



Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

5. Materialklassen

Metalle, Keramiken, Polymere, Komposite

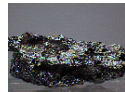
Schwerpunkte:

- ❖ Phasendiagramme von Legierungen
- ❖ Zirkon
- ❖ Statistische Beschreibung eines Polymerpräparates

Kapitel des
Lehrbuches:
9-13

Hausaufgaben:
3. Kapitel:
3-5, 8, 10, 12, 14,
18, 21, 24, 25, 27

Metalle



Eigenschaften:

- viele Elemente mit diversen Eigenschaften
- i. A. hohe Dichte
- fest bei Raumtemperatur (bis auf Ga und Hg)
- i. A. hohe Festigkeit und Zähigkeit
- i. A. plastisch
- Neigung zur Korrosion
- Eigenschaften können relativ leicht geändert werden durch Legierung
- hohe elektrische und Wärmeleitfähigkeit
- Metallische Farbe
- oft nicht biokompatibel

Struktur:

- Metallbindung
- gleich große Atome (in den reinen Metallen)
- kristallin (am meisten hexagonal, oder kubisch)*
- polikristallin**

Anwendungsbeispiele:

- Kronen, Brücken
- Implantate
- Plombe
- kieferorthopädische Geräte

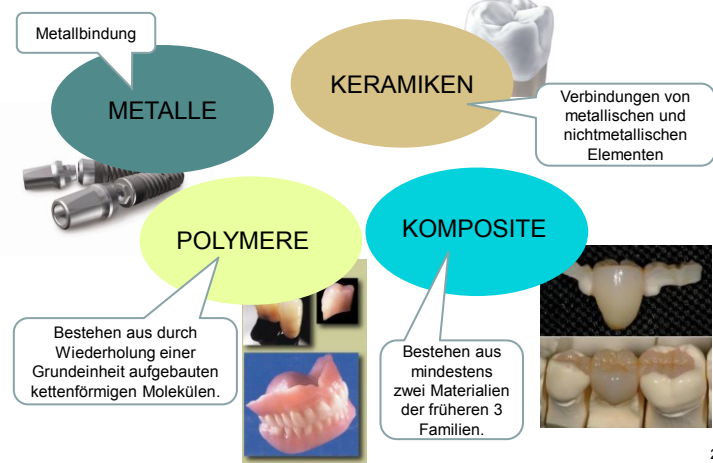
Herstellung: Schmelzen,
Gießen



amorphes
Metallglas!

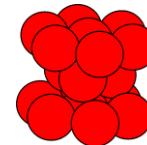
3

Zahnärztliche Materialklassen



2

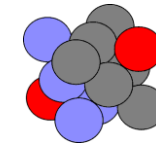
***Warum ist das hexagonale und das kubische Gitter so häufig bei Metallen?** Dichte Packung von gleich großen Kugeln



hexagonal-dichtest-
gepackt (hcp)

Z.B. Ti, Cd, Co, Zn, ...

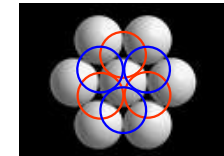
Raumerfüllung: 74 %



kubisch-flächenzentriert
(fcc)

Z.B. Ag, Au, Pt, Al, Cu, Ni, ...

74 %



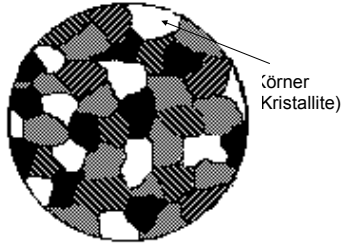
weniger dicht:
kubisch-
raumzentriert
(bcc)
Z.B. Fe, Cr, ...

68 %

4

**Polykristalline Struktur

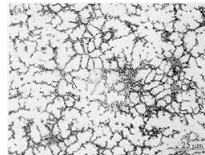
Mikroskopisches Niveau: Gefüge



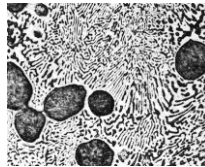
Untersuchung:

- Schleifen/Polieren
- Ätzen
- Mikroskopieren

homogenes Gefüge



heterogenes Gefüge



5

Legierungen Ziel: Verbesserung bestimmter Eigenschaften, z.B.

- Korrosionsbeständigkeit z.B. Fe, Ni, Co, ...+Cr
- Härte, Rigidität z.B. Au+Cu
- Adhäsion zw. Metall und Keramik z.B. Edelmetall+Fe, Sn, In

Einteilung nach:

- Metall+Metall, Z.B. Fe+Cr
- Metall+Nichtmetall, Z.B. Fe+C
- dem Gebrauch (z.B. Inlay, Krone, ...)
- dem Grundmaterial (Gold, Palladium, ...)
- der Zahl der Komponente (binär, ternär, kvaternär,...)
- den 3 wichtigsten Komponenten (z.B. Au-Pd-Ag, Ni-Cr-Be, ...)
- dem Phasendiagramm
 - Mischkristall
 - eutektische Legierung
 - peritektische Legierung
 - intermetallische Verbindung



6

Konzentration:

• Massenprozent (c_m): $c_{m,1} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} (\cdot 100\%)$

• Molprozent (c_v): $c_{v,1} = \frac{V_1}{V_1 + V_2} (\cdot 100\%) \rightarrow \text{Eigenschaften!}$

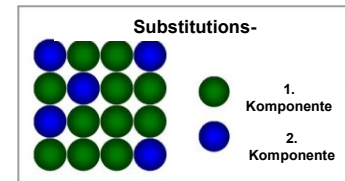
(z.B. Ni-Cr-Mo-Be-Legierung:
Be 1,8 %m/m \leftrightarrow 11 %v/v)

$$\left(\begin{array}{l} \text{Zur Umrechnung:} \\ c_{v,1} = \frac{c_{m,1} \cdot M_2}{c_{m,1} \cdot M_2 + c_{m,2} \cdot M_1} (\cdot 100\%) \quad c_{m,1} = \frac{c_{v,1} \cdot M_1}{c_{v,1} \cdot M_1 + c_{v,2} \cdot M_2} (\cdot 100\%) \\ \text{Mittlere Dichte: } \bar{\rho} = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2}{c_{m,1} \cdot \rho_2 + c_{m,2} \cdot \rho_1} \end{array} \right)$$

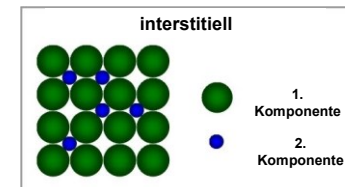
7

Feste Lösung oder Mischkristall

Lösbarkeit sowohl in der Schmelze als auch in der festen Phase \rightarrow homogenes Gefüge



Z.B. Cu-Ni, Pd-Ag, Au-Cu, ...



Z.B. Fe-C, CP Ti (O, C, N, H), ...

(CP: commercial purity)

8

Löslichkeitsvoraussetzungen bei Substitutionsmischkristallen:

- etwa gleiche Atomgröße ($< 15\%$)
- gleiches Raumgitter
- ähnliche Elektronegativität
- gleiche Wertigkeit

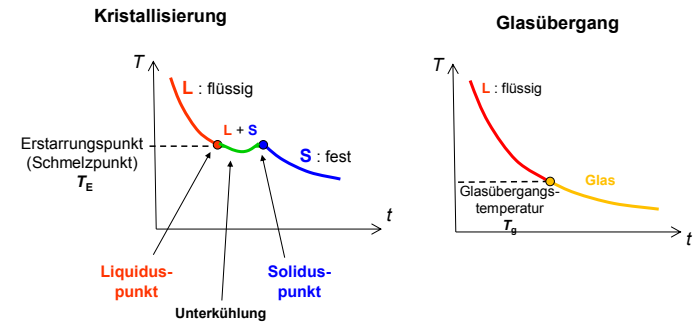
Metall	Durchmesser (nm)	Raumgitter	E.N.
Au	0,2882	fcc	2,4
Pt	0,2775	fcc	2,2
Pd	0,2750	fcc	2,2
Ag	0,2888	fcc	1,9
Cu	0,2556	fcc	1,9
Ni	0,25	fcc	1,8
Sn	0,3016	tetragonal	1,8

Löslichkeitsvoraussetzungen bei interstitiellen Mischkristallen:

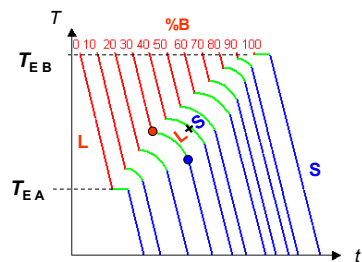
- „gelöste“ Atome wesentlich kleiner
- Menge der „gelösten“ Atome klein ($< 10\%$)

Die Eigenschaften der Mischkristalle sind oft besser, als die eines jeden Komponenten.

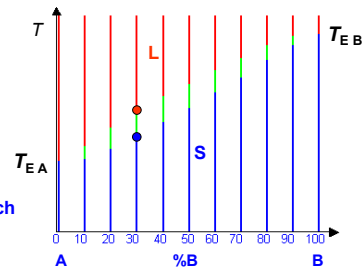
Abkühlkurve eines reinen Metalles



Abkühlkurve eines Mischkristalls:

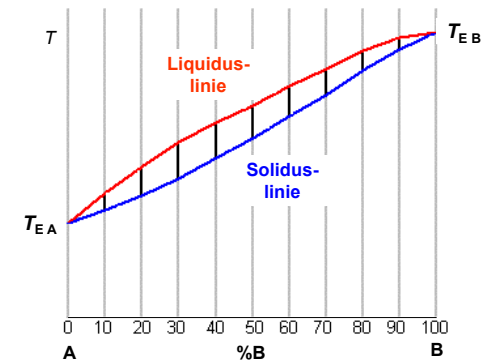


Phasendiagramm:



Im Gleichgewicht! = unendlich langsames Abkühlen

Gleichgewicht!



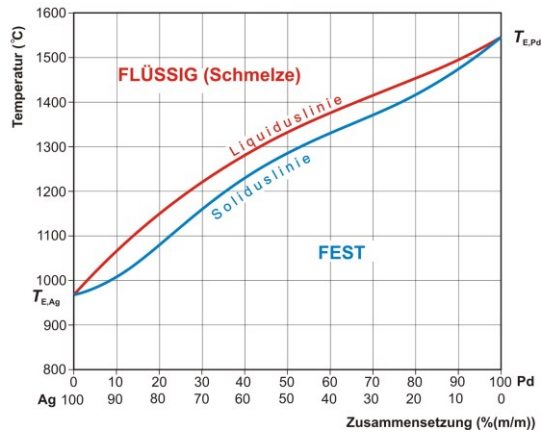
9

10

11

12

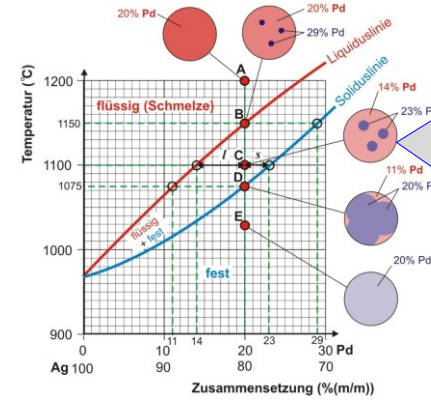
Beispiel: Silber (Ag) + Palladium (Pd)



13

Konzentrationen und Mengenanteile

Beispiel: 80%(m/m) Ag + 20%(m/m) Pd

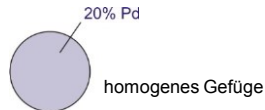


Zum Beispiel im Punkt C:

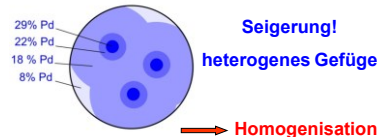
- Konzentrationen in der flüssigen Phase:
14% Pd + 86% Ag
- Konzentrationen in der festen Phase:
23% Pd + 77% Ag
- Mengenanteil der flüss. Phase:
$$\frac{s}{l+s} = \frac{23-20}{23-14} = \frac{3}{9} = 33,3\%$$
- Mengenanteil der festen Phase:
$$\frac{l}{l+s} = \frac{20-14}{23-14} = \frac{6}{9} = 66,6\%$$

14

Im Gleichgewicht = unendlich langsam abgekühlt



Kein Gleichgewicht = praktisches Abkühlen

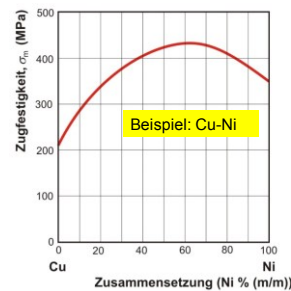


Seigerung!

heterogenes Gefüge

Homogenisation

Einfluss der Legierung auf die Eigenschaften



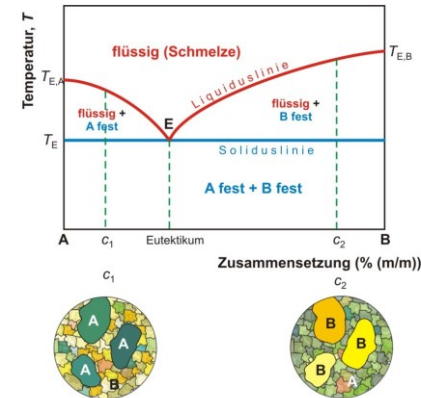
15

Eutektische Legierungen

Vollständige Unlöslichkeit im festen Zustand →

Seigerung →

heterogenes Gefüge



Beispiel:

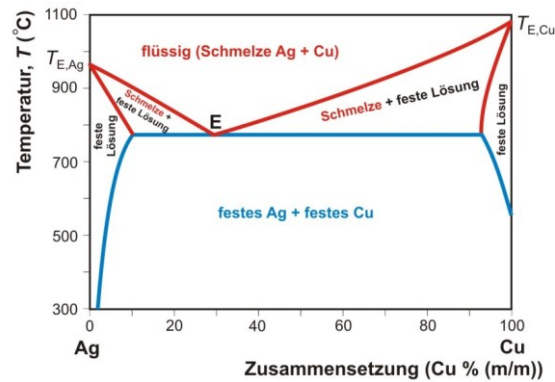
0°C 800°C
77% H₂O + 23% NaCl:
T_E = -21°C

Wood-Metall (Bi-Pb-Cd-Sn):
T_E = 68°C

>230°C

16

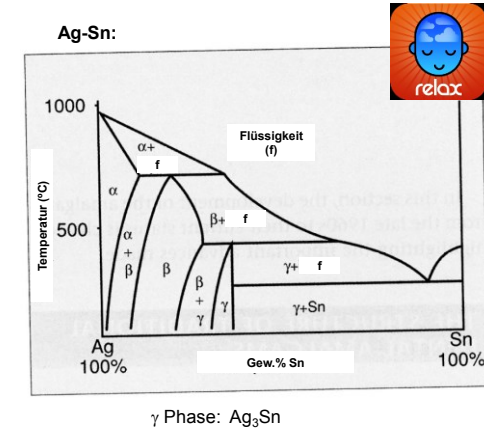
Z.B. Ag-Cu



17

Amalgam

typische Zusammensetzung	
Metall	Gew. %
Hg	50
Ag	34
Sn	13
Cu	2
Zn	1



18

Keramiken

Definition: Verbindung metallischer und nichtmetallischer Elemente (Es gibt Ausnahmen!)



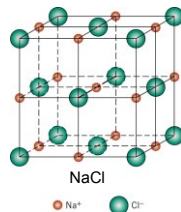
Allgemeine Eigenschaften:

- mittlere Dichte
- fest
- hohe Steifigkeit, Härte, aber Brüchigkeit, schlechte Bearbeitungsfähigkeit
- gute Hitze- und Korrosionsbeständigkeit
- schlechte Hitzeschockbeständigkeit
- schlechte elektrische und Wärmeleitung
- diverse optische Eigenschaften
- Biokompatibilität



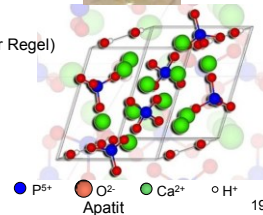
Struktur:

- Ionenbindung, kovalente Bindung
- unterschiedlich große Ionen (in der Regel)
- kristallin oder amorph



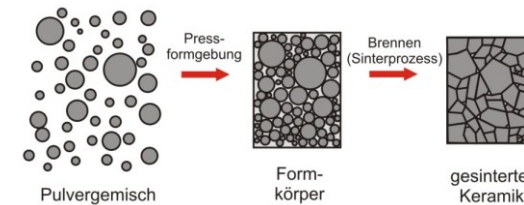
Anwendungsbeispiele:

- Kronen, Brücken
- Wurzelstift
- Zemente
- Polierstoffe



19

Herstellung: Ausbrennen, Sintern



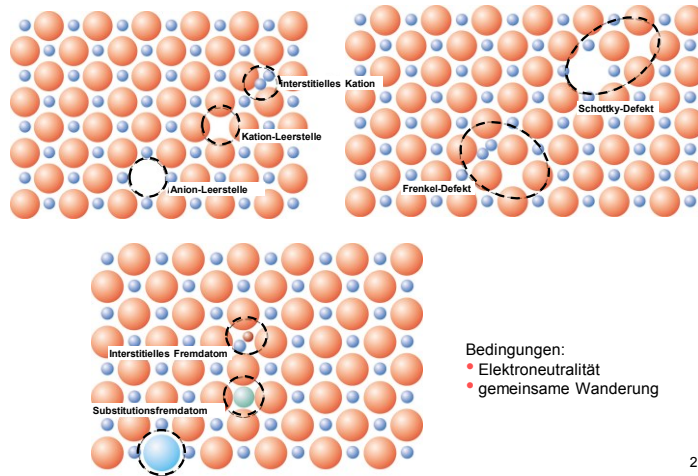
Porosität!



Glaskeramik: Amorphes Glas → Kristall Umwandlung bei hoher Temperatur (ohne Schmelzen)
⇒ feinkörniges polykristallines Material

20

Defekte:

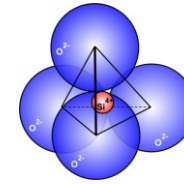


21

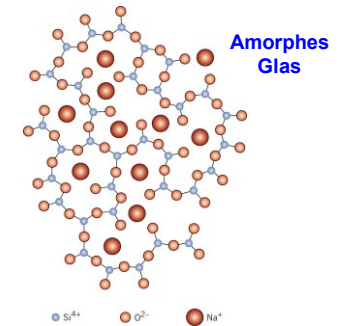
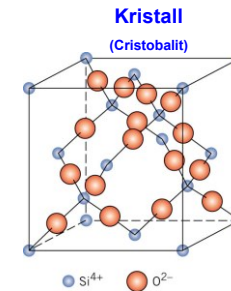
Silikate

Mehrheitselemente: Si és O

Baueinheit:
 SiO_4^{4-}

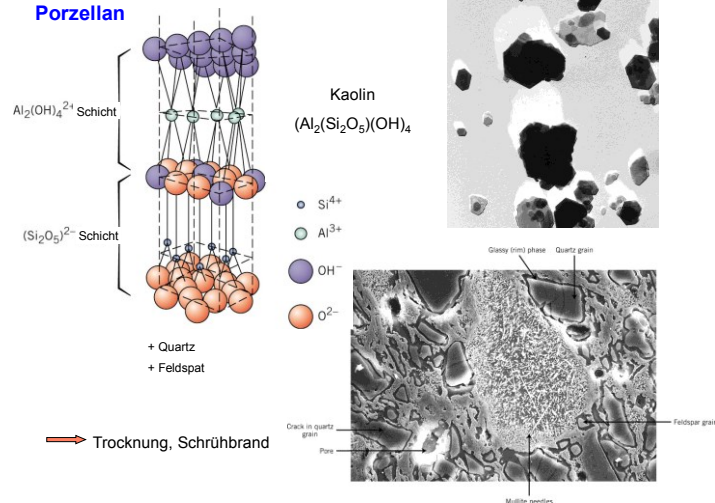


• Siliciumdioxid (SiO_2)



22

Porzellan



Oxidkeramiken

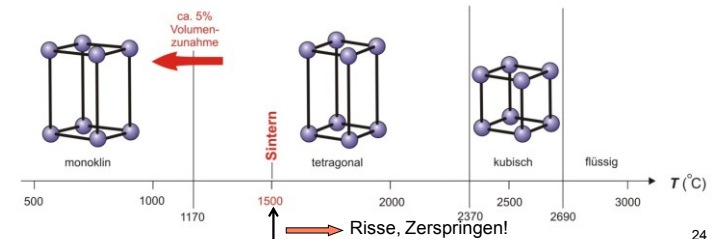
• Zirkoniumdioxid (ZrO_2 , Zirkon)

Eigenschaften (im dichtgesinterten Zustand):

- weiß
- Dichte etwa 6 g/cm^3
- Hohe Festigkeit und Zähigkeit, steif, hart (s. später)

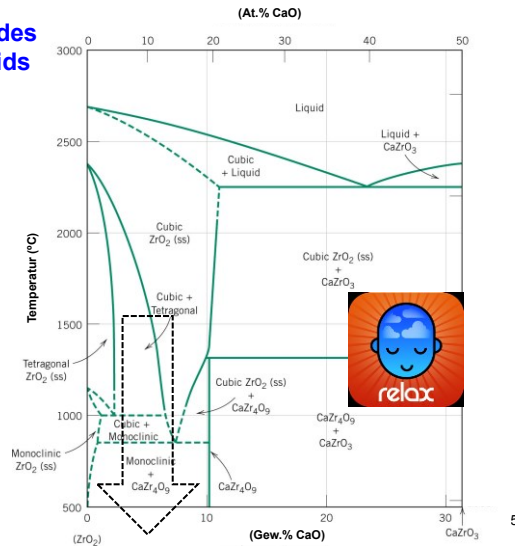
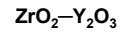
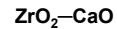
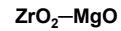
Herstellung:

- Aus Zirkonsand (ZrSiO_4)
- Teure Reinigung, Hafniumoxid bleibt etwa 1% (Radioaktivität $<1 \text{ Bq/g}$)
- Heißes oder kaltes Pressen, Sinterprozess

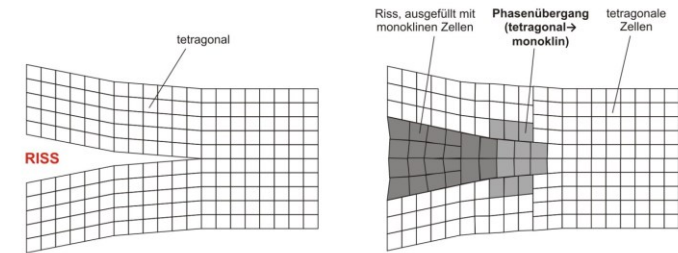


24

Stabilisierung des Zirkoniumdioxids



„Selbstreparatur“ von Zirkon:



→ Durch Zugabe von Zirkon können andere Keramiken auch verstärkt werden.

→ s. Umwandlungsverstärkte Keramiken

26

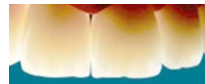
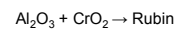
Aluminiumoxid (Al_2O_3)

Eigenschaften:

- durchsichtig, weiß
- Schmelzpunkt 2700°C
- Dichte cca. 4 g/cm³
- Sehr hart (s. später)



Kristalline Strukturen: Korund



27

Polymere

Definition des Polymers: aus Basiseinheiten, den sog. Monomeren bestehendes, langes kettenartiges Makromolekül

Eigenschaften:

- Kleine Dichte
- Fest oder flüssig bei Raumtemperatur
- kleine/mittlere Steifigkeit, Härte, gute Bearbeitbarkeit
- Viskoelastizität
- Verhältnismäßig schwache Wärme- und Korrosionsbeständigkeit
- Schlechte elektrische und Wärmeleitung
- Diverse optische Eigenschaften



Struktur:

- innerhalb der Kette kovalente, zwischen den Ketten eher sekundäre Bindungen
- Semikristallin oder amorph

Herstellung:









- ❖ Polyaddition
- ❖ Polykondensation

Anwendungsbeispiele:

- Zahnersatz
- Füllungsmaterial
- Abdruckmaterial

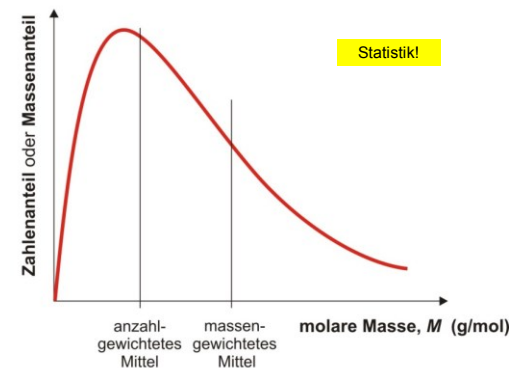
28

Monomer

Bezeichnung des Polymers	Struktur des Monomers	Anwendung: Industrie	Anwendung: Zahnmedizin
Polyethylen (PE)	<chem>CC</chem>		
Polyvinylchlorid (PVC)	<chem>CCCl</chem>		
Polytetrafluorethylen (PTFE, Teflon)	<chem>CC(F)(F)F</chem>		
Polymethylmethacrylat (PMMA, Plexiglas)	<chem>CC(C)C(=O)OC</chem>		

29

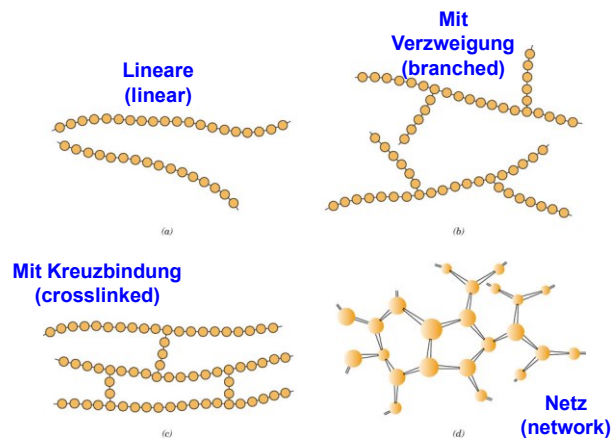
Polymer-Präparat



Polymerisationsgrad : $\frac{\bar{M}_n}{M_{\text{Monomer}}}$

Polydispersionsgrad : $\frac{\bar{M}_m}{\bar{M}_n}$

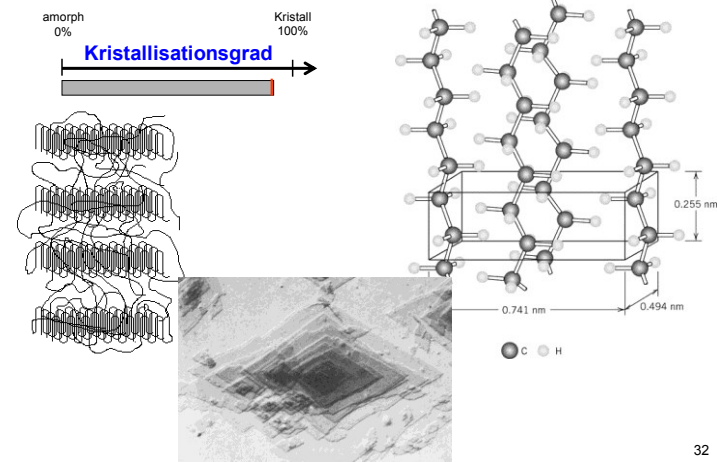
30



Thermoplaste ↔ Duroplaste

31

Semikristalline (teilkristalline) Struktur



32

Komposite (Verbundwerkstoffe)

Eigenschaften:

- Kleine Dichte
- Fest bei Raumtemperatur
- Vorteilhafte Eigenschaften der einzelnen Komponenten werden kombiniert
- Hohe Festigkeit, gleichzeitig hohe Elastizität und Zähigkeit
- Diverse optische Eigenschaften

Anwendungsbeispiele:

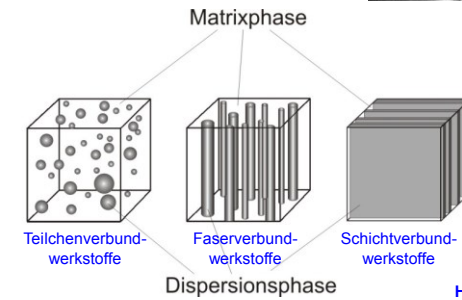
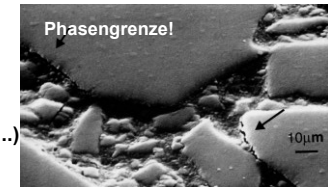
- Füllungsmaterial
- Instrumente



33

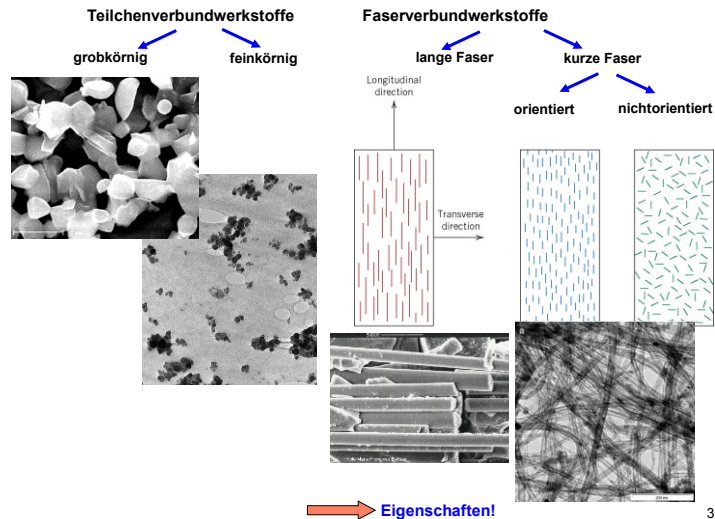
Struktur der Komposite

Matrix (Polymer, Metall, Keramik)
+
Dispersierter Stoff (Keramik, Metall, ...)



Hybrid-Verbundwerkstoff:
mehrere dispergierte
Komponente

34

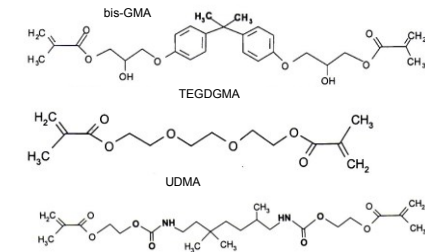


35

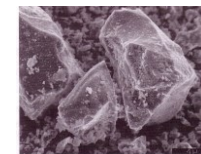
Komposite in der Zahntechnik

Matrix: Polymer (Methacrylat)

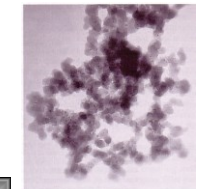
Teilchen: Glas, Keramikristalle (z.B. Quarz), Polymer, + Pigment, + UV-Absorbent, ...



grobkörnig
(0,1-100 µm)



feinkörnig
(≈ 40 nm)



**Nächste
Vorlesung:
Kapitel
14-15**

36