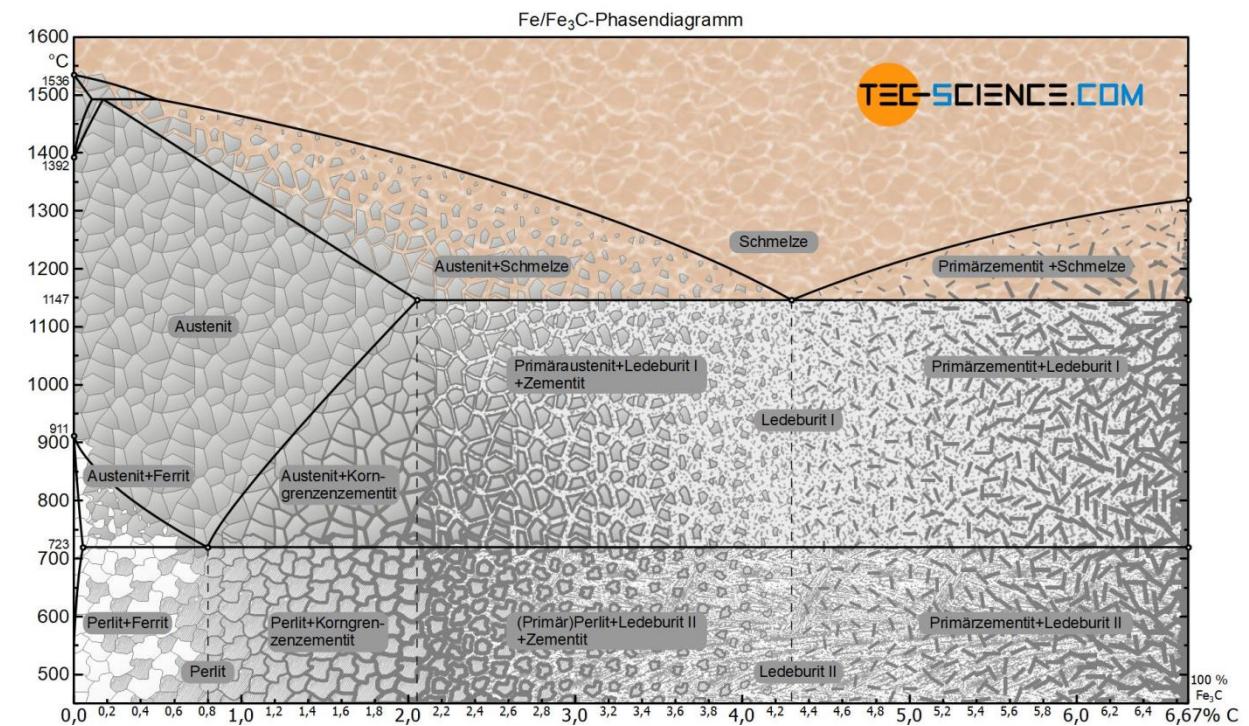


# Werkstofftechnik

## Stahlwerkstoffe – Das Fe-C Diagramm

### Vorlesung



# Stahlwerkstoffe – Das Fe-C Diagramm

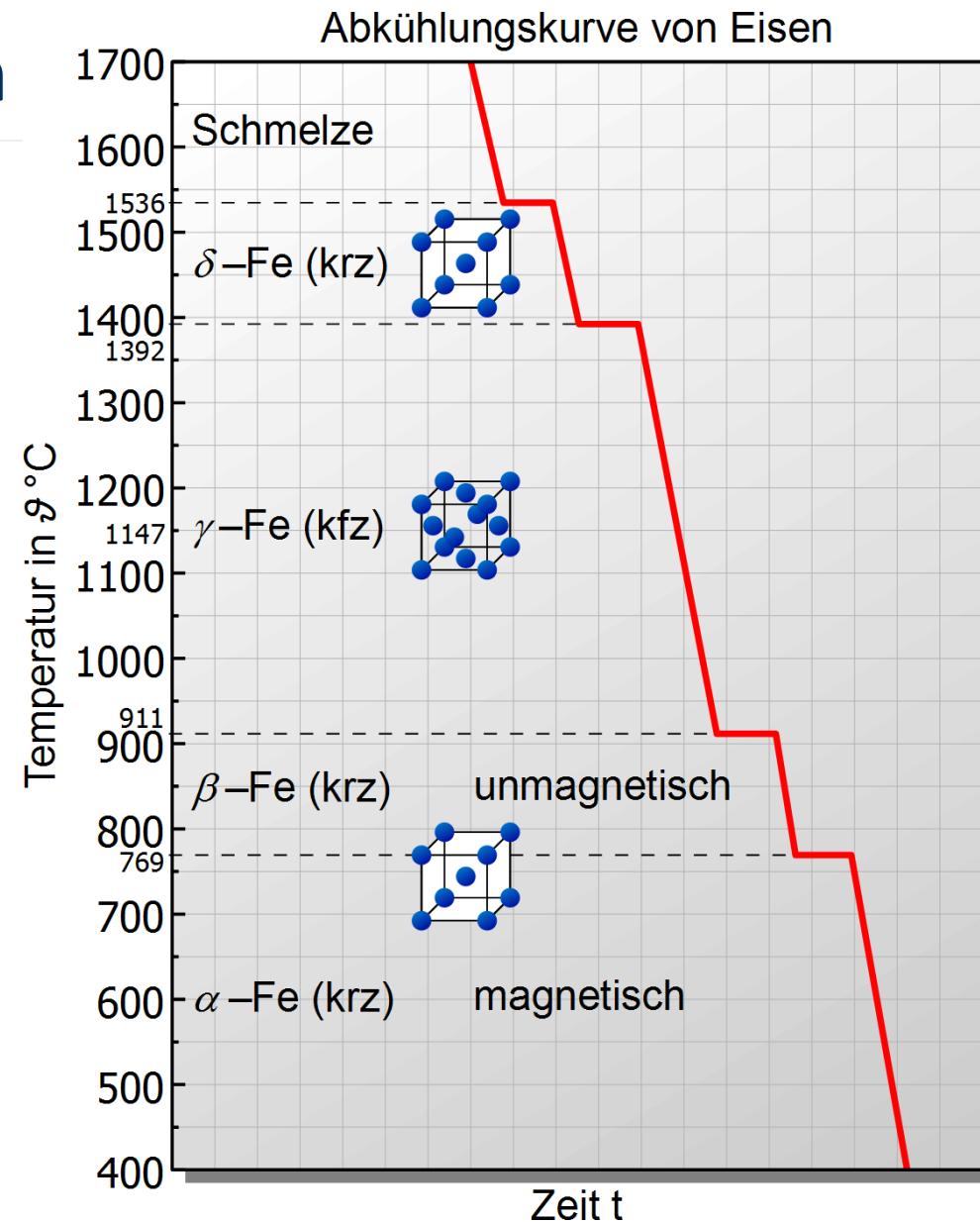
## Allgemeines

- Eisen hat eine Dichte von  $7,8 \text{ g/cm}^3$
- Eisen ist allotrop, d.h. das Kristallgitter ändert sich in Abhängigkeit der Temperatur:
- $\alpha$ -Ferrit ( $\alpha\text{-Fe}$ ) mit einer kubisch raumzentrierten Gitterstruktur (krz), bis  $911^\circ \text{ C}$ .
- Austenit ( $\gamma\text{-Fe}$ ) mit einer kubisch flächenzentrierten Gitterstruktur (kfz), von  $911$  bis  $1392^\circ \text{ C}$ .
- $\delta$ -Ferrit ( $\delta\text{-Fe}$ ) mit einer kubisch raumzentrierten Gitterstruktur (krz),  $1392$  bis  $1536^\circ \text{ C}$ .

## ABER

Stahl ist eine Legierung aus Eisen und Kohlenstoff, wobei gilt:

- Eine Fe-C Legierungen mit einem C-Anteil  $< 2,06 \text{ Gew.\%}$  ist Stahl.
- Eine Fe-C Legierungen mit einem C-Anteil  $\geq 2,06 \text{ Gew.\%}$  ist Grauguss.



# Stahlwerkstoffe – Das Fe-C Diagramm

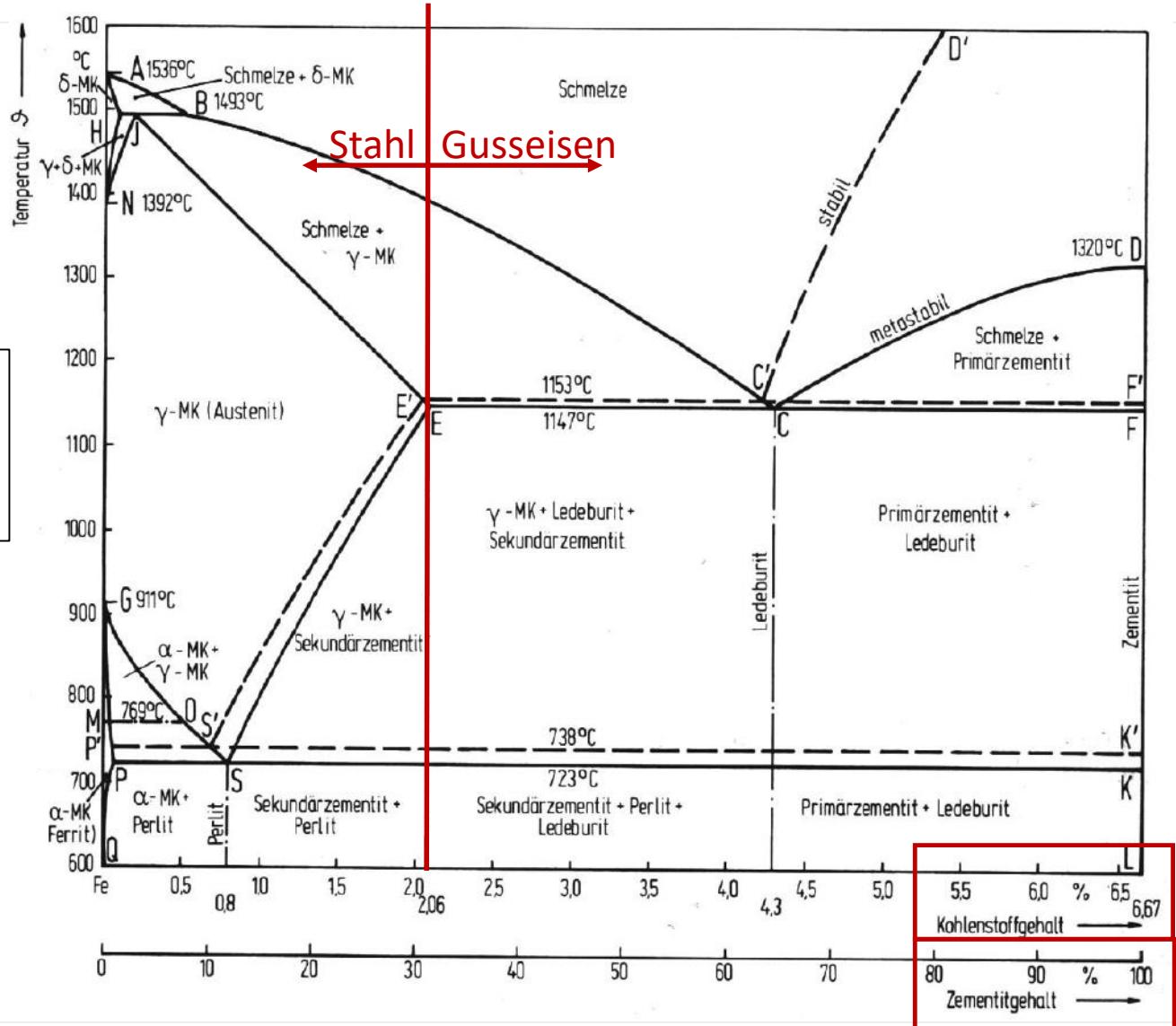
- Metastables Systems Fe –  $\text{Fe}_3\text{C}$
- - - Stabiles Systems Fe - C

Für Stahl ist das System Fe –  $\text{Fe}_3\text{C}$  relevant.

Für Gusseisen ist das System Fe – C wichtig.

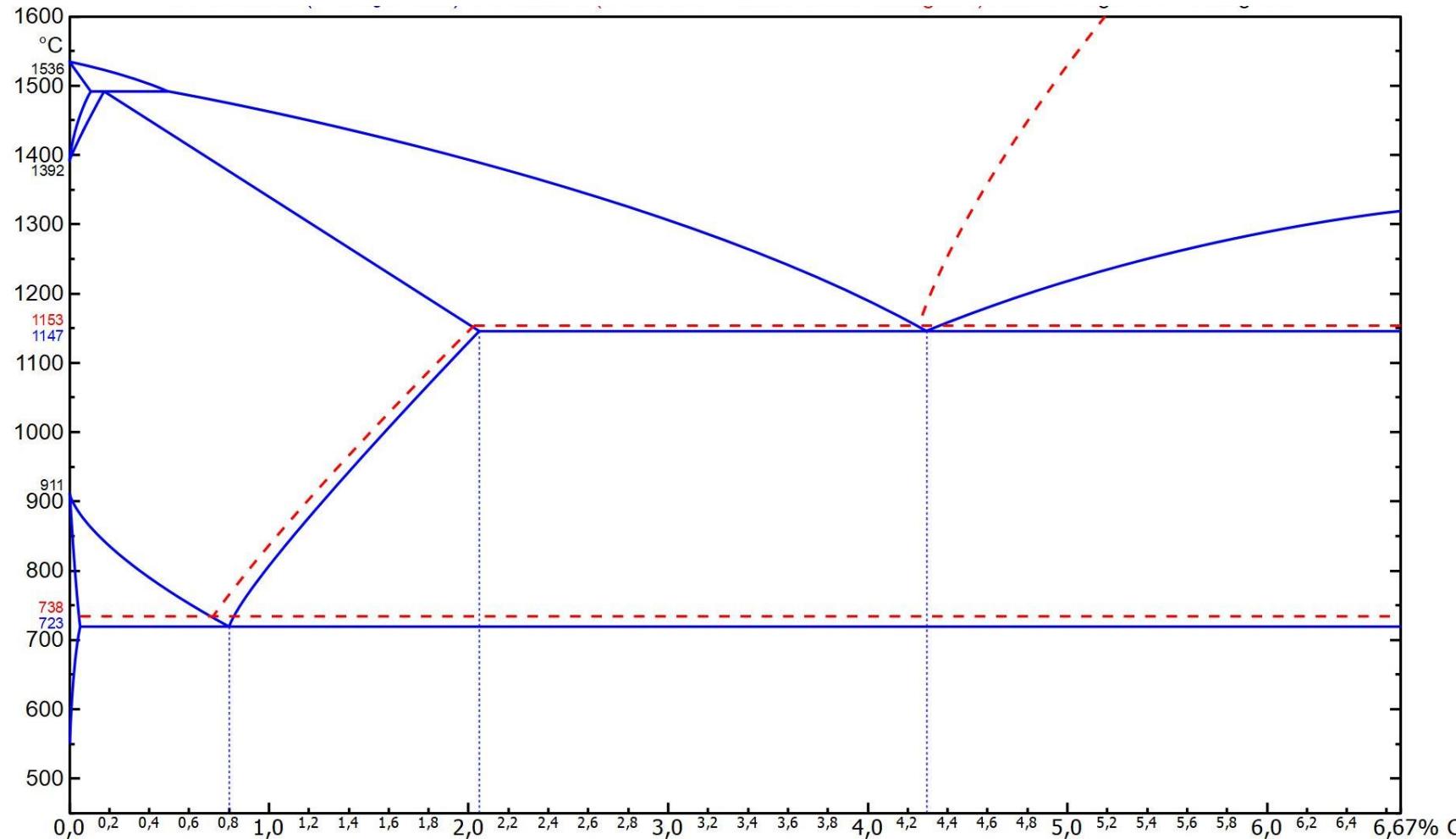
Für Stahl gilt  $\text{C} < 2,06 \%$ .

Für Gusseisen gilt  $\text{C} \geq 2,06 \%$ .



# Stahlguss und Gusseisen

Gusseisen – Das metastabile Fe-Fe<sub>3</sub>C - Zustandsdiagramm



quelle: Tec Science

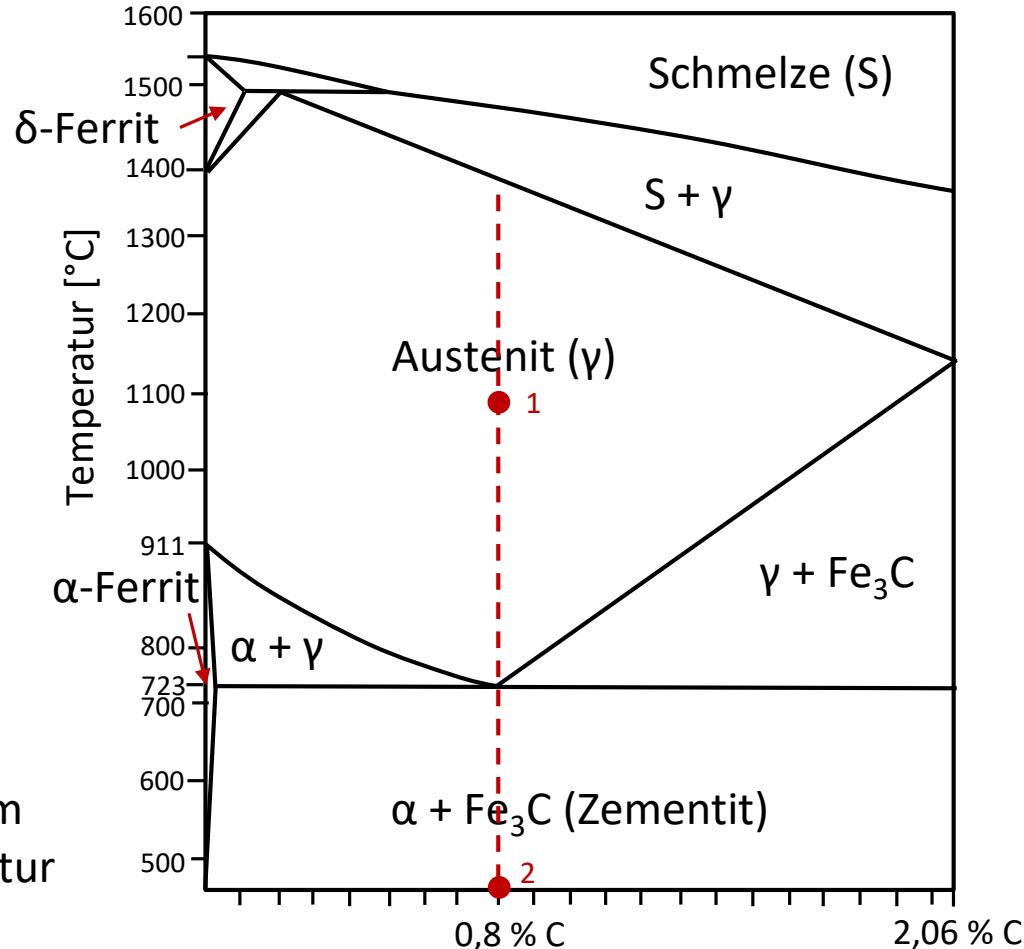
# Stahlwerkstoffe – Das Fe-C Diagramm

## Das Eisen – Kohlenstoff - Diagramm

2,06 % C-Löslichkeit im Austenit bei 1147°C

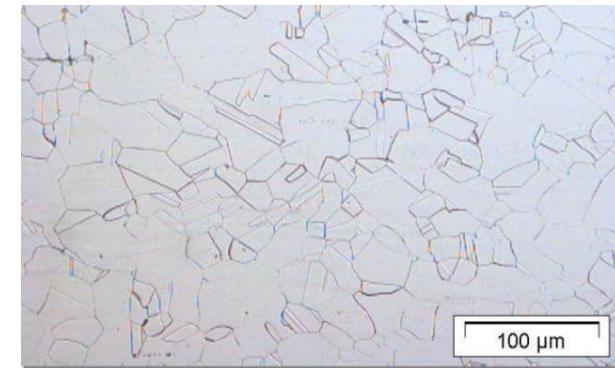
0,02% C-Löslichkeit im Ferrit bei 723°C

0,001% C-Löslichkeit im Ferrit bei Raumtemperatur

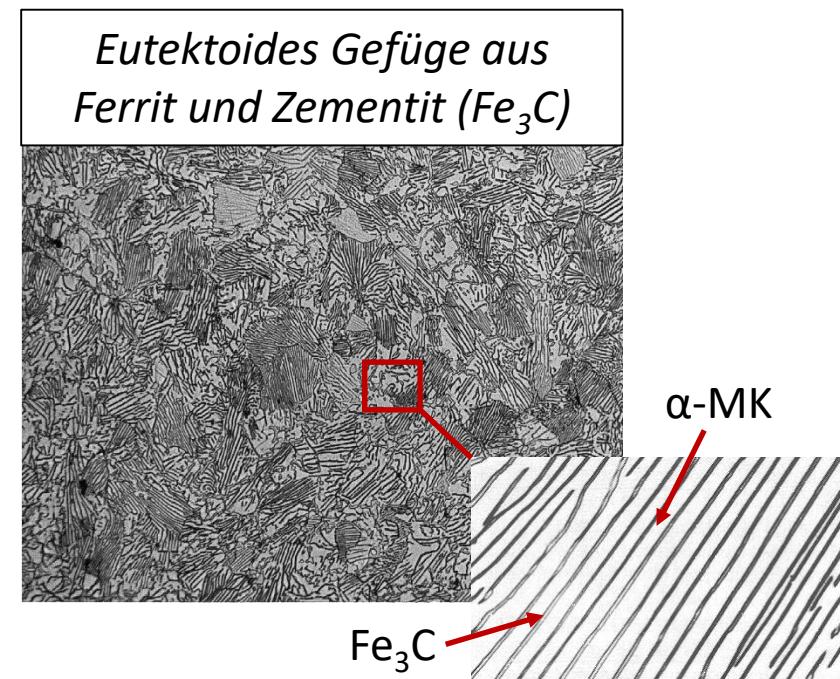


Austenitisches  $\gamma$ -Gefüge

1



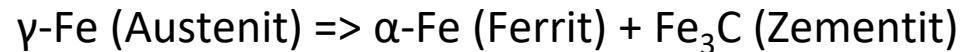
2



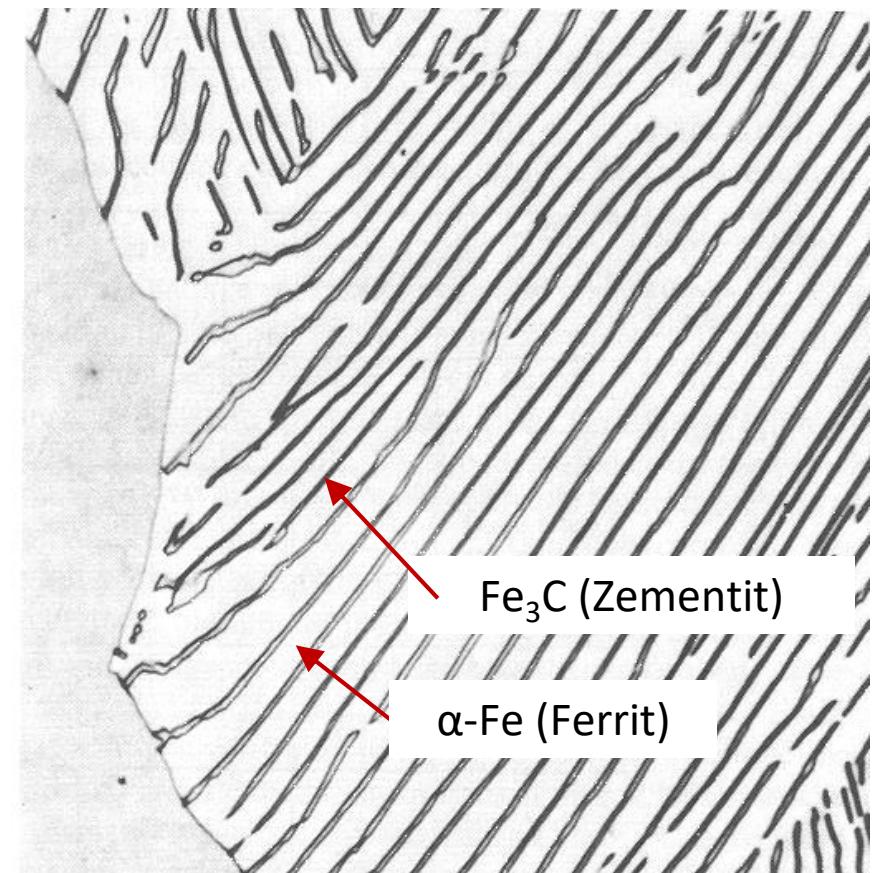
# Stahlwerkstoffe – Das Fe-C Diagramm

## Das Eisen – Kohlenstoff - Diagramm

Perlit ist das Reaktionsprodukt des eutektoiden Austenitzerfalls, welcher bei einem C-Anteil von 0,8 % auftritt:



- Perlit ist der Härteträger der allgemeinen Baustähle!
- Perlit enthält im Gleichgewicht immer 0,8% C und entsteht während der Abkühlung bei 723° C durch Diffusion.
- Perlit besteht aus 2 Phasen ( $\alpha$  und  $\text{Fe}_3\text{C}$ ), die eutektoid miteinander verwachsen sind.
- Perlit ist keine Phase sondern ein Phasengemisch bzw. eine Morphologie!

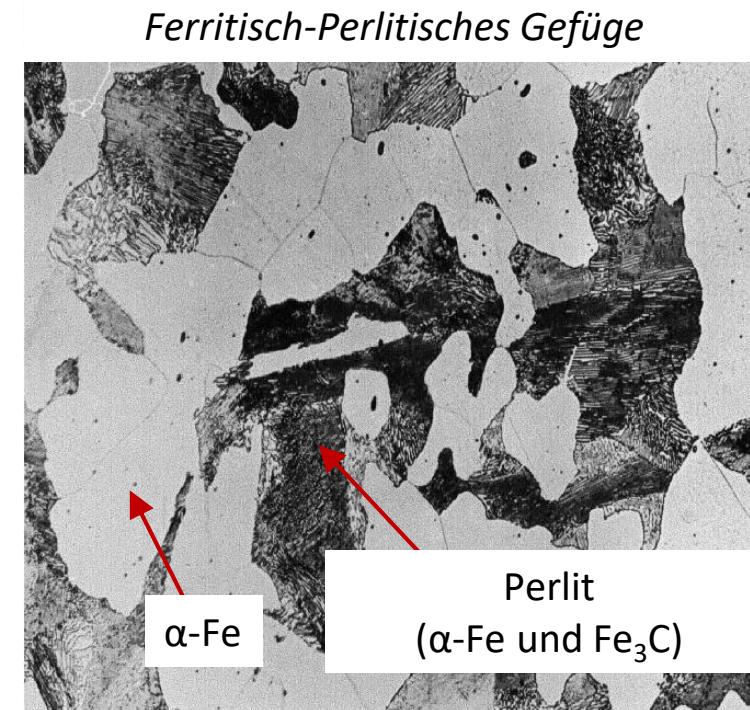
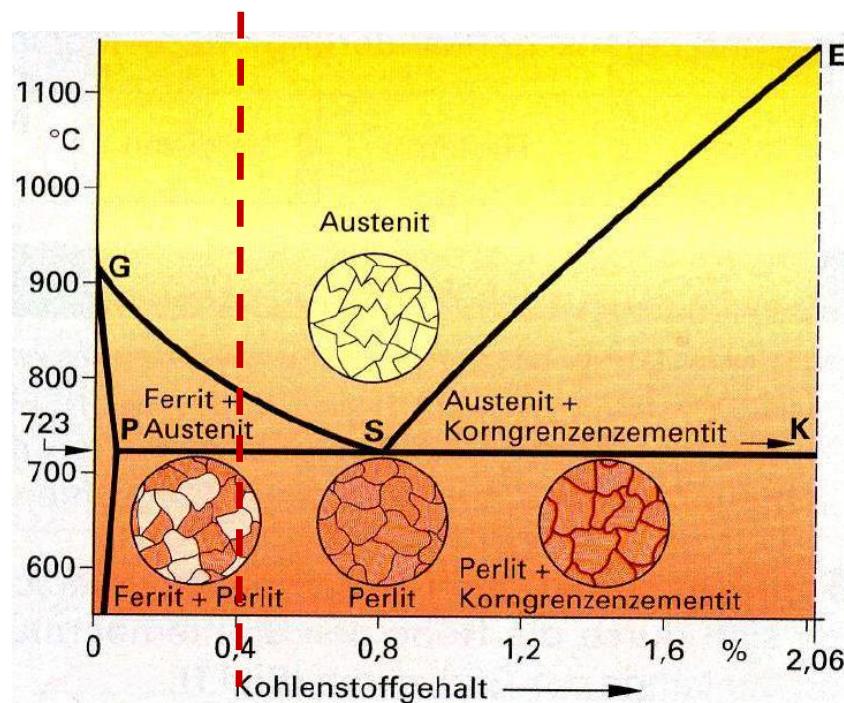


# Stahlwerkstoffe – Das Fe-C Diagramm

Das Eisen – Kohlenstoff - Diagramm

Fall Nr. 1: Fe-C – Legierung mit einem C-Anteil < 0,8 Gew.-% (**untereutektoider Stahl**)

- Ein Teil des Austenits wandelt zunächst in Ferrit um.
- Unter ca.  $723^{\circ}\text{C}$  kommt es zur eutektoiden Umwandlung des verbliebenen Austenits in Ferrit ( $\alpha\text{-Fe}$ ) und Zementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), d.h. Perlit.

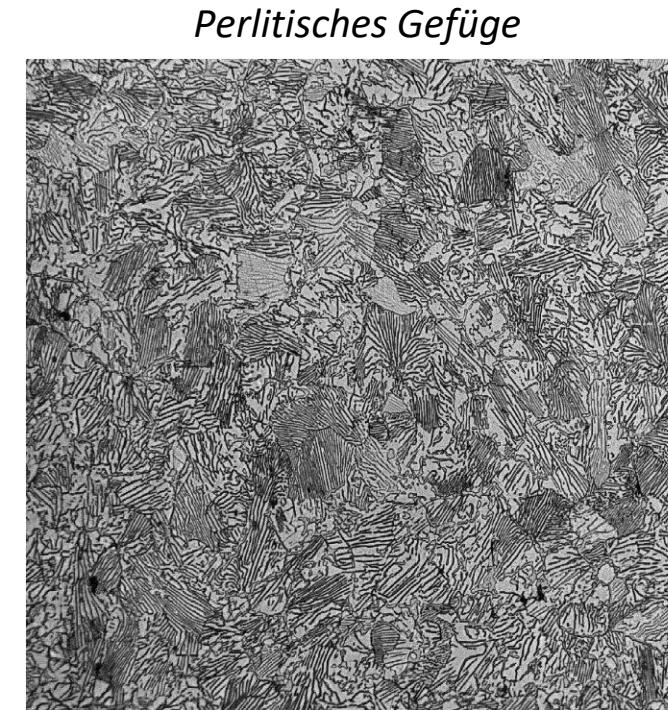
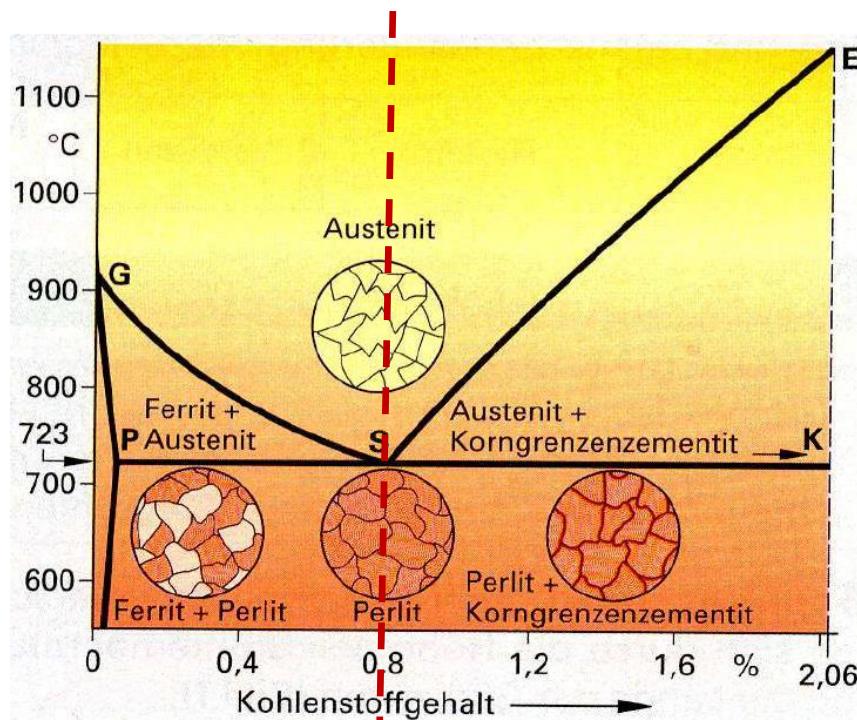


# Stahlwerkstoffe – Das Fe-C Diagramm

Das Eisen – Kohlenstoff - Diagramm

Fall Nr. 2: Fe-C – Legierung mit einem C-Anteil von 0,8 Gew.-% (**eutektoider Stahl**)

- Austenit wandelt sich eutektoid in Ferrit ( $\alpha$ -Fe) und Zementit ( $Fe_3C$ ) um, genannt Perlit.
- Das Gefüge eines eutektoiden Stahls (0,8 Gew.-% C) besteht zu **100% aus Perlit**.

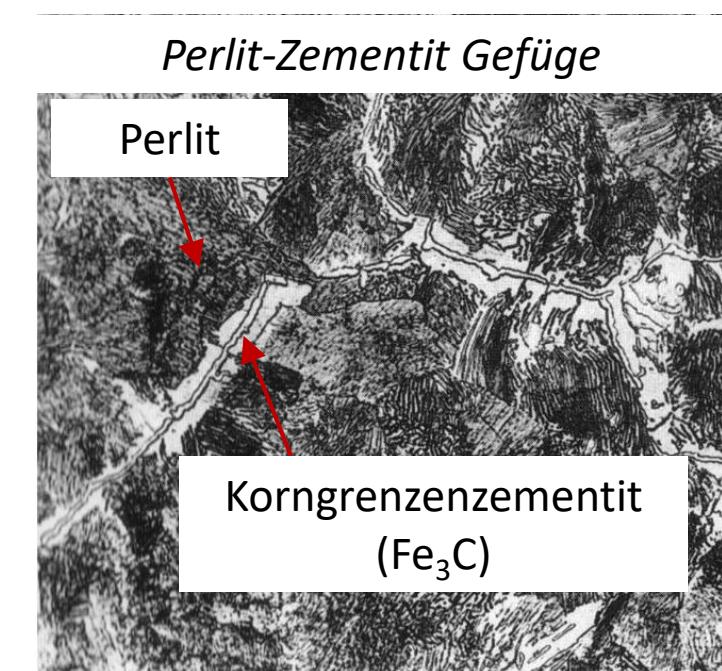
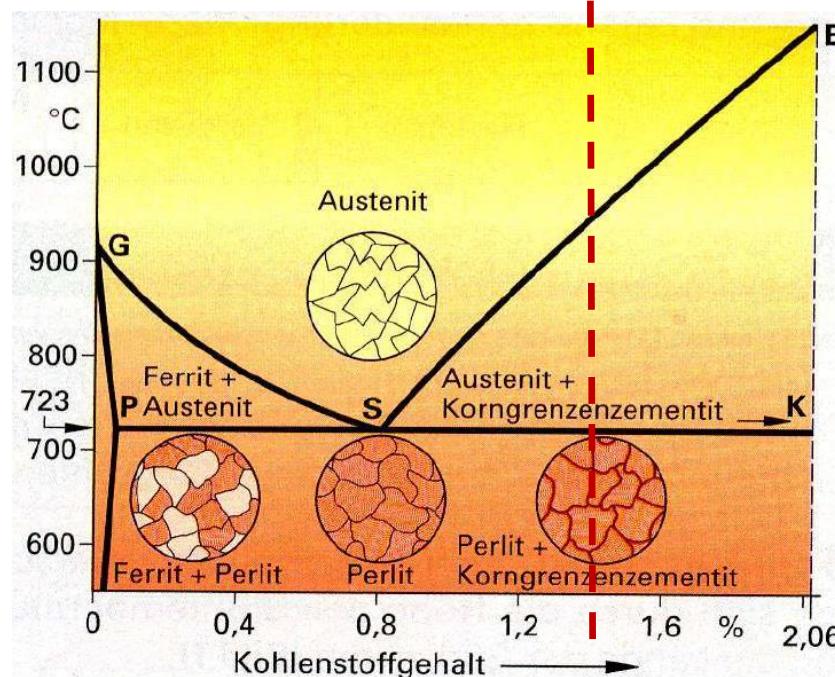


# Stahlwerkstoffe – Das Fe-C Diagramm

Das Eisen – Kohlenstoff - Diagramm

Fall Nr. 3: Fe-C – Legierung mit einem C-Anteil > 0,8 Gew.-% (**übereutektoider Stahl**)

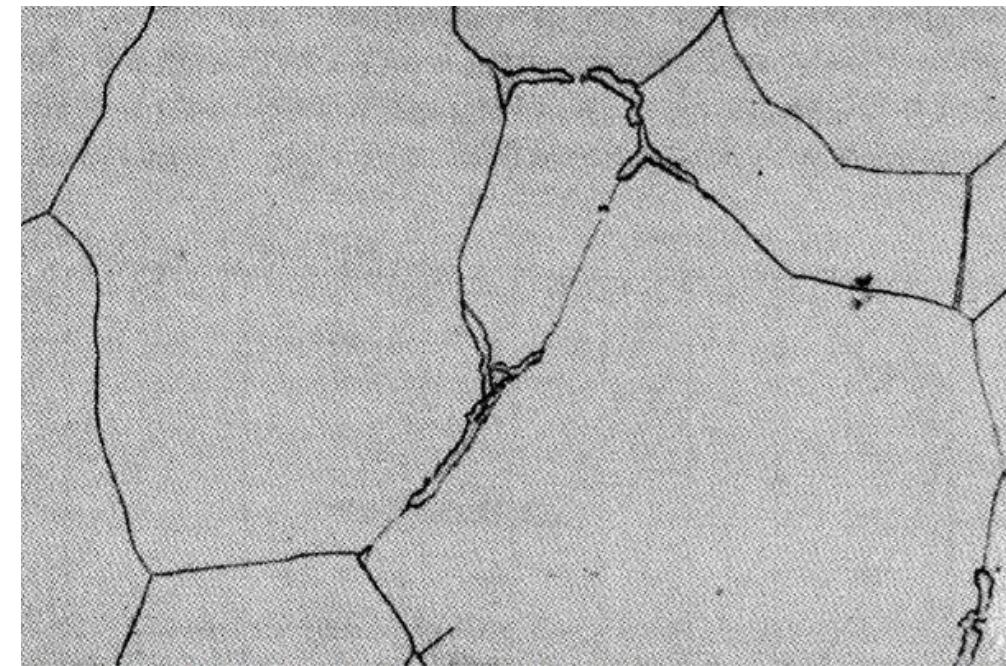
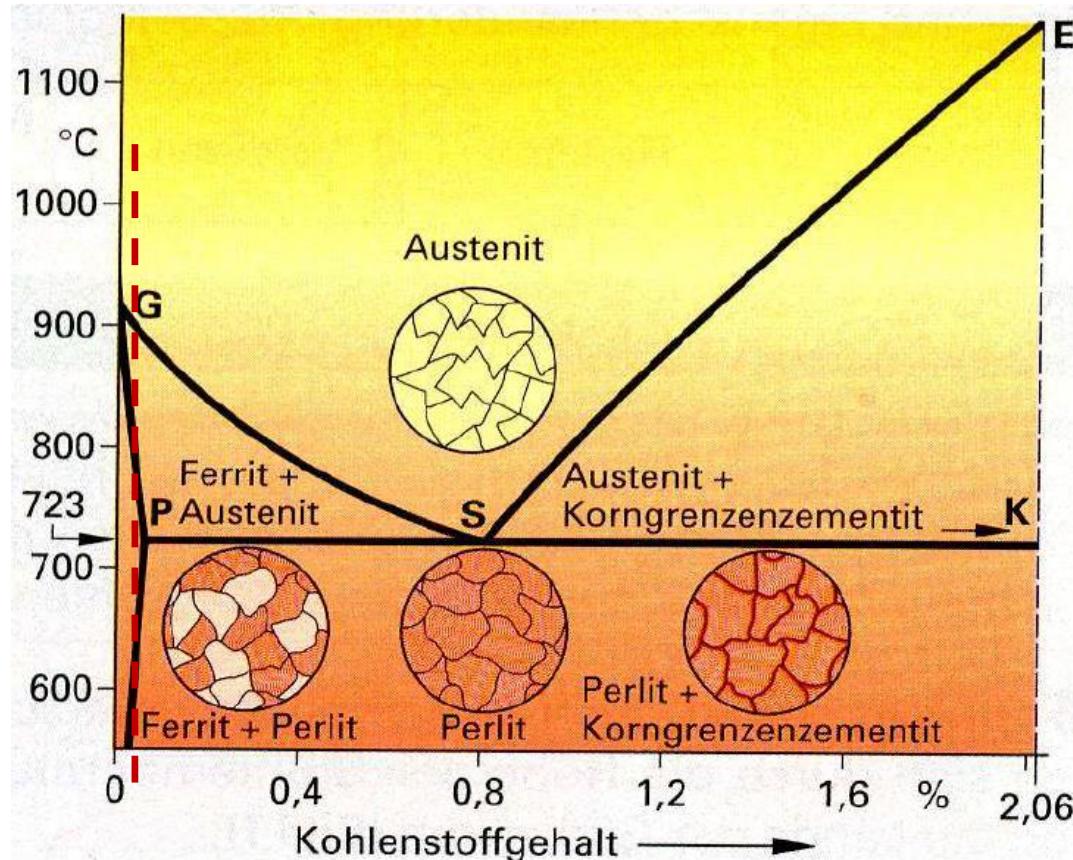
- Ein Teil des Austenits wandelt sich zunächst in Zementit um, welcher vorrangig an den Korngrenzen auftritt (Korngrenzenezementit).
- Unter ca.  $723^{\circ}\text{C}$  kommt es zur eutektoiden Umwandlung des verbliebenen Austenits in Ferrit ( $\alpha\text{-Fe}$ ) und Zementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), d.h. Perlit.



# Stahlwerkstoffe – Das Fe-C Diagramm

Das Eisen – Kohlenstoff - Diagramm

Fall Nr. 5: Fe-C – Legierung mit einem C-Anteil < 0,02 Gew.-%



Kohlenstoffarme Eisen-Kohlenstoff-Legierung,  
Ferrit mit Ausscheidungen von Tertiärzementit auf den Korngrenzen,  
Ätzung alk. Salpetersäure

Quelle: Arnold Horsch

# Stahlwerkstoffe – Das Fe-C Diagramm

## Zusammenfassung

- Eisen ist ein allotroper Werkstoff
- Die Löslichkeit des Kohlenstoffs im Austenit ( $\gamma$ -Fe) ist am höchsten
  - $\delta$ -Ferrit; maximaler Gehalt an C liegt bei 0,10% ( $T = 1493^\circ \text{ C}$ )
  - $\gamma$ -Austenit; maximaler Gehalt an C liegt bei 2,06% ( $T = 1147^\circ \text{ C}$ )
  - $\alpha$ -Ferrit; maximaler Gehalt an C liegt bei 0,02% ( $T = 723^\circ \text{ C}$ )
- Das Fe-C Zustandsdiagramm beschreibt das Gefüge von Stahl ( $C < 2,06\%$ ) und Gusseisen ( $C \geq 2,06\%$ ) im Gleichgewichtszustand, d.h. bei unendlich langsamem Abkühlgeschwindigkeiten
- Bei unlegierten Stählen bestimmt der C-Anteil das Gefüge und somit die Eigenschaften
  - Untereutektoid Stähle ( $C < 0,8 \%$ )
  - Eutektoid Stähle ( $C = 0,8 \%$ )
  - Übereutektoid Stähle ( $C > 0,8 \%$ )
  - Untereutektisches Gusseisen ( $2,06 \% < C < 4,3\%$ )
  - Eutektisches Gusseisen ( $C = 4,3 \%$ )
  - Übereutektisches Gusseisen ( $4,3 \% < C < 6,67 \%$ )