

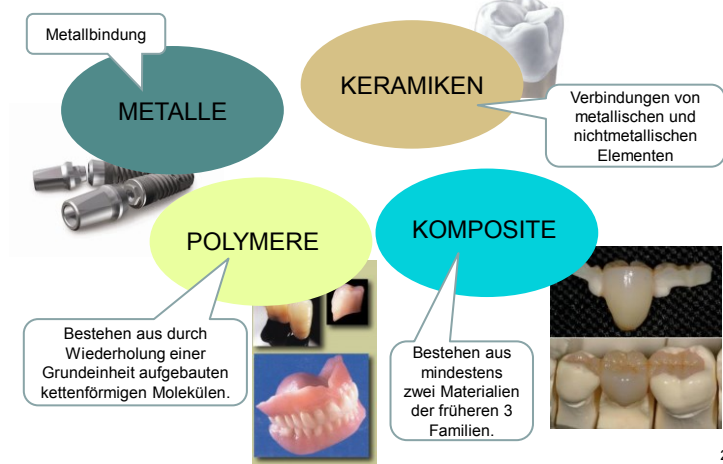


Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

5. Materialklassen Metalle und Keramiken

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

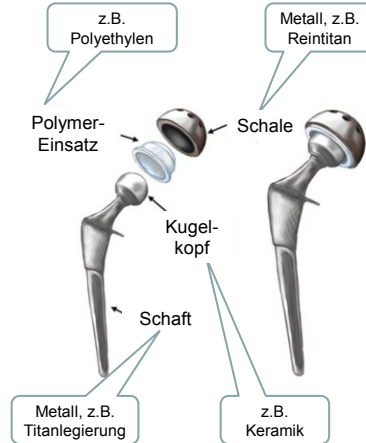
Zahnärztliche Materialklassen



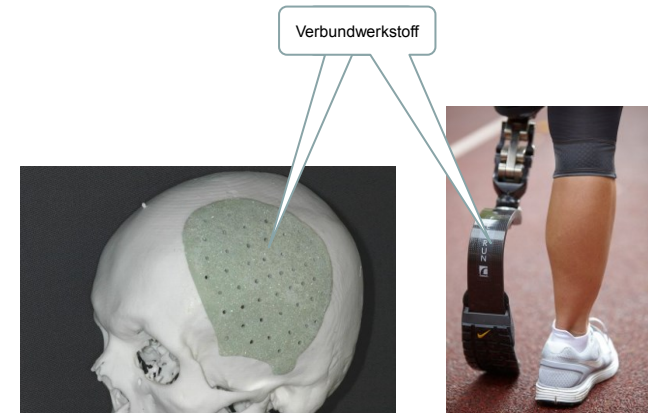
2

Einige humanmedizinische
Anwendungen:

Hüftgelenkprothese

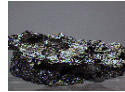


3



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



amorphes
Metallglas!

Struktur:

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

Anwendungsbeispiele:

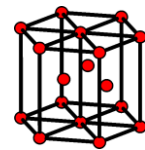
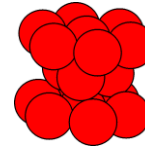
- Kronen, Brücken
- Implantate
- Plombe
- kieferorthopädische Geräte

Herstellung: Schmelzen,
Gießen

5

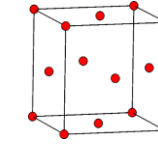
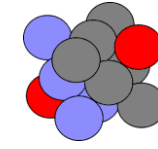
*Warum ist das hexagonale und das kubische Gitter so häufig bei Metallen?

Dichte Packung von gleich großen Kugeln



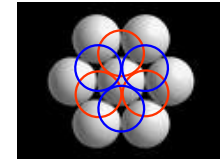
hexagonal-dichtest-
gepackt (hcp)

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



kubisch-flächenzentriert
(fcc)

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



weniger dicht:
kubisch-
raumzentriert
(bcc)

Z.B. Fe, Cr, ...

68 %

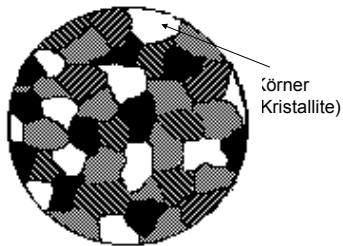
Raumerfüllung: 74 %

74 %

6

**Polykristalline Struktur

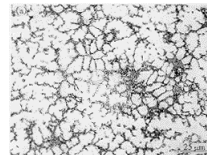
Mikroskopisches Niveau: Gefüge



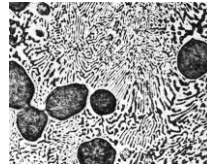
Untersuchung:

- Schleifen/Polieren
- Ätzen
- Mikroskopieren

homogenes Gefüge



heterogenes Gefüge



7

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, quaternär,...)
- den 3 wichtigsten Komponenten (z.B. Au-Pd-Ag, Ni-Cr-Be, ...)
- dem Phasendiagramm
 - Mischkristall
 - eutektische Legierung
 - peritektische Legierung
 - intermetallische Verbindung



8

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:

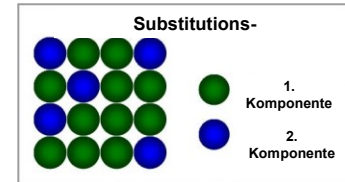
$$c_{v,1} = \frac{c_{m,1} \cdot M_2}{c_{m,1} \cdot M_2 + c_{m,2} \cdot M_1} (\cdot 100\%) \quad c_{m,1} = \frac{c_{v,1} \cdot M_1}{c_{v,1} \cdot M_1 + c_{v,2} \cdot M_2} (\cdot 100\%)$$

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

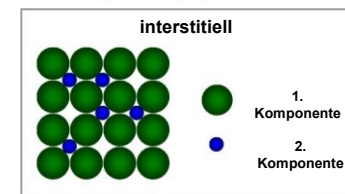
9

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)

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

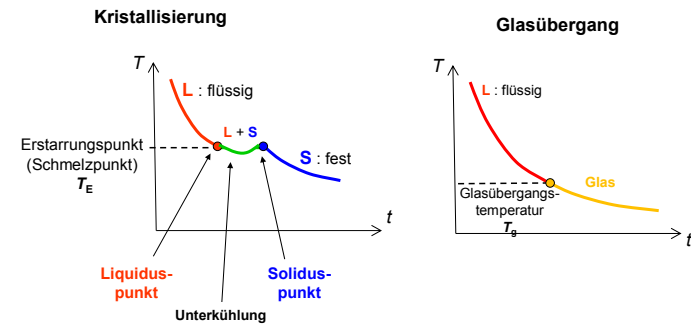
Löslichkeitsvoraussetzungen bei interstitiellen Mischkristallen:

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

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

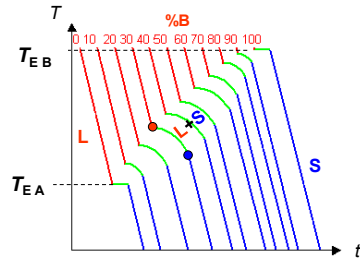
11

Abkühlkurve eines reinen Metalles

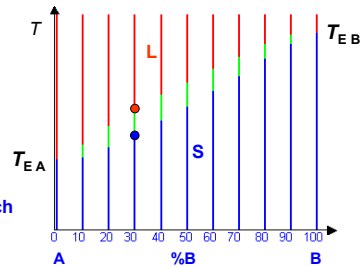


12

Abkühlkurve eines Mischkristalls:



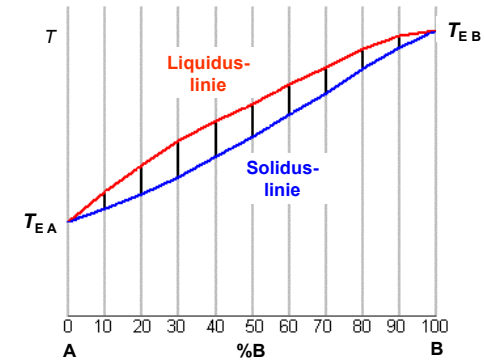
Phasendiagramm:



Im Gleichgewicht! = unendlich langsames Abkühlen

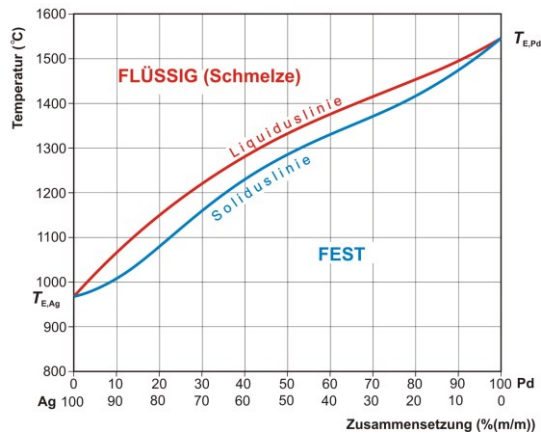
13

Gleichgewicht!



14

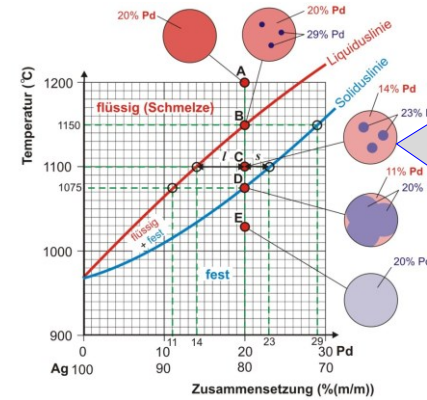
Beispiel: Silber (Ag) + Palladium (Pd)



15

Konzentrationen und Mengenanteilen

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

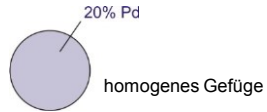


Zum Beispiel im Punkt C:

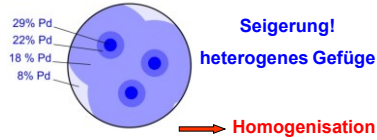
- Konzentrationen in der flüssigen Phase:
14% Pd + 86% Ag
- Konzentrationen in der festen Phase:
23% Pd + 77% Ag
- Mengenanteil der flüss. Phase:
 $\frac{s}{l+s} = \frac{23-20}{23-14} = \frac{3}{9} = 33,3\%$
- Mengenanteil der festen Phase:
 $\frac{l}{l+s} = \frac{20-14}{23-14} = \frac{6}{9} = 66,6\%$

16

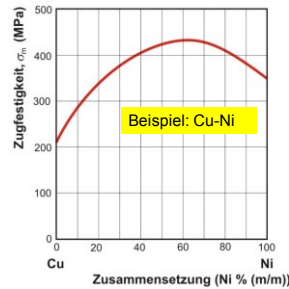
Im Gleichgewicht = unendlich langsam abgekühlt



Kein Gleichgewicht = praktisches Abkühlen



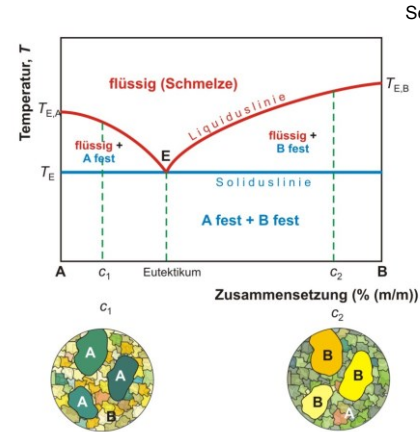
Einfluss der Legierung auf die Eigenschaften



17

Eutektische Legierungen

Vollständige Unlöslichkeit im festen Zustand →



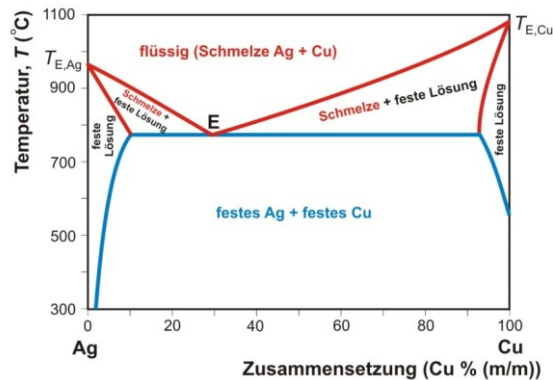
Seigerung → heterogenes Gefüge

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

Wood-Metall (Bi-Pb-Cd-Sn):
T_E = 68°C

18

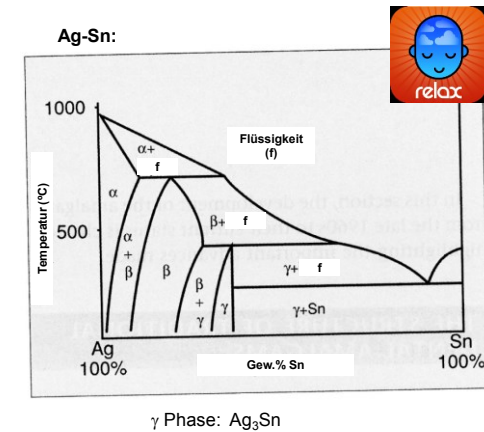
Z.B. Ag-Cu



19

Amalgam

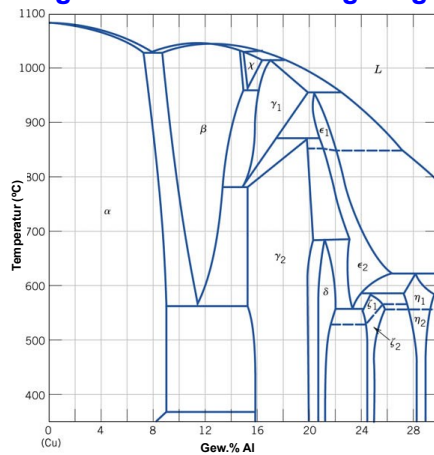
typische Zusammensetzung	
Metall	Gew. %
Hg	50
Ag	34
Sn	13
Cu	2
Zn	1



γ Phase: Ag₃Sn

20

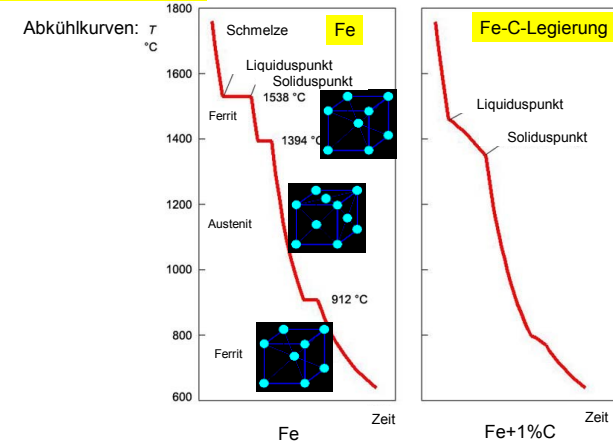
Keine Sorge! Wird nicht zurückgefragt!



21

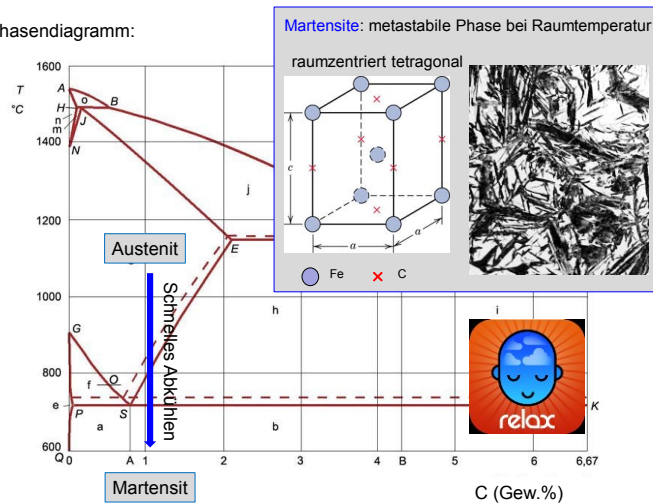
Eine exotische Phase - Martensite

Beispiel: Fe-C-Legierung



22

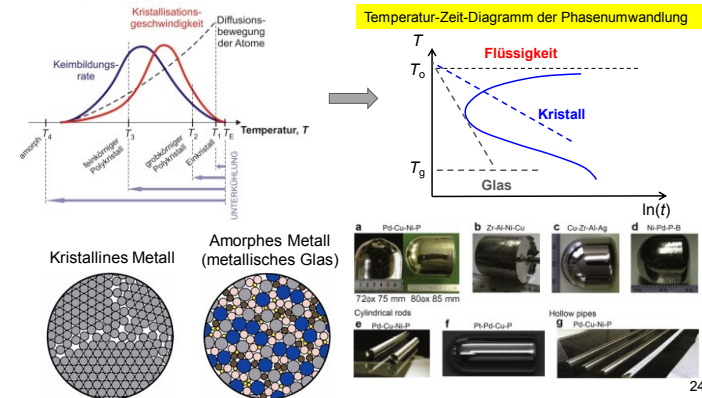
Phasendiagramm:



23

Metallische Gläser (amorphe Metalle)

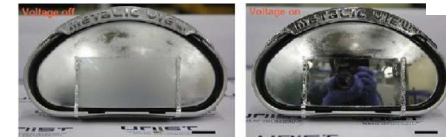
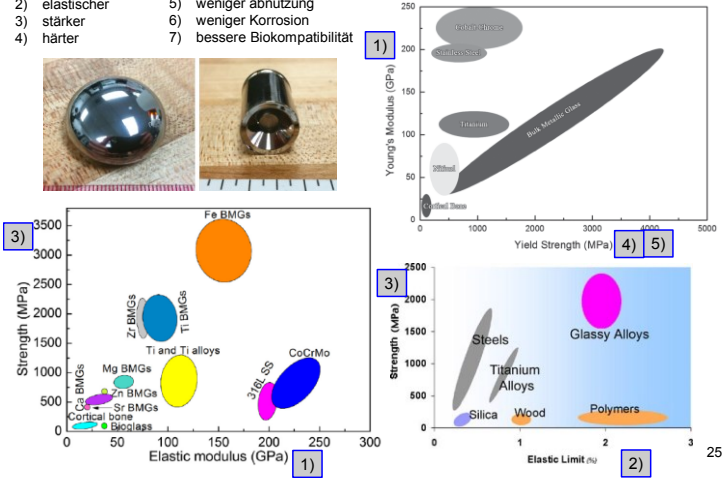
- Das erste Metallglas: 1960iger Jahre, Au-Si-Legierung, $\approx 10^6$ K/s Abkühlgeschwindigkeit(!), Größe < 1 mm.
- Das erste kommerzielle Metallglas: 1990iger Jahre, Zr-Ti-Cu-Ni-Be-Legierung, ≈ 1 K/s Abkühlgeschwindigkeit, Größe ≈ 1 cm.



24

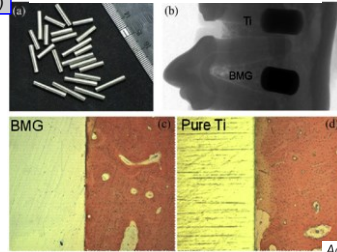
<https://www.youtube.com/watch?v=Yg0hUqdzXGw>
 Besondere Eigenschaften der amorphen Metalle (BMG) vs. kristallinen Metalle:

- 1) weniger steif
- 2) elastischer
- 3) stärker
- 4) härter
- 5) weniger abnutzung
- 6) weniger Korrosion
- 7) bessere Biokompatibilität

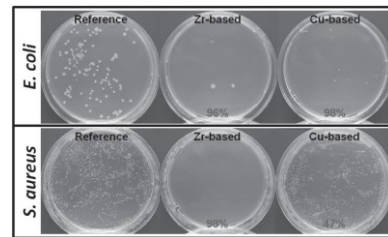


26

7) H.F. Li, Y.F. Zheng / Acta Biomaterialia 36 (2016) 1–20

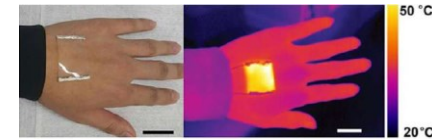
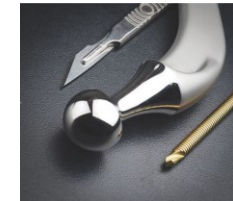
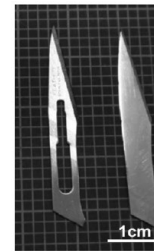


Adv. Mater. 2016, 28, 5755–5762



27

ZrCuAlAgSi BMG



More information: Byeong Wan An, et al.
 "Stretchable, Transparent Electrodes as Wearable
 Heaters Using Nanotrough Networks of Metallic
 Glasses with Superior Mechanical Properties and
 Thermal Stability." Nano Letters. DOI:
 10.1021/acs.nanolett.5b04134



28

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

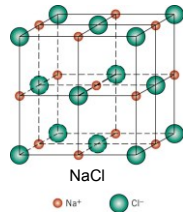


Herstellung:

- Schmelzen
- Ausbrennen, Sintern

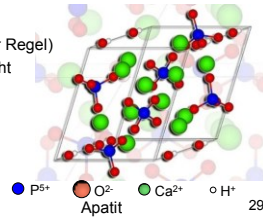
Struktur:

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



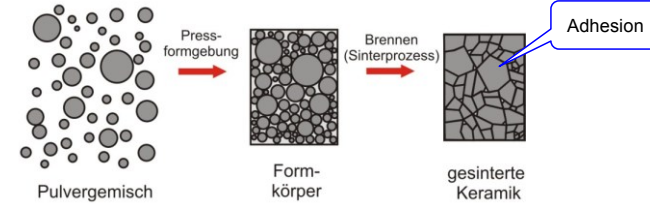
Anwendungsbeispiele:

- Kronen, Brücken
- Wurzelstift
- Zemente
- Polierstoffe



29

Sintern



Ein praktisches Problem: die Porosität!



Flüssigphasensintern: Schmelzen + Sintern

30

**Struktur

amorph



kristallin

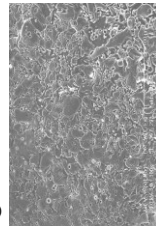
Einkristall



Polikristall

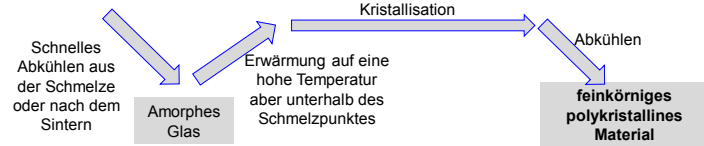


gemischt



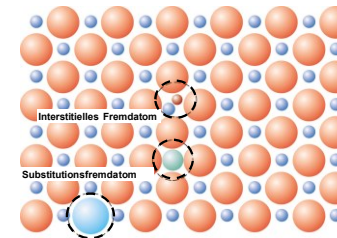
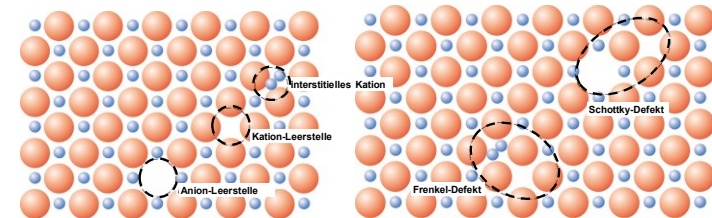
(Komplizierte Kristallgitterstruktur mit unterschiedlich großen Ionen.)

Glaskeramik:



31

Gitterdefekte:



Bedingungen:

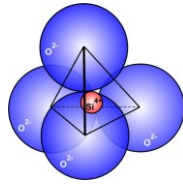
- Elektroneutralität
- gemeinsame Wanderung

32

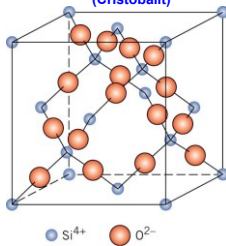
Silikate

Mehrheitselemente: Si és O

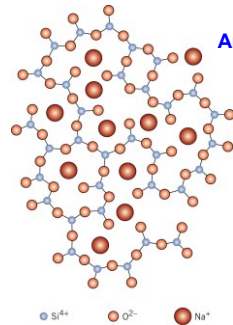
Baueinheit:
 SiO_4^{4-}



• Siliciumdioxid (SiO_2) Kristall (Cristobalit)

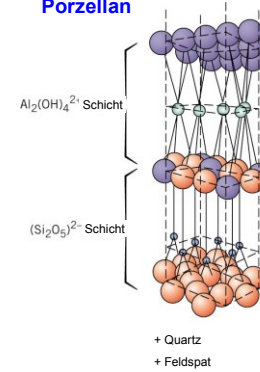


Amorphes Glas

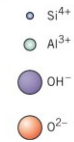


33

Porzellan

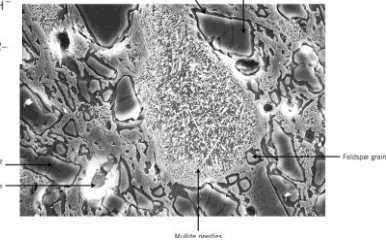
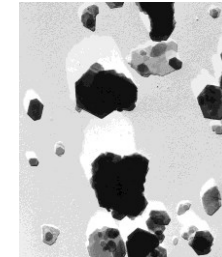


Kaolin
 $(\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4)$



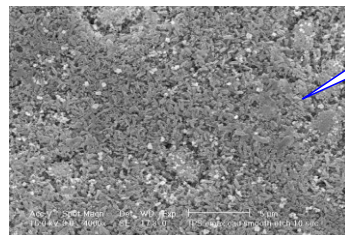
+ Quarz
+ Feldspat

→ Trocknung, Schrühbrand



• Zahnärztliche Silikatkeramiken

- Amorphes Glas (Natronfeldspat oder Albit - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, Orthoklas - KAlSi_3O_8 , SiO_2 , Al_2O_3 , ...)
- Amorphes Glas mit kristallinen Bereichen
 - amorphes Feldspatglas + wenig Leucitkristalle (KAlSi_2O_6)
 - amorphes Feldspatglas + 50% Leucitkristalle (KAlSi_2O_6)
 - Lithiumsilikatglas + 70% Lithiumdisilikatkristalle ($\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$)



Glaskeramik

35

Oxidkeramiken

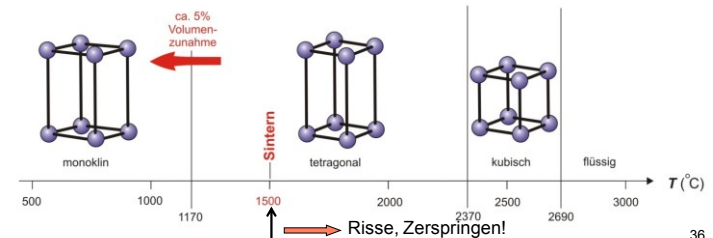
• Zirkoniumdioxid (ZrO_2 , Zirkon)

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



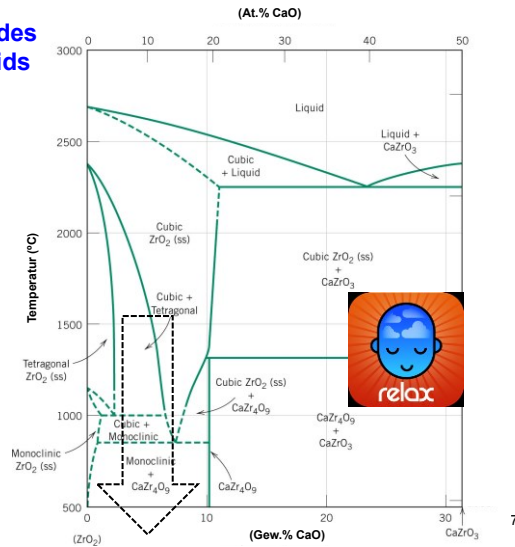
36

Stabilisierung des Zirkoniumdioxids

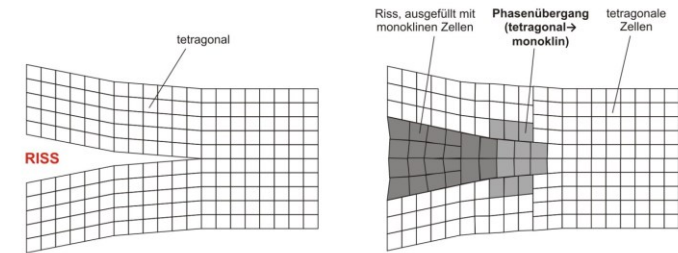
$\text{ZrO}_2\text{--MgO}$

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

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



„Selbstreparatur“ von Zirkon:



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

→ s. Umwandlungsverstärkte Keramiken

38

Aluminiumoxid (Al_2O_3)

Eigenschaften:

- durchsichtig, weiß
- Schmelzpunkt 2700°C
- Dichte cca. 4 g/cm³
- 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

Nächste Vorlesung:
Kapitel 12-13

39