



## Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

### 5. Struktur der Materie Metalle, Legierung

1

## Zahnärztliche Materialklassen



2

## 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

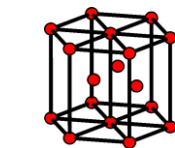
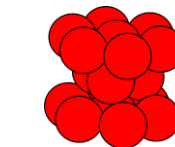


amorphes Metallglas!

3

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

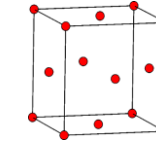
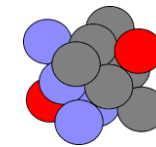
Dichte Packung von gleich großen Kugeln



hexagonal-dichtest-gepackt (hcp)

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

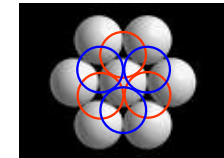
Raumerfüllung: 74 %



kubisch-flächenzentriert (fcc)

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

74 %



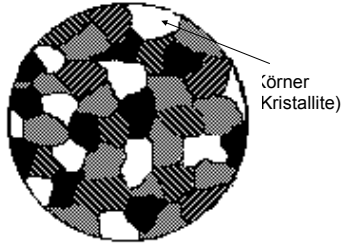
weniger dicht:  
kubisch-raumzentriert (bcc)  
Z.B. Fe, Cr, ...

68 %

4

## \*\*Polykristalline Struktur

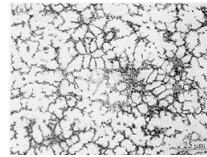
Mikroskopisches Niveau: Gefüge



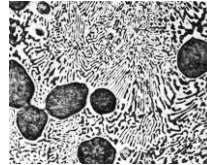
Untersuchung:

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

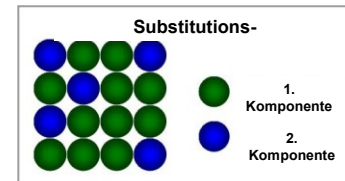
(z.B. Ni-Cr-Mo-Be-Legierung:  
Be 1,8 %m/m  $\leftrightarrow$  11 %v/v)

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

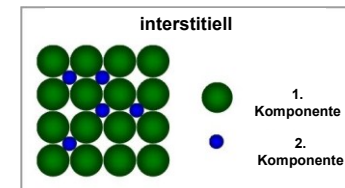
7

## 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

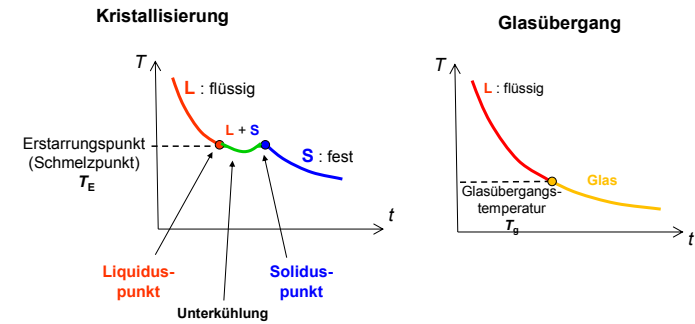
Metall	Durchmesser (nm)	Raumgitter	E.N.
Au	0,2882	fcc	2,4
Pt	0,2775	fcc	2,2
Pd	0,2750	fcc	2,2
Ag	0,2888	fcc	1,9
Cu	0,2556	fcc	1,9
Ni	0,25	fcc	1,8
Sn	0,3016	tetragonal	1,8

### Löslichkeitsvoraussetzungen bei interstitiellen Mischkristallen:

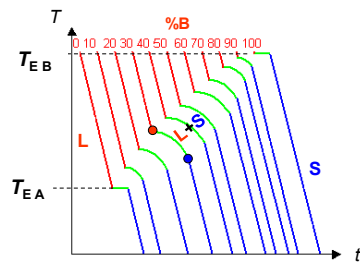
- „gelöste“ Atome wesentlich kleiner
- Menge der „gelösten“ Atome klein ( $< 10\%$ )

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

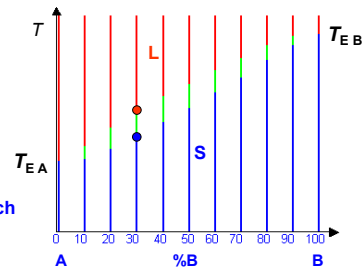
### Abkühlkurve eines reinen Metalles



### Abkühlkurve eines Mischkristalls:

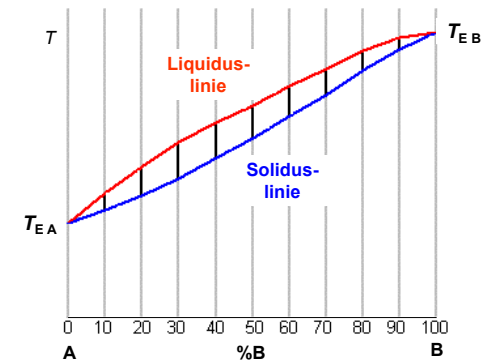


### Phasendiagramm:

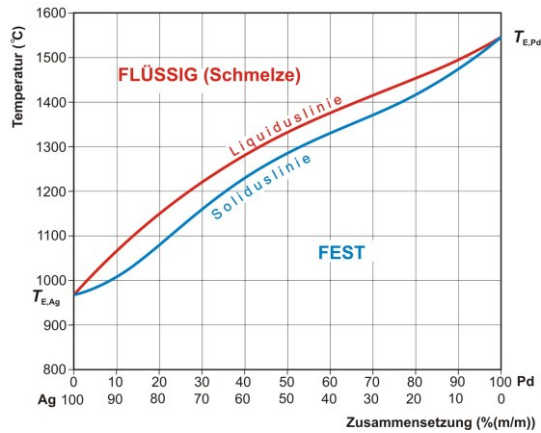


Im Gleichgewicht! = unendlich langsames Abkühlen

### Gleichgewicht!



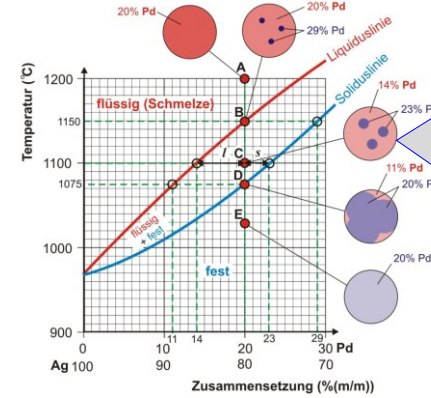
### Beispiel: Silber (Ag) + Palladium (Pd)



13

### Konzentrationen und Mengenanteile

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

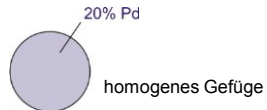


Zum Beispiel im Punkt C:

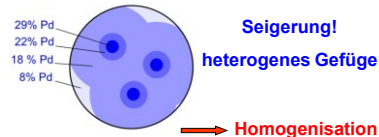
- Konzentrationen in der flüssigen Phase:  
14% Pd + 86% Ag
- Konzentrationen in der festen Phase:  
23% Pd + 77% Ag
- Mengenanteil der flüss. Phase:  
 $\frac{s}{l+s} = \frac{23-20}{23-14} = \frac{3}{9} = 33,3\%$
- Mengenanteil der festen Phase:  
 $\frac{l}{l+s} = \frac{20-14}{23-14} = \frac{6}{9}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

14

Im Gleichgewicht = unendlich langsam abgekühlt

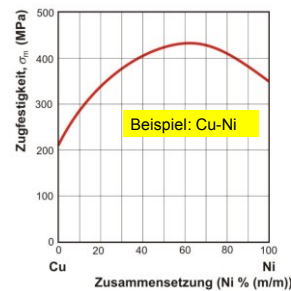


Kein Gleichgewicht = praktisches Abkühlen



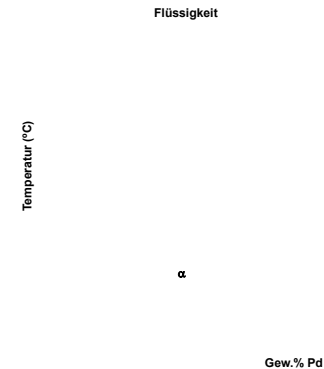
Homogenisation

Einfluss der Legierung auf die Eigenschaften



15

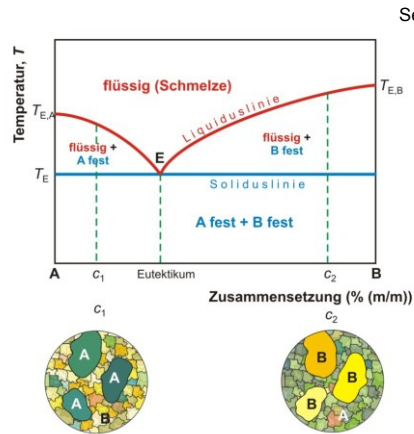
Z.B. Ag-Pd



16

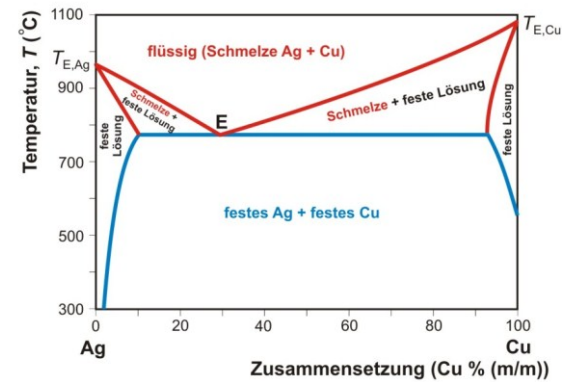
## Eutektische Legierungen

Vollständige Unlöslichkeit im festen Zustand →



17

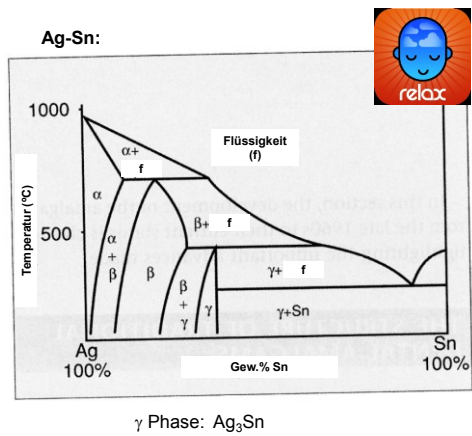
## Z.B. Ag-Cu



18

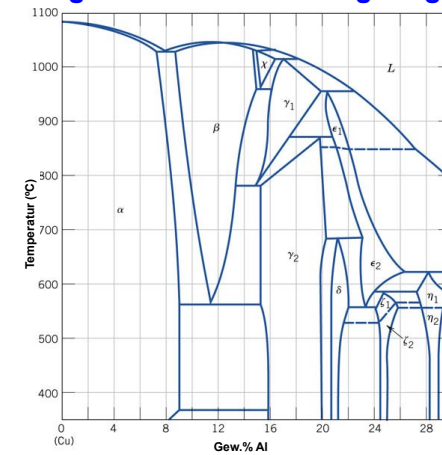
## Amalgam

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



19

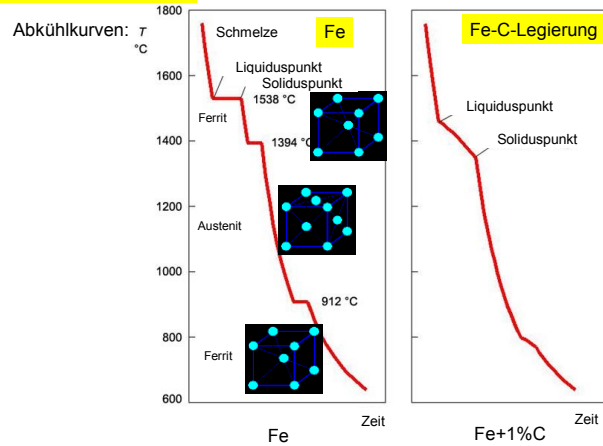
## Keine Sorge! Wird nicht zurückgefragt!



20

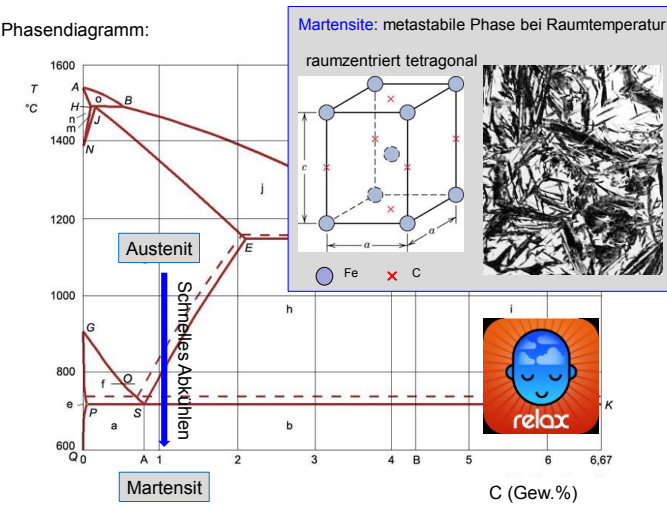
## Eine exotische Phase - Martensite

Beispiel: Fe-C-Legierung



21

Phasendiagramm:



22

## Keramiken

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

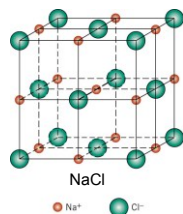
Allgemeine Eigenschaften:

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



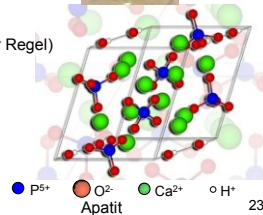
Struktur:

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



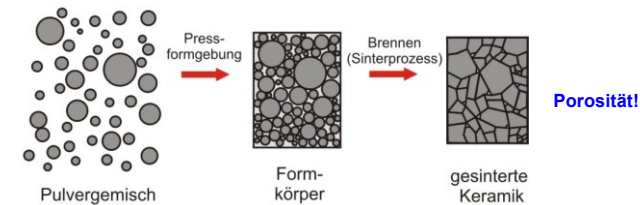
Anwendungsbeispiele:

- Kronen, Brücken
- Wurzelstift
- Zemente
- Polierstoffe



23

Herstellung: Ausbrennen, Sintern



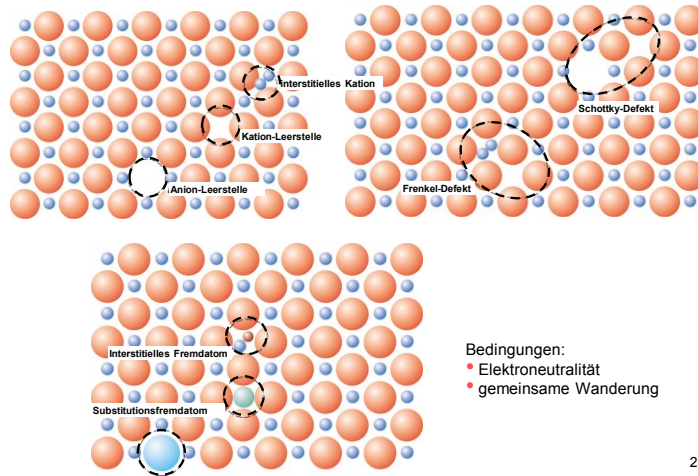
Glaskeramik: Amorphes Glas → Kristall Umwandlung bei hoher Temperatur (ohne Schmelzen)

⇒ feinkörniges polykristallines Material

24



## Defekte:

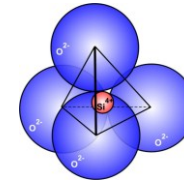


25

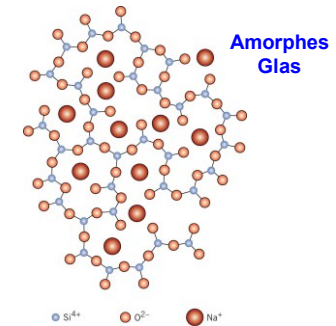
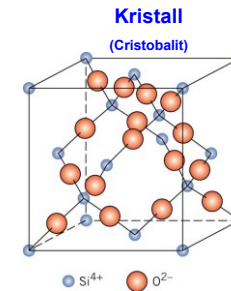
## Silikate

Mehrheitselemente: Si és O

Baueinheit:  
 $\text{SiO}_4^{4-}$

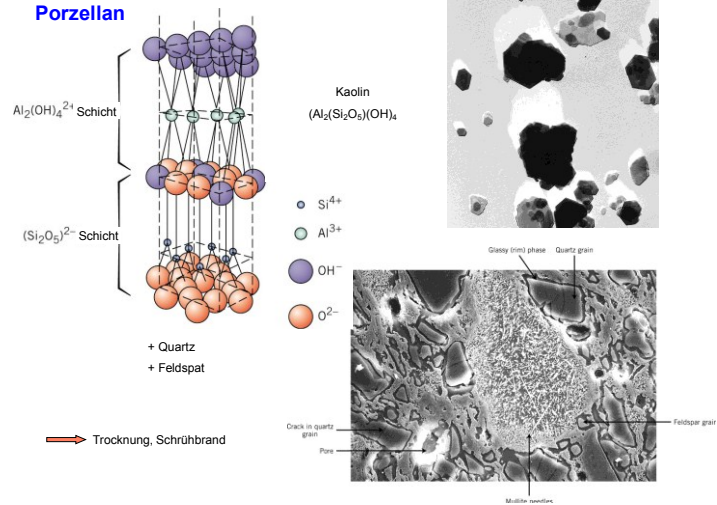


### • Siliciumdioxid ( $\text{SiO}_2$ )



26

## Porzellan



## Oxidkeramiken

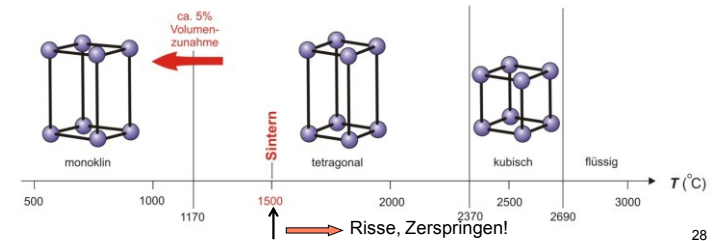
### • Zirkoniumdioxid ( $\text{ZrO}_2$ , Zirkon)

Eigenschaften (im dichtgesinterten Zustand):

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

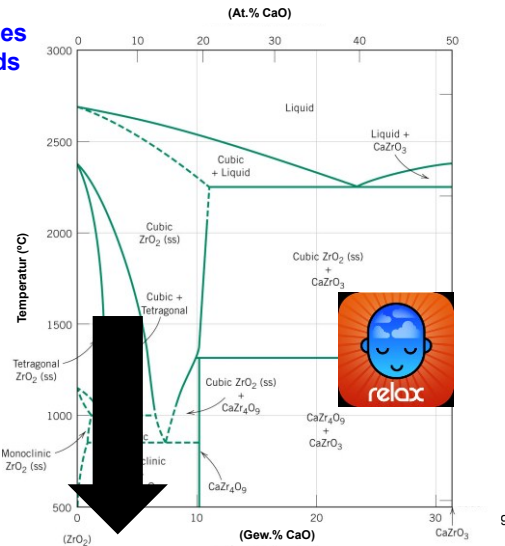
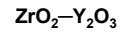
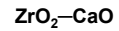
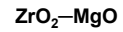
Herstellung:

- Aus Zirkonsand ( $\text{ZrSiO}_4$ )
- Teure Reinigung, Hafniumoxid bleibt etwa 1% (Radioaktivität  $< 1 \text{ Bq/g}$ )
- Heißes oder kaltes Pressen, Sinterprozess

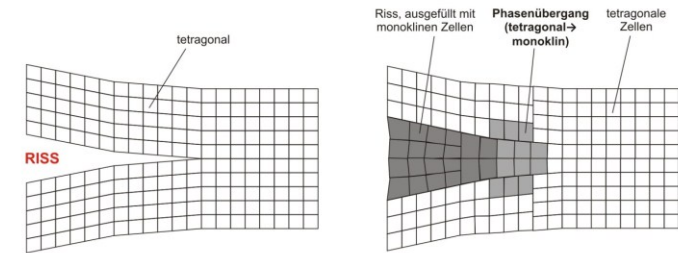


28

## Stabilisierung des Zirkoniumdioxids



„Selbstreparatur“ von Zirkon:



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

→ s. Umwandlungsverstärkte Keramiken

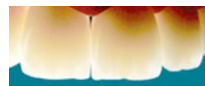
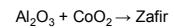
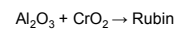
## Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Eigenschaften:

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

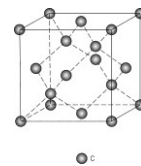


Kristalline Strukturen: Korund

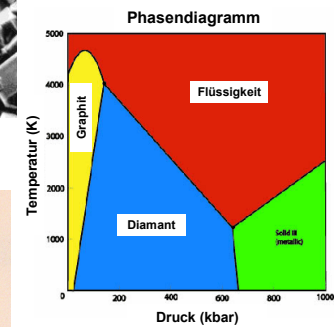
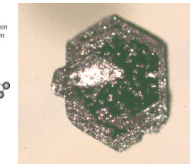
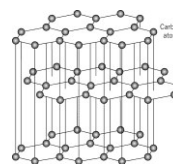


## Kohlenstoff

Diamant

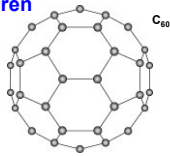


Graphit

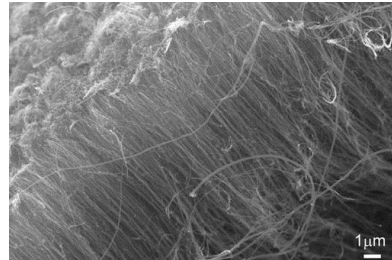
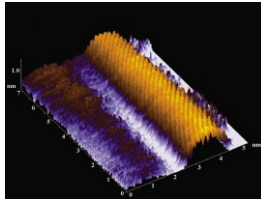
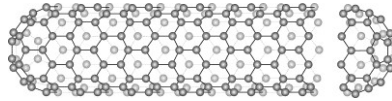




## Fulleren



## Nanoröhre



33

## 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

34

## Monomer

Bezeichnung des Polymers      Struktur des Monomers

Polyethylen (PE)



Anwendung: Industrie



Anwendung: Zahnmedizin



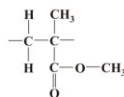
Polyvinylchlorid (PVC)



Polytetrafluorethylen (PTFE, Teflon)



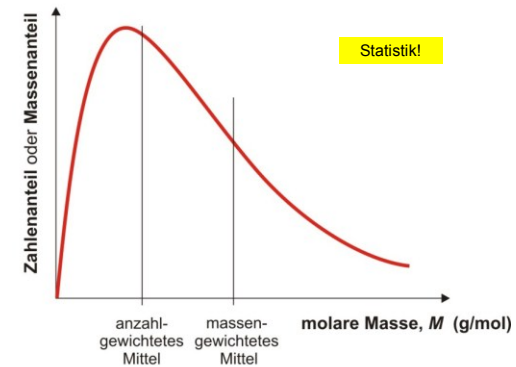
Polymethylmethacrylat (PMMA, Plexiglas)



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

35

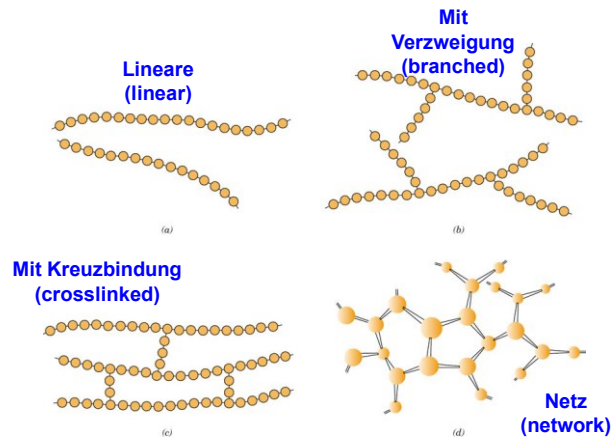
## Polymer-Präparat



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

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

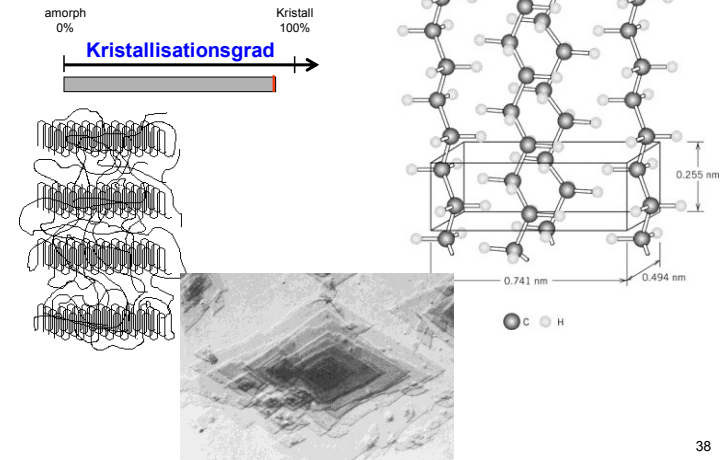
36



Thermoplaste ↔ Duroplaste

37

## Teilkristalline Struktur



38

## 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:

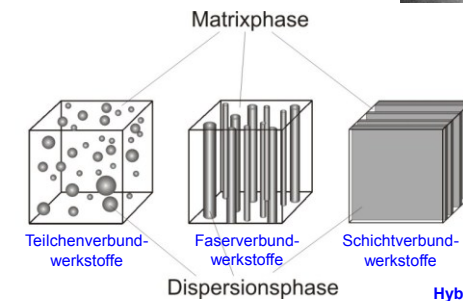
- Füllungsmaterial
- Instrumente



39

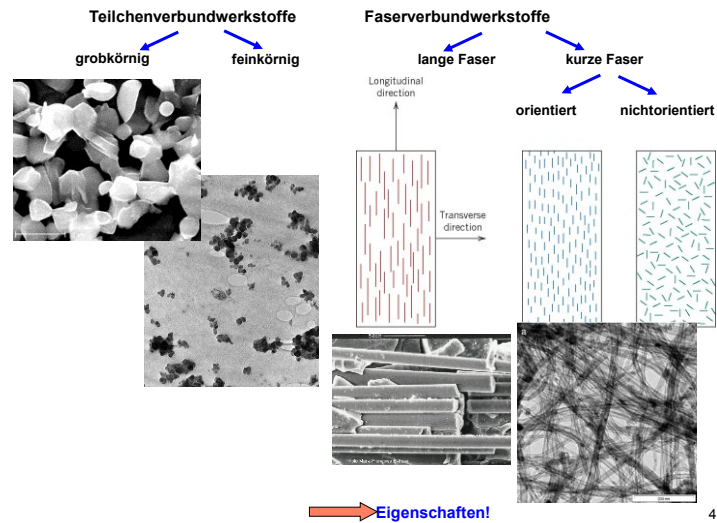
## Struktur der Komposite

**Matrix** (Polymer, Metall, Keramik)  
+  
**Dispergierter Stoff** (Keramik, Metall, ...)



**Hybrid-Verbundwerkstoff:**  
mehrere dispergierte  
Komponente

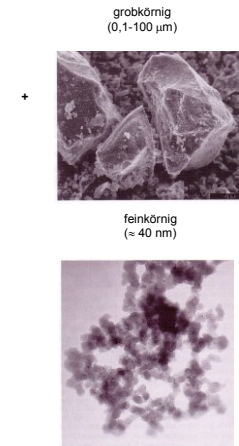
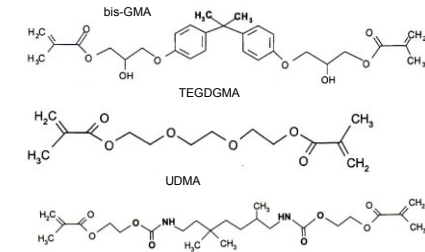
40



41

## Komposite in der Zahntechnik

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



42