

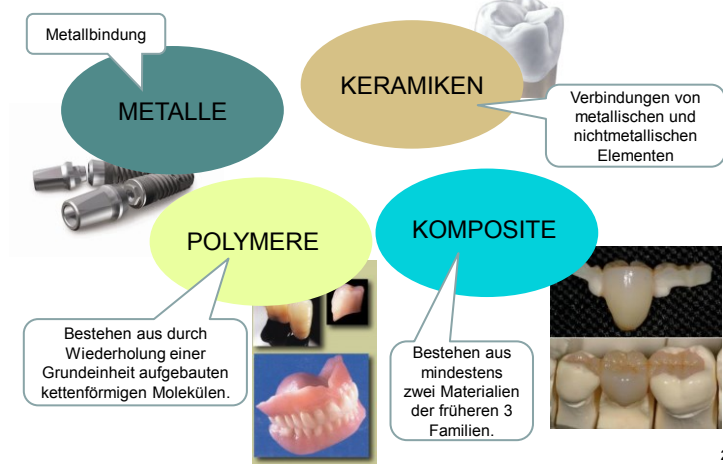


Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

5. Materialklassen

Kapitel des
Lehrbuches:
9-13
Hausaufgaben:
3. Kapitel:
3-5, 8, 10, 12, 14,
18, 21, 24, 25, 27

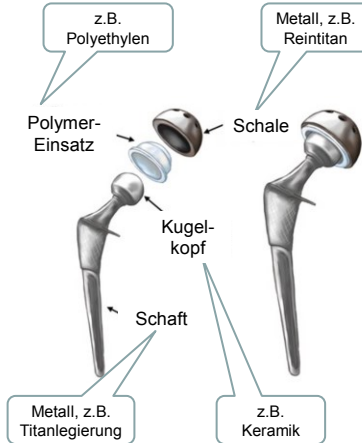
Zahnärztliche Materialklassen



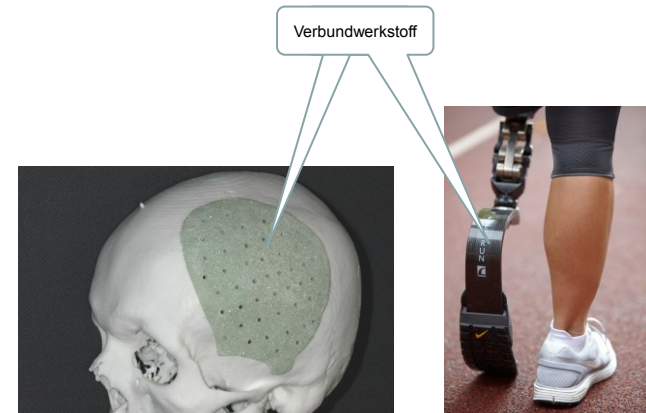
2

Einige humanmedizinische
Anwendungen:

Hüftgelenkprothese



3



4

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) – es gibt aber auch amorphes Metallglas!
- polikristallin

Anwendungsbeispiele:

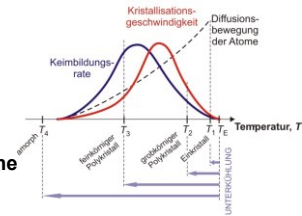
- Kronen, Brücken
- Implantate
- Plombe
- kieferorthopädische Geräte

Herstellung: Schmelzen, Gießen

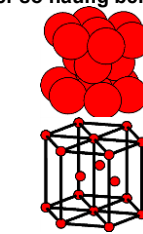
5

Warum sind die meisten Metalle kristallin?

Packung von gleich großen Kugeln



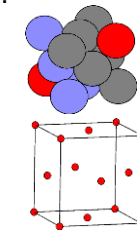
Warum ist das hexagonale und das kubische Gitter so häufig bei Metallen?



hexagonal-dichtest-gepackt (hcp)

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

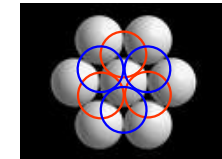
Raumerfüllung: 74 %



kubisch-flächenzentriert (fcc)

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

74 %



weniger dicht: kubisch-raumzentriert (bcc)

Z.B. Fe, Cr, ...

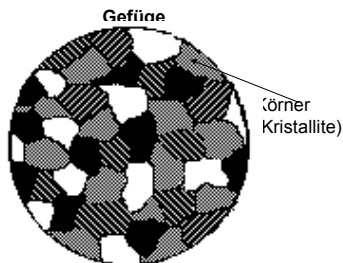
68 %

6

Warum sind die meisten Metalle polykristallin?

Packung von gleich großen Kugeln, einfache Gitterstruktur, schnelle Keimbildung

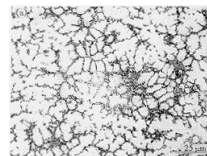
Untersuchung der polykristallinen Struktur:



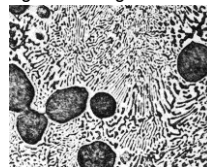
Untersuchungsmethode:

- Schleifen/Polieren
- Ätzen
- Mikroskopieren

homogenes Gefüge



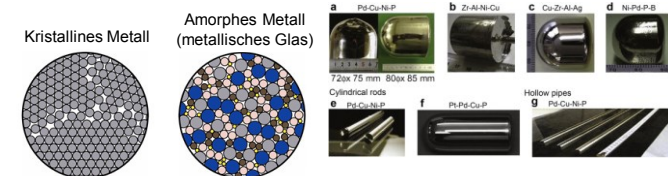
heterogenes Gefüge



7

Metallische Gläser (amorphe Metalle)

- Das erste Metallglas: 1960iger Jahre, Au-Si-Legierung, $\approx 10^6$ K/s Abkühlgeschwindigkeit(!), Größe < 1 mm.
- Das erste kommerzielle Metallglas: 1990iger Jahre, Zr-Ti-Cu-Ni-Be-Legierung, ≈ 1 K/s Abkühlgeschwindigkeit, Größe ≈ 1 cm.



Besondere Eigenschaften der amorphen Metalle (BMG) vs. kristallinen Metalle:

- weniger steif
- elastischer
- stärker
- härter
- weniger Abnutzung
- weniger Korrosion
- bessere Biokompatibilität

8

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:

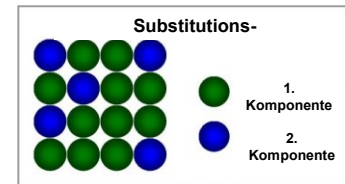
- Metall+Metall, Z.B. Fe+Cr
- Metall+Nichtmetall, Z.B. Fe+C
- dem Gebrauch (z.B. Inlay, Krone, ...)
- dem Grundmaterial (Gold, Palladium, ...)
- der Zahl der Komponente (binär, ternär, kvaternär,...)
- den 3 wichtigsten Komponenten (z.B. Au-Pd-Ag, Ni-Cr-Be, ...)
- dem Phasendiagramm
 - Mischkristall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



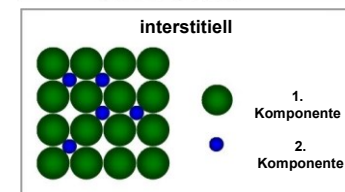
9

Feste Lösung oder Mischkristall

Lösbarkeit sowohl in der Schmelze als auch in der festen Phase →
homogenes Gefüge



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



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

(CP: commercial purity)

10

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

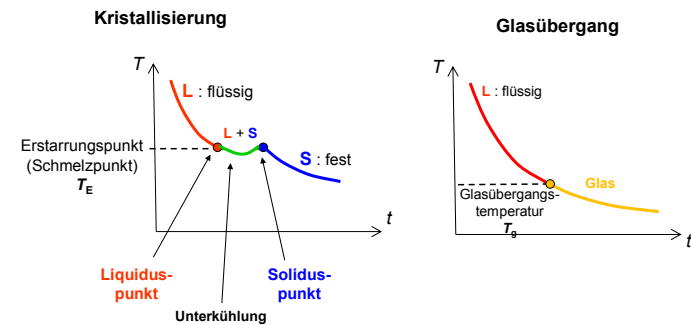
Löslichkeitsvoraussetzungen bei interstitiellen Mischkristallen:

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

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

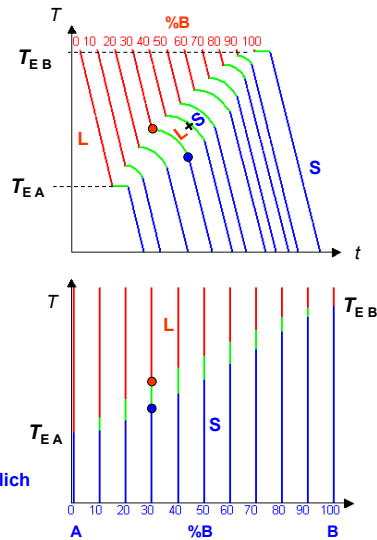
11

Abkühlkurve eines reinen Metalles

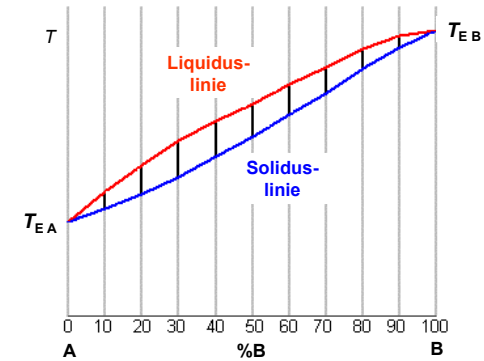


12

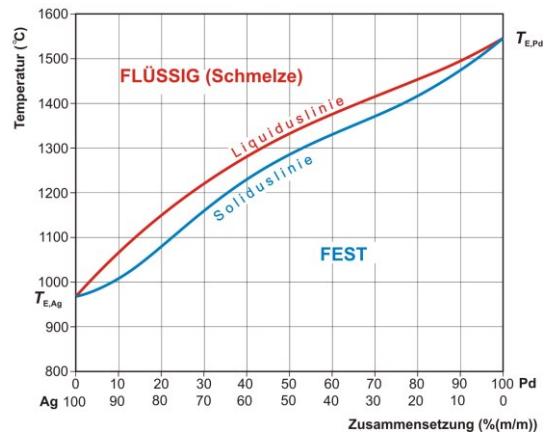
Im Gleichgewicht! = unendlich langsames Abkühlen



Gleichgewicht!

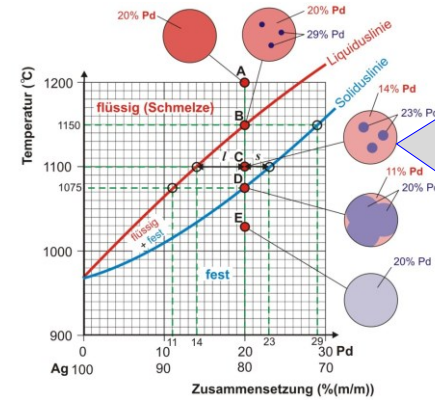


Beispiel: Silber (Ag) + Palladium (Pd)



Konzentrationen und Mengenanteile

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



Zum Beispiel im Punkt C:

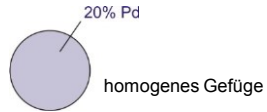
- Konzentrationen in der flüssigen Phase:
14% Pd + 86% Ag
- Konzentrationen in der festen Phase :
23% Pd + 77% Ag
- Mengenanteil der flüss. Phase :

$$\frac{s}{l+s} = \frac{23-20}{23-14} = \frac{3}{9} = 33,3\%$$
- Mengenanteil der festen Phase :

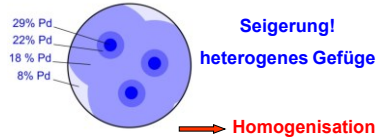
$$\frac{l}{l+s} = \frac{20-14}{23-14} = \frac{6}{9} = 66,6\%$$

4

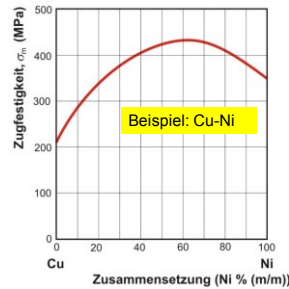
Im Gleichgewicht = unendlich langsam abgekühlt



Kein Gleichgewicht = praktisches Abkühlen



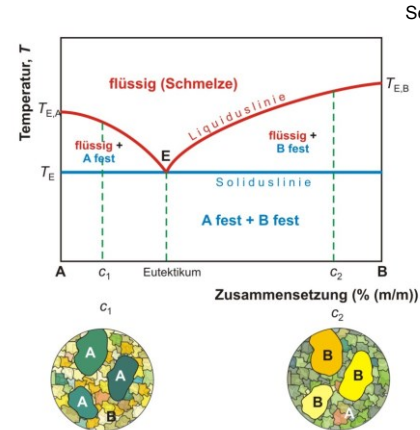
Einfluss der Legierung auf die Eigenschaften



17

Eutektische Legierungen

Vollständige Unlöslichkeit im festen Zustand →



Seigerung → heterogenes Gefüge

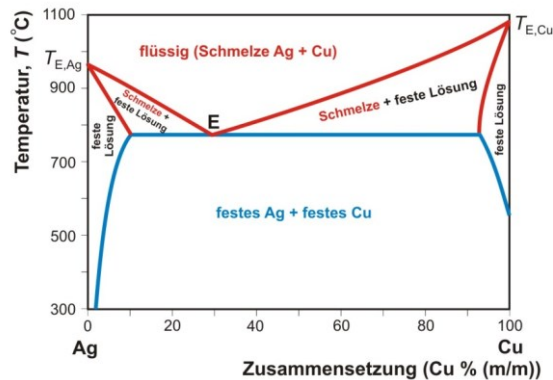
Beispiel:

0°C 800°C
77% H₂O + 23% NaCl:
 $T_E = -21^\circ\text{C}$

Wood-Metall (Bi-Pb-Cd-Sn):
 $T_E = 68^\circ\text{C}$
>230°C

18

Z.B. Ag-Cu

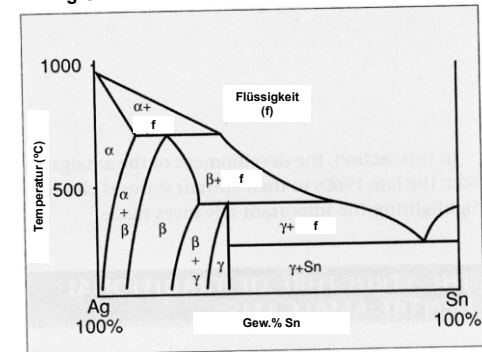


19

Ein Beispiel: Amalgam

Ag-Sn:

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



γ Phase: Ag₃Sn

20

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

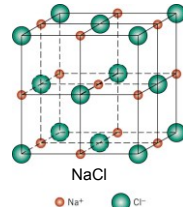


Herstellung:

- Schmelzen
- **Ausbrennen, Sintern**

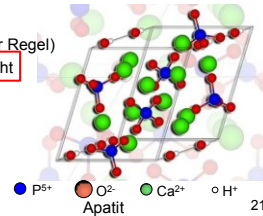
Struktur:

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



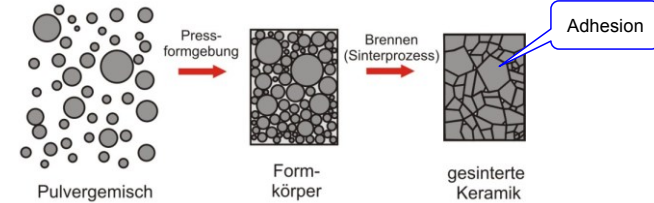
Anwendungsbeispiele:

- Kronen, Brücken
- Wurzelstift
- Zemente
- Polierstoffe



21

Sintern



Ein praktisches Problem: die **Porosität!**



Flüssigphasensintern: Schmelzen + Sintern

22

Struktur

amorph



kristallin

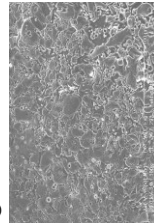
Einkristall



Polikristall

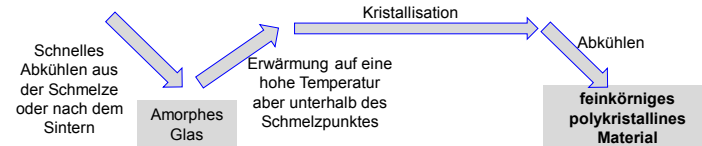


gemischt



(Komplizierte Kristallgitterstruktur mit unterschiedlich großen Ionen.)

Glaskeramik:



23

Oxidkeramiken

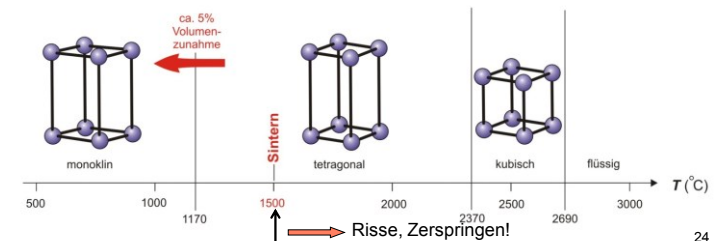
• Zirkoniumdioxid (ZrO₂)

Eigenschaften (im dichtgesinterten Zustand):

- weiß
- Dichte etwa 6 g/cm³
- Hohe Festigkeit und Zähigkeit, steif, hart (s. später)

Herstellung:

- Aus Zirkonsand (ZrSiO₄)
- Teure Reinigung, Hafniumoxid bleibt etwa 1% (Radioaktivität <1 Bq/g!)
- Heißes oder kaltes Pressen, Sinterprozess



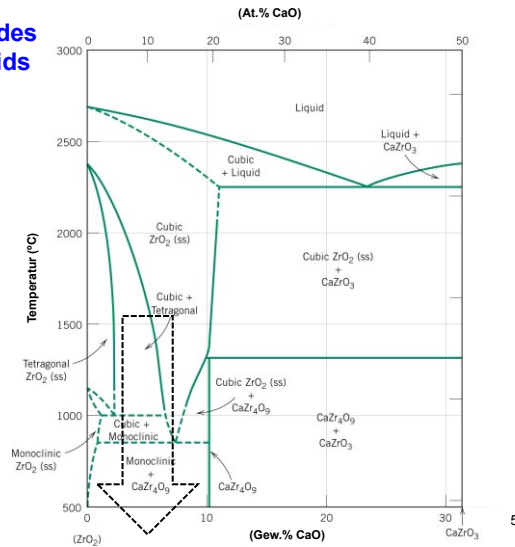
24

Stabilisierung des Zirkoniumdioxids

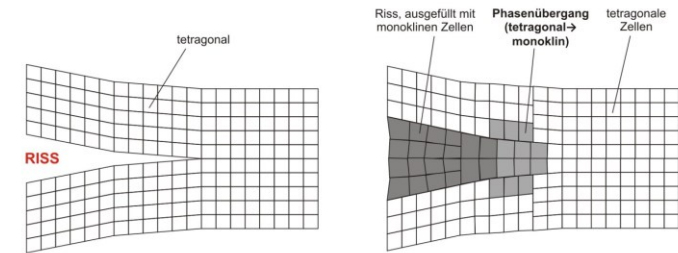
$\text{ZrO}_2\text{--MgO}$

$\text{ZrO}_2\text{--CaO}$

$\text{ZrO}_2\text{--Y}_2\text{O}_3$



„Selbstreparatur“ von Zirkon:



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

→ s. Umwandlungsverstärkte Keramiken

26

Aluminiumoxid (Al_2O_3)

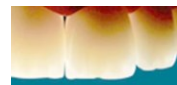
Eigenschaften:

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



Kristalline Strukturen:

- Korund
- $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CrO}_2 \rightarrow \text{Rubin}$
- $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CoO}_2 \rightarrow \text{Zafir}$



Oxidkeramik Kristall + Glas

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

27

28

Monomer

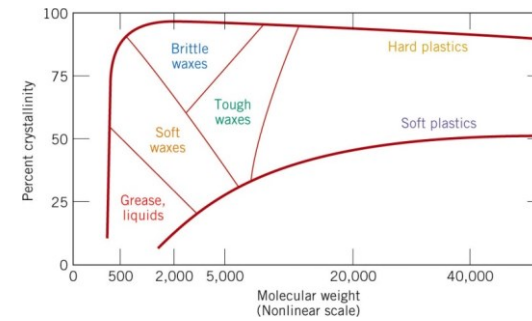
Bezeichnung des Polymers	Struktur des Monomers	Anwendung: Industrie	Anwendung: Zahnmedizin
Polyethylen (PE)	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$		
Polyvinylchlorid (PVC)	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{Cl} \end{array}$		
Polytetrafluorethylen (PTFE, Teflon)	$\begin{array}{c} \text{F} & \text{F} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{F} & \text{F} \end{array}$		
Polymethylmethacrylat (PMMA, Plexiglas)	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{CH}_3 \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{C}=\text{O}-\text{O}-\text{CH}_3 \end{array}$		

• **Homopolymer:**
Monomere der gleichen Art

• **Copolymer:**
Monomere unterschiedlicher Arten

29

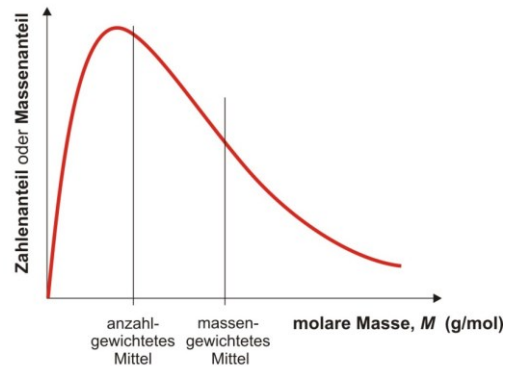
Die Länge (molare Masse) der Polymermoleküle und der Anteil der kristallinen Struktur beeinflussen stark die physikalischen Eigenschaften der Polymere:



30

Polymer-Präparat

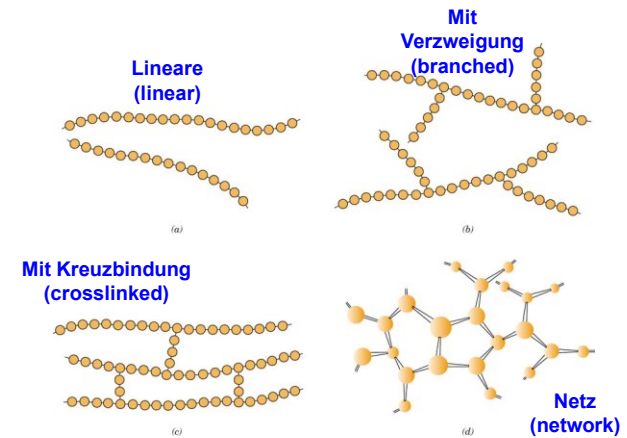
Statistische Beschreibung ist nötig!!



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

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

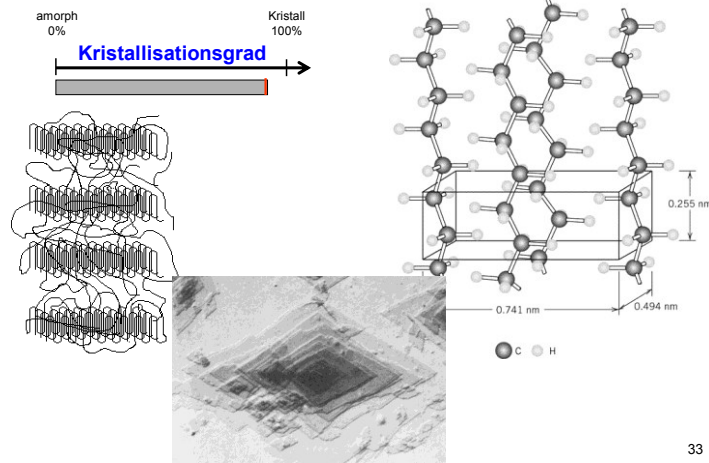
31



Thermoplaste ↔ Duroplaste

32

Semikristalline (teilkristalline) Struktur



33

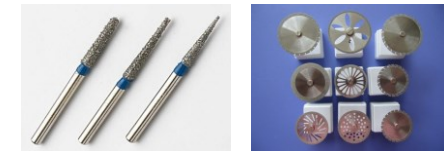
Komposite (Verbundwerkstoffe)

Eigenschaften:

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

Anwendungsbeispiele:

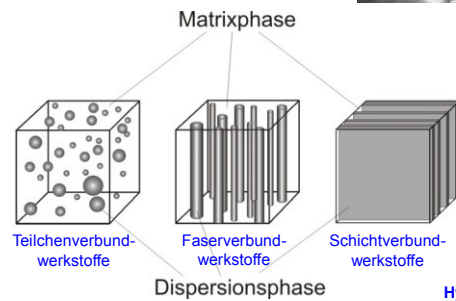
- Füllungsmaterial
- Instrumente



34

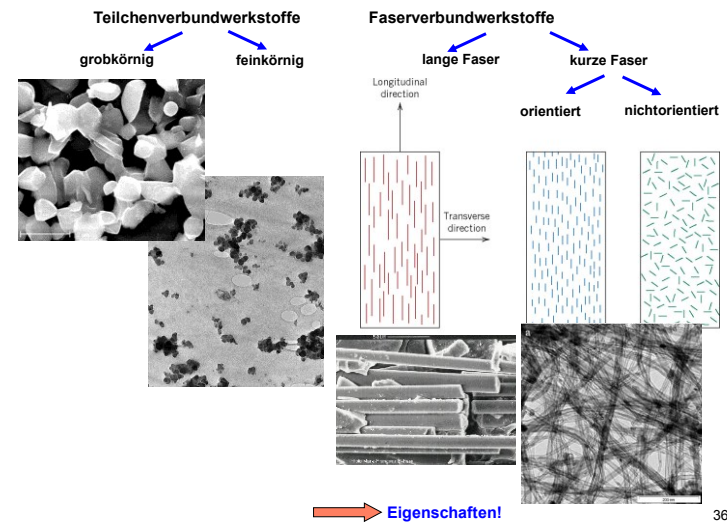
Struktur der Komposite

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



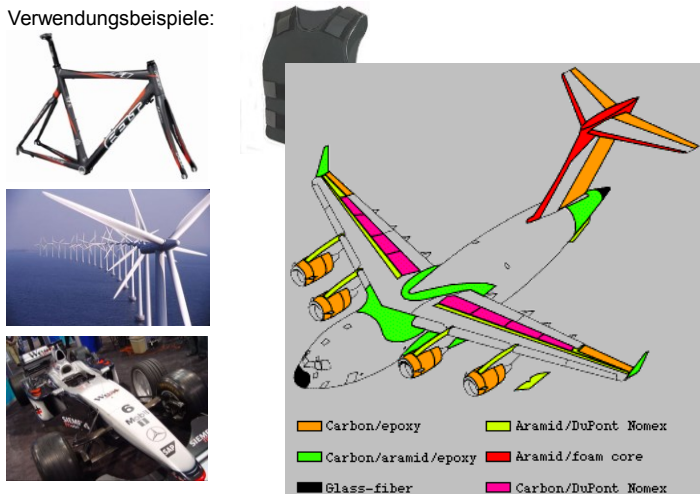
Hybrid-Verbundwerkstoff:
mehrere dispergierte
Komponente

35

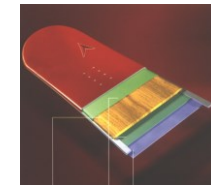
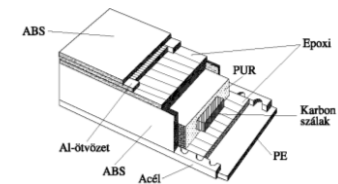


36

Verwendungsbeispiele:



37

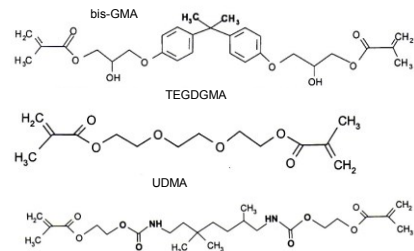


38

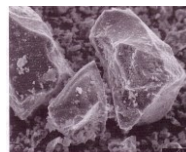
Komposite in der Zahntechnik

Matrix: Polymer (Methacrylat)

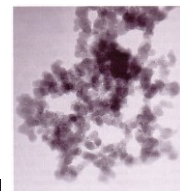
Teilchen: Glas, Keramikristalle (z.B. Quarz), Polymer, + Pigment, + UV-Absorbent, ...



grobkörnig
(0,1-100 µm)



feinkörnig
(< 40 nm)



Nächste
Vorlesung:
Kapitel
14-15

39