



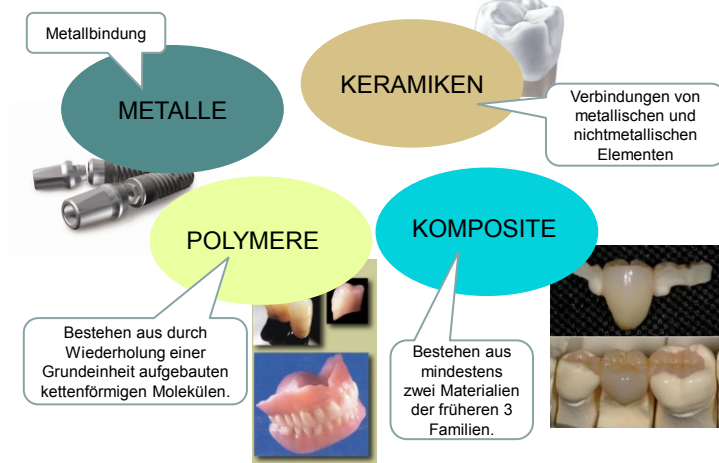
## Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

### 4. Materialklassen Metalle und Keramiken

**Kapitel des  
Lehrbuches:**  
9-13

**Hausaufgaben:**  
3. Kapitel:  
3-5, 8, 10, 12, 14,  
18

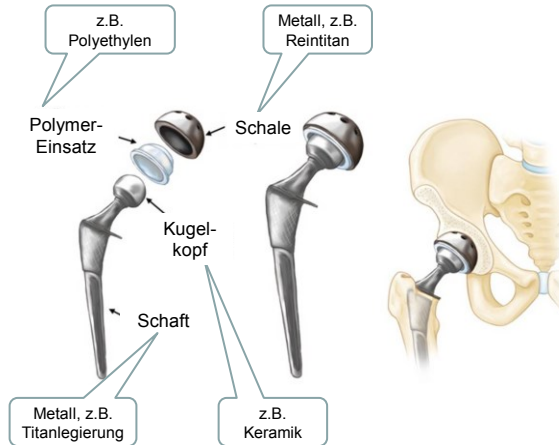
## Zahnärztliche Materialklassen



2

Einige humanmedizinische  
Anwendungen:

Hüftgelenkprothese



3

## 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

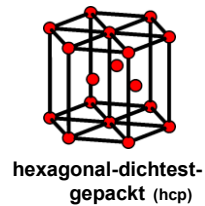
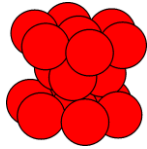
**Herstellung:** Schmelzen,  
Gießen



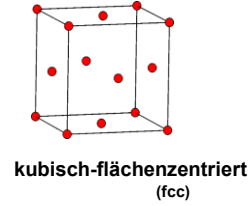
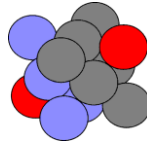
amorphes  
Metallglas!

4

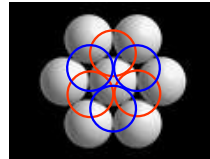
**\*Warum ist das hexagonale und das kubische Gitter so häufig bei Metallen?** Dichte Packung von gleich großen Kugeln



Raumerfüllung: 74 %



74 %

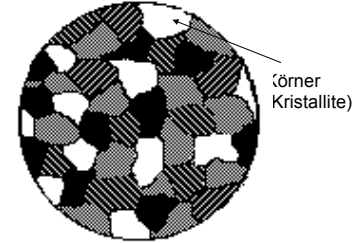


**weniger dicht: kubisch-raumzentriert (bcc)**  
Z.B. Fe, Cr, ...  
68 %

5

## \*\*Polykristalline Struktur

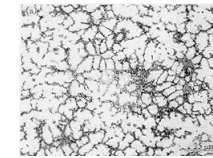
**Mikroskopisches Niveau:** Gefüge



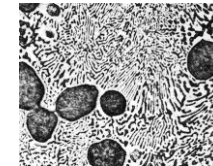
**Untersuchung:**

- Schleifen/Polieren
- Ätzen
- Mikroskopieren

homogenes Gefüge



heterogenes Gefüge



6

## 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



7

**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:

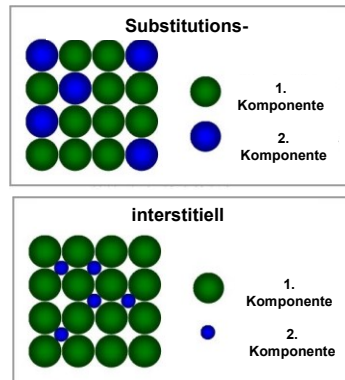
$$c_{v,1} = \frac{c_{m,1} \cdot M_2}{c_{m,1} \cdot M_2 + c_{m,2} \cdot M_1} (\cdot 100\%) \quad c_{m,1} = \frac{c_{v,1} \cdot M_1}{c_{v,1} \cdot M_1 + c_{v,2} \cdot M_2} (\cdot 100\%)$$

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

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

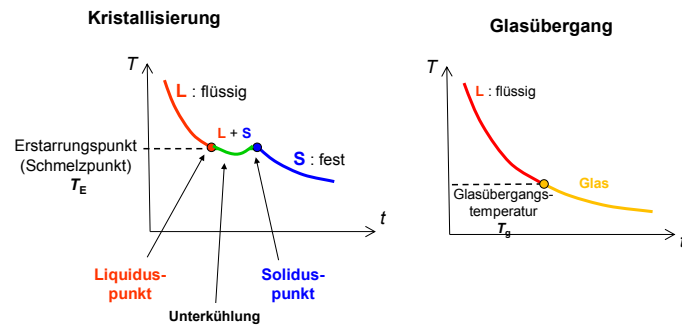
### Löslichkeitsvoraussetzungen bei interstitiellen Mischkristallen:

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

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

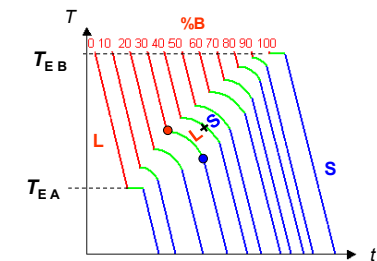
10

## Abkühlkurve eines reinen Metalles

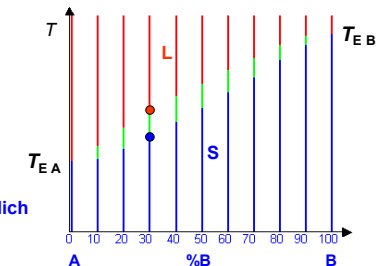


11

## Abkühlkurve eines Mischkristalls:



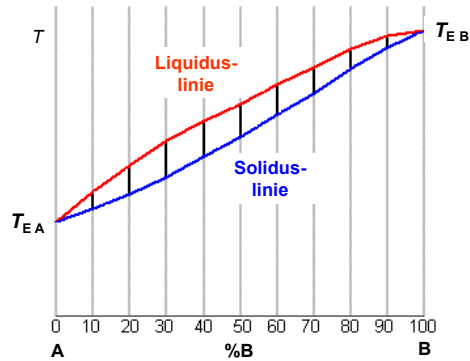
## Phasendiagramm:



Im Gleichgewicht! = unendlich langsames Abkühlen

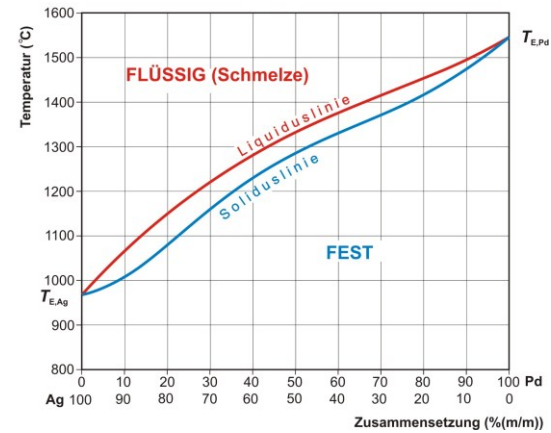
12

Gleichgewicht!



13

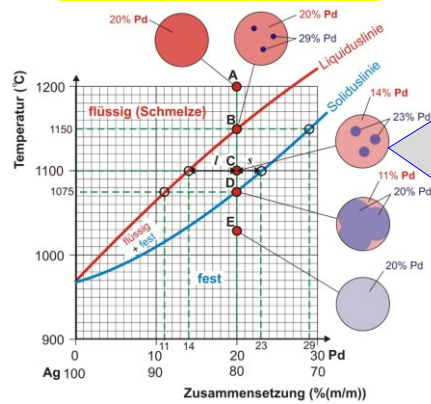
Beispiel: Silber (Ag) + Palladium (Pd)



14

## Konzentrationen und Mengenanteile

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

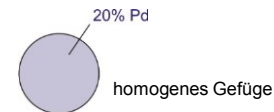


Zum Beispiel im Punkt C:

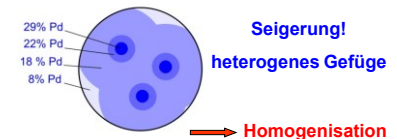
- Konzentrationen in der flüssigen Phase:  
14% Pd + 86% Ag
- Konzentrationen in der festen Phase:  
23% Pd + 77% Ag
- Mengenanteil der flüss. Phase:  
 $\frac{s}{l+s} = \frac{23-20}{23-14} = \frac{3}{9} = 33,3\%$
- Mengenanteil der festen Phase:  
 $\frac{l}{l+s} = \frac{20-14}{23-14} = \frac{6}{9}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

15

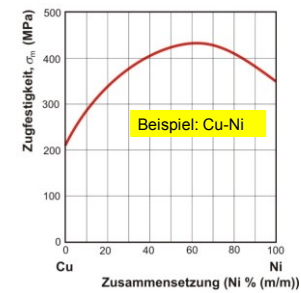
Im Gleichgewicht = unendlich langsam abgekühlt



Kein Gleichgewicht = praktisches Abkühlen



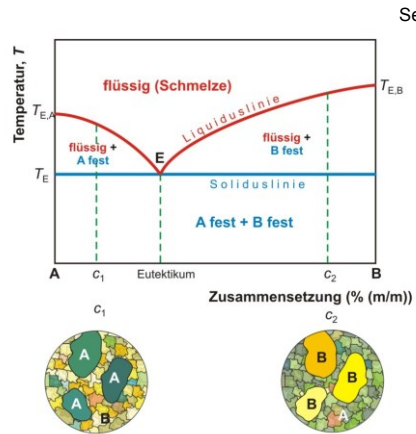
Einfluss der Legierung auf die Eigenschaften



16

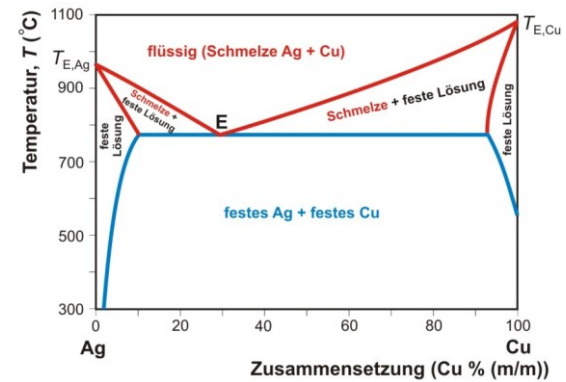
## Eutektische Legierungen

Vollständige Unlöslichkeit im festen Zustand →



17

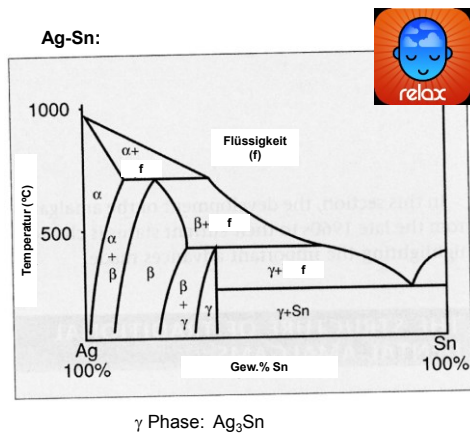
## Z.B. Ag-Cu



18

## Amalgam

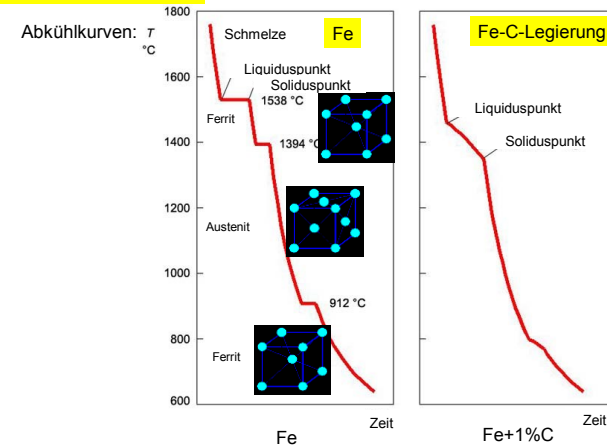
typische Zusammensetzung	
Metall	Gew. %
Hg	50
Ag	34
Sn	13
Cu	2
Zn	1



19

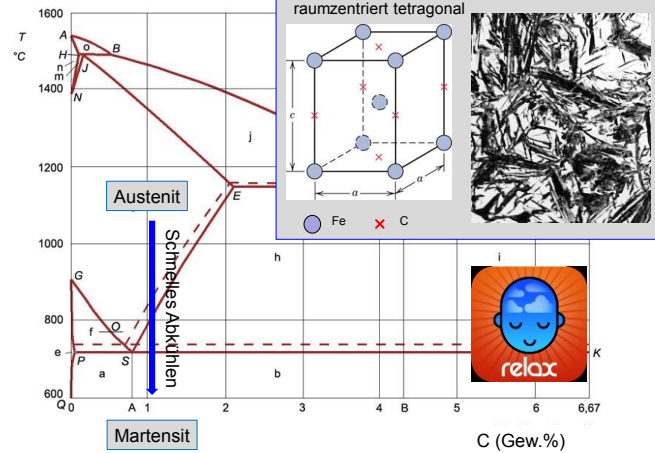
## Eine exotische Phase - Martensite

Beispiel: Fe-C-Legierung



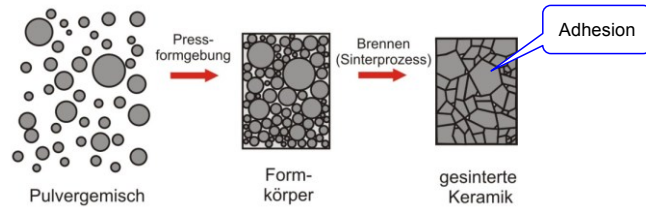
20

Phasendiagramm:



21

## Sintern



Ein praktisches Problem: die Porosität!



**Flüssigphasensintern:** Schmelzen + Sintern

23

## Keramiken

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

### Allgemeine Eigenschaften:

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

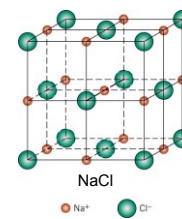


### Herstellung:

- Schmelzen
- Ausbrennen, Sintern

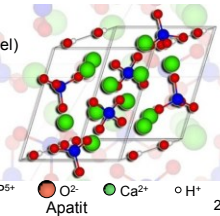
### Struktur:

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



### Anwendungsbeispiele:

- Kronen, Brücken
- Wurzelstift
- Zemente
- Polierstoffe



22

## \*\*Struktur

### amorph



### kristallin

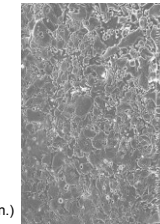
#### Einkristall



#### Polikristall

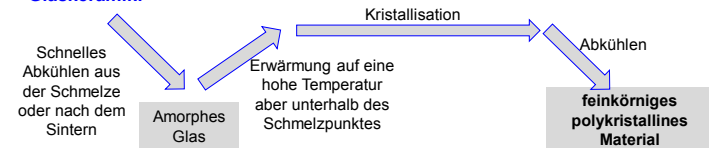


### gemischt



(Komplizierte Kristallgitterstruktur mit unterschiedlich großen Ionen.)

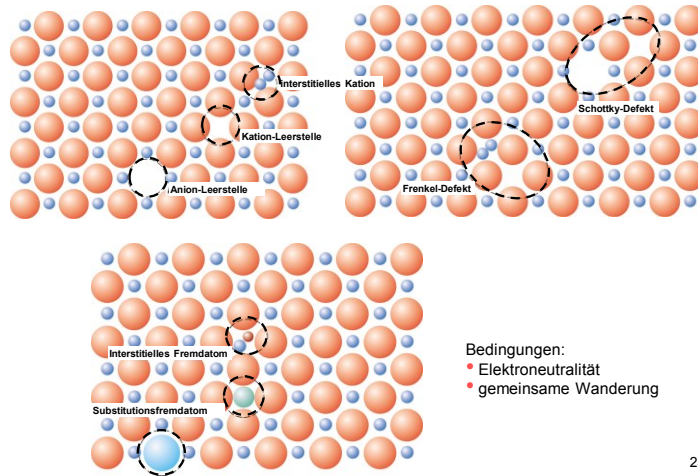
### Glaskeramik:



24



## Gitterdefekte:

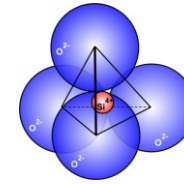


25

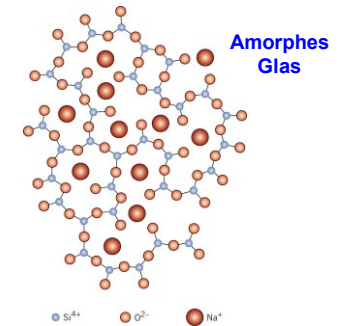
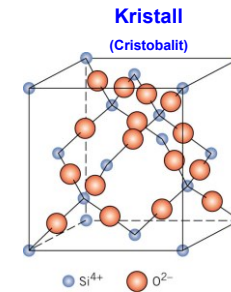
## Silikate

Mehrheitselemente: Si és O

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

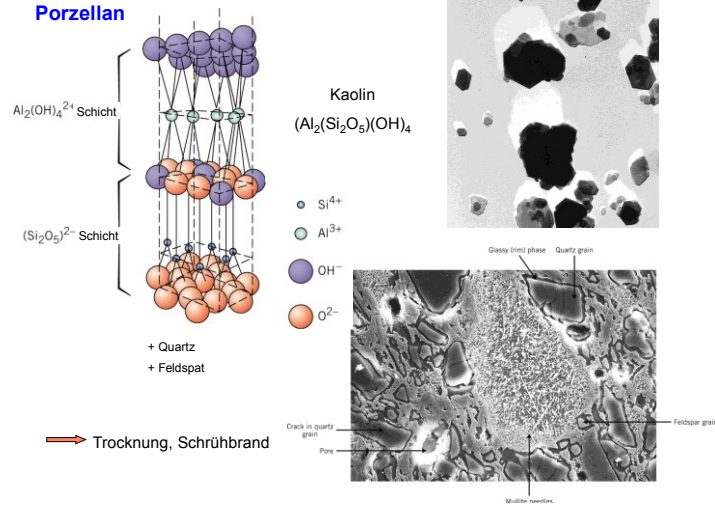


### • Siliciumdioxid ( $\text{SiO}_2$ )



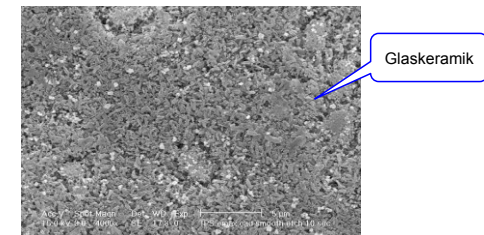
26

## Porzellan



### • Zahnärztliche Silikatkeramiken

- Amorphes Glas (Natronfeldspat oder Albit -  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ , Orthoklas -  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , ...)
- Amorphes Glas mit kristallinen Bereichen
  - amorphes Feldspatglas + wenig Leucitkristalle ( $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$ )
  - amorphes Feldspatglas + 50% Leucitkristalle ( $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$ )
  - Lithiumsilikatglas + 70% Lithiumdisilikatkristalle ( $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ )



28

## Oxidkeramiken

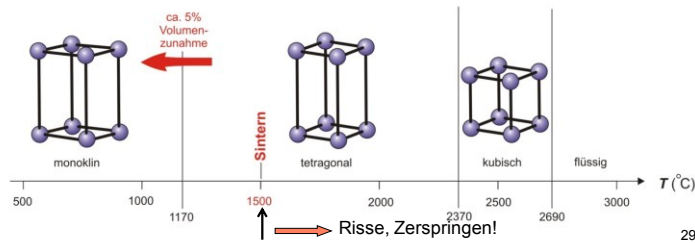
### • Zirkoniumdioxid ( $\text{ZrO}_2$ , Zirkon)

Eigenschaften (im dichtgesinterten Zustand):

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

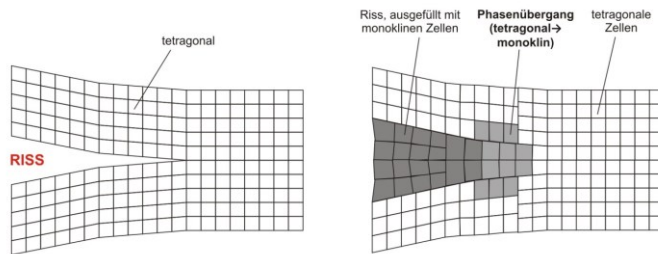
Herstellung:

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



29

„Selbstreparatur“ von Zirkon:



Durch Zugabe von Zirkon können andere  
Keramiken auch verstärkt werden.

s. Umwandlungsverstärkte  
Keramiken

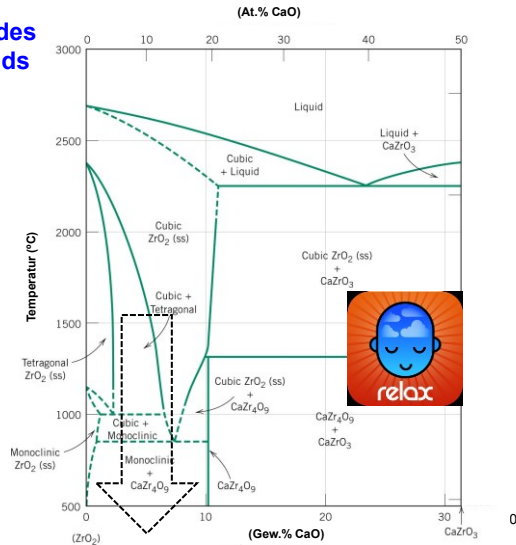
31

## Stabilisierung des Zirkoniumdioxids

$\text{ZrO}_2\text{—MgO}$

$\text{ZrO}_2\text{—CaO}$

$\text{ZrO}_2\text{—Y}_2\text{O}_3$



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

Eigenschaften:

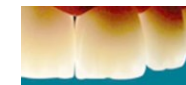
- durchsichtig, weiß
- Schmelzpunkt  $2700^{\circ}\text{C}$
- Dichte cca.  $4 \text{ g/cm}^3$
- Sehr hart (s. später)

Kristalline Strukturen:

Korund

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

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



### • Oxidkeramik Kristall + Glas

Nächste Vorlesung:  
Kapitel 12-13

32