

Werkstoffe und Fertigung I
Prof.Dr. K. Wegener

Wintersemester 2006/07

Name	
Vorname	
Legi-Nr.	

Übung 3

Legierungskunde

Musterlösung

Ausgabe: 01.12.2006

Abgabe: 06.12.2006

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung, ETH Zentrum

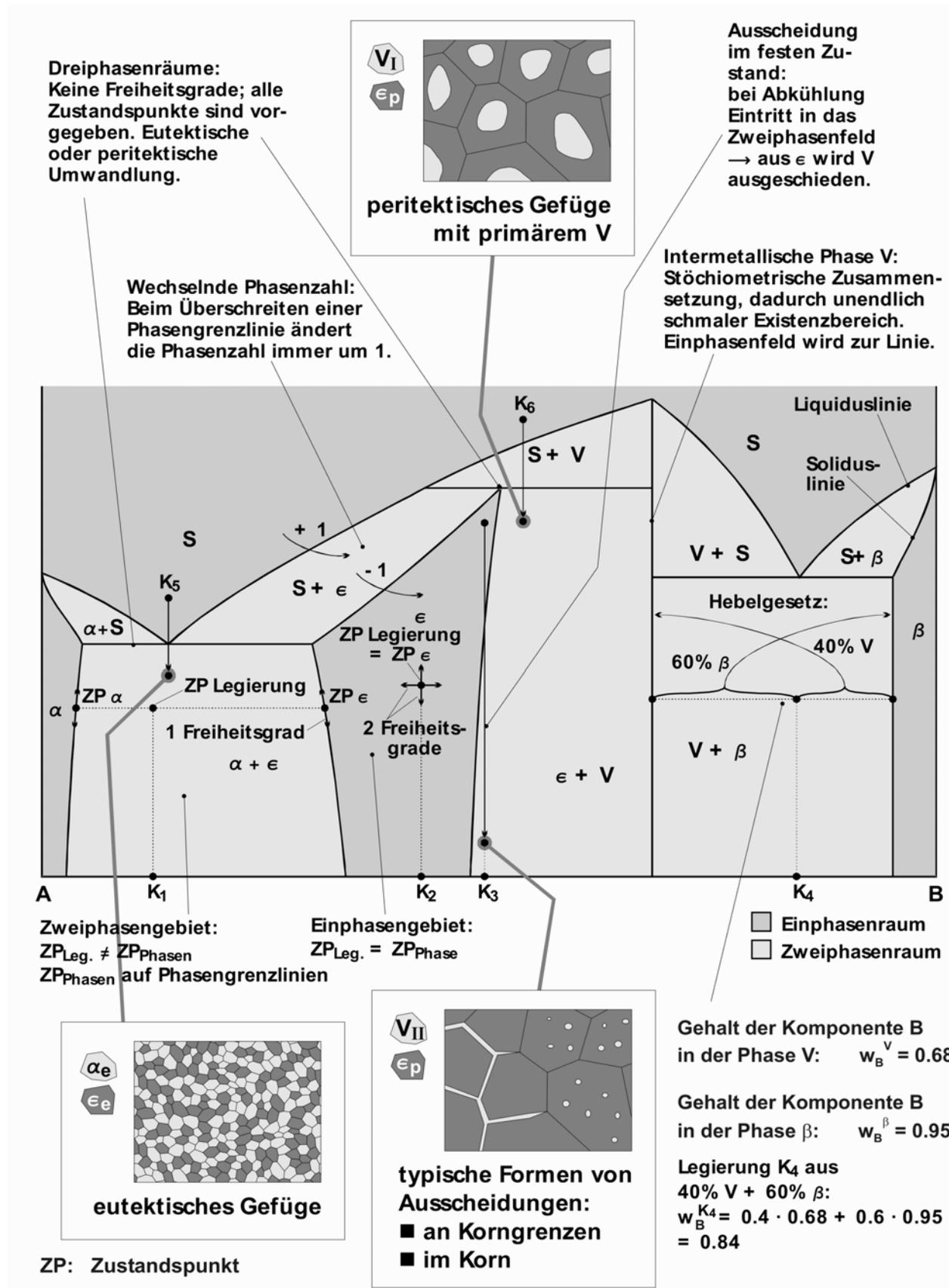
Übungsassistenz: Willi Müller, CLA F21.1, wm@iwf.mavt.ethz.ch

Lernziele

Werkstoffe und Fertigung I, Kap. 2, Lernziele 1-8

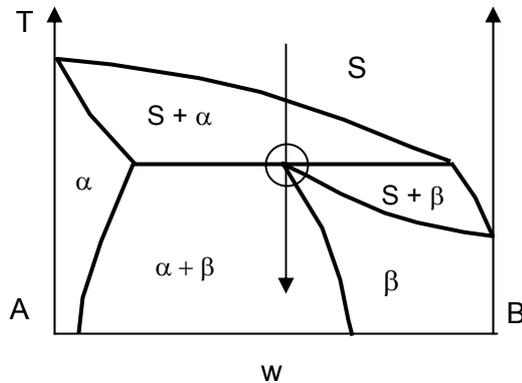
Kerninformationen

Legierungskunde Systemtypen:



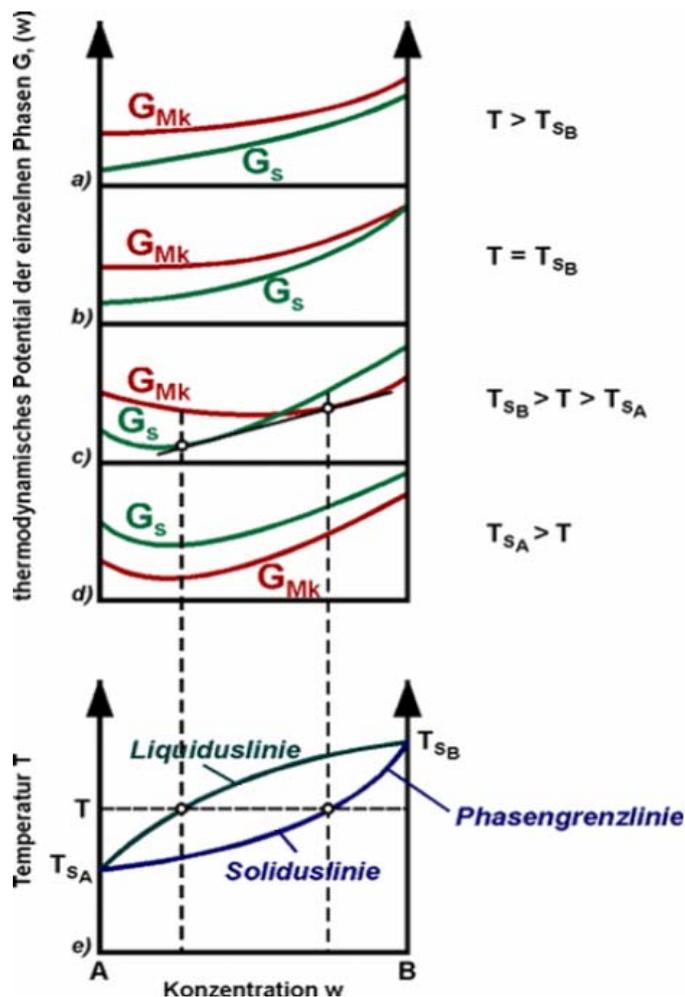
Zweistoffsysteme. System mit begrenzter Löslichkeit von A und B in den Mischkristallen β und α . Peritektikum.

In einer peritektischen Reaktion wandelt sich bei Abkühlung ein Gemisch eines Mischkristalls α mit Schmelze S (Zweiphasengebiet) in einen Mischkristall β (Einphasengebiet) um. Umgekehrter Vorgang bei Aufwärmung.



Freie Enthalpie und Zustandsdiagramm

Konstruktion des T-w-Diagrammes aus den G(w)-Kurven. a) Temperatur oberhalb der Schmelztemperatur von Komponente B. Die Schmelze hat über den ganzen Mischbereich kleinere freie Enthalpie als der Mischkristall. c) Im mittleren Bereich hat die Tangente (als Mischgerade zwischen den Berührungspunkten an G_S und G_{Mk}) die kleinste freie Enthalpie, links davon die Schmelze, rechts davon der Mischkristall.



Mengendiagramm

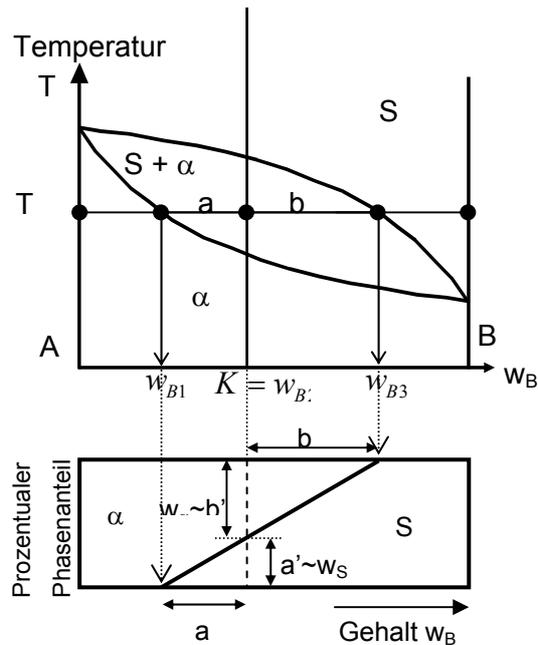
Man möchte für die Temperatur T_1 wissen, zu welchen Anteilen die Legierung K des Gehaltes w_{B2} aus den verschiedenen Phasen besteht, hier Schmelze S und α -Mischkristall, also $w_S=?$, $w_\alpha=?$, und zwar für alle möglichen Legierungen. Mit Hilfe des Hebelgesetzes könnten die Werte berechnet und im sogenannten Mengendiagramm über dem Legierungsgehalt w_B aufgetragen werden. Das Hebelgesetz ist aber dieser Darstellung immanent, sodass lediglich die Schnittpunkte der Phasengrenzlinien mit der T_1 -Konode nach unten abgetragen und geradlinig miteinander verbunden werden müssen.

$$w_\alpha = w_\alpha(w_B);$$

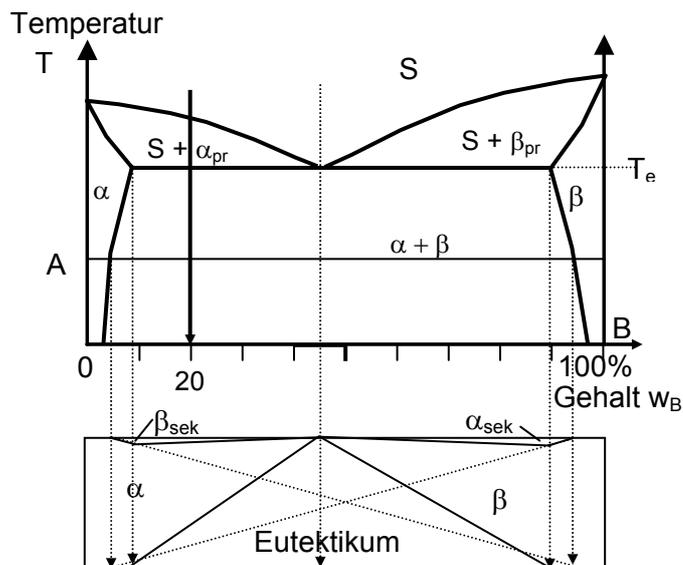
$$w_S = w_S(w_B);$$

$$w_\alpha(w_B) + w_S(w_B) = 1$$

Mengendiagramm für T_1



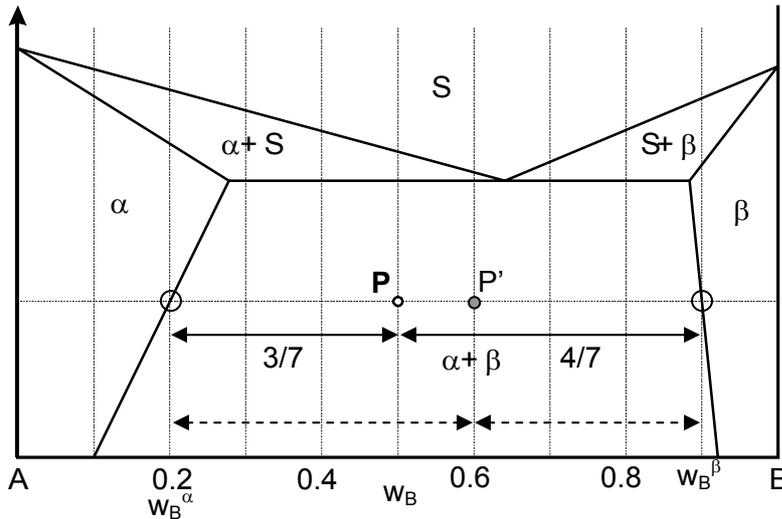
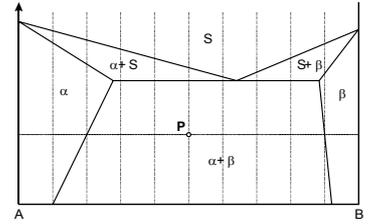
Mengendiagramme können auch für Gefügeanteile aufgestellt werden, um z.B. Eutektikum von Primärkristallen zu unterscheiden.



1 Zweiphasenraum

In einem eutektischen Zweistoffsystem A-B ist der Punkt **P** gegeben.

- geben Sie die Gehalte der Phasen in der Legierung an.
- geben Sie die Phasengehalte der beiden Phasen an.
- wie ändert sich a), wenn **P** nach rechts verschoben wird?
wie ändert sich b), wenn **P** nach rechts verschoben wird?



Lösung:

- Hebelgesetz:** Die Gehalte der Phasen in der Legierung betragen $w_\alpha = 4/7 = 57.1\%$, $w_\beta = 3/7 = 42.9\%$.
- $w_B^\alpha = 20\%$; $w_A^\alpha = 80\%$; $w_B^\beta = 90\%$; $w_A^\beta = 10\%$.
- $P \rightarrow P'$: Die Gehalte der Phasen in der Legierung ändern sich: Der Anteil von β nimmt zu, der Anteil von α ab (gestrichelte Pfeile). $w_\alpha = 3/7 = 42.9\%$, $w_\beta = 4/7 = 57.1\%$.
- Die Phasengehalte (Komponenten in den Phasen) ändern sich nicht (Zustandspunkte der Phasen bleiben am gleichen Ort).

Ergänzung zu a) und b):

Die Komponentengehalte der Legierung in **P** sind direkt ablesbar im Schaubild: $w_B = 50\%$, $w_A = 1 - w_B$, können aber auch ausgerechnet werden (Kontrollmöglichkeit):

Menge B in der Legierung = Menge B in α plus Menge B in β :

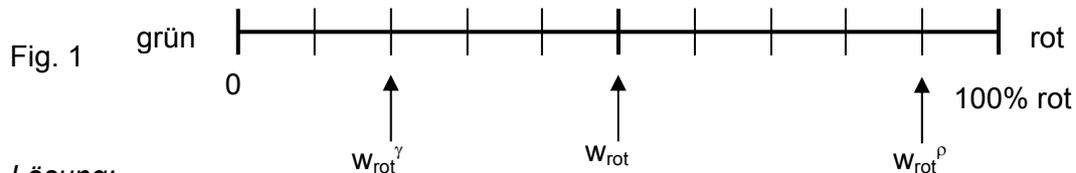
$$m_B = m_B^\alpha + m_B^\beta = m \cdot (w_\alpha \cdot w_B^\alpha + w_\beta \cdot w_B^\beta) = m \cdot \left(\frac{4}{7} \cdot \frac{2}{10} + \frac{3}{7} \cdot \frac{9}{10} \right) = m \cdot \left(\frac{35}{70} \right)$$

$$w_B = \frac{m_B}{m} = 0.5 = w_A$$

2 Hebelgesetz

Sie wollen die Menge $m=1\text{kg}$ einer Mischung von 50% grünem und 50% rotem Pfeffer herstellen. Als Ausgangsmaterial haben sie leider nicht grünen und roten Pfeffer, sondern eine Mischung γ von 80% grünem und 20% rotem sowie eine Mischung ρ von 90% rotem und 10% grünem Pfeffer.

- Wieviel von den Mischungen γ und ρ müssen Sie nehmen?



Lösung:

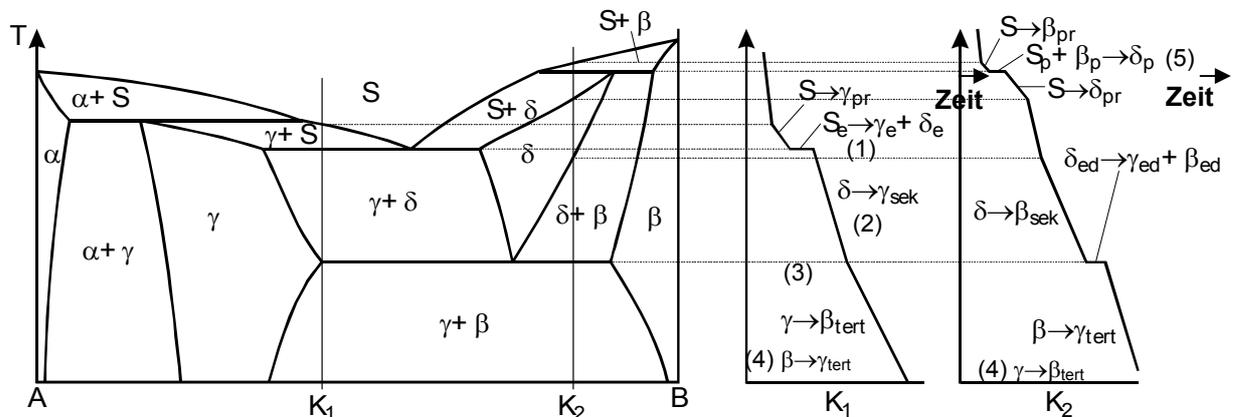
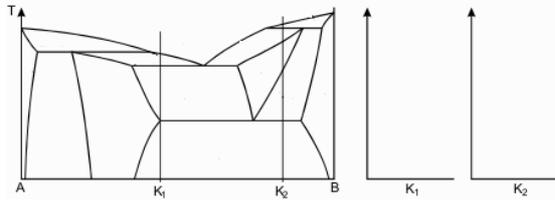
(Vgl. Aufgabe 3) Sie nehmen $m_{\gamma} = w_{\gamma} \cdot m = 4/7$ (57.1 %) $\cdot m$ von γ und $m_{\rho} = w_{\rho} \cdot m = 3/7$ (42.9 %) $\cdot m$ von ρ , 43 $m_{\gamma} = 0.571 \text{ kg}$, $m_{\rho} = 0.429 \text{ kg}$.

Das Hebelgesetz gilt generell für die Darstellung von Mischungen auf Mischgeraden mit linearen Skalen!

3 Abkühlungskurven

Gegeben ist ein Phasendiagramm des Zweistoffsystems A-B.

- Beschriften Sie die Phasenräume. (Eiphasenräume von links nach rechts: α , γ , δ , β)
- Zeichnen Sie die Abkühlungskurven für K_1 und K_2 und beschriften Sie sie vollständig.



Lösung s. oben. Kommentare:

a) Zwischen Einphasengebieten (-räumen) liegen Zweiphasengebiete. Die Legierung besteht hier aus den horizontal links und rechts liegenden Mischkristallen der Einphasengebiete. In vertikaler Richtung sind Zweiphasengebiete untereinander durch Dreiphasengebiete getrennt (horizontale Linien) oder grenzen an Einphasengebiete.

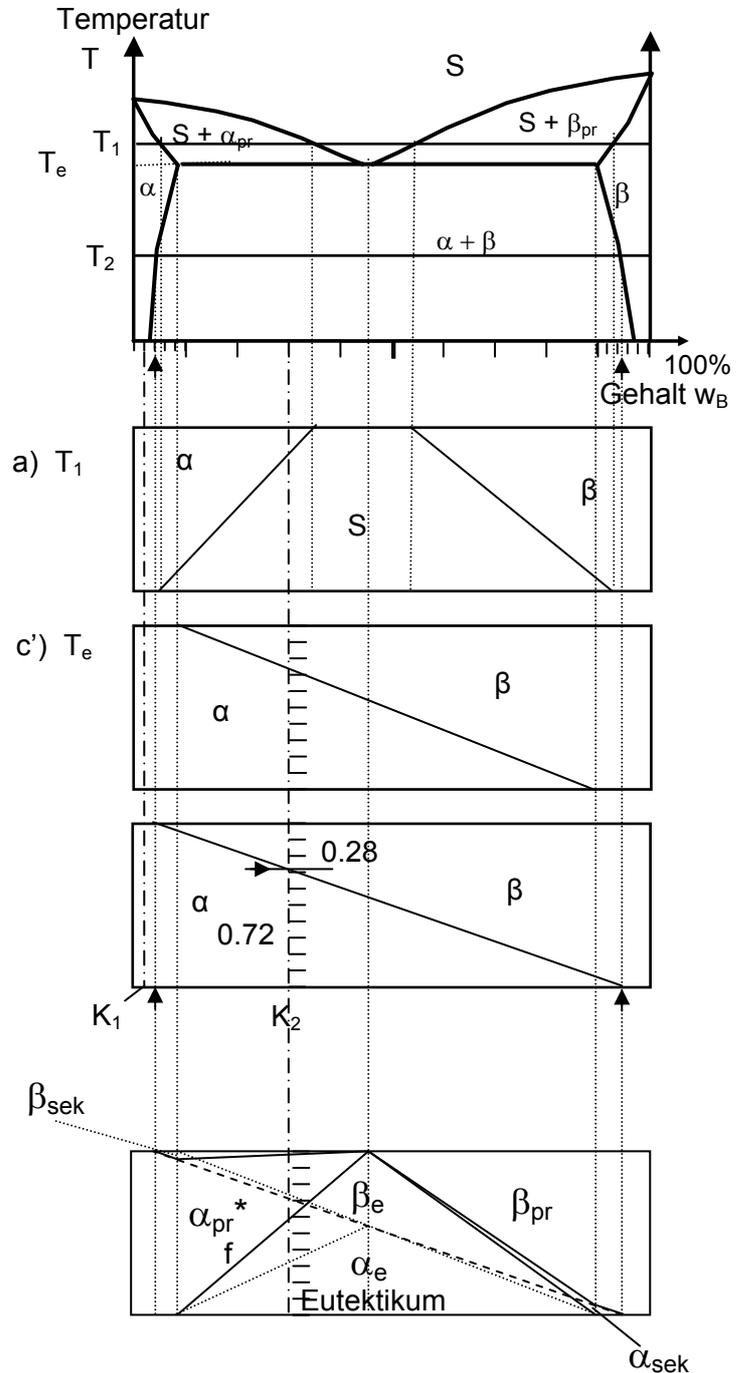
b) Die Beschriftung gibt an, welche Phase in welche andere Phase umgewandelt wird, auch wenn nur teilweise. (1) S_e : Die nach Ausscheidung von γ_{pr} (primär) verbliebene Schmelze hat eutektische Zusammensetzung. (2) Die negativen Steigungen der Löslichkeitslinien sowohl von γ als auch von δ bewirken, dass bei Abkühlung diese Umwandlung stattfindet. (3) Obwohl auf einer eutektoiden Linie, kein Haltepunkt, weil ganz am Rand, 100% γ .

(4) Die positive resp. negative Steigung der Löslichkeitslinien von γ resp. β bewirken, dass β_{tert} resp. γ_{tert} ausgeschieden werden. (5) K_2 hat für rein peritektische Umwandlung einen zu hohen Anteil an A. Bei Erreichen der peritektischen Temperatur ist ein Schmelzeüberschuss vorhanden. S_p ist derjenige Anteil der Restschmelze, welcher zusammen mit den gebildeten β (genannt β_p) in der peritektischen Umwandlung δ_p ergibt.

4 Mengendiagramm

Zeichnen Sie für das gegebene Zweistoffsystem Mengendiagramme

- für Phasen für die Temperatur T_1
- für Phasen für die Temperatur T_2 .
- für Gefügeanteile für die Temperaturen T_2 .



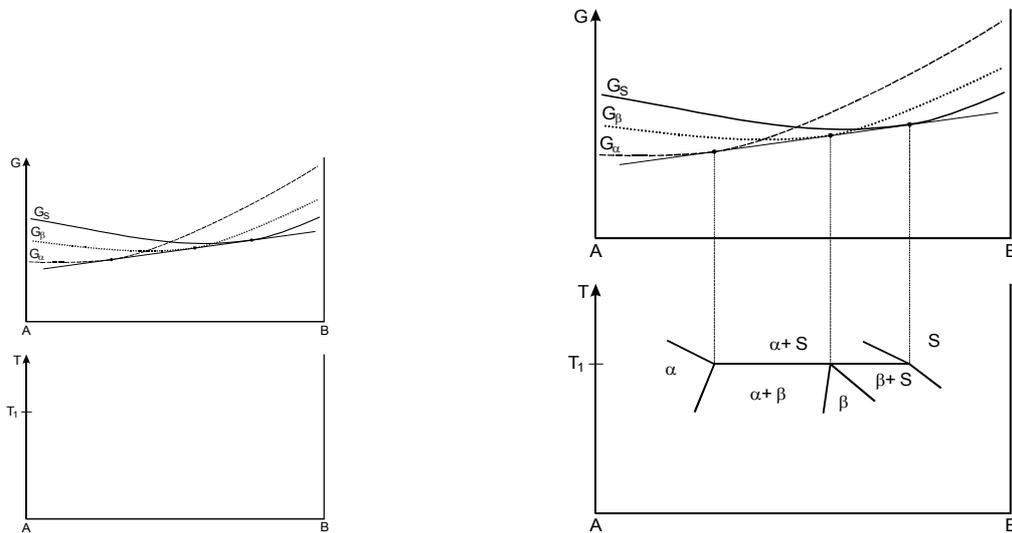
b) T_2
 K_1 besteht zu 100% aus α mit $w_B^\alpha=2\%$
 K_2 besteht zu 72% aus α mit $w_B^\alpha=4\%$
 (hervorgegangen aus α_{pr} , α_e , α_{sek} minus was an A und B unter Bildung von β_{sek} ausgeschieden wurde)
 und zu 28% aus β mit $w_B^\beta=95\%$

c) T_2
 β_{sek} gibt an, um wieviel grösser der sekundäre Zuwachs an β als an α ist. Für $0 < w_B < 0.04$ ist α_{pr}^* wirklich unverändertes α_{pr} , es gibt kein β , β_{sek} , α_{sek} .
 $0.04 < w_B < 0.083$ zunehmende Menge an β_{sek} ,
 $0.083 < w_B < 0.46$: $w_{\beta_{sek}} / w_{\alpha_{pr}^*} = \text{const}$, aber $w_{\beta_{sek}} + w_{\alpha_{pr}^*}$ abnehmend auf Null, weil mehr Eutektikum vorliegt, gemäss Gerade f.
 Das Eutektikum lässt sich in seine Gefügebestandteile α_e und β_e aufteilen. Weil das Diagramm fast symmetrisch ist, heben sich hier α_{sek} und β_{sek} praktisch auf.

5 G-w-Diagramm

Gegeben ist ein G-w-Diagramm für die Temperatur T_1 .

- Zeichnen Sie bei T_1 den ungefähren Verlauf der Phasengrenzlinien.
- Um welchen Typ eines Zweistoffsystems handelt es sich?



Lösung:

- (vgl. Zeichnung) Die Kurven der freien Enthalpie $G(w)$ für Mischkristalle α , β und Schmelze haben eine gemeinsame Tangente. Es handelt sich also um ein Dreiphasengebiet. Weil Schmelze dabei ist also um ein Eutektikum oder ein Peritektikum.
- Die Schmelze ist aussen, es ist ein peritektisches System.

6 Abkühlungskurven

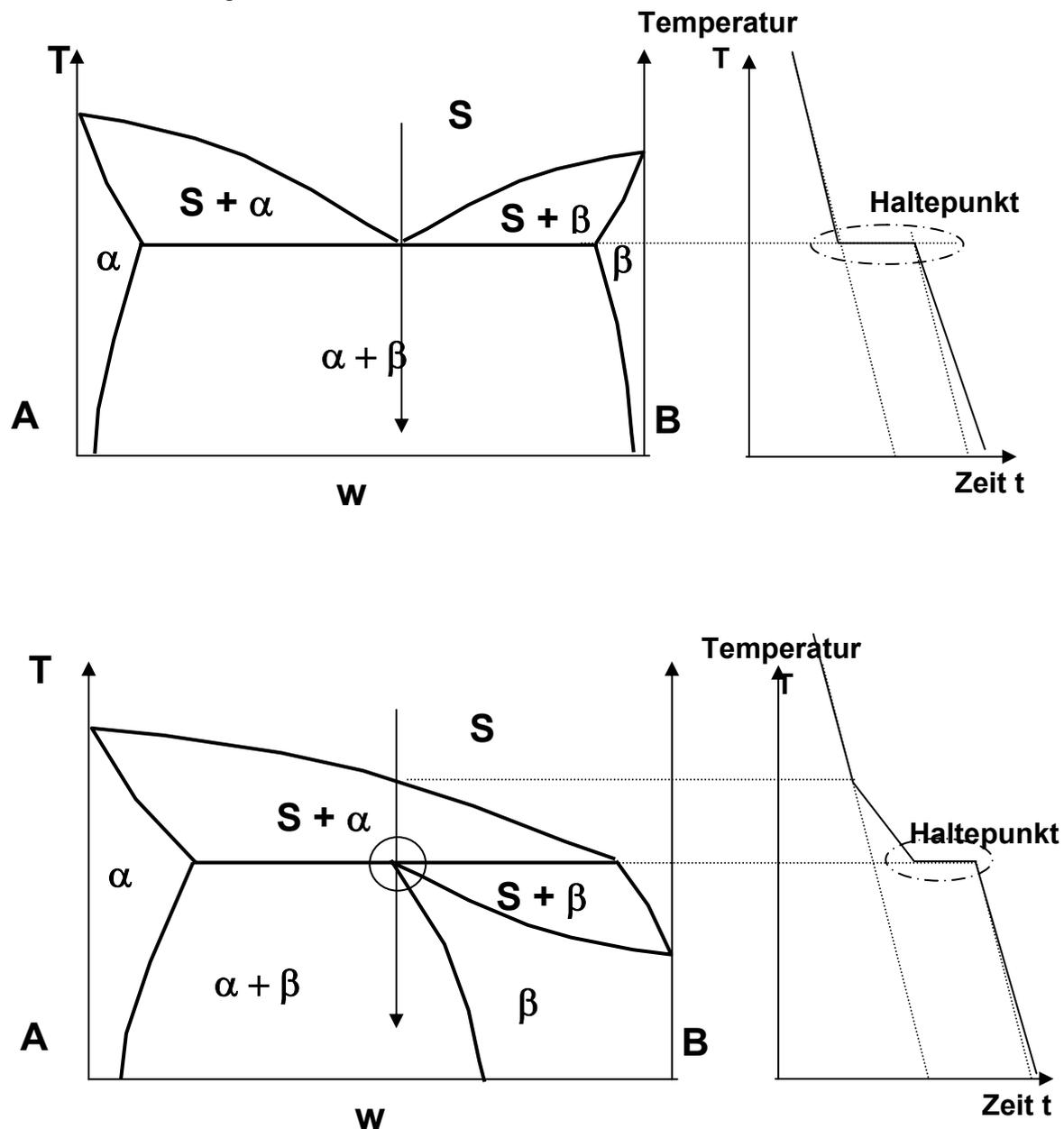
Abkühlung in einem Zweistoffsystem.

- Wie äussern sich ein Eutektikum und ein Peritektikum in der Abkühlungskurve?
- Welches Gesetz beschreibt dieses Verhalten, und wie lautet seine Aussage?

Lösung:

- Bei einem Eutektikum und bei einem Peritektikum zeigt sich in der Abkühlungskurve ein Haltepunkt; die Temperatur bleibt konstant während der Erstarrung/Umwandlung.
- Gibbs'sches Phasengesetz: $P+F=K+1$ oder nach F aufgelöst:
 $F=K+1-P$: Die Anzahl Freiheitsgrade F ist gleich der Anzahl Komponenten K (2) plus 1 (für Druck $p=\text{konst}$, sonst 2) minus Anzahl Phasen P (3, Eutektikum und Peritektikum sind Dreiphasengebiete, α , β , S)
 $\rightarrow F=2+1-3=0$ Der Freiheitsgrad ist Null, die Temperatur ist festgelegt und also konstant, solange 3 Phasen nebeneinander existieren.

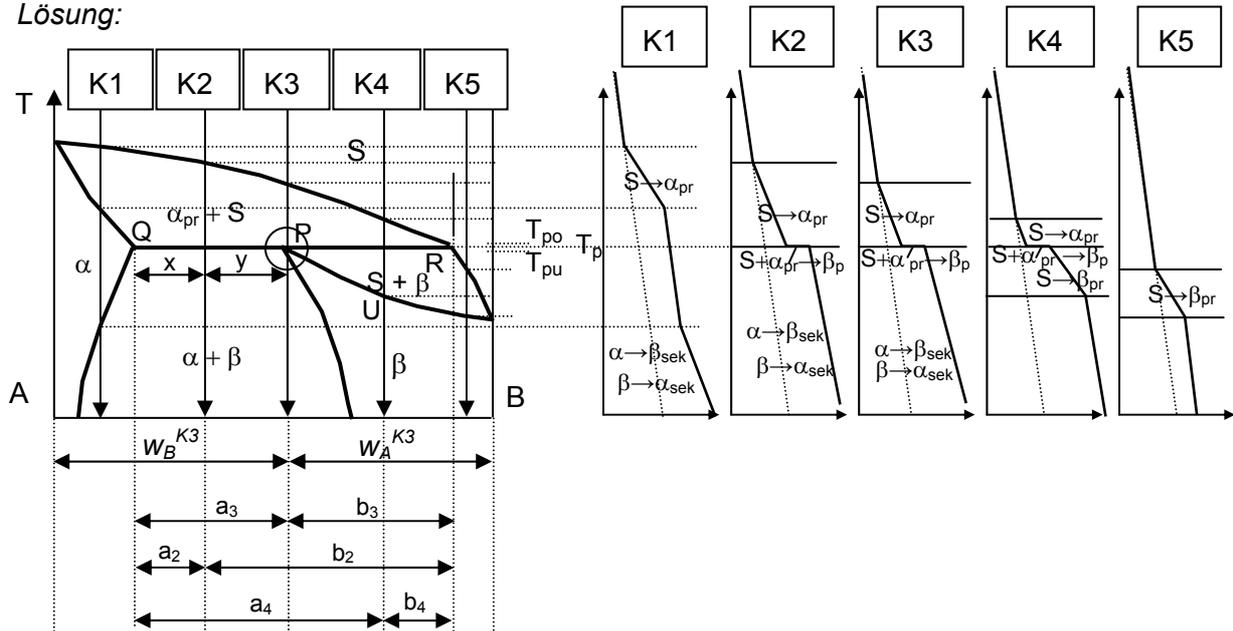
Zur Veranschaulichung:



7 Peritektikum

Zeichnen und beschriften Sie für die nachstehenden Zustandsschaubilder die Abkühlungskurven bei den angegebenen Legierungen.

Lösung:



Erläuterungen:

(Um die Zustände vor und nach der Umwandlung zu kennzeichnen werden die Temperaturen $T_{po} = T_p + 1^\circ\text{C}$, $T_{pu} = T_p - 1^\circ\text{C}$ eingeführt)

Bei den Legierungen K1-K4 wird ab Erreichen der Liquiduslinie α_{pr} ausgeschieden.

Legierung K3 enthält die Komponenten A und B genau im peritektischen Verhältnis w_A^{K3} / w_B^{K3} (P). Bei Erreichen der peritektischen Temperatur liegen α_{pr} vom Zustand Q und Schmelze vom Zustand R in richtigen Mengen, d.h. im Verhältnis b_3/a_3 vor, sodass sie restlos in β_p umgewandelt werden. Bei weiterer Abkühlung nimmt die Löslichkeit von A in β ab, es wird A aus β ausgeschieden und α_{sek} gebildet, ebenso die Löslichkeit von B im neu gebildeten α_{sek} , es wird β_{sek} gebildet.

Bei Legierung 2 liegt bei T_{po} nur ein Anteil $w_P^{K2} = x/(x+y)$ in diesem peritektischen Phasengemisch P mit dem Verhältnis $w_\alpha^P / w_S^P = b_3/a_3$ vor, es besteht ein Überschuss an α_{pr} vom Anteil $w_{\alpha}^{K2} = y/(x+y)$, welcher im Gefüge erkennbar bleibt und bei weiterer Abkühlung teilweise in β_{sek} umgewandelt wird. Insgesamt besteht die Legierung K2 bei T_{po} aus einem Anteil $a_2/(a_2+b_2)$ an Schmelze und $b_2/(a_2+b_2)$ an α_{pr} .

Analog besteht bei Legierung K4 bei T_p ein Überschuss an Schmelze. ($w_S^{K4} = a_4/(a_4+b_4)$). Nach der peritektischen Umwandlung $S + \alpha \rightarrow \beta_p$ (bei T_{pu}) liegen β -Mischkristalle des Zustandes P und Schmelze des Zustandes R vor. Bei weiterer Abkühlung kristallisiert die Schmelze zu β_{pr} . Der Zustandspunkt von β_{pr} wandert dabei entlang der Phasengrenzlinie von P nach U. (pr = primär: Aus der Schmelze entstehend). Bei weiterer Abkühlung passiert nichts mehr, da die Phasengrenzlinien weit weg sind ***.

Bei Legierung K1 wird Schmelze in α_{pr} umgewandelt, später scheidet α wegen Unterschreitung der Löslichkeitslinie β_{sek} aus.

Legierung K5 wandelt Schmelze in β_{pr} und dieses anschliessend zum Teil in α_{sek} um. Bei den Legierungen K1 und K5 findet keine peritektische Umwandlung statt.

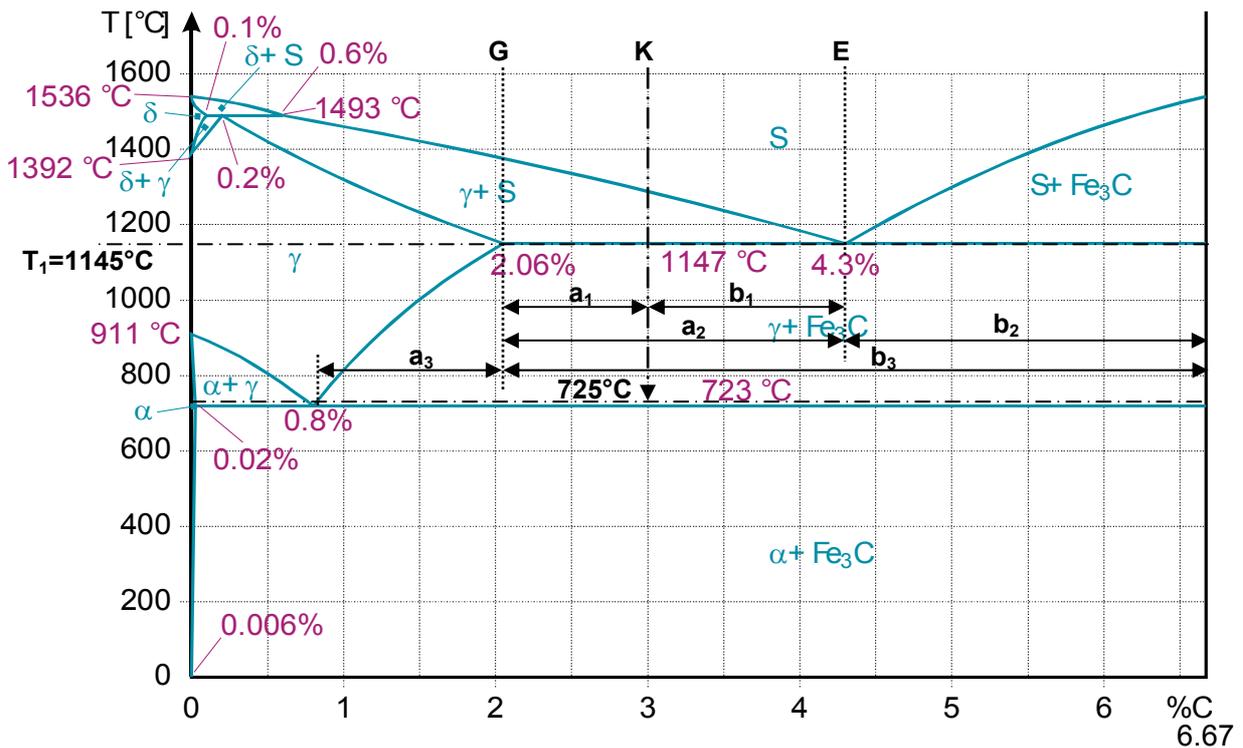
*** Bei Gleichgewichtszuständen machen Hebelarme in Einphasengebieten keinen Sinn!

8 Eisen-Kohlenstoff-Diagramm, Gefügebilder

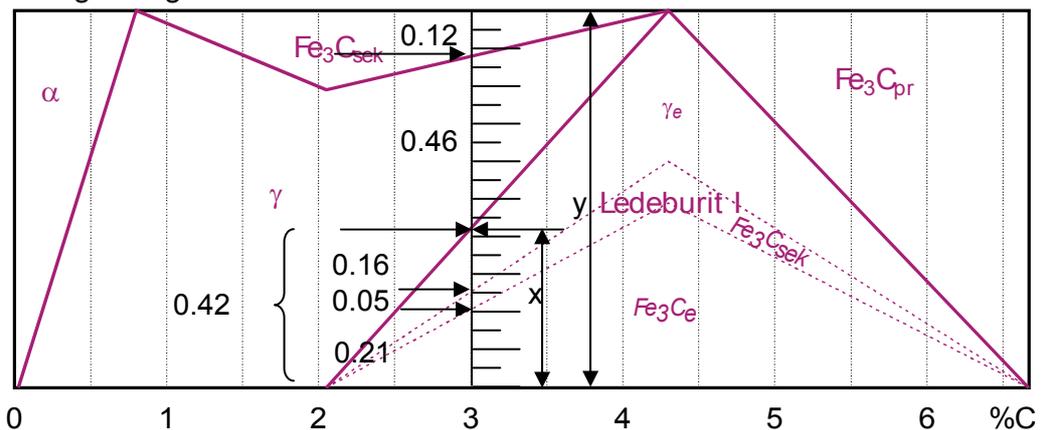
Geben Sie an, aus welchen Gefügebestandteilen eine Eisen-Kohlenstofflegierung mit einem Kohlenstoffgehalt von 3 % bei einer Temperatur von 725 °C besteht und aus welchen Phasen sich diese zusammensetzen,

- a) durch Ablesen aus dem Mengendiagramm
- b) direkt aus dem Phasendiagramm mittels Hebelgesetz

Zeichnen Sie schematisch die Gefüge bei Raumtemperatur von Eisen-Kohlenstofflegierungen eines Kohlenstoffgehaltes von c) 0.4% d) 1.4% e) 3% f) 5.5%



Mengendiagramm bei 725 °C



Unmittelbar unterhalb T_E , z.B. bei $T_1=1145^\circ\text{C}$, besteht K aus γ_{pr1} und Ledeburit I mit den Anteilen

$$w_{\gamma_{pr1}}^K = \frac{b_1}{a_1 + b_1} = \frac{4.3 - 3}{(3 - 2.06) + (4.3 - 3)} = \frac{4.3 - 3}{4.3 - 2.06} = \frac{1.3}{2.24} = 0.580$$

$$w_{L_I}^K = \frac{a_1}{a_1 + b_1} = \frac{3 - 2.06}{4.3 - 2.06} = \frac{0.94}{2.24} = 0.42 \quad (= 1 - 0.58)$$

wobei γ_{pr1} eine Phase ist, hingegen Ledeburit I aus Fe_3C_e und γ_{e1} (letzteres mit dem gleichen Kohlenstoffgehalt wie γ_{pr1} , Zusammensetzung G) besteht, mit den Anteilen (Phase in Gefügebestandteil)

$$w_{Fe_3C_e}^{L_I} = \frac{a_2}{a_2 + b_2} = \frac{4.3 - 2.06}{6.67 - 2.06} = \frac{2.24}{4.61} = 0.486 \quad \text{und} \quad w_{\gamma_{e1}}^{L_I} = \frac{b_2}{a_2 + b_2} = 1 - 0.486 = 0.514$$

Bei $T_2 = 725^\circ C$, unmittelbar vor Beginn der eutektoiden Umwandlung, hat sich sowohl aus γ_{pr1} als auch aus γ_{e1} der überschüssige Kohlenstoff in Form von Fe_3C_{sek} ausgeschieden:

$\gamma_{pr1} \rightarrow Fe_3C_{sek}$, Rest γ_{pr2} , geschrieben γ

$\gamma_{e1} \rightarrow Fe_3C_{sek}$, Rest γ_{e2} , geschrieben γ_e

mit den Gehalten:

$$w_{\gamma}^{\gamma_{pr1}} = w_{\gamma_e}^{\gamma_{e1}} = \frac{b_3}{a_3 + b_3} = \frac{6.67 - 2.06}{6.67 - 0.8} = \frac{4.61}{5.87} = 0.785$$

$$w_{Fe_3C_{sek}}^{\gamma_{pr1}} = w_{Fe_3C_{sek}}^{\gamma_{e1}} = \frac{a_3}{a_3 + b_3} = \frac{2.06 - 0.8}{6.67 - 0.8} = \frac{1.26}{5.87} = 1 - 0.785 = 0.215$$

Und somit die Gehalte dieser Phasen in der Legierung K:

Fe_3C_{sek} aus γ_{pr1} : $w_{Fe_3C_{sek}}^K = w_{Fe_3C_{sek}}^{\gamma_{pr1}} \cdot w_{\gamma_{pr1}}^K = 0.215 \cdot 0.580 = 0.125$

γ aus γ_{pr1} : $w_{\gamma}^K = w_{\gamma}^{\gamma_{pr1}} \cdot w_{\gamma_{pr1}}^K = 0.785 \cdot 0.580 = 0.455$

γ_e aus γ_{e1} in Ledeburit I: $w_{\gamma_e}^K = w_{\gamma_e}^{\gamma_{e1}} \cdot w_{\gamma_{e1}}^{L_I} \cdot w_{L_I}^K = 0.785 \cdot 0.514 \cdot 0.420 = 0.169$

Fe_3C_{sek} aus γ_{e1} in Ledeburit I: $w_{Fe_3C_{sek}}^K = w_{Fe_3C_{sek}}^{\gamma_{e1}} \cdot w_{\gamma_{e1}}^{L_I} \cdot w_{L_I}^K = 0.215 \cdot 0.514 \cdot 0.420 = 0.0464$

Fe_3C_e in Ledeburit I: $w_{Fe_3C_e}^K = w_{Fe_3C_e}^{L_I} \cdot w_{L_I}^K = 0.486 \cdot 0.420 = 0.204$

Subtotal Ledeburit I = 0.419

Total Legierung K = 0.999

