



Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

8.

Mechanische Eigenschaften 2

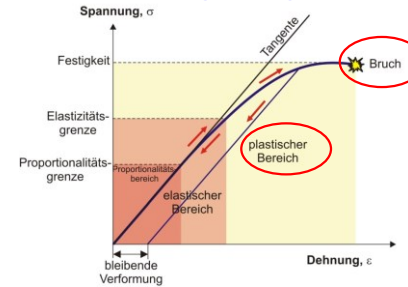
Schwerpunkte:

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

Kapitel des Lehrbuches:
16-17

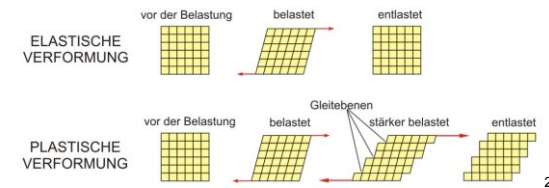
Hausaufgaben:
4. Kapitel:
26, 27, 29, 30, 32,
33, 34, 36

Belastungsdiagramm



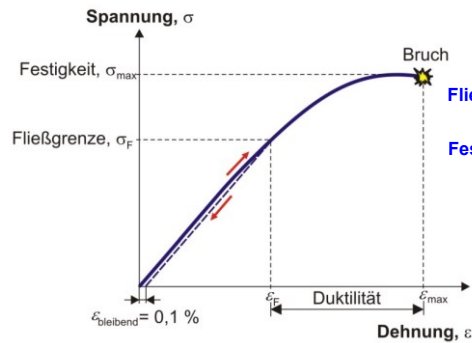
Steifigkeit eines Materials = Young-Modul, E (Pa) ✓

Elastizität eines Materials = elastische Rückstellung, ϵ_e (%), oder spez. el. Verformungsarbeit, w_e (J/m³) ✓



2

Plastische Verformung



Fließgrenze, σ_F (Pa)

Festigkeit, σ_{max} (Pa)

- Zugfestigkeit
- Druckfestigkeit
- Biegefestigkeit
- Scherfestigkeit,
- Torsionsfestigkeit

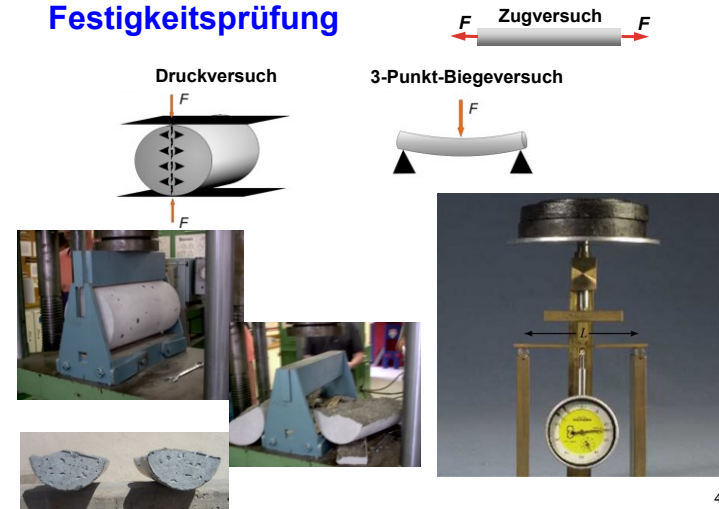
Sprödigkeit ↔ Duktilität (Verformbarkeit),

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

- Dehnbarkeit
- Zusammendrückbarkeit
- Biegebarkeit, ...

3

Festigkeitsprüfung

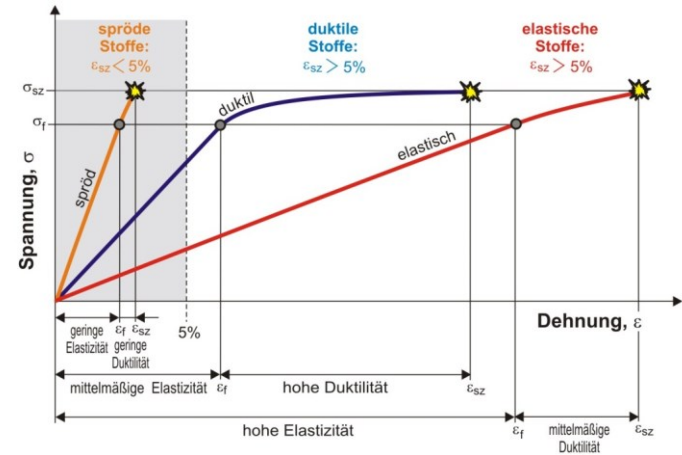


4

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	$\approx 50-70$	≈ 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	

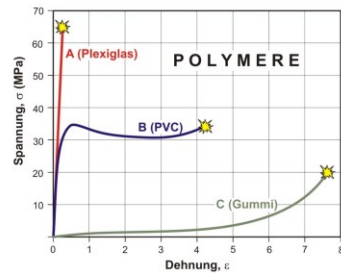
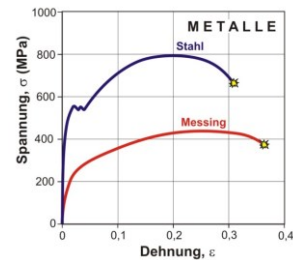
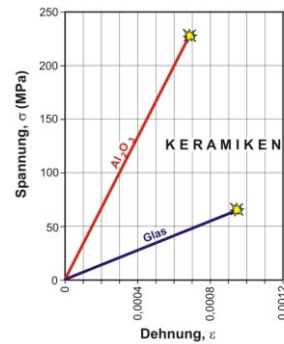
5



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

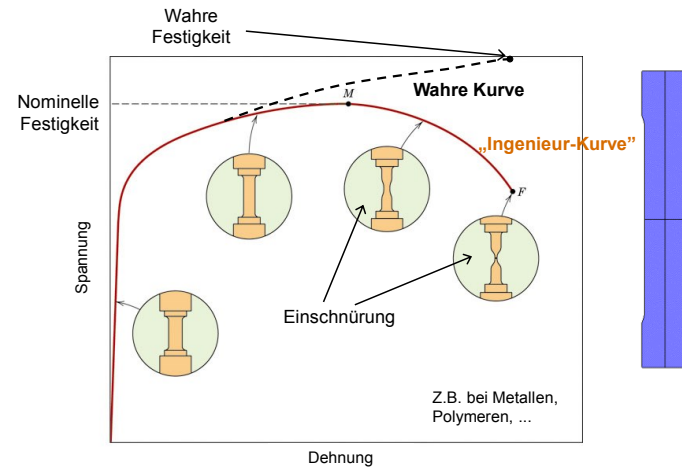
6

Beispiele:



7

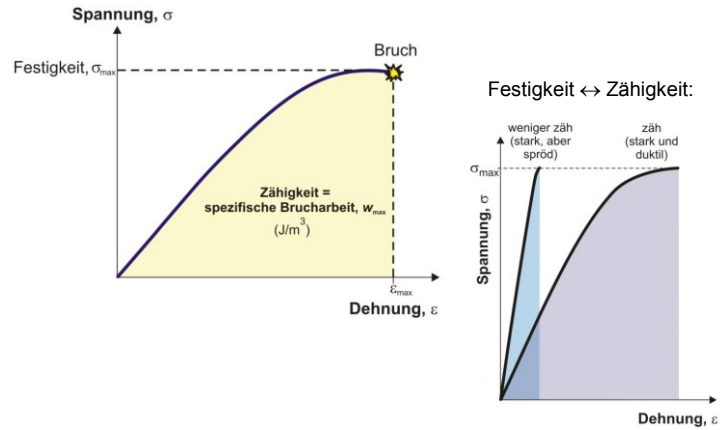
Nennspannung ↔ wahre Spannung



8

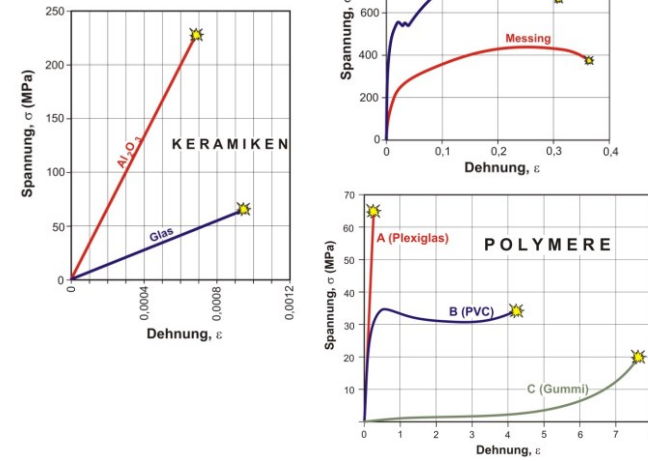
Zähigkeit

Oder spezifische Brucharbeit (w_{\max})

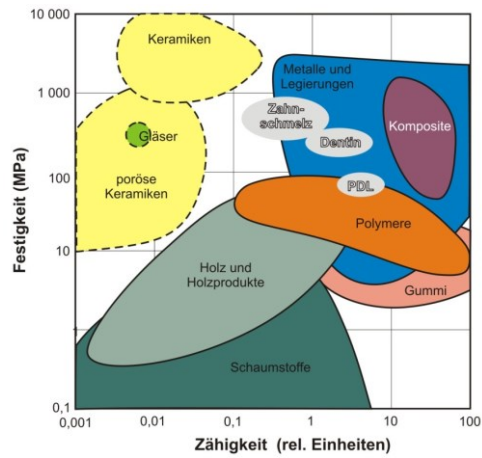


9

Beispiele:

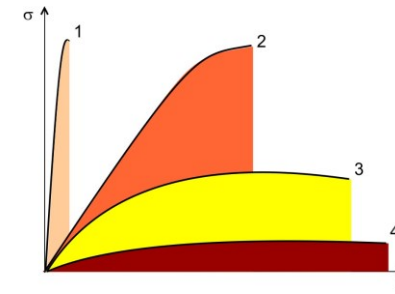


10



11

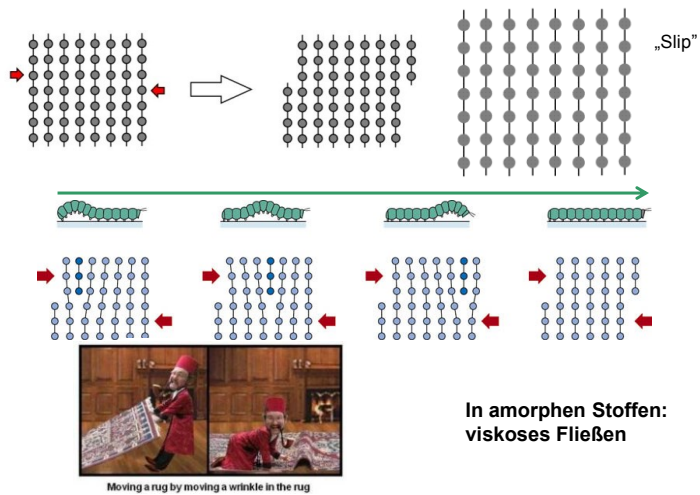
Übersicht



- 1) steif, stark, spröde (brüchig)
- 2) elastisch, stark, zähig
- 3) plastisch, mittelstark, zähig
- 4) plastisch, schwach

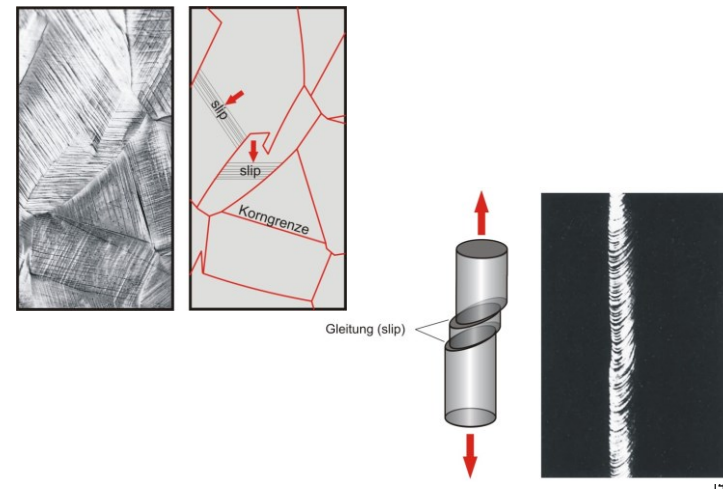
12

Mechanismus der plastischen Verformung in Kristallen:

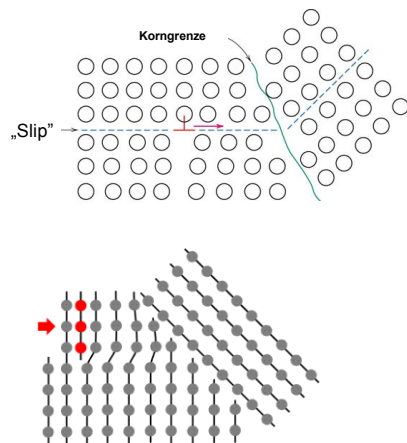


13

Bewegungsmöglichkeiten der Dislokationen?!



Bewegungsmöglichkeiten der Dislokationen?!



Die Größen der plastischen Verformung

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

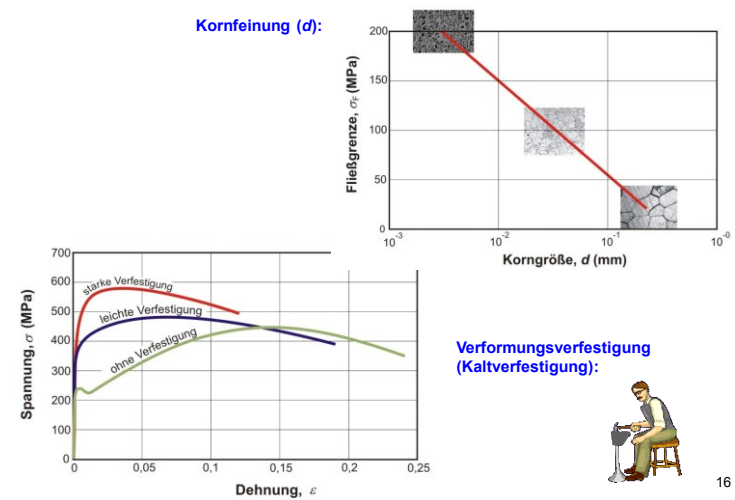
bzw. die Härte
sind sehr empfindlich
gegen Defekte.

Ähnlicherweise:
Sprödigkeit der Keramiken

15

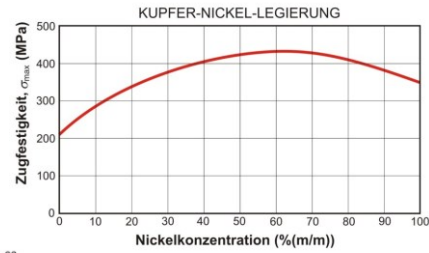
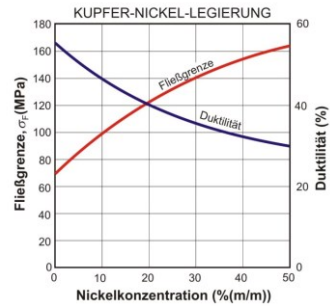
Beeinflussung der plastischen Eigenschaften und der Festigkeit von Metallen

Kornfeinung (d):



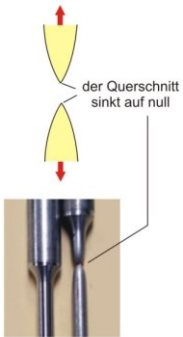
Legierung

Z.B.: Cu-Ni

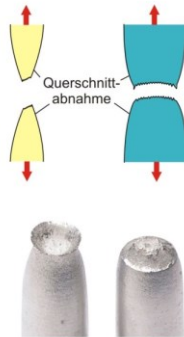


Bruch

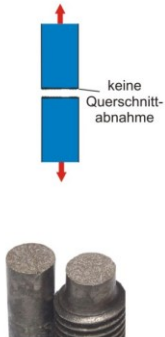
Bruch eines vollkommen duktilen Materials



Bruch eines mäßig duktilen Materials



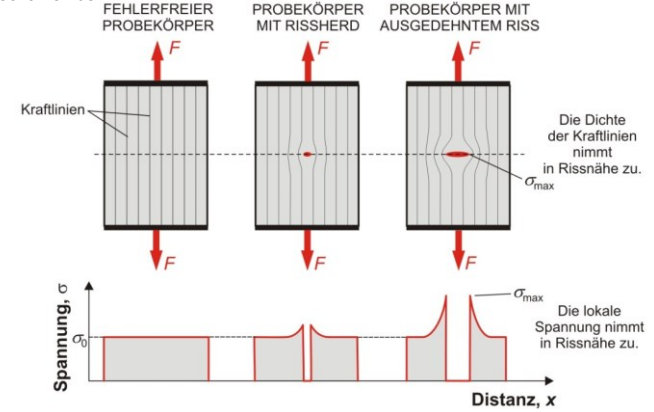
Bruch eines spröden Materials



19

Bruch

Mechanismus:

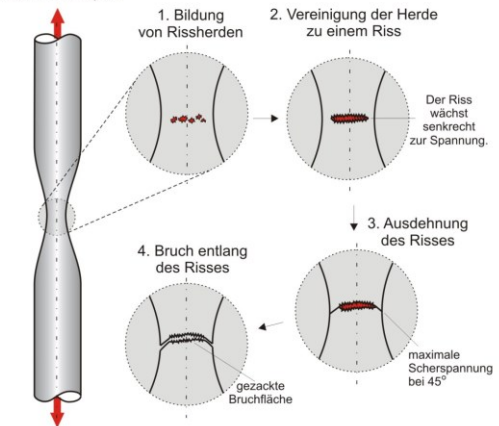


Spannungskonzentration → Keine plastische verformung **Sprödbbruch**
→ Plastische Verformung **Duktiler Bruch**

18

Phasen eines Zähbruchs

Einschnürung des Probekörpers



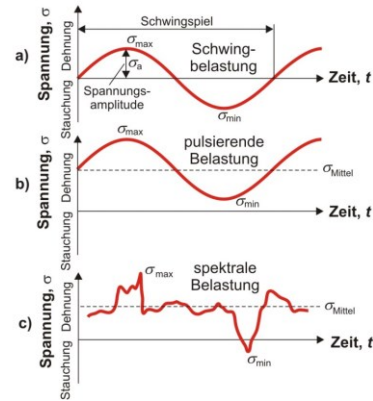
20

Ermüdung

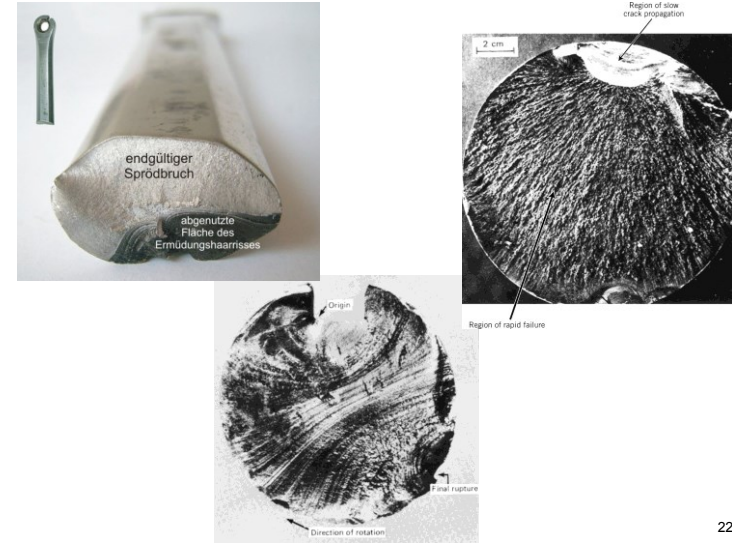


Sich wiederholende Belastungen
→ Strukturänderungen
→ Ermüdungsrisse
→ Ermüdungsbruch

Belastungstypen:

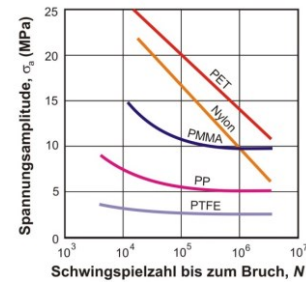
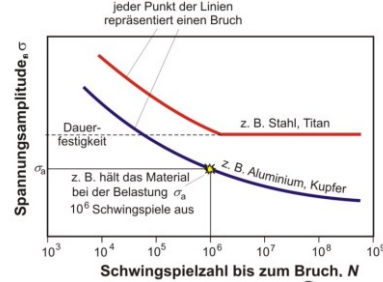


21



22

Wöhlerlinie:

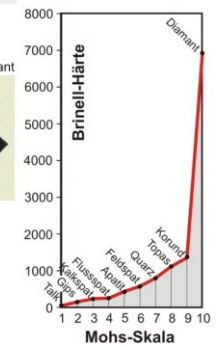
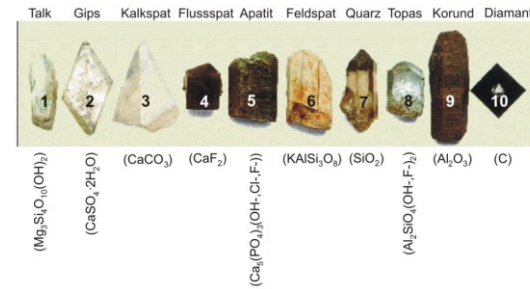


23

Härte

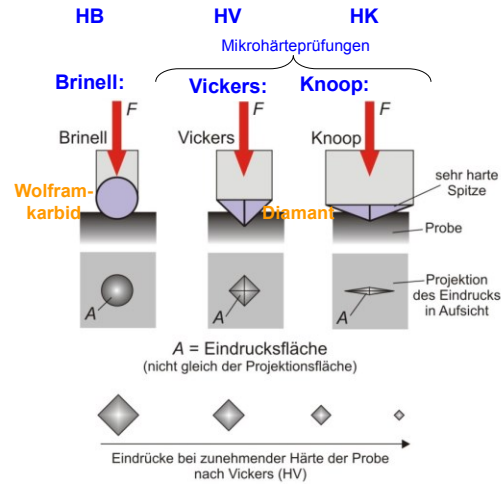


Mohs-Skala:



24

Härteprüfungen:



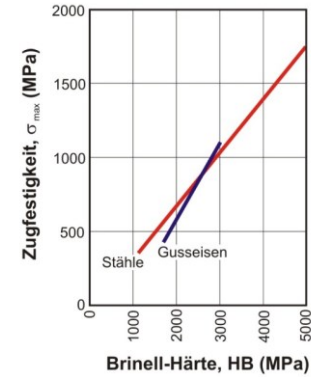
$$H = \frac{F}{A} \text{ (Pa)}$$



25

Zusammenhang der Härte mit anderen Größen:

- Elastizitätsgrenze
- Festigkeit



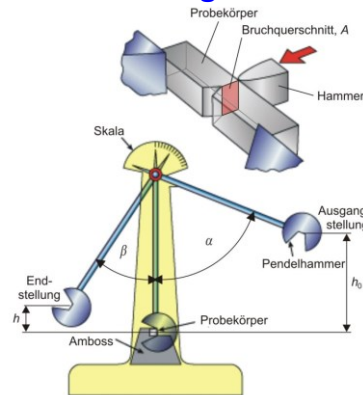
Einige Härtewerte:

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
Akrylat	≈ 200	≈ 200

26

Kerbschlagversuch

Charpy-Test:



Kerbschlagarbeit = Verlust der potenziellen Energie des Hammers (J)

Kerbschlagzähigkeit =
Kerbschlagarbeit/Querschnitt der Probe
(J/m²)



27

Englische Fachwörter:

Steifigkeit	stiffness, rigidity
Elastizität	elasticity, flexibility
Spezifische elastische Verformungsarbeit	resilience
Festigkeit	strength
Duktilität	ductility
Brüchigkeit	brittleness
Zähigkeit	toughness
Kerbschlagarbeit	impact energy (notch toughness)
Härte	hardness

Nächste
Vorlesung:
Kapitel
18

28