

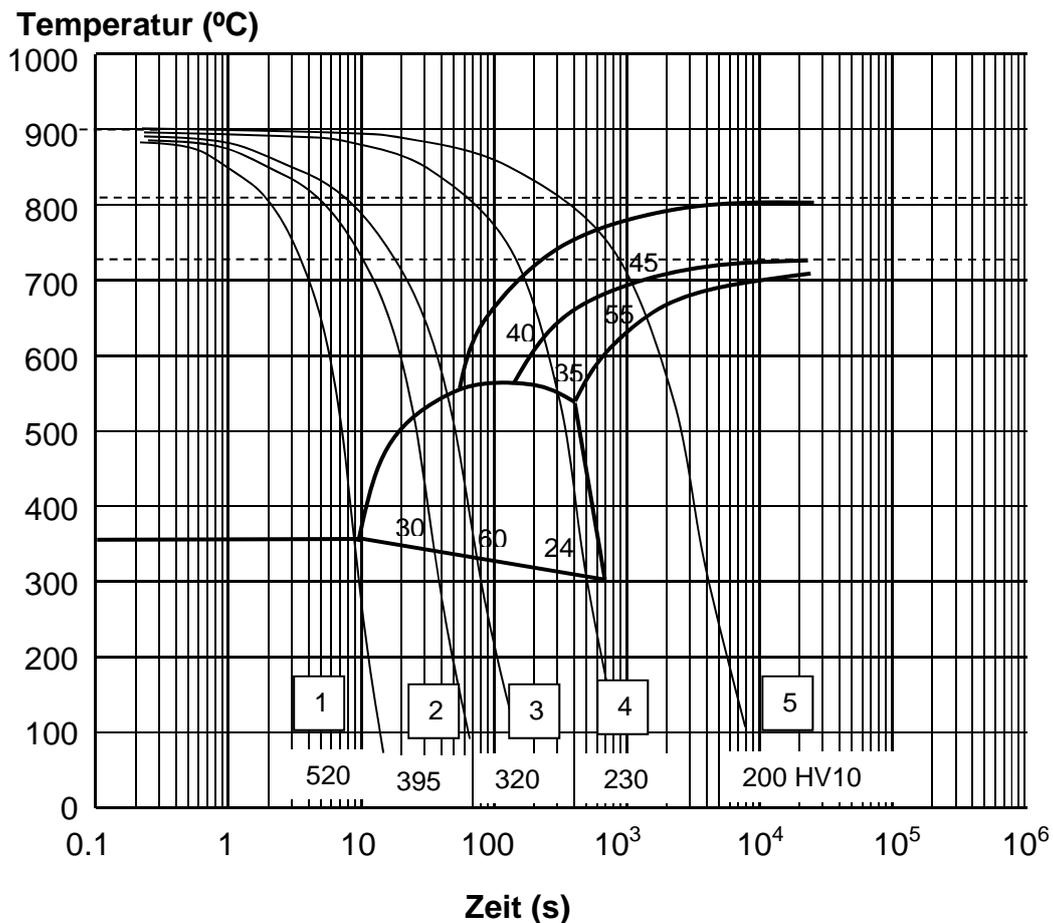


## 2 Kontinuierliches ZTU-Diagramm

## 4 Punkte

Die Härtungseigenschaften eines Stahles sind durch untenstehendes ZTU-Diagramm gegeben.

- Welche Härte ist zu erwarten, wenn der Stahl mit der oberen kritischen Abkühlungsgeschwindigkeit abgekühlt wird?
- Geben Sie die  $t_{8/5}$  - Zeit an für die Abkühlungskurve 5 (durch genähertes Ablesen)
- Was bedeutet die Angabe 230 HV10? Geben Sie ausserdem die genauen Gefügebestandteile der Legierung mit dieser Härte an.
- Seien die Kurve 1 der Abkühlungsverlauf an der Oberfläche, die Kurve 4 auf der Mittelachse eines Bauteiles. Welche Massnahmen sind zu treffen, wenn das Bauteil durchgehärtet werden soll?

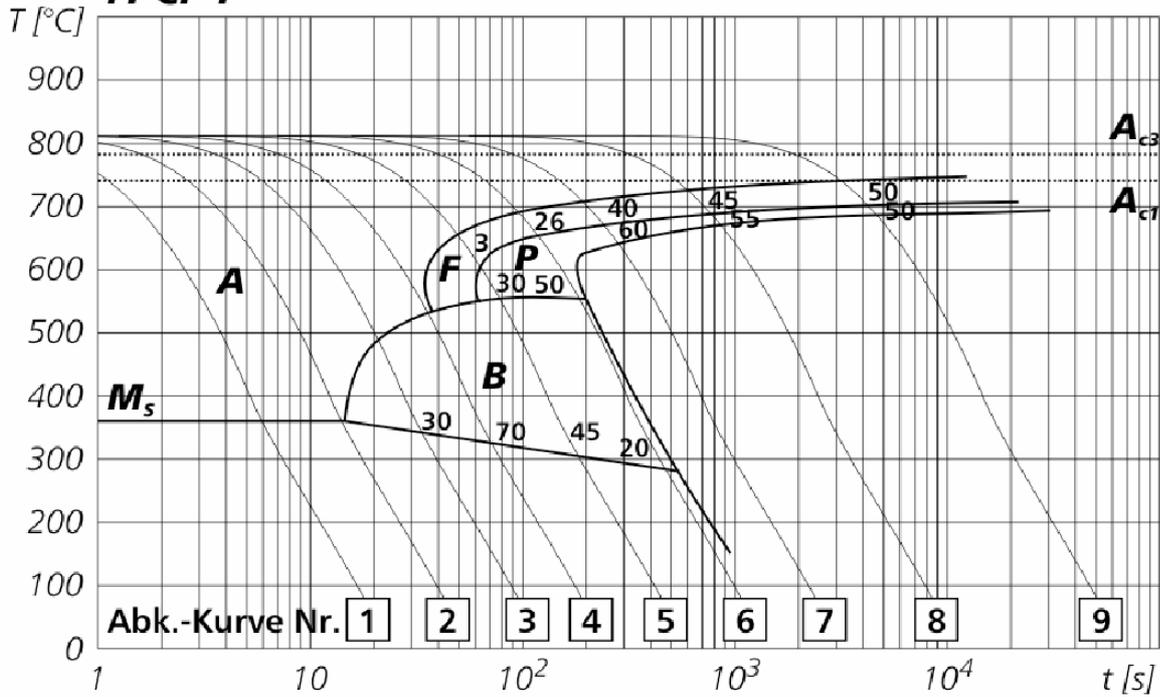


### 3 Kritische Abkühlgeschwindigkeiten

5 Punkte

- Was bedeutet die untere kritische Abkühlgeschwindigkeit? Welche Kurve im untenstehenden kontinuierlichen ZTU-Diagramm entspricht am ehesten dieser Abkühlgeschwindigkeit?
- Was bedeutet die obere kritische Abkühlgeschwindigkeit? Welche Kurve im untenstehenden kontinuierlichen ZTU-Diagramm entspricht am ehesten dieser Abkühlgeschwindigkeit?
- Geben Sie für Fall a) die prozentualen Anteile aller Gefügebestandteile an.
- Handelt es sich hier um einen untereutektoiden, eutektoiden oder übereutektoiden Stahl?
- Sie möchten ein Bauteil durchhärten, erreichen aber im Innern nur eine Abkühlung gemäss Kurve 5. Welche Massnahme können Sie treffen, und warum?

#### 41 Cr 4



## 4 Theoriefragen zum Thema Härten

**3 Punkte**

Bei zu langem Auslagern von teilchenhärtbaren Werkstoffen wachsen einige Teilchen stark an.

- A) Warum ist das schlecht?
- B) Wie nennt man diesen Vorgang?
- C) Warum ist feine Gleitverteilung anzustreben?

### Ausscheidungshärtung

---

Eine Aluminiumlegierung wird durch Ausscheidungshärtung gehärtet. Dabei können zwei verschiedene Verfahren eingesetzt werden, nämlich Kalt- oder Warmauslagerung. Bei Kaltauslagerung entstehen relativ kleine, kohärente Teilchen, nach einer Warmauslagerung sind die Teilchen größer und nicht kohärent.

- i. Ordnen Sie den beiden Fällen den entsprechenden typischen Versetzungsmechanismus (Schneide- oder Umgehungsmechanismus) zu.
- ii. In welchem der beiden Fälle ist die höhere Festigkeit des Materials zu erwarten?
- iii. Beschreiben Sie bei vorgegebenem Legierungsgehalt der teilchenbildenden Komponente ein Gefüge mit optimaler Härtung.
- iv. Wann lohnt sich die Zugabe weiterer teilchenbildender Komponenten?

- a) Wie heißen die Temperaturen, welche beim Abschrecken unterschritten werden müssen,
  - damit etwas Martensit entsteht
  - damit 100% Martensit entsteht
- b) Wie hängen diese Temperaturen vom Kohlenstoffgehalt des Stahles ab
- c) Ist die Menge des gebildeten Martensits von der Abkühlungsgeschwindigkeit abhängig? (Bedingungen angeben)
- d) Woraus kann das abgeschreckte Gefüge bei Raumtemperatur bestehen?
- e) Wie wirken sich elastische und plastische Verformungen des Werkstoffes aus?

# 1 Isothermes ZTU-Diagramm

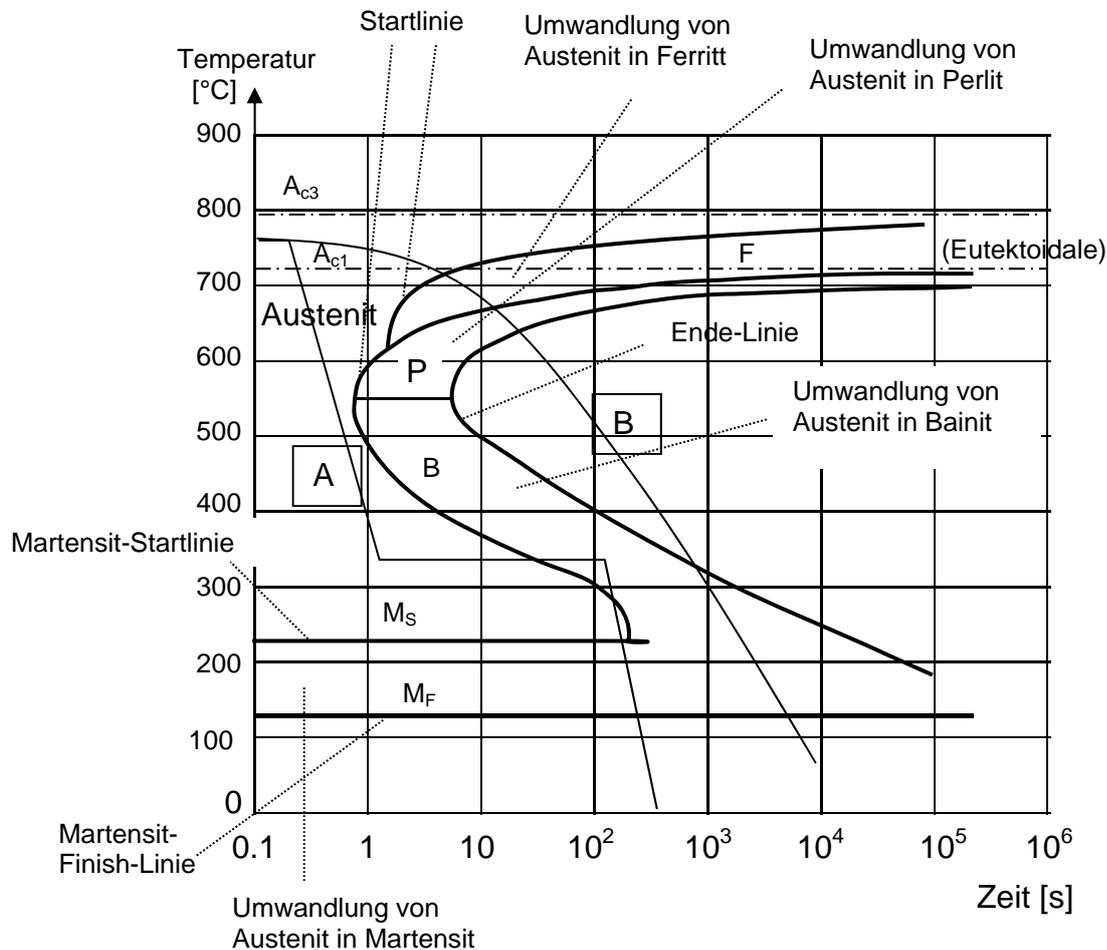
4 Punkte

Gegeben ist das isotherme Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Schaubild eines Stahles.

- Erklären Sie die Bedeutung der Linien und Felder.
- In welchem Bereich liegt der Kohlenstoffgehalt des Stahles, woran ist das erkennbar?
- Was lässt sich über die bei Abkühlung nach Kurve A ablaufenden Vorgänge aussagen?
- Was lässt sich über die bei Abkühlung nach Kurve B ablaufenden Vorgänge aussagen?

Lösung:

- a) S. Diagramm {2}<sub>2</sub> minus 0.25 pro Fehler



- b) Kohlenstoffgehalt ist kleiner als 0.8% , erkennbar, weil ein Umwandlungsgebiet Austenit- Ferrit vorhanden ist. (Erkennbar an der  $A_{C3}$  - Temperatur) {0.5}<sub>2.5</sub>

- c) Kurve A: Bei ca. 330°C Bildung von etwa 50 % Bainit aus Austenit. Durch anschliessendes schnelles Abkühlen wird der restliche Austenit in Martensit umgewandelt. {1}<sub>3.5</sub>

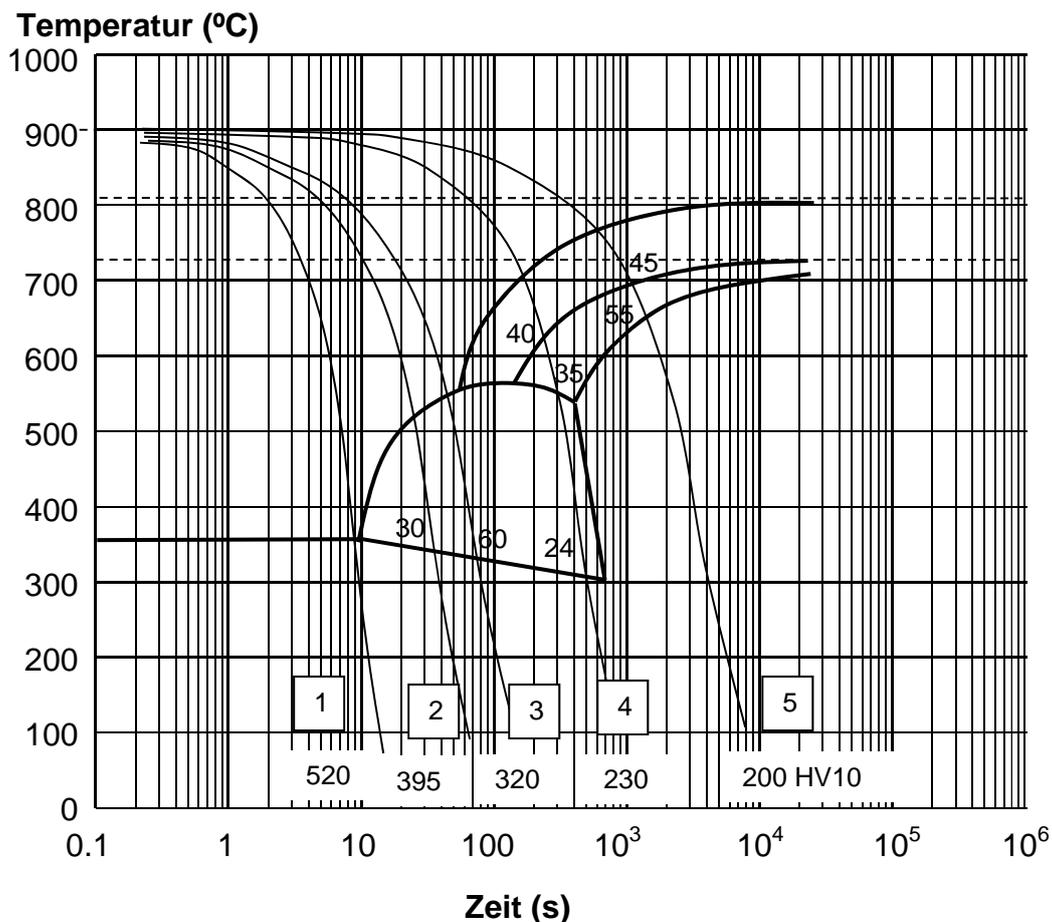
- d) Kurve B: Keine Aussage möglich, da Diagramm nur für isotherme Umwandlung gilt. {0.5}<sub>4</sub>

## 2 Kontinuierliches ZTU-Diagramm

### 4 Punkte

Die Härtungseigenschaften eines Stahles sind durch untenstehendes ZTU-Diagramm gegeben.

- Welche Härte ist zu erwarten, wenn der Stahl mit der oberen kritischen Abkühlungsgeschwindigkeit abgekühlt wird?
- Geben Sie die  $t_{8/5}$  - Zeit an für die Abkühlungskurve 5 (durch genähertes Ablesen)
- Was bedeutet die Angabe 230 HV10?
- Seien die Kurve 1 der Abkühlungsverlauf an der Oberfläche, die Kurve 4 auf der Mittelachse eines Bauteiles. Welche Massnahmen sind zu treffen, wenn das Bauteil durchgehärtet werden soll?



*Lösung*

a) 520 HV10      {0.5}<sub>0.5</sub>

b)  $t_{8/5} = 2700 - 380 \text{ s} = 2320 \text{ s}$     {0.5}<sub>1</sub>

c) 230 HV10 : Härte nach Vickers ist 230, das ist die Prüfkraft geteilt durch die Oberfläche des Abdruckes, welchen die Prüfpyramide hinterlassen hat. 10 bedeutet die Prüfkraft in kp ( $1 \text{ kp} = 9.81 \text{ N}$ ) (Angabe der Prüfzeit fehlt, min. 10 s) {1}

Die genauen Gefügebestandteile sind: 40% Ferrit, 35% Perlit, 24% Bainit und ca. 1% Martensit.

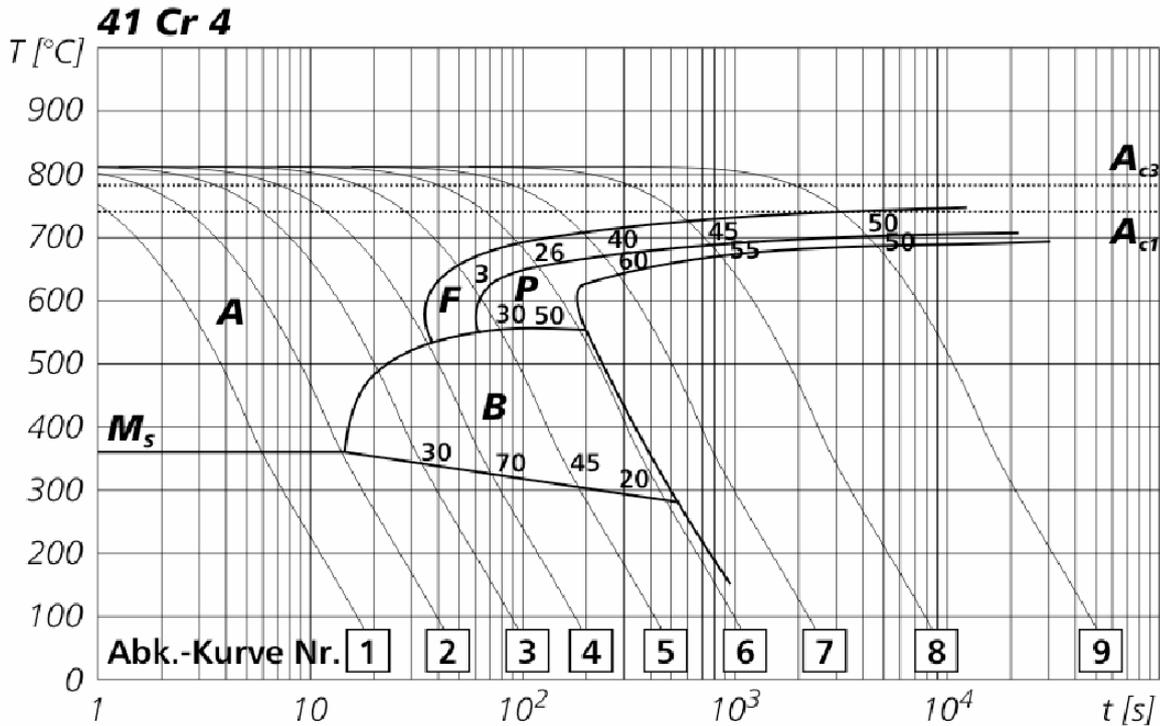
{1}<sub>2</sub>

d) Es muss ein legierter Stahl gewählt werden, dessen diffusionsgetriebenen Umwandlungsgebiete rechts von der Kurve 4 liegen.      {1}<sub>3</sub>

### 3 Kritische Abkühlgeschwindigkeiten

5 Punkte

- Was bedeutet die untere kritische Abkühlgeschwindigkeit? Welche Kurve im untenstehenden kontinuierlichen ZTU-Diagramm entspricht am ehesten dieser Abkühlgeschwindigkeit?
- Was bedeutet die obere kritische Abkühlgeschwindigkeit? Welche Kurve im untenstehenden kontinuierlichen ZTU-Diagramm entspricht am ehesten dieser Abkühlgeschwindigkeit?
- Geben Sie für Fall a) die prozentualen Anteile aller Gefügebestandteile an.
- Handelt es sich hier um einen untereutektoiden, eutektoiden oder übereutektoiden Stahl?
- Sie möchten ein Bauteil durchhärten, erreichen aber im Innern nur eine Abkühlung gemäss Kurve 5. Welche Massnahme können Sie treffen, und warum?



Lösung

a)  
 Bei der unteren kritischen Abkühlgeschwindigkeit entsteht gerade etwas Martensit (1%). Kurve 6 mit 100-20-50-26=4% Martensit (und Restaustenit) liegt dieser Kurve am nächsten. 2 x {0.5}

b)  
 Bei der oberen kritischen Abkühlgeschwindigkeit entsteht gerade (erstmalig) vollständig Martensit (99%)(allenfalls mit Restaustenit, aber ohne Ferrit, Perlit, Bainit). Kurve 2 liegt dieser Kurve am nächsten. 2 x {0.5}

c)  
 Gefügebestandteile für Fall a):  
 Ferrit 26%  
 Perlit 50% 4 x {0.25}  
 Bainit 20%  
 Martensit (und Restaustenit) 4%

d)  
 Der Kohlenstoffgehalt beträgt 0.41% (steht im Titel des ZTU)-Diagramm und das ZTU-Diagramm weist einen Ferrit-Bereich auf: 1 oder 2 Gründe:total {1}  
 Es handelt sich demnach um einen untereutektoiden Stahl.

e)  
 Wahl eines höher legierten Stahles. C bis 0.9%, Mn, Ni, Mo, Cr, (grobes Austenitkorn) verschieben die Nasen (diffusionsgesteuerte Umwandlung) nach rechts, das Bainitgebiet nach rechts unten. „legieren“: {0.5}, Elemente: {0.5}

## 4 Theoriefragen zum Thema Härten

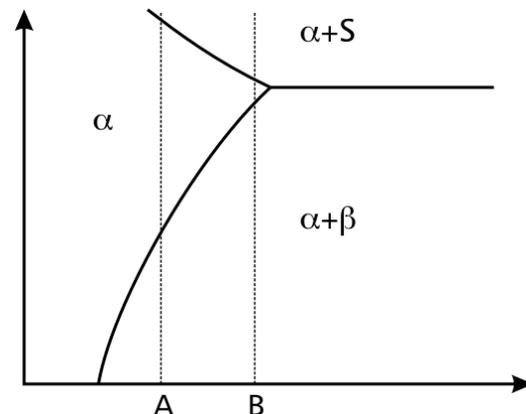
### 3 Punkte

Lösung

- A) *Schlecht daran ist, dass andere Teilchen aufgezehrt werden, wodurch der Abstand zwischen den Teilchen grösser wird. Je kleiner der Abstand, umso grösser die Verfestigung des Werkstoffes.*
- B) *Ostwaldreifung* {1}\_2
- C) *Werkstoffe mit feiner Verteilung der Gleitstufen sind kerbunempfindlich (Geometrische Entfestigung der scherenden Körner bei grober Gleitverteilung).* {1}\_3

Lösung:

- i. kohärente Teilchen: Schneidemechanismus  
inkohärente Teilchen: Umgehungsmechanismus
- ii. Bei inkohärenten, größeren Teilchen ist die Festigkeit i.A. höher.
- iii. Optimale Härtung ist dann erreicht, wenn möglichst viele Teilchen ausgeschieden sind, ohne daß sich diese bereits vergrößert haben (Übergang von normaler Ausscheidung zu Ostwaldreifung). Die Matrix ist dann nicht mehr übersättigt, die Teilchen mit möglichst kleinem Abstand verteilt.
- iv. Befindet sich die Legierung noch ein Stück unterhalb der maximalen Löslichkeit der teilchenbildenden Komponente im Mischkristall (Abbildung unten, Legierung A), kann durch weiteres Zulegieren der maximal mögliche Teilchenanteil gesteigert werden. Bei Legierungen, die schon nahe der maximalen Löslichkeit sind (Legierung B) ist eine Steigerung durch Zulegieren nicht mehr möglich, da dann kein Lösungsglühen mehr möglich ist (kein Einphasenfeld beim Aufheizen).



Lösung

- a)
  - *Martensitstart-Temperatur  $M_S$*
  - *Martensitfinish-temperatur  $M_F$*
- b) *Höherer Kohlenstoffgehalt senkt  $M_S$  und  $M_F$*
- c) *Nein, wenn die Abkühlgeschwindigkeit gross genug ist, dass die Nasen der Diffusionsvorgänge nicht geschnitten werden (dann nur abhängig davon, um wieviel  $M_S$  unterschritten wurde); sonst ja.*
- d) *Martensit, (Restaustenit), allenfalls Bainit (Zwischenstufengefüge) Perlit, Ferrit.*
- e) *elastische und plastische Verformungen des Werkstoffes bewirken eine **Erhöhung** der Martensitstarttemperatur.*