



Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

5. Struktur der Materie Metalle, Legierungen

Schwerpunkte:

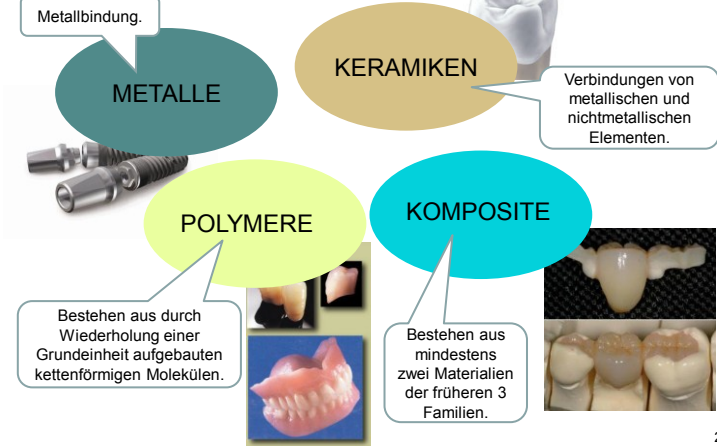
- ❖ Phasendiagramme von Legierungen
- Feste Lösung
- Eutektische Legierungen

Kapitel des Lehrbuches:
9-10

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

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

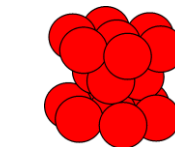


amorphes Metallglas!

3

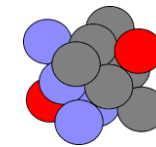
*Warum ist das hexagonale und das kubische Gitter so häufig bei Metallen?

Dichte Packung von gleich großen Kugeln



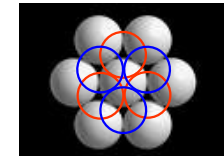
hexagonal-dichtest-gepackt (hcp)

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



kubisch-flächenzentriert (fcc)

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



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

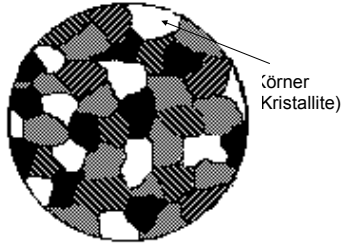
Raumerfüllung: 74 %

74 %

4

**Polykristalline Struktur

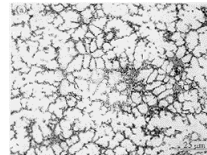
Mikroskopisches Niveau: Gefüge



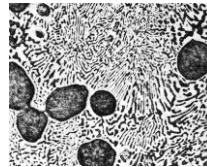
Untersuchung:

- 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)

Zur Umrechnung:

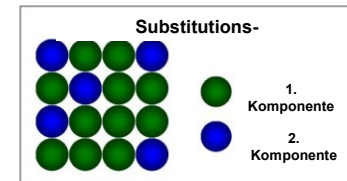
$$c_{v,1} = \frac{c_{m,1} \cdot M_2}{c_{m,1} \cdot M_2 + c_{m,2} \cdot M_1} (\cdot 100\%) \quad c_{m,1} = \frac{c_{v,1} \cdot M_1}{c_{v,1} \cdot M_1 + c_{v,2} \cdot M_2} (\cdot 100\%)$$

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

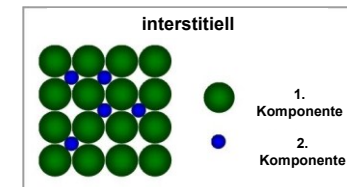
7

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

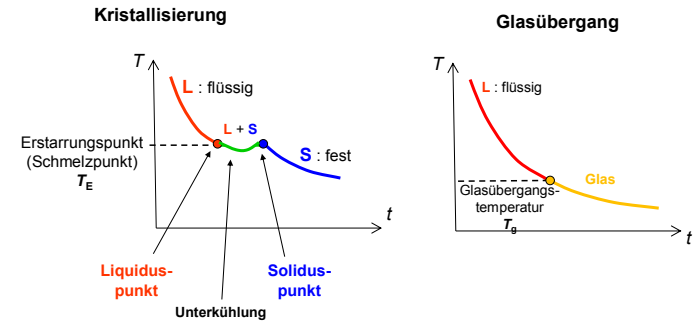
Metall	Durchmesser (nm)	Raumgitter	E.N.
Au	0,2882	fcc	2,4
Pt	0,2775	fcc	2,2
Pd	0,2750	fcc	2,2
Ag	0,2888	fcc	1,9
Cu	0,2556	fcc	1,9
Ni	0,25	fcc	1,8
Sn	0,3016	tetragonal	1,8

Löslichkeitsvoraussetzungen bei interstitiellen Mischkristallen:

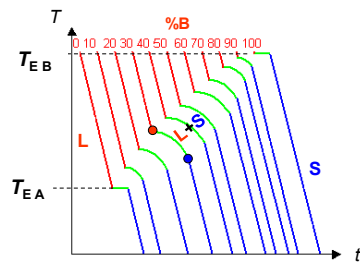
- „gelöste“ Atome wesentlich kleiner
- Menge der „gelösten“ Atome klein ($< 10\%$)

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

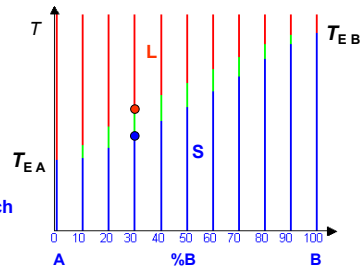
Abkühlkurve eines reinen Metalles



Abkühlkurve eines Mischkristalls:

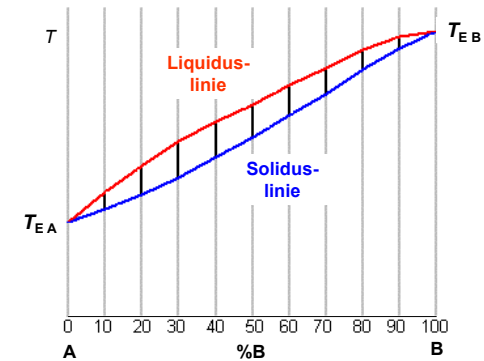


Phasendiagramm:

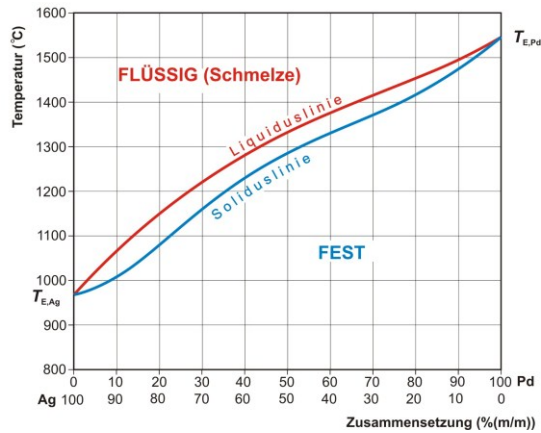


Im Gleichgewicht! = unendlich langsames Abkühlen

Gleichgewicht!



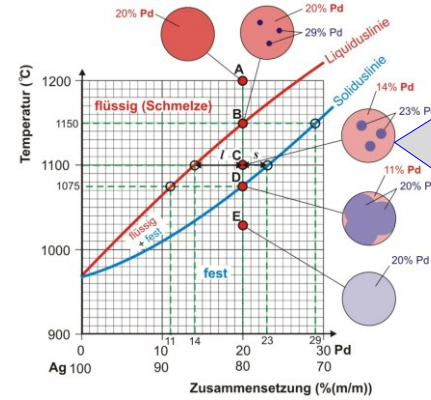
Beispiel: Silber (Ag) + Palladium (Pd)



13

Konzentrationen und Mengenanteile

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

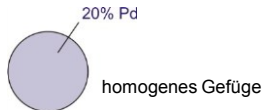


Zum Beispiel im Punkt C:

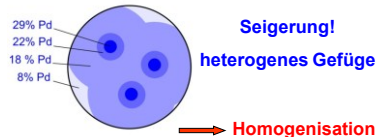
- Konzentrationen in der flüssigen Phase:
14% Pd + 86% Ag
- Konzentrationen in der festen Phase:
23% Pd + 77% Ag
- Mengenanteil der flüss. Phase:
$$\frac{s}{l+s} = \frac{23-20}{23-14} = \frac{3}{9} = 33,3\%$$
- Mengenanteil der festen Phase:
$$\frac{l}{l+s} = \frac{20-14}{23-14} = \frac{6}{9} = 66,6\%$$

14

Im Gleichgewicht = unendlich langsam abgekühlt

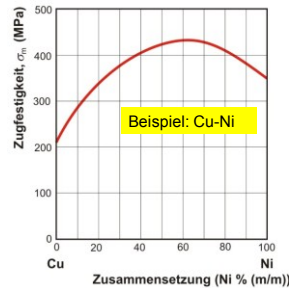


Kein Gleichgewicht = praktisches Abkühlen



Homogenisation

Einfluss der Legierung auf die Eigenschaften



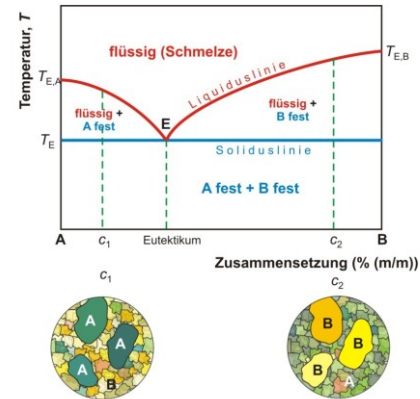
15

Eutektische Legierungen

Vollständige Unlöslichkeit im festen Zustand →

Seigerung →

heterogenes Gefüge



Beispiel:

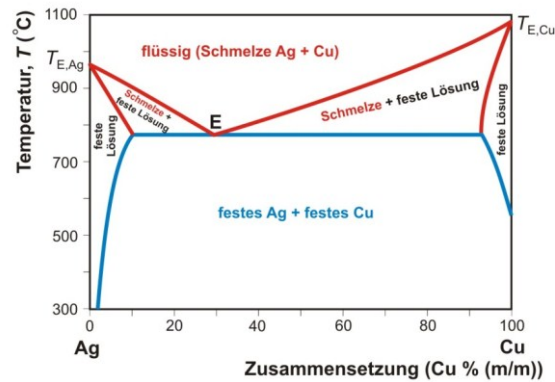
0°C 800°C
77% H₂O + 23% NaCl:
 $T_E = -21^\circ\text{C}$

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

>230°C

16

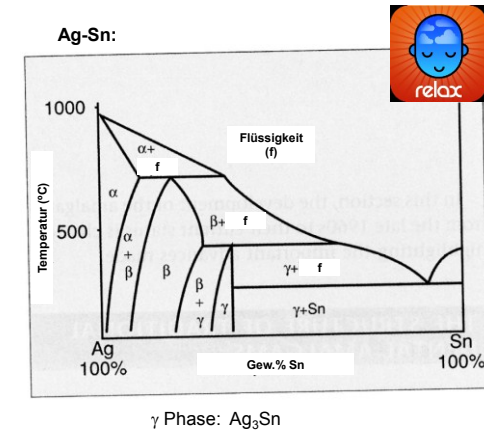
Z.B. Ag-Cu



17

Amalgam

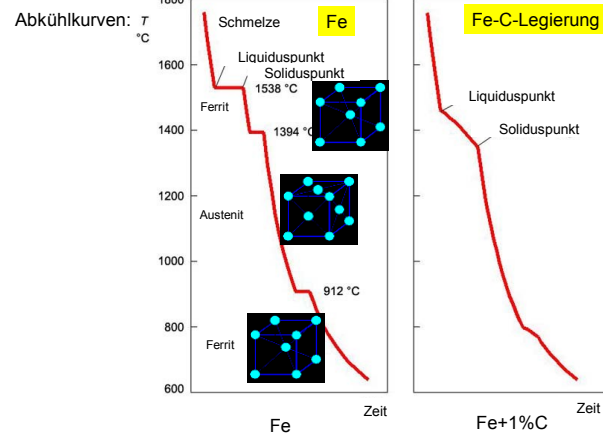
typische Zusammensetzung	
Metall	Gew. %
Hg	50
Ag	34
Sn	13
Cu	2
Zn	1



18

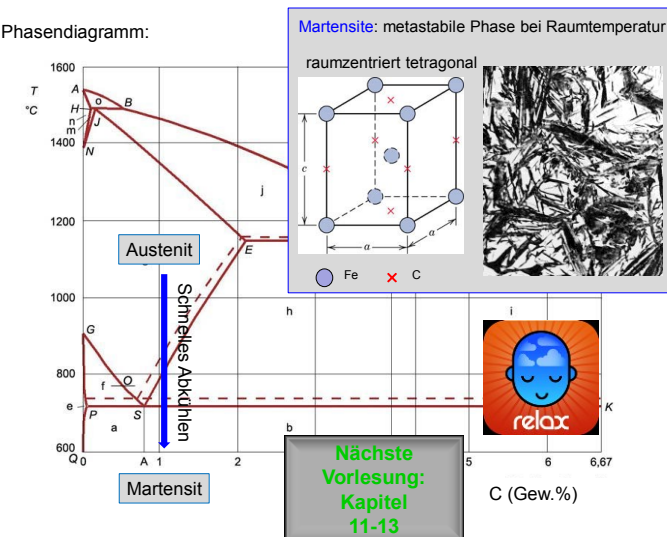
Eine exotische Phase - Martensite

Beispiel: Fe-C-Legierung



19

Phasendiagramm:



20