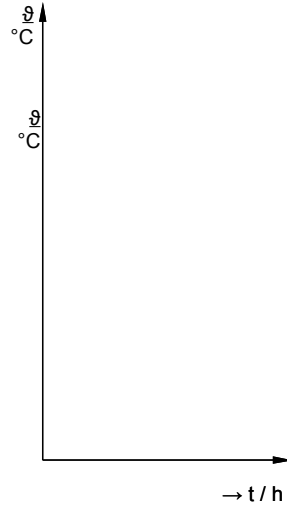
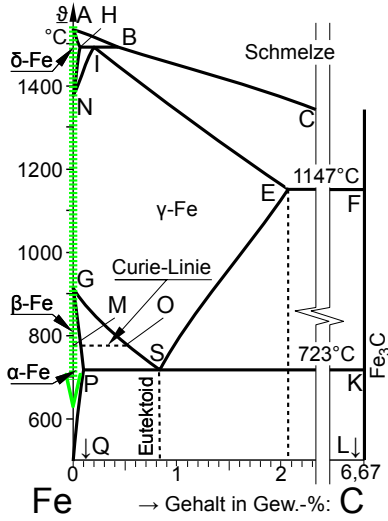




### Aufgabe

Beschreiben Sie die Vorgänge beim Abkühlen aus der Schmelze, die man aus dem Zustandsdiagramm herauslesen kann. Markieren Sie die Verläufe in den Zustandsdiagrammen, und skizzieren Sie die Abkühlungskurven.

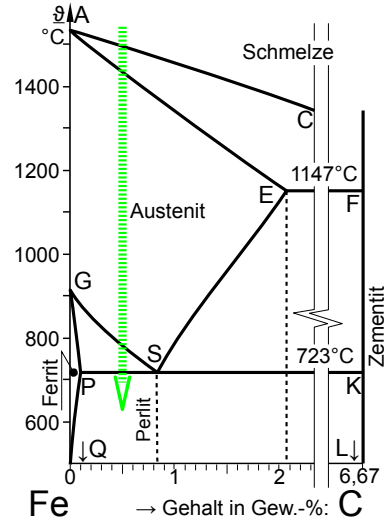
#### 1 Reines Eisen



Einige Metalle, darunter auch Eisen, bilden bei verschiedenen Temperaturen verschiedene Gittertypen. Solche Metalle nennt man polymorph und bezeichnet die Gittertypen mit griechischen Buchstaben  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ... , beginnend bei den niedrigen Temperaturen.

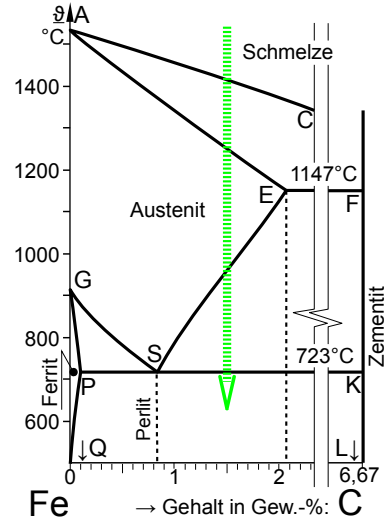
Die technische Bedeutung von  $\delta$ -Fe ist gering, deshalb wird es meist vernachlässigt.  $\beta$ -Fe ist wie  $\alpha$ -Fe, nur unmagnetisch. Neben den allgemeinen Bezeichnungen haben die Gefüge im Eisen-Kohlenstoff-Diagramm spezielle Namen ( $\rightarrow$  folgendes Zustandsdiagramm).

#### 2 C50



Stahl mit 0,5%C.....

#### 3 C150



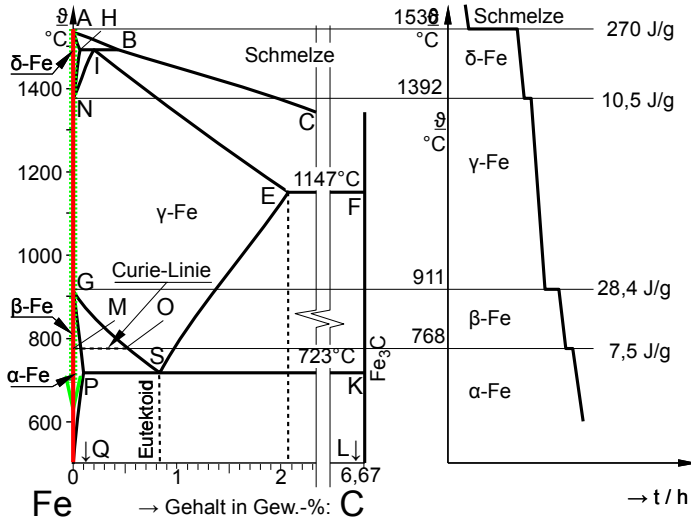
Stahl mit 1,5%C.....





## Lösungsvorschläge

### 1 Reines Eisen



Über 1536°C (Punkt A) ist Eisen flüssig.

Bei 1536°C (A) kristallisiert die Schmelze zu δ-Fe. Da sich das ganze Material 'gleichzeitig' umwandelt, zeigt die Abkühlungskurve einen Haltepunkt.

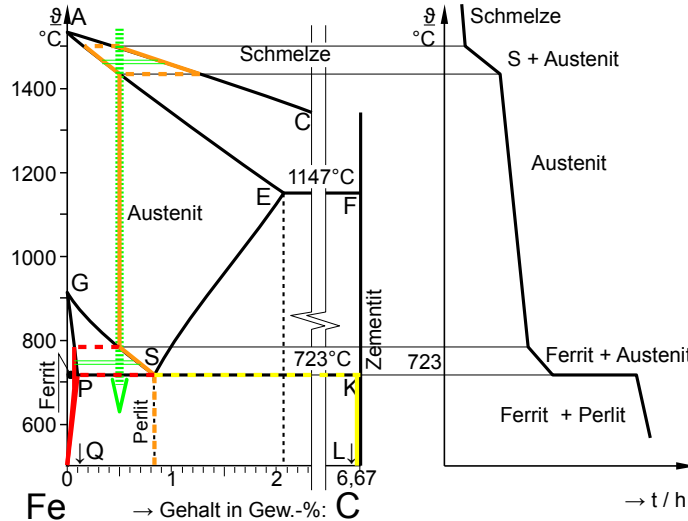
Bei 1392°C (N) wandelt sich das δ-Fe zu γ-Fe (Haltepunkt).

Bei 911°C (G) wandelt sich γ-Fe zu β-Fe (Haltepunkt).

Bei 768°C (M) wandelt sich β-Fe zu α-Fe (Haltepunkt). α-Fe und β-Fe unterscheiden sich nur dadurch, dass β-Fe nicht magnetisch ist. Wenn es auf diese Eigenschaft nicht ankommt, bezeichnet man beide Formen mit α-Fe bzw. Ferrit.

Die Energien, die bei den Kristallisationsvorgängen freiwerden, kann man nicht aus dem Zustandsdiagramm ablesen.

### 2 C50



Über der A-C – Linie ist C50 vollständig geschmolzen und Fe und C gleichmäßig verteilt (vollkommene Löslichkeit im flüssigen Zustand).

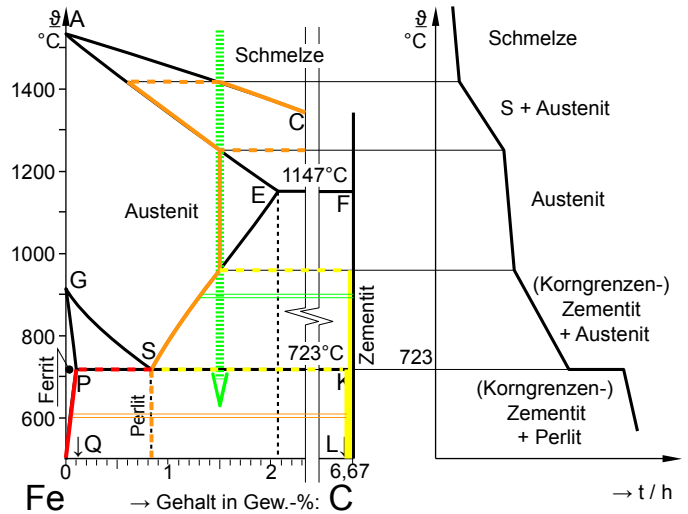
Im Feld A-C-E sind mehrere Phasen gemischt. Welche Phasen in einem Phasenmischgebiet beteiligt sind, verrät eine waagerechte Linie (im Bild grün und doppelt) bis zu den nächsten Phasengrenzen, in dem Fall Austenit und Schmelze. D.h., unter der Linie A-C kristallisiert die Schmelze allmählich (Knickpunkte) zu Austenit, bis sie mit Erreichen der Linie A-E vollständig erstarrt ist.

Im Zustandsdiagramm kann man ablesen, dass Austenit max. 2,06% C aufnehmen kann. Fe und C bilden also ein homogenes Gefüge (Mischkristall).

Unter der Linie G-S wandeln sich Teile von Austenit allmählich (Knickpunkte), aber nicht vollständig, in Ferrit um. An der linken Phasengrenze (rote Linie) dieses Mischgebietes kann man ablesen, dass Ferrit nur wenig C enthält. An der rechten Phasengrenze (orange) erkennt man, dass im Austenit der C-Anteil mit sinkender Temperatur bis 0,83% steigt.

Vorgänge an und unter der P-S-K – Linie (723°C) siehe C150.

### 3 C150



Zustand der Schmelze und ihre Umwandlung in Austenit siehe C50.

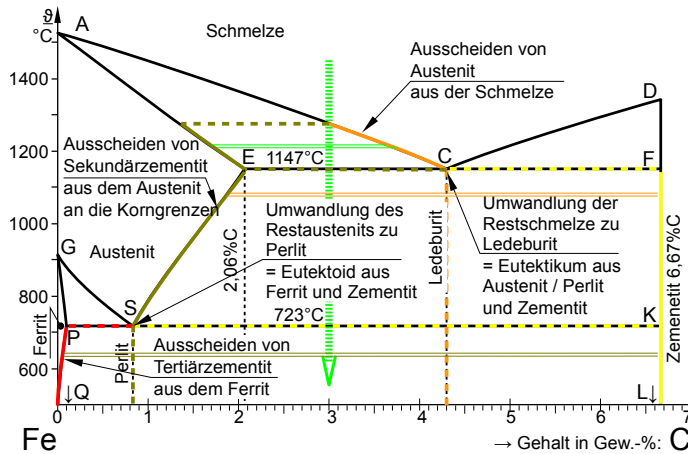
Das Feld S-E-F-K ist wieder ein Phasenmischgebiet, diesmal aus Austenit und Zementit, wie die waagerechte Linie (im Bild grün und doppelt) bis zu den nächsten Phasengrenzen verrät. Das bedeutet, dass die Linie S-E die Löslichkeitsgrenze für Kohlenstoff im Austenit beschreibt und Austenit mit Unterschreiten dieser Linie Kohlenstoff ausscheidet, und zwar in Form von (Sekundär-)Zementit Fe<sub>3</sub>C. Das Zementit lagert sich an den Korngrenzen an, deshalb heißt es auch Korngrenzenzementit. Das Austenit verliert dabei Kohlenstoff.

An der P-S-K – Linie (723°C) wandelt sich das restliche Austenit, das jetzt 0,83% C enthält, zu Perlit um. Perlit ist ein Mischgefüge aus Ferrit und Zementit, wie wiederum die waagerechte Linie (im Bild doppelt orange) verrät. Die Vorgänge entsprechen einem Eutektikum, aber da es nicht aus einer flüssigen Phase entsteht, nennt man es Eutektoid. Die Umwandlung verläuft 'gleichzeitig' und deshalb die Abkühlungskurve als Haltepunkt.

Beim weiteren Abkühlen unter der Linie P-S-K sinkt die Löslichkeit von C in Ferrit entlang der Linie P-Q von 0,02% auf 10<sup>-5</sup>%. D.h., das Ferrit (im Perlit) scheidet Kohlenstoff in Form von Zementit an die Korngrenzen des Ferrits aus (Tertiärzementit)



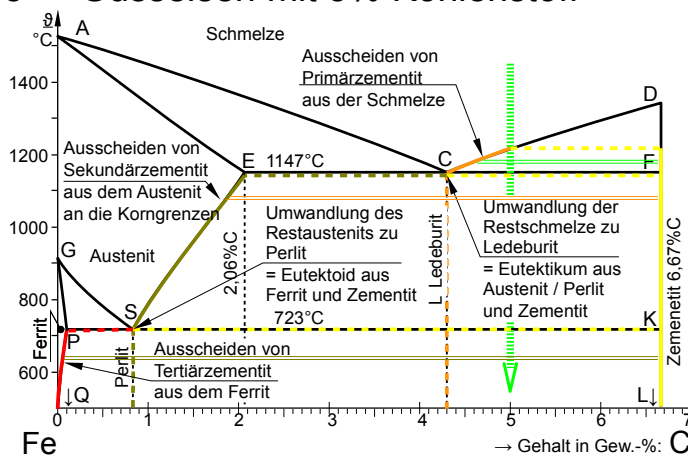
#### 4 Gusseisen mit 3% Kohlenstoff



Die A-C – Linie ist die Löslichkeitsgrenze für Austenit in der Schmelze und mit ihrem Unterschreiten scheidet die Schmelze Austenitkristalle aus. Die Restschmelze reichert sich mit Kohlenstoff C bis zu 4,3%C.

Weitere Vorgänge siehe Gusseisen mit 5% Kohlenstoff.

#### 5 Gusseisen mit 5% Kohlenstoff



Die C-D – Linie ist die Löslichkeitsgrenze für Zementit in der Schmelze und mit ihrem Unterschreiten scheidet die Schmelze Zementitkristalle (= Primärzementit) aus. Die Restschmelze verliert C bis es nur noch 4,3%C enthält.

An der E-C-F – Linie wandelt sich die Restschmelze zum Eutektikum des Fe-Fe<sub>3</sub>C – Systemes um. Man nennt es Ledeburit und es besteht aus Austenit und Zementit (orange doppelte waagerechte Linie).

Die S-E – Linie ist die Löslichkeitsgrenze für Kohlenstoff im Austenit. Mit ihrem Unterschreiten scheidet das Austenit (im Ledeburit) Kohlenstoff in Form von Zementitkristallen (= Sekundärzementit) aus. Das restliche Austenit wird ärmer an C bis zu 0,83%C.

An der P-S-K – Linie (723°C) wandelt sich das restliche Austenit (im Ledeburit) zu Perlit um. Perlit ist ein Kristallgemisch aus Ferrit und Zementit (braune doppelte waagerechte Linie).

Die P-Q – Linie ist die Löslichkeitsgrenze für Kohlenstoff im Ferrit. Mit ihrem Unterschreiten scheidet das Ferrit (im Perlit im Ledeburit) Kohlenstoff in Form von Zementitkristallen (= Tertiärzementit) aus.

Die Bezeichnungen Primär-, Sekundär- und Tertiärzementit beziehen sich also auf die Entstehungsphase des Zementits, nicht auf unterschiedliche Formen von Zementit.