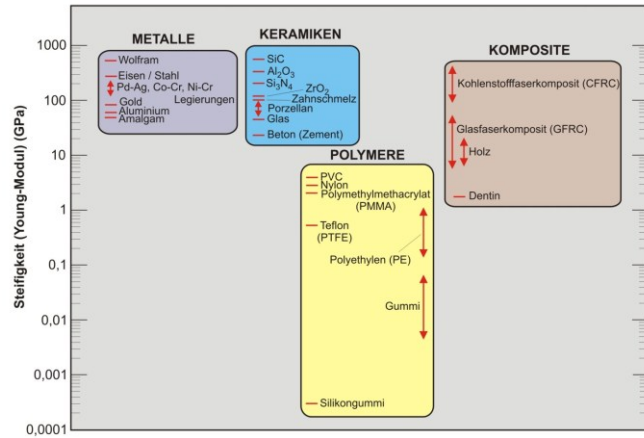


$E$  — Widerstand gegen Verlängerung,  
„Steifigkeit eines Stoffes“

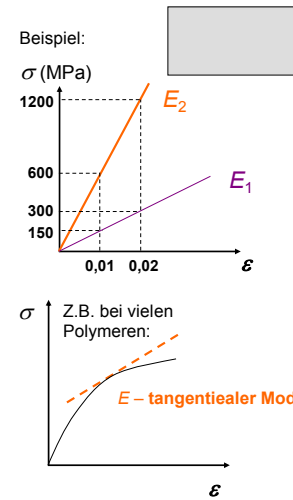
$1/E$  — Fähigkeit für Verlängerung,  
„Elastizität, Nachgiebigkeit eines  
Stoffes“

8

## Steifigkeit (Young-Modul)



9

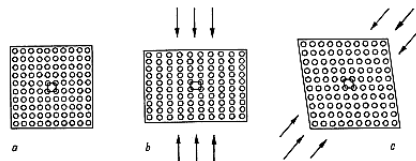


## Einige Steifigkeitswerte:

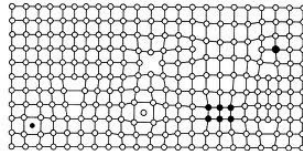
Material	E (GPa)
Zahnschmelz	≈ 100
Dentin	≈ 15
Stahl	200-230
Amalgam	50-60
Gold	79
Goldlegierungen	75-110
Pd-Ag-Legierungen	100-120
Co-Cr-Legierungen	120-220
Ni-Cr-Legierungen	140-190
Glas	60-90
Keramiken	60-130
Porzellan	60-110
PMMA (Polymethylmethacrylat)	2,4-3,8
Silikon	≈ 0,0003

10

## Elastische Verformung auf dem atomaren Niveau



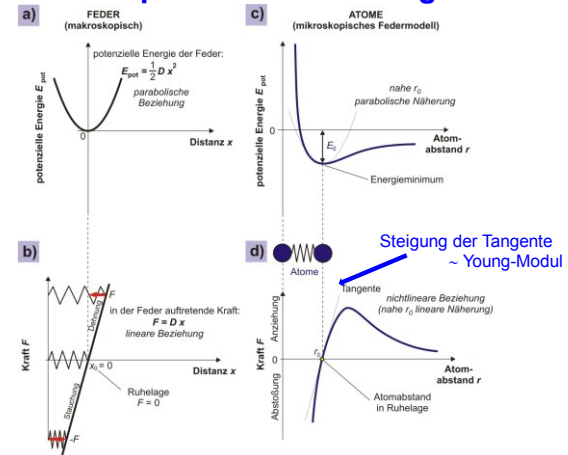
Auswirkung der Gitterdefekte, Korngröße?



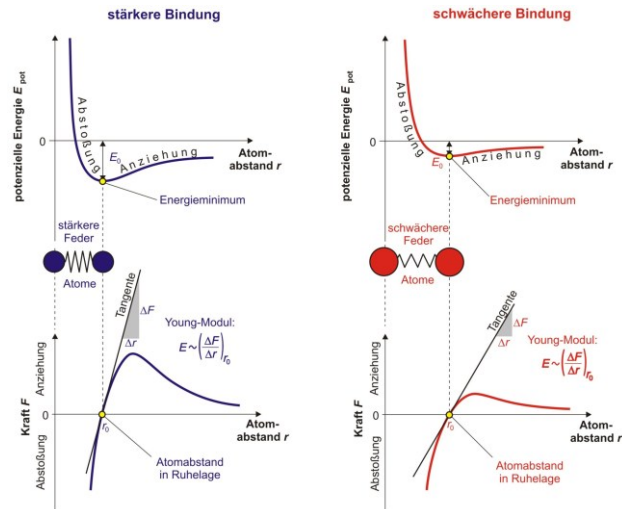
Der Young-Modul ( $E$ ) und die Poisson-Zahl ( $\mu$ ) (s. später) sind nicht empfindlich gegen Gitterdefekte.

11

## Atomare Interpretation des Young-Moduls

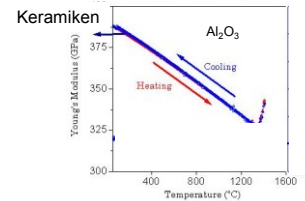
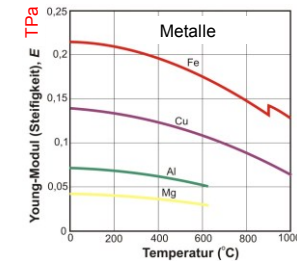


12

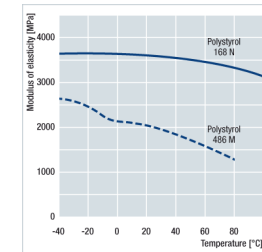
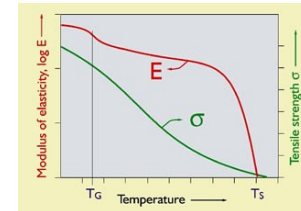


13

Bei Erwärmung:



Teilkristalline Polymere



14

## Steifigkeit eines Körpers



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

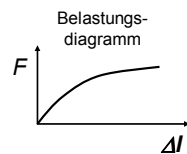
Materialkoeffizient!  
„Steifigkeit des Materials“

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

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

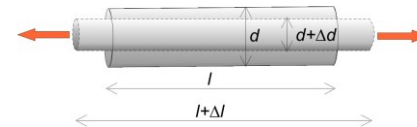
„Steifigkeit des Materials“ : die zur einheitlichen relativen Längenänderung notwendige Spannung

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



15

Querkontraktion/dehnung:



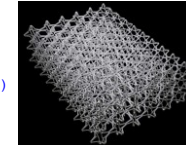
$$\frac{\Delta d}{d} = -\mu \frac{\Delta l}{l}$$

$\mu$  — 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):

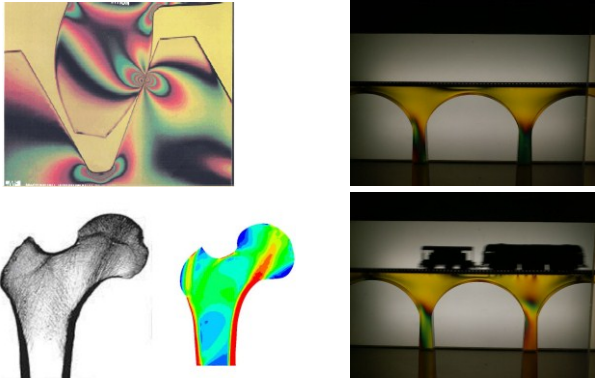


Elastische Formänderungen von homogenen isotropen Materialien sind durch  $E$  und  $\mu$  völlig bestimmt.

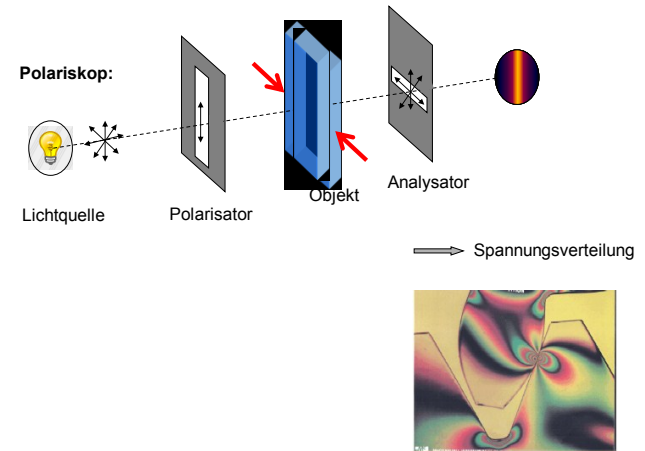
16

## Untersuchung der Spannungsverteilung

- experimentell: Spannungsoptik

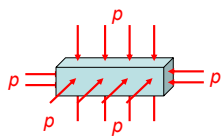


17



18

## 2. Kompression



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

$K$ : Kompressionsmodul  
Volumenelastizitätskoeffizient (Pa)

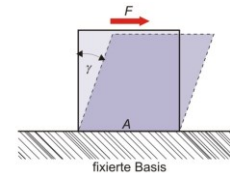
$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{3(1-2\mu)}{E} p$$

$\kappa$ : Kompressibilität (1/Pa)

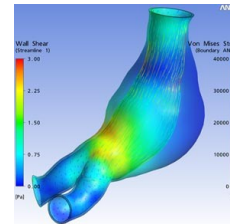
Material	$\kappa$ (1/GPa)
Luft	7650
Wasser	0,45
Aluminium	0,009

19

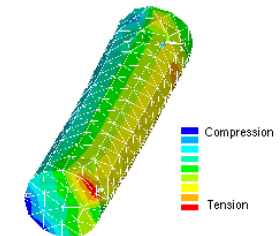
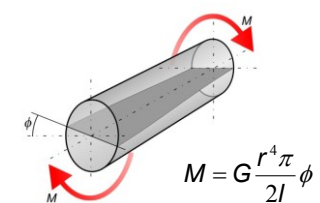
## 3. Scherung



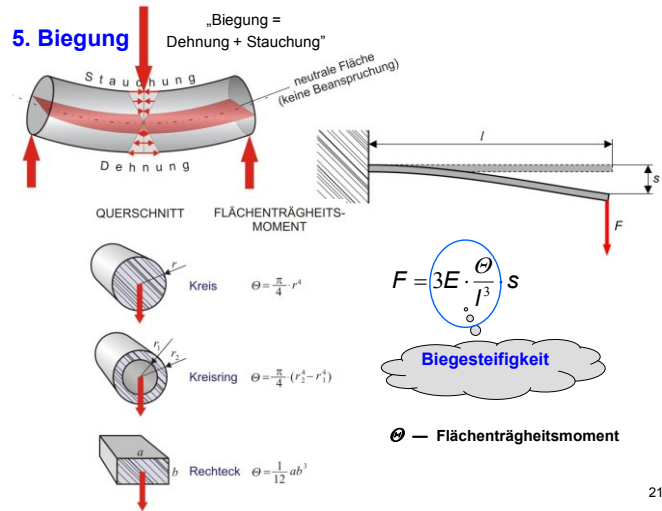
$$\sigma = G\gamma$$



## 4. Torsion

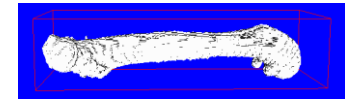
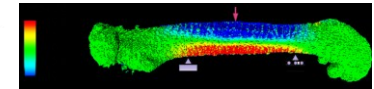
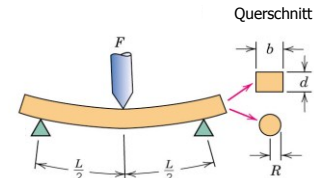


20



21

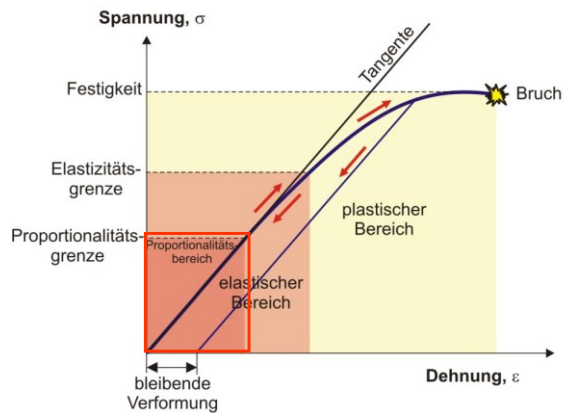
### 3-Punkt-Biegeversuch



22

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

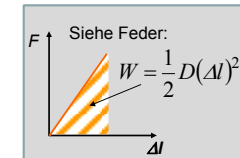
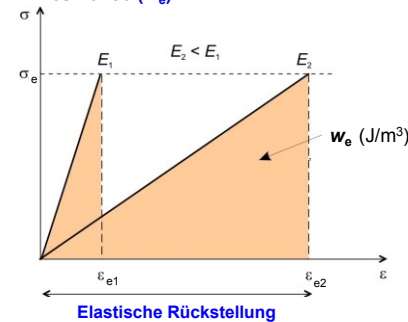
### Belastungsdiagramm



23

### Weitere elastische Kenngrößen

Spezifische elastische Verformungsarbeit;  
resilience ( $w_e$ )



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

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

Nächste  
Vorlesung:  
Kapitel  
16

24