

Zustandsdiagramme

Die *Helmholtzsche* freie Energie ist bei thermodynamischem Gleichgewicht des Systems minimal.

$$\mathbf{F = U - T \cdot S}$$

$$(G = U + p \cdot V - T \cdot S = H - T \cdot S)$$

F: freie Energie des Systems (Helmholtz)

U: innere Energie des Systems ($U = Q + W$)

T: Temperatur ($^{\circ}$ K)

S: Entropie des Systems

(G: *Gibbssche* freie Energie, freie Enthalpie)

(H: Enthalpie)

- Die Struktur der Legierungen,
- Die thermodynamische Grundlagen der Zustandsdiagramme und
- Die grundlegende Zustandsdiagramme und deren Benutzung kennenlernen.

Folie: 3

Legierung, metallische Legierung (Mehrkomponente, dem Augenschein nach homogene, metallische Eigenschaften haben)

Komponenten

- metallisch (Fe, Cu, Al), metalloidisch (C, Si, Sb),
- nichtmetallisch (S, P, N)

Zweck der Legierung

Herstellung der Legierungen

- Schmelzen
- Sintern (pseudo-Legierung) WC, TiC, NbC
- Oberflächenlegierung (Aufkohlen, Nitrieren, Ionenimplantation, Diffusion)

Folie: 4

Mischkristall

Homogene, einphasige struktur

Kristallgitter gehört zum Grundmaterial

Legierungselementen sitzen im Kristallgitter oder in der Lücken des Kristalls des Grundmaterials

Kein Schmelzpunkt

Substitutionsmischkristall

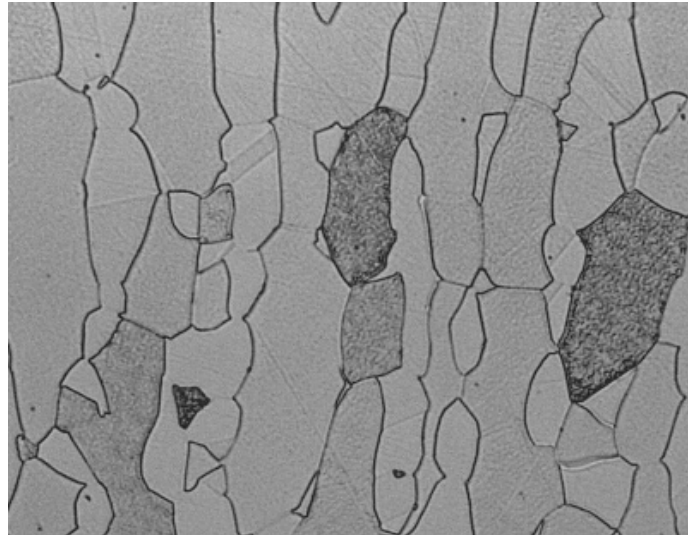
Interstitialmischkristall

Lösbarkeit (T):

unbegrenzt,

begrenzt

($\rightarrow 0$ wenn $T \rightarrow 0K$)



Folie: 5

Bedingungen der unbeschränkten substitutielle Mischkristallbildung:

1. gleiches Gittertyp
2. ungefähr gleiches Atomdurchmesser (unterschied max. 14%)
3. In die Elektronenaffinitätsreihe nicht zu weit voneinander entfernt, sonst entsteht Ionenverbindung
4. Anzahl der Valenzelektronen der lösende (A) und gelöste (B) Atome gleich.

Vegard-Regel:
$$a_{Leg.} = a_A(1 - C_B) + a_B C_B = a_A + C_B(a_B - a_A)$$

Metallographische Phase (kein Aggregat): ein Teil des Systems, begrenzt mit selbstständigen Grenzoberfläche, wo die Zusammensetzung und die Eigenschaften, die *im wesentlichen, als homogen berücksichtigt werden kann.*

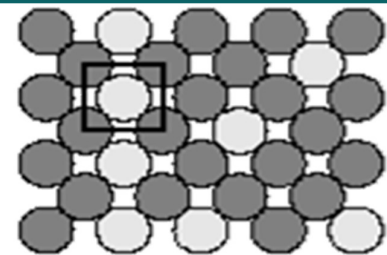
- Schmelze als Phase
- Rein Komponent (A, B)
- Mischkristall (feste Lösung) (α , β) (substitutions-, interstitutions- MK.)
- Verbindung (Ion-, Elektron-, interstitielle)

Folie: 7

Ähnliche Atomdurchmesser und Atomstruktur

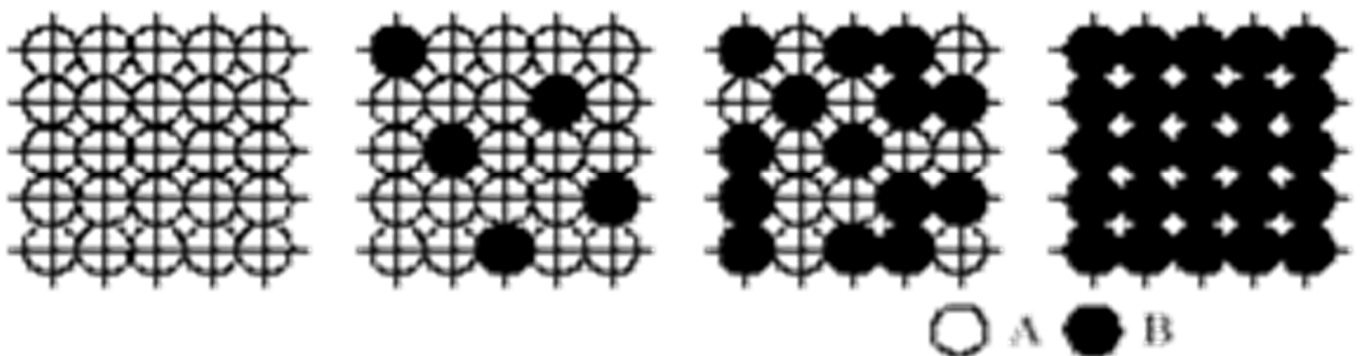
Anforderungen (Hume-Rothery):

- Gleicher Gittertyp
 - Differenz der Atomdurchmesser $< 15\%$
 - Kleines Elektronen negativität- Unterschied
 - Relative Valenzeinfluß (kleinere Valenzzahl, mehr Lösungsfähigkeit)
- z.B.: Cu (II) - Si (IV)



Cu-Ni, Au-Ag, Au-Cu

0.0001% < C% < 99.9999%



Anschauung zur Bildung von Mischkristall mit unbegrenzten Löslichkeit

Folie: 8

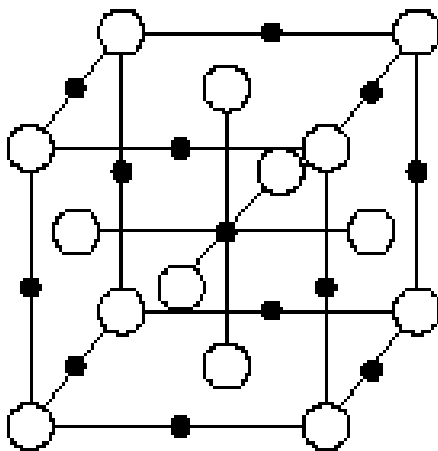
Unbegrenzte Mischkristall
Statistisch ungeordnetes Mischkristall
Mischkristall mit geordnetes Gitter

hexagonal
12:7

Eigenschaft

Zusammensetzung mit mit geordnetes Gitter

Elementen mit kleinem Atomdurchmesser
(H, O, N, C, B) in der Gitterlücken



Die interstitielle
Legierung von C und Fe

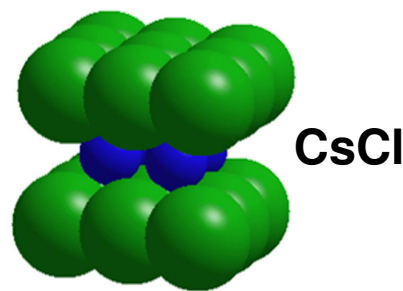
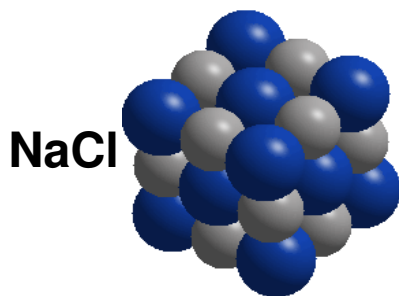
- H₂ Reiniger (400 ° C) durch Pd-Zellen
- H - Ni
- H - Fe

Im tatsächlichen Gitter sind die
Legierungselemente viel weniger
als die zur Verfügung stehende
Gitterplätze

- Bedingungen für Mischkristallbildung nicht erfüllt
- stöchiometrisches Verhältnis fixiert A_nB_m aber kann vorkommen daß die einzelnen Komponenten einander lösen
- gleicher Gittertyp (unabhängig vom Gitter der Komponenten)
- Schmelzpunkt

Ion-Verbindungen

Elementen mit stark metallischen Charakter (Na, Ca) bilden Verbindungen mit nichtmetallischen Elementen (Cl, F). Im Gitter herrscht Ionenbindung.



Folie: 11

Elektron-Verbindung

Metalle mit höherem Schmelzpunkt (Cu, Ag, Au, Fe, Co, Ni) bilden solche Verbindungen mit Metallen niedrigeren Schmelzpunkt (Cd, Al, Sn, Zn, Be), wo der Verhältnis der Valenzelektronen der Atome die im Bindung sind können mit einfachen Ganzzahlen ausgedrückt werden (A/n_e).

Die Elektronenverbindungen werden mit griechische Buchstaben bezeichnet:

$$\beta: A/n_e=2/3, \quad \gamma: A/n_e=4/7, \quad \epsilon: A/n_e=13/21,$$

CuZn CuZn₃ Cu₅Zn₈

Interstitielle Verbindung

- Metalle mit hohem Schmelzpunkt (Fe, Cr) mit Metalloid Elementen (kleiner Atomradius) am interstitiellem Gitterplatz $r_{\text{Metalloid}}/r_{\text{Metall}}=0,55\dots0,66$
- unterschiedliches Gitter vom Grundmaterialgitter! (\Leftrightarrow Mischkristall)
- Körner mit hohen Härtewerten, verschleißfest
- Fe und C bildet Interstitutionsmischkristall und Interstitutionsverbindung Fe₃C Eisenkarbid, Zementit



Al - Mg₂Si

Folie: 12

Folgende Mischkristallarten sind bei zwei- und mehrkomponentigen Legierungen zu unterscheiden:

	Mischkristallart	Aufbau	Beispiele
1	einfache Substitution	B-Atome auf regulären Plätzen des A-Gitters (binäre Legierung)	FeMn, CuSn, CuZn, CuNi
2	mehrfache Substitution	B- und C-Atome auf regulären Plätzen des A-Gitters (ternäre Legierung)	FeMnSi, CuSnZn, CuNiZn
3	einfache Interstition	B-Atome auf Gitterlücken des A-Gitters	FeC, FeN
4	mehrfache Interstition	B- und C-Atome auf Gitterlücken des A-Gitters	FeCN
5	einfache (mehrfache) Substitution und einfache (mehrfache) Interstition	B-Atome (C-, D-...Atome) auf regulären Plätzen und M-Atome (N-, O-...Atome) auf Gitterlücken des A-Gitters	FeMnC, FeNiCrCN

Folie: 13



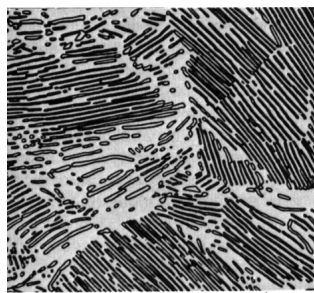
1=Phase1
2=Phase2

	Phase 1	Phase 2	Beispiele		
			Legierung	Phase 1	Phase 2
1	reines Metall A	reines Metall B	FePb AgCr	Fe Ag	Pb Cr
2	reines Metall	Mischkristall	GeAg SiAu	Ge Si	Ag-reich Au-reich
3	reines Metall	intermetallische Verbindung	MgZn AgSr	Zn Ag	MgZn ₅ Ag ₄ Sr
4	reines Metall	intermediäre Verbindung	CuO CuS	Cu Cu	CuO Cu ₂ S
5	A-reicher Mischkristall (α-Mischkristall)	B-reicher Mischkristall (β-Mischkristall)	CrNi AlSi	Cr-reich Al-reich	Ni-reich Si-reich
6	Mischkristall	intermetallische Verbindung	CuSn AgMg	Cu-reich Al-reich	Cu ₄ Sn Al ₃ Mg ₂
7	Mischkristall	intermediäre Verbindung	FeC FeN	Fe-reich (α-MK) Fe-reich	Fe ₃ C Fe ₄ N
8	intermediäre Verbindung	intermediäre Verbindung	FeO CuO	Fe ₃ O ₄ Cu ₂ O	Fe ₂ O ₃ CuO
9	intermetallische Verbindung	intermetallische Verbindung	CuSn AlMn	Cu ₄ Sn Al ₆ Mn	Cu ₃ Sn Al ₄ Mn

Folie: 14

Wenn die Komponenten weder Mischkristall noch metallische Verbindung miteinander bilden, dann kristallisiert sich diese Legierung als die Kristallgemisch dieser zwei Komponenten. Vom Schmelze erstarrte heterogene Struktur heißt **Eutektikum** und vom Festen Zustand gebildetes ähnliche heterogene Struktur heißt **Eutektoid**. Beide bilden heterogene zweiphasige Struktur. Abhängig von der Kristallisation können körnige oder lamellare Strukturen bilden. Ähnlich zur Reinmetallen erstarren beim konstanten Temperatur.

Fe-C
Eutektoid



Pb-Sn
Eutektikum

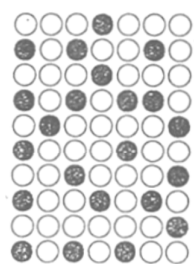


Folie: 15

Erscheinungsformen homogener Legierungen

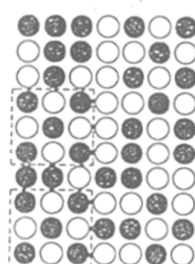
Bei homogenen, zweikomponentigen Legierungen (homogenen Mischkristallen) ist der Legierungszusatz B im Gitter des Grundmetalls A (Wirtsgitter) entweder substitutionell (ausgetauscht) oder interstitiell (eingelagert) gelöst, tritt also in Form von Substitutions (Austausch) mischkristallen oder Interstitutions (Einlagerungs) mischkristallen auf.

Mögliche Zustandsformen homogener Mischkristalle



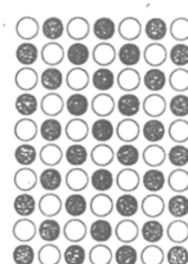
statistisch regellos

gleichviel AA, BB, AB
 $2U_{AB} = U_{AA} + U_{BB}$



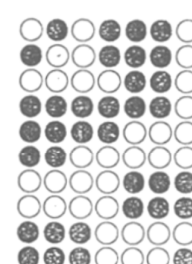
nahgeordnet

mehr AB als AA, BB
 $2U_{AB} > U_{AA} + U_{BB}$



ferngeordnet

mehr AA, BB als AB
 $2U_{AB} < U_{AA} + U_{BB}$



entmischt

Folie: 16

Gleichgewichtsgittertyp (T, P)

allotrope Umwandlung

fest - fest Umwandlung

Sn (Zinnpest)

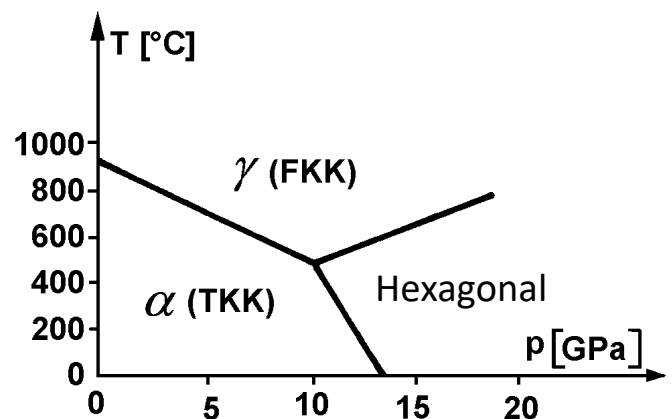
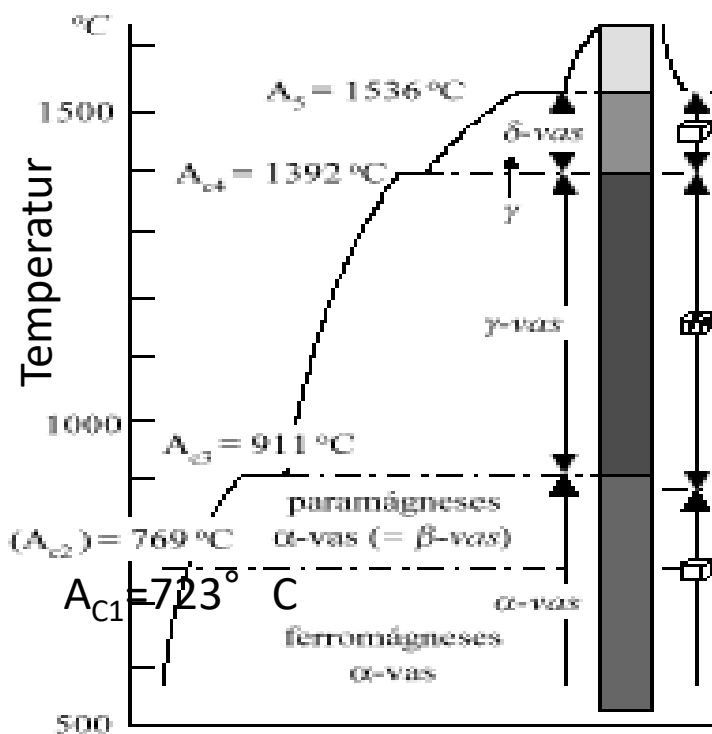
α Sn (Diamantgitter) \Leftrightarrow β Sn (RZ tetragonal) 13,2 C°

SiO₂ (Quarzglas)

Al₂O₃ (Aluminiumoxid)

Folie: 17

Allotrope Umwandlungen des Eisens (Fe)



Ferrit - Austenit

KRZ \Rightarrow KFZ (8,8 %)

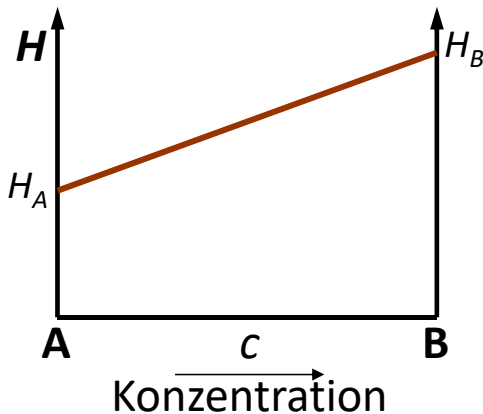
Folie: 18

Thermodynamische Funktionen

Freie Energie oder freie Entalpie (G), Enthalpie (H), Entropie (S)

Untersuchung der Zweikomponentensystem

in idealer Lösung (wenn in beliebiger Punkt A Atom mit B Atom ersetzt wird ändert sich die Entalpie nicht) die **Enthalpie**:



$$H = H_A + (H_B - H_A) c$$

Die **Entropie** ist ein statistischer Begriff:

$$S_k = k \ln w$$

Folie: 19

k - Boltzmann-Konstante, **w** - thermodynamische Wahrscheinlichkeit, die Maß der Anordnungsmöglichkeiten des Systems.

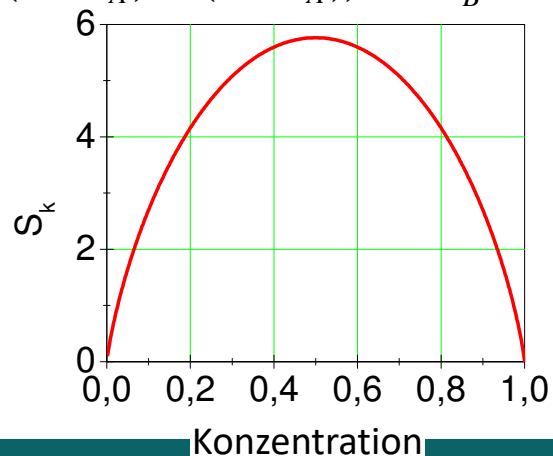
$$w = \frac{N!}{n!(N-n)!}, \quad S_k = k \ln \frac{N!}{n!(N-n)!}$$

$$S_k = -kN \left(\frac{N-n}{N} \ln \frac{N-n}{N} + \frac{n}{N} \ln \frac{n}{N} \right)$$

$$C_A = \frac{n}{N} \quad S_k = -kN (C_A \ln c_A + (1 - C_A) \ln(1 - C_A)) \quad C_B = \frac{N-n}{N}$$

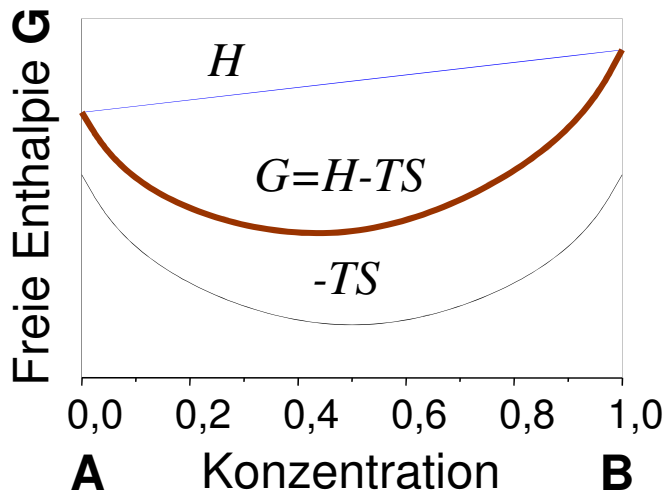
Wenn **N** ist die Avogadro-Zahl:

$$R = kN = 8.314 \frac{J}{Kmol}$$

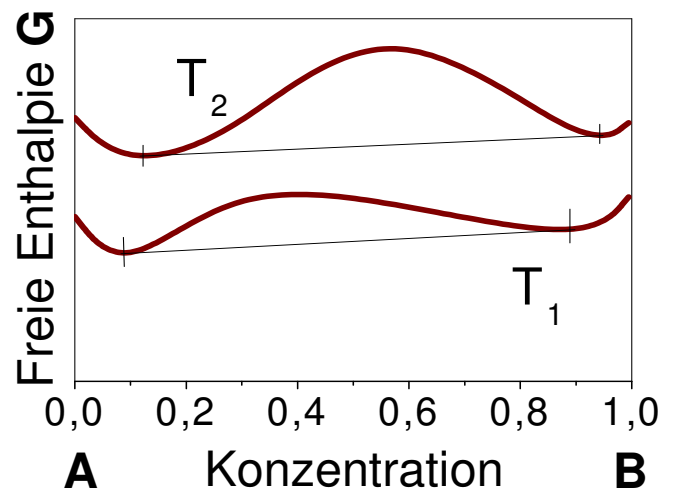


Folie: 20

Ideal



Real



Folie: 21

Alle Phasen sind mit Freienergiekurven charakterisiert. \Rightarrow
Zahl der Freienergiekurven = Zahl der Phasen.

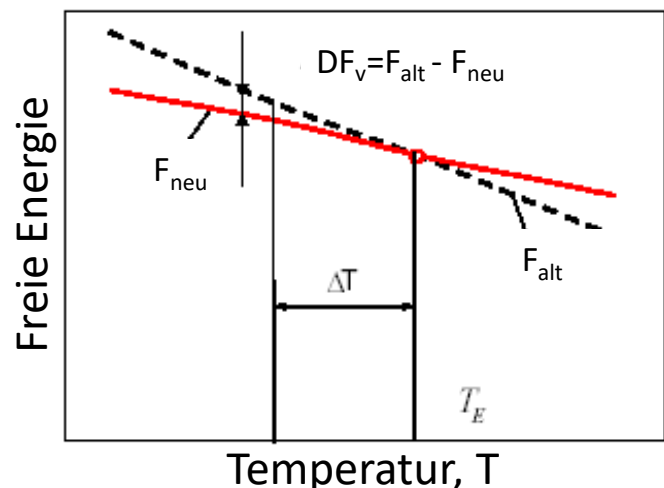
Im einphasigen Bereich ist die Phase stabil, die mit der kleinsten Freienergie zur Verfügung steht.

Bedingung des Gleichgewichts von zweien Phasen:

$$F_{\alpha} = F_{\beta}$$

Aktivierungsenergie:

$$DF = F_{\text{alt}} - F_{\text{neu}}$$



Folie: 22

Bedingung des Gleichgewichts: die gesamte Energie des Systems soll minimal sein.

Alle Phasen sind mit Freiergiekurven charakterisiert. \Rightarrow Zahl der Freiergiekurven = Zahl der Phasen.

Im **einphasigen Bereich** ist die Phase stabil, die mit der kleinsten Freiergie zur Verfügung steht.

Im **mehrphasigen Bereich** :
$$\frac{\partial F_{\text{neu}}}{\partial C} = \frac{\partial F_{\text{alt}}}{\partial C} = \mu_{\text{neu}} = \mu_{\text{alt}}$$

Die Freiergiekurven der Phasen im Gleichgewichtszustand haben gleiche Tangente, die auch zur Freiergiekurve des Systems im gemeinsamen Bereich (als minimal Linie) gehört.

Konzentration, C

Temperatur (T)

Druck (P)

Anzahl der Freiheitsgrade:
die Anzahl der frei wählbaren Zustandsgrößen
(Druck, Temperatur, Konzentration) minus die
Zahl der aufschreibbaren Gleichungen.

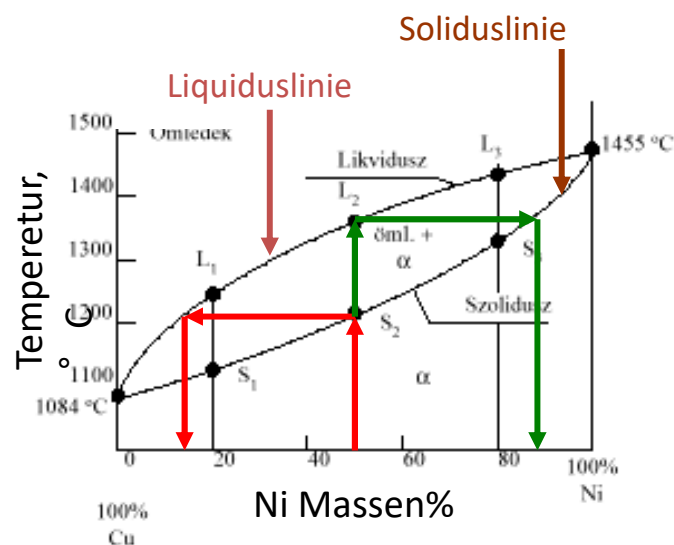
Im allgemeinen: $F = K - P + 2$

In der Werkstoffkunde: $F = K - P + 1$

(da der Druck konstant ist.)

Folie: 25

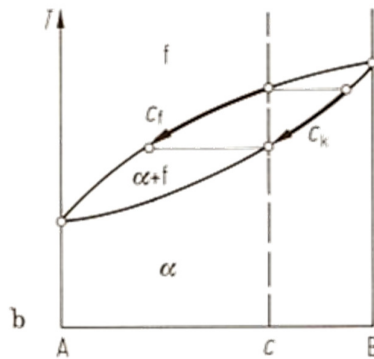
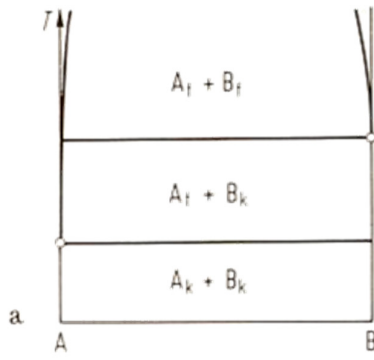
Diagram in der T-c Ebene, was die Qualität und Menge der Phasen bei allen Konzentrationen und Temperaturen im Gleichgewichtszustand angibt.



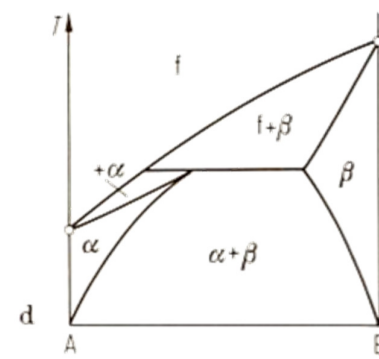
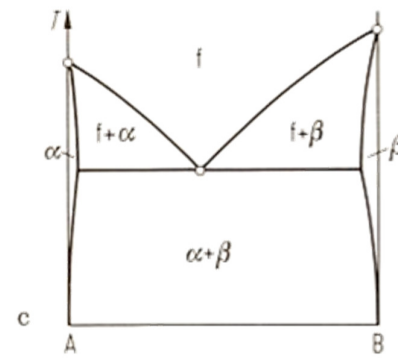
Die Zahl der möglichen binären Zustandsdiagramme ($n=90$) $>$ 4000

Gustav Tamman \rightarrow 8 Grundtypen (ideale Gleichgewichtsdigramme)

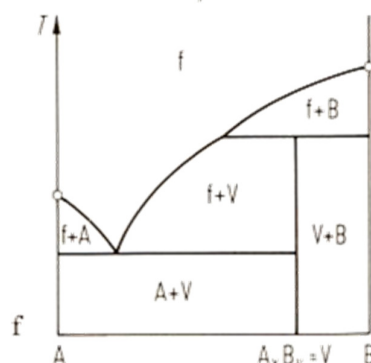
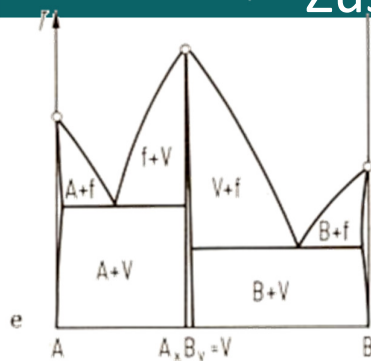
Folie: 26



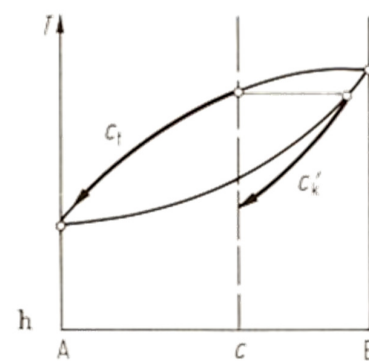
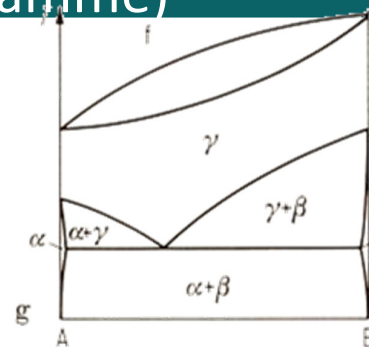
a. Fast völlige Unmischbarkeit
b. Völlige Mischbarkeit



c. Begrenzten Mischbarkeit
d. Peritektisches System



e. Chemische Verbindungsmischkristall
f. Chemische Verbindung



g. Eutektoidisches System
h. Typ b. mit Abkühlungsgeschwindigkeit abhängigen Soliduslinie

Liquiduslinie gekrümmt \Leftrightarrow im geschmolzenen Zustand unbegrenzte Lösung

Soliduslinie gekrümmt \Leftrightarrow homogenes Bereich

Soliduslinie waagrecht \Leftrightarrow heterogenes Bereich

Übergang der Diagrammlinie \Leftrightarrow Phasenzahl ändert sich.

Aber: — heterogene (mehr Phasen)

| homogene (eine Phase)

Gekrümmte Linie unter der Soliduslinie \Leftrightarrow Mischkristall

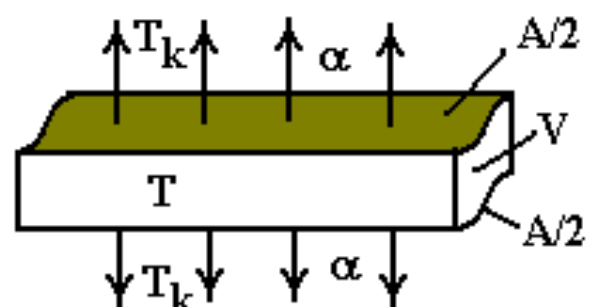
Senkrechte Linie unter der Soliduslinie \Leftrightarrow Reinmetall oder Verbindung

$$dQ_{\text{zugenommen}} = V \cdot c \cdot \rho \cdot dT = dQ_{\text{abgegeben}} = -\alpha \cdot A \cdot (T - T_k) \cdot dT$$

Newtonsche-Abkühlungskurve: $T = T_k + (T_0 - T_k)e^{-\beta t}$

Wo: $\beta = \frac{\alpha A}{V c \rho}$

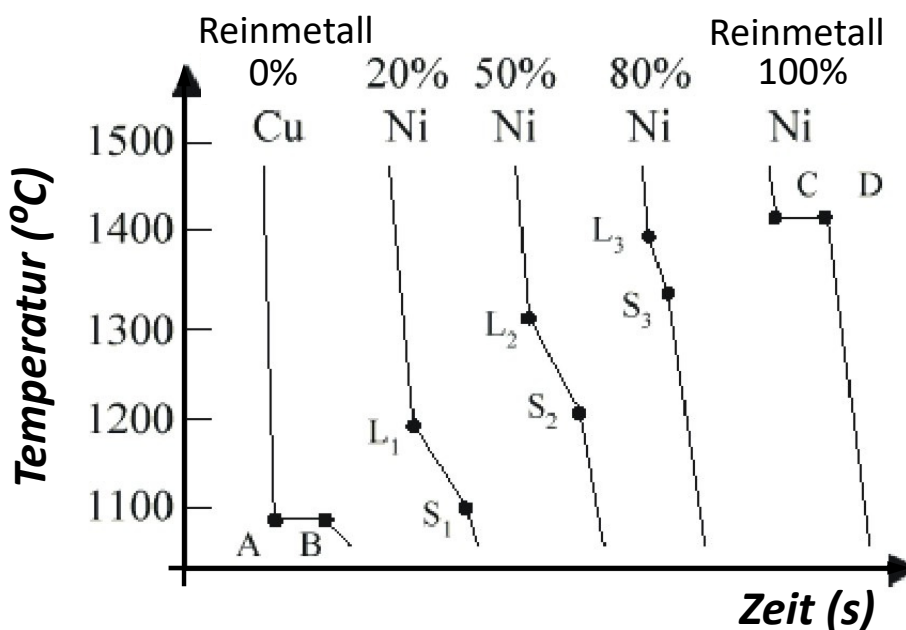
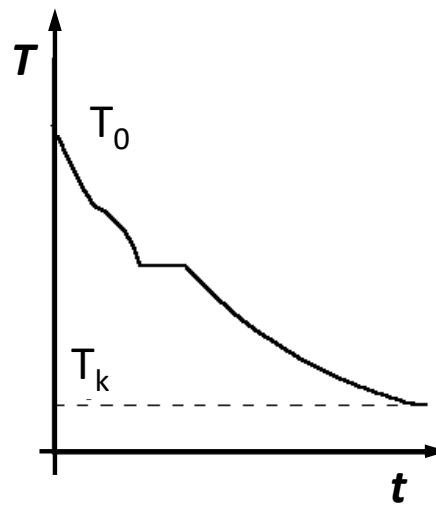
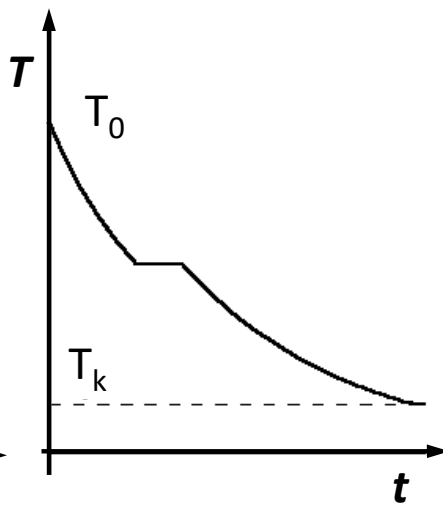
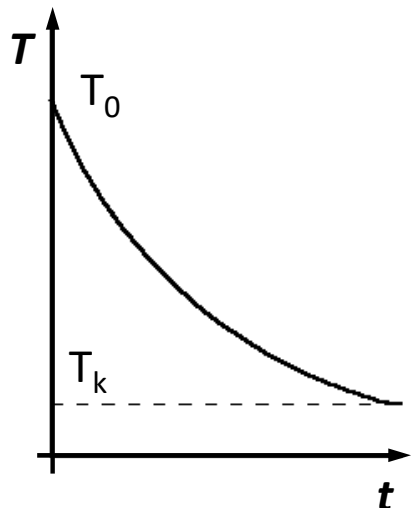
- T_k die Temperatur der Umgebung
- T_0 die Anfangstemperatur (before Abkühlung)
- α die Wärmeübergangszahl
- A die abkühlende Oberfläche der Probe
- V das Volumen der Probe
- c die Wärmekapazität
- ρ die Dichte der Probe

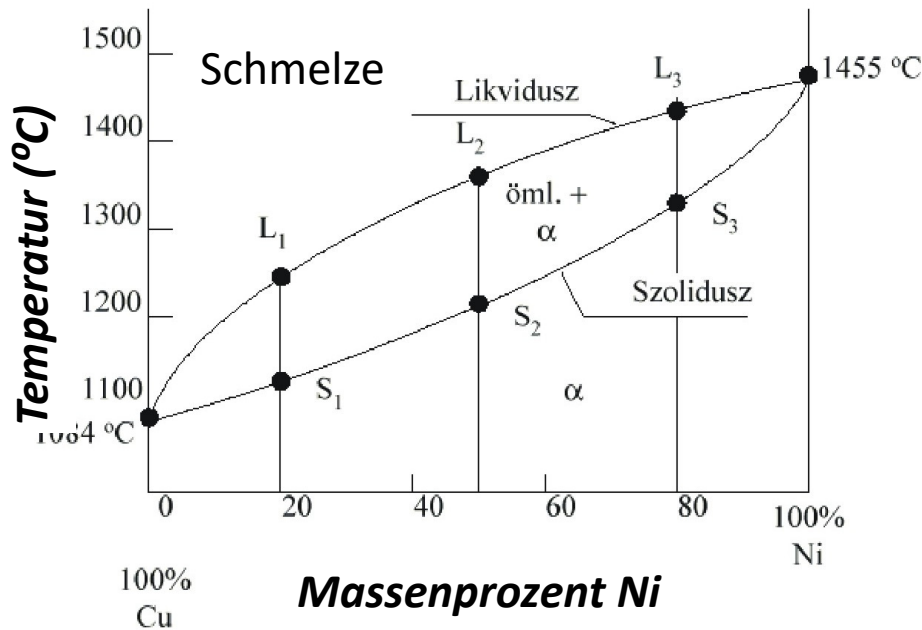


Newtonsche-
Abkühlungskurve

Reinmetall oder
Eutektikum, Eutektoid

Schmelze+ Eutektikum,
Mischkristall+ Eutektoid





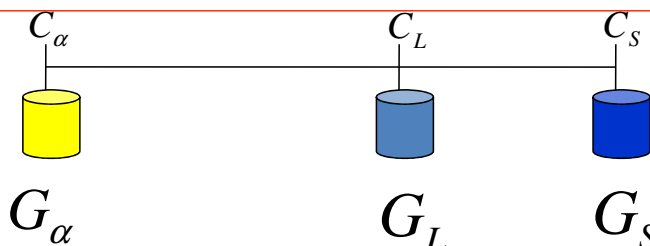
Folie: 33

- Typ der Phasen im Gleichgewichtszustand
- Konzentration der Phasen im Gleichgewichtszustand
- Verhältnis der Phasenmengen (Hebelregel)

$$C_L \cdot G_L = C_S \cdot G_S + C_\alpha \cdot G_\alpha \rightarrow C_L = C_S \cdot \frac{G_S}{G_L} + C_\alpha \cdot \frac{G_\alpha}{G_L}$$

$$G_L = G_S + G_\alpha \rightarrow G_S = G_L - G_\alpha$$

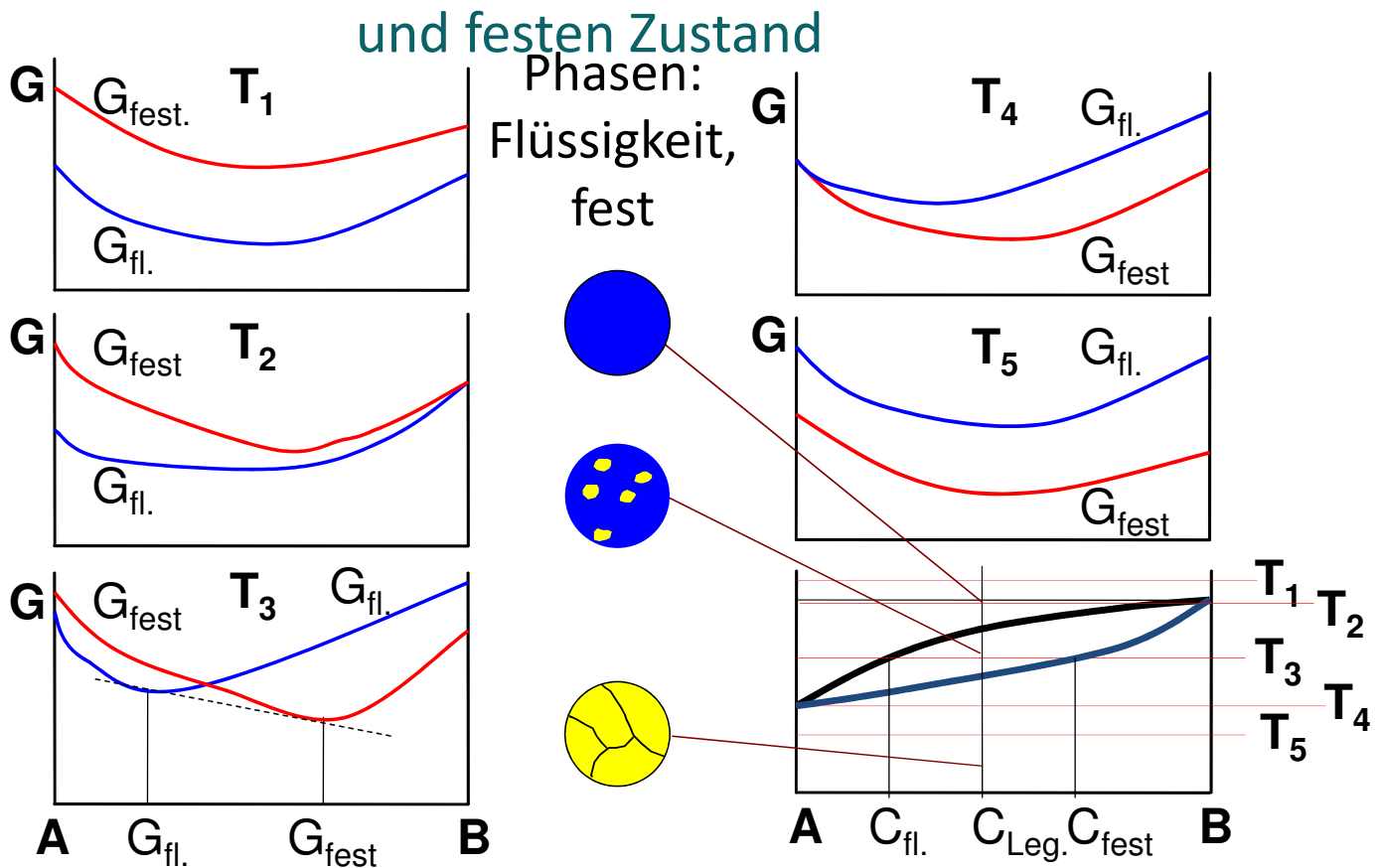
$$G_\alpha \cdot (C_L - C_\alpha) = G_S \cdot (C_S - C_L)$$



$$G_\alpha = G_L \cdot \frac{C_S - C_L}{C_S - C_\alpha}$$

$$G_S = G_L \cdot \frac{C_L - C_\alpha}{C_S - C_\alpha}$$

Folie: 34

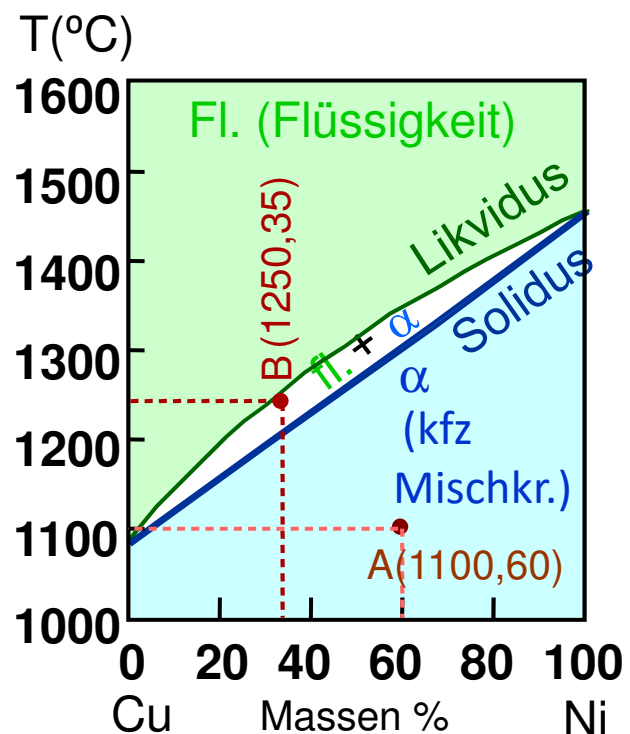


Bei gegebener Temperatur (T) und Konzentration (C) kann der Anzahl und Qualität der Phasen bestimmt werden.

Beispiel:

A(1100,60):
1 Phase: α

B(1250,35):
2 Phase: fl. + α



Bei gegebene Temperatur einer Legierung kann die Konzentration der Phasen die im Gleichgewicht stehen bestimmt werden.

$$C_{\text{Leg.}} = 35\% \text{ Ni}$$

Bei T_A nur flüssige Lösung

$$C_{\text{fl.}} = C_{\text{Leg.}} = 35\% \text{ Ni}$$

Bei T_D nur α feste Lösung

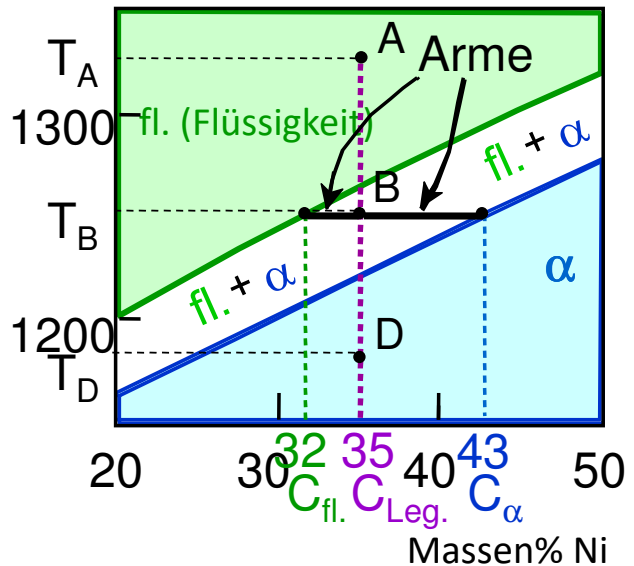
$$C_{\alpha} = C_{\text{Leg.}} = 35\% \text{ Ni}$$

Bei T_B zwei Phasen ($\alpha + \text{Fl.}$)

$$C_{\text{fl.}} = C_{\text{Likvidus}} = 32\% \text{ Ni}$$

$$C_{\alpha} = C_{\text{Solidus}} = 43\% \text{ Ni}$$

T(°C) Cu-Ni System



Auf gegebene Temperatur bei gegebener Konzentration der Legierung kann die Menge der Gleichgewichtsphasen bestimmt werden.

$$C_{\text{Leg.}} = 35\% \text{ Ni}$$

Bei T_A nur Flüssigkeit

100 % Flüssigkeit, 0% α

Bei T_D nur α Mischkristall

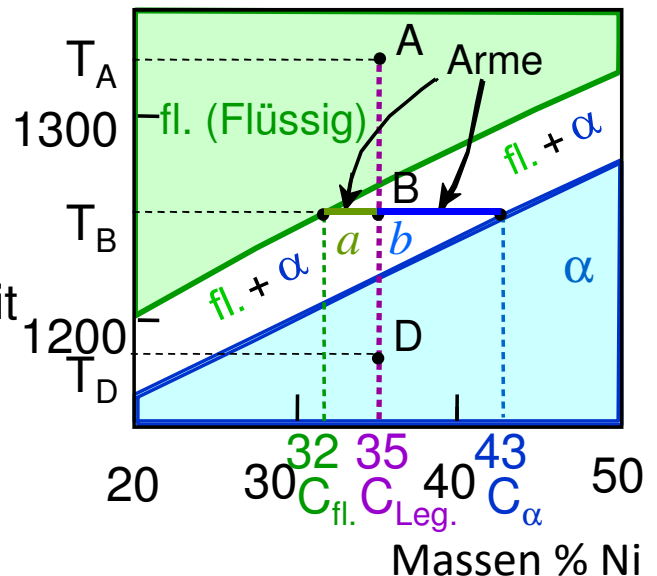
100 % α , 0% Flüssigkeit

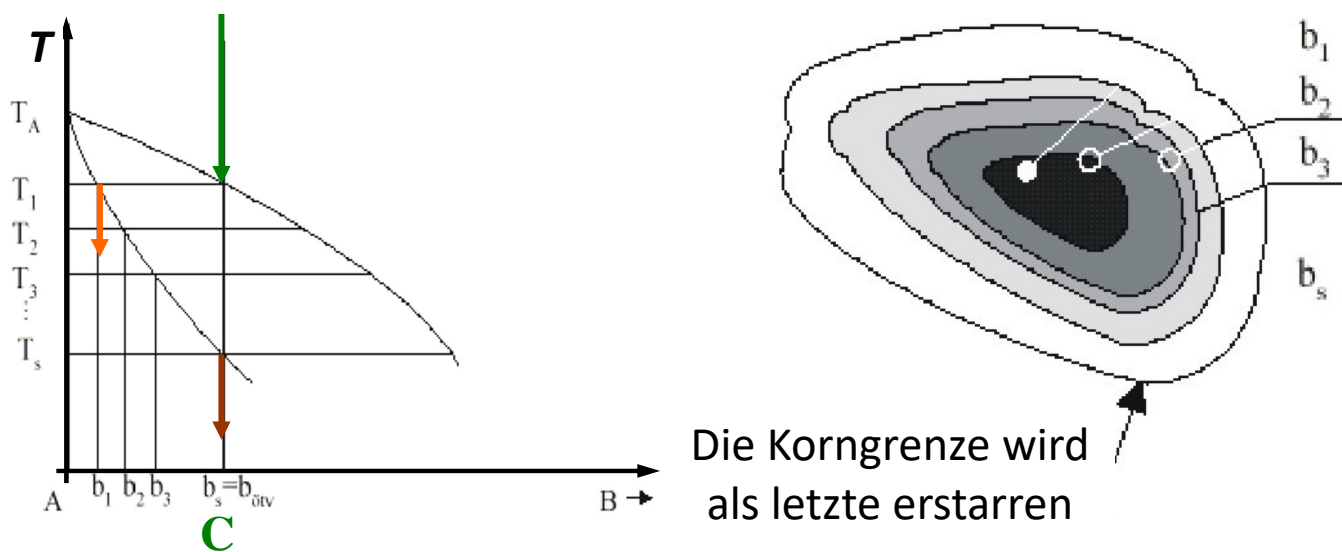
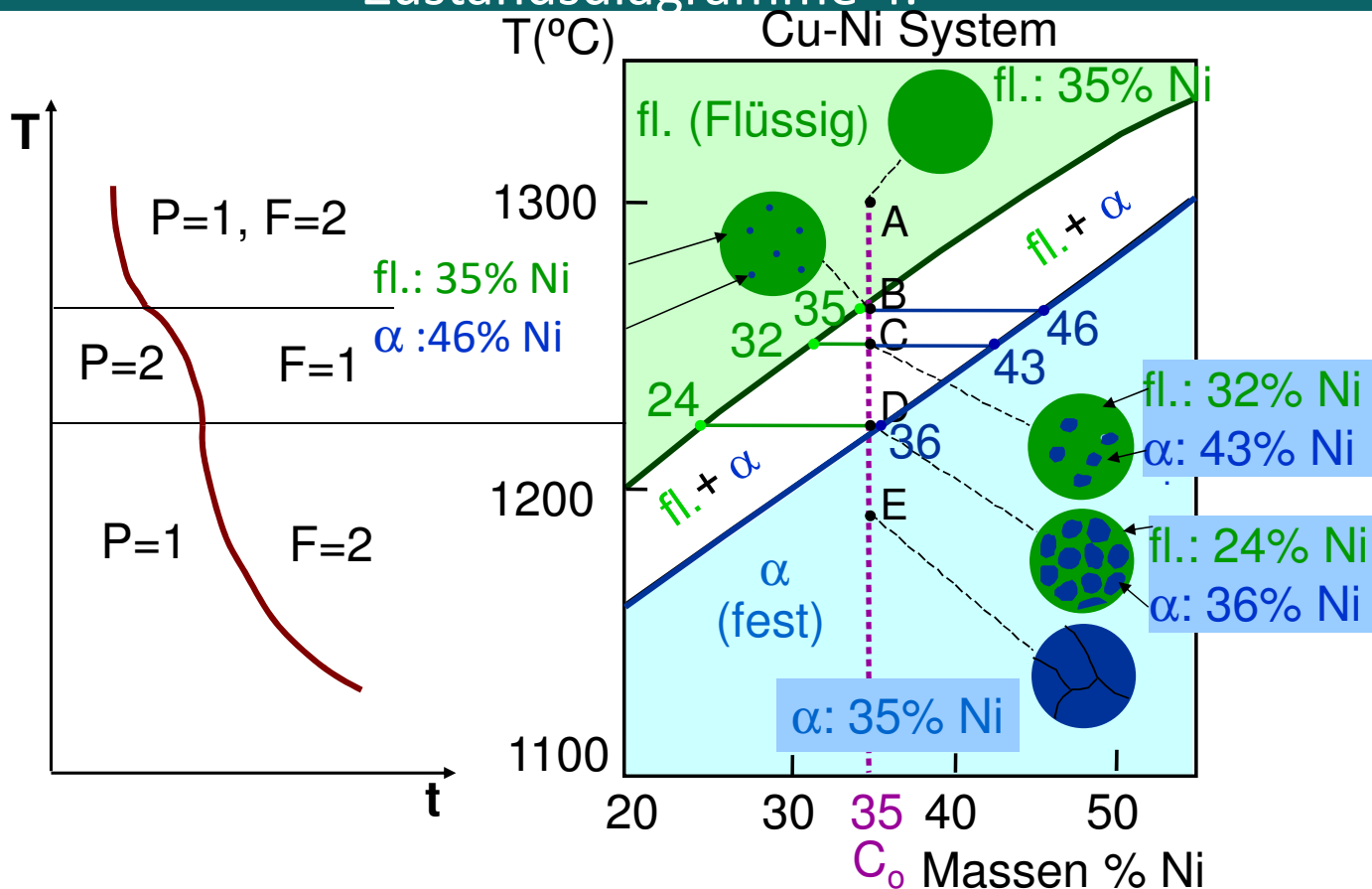
Bei T_B zwei Phase $\alpha + \text{Flüssigkeit}$

$$x(\text{fl.}) = \frac{b}{a+b} = \frac{43-35}{43-32} = 73\%$$

$$y(\alpha) = \frac{a}{a+b} = \frac{35-32}{43-32} = 27\%$$

T(°C) Cu-Ni System





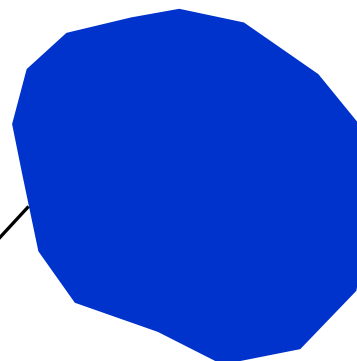
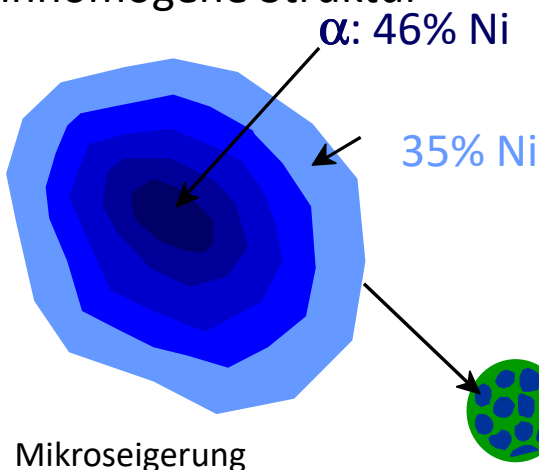
C_a ändert sich während der Erstarrung.

Cu-Ni System: Zuerst erstarrt α $C_{\alpha} = 46\% \text{ Ni}$

Als letztes erstarrt α $C_{\alpha} = 35\% \text{ Ni}$

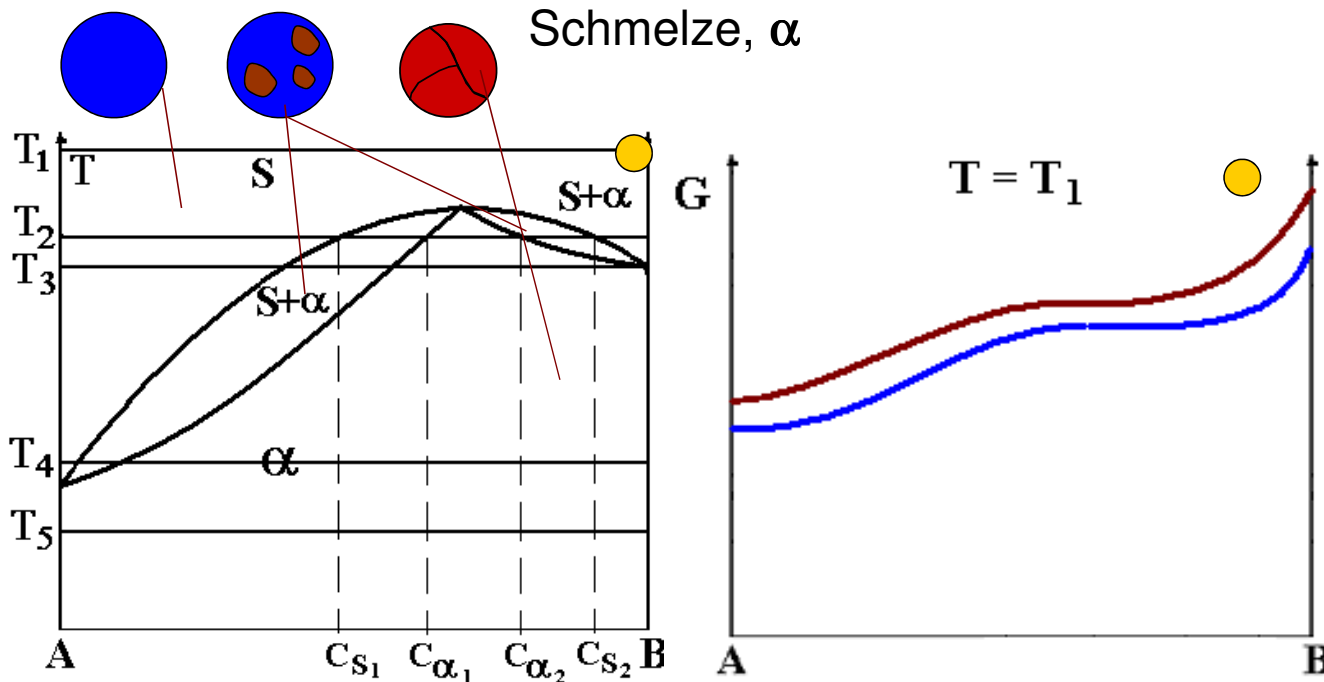
Große
Abkühlungsgeschwindigkeit,
inhomogene Struktur

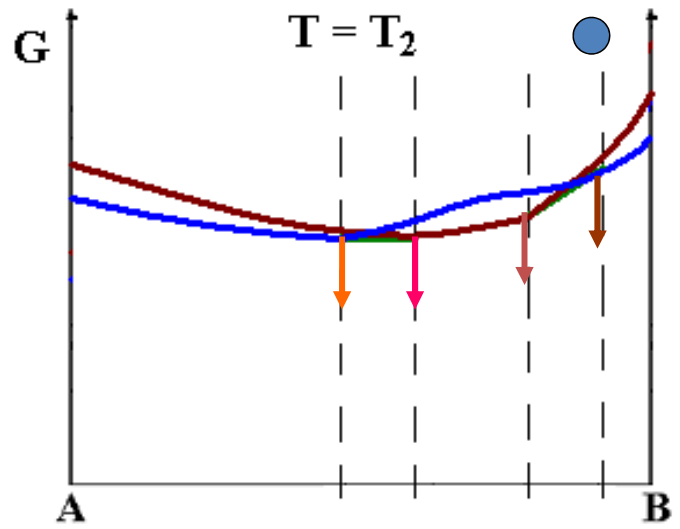
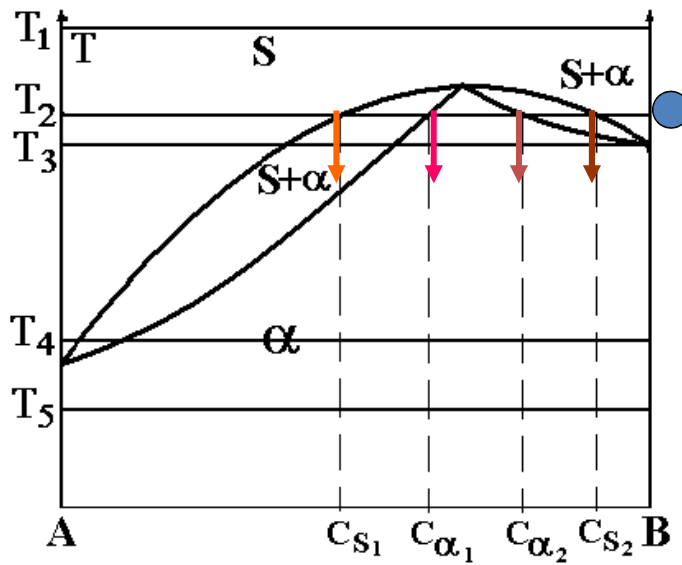
Kleine
Abkühlungsgeschwindigkeit,
Gleichgewichtsstruktur



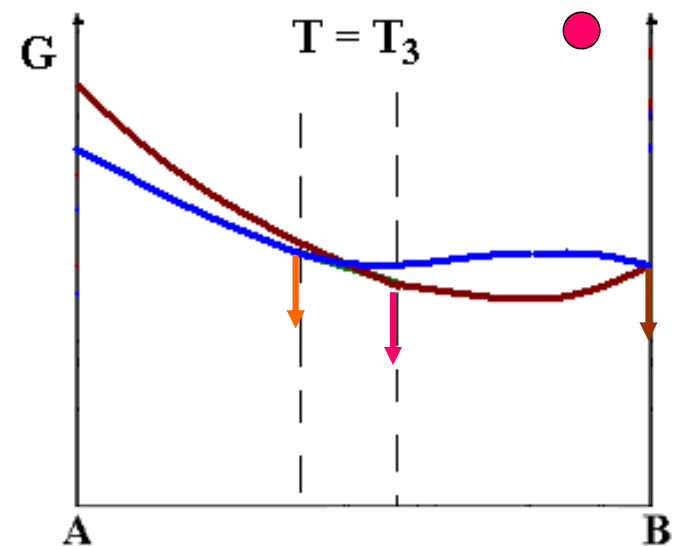
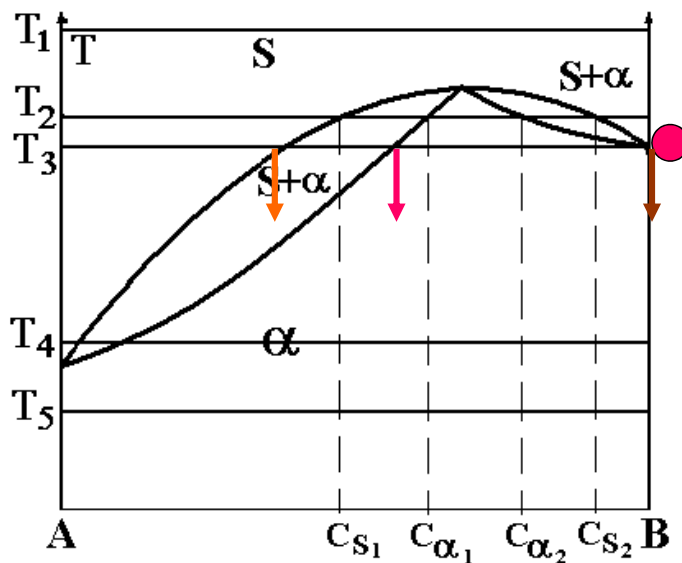
Gleichmäßige
Verteilung
 α : 35% Ni

Phasen:
Schmelze, α

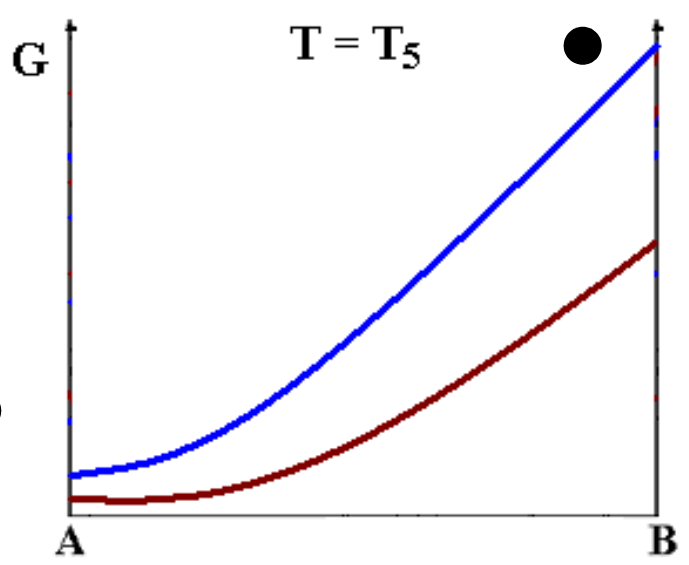
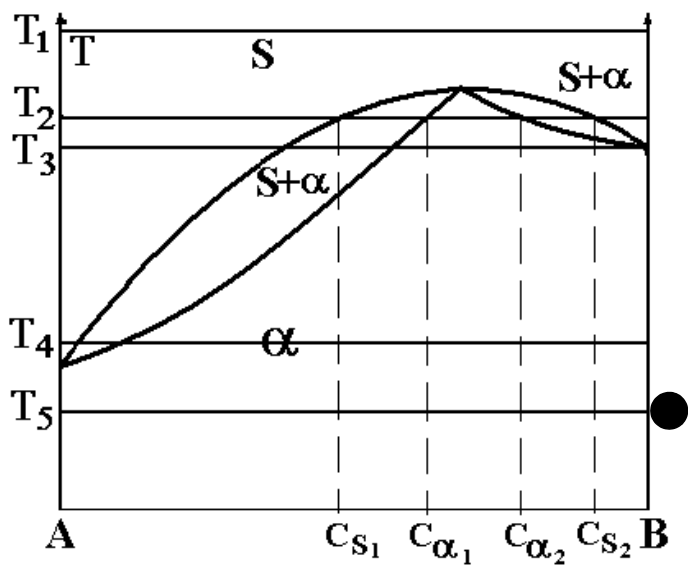
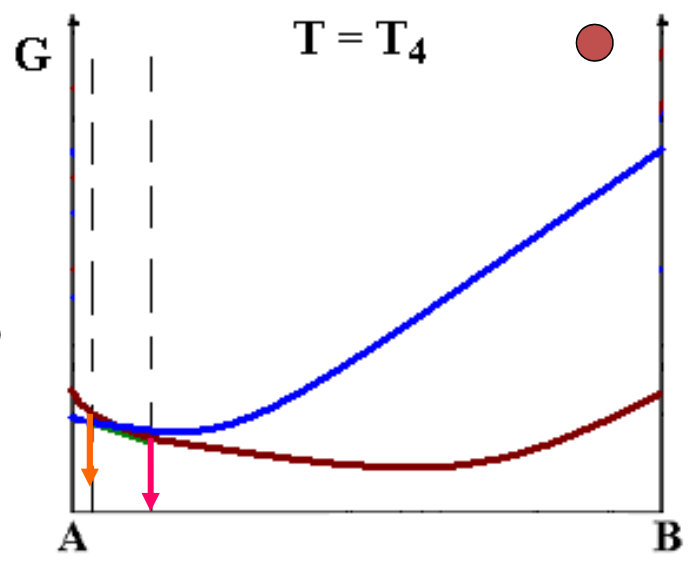
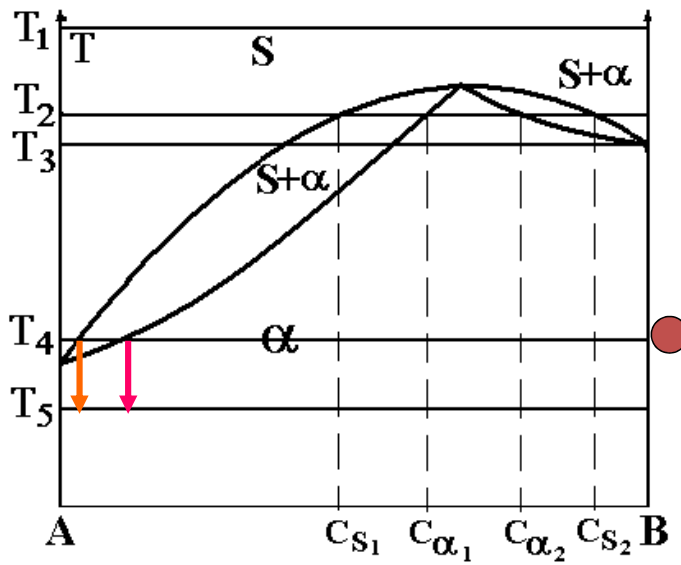




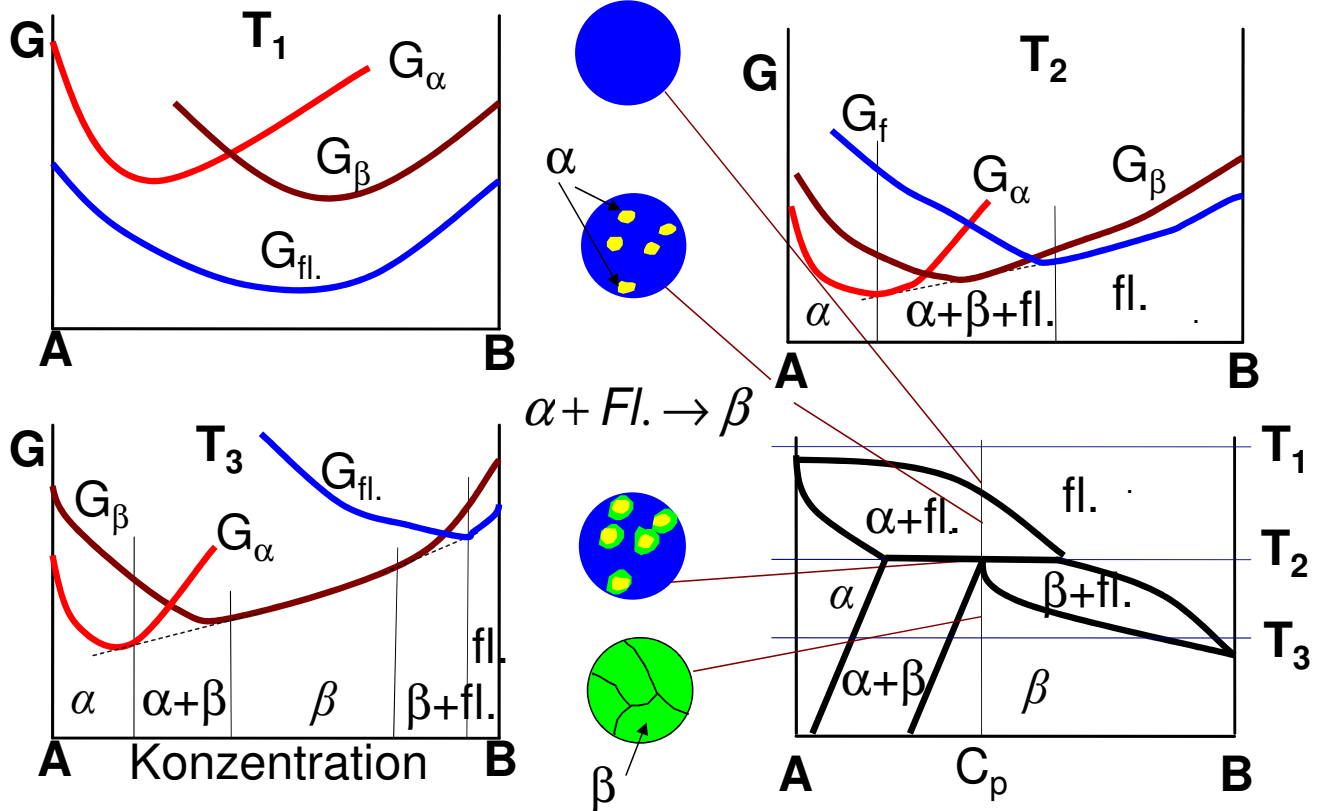
Folie: 43



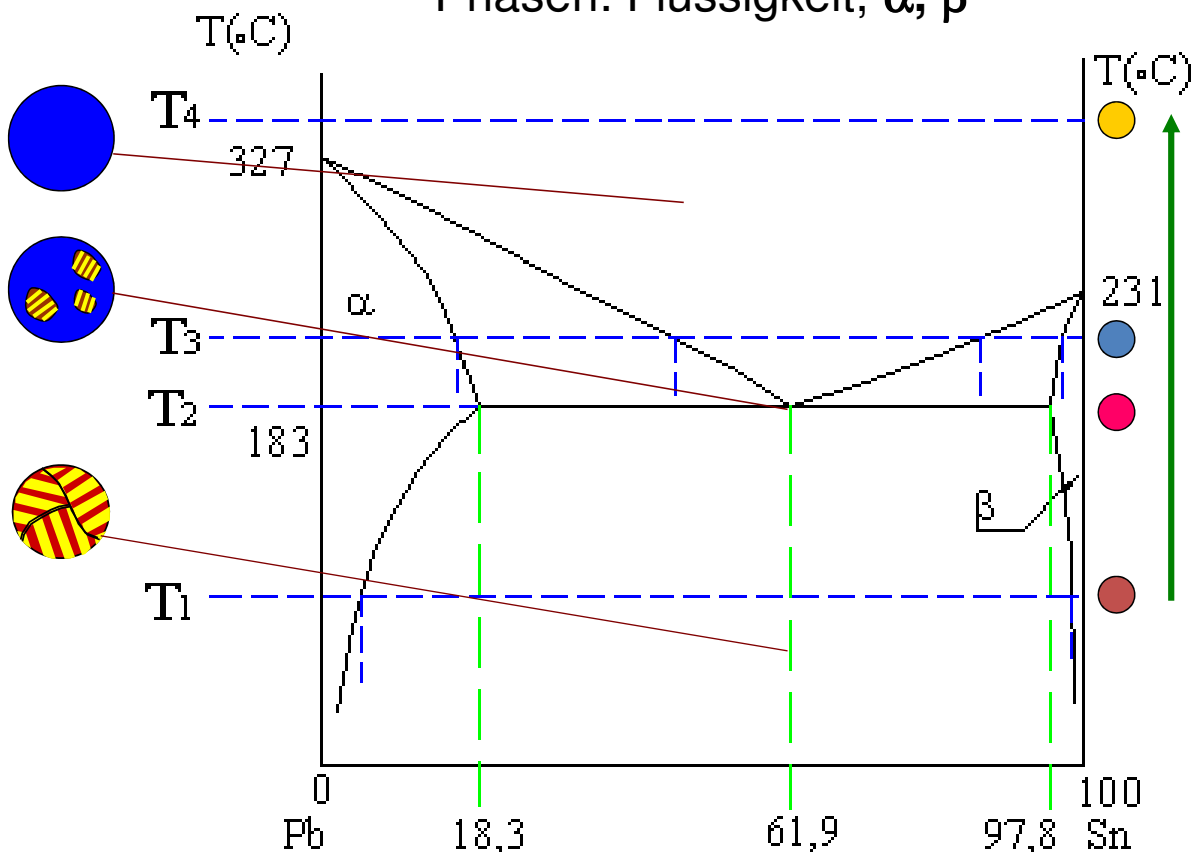
Folie: 44

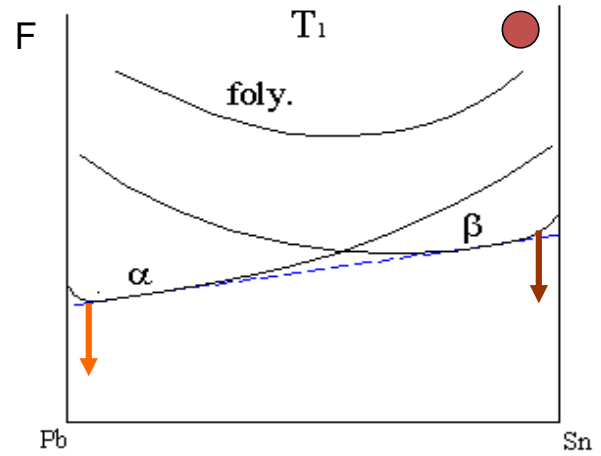
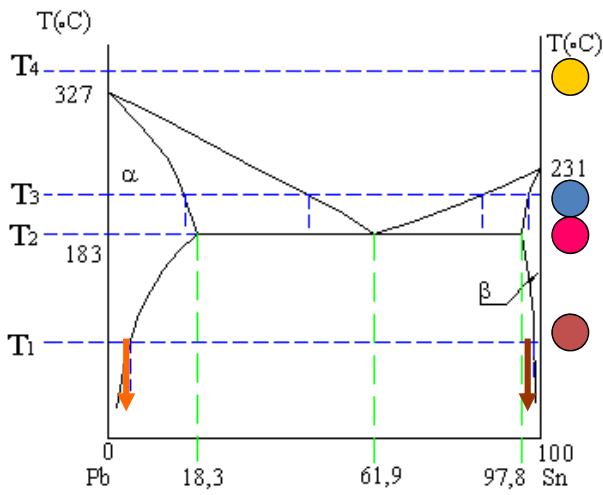


Phasen: α , β , Flüssigkeit

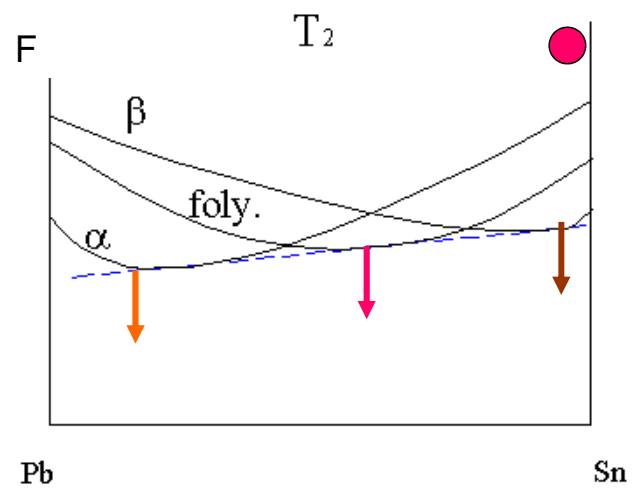
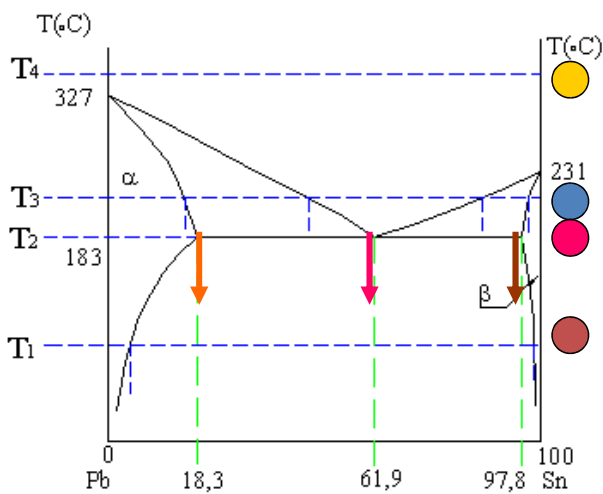


Phasen: Flüssigkeit, α , β

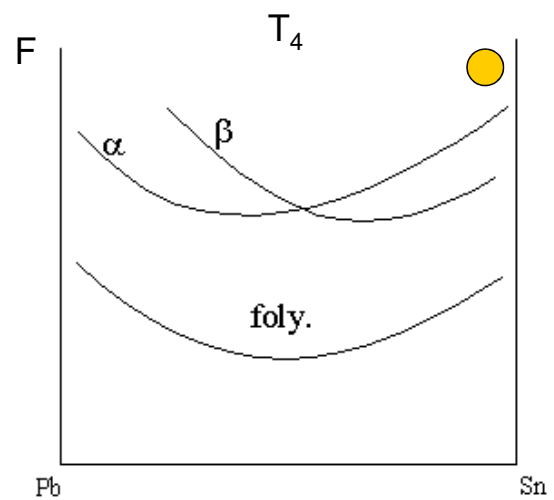
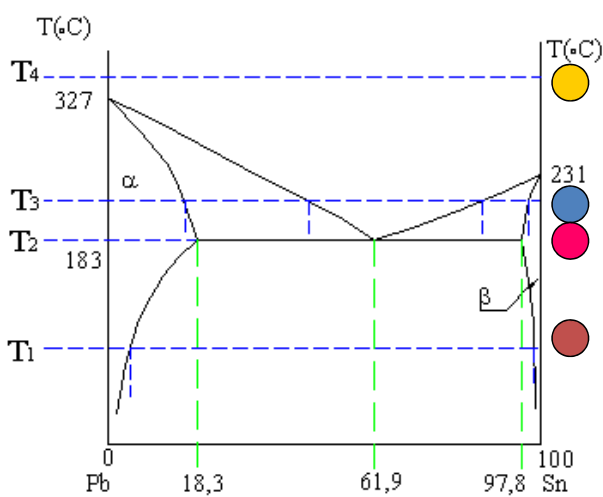
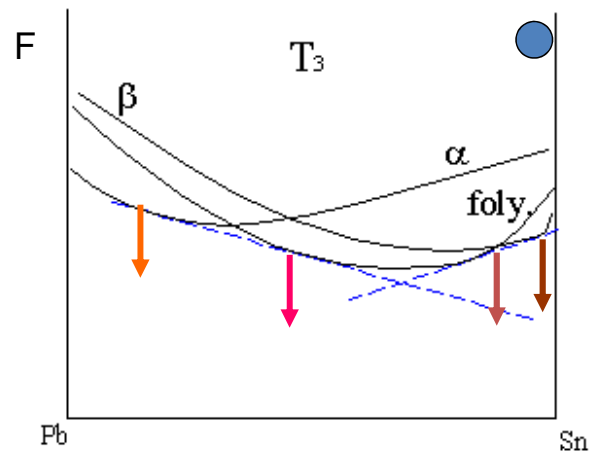
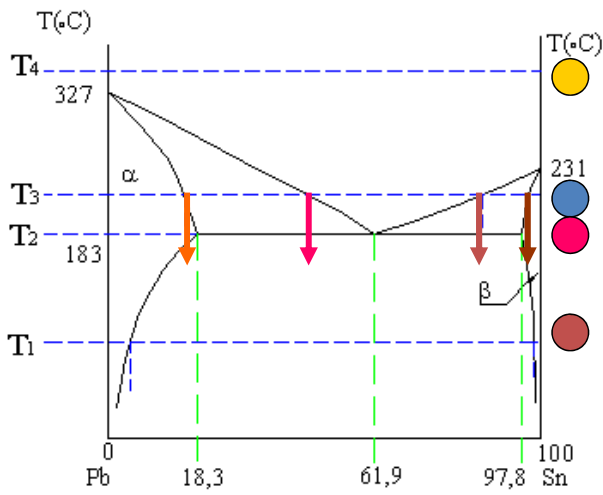


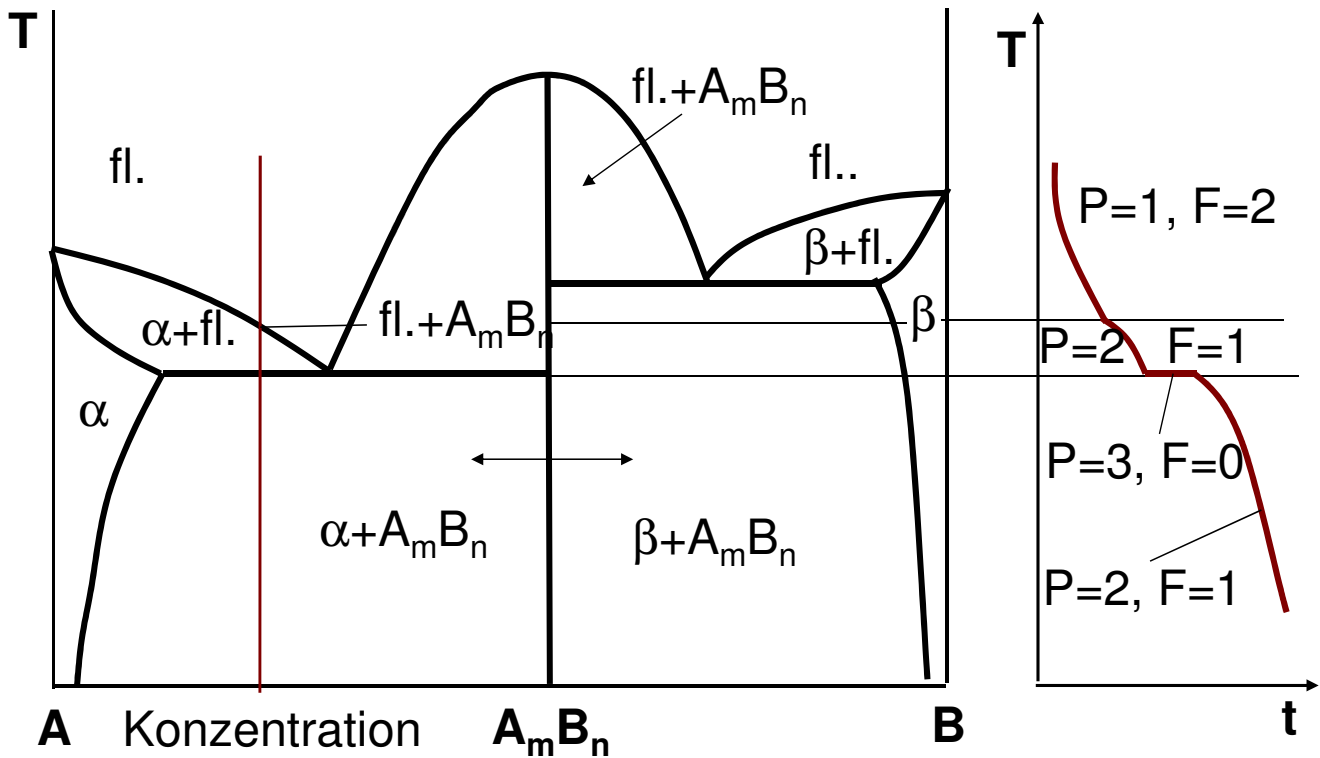


Folie: 49



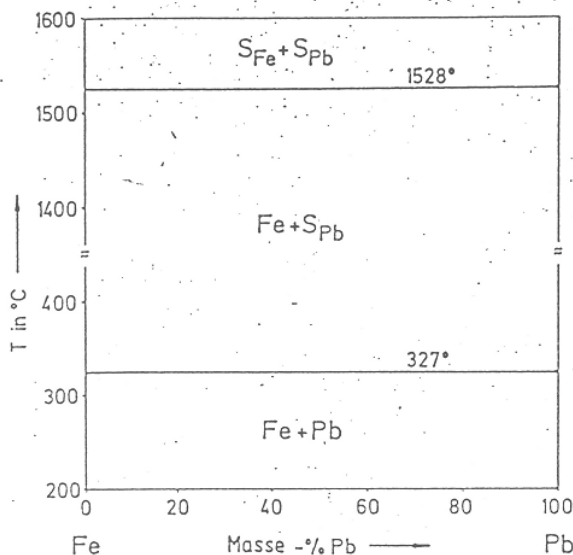
Folie: 50





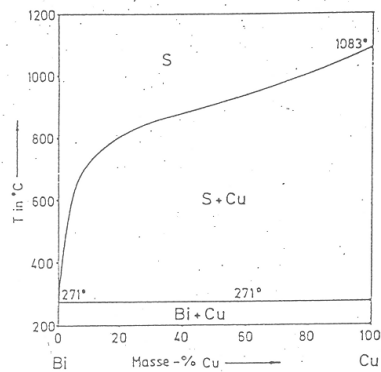
Charakteristische Zustandsdiagramme binärer Legierungen (Beispiele Typ I.)

Typ I: Zustandsdiagramm des Zweistoffsystems Eisen-Blei



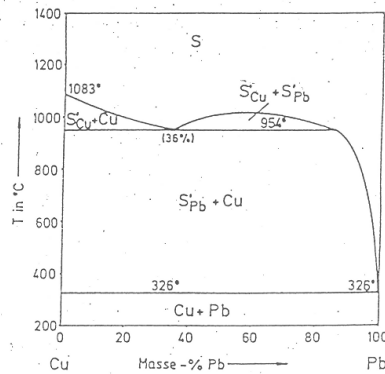
Andere Beispiele mit einem ähnlichen Zustandsdiagramm sind AgNi, AlPb, MnTl, GePb, KMg u.a.m. Legierungen mit Zustandsdiagrammen vom Typ I haben praktisch keine Bedeutung

α) Zustandsdiagramm des Zweistoffsystems Wismut - Kupfer



Wismut und Kupfer sind im festen Zustand ineinander unlöslich, im flüssigen Zustand aber vollkommen ineinander löslich

β) Zustandsdiagramm des Zweistoffsystems Kupfer-Blei



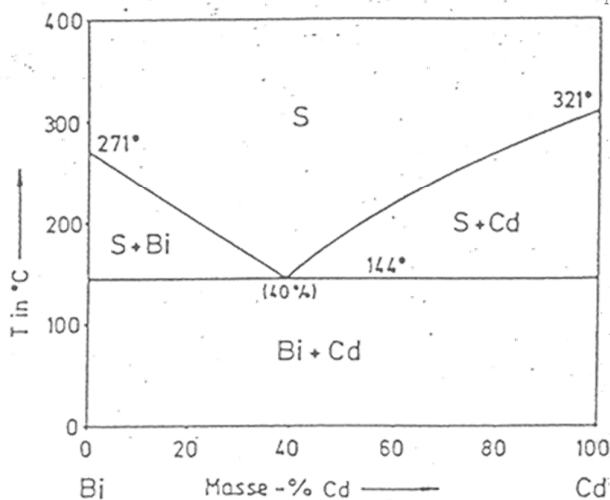
Kupfer und Blei sind im festen Zustand ineinander unlöslich, im flüssigen Zustand beidseitig beschränkt ineinander löslich

Legierungen mit Zustandsdiagrammen vom Typ II haben durchaus praktische Bedeutung.

Die Kupfer-Blei-Legierungen stellen geeignete Lagerwerkstoffe dar. Beispiele:

Blei-Bronze	Cu Pb 10...20			
	Cu Pb 20...30			
	Cu Pb > 30			
Blei-Zinn-Bronze	Cu Pb 4...6	Sn 9...11		
	Cu Pb 12...14	Sn 7...9		
	Cu Pb 18...22	Sn 5...10		
Blei-Sonder-Bronze	Cu Pb 10...20	Sn 0...10	Ni 0...4	
	Cu Pb 20...35	Sn 0...8	Ni 0...4	Zn 0...3

Zustandsdiagramm des Zweistoffsystems Wismut-Kadmium

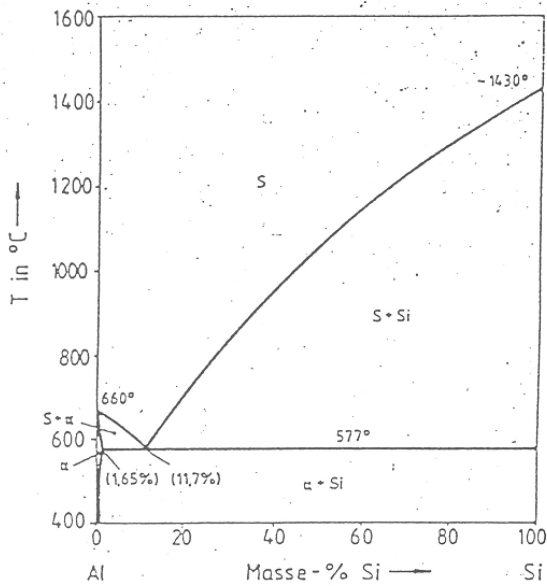


Wismut ist der wesentliche Bestandteil der sog. meist mehrkomponentigen "Leichtflüssigen Legierungen", für die die nachfolgende Tabelle einige Beispiele enthält.

Eutektische Legierungen					Schmelzpunkt in °C
Bi	Cd	In	Pb	Sn	
60.0	40.0				144
58.0				42.0	139
56.5			43.5		125
33.7		67.3			72
54.0	20.0			26.0	102
52.0	8.0		40.0		92
58.0		17.0		25.0	79
50.0	10.0		27.0	13.0	70
49.0		21.0	18.0	12.0	57
Nichteutektische Legierungen					Schmelzbereich in °C
59.0			15.0	26.0	114...95
50.0			30.0	20.0	105...96
40.0	8.5		40.0	11.5	...78

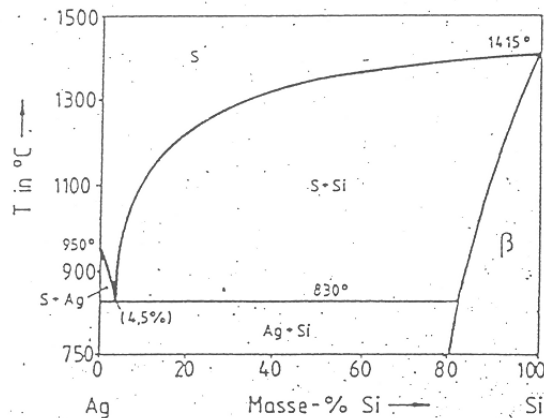
Anwendungen: Weichlote, Abguß empfindlicher Gegenstände, Zahntechnik, Eingußbefestigung in Metallfassungen, elektrische Sicherungen, Füllwerkstoff zum Rohrbiegen.

Typ IV: α) Zustandsdiagramm des Zweistoffsystems Aluminium-Silizium



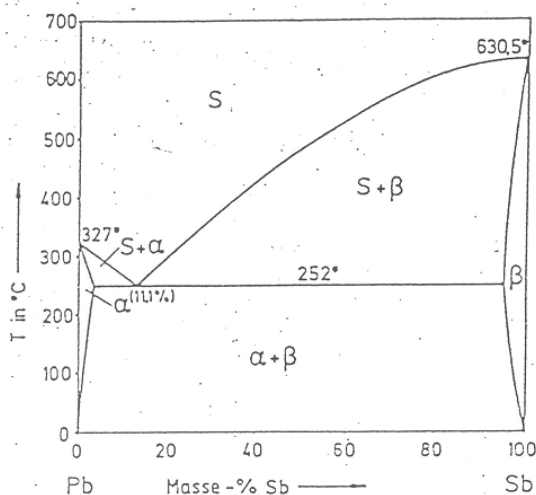
Ähnliche Zustandsdiagramme zeigen die Legierungen AuSi, SiAg, BeAl, CdTl, BeFe, AgGe und AgBi.

β) Zustandsdiagramm des Zweistoffsystem Silber-Silizium



Folie: 57

Typ V: Zustandsdiagramm des Zweistoffsystems Blei-Antimon



Blei-Antimon-Legierungen (< 20 Masse% Sb) sind die wichtigste Legierungsgruppe des Blei (Hartblei). Sie finden Verwendung für Rohre, Kabelmäntel, Tuben, Akkumulatorenplatten.

Mehrstoff-Legierungen auf Bleibasis enthalten meist ebenfalls Antimon als wichtigstes Legierungselement.

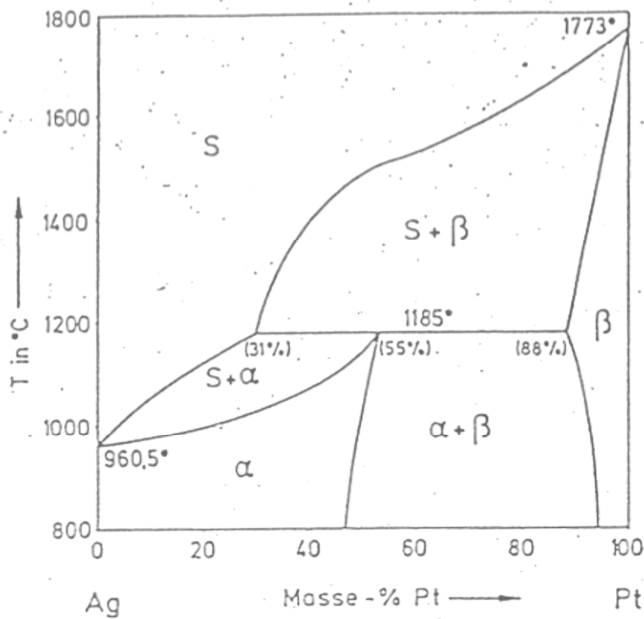
Beispiele:

- 1) Letternmetallegerung: PbSb16 (12) Sn1 (2)
- 2) Lagermetallegerung: PbSb (14-20) Sn (2-10) CdCuNi (bis 3) (Weißmetall)

Ähnliche Zustandsdiagramme haben die Legierungen CrNi, AlSi, AgCu, CdZn, AgBe, PbSn, GaIn, CdPb, BiSn, BiPb, AlSi, AuCo.

Folie: 58

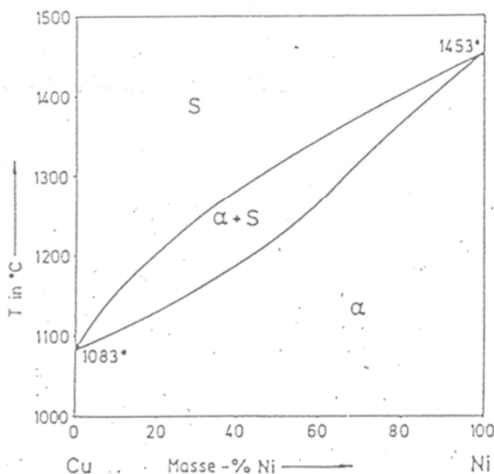
Typ VI: Zustandsdiagramm des Zweistoffsystems Silber-Platin



Binäre Legierungen mit ähnlichen Zustandsdiagrammen sind FeMn ($> 1400^{\circ}\text{C}$), CoFe ($> 1100^{\circ}\text{C}$), AuFe ($> 1300^{\circ}\text{C}$), WPd ($> 1000^{\circ}\text{C}$). Sie haben keine praktische Bedeutung.

Folie: 59

Typ VII: Zustandsdiagramm des Zweistoffsystems Kupfer-Nickel



Kupfer-Nickel-Legierungen finden als binäre, aber auch als Mehrstofflegierungen vielfältige Anwendung. Beispiele:

1) Binäre Kupferbasislegierungen mit 5...50 Masse-% Ni. Plattierungswerkstoffe, Werkstoffe mit guten elektr., mech. und Korrosionseigenschaften.

Münzen ("Nickel"): CuNi 25
 Konstantan (temp. unempfindliche Widerstandsleg., Thermoelementschenkel gegen Fe oder Ni) CuNi43

2) Binäre Nickelbasislegierungen mit 5...50 Masse-% Cu. Werkstoffe mit bes. magn. Eigenschaften. Säurebeständige Werkstoffe für chem. Geräte. Schweißstäbe für Grauguß.

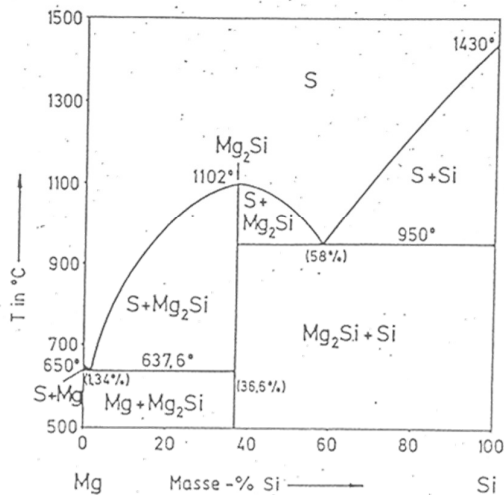
3) Mehrstofflegierungen

Nickelbronzen	CuNiSn	CuNiPb	CuNiCd	CuNiAlFe
Neusilber	CuNi 8...30	Zn 12...50		
Nickelin	CuNi 31	Zn 13		
Monel	NiCu 29	Si 4	Fe 2	

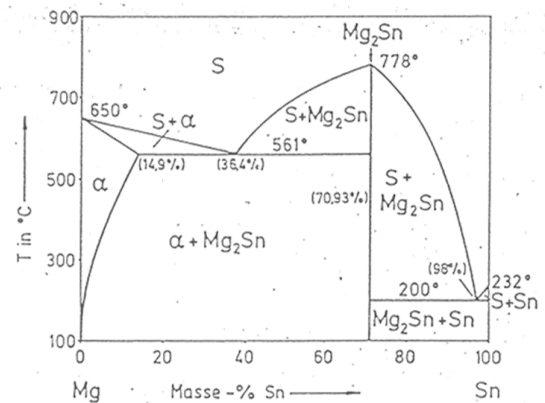
Weitere Beispiele binärer Legierungen, die ähnliche Zustandsdiagramme zeigen wie CuNi-Legierungen, sind MoW, IrPt, InPb, CrPt, CuPd, BiSb, AuPt, AgPd, AgAu.

Folie: 60

α) Zustandsdiagramm des Zweistoffsystems Magnesium-Silizium

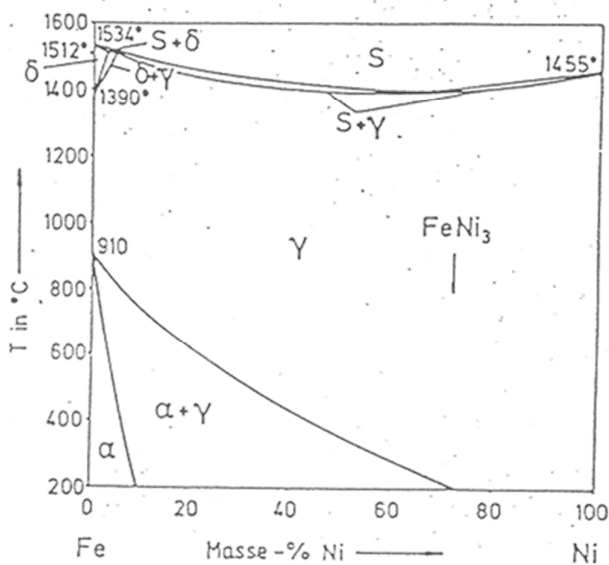


β) Zustandsdiagramm des Zweistoffsystems Magnesium-Zinn

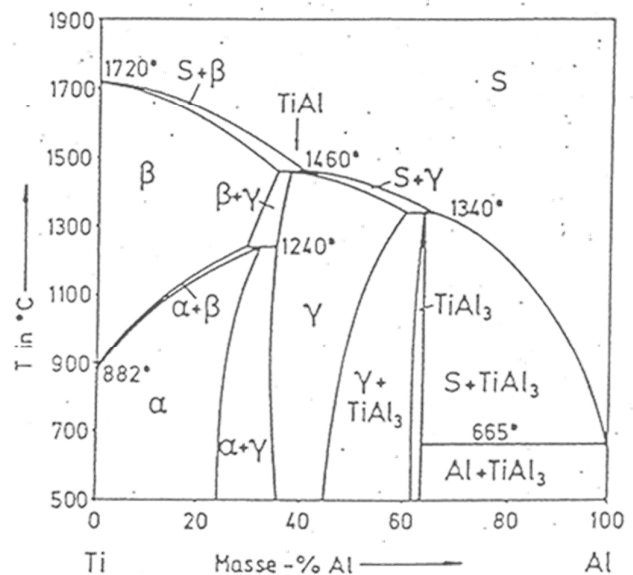


Folie: 61

α) Zustandsdiagramm des Zweistoffsystems Eisen-Nickel

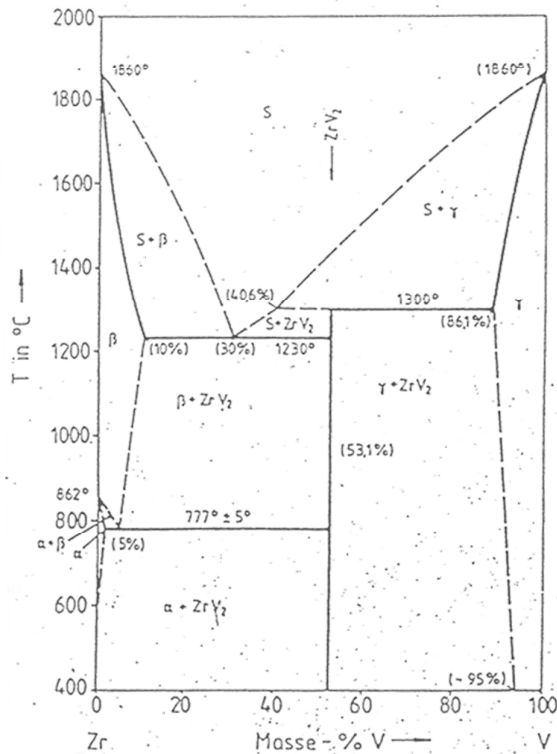


β) Zustandsdiagramm des Zweistoffsystems Titan-Aluminium

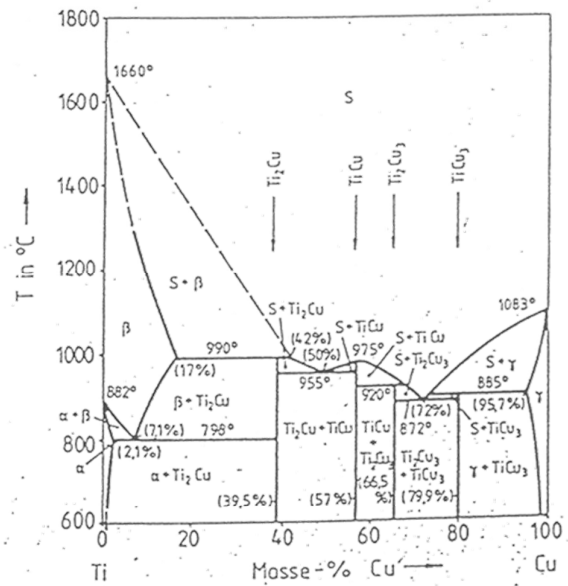


Folie: 62

γ) Zustandsdiagramm des Zweistoffsystems Zirkon-Vanadium



δ) Zustandsdiagramm des Zweistoffsystems Titan-Kupfer

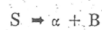


Folie: 63

Eutektische Reaktion

Alle Legierungen mit den Konzentrationen $c_{B,max}^{\alpha} < c_0 < B$

schließen ihre Erstarrung ab mit der eutektischen Reaktion



Dabei ist $\alpha = \alpha$ -Mk = A-reicher Mischkristall

c) Beidseitig beschränkte Löslichkeit im festen Zustand

→ Komponente A ist im festen Zustand beschränkt in der Lage, B-Atome aufzunehmen und Komponente B ist im festen Zustand beschränkt in der Lage, A-Atome aufzunehmen

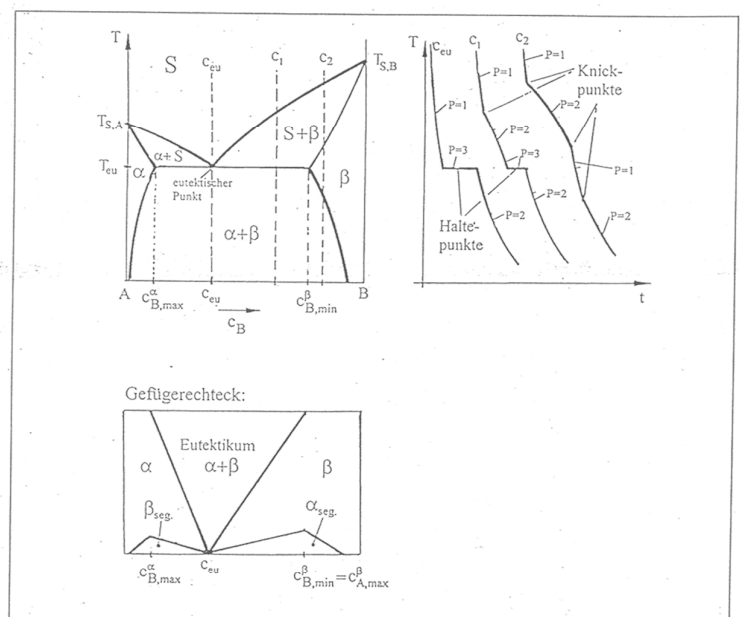


Bild 6.18: Schematisches Zustandsdiagramm, Abkühlkurven und Gefügeanteile im festen Zustand von Legierungen mit eutektischer Reaktion und beidseitig beschränkter Löslichkeit im festen Zustand

Alle Legierungen mit den Konzentrationen $c_{B,max}^{\alpha} < c_0 < c_{B,min}^{\beta}$

schließen ihre Erstarrung ab mit der eutektischen Reaktion



Folie: 64

peritekisch (→ griechisch) = umhüllend, ringsherum

Tritt auf, wenn $T_{S,A} >> (<<) T_{S,B}$

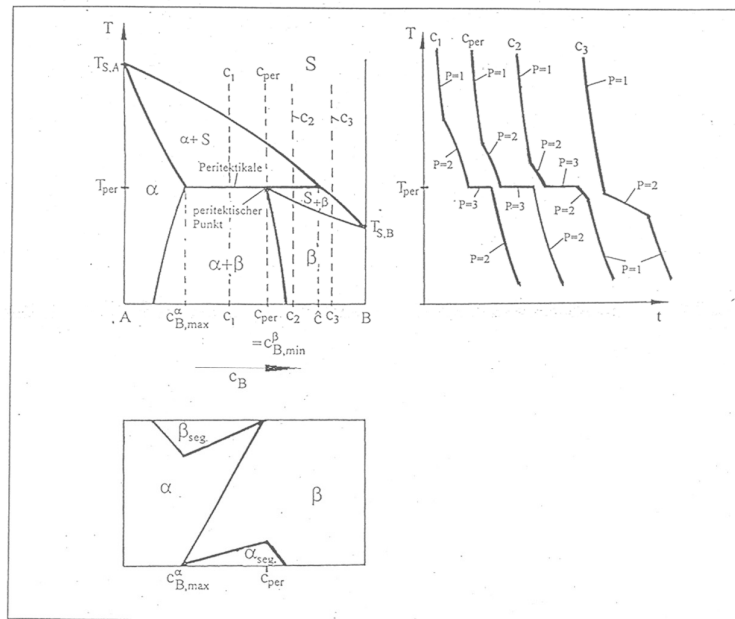


Bild 6.19: Schematisches Zustandsdiagramm, Abkühlkurven und Gefügeanteile im festen Zustand von Legierungen mit peritekischer Reaktion und beidseitig beschränkter Löslichkeit im festen Zustand

Alle Legierungen mit den Konzentrationen $c_{B,max}^\alpha < c_B < c_{per}$

durchlaufen während ihrer Erstarrung die peritekische Reaktion



Folie: 65

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Folie: 66