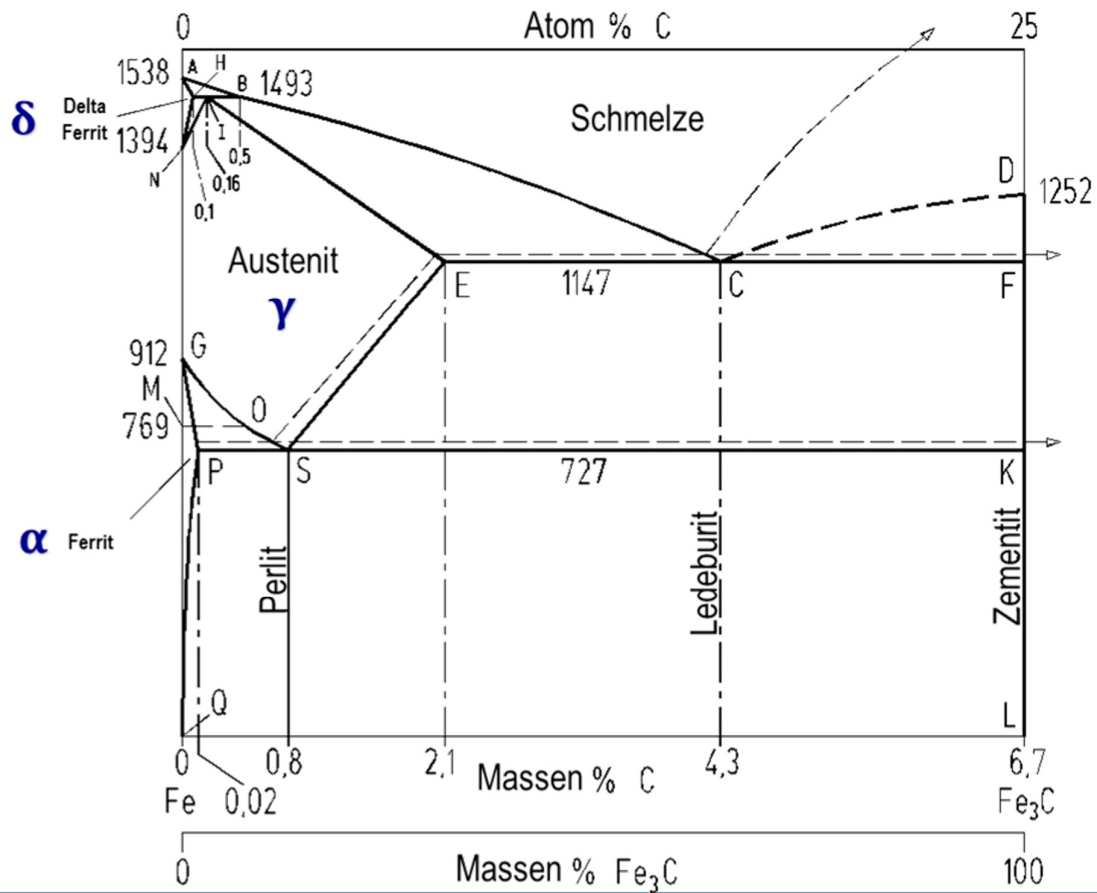
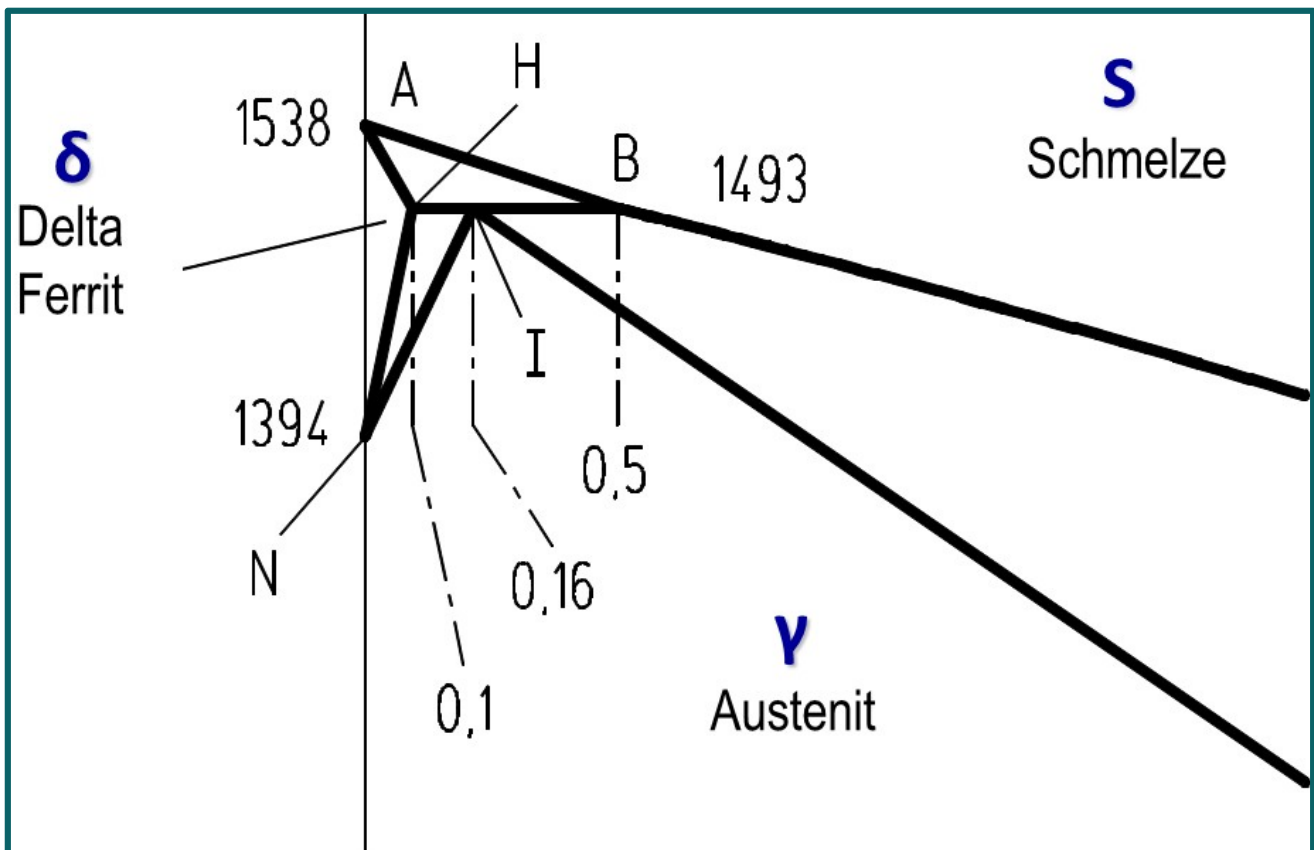


# Fe-Fe<sub>3</sub>C / Fe-Graphit Zustandsdiagramm Zwillingsdiagramm

- Aufbau des Fe-C Zustandsdiagrammes
  - Stabiles (Graphit) System
  - Metastabiles (Karbid) System
  - Phasen im System
  - Gefügebestandteile
- Umwandlungen während der Abkühlung
- Lösung von Musterbeispielen gemeinsam und selbständig



Folie: 3



Folie: 4

- Die Kohlenstoffgehalte werden im Massenprozent angegeben.
- Wir sehen von dem Aufzeichnen der peritektische Ecke nicht ab.
- Das ganze Diagramm muss vom Kopf aufgezeichnet werden können mit der charakteristischen Temperatur- und Konzentrationswerten.

Folie: 5

- Untereutektoidische Legierung  $0,0 < C < 0,8 \%$   
 Übereutektoidische Legierung  $0,8 < C < 2,1 \%$
- Untereutektische Legierung  $2,1 < C < 4,3 \%$   
 Übereutektische Legierung  $4,3 < C < 6,7 \%$
- Legierungen mit weniger als 2,1 % Kohlenstoffgehalt werden als Stähle mit höherem kohlenstoffgehalt als Gusseisen bezeichnet.

Folie: 6

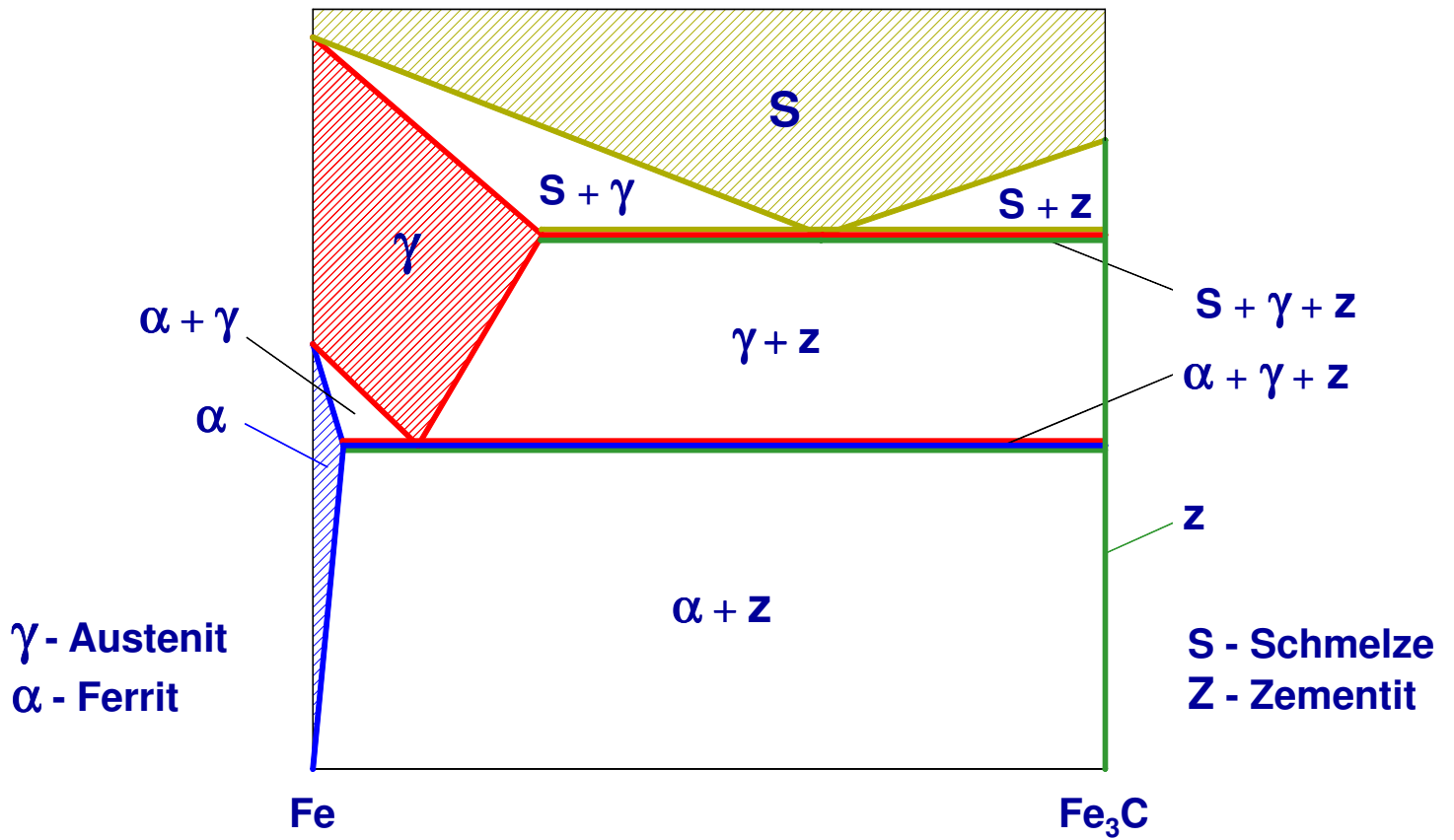
Zeichnen Sie das Fe–Fe<sub>3</sub>C Zustandsdiagramm mit der charakteristischen Temperatur- und Konzentrationswerten auf.

(Antwort: siehe Folie Nr.3.)

Folie: 7

- Flüssigkeit / Schmelze (flüssige Lösung)
  - Kohlenstoff löst sich unbegrenzt in der Schmelze.
- Delta Ferrit (Mischkristall) –  $\delta$ 
  - Gittertyp: krz, Löslichkeit begrenzt (auf 1493°C max. 0,1 %)
- Austenit (Mischkristall) –  $\gamma$ 
  - Gittertyp: kfz, Löslichkeit begrenzt (auf 1147°C max. 2,1 %)
- Ferrit (Mischkristall) –  $\alpha$ 
  - Gittertyp: krz, Löslichkeit begrenzt (auf 727°C max. 0,02 %)
- Zementit (intermetallische Verbindung) – Fe<sub>3</sub>C
  - Stöchiometrisches VVerhältnis der Atome im Gitter ist 3 zu 1 (6,7 % C).

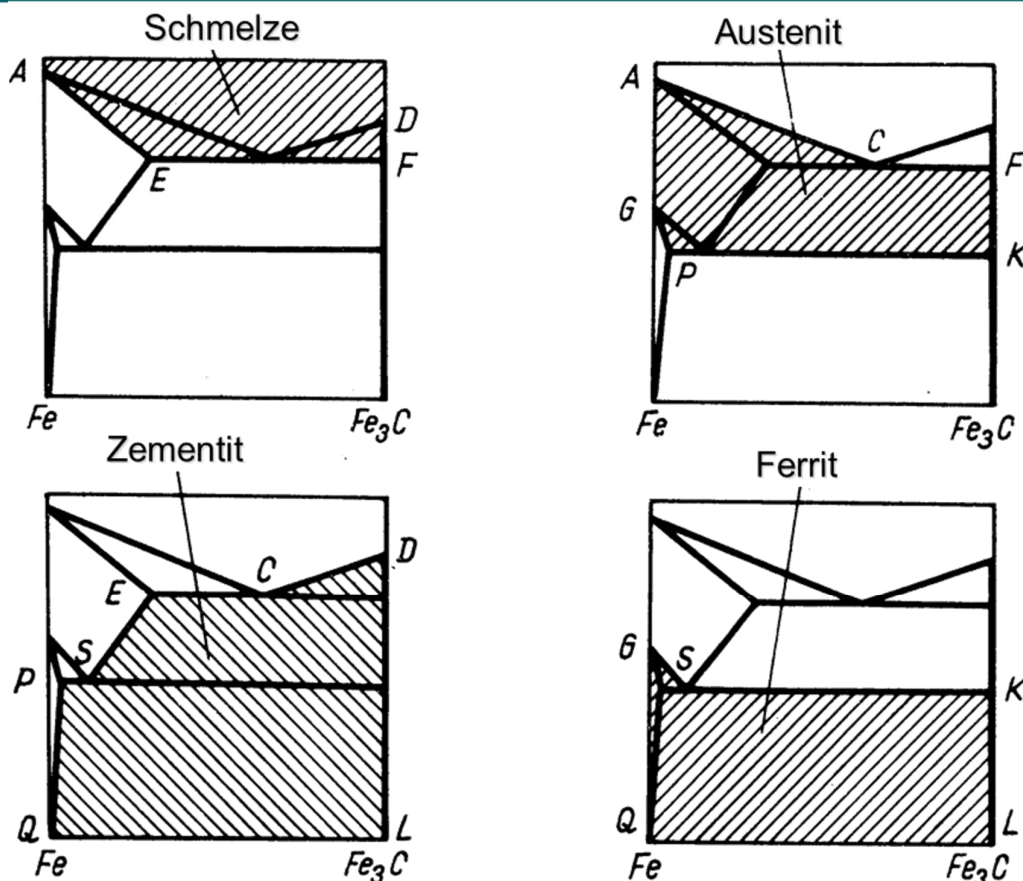
Folie: 8



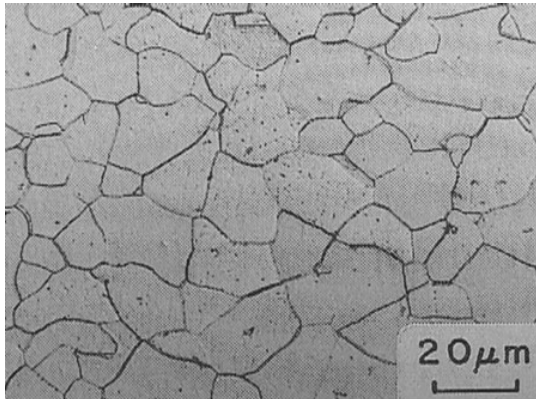
Folie: 9



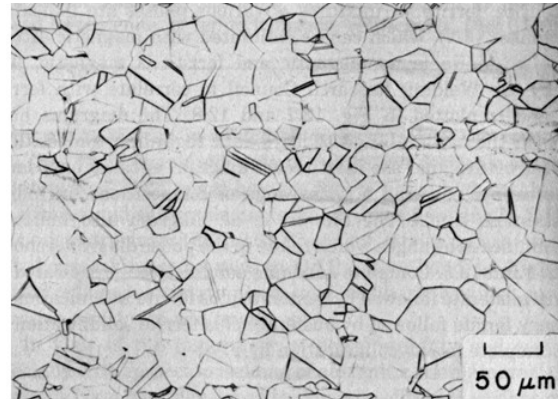
## 1. Aufgabe



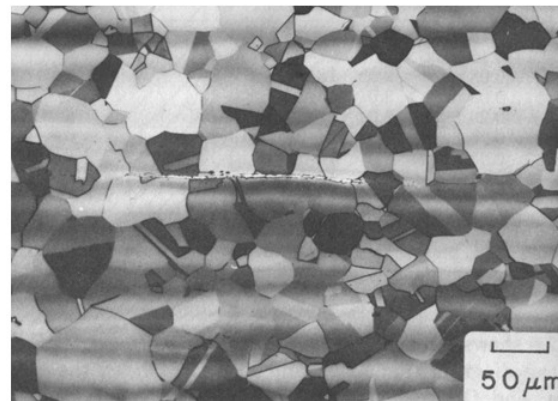
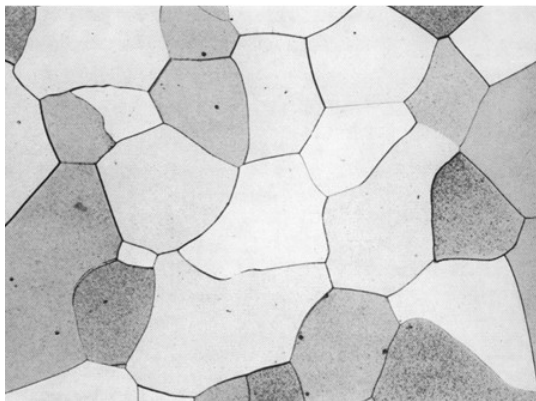
Folie: 10



Ferrit – C = kb. 0 %



Austenit – C < 0,1 %



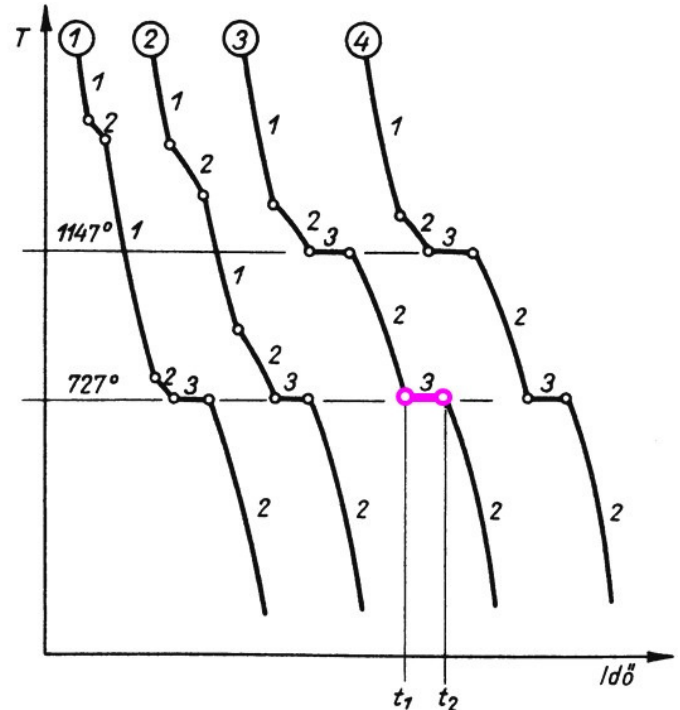
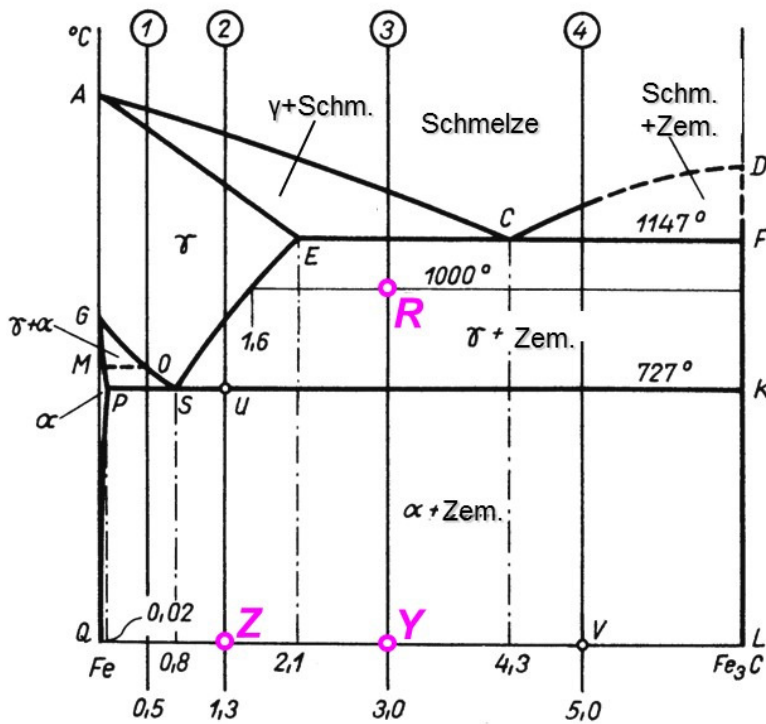
Folie: 11

Skizzieren Sie das Fe–Fe<sub>3</sub>C Zustandsdiagramm mit der Umwandlungslinien. Schreiben Sie die Phasen in dem einzelnen Bereichen!

(Antwort: siehe Folie Nr.9.)

Folie: 12



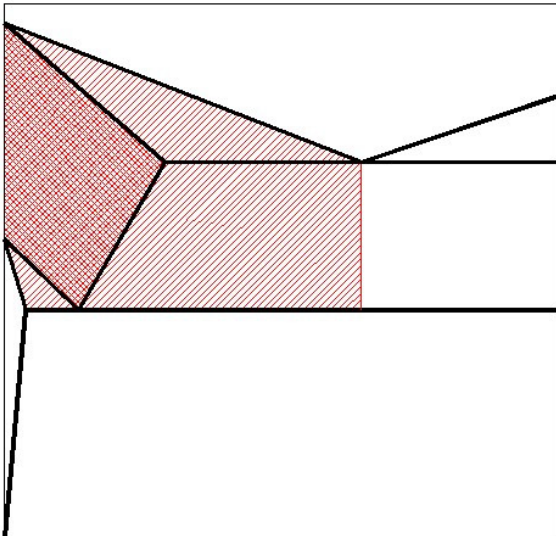


Folie: 13

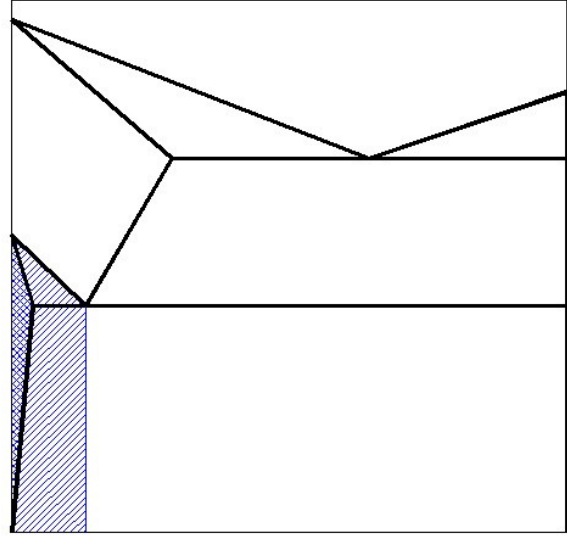
- Homogene Gefügebestandteile
  - Delta Ferrit -  $\delta$  (Mischkristall)
  - Austenit -  $\gamma$  (Mischkristall)
  - Ferrit -  $\alpha$  (Mischkristall)
  - primär (I.) Zementit –  $\text{Fe}_3\text{C}$  (wird aus Flüssigkeit ausgeschieden)
  - sekundär (II.) Zementit –  $\text{Fe}_3\text{C}$  (wird aus Austenit ausgeschieden)
  - tertiär (III.) Zementit –  $\text{Fe}_3\text{C}$  (wird aus Ferrit ausgeschieden)
  
- Heterogene Gefügebestandteile
  - Ledeburit (Eutektikum) – bildet sich aus gesättigte Flüssigkeit
  - Perlit (Eutektoid) – bildet sich aus gesättigte Austenit

Folie: 14

## Austenit

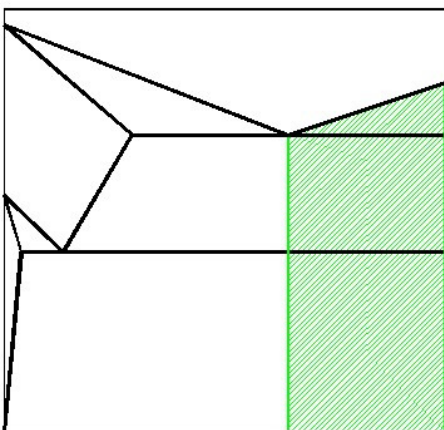


## Ferrit

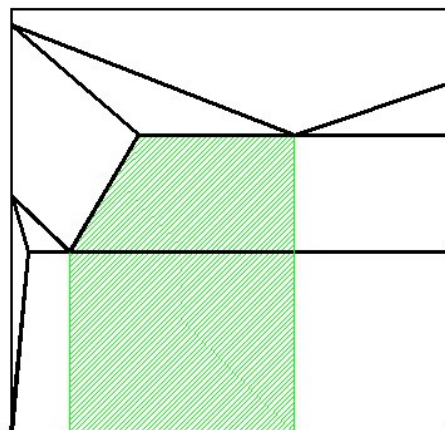


Folie: 15

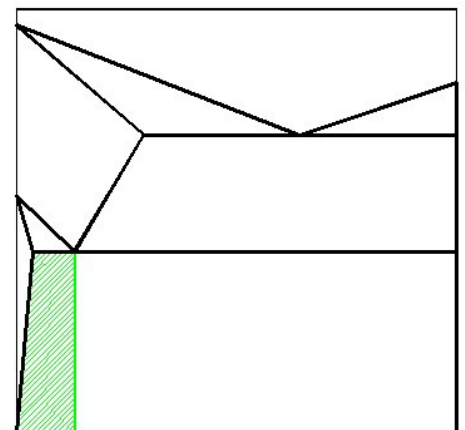
## primär Zementit



## sekundär Zementit



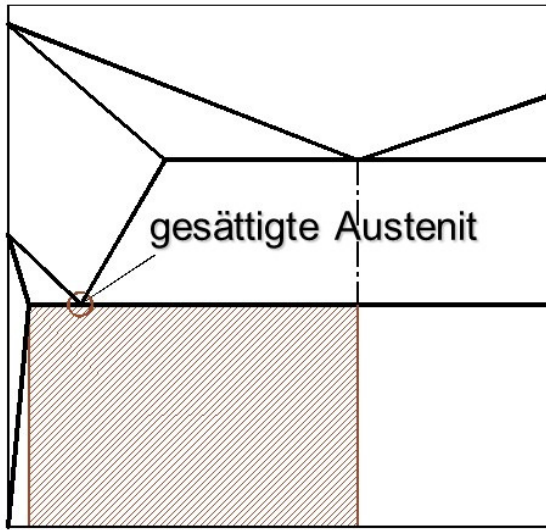
## tertiär Zementit



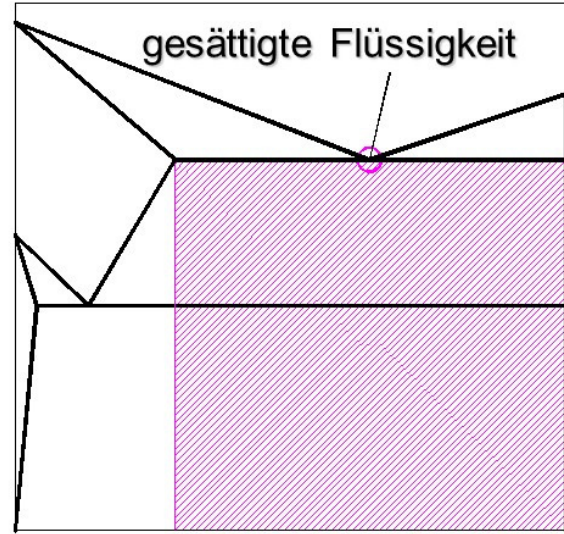
Folie: 16



## Perlit

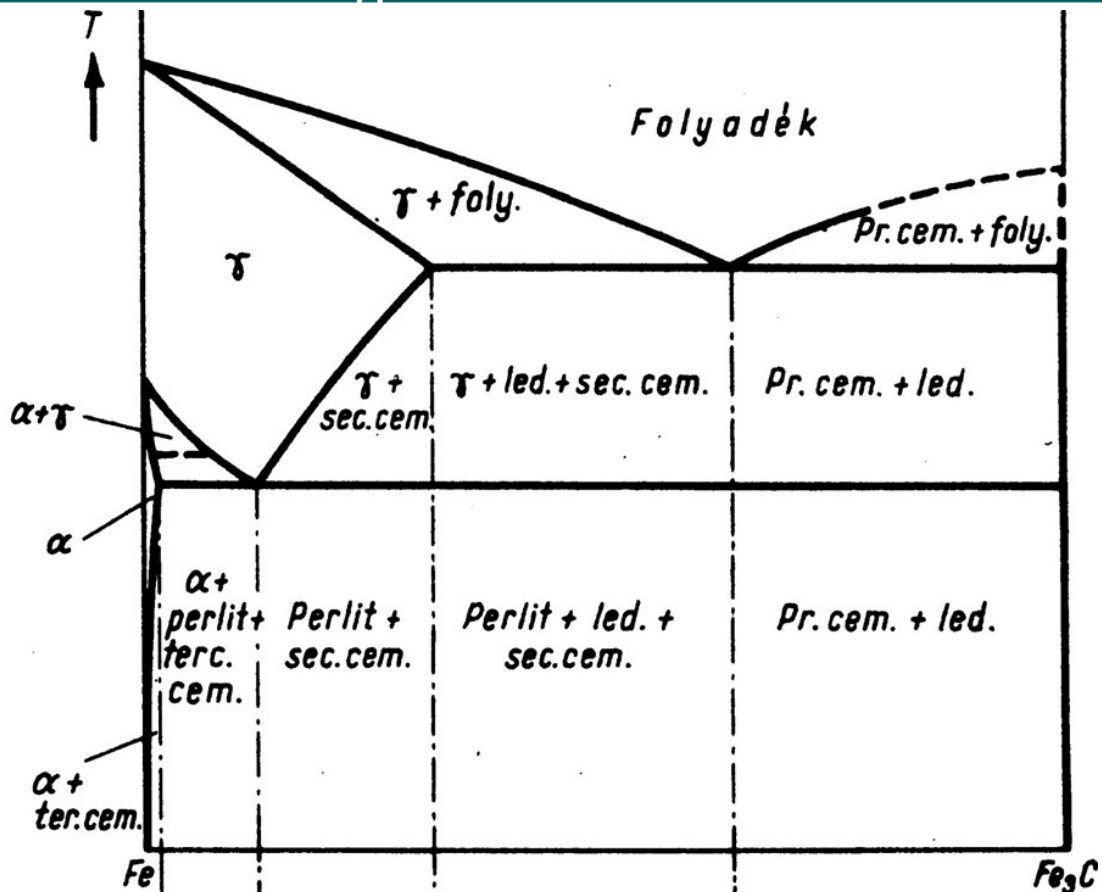


## Ledeburit

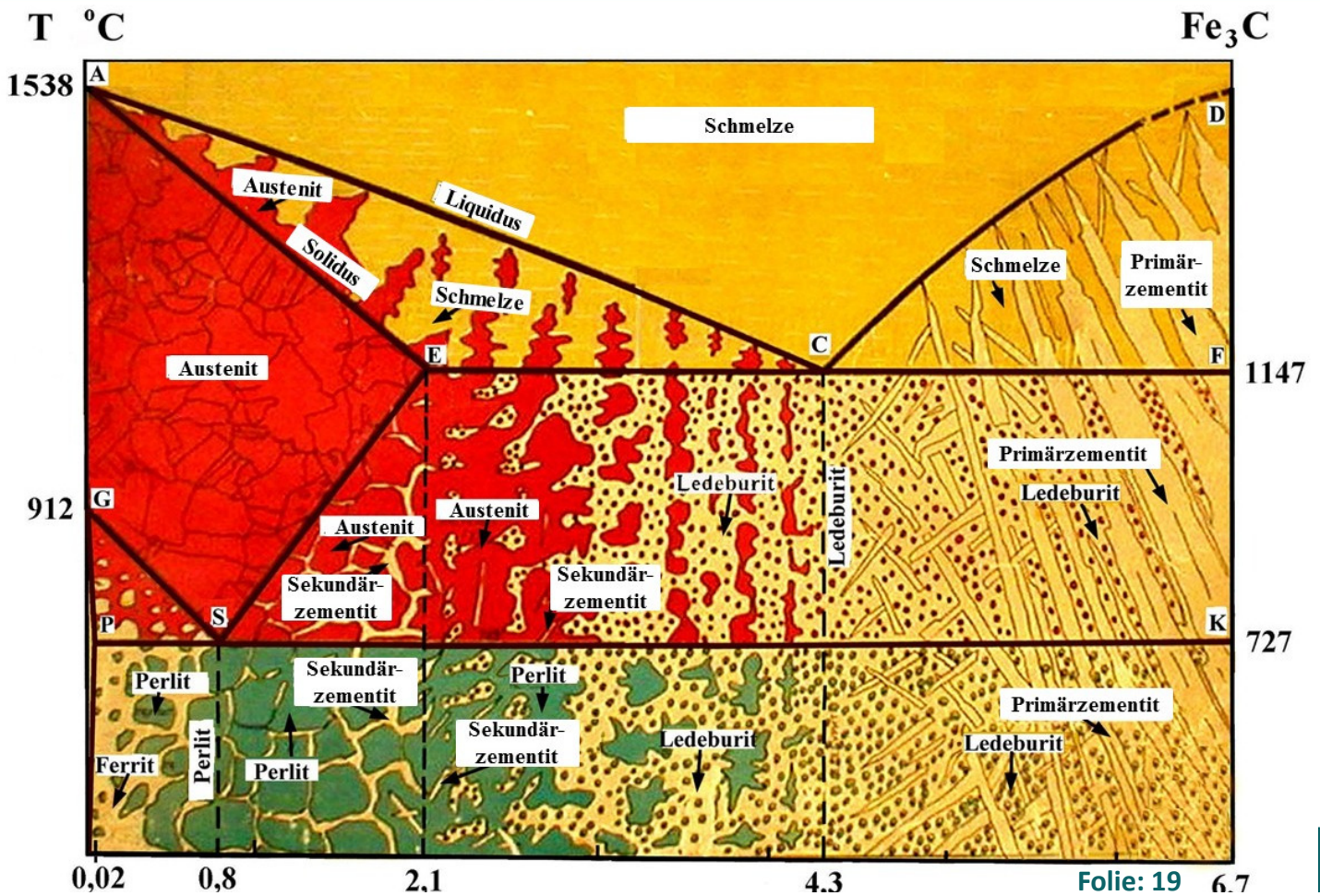


Folie: 17

# Bereiche der Gefügebestandteile 1.



Folie: 18

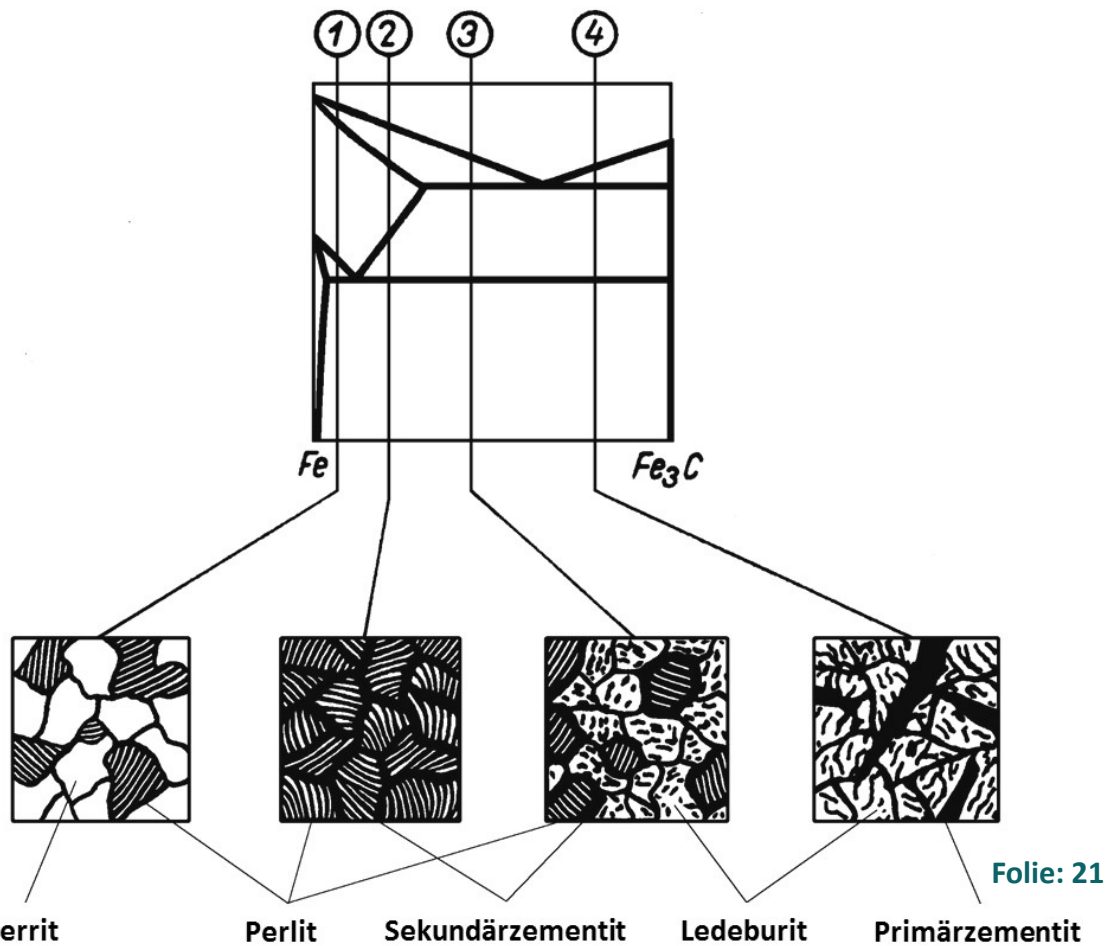


Folie: 19

Skizzieren Sie das Fe–Fe<sub>3</sub>C Zustandsdiagramm mit der Umwandlungslinien. Schreiben Sie die Gefügebestandteile in dem einzelnen Bereichen!

(Antwort: siehe Folie Nr.18.)





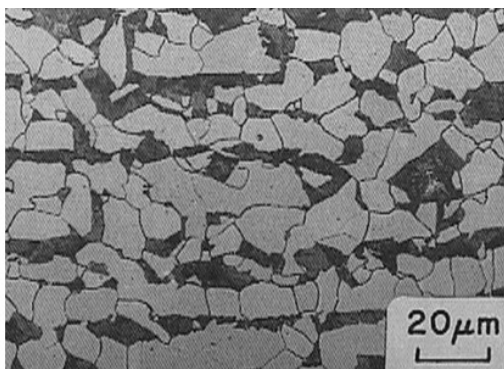
Ferrit

Perlit

Sekundärzementit

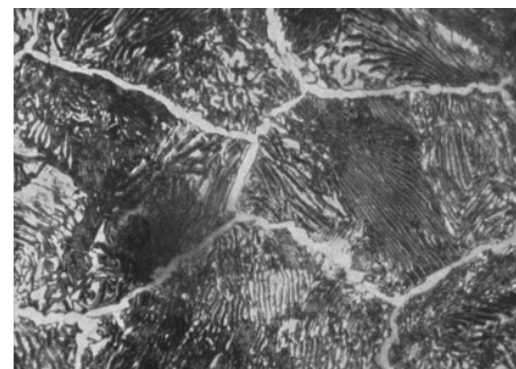
Ledeburit

Primärzementit



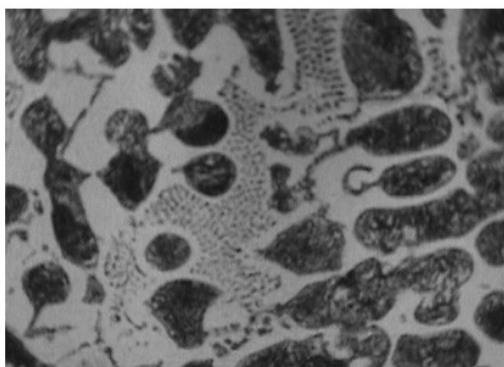
1

Untereutektoidische Legierung C = 0,2 %



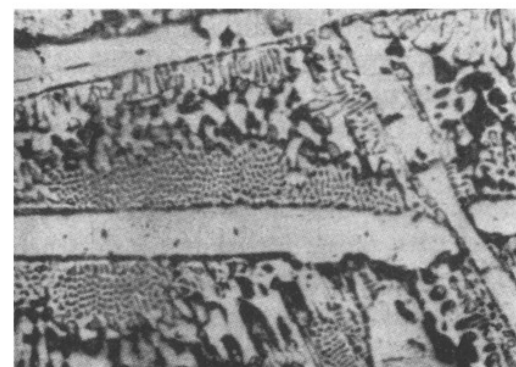
2

Übereutektoidische Legierung C = 1,4 %



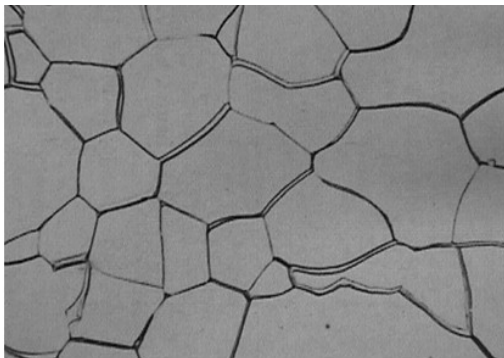
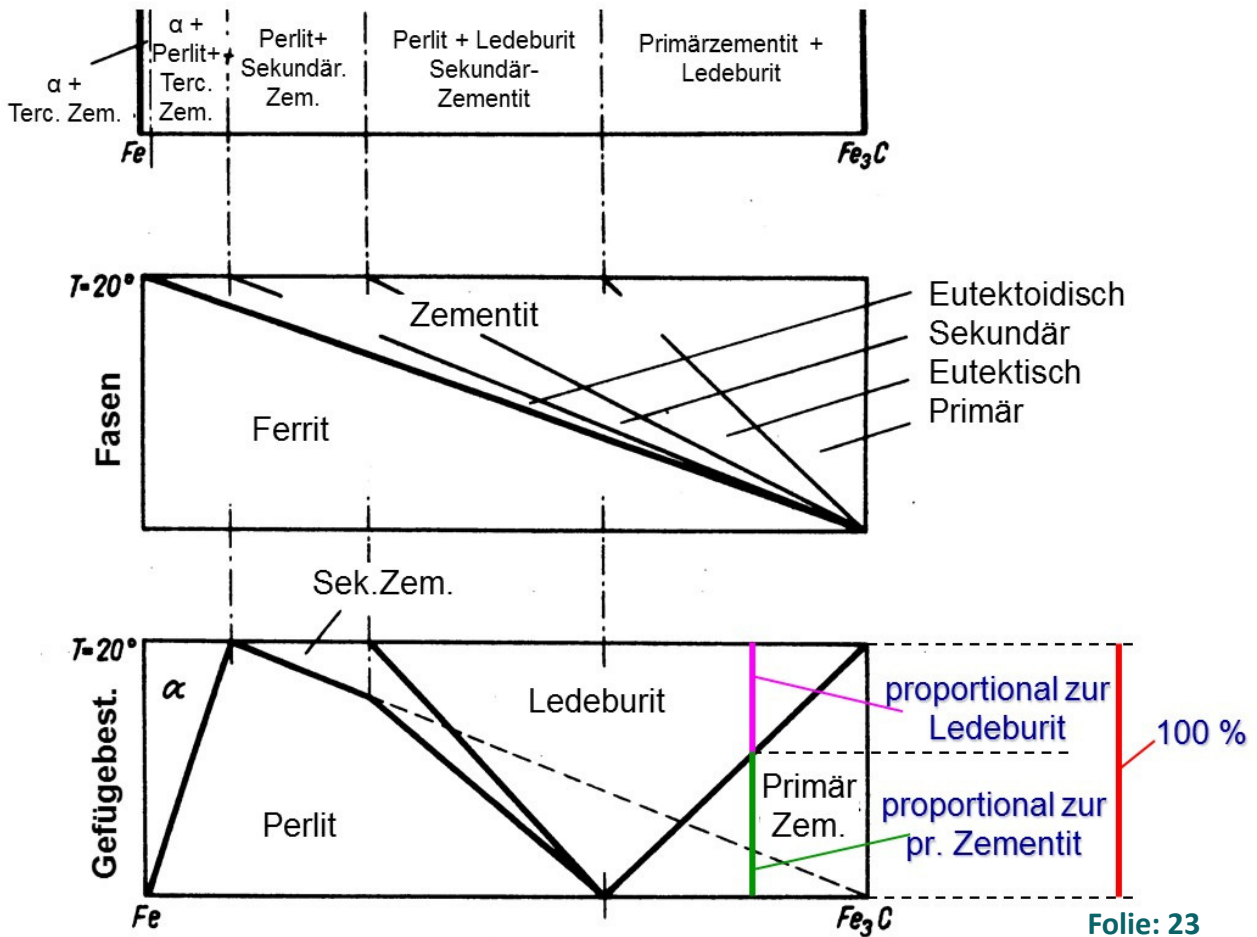
3

Untereutektische Legierung C = 2,9 %

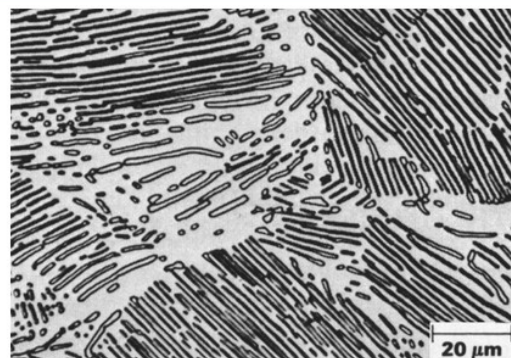


4

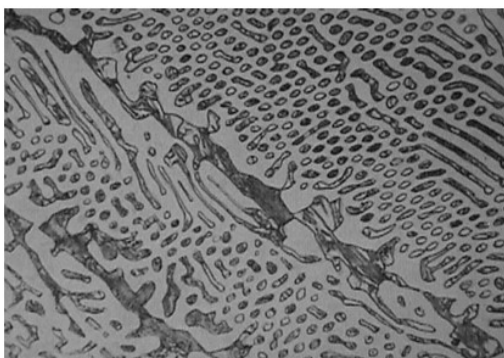
Übereutektische Legierung C = 5,1 %



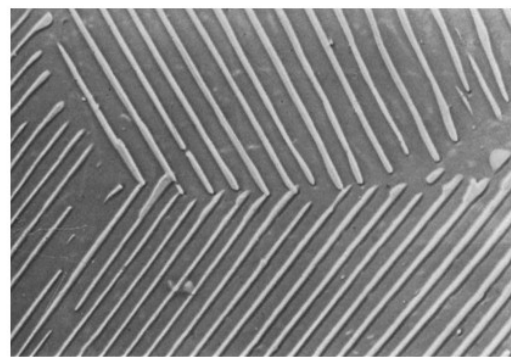
Ferrit + tert. Zementit C = 0,02 %



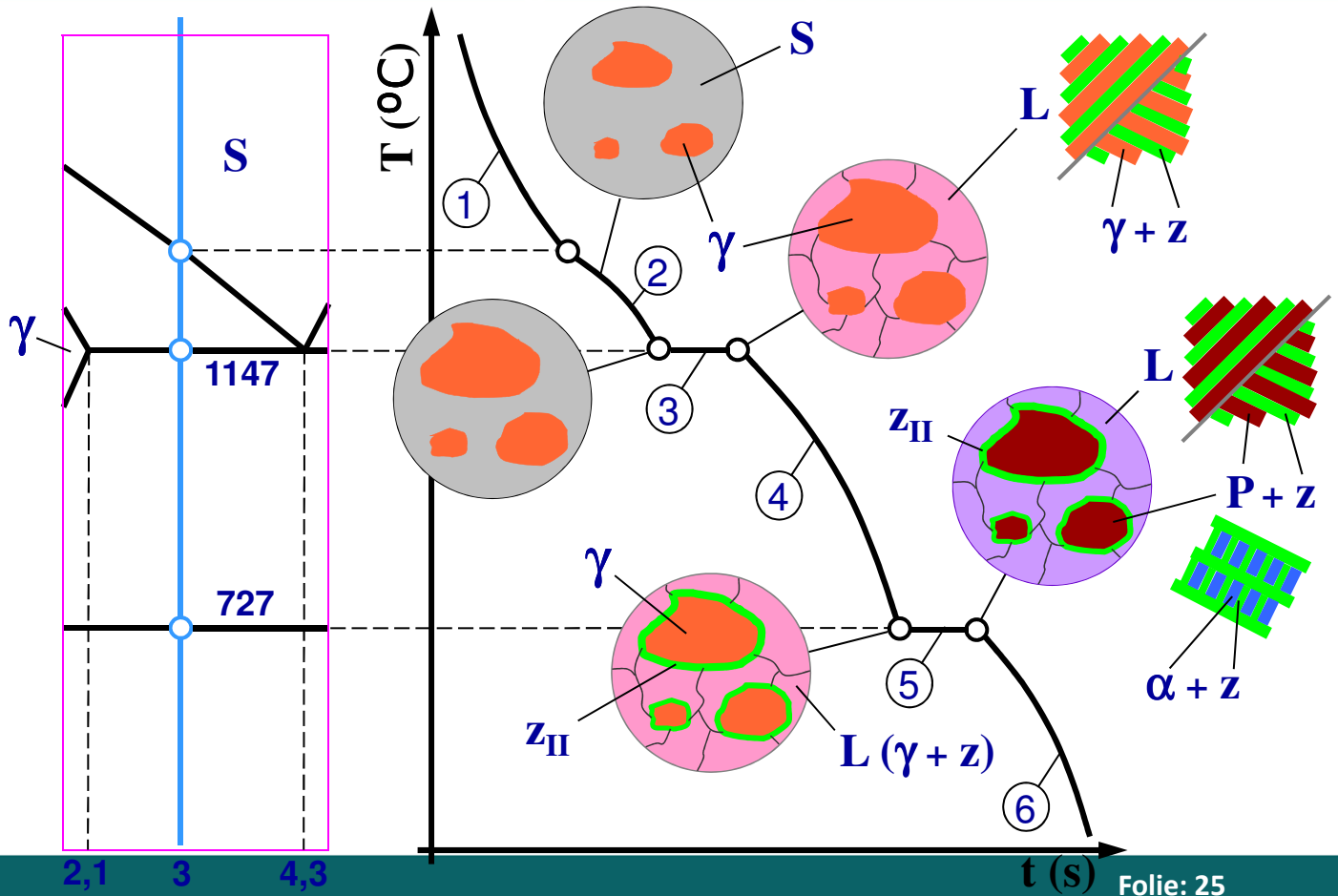
Perlit (Eutektoid) C = 0,8 %



Ledeburit (Eutektikum) C = 4,3 %



Perlit (Eutektoid) N = 5000 x



|  | Nr. | P. | F. | Phasen                  | Gefügebestandteile          |
|--|-----|----|----|-------------------------|-----------------------------|
|  | 1   | 1  | 2  | S                       | (S)                         |
|  | 2   | 2  | 1  | S + $\gamma$            | (S) + $\gamma$              |
|  | 3   | 3  | 0  | S + $\gamma$ + Z        | (S) + $\gamma$ + L          |
|  | 4   | 2  | 1  | $\gamma$ + Z            | $\gamma$ + L + $Z_{II}$     |
|  | 5   | 3  | 0  | $\gamma$ + Z + $\alpha$ | $\gamma$ + L + $Z_{II}$ + P |
|  | 6   | 2  | 1  | Z + $\alpha$            | L + $Z_{II}$ + P            |



Bestimmen wir die prozentuelle Mengenanteil der Phasen bei Raumtemperatur für die Legierung mit 3 % Kohlenstoffgehalt.

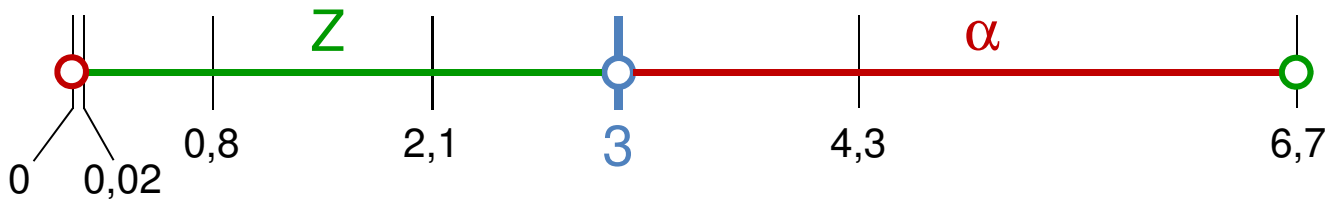
(siehe Folie Nr.13. Y- Punkt).

Folie: 27

Phasen im Gleichgewicht auf 20 °C (8. Folie):

Ferrit ( $\alpha$ )      C = ~ 0 %

Zementit (z)      C = 6,7 %



$$\alpha = (6,7 - 3) / (6,7 - 0) = 0,552 \longrightarrow 55,2 \%$$

$$Z = (3 - 0) / (6,7 - 0) = 0,448 \longrightarrow 44,8 \%$$

Folie: 28

Bestimmen Sie die prozentuelle Mengenanteil der Phasen bei 1000°C für die Legierung mit 3 % Kohlenstoffgehalt! (siehe Folie Nr.13. R- Punkt).

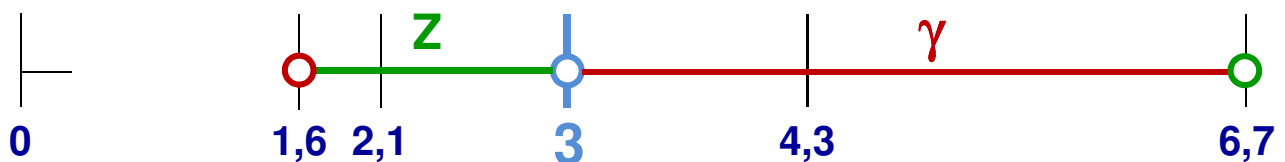
Austenit hat auf dieser Temperatur 1,6 % Kohlenstoffgehalt.

Folie: 29

Phasen im Gleichgewicht auf 1000 °C (8. Folie):

Austenit ( $\gamma$ ) C = 1,6 %

Zementit (Z) C = 6,7 %



$$\gamma = (6,7 - 3) / (6,7 - 1,6) = 0,725 \longrightarrow 72,5 \%$$

$$Z = (3 - 1,6) / (6,7 - 1,6) = 0,275 \longrightarrow 27,5 \%$$

Folie: 30

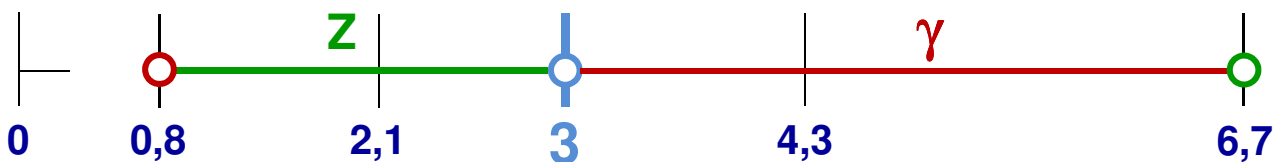
Bestimmen Sie die prozentuelle Mengenanteil der Phasen auf  $727^{\circ}\text{C} + \Delta T$  (wo  $\Delta T \rightarrow 0$ ) für die Legierung mit 3 % Kohlenstoffgehalt!

Folie: 31

Phasen im Gleichgewicht auf  $727 + \Delta T$  °C (8. Folie):

Austenit ( $\gamma$ )     C = 0,8 %

Zementit (Z)     C = 6,7 %



$$\gamma = (6,7 - 3) / (6,7 - 0,8) = 0,627 \longrightarrow 62,7 \%$$

$$Z = (3 - 0,8) / (6,7 - 0,8) = 0,373 \longrightarrow 37,3 \%$$

Folie: 32

Bestimmen wir die prozentuelle Mengenanteil der Gefügebestandteile bei Raumtemperatur für die Legierung mit 1,3 % Kohlenstoffgehalt!

(siehe Folie Nr.13. Z- Punkt).

Folie: 33

Gefügebestandteile auf 20 °C (17. und 20. Folie):

Perlit (P)            C = 0,8 %

sek. Zem. (Z<sub>II</sub>)    C = 6,7 %



$$P = (6,7 - 1,3) / (6,7 - 0,8) = 0,915 \longrightarrow 91,5 \%$$

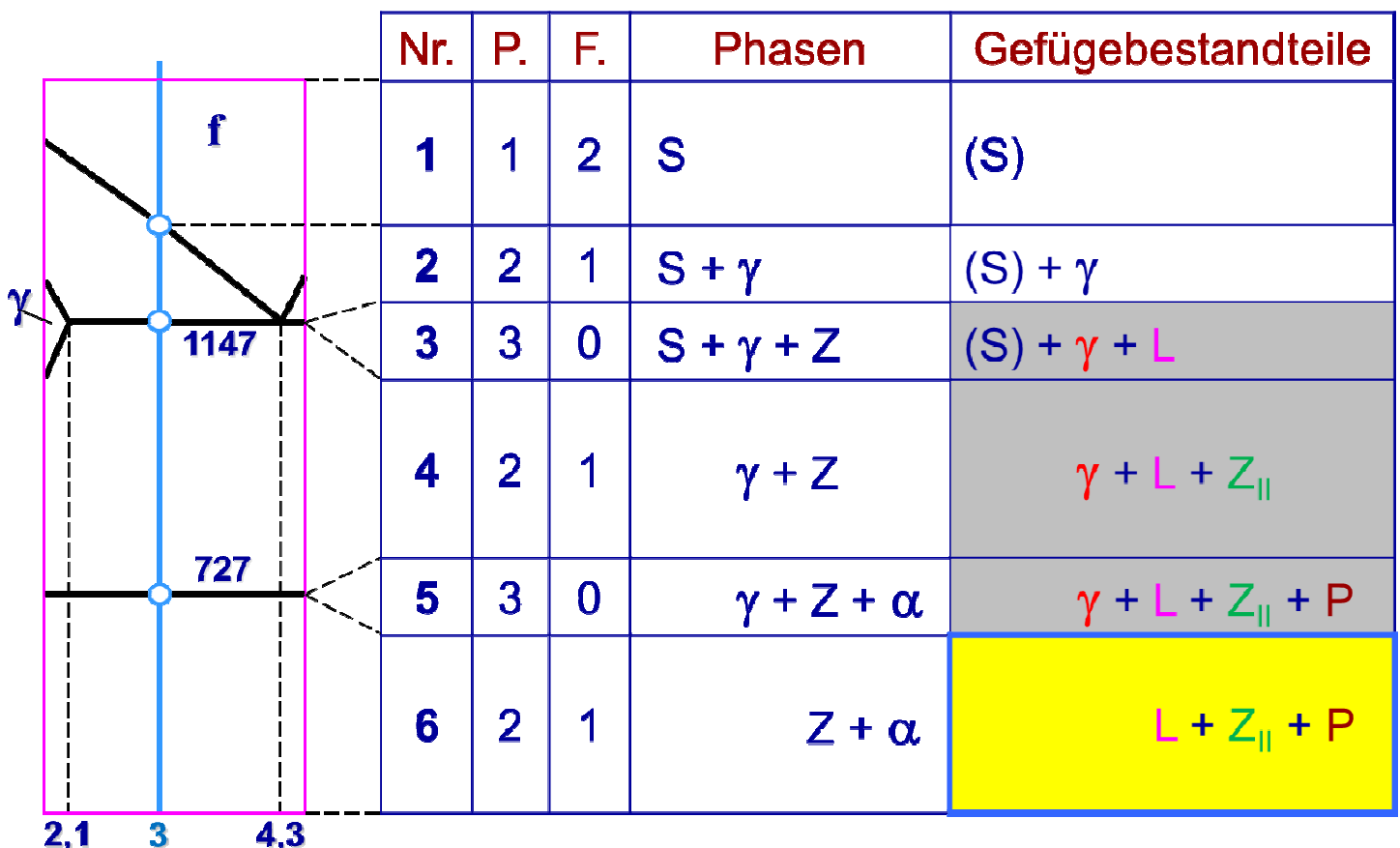
$$Z_{II} = (1,3 - 0,8) / (6,7 - 0,8) = 0,085 \longrightarrow 8,5 \%$$

Folie: 34

Bestimmen Sie die prozentuelle Mengenanteil der Gefügebestandteile bei Raumtemperatur für die Legierung mit 3 % Kohlenstoffgehalt!

Folie: 35

## Abkühlung der 3 %-ige Legierung 2.



Folie: 36

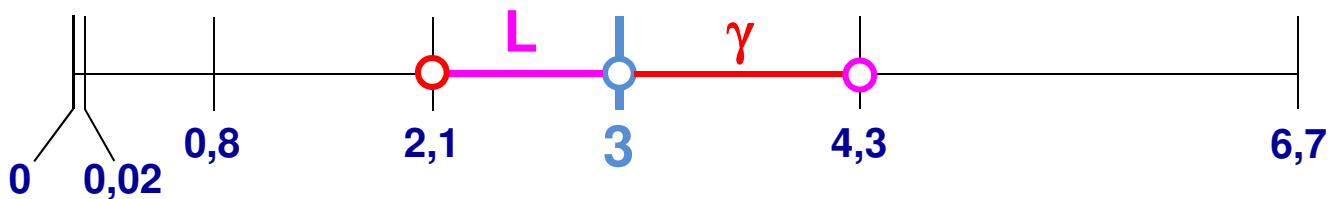


Gefügebestandteile auf 20 °C-on (siehe Folie Nr. 17. 20. und Tabelle):

|                              |           |                |
|------------------------------|-----------|----------------|
| Perlit (P)                   | C = 0,8 % | (von Austenit) |
| sek. Zem. (Z <sub>II</sub> ) | C = 6,7 % | (von Austenit) |
| Ledeburit (L)                | C = 4,3 % |                |

1. Schritt: Berechnung der Gefügebestandteile auf **1147 - ΔT °C**

|               |           |   |              |
|---------------|-----------|---|--------------|
| Austenit (γ)  | C = 2,1 % | → | Teilergebnis |
| Ledeburit (L) | C = 4,3 % | → | Ergebnis     |



$$\gamma = (4,3 - 3) / (4,3 - 2,1) = 0,591 \rightarrow 59,1 \%$$

$$L = (3 - 2,1) / (4,3 - 2,1) = 0,409 \rightarrow 40,9 \%$$

Folie: 37

2. Schritt: Ermittlung der Anteil von sekundär Zementit, der sich auf **727 + DT °C** aus der **59,1% Austenit mit 2,1%** Kohlenstoffhalt scheidet sich aus:

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| Austenit (γ)                 | C = 0,8 % |
| sek. Zem. (Z <sub>II</sub> ) | C = 6,7 % |



$$\gamma = (6,7 - 2,1) / (6,7 - 0,8) * 0,591 = 0,461 \rightarrow 46,1 \%$$

$$Z_{II} = (2,1 - 0,8) / (6,7 - 0,8) * 0,591 = 0,130 \rightarrow 13,0 \%$$

$$P = \gamma$$

→

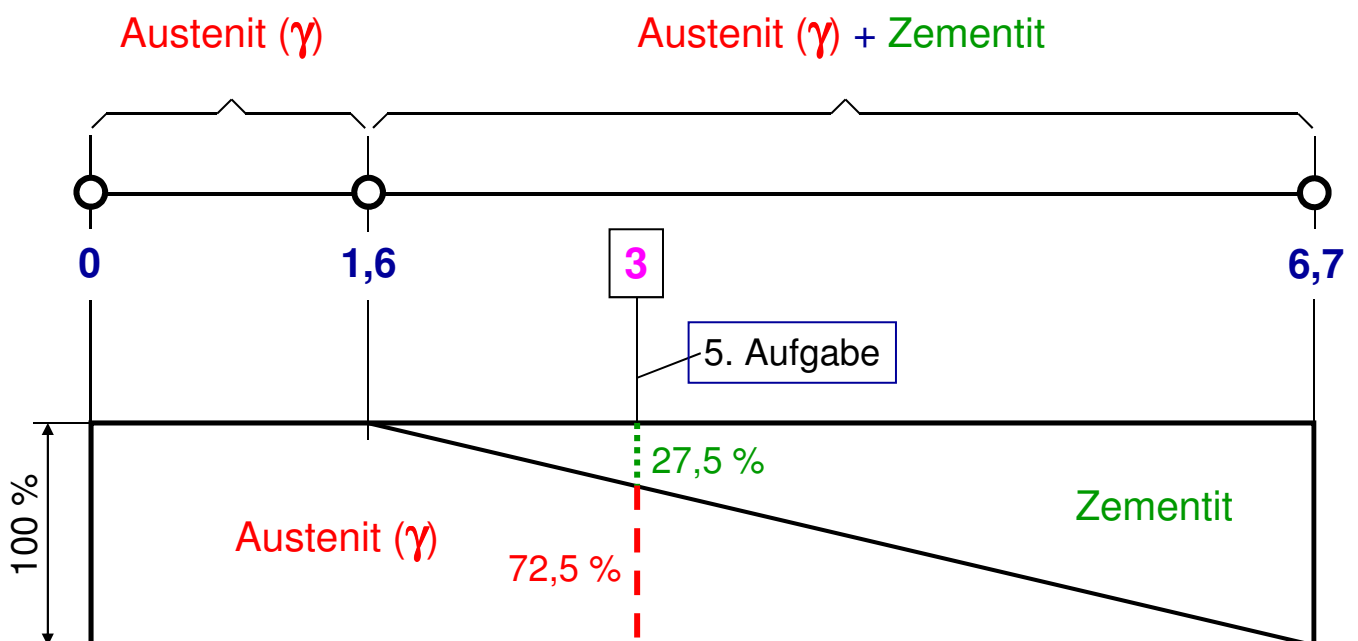
$$P + Z_{II} + L = 46,1 + 13,0 + 40,9 = 100 \%$$

Folie: 38

Zeichnen Sie für 1000°C das Phasenanteil-Diagramm auf!

Folie: 39

Die Phasen auf 1000 °C:

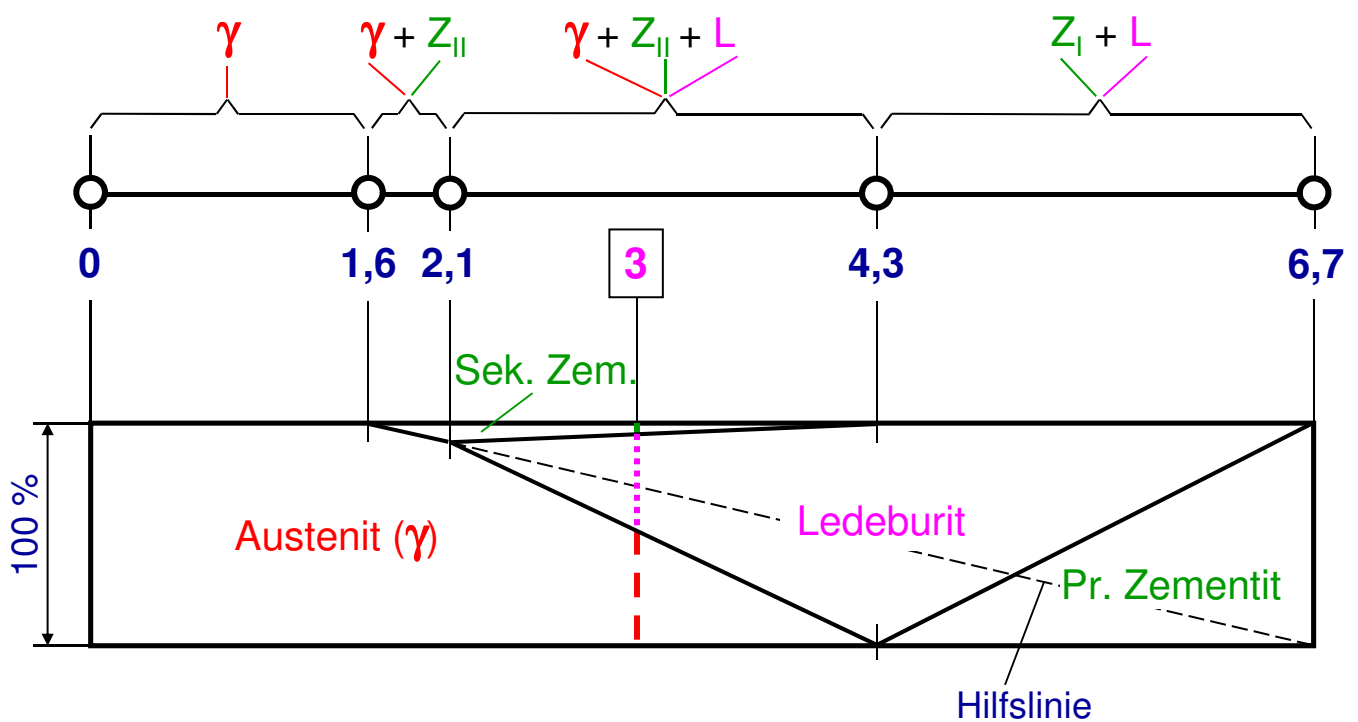


Folie: 40

Zeichnen Sie für 1000°C das Gefügebestandteil-diagramm auf!

Folie: 41

Die Gefügebestandteile auf 1000 °C:



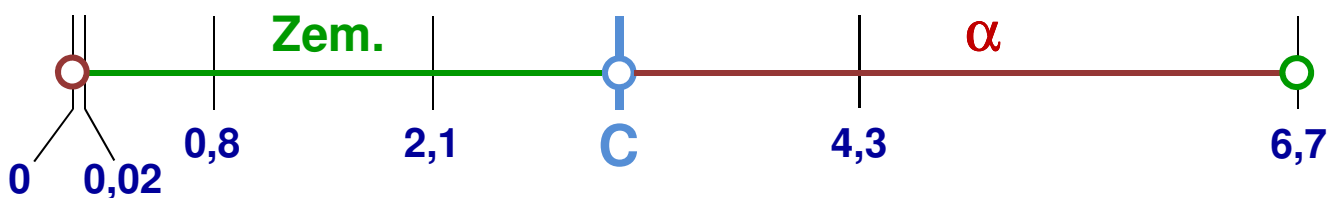
Folie: 42

Wie groß ist das Kohlenstoffgehalt der Legierung, wenn der Anteil der Phasen auf Raumtemperatur 55,2 % Ferrit + 44,8 % Zementit ist?

Folie: 43

Die Konzentration der Phasen die auf 20°C im Gleichgewicht sind:

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| 55,2 % Ferrit ( $\alpha$ ) | C = ~ 0 % |
| 44,8 % Zementit            | C = 6,7 % |



Laut Mischungsregel der Kohlenstoffgehalt ist:

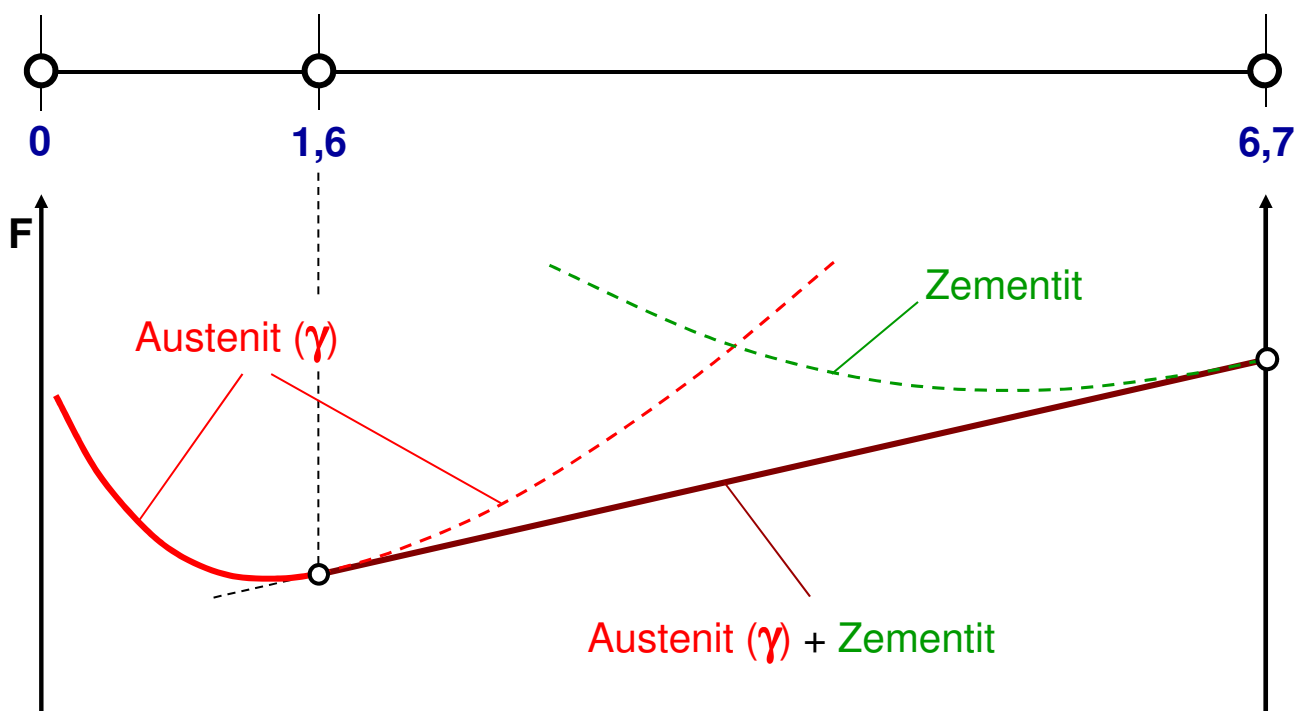
$$C = 0,552 * 0 + 0,448 * 6,7 = 3,00 \%$$

Folie: 44

Zeichnen Sie die Freie-  
Enthalpiekurven für die Fe-C System  
für 1000°C Temperatur auf!

Folie: 45

Phasen auf 1000 °C: 0 - 1,6 % C . . . . Austenit ( $\gamma$ )  
1,6 – 6,7 % C . . Austenit ( $\gamma$ ) + Zementit

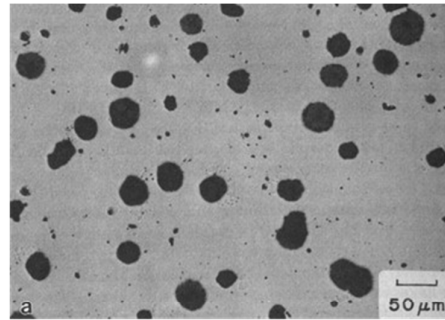


Folie: 46

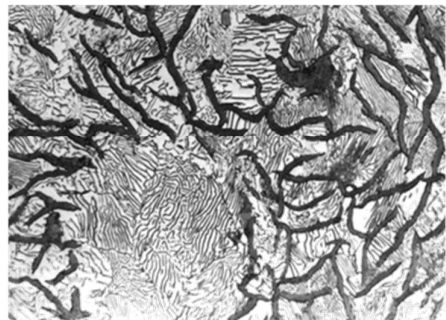




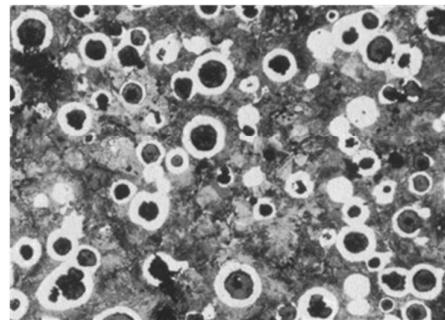
Graues Gusseisen mit Lamellengraphit, ungeätzt



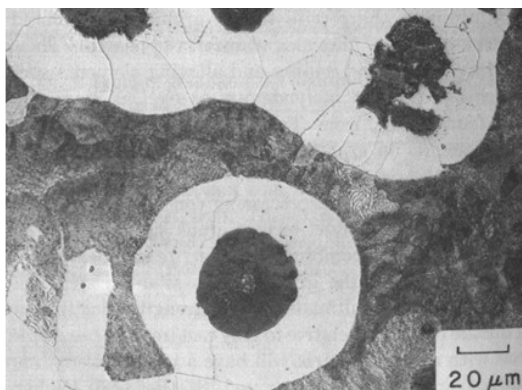
Graues Gusseisen mit Kugelgraphit, ungeätzt



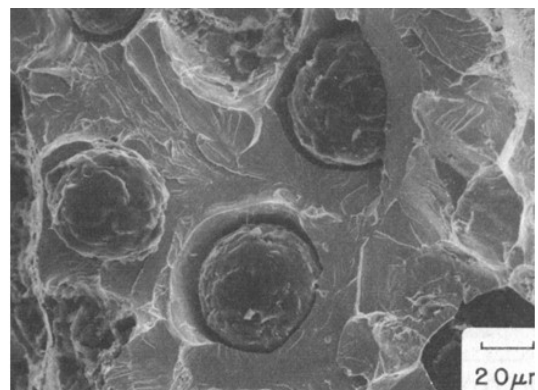
Graues Gusseisen mit Lamellengraphit, geätzt G + P



Graues Gusseisen mit Kugelgraphit, geätzt, G + F + P



Graues Gusseisen mit Kugelgraphit mit höheren Vergrößerung, geätzt, G + F + P



Bruchfläche von Graues Gusseisen mit Kugelgraphit, Elektronenmikroskopaufnahme



Danke für die Aufmerksamkeit!

