



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



amorphes Metallglas!

Struktur:

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

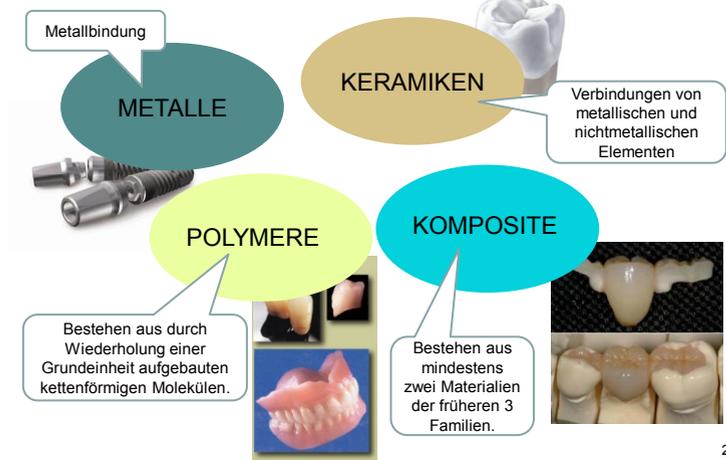
Anwendungsbeispiele:

- > Kronen, Brücken
- > Implantate
- > Plombe
- > kieferorthopädische Geräte

Herstellung: Schmelzen, Gießen

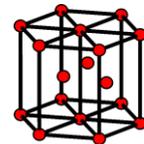
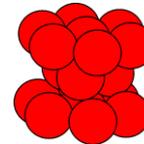
3

Zahnärztliche Materialklassen



2

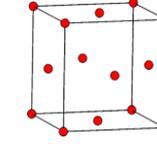
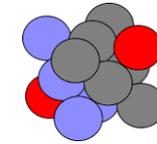
*Warum ist das hexagonale und das kubische Gitter so häufig bei Metallen? Dichte Packung von gleich großen Kugeln



hexagonal-dichtestgepackt (hcp)

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

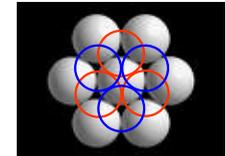
Raumfüllung: 74 %



kubisch-flächenzentriert (fcc)

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

74 %



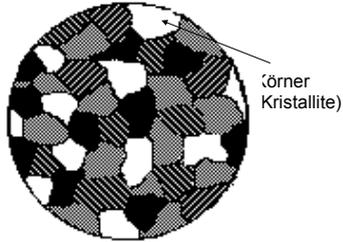
weniger dicht: kubisch-raumzentriert (bcc)
Z.B. Fe, Cr, ...

68 %

4

**Polykristalline Struktur

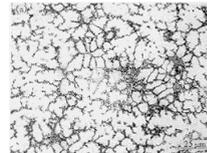
Mikroskopisches Niveau: Gefüge



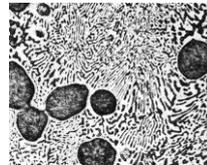
Untersuchung:

- 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)

Zur Umrechnung:

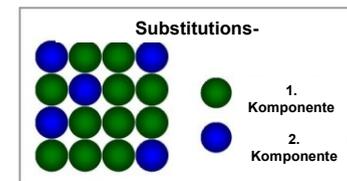
$$c_{v,1} = \frac{c_{m,1} \cdot M_2}{c_{m,1} \cdot M_2 + c_{m,2} \cdot M_1} (\cdot 100\%) \quad c_{m,1} = \frac{c_{v,1} \cdot M_1}{c_{v,1} \cdot M_1 + c_{v,2} \cdot M_2} (\cdot 100\%)$$

Mittlere Dichte: $\bar{\rho} = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2}{c_{m,1} \cdot \rho_2 + c_{m,2} \cdot \rho_1}$

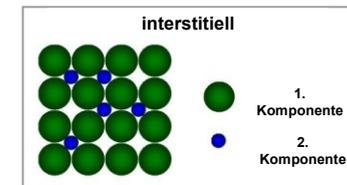
7

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 |

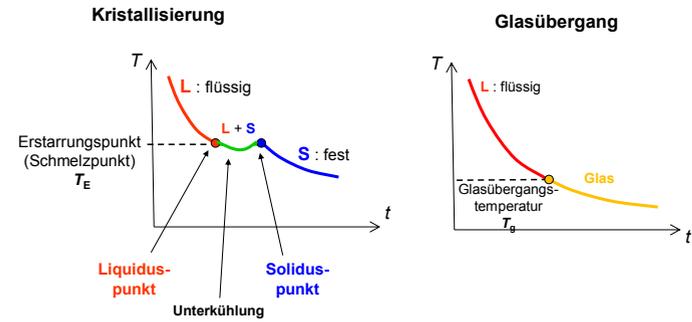
Löslichkeitsvoraussetzungen bei interstitiellen Mischkristallen:

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

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

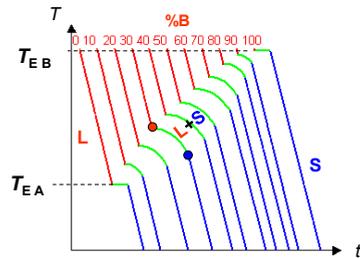
9

Abkühlkurve eines reinen Metalles

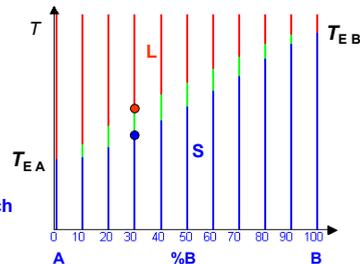


10

Abkühlkurve eines Mischkristalls:



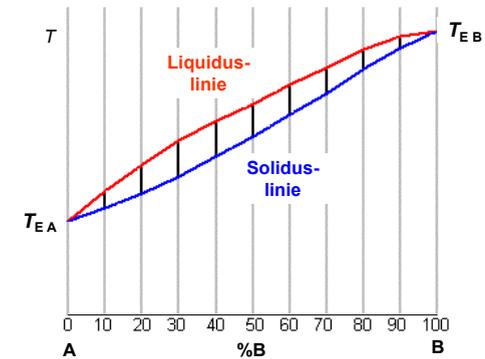
Phasendiagramm:



Im Gleichgewicht! = unendlich langsames Abkühlen

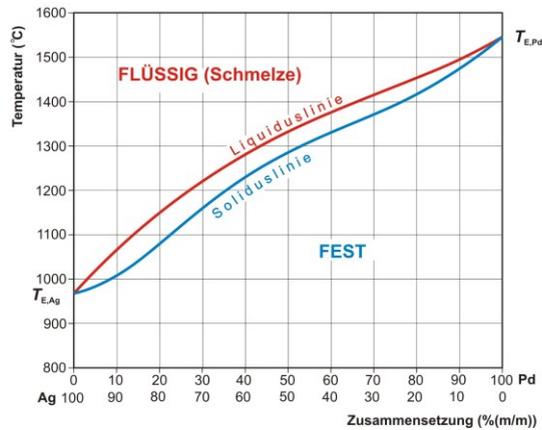
11

Gleichgewicht!



12

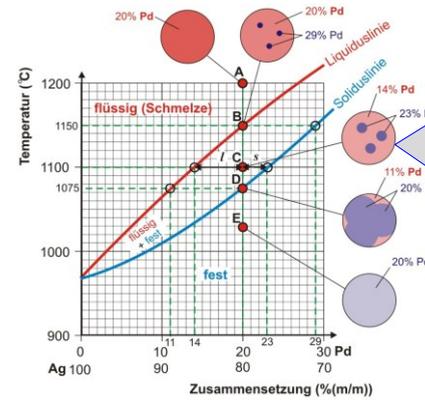
Beispiel: Silber (Ag) + Palladium (Pd)



13

Konzentrationen und Mengenanteilen

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

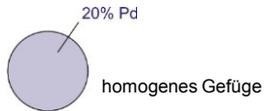


Zum Beispiel im Punkt C:

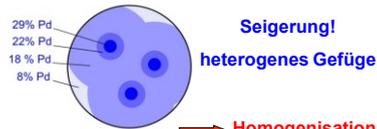
- Konzentrationen in der flüssigen Phase:
14% Pd + 86% Ag
- Konzentrationen in der festen Phase:
23% Pd + 77% Ag
- Mengenanteil der flüss. Phase:
 $\frac{s}{l+s} = \frac{23-20}{23-14} = \frac{3}{9} = 33,3\%$
- Mengenanteil der festen Phase:
 $\frac{l}{l+s} = \frac{20-14}{23-14} = \frac{6}{9} = 66,6\%$

14

Im Gleichgewicht = unendlich langsam abgekühlt

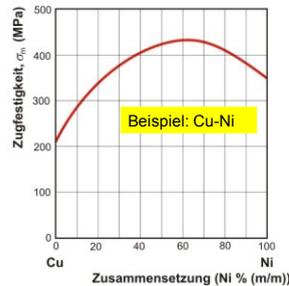


Kein Gleichgewicht = praktisches Abkühlen



Seigerung!
heterogenes Gefüge
Homogenisation

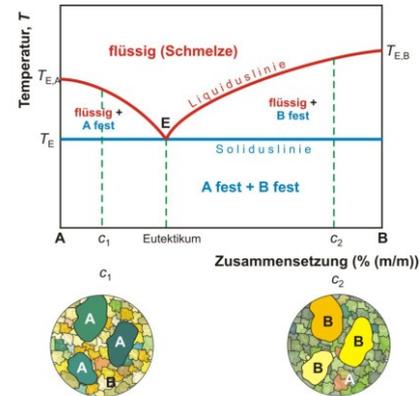
Einfluss der Legierung auf die Eigenschaften



15

Eutektische Legierungen

Vollständige Unlöslichkeit im festen Zustand →



Seigerung →

heterogenes Gefüge

Beispiel:

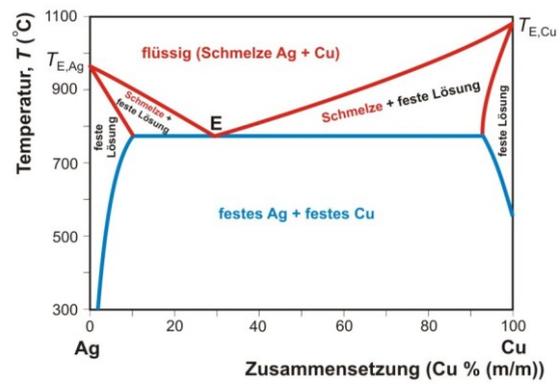
0°C
800°C
77%H₂O+23%NaCl:
T_E = -21°C

Wood-Metall (Bi-Pb-Cd-Sn):
T_E = 68°C

>230°C

16

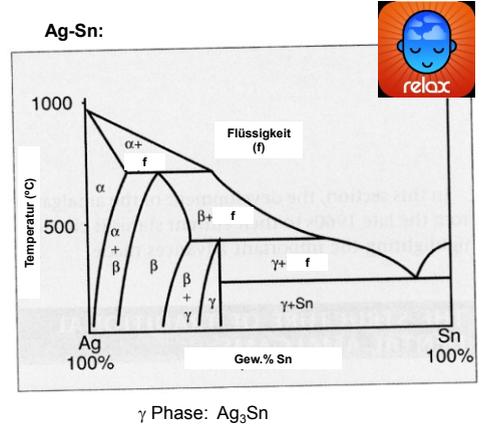
Z.B. Ag-Cu



17

Amalgam

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



γ Phase: Ag₃Sn

18

Keramiken

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



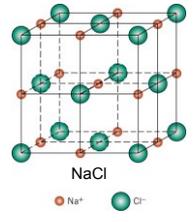
Allgemeine Eigenschaften:

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



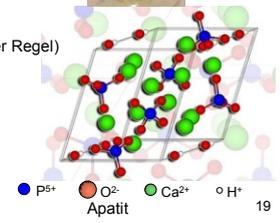
Struktur:

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



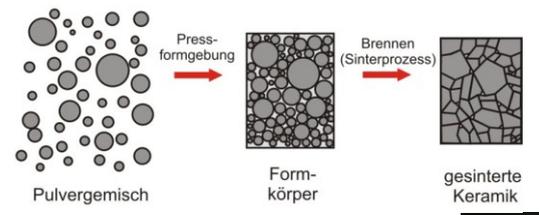
Anwendungsbeispiele:

- Kronen, Brücken
- Wurzelstift
- Zemente
- Polierstoffe



19

Herstellung: Ausbrennen, Sintern



Porosität!

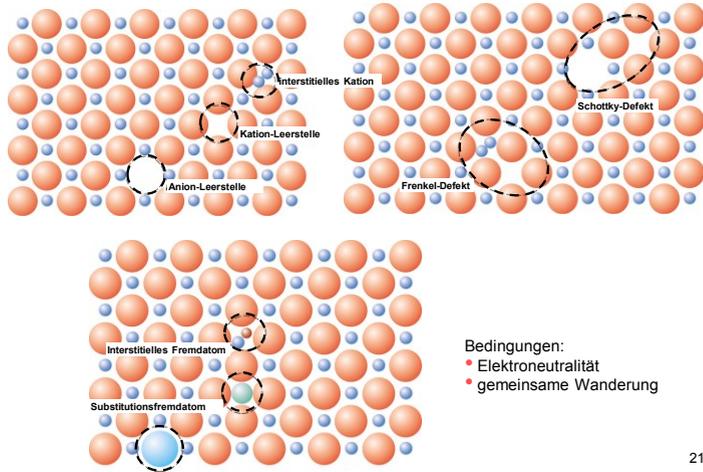


Glaskeramik: Amorphes Glas → Kristall Umwandlung bei hoher Temperatur (ohne Schmelzen)

⇒ feinkörniges polykristallines Material

20

Defekte:

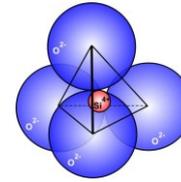


21

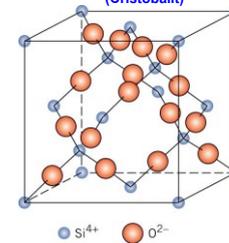
Silikate

Mehrheitselemente: Si és O

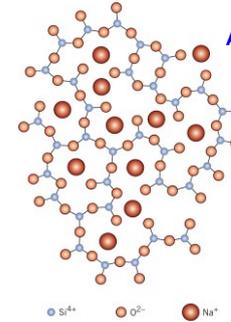
Baueinheit:
 SiO_4^{4-}



• Siliciumdioxid (SiO_2) Kristall (Cristoballit)

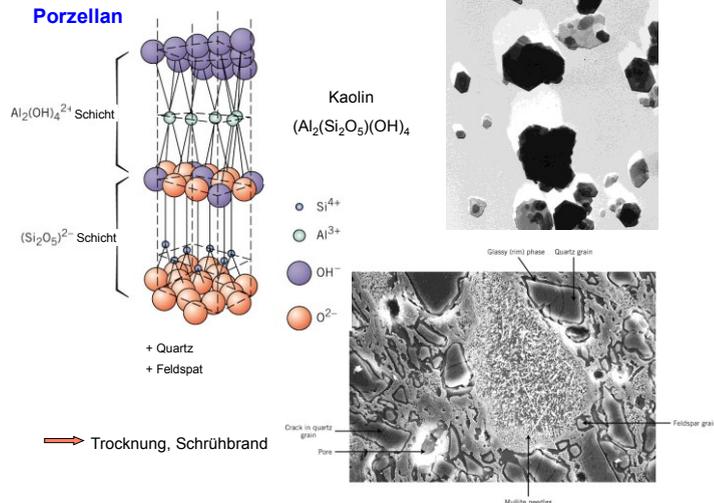


Amorphes Glas



22

Porzellan



Oxidkeramiken

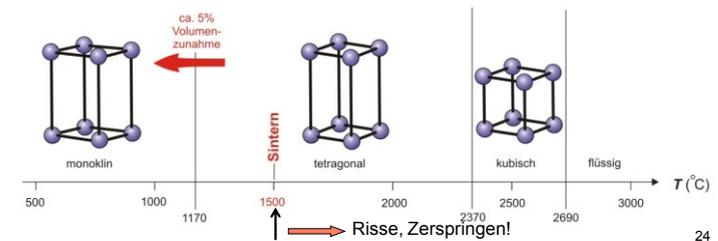
• Zirkoniumdioxid (ZrO_2 , Zirkon)

Eigenschaften (im dichtgesinterten Zustand):

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

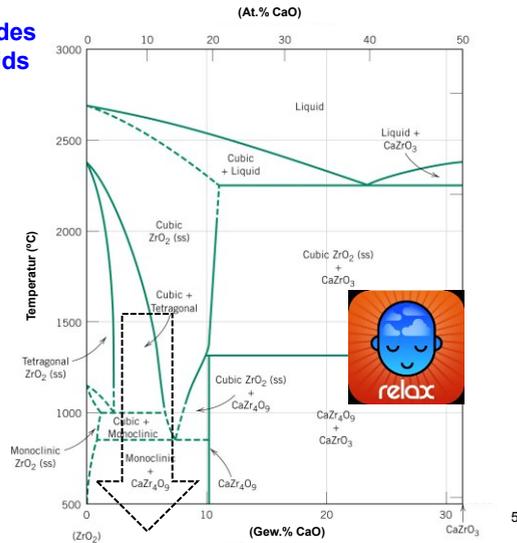
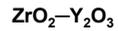
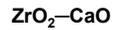
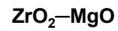
Herstellung:

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

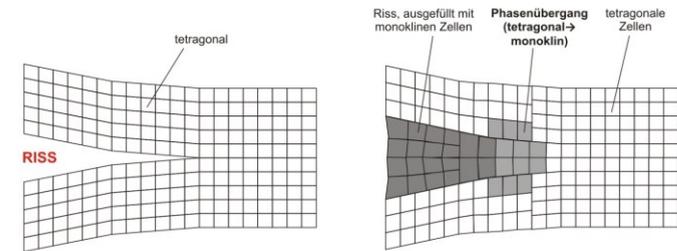


24

Stabilisierung des Zirkoniumdioxids



„Selbstreparatur“ von Zirkon:



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

➔ s. Umwandlungsverstärkte Keramiken

26

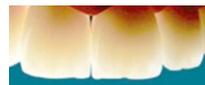
Aluminiumoxid (Al_2O_3)

Eigenschaften:

- durchsichtig, weiß
- Schmelzpunkt $2700^\circ C$
- Dichte cca. 4 g/cm^3
- Sehr hart (s. später)



Kristalline Strukturen: Korund



27

Polymere

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

Eigenschaften:

- Kleine Dichte
- Fest oder flüssig bei Raumtemperatur
- kleine/mittlere Steifigkeit, Härte, gute Bearbeitungsfähigkeit
- 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

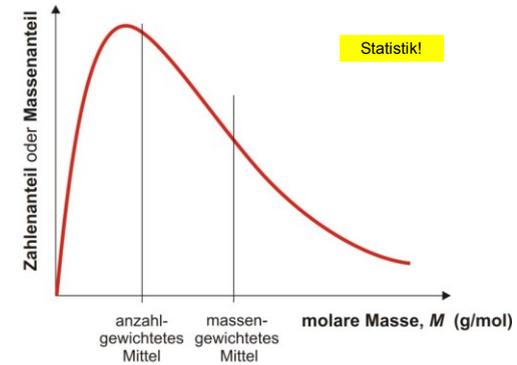
Monomer

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

- **Homopolymer:** Monomere der gleichen Art
- **Copolymer:** Monomere unterschiedlicher Arten

29

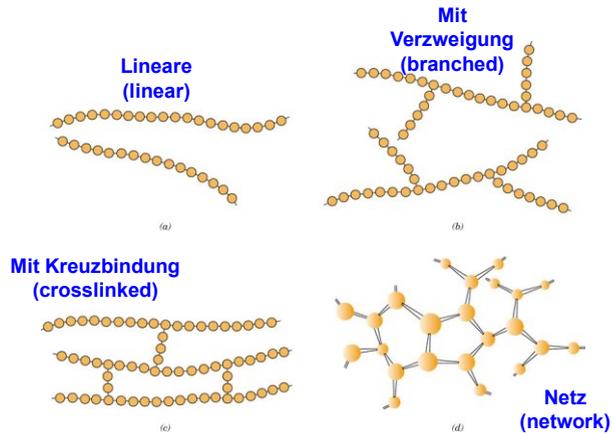
Polymer-Präparat



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

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

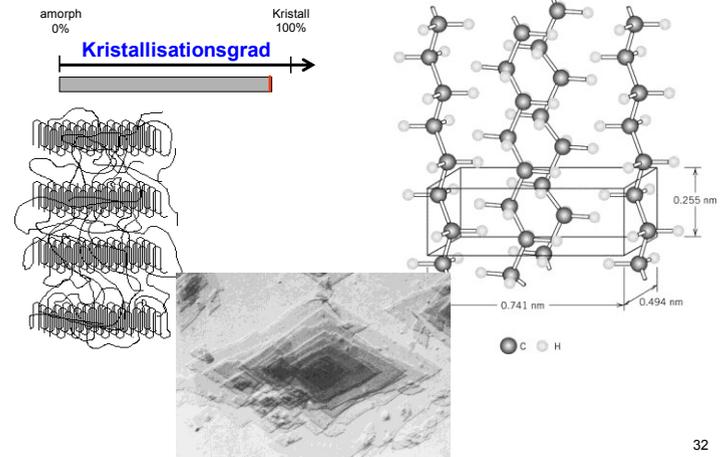
30



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:

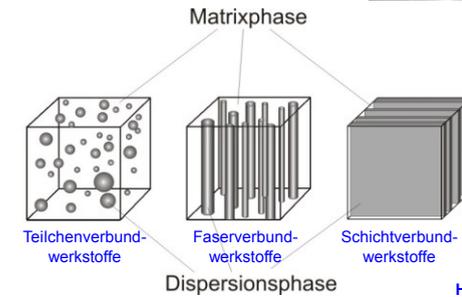
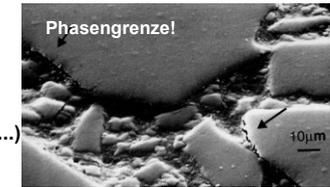
- > Füllungsmaterial
- > Instrumente



33

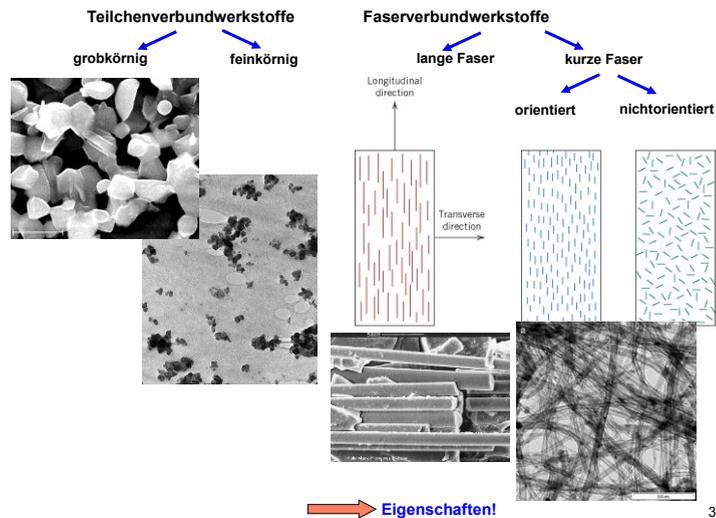
Struktur der Komposite

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



Hybrid-Verbundwerkstoff:
mehrere dispergierte
Komponente

34

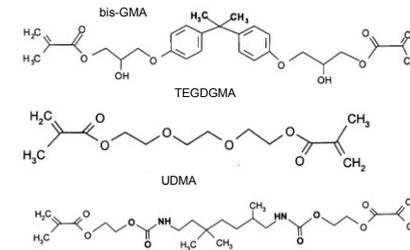


35

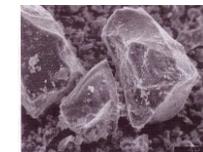
Komposite in der Zahntechnik

Matrix: Polymer (Methacrylat)

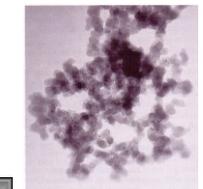
Teilchen: Glas, Keramikkristalle (z.B. Quarz), Polymer, + Pigment, + UV-Absorbent, ...



grobkörnig
(0,1-100 µm)



feinkörnig
(= 40 nm)



**Nächste
Vorlesung:
Kapitel
14-15**

36