



Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

8.

Mechanische Eigenschaften 2

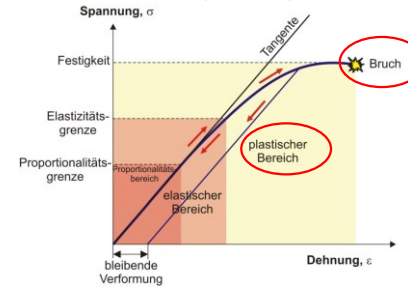
Schwerpunkte:

- ❖ Festigkeit, Elastizität, Duktilität und Zähigkeit
- ❖ Mechanismus der plastischen Formänderung in Kristallen und seine Konsequenzen
- ❖ Mechanismus des Bruches
- ❖ Härte

Kapitel des Lehrbuches:
16-17

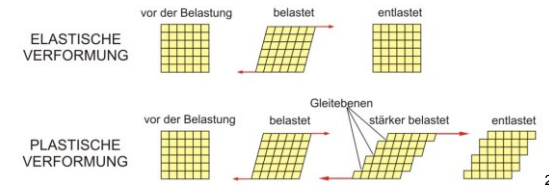
Hausaufgaben:
4. Kapitel:
26, 27, 29, 30, 32,
33, 34, 36

Belastungsdiagramm



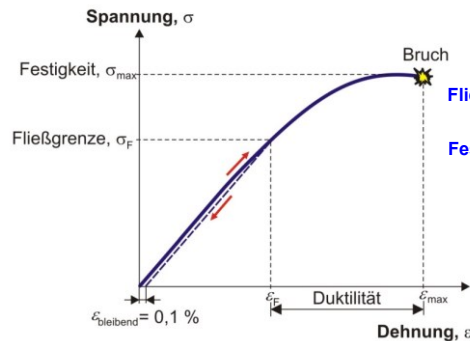
Steifigkeit eines Materials = Young-Modul, E (Pa) ✓

Elastizität eines Materials = elastische Rückstellung, ϵ_e (%) ✓



2

Plastische Verformung



Fließgrenze, σ_F (Pa)

Festigkeit, σ_{max} (Pa)

- Zugfestigkeit
- Druckfestigkeit
- Biegefestigkeit
- Scherfestigkeit,
- Torsionsfestigkeit

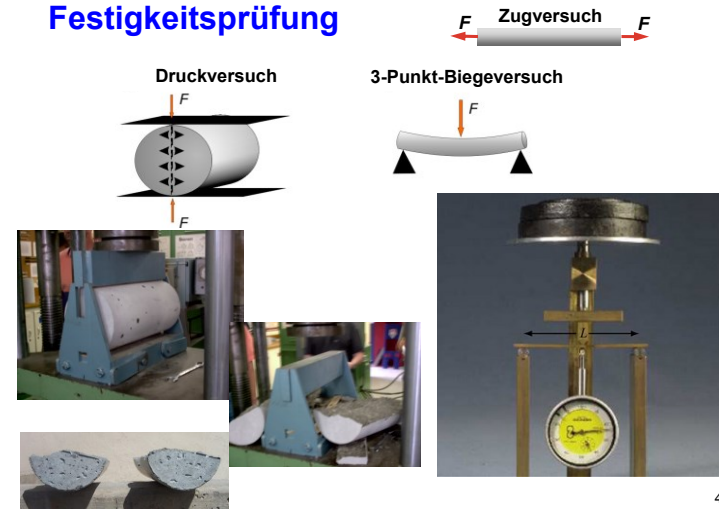
Sprödigkeit ↔ Duktilität (Verformbarkeit),

$\epsilon_{max} - \epsilon_F$ (%)

- Dehnbarkeit
- Zusammendrückbarkeit
- Biegebarkeit, ...

3

Festigkeitsprüfung

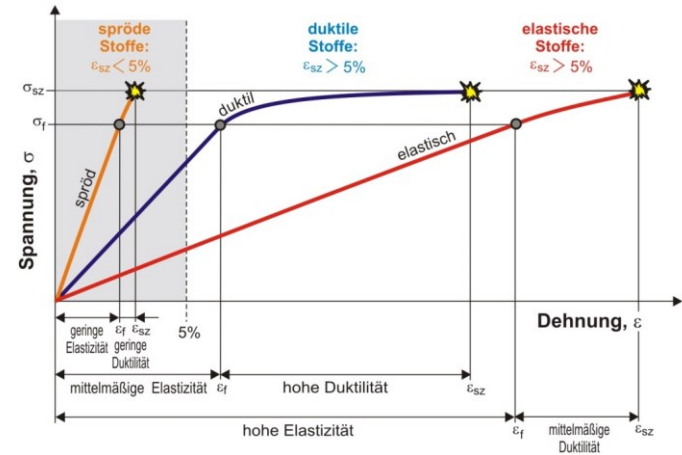


4

Einige Festigkeitswerten:

Material	$\sigma_{\text{max, Zug}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{max, Druck}}$ (MPa)
Zahnschmelz	≈ 10	≈ 400
Dentin	≈ 110	≈ 300
Keramiken	5-400	20-5000
Porzellan	≈ 25	≈ 300
Polyethylen (große Dichte)	≈ 30	
Amalgam	30-55	200-450
PMMA (Polymethylmethacrylat)	≈ 50	≈ 80
Glas	≈ 50-70	≈ 700
Gold	108	
Aluminiumoxid	≈ 170	≈ 2100
Zirkoniumdioxid	≈ 250	≈ 2500
Goldlegierungen	300-900	
Pd-Ag Legierungen	400-700	
Ni-Cr Legierungen	400-900	
Co-Cr Legierungen	600-800	
Ti Legierungen	900-1100	
kohlenstofffaserverstärktes (61%) Epoxid	≈ 1700	

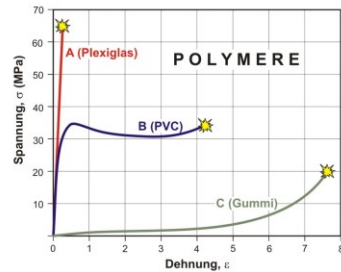
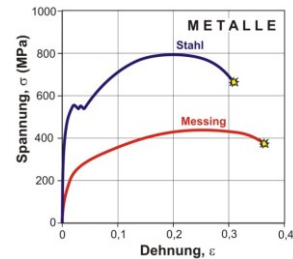
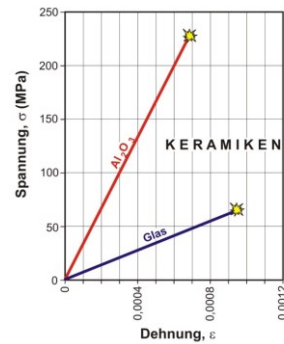
5



Druckfehler im Buch:
 $\epsilon_{sz} \rightarrow \epsilon_{\max}$ $\epsilon_f \rightarrow \epsilon_F$
 $\sigma_{sz} \rightarrow \sigma_{\max}$ $\sigma_f \rightarrow \sigma_F$

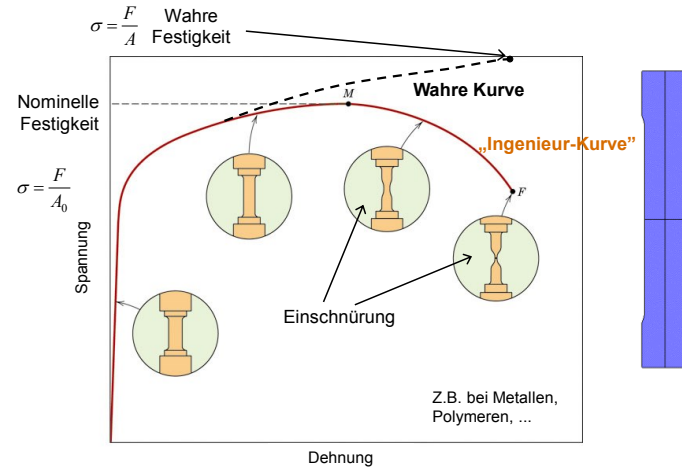
6

Beispiele:



7

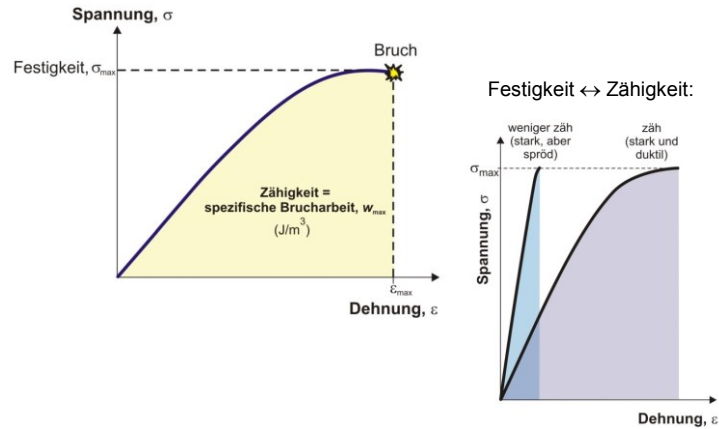
Nennspannung ↔ wahre Spannung



8

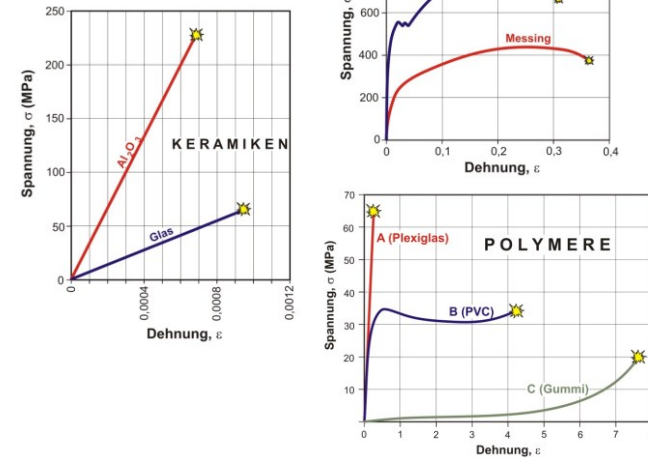
Zähigkeit

Oder spezifische Brucharbeit (w_{\max})



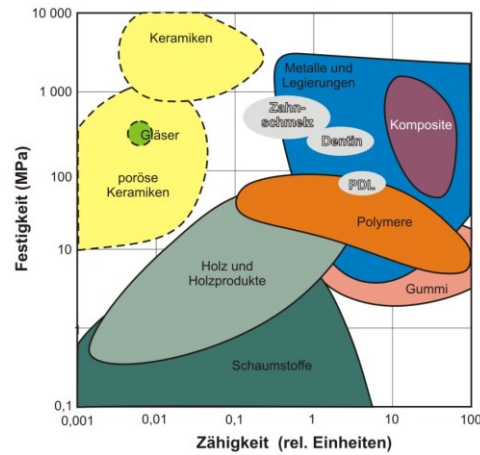
9

Beispiele:



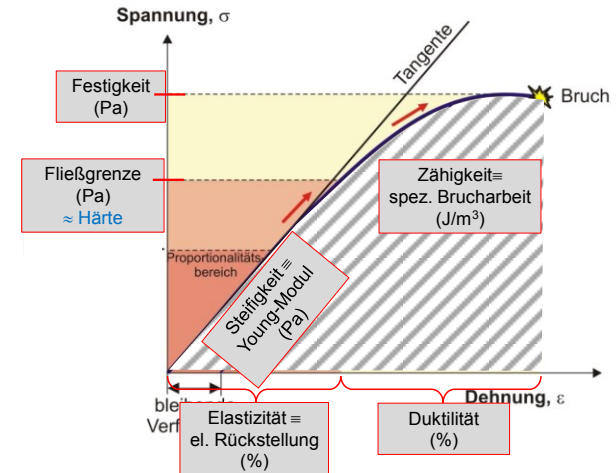
10

Festigkeit und Zähigkeit:



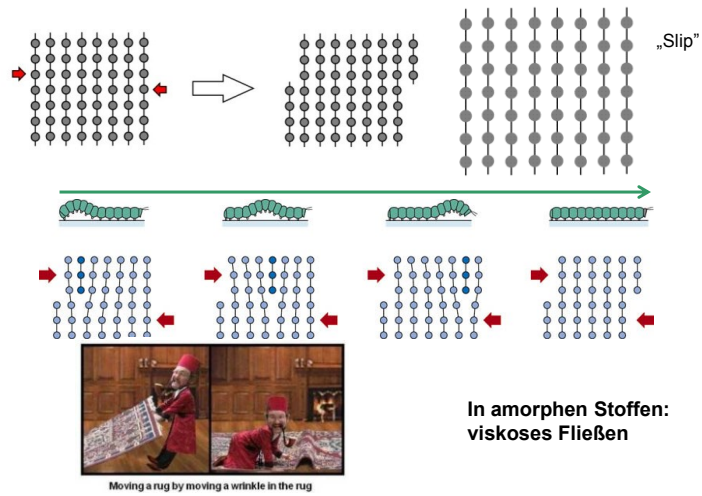
11

Überblick über die wichtigsten mechanischen Eigenschaften:



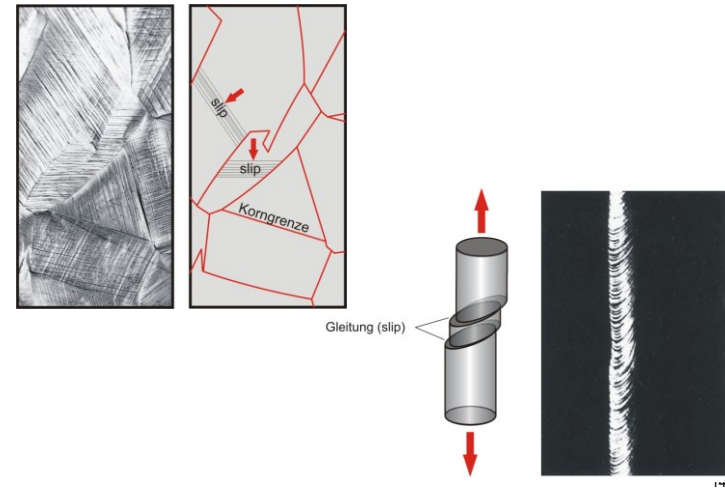
12

Mechanismus der plastischen Verformung in Kristallen:

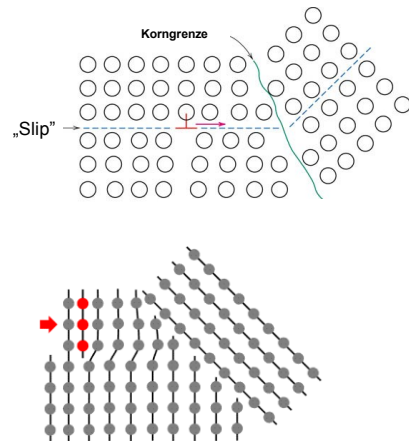


13

Bewegungsmöglichkeiten der Dislokationen?!



Bewegungsmöglichkeiten der Dislokationen?!



Die Größen der plastischen
Verformung

$(\sigma_f, \epsilon_m, \sigma_m, w_m)$,

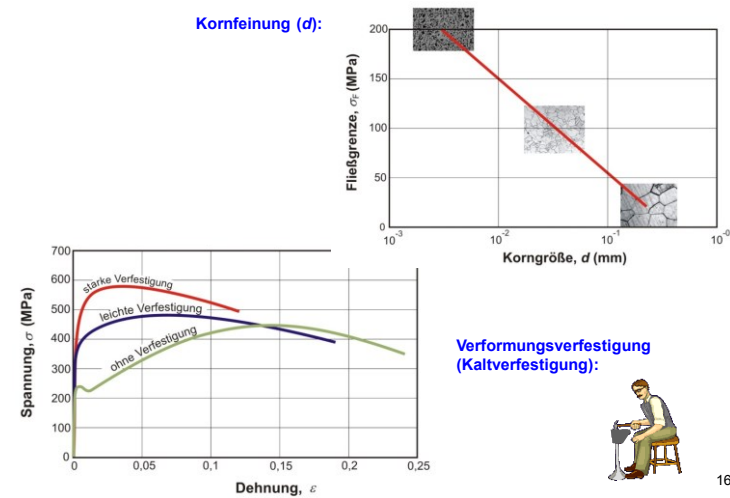
bzw. die Härte
sind sehr empfindlich
gegen Defekte.

Ähnlicherweise:
Sprödigkeit der Keramiken

15

Beeinflussung der plastischen Eigenschaften und der Festigkeit von Metallen

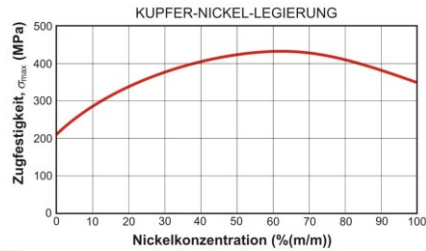
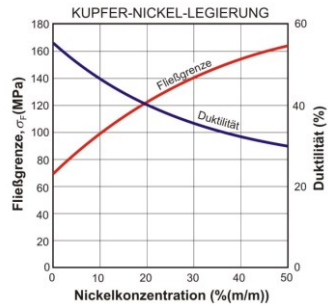
Kornfeinung (d):



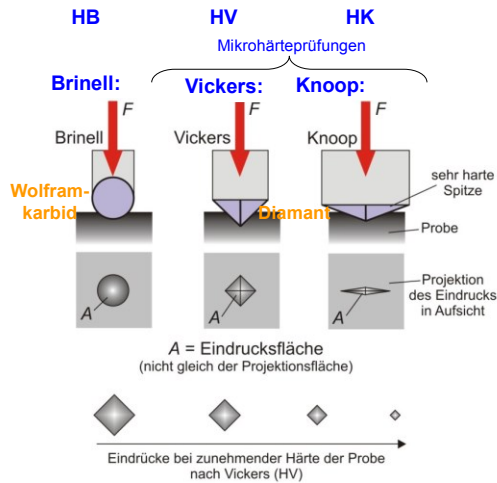
16

Legierung

Z.B.: Cu-Ni



Härteprüfungen:



$$H = \frac{F}{A} \text{ (Pa)}$$

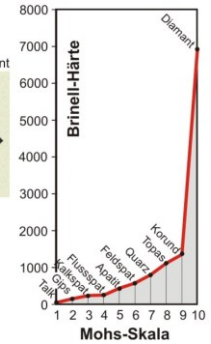


19

Härte



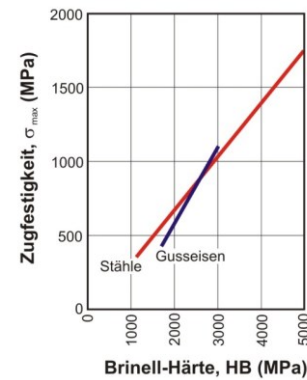
Mohs-Skala:



18

Zusammenhang der Härte mit anderen Größen:

- Elastizitätsgrenze
- Festigkeit



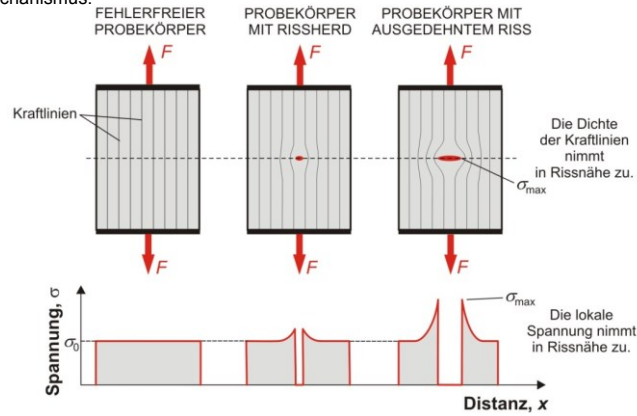
Einige Härtewerte:

Material	HV (MPa)	HK (MPa)
Zahnschmelz	≈ 3400	3400-4000
Dentin	≈ 600	≈ 700
Amalgam	≈ 1000	
Gold		60-70
Gold-legierungen	600-250	≈ 2000
Pd-Ag-Legierungen	1400-1900	
Co-Cr-Legierungen	≈ 4000	3000-4500
Ni-Cr-Legierungen	3000-4000	2000-3500
Glas		≈ 5000
Porzellan	4500-7000	≈ 6000
Akrlat	≈ 200	≈ 200

20

Bruch

Mechanismus:

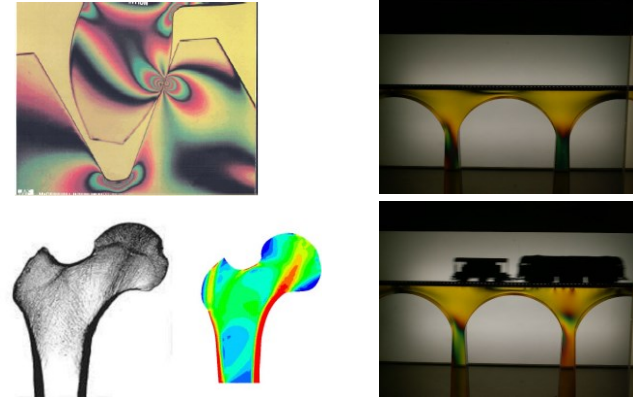


→ **Spannungskonzentration** → Keine plastische verformung **Sprödbbruch**
→ Plastische Verformung **Duktiler Bruch**

21

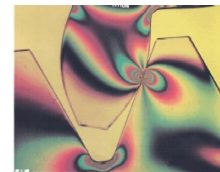
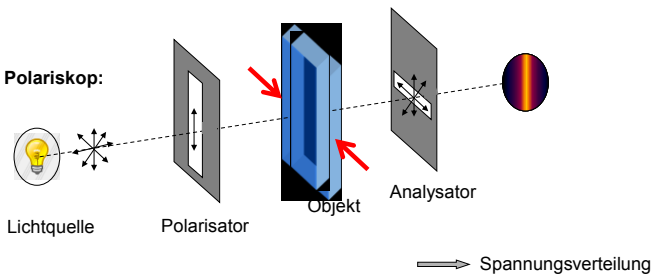
Untersuchung der inneren Spannungen

- **experimentell:** Spannungsoptik



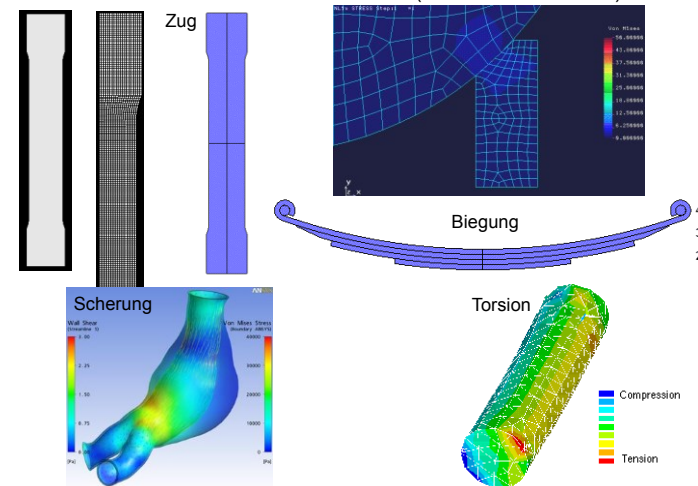
22

Polariskop:



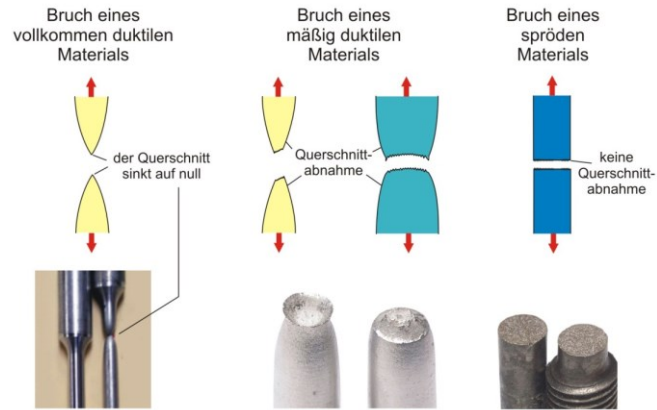
23

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



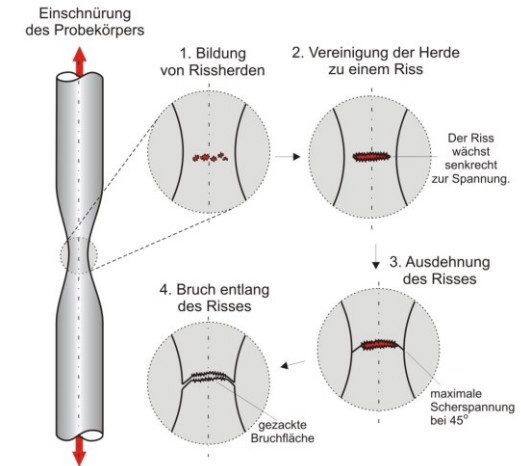
24

Bruch



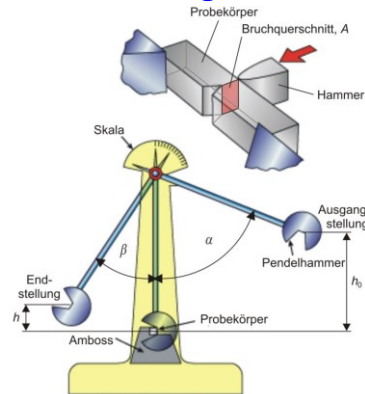
25

Phasen eines Zähbruchs



26

Kerbschlagversuch



Charpy-Test:

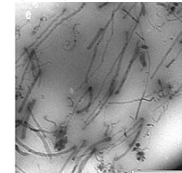


Kerbschlagarbeit = Verlust der potenziellen Energie des Hammers (J)

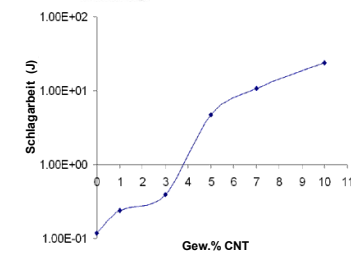
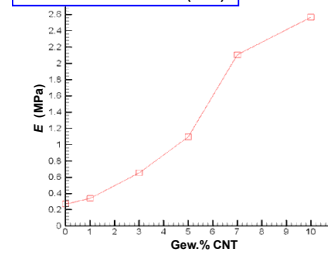
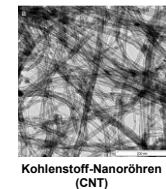
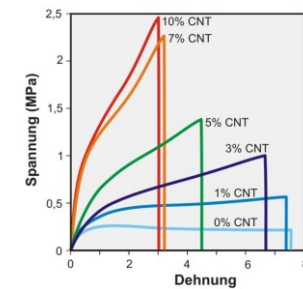
Kerbschlagzähigkeit = Kerbschlagarbeit/Querschnitt der Probe (J/m^2)

27

Ergänzung zu den Verbundwerkstoffen: Ein Beispiel für die „Kombination von günstigen Eigenschaften“



Komposit: Gummi (SMR) + Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT)



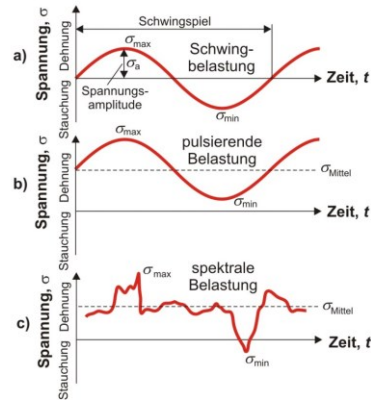
28

Ermüdung

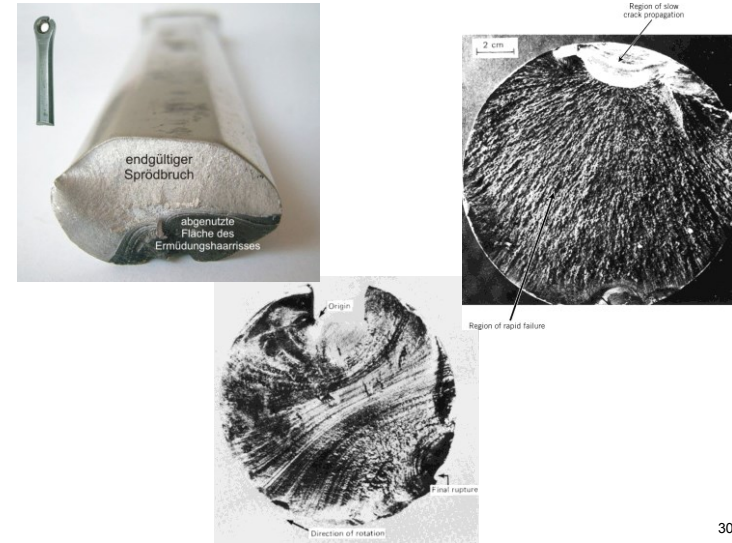


Sich wiederholende Belastungen
 → Strukturänderungen
 → Ermüdungsrisse
 → Ermüdungsbruch

Belastungstypen:

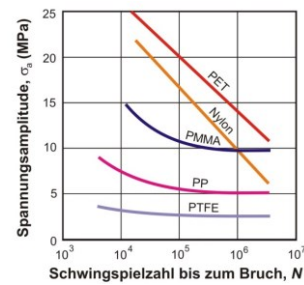
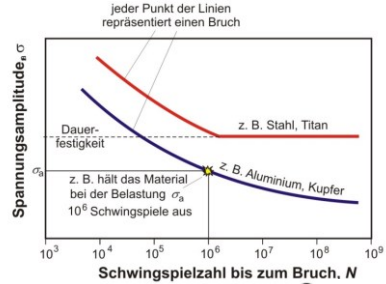


29

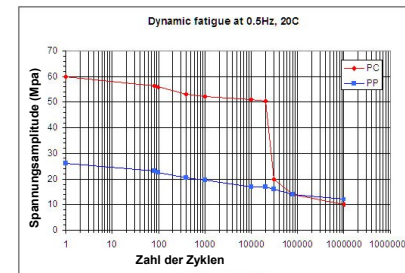


30

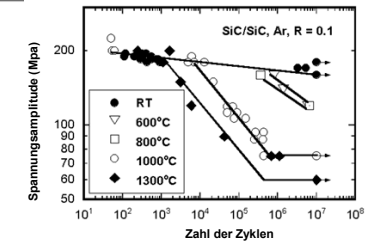
Wöhlerlinie:



31



Nächste Vorlesung: Kapitel 18



32