

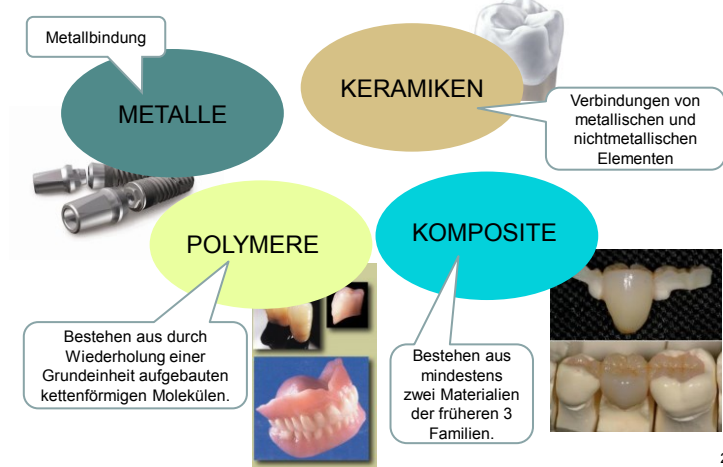


Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

5. Materialklassen Metalle und Keramiken

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

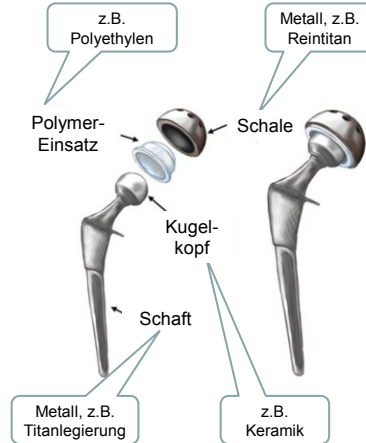
Zahnärztliche Materialklassen



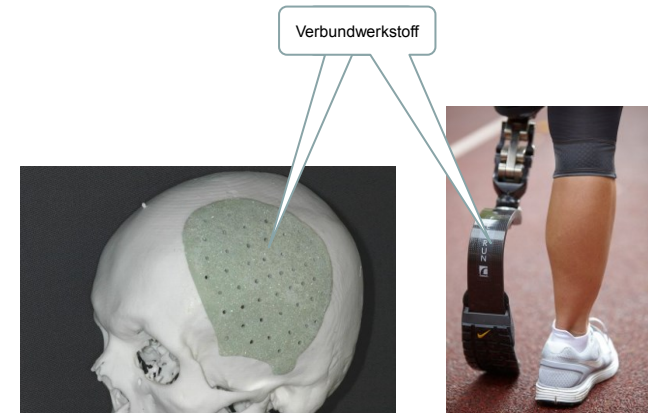
2

Einige humanmedizinische
Anwendungen:

Hüftgelenkprothese

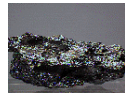


3



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

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

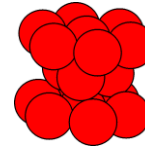
amorphes
Metallglas!



5

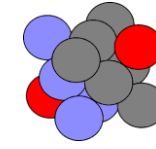
*Warum ist das hexagonale und das kubische Gitter so häufig bei Metallen?

Dichte Packung von gleich großen Kugeln



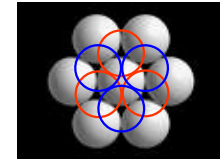
hexagonal-dichtest-
gepackt (hcp)

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 %

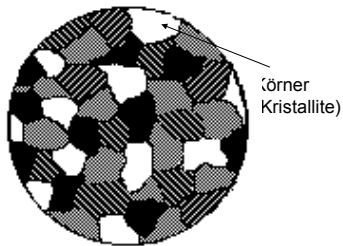
Raumerausfüllung: 74 %

74 %

6

**Polykristalline Struktur

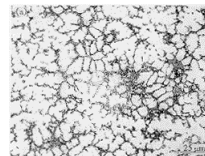
Mikroskopisches Niveau: Gefüge



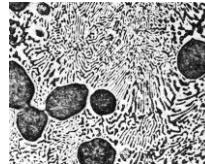
Untersuchung:

- 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:

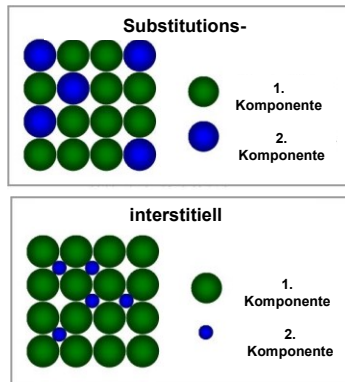
- Metall+Metall, Z.B. Fe+Cr
- Metall+Nichtmetall, Z.B. Fe+C
- dem Gebrauch (z.B. Inlay, Krone, ...)
- dem Grundmaterial (Gold, Palladium, ...)
- der Zahl der Komponente (binär, ternär, quaternär,...)
- den 3 wichtigsten Komponenten (z.B. Au-Pd-Ag, Ni-Cr-Be, ...)
- dem Phasendiagramm
 - Mischkristall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



8

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)

9

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

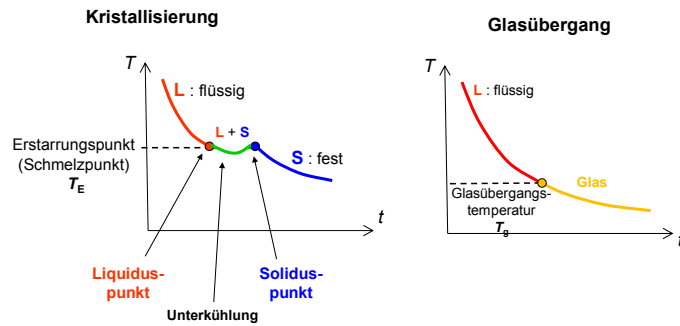
Löslichkeitsvoraussetzungen bei interstitiellen Mischkristallen:

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

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

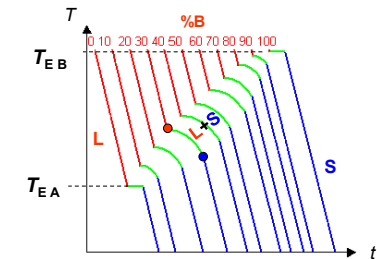
10

Abkühlkurve eines reinen Metalles

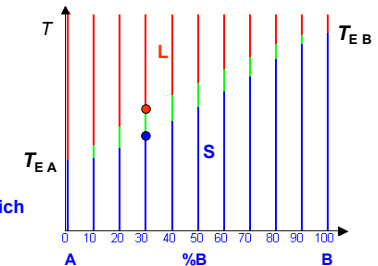


11

Abkühlkurve eines Mischkristalls:



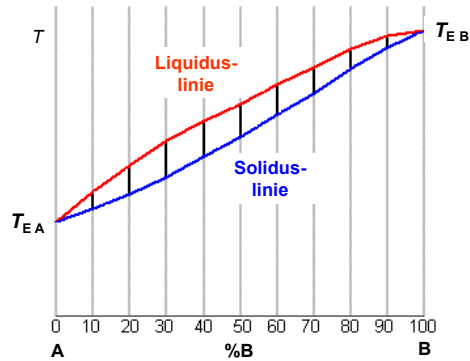
Phasendiagramm:



Im Gleichgewicht! = unendlich langsames Abkühlen

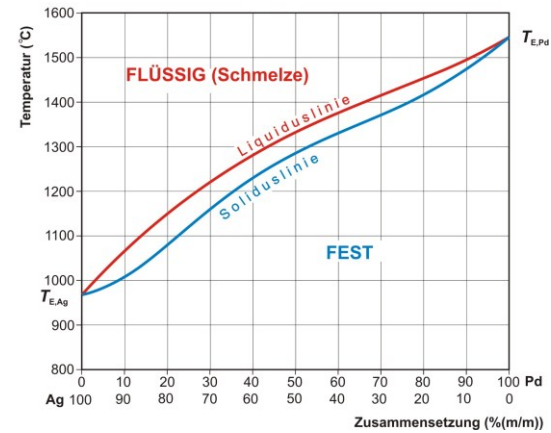
12

Gleichgewicht!



13

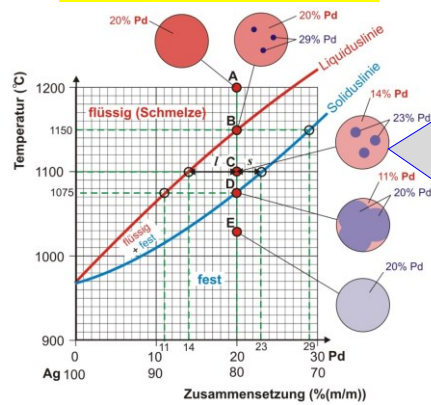
Beispiel: Silber (Ag) + Palladium (Pd)



14

Konzentrationen und Mengenanteile

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

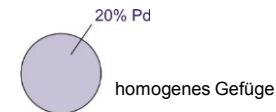


Zum Beispiel im Punkt C:

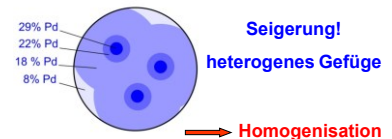
- Konzentrationen in der flüssigen Phase:
14% Pd + 86% Ag
- Konzentrationen in der festen Phase:
23% Pd + 77% Ag
- Mengenanteil der flüss. Phase:
$$\frac{s}{l+s} = \frac{23-20}{23-14} = \frac{3}{9} = 33,3\%$$
- Mengenanteil der festen Phase:
$$\frac{l}{l+s} = \frac{20-14}{23-14} = \frac{6}{9} = 66,6\%$$

15

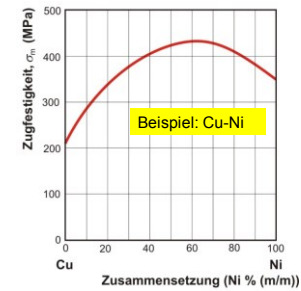
Im Gleichgewicht = unendlich langsam abgekühlt



Kein Gleichgewicht = praktisches Abkühlen



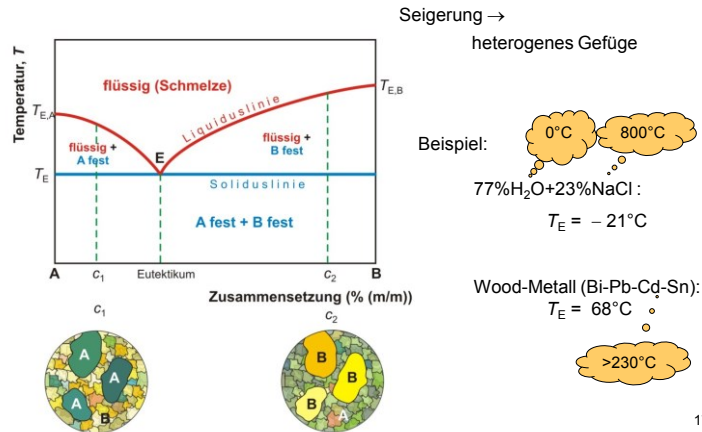
Einfluss der Legierung auf die Eigenschaften



16

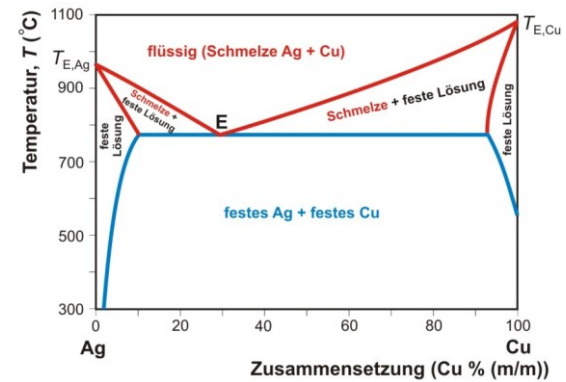
Eutektische Legierungen

Vollständige Unlöslichkeit im festen Zustand →



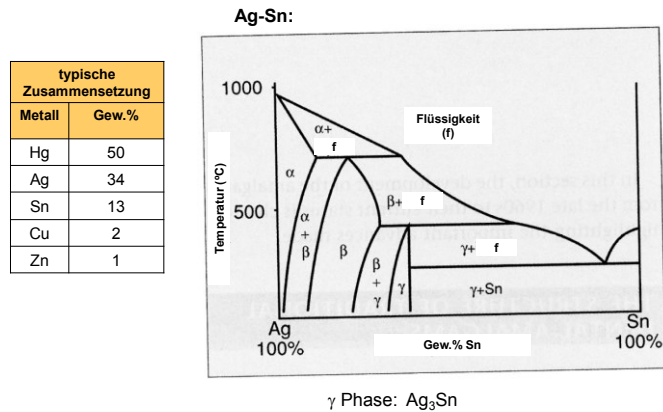
17

Z.B. Ag-Cu



18

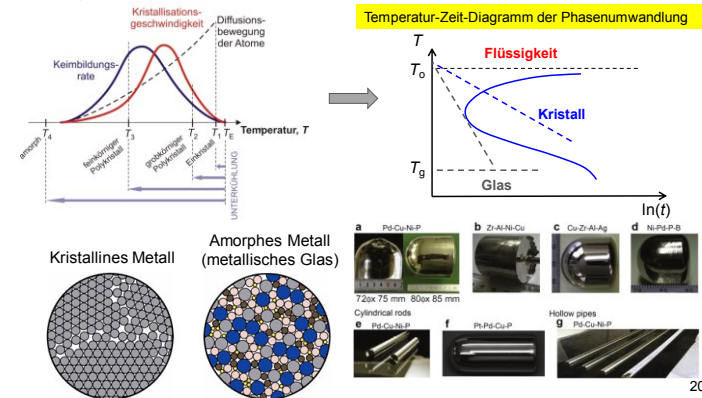
Ein Beispiel: Amalgam



19

Metallische Gläser (amorphe Metalle)

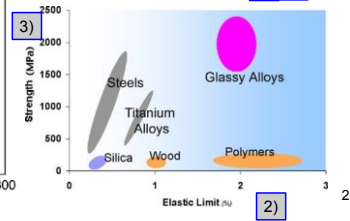
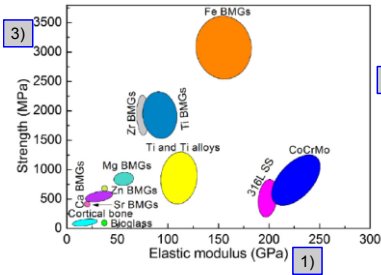
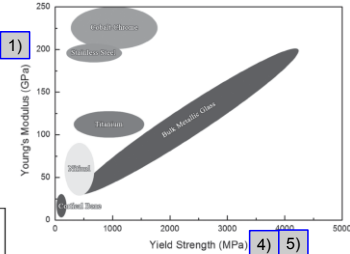
- Das erste Metallglas: 1960iger Jahre, Au-Si-Legierung, $\approx 10^6$ K/s Abkühlgeschwindigkeit(!), Größe < 1 mm.
- Das erste kommerzielle Metallglas: 1990iger Jahre, Zr-Ti-Cu-Ni-Be-Legierung, ≈ 1 K/s Abkühlgeschwindigkeit, Größe ≈ 1 cm.



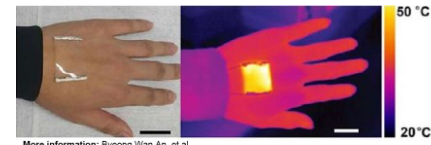
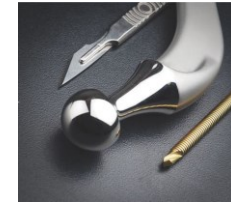
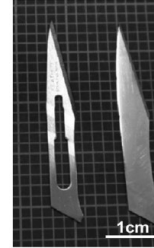
20

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



ZrCuAlAgSi BMG



More information: Byoung 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



Keramiken

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



Allgemeine Eigenschaften:

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

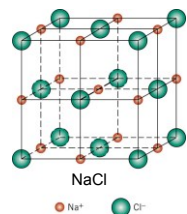


Herstellung:

- Schmelzen
- Ausbrennen, Sintern

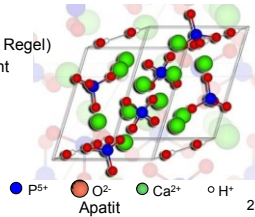
Struktur:

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

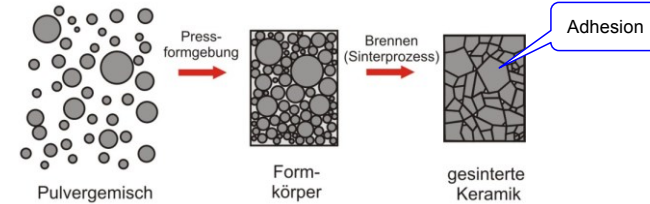


Anwendungsbeispiele:

- Kronen, Brücken
- Wurzelstift
- Zemente
- Polierstoffe



Sintern



Ein praktisches Problem: die Porosität!

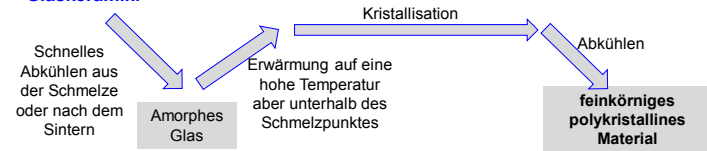


Flüssigphasensintern: Schmelzen + Sintern

**Struktur

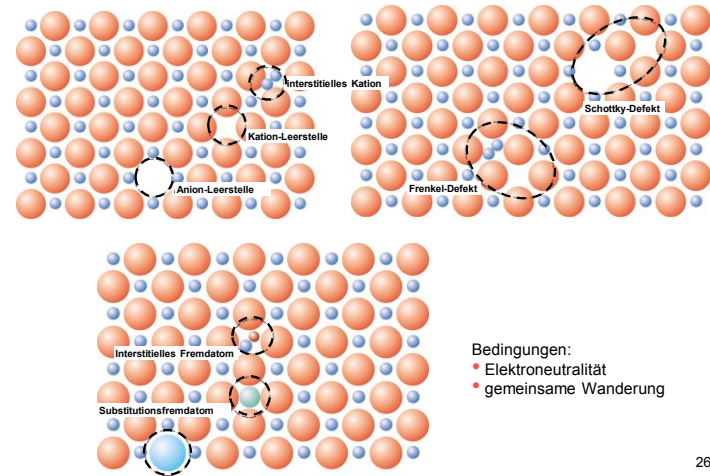


Glaskeramik:



25

Gitterdefekte:



26

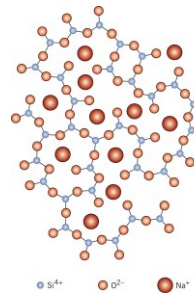
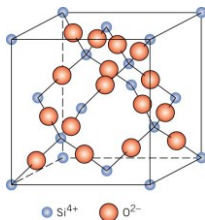
Silikate

Mehrheitselemente: Si és O

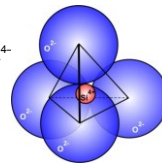
Baueinheit: SiO_4^{4-}

• Siliciumdioxid (SiO_2)

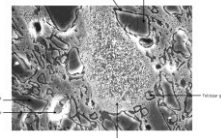
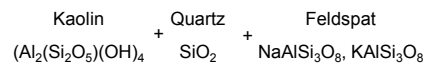
Kristall
(Cristobalit)



Amorphes
Glas

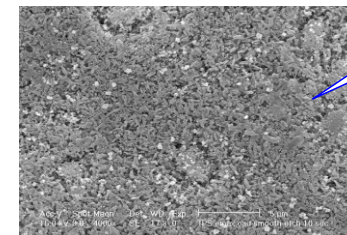


• Porzellan



• Zahnärztliche Silikatkeramiken

- Amorphes Glas (Natronfeldspat oder Albit - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, Orthoklas - KAISi_3O_8 , SiO_2 , Al_2O_3 , ...)
- Amorphes Glas mit kristallinen Bereichen
 - amorphes Feldspatglas + wenig Leucitkristalle (KAISi_2O_6)
 - amorphes Feldspatglas + 50% Leucitkristalle (KAISi_2O_6)
 - Lithiumsilikatglas + 70% Lithiumdisilikatkristalle ($\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$)



Glaskeramik

28

Oxidkeramiken

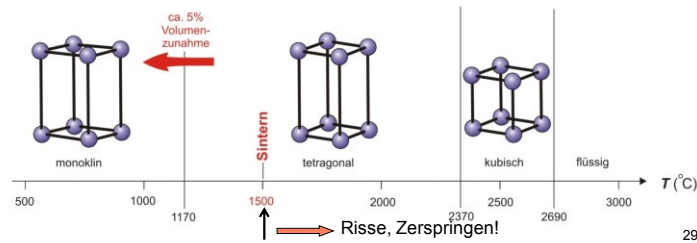
• Zirkoniumdioxid (ZrO_2 , Zirkon)

Eigenschaften (im dichtgesinterten Zustand):

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

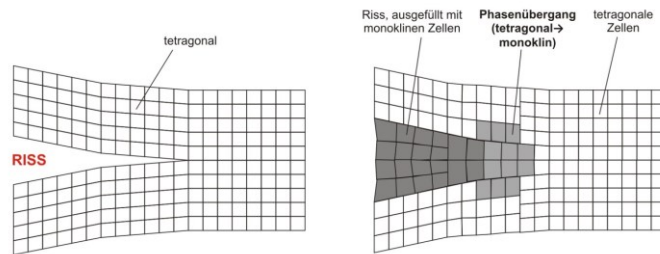
Herstellung:

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



29

„Selbstreparatur“ von Zirkon:



Durch Zugabe von Zirkon können andere
Keramiken auch verstärkt werden.

s. Umwandlungsverstärkte
Keramiken

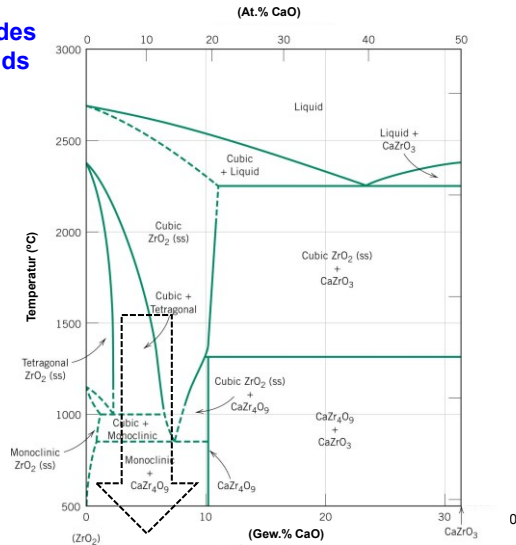
31

Stabilisierung des Zirkoniumdioxids

$\text{ZrO}_2\text{—MgO}$

$\text{ZrO}_2\text{—CaO}$

$\text{ZrO}_2\text{—Y}_2\text{O}_3$



• Aluminiumoxid (Al_2O_3)

Eigenschaften:

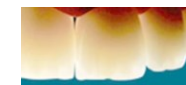
- durchsichtig, weiß
- Schmelzpunkt 2700°C
- Dichte cca. 4 g/cm^3
- Sehr hart (s. später)

Kristalline Strukturen:

Korund

$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CrO}_2 \rightarrow \text{Rubin}$

$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CoO}_2 \rightarrow \text{Zafir}$



Nächste Vorlesung:
Kapitel 12-13

32