



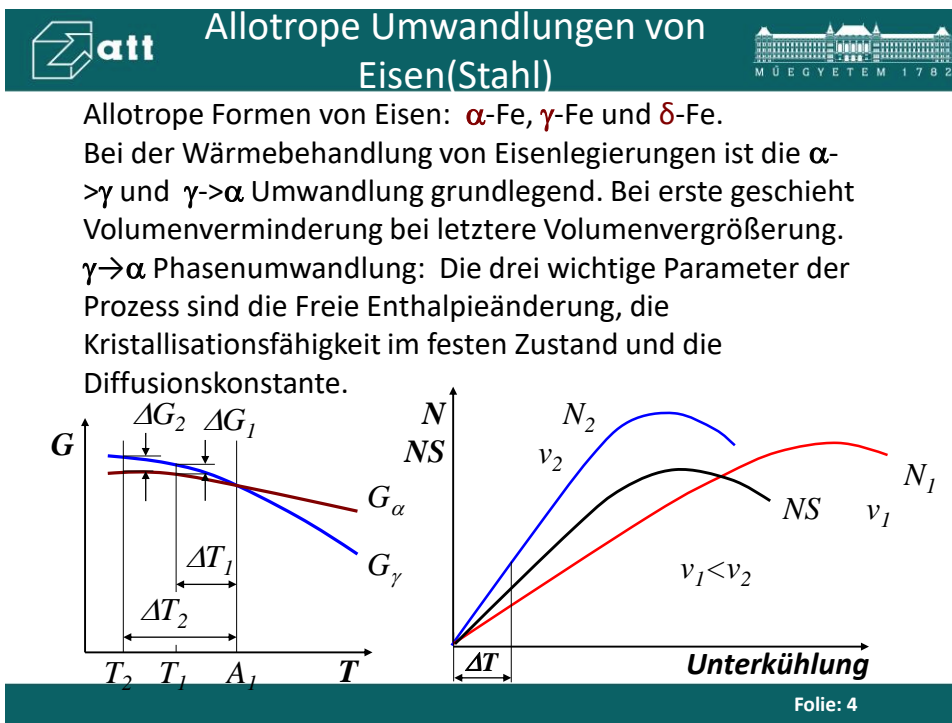
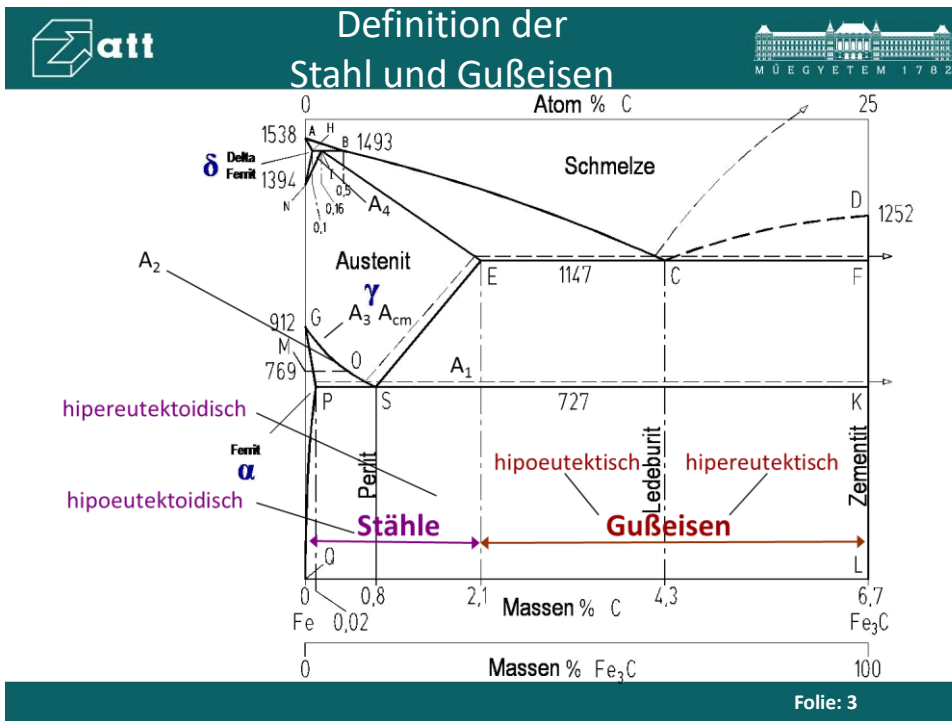
Nichtgleichgewichts Umwandlungen von Stählen



Während der Vorlesung werden
wir folgendes kennenlernen :



- Den Begriff Gleichgewichts und Nichtgleichgewichts Umwandlungen;
- Die Arten von γ - α Nichtgleichgewichts Umwandlungen (perlitisches, bainitisches, martensitisches) und deren Eigenschaften;
- Die Grundlegende Wärmebehandlungsarten von Stählen;
- Den Zusammenhang zwischen der Mikrostruktur und mechanische Eigenschaften der Stählen

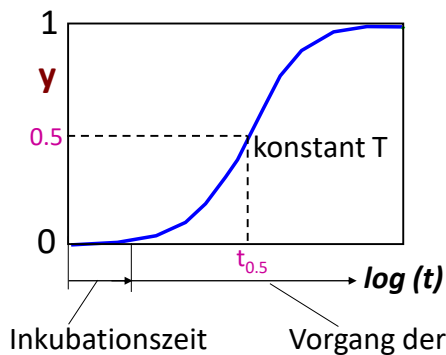




Vorgang der Phasenumwandlung in der Zeit



Die Avrami Gleichung beschreibt die Phasenumwandlung:



$$y = 1 - \exp(-kt^n)$$

$$r = \frac{1}{t_{0.5}} - \text{Geschwindigkeit der Umwandlung}$$

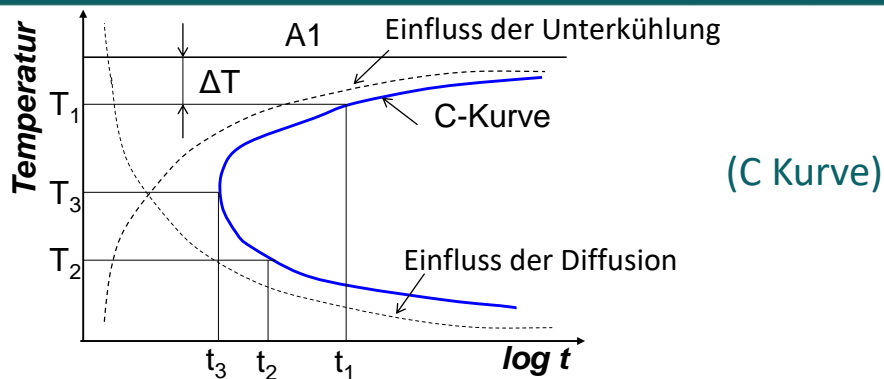
$$r = A \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

Inkubationszeit Vorgang der Phasenumwandlung in der Zeit

Folie: 5



Zeitbedarf der γ - α Umwandlung

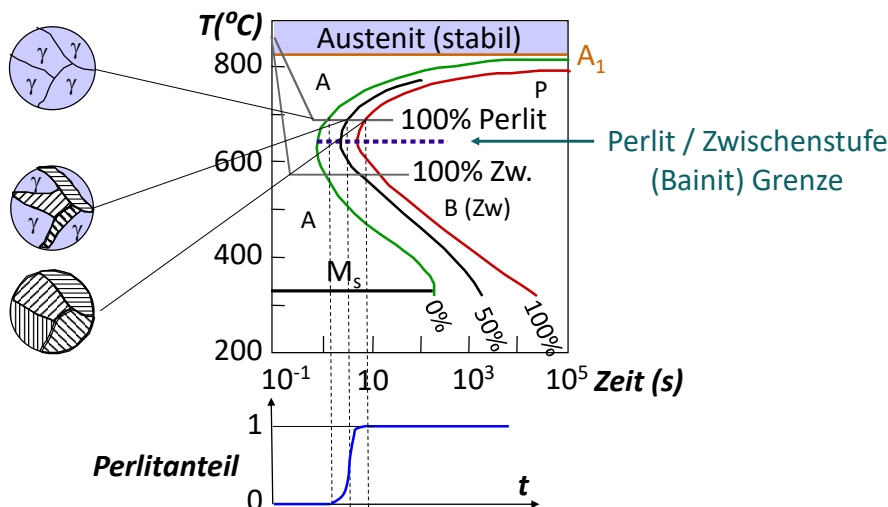


Die Unterkühlung beeinflusst die Kristallisationsfähigkeit und die Freie Enthalpieänderung gleichermassen; es zögert die Anfangszeitpunkt der Umwandlung.

Auf die Diffusionskonstante wirkt die Temperatur umgekehrt; je niedriger ist die Temperatur, desto länger dauert die Umwandlung.

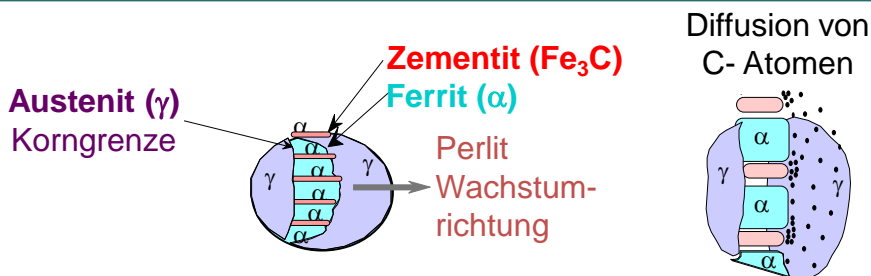
Folie: 6

Isotermische Umwandelungschaubild von eutektoidischer Stahl (ZTU) (TTT)

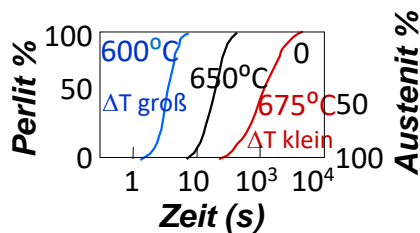


Folie: 7


Perlitische Umwandlung



Diffusionsvorgang geht mit Keimbildung vor sich
 Die Reaktionsgeschwindigkeit wächst mit der Unterkühlung (ΔT)

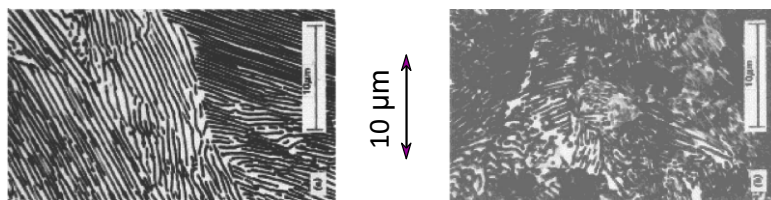


Folie: 8

att Die Struktur von Perlit 

T_{transf} unmittelbar unter A_1
 Temperatur: größere T ,
 schnellere Diffusion.

T_{transf} weit unter A_1
 Temperatur: kleinere T ,
 langsamere Diffusion.



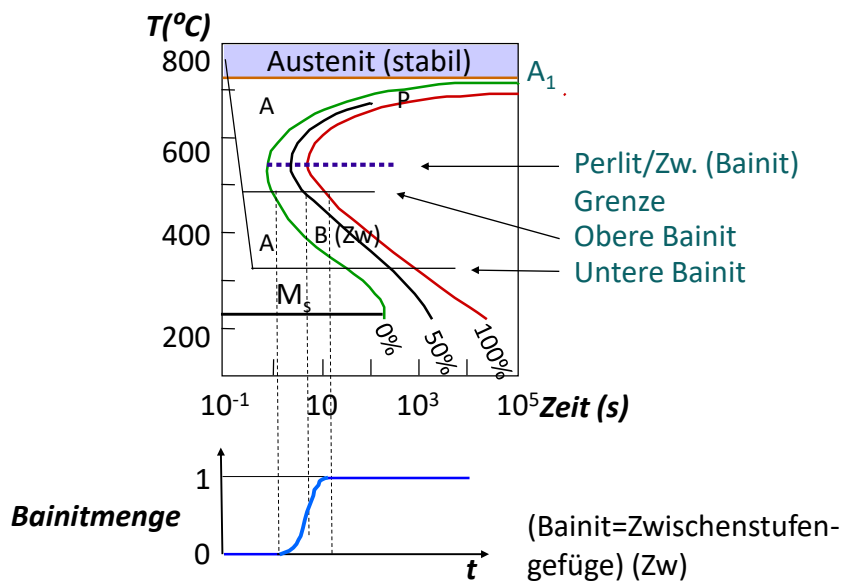
Kleinere ΔT , \rightarrow
 Größere Lamellen



Größere ΔT , \rightarrow
 Feinere Lamellen

Folie: 9

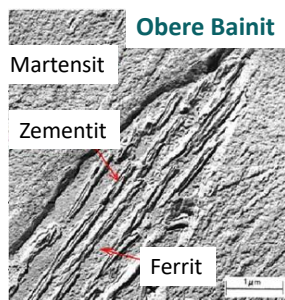
att Bainitische Umwandlung 



Folie: 10

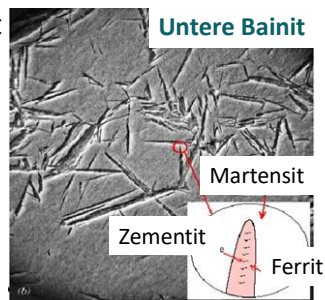
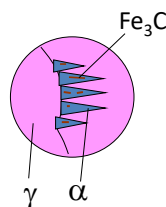


Die Struktur von Bainit



350-550 °C

Gemisch von Ferritnadel
und lange Zementitpartikel



200-350 °C

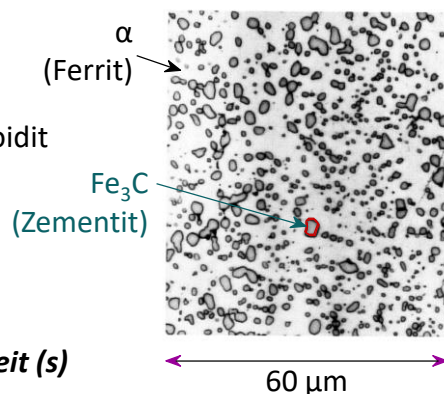
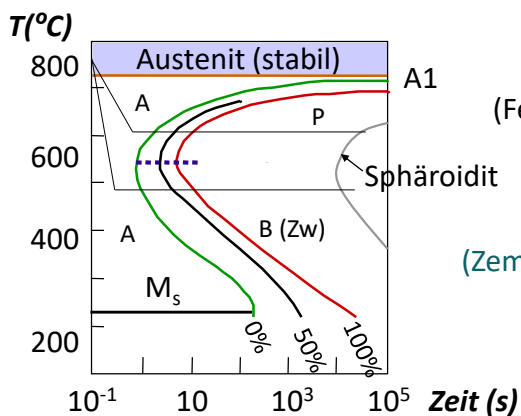
Gemisch von dünne Ferritplättchen
und verlängerte Zementitpartikel

Die Geschwindigkeit der Umwandlung wird grundlegend von der Diffusion (und weniger von der Keimbildung bestimmt). Wegen der relativ kleinen Temperatur entsteht eine sehr feine Struktur.

Folie: 11



Entstehen von Sphäroidit



Nah lange Zeit die Struktur von Perlit / Bainit (Zw.) wandelt sich um (Diffusion) so dass kleine Fe_3C Kugel im Ferritmatrix entstehen.

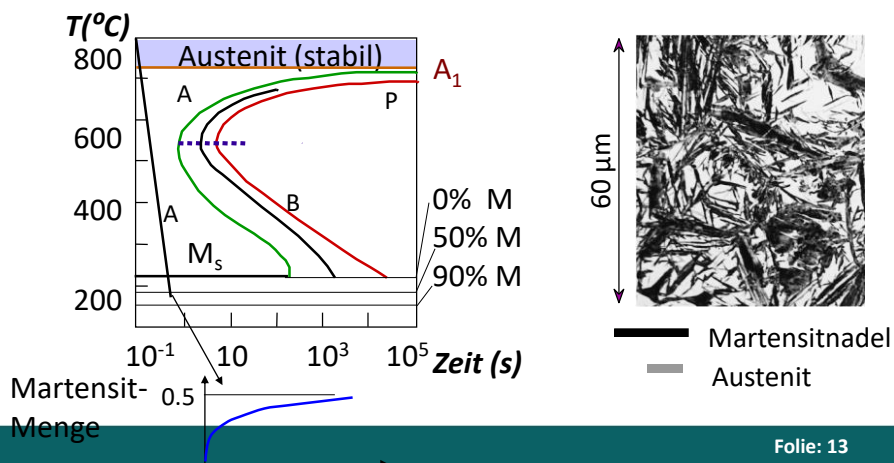
Folie: 12



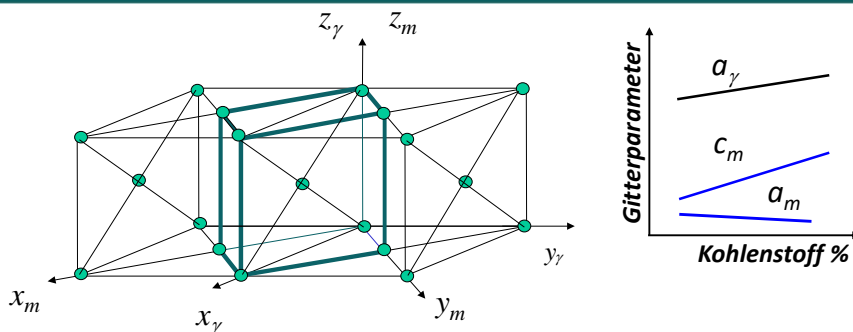
Martensitische Umwandlung



From Anfangs homogene Phase (γ) entsteht während der Umwandlung inhomogene Phase (m), ohne Keimbildung. Kommt bei großen Abkühlungsgeschwindigkeit zustande. Diffusionslose Umwandlung läuft im Bruchteil der Sekunde ab.



Bain Modell

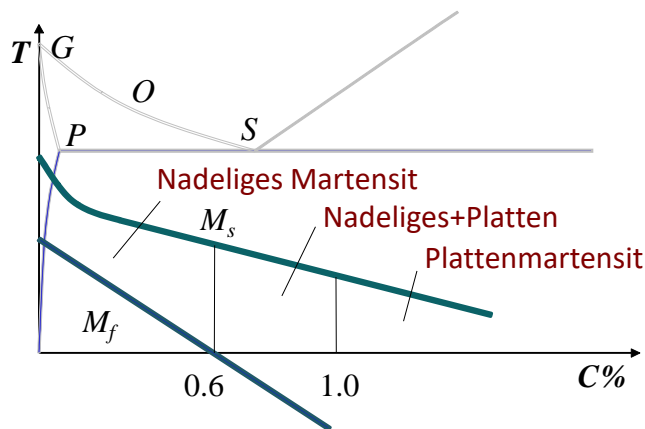


Der kfz Gitter von Austenit beinhaltet das tetragonale Gitter für Martensit (blaue Zelle) und es besteht eine bestimmte kristallographische Beziehung zwischen der beiden Gitter:

$$[100]_m \uparrow\uparrow [1\bar{1}0]_\gamma, [010]_m \uparrow\uparrow [110]_\gamma, [001]_m \uparrow\uparrow [001]_\gamma$$

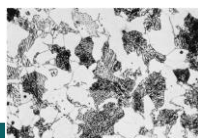
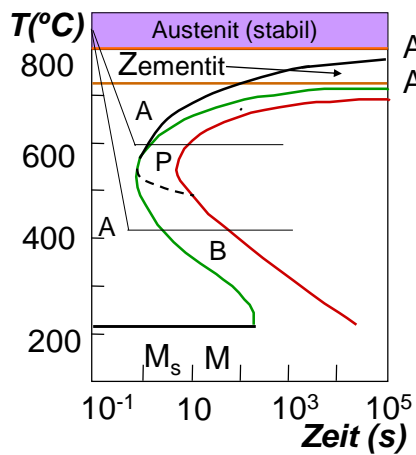
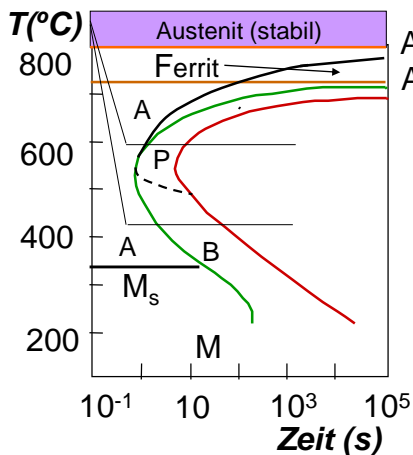
Folie: 14

att Kohlenstoffgehaltabhängigkeit der M_s und M_f Temperatur 

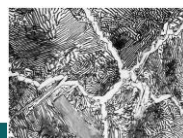


Folie: 15

att Isothermische Umwandlung von hipo- und hipereutektischer Stahl 



Proeutektoidisches Ferrit

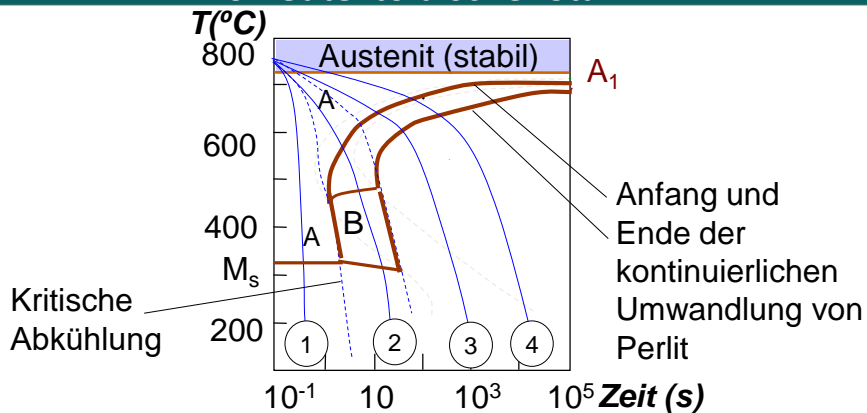


Proeutektoidisches Zementit

Folie: 16



Kontinuierliche Umwandlung von eutektoidischer Stahl



1. Härten (Wasser): Martensit
2. Härten (Öl): Perlit+Bainit+Martensit
3. Normalisieren: feines Perlit
4. Weichglühen: grobes lamellares Perlit

Folie: 17



Grundlegende Wärme- behandlungsarten der Stähle



- Härten
- Anlassen
- Vergüten (Härten+ Anlassen)
- Normalisieren
- Weichglühen

Folie: 18



Grundlegende Wärmebehandlungsarten der Stähle



➤ Härten

Austenitisierung + auf Temperatur Halten + schnelle Abkühlung.
Erzeugung von martensitisches Gefüge.

➤ Anlassen

auf Temperatur Halten von martensitisches Gefüge unter A_1 Temperatur, dann Abkühlung. Erzeugung von feinem perlitisches Gefüge.

➤ Weichglühen

Austenitisierung + auf Temperatur Halten + sehr langsame Abkühlung (mit Ofen). Erzeugung von weiches sehr zähes Material.

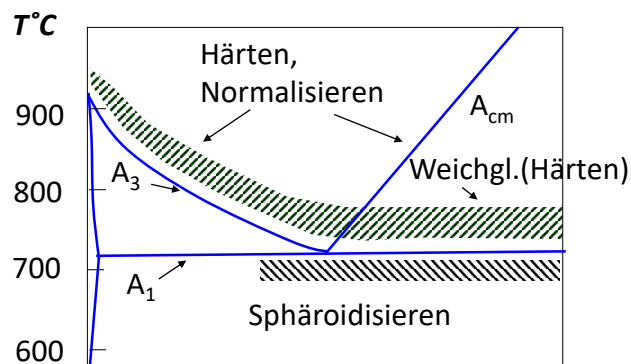
➤ Normalisieren

Austenitisierung + auf Temperatur Halten + Abkühlung auf Luft. Erzeugung von feine gleichmäßiges Gefüge.

Folie: 19

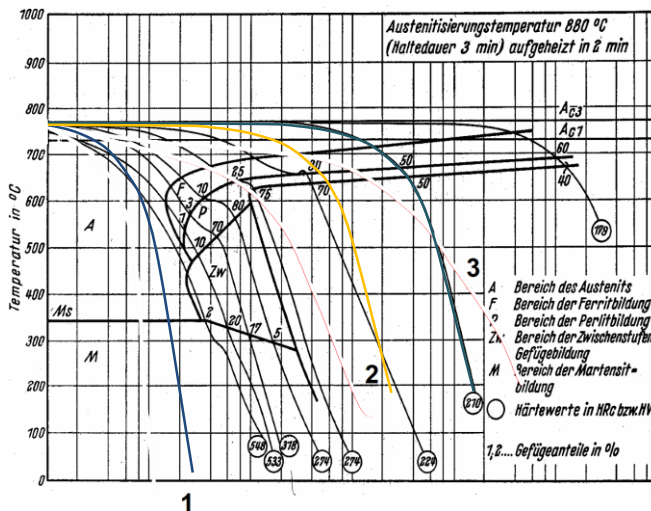


Anfangstemperatur der Wärmebehandlungen



Folie: 20

att Kontinuierliche Umwandlung von **hipoeutektoidischer Stahl** 

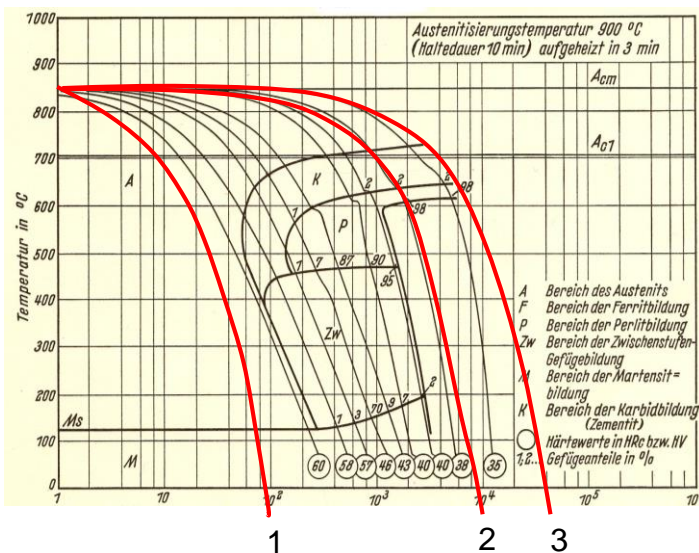


C = 0,45 %

- 1-Härten
- 2-Normalisieren
- 3-Weichgl.

Folie: 21

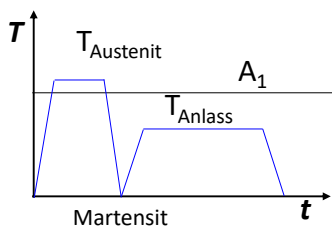
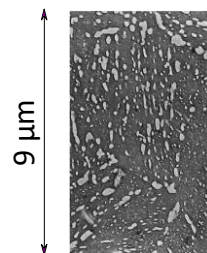
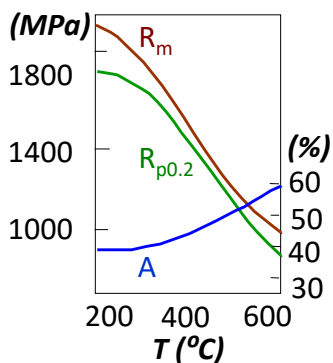
att Kontinuierliche Umwandlung von **hipereutektoidischer Stahl** 



C = 1 %

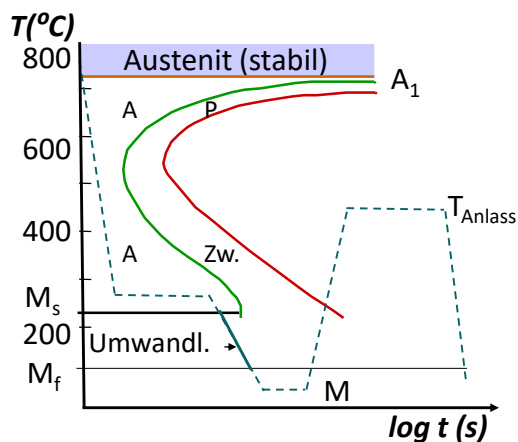
- 1-Härten
- 2-Normalisieren
- 3-Weichgl.

Verringerung der
Sprödigkeit und
innere
Spannungen von
Martensit A
martenzit



Sehr kleine Fe_3C Partikel in
Ferritmatrix eingebettet

Folie: 23

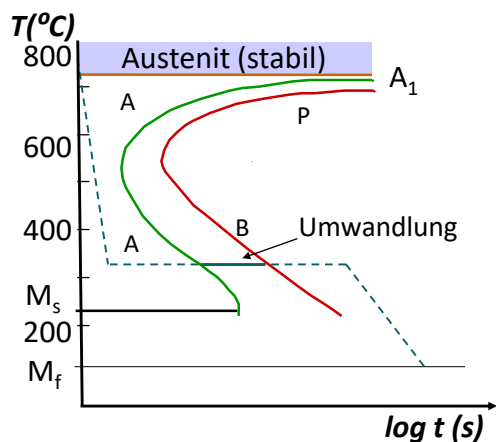


Modifiziertes Härtingsprozess, womit man die innere
Spannungen im Vergleich mit normales Härten niedriger
halten kann und damit auch der Rissgefahr sinkt.

Folie: 24



Austempern von eutektoidischer Stahl

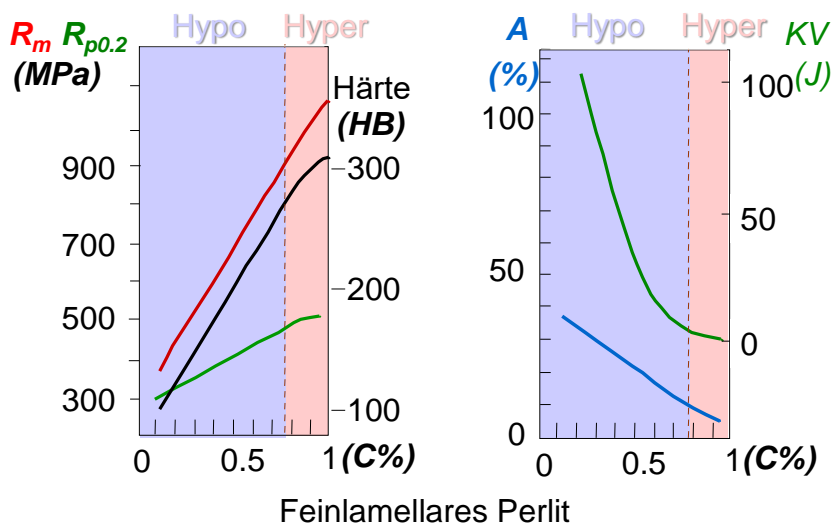


Herstellung von Bainit, womit Festigkeit mit relativ hohe Zähigkeit gepaart wird und damit auch der Rissgefahr sinkt.

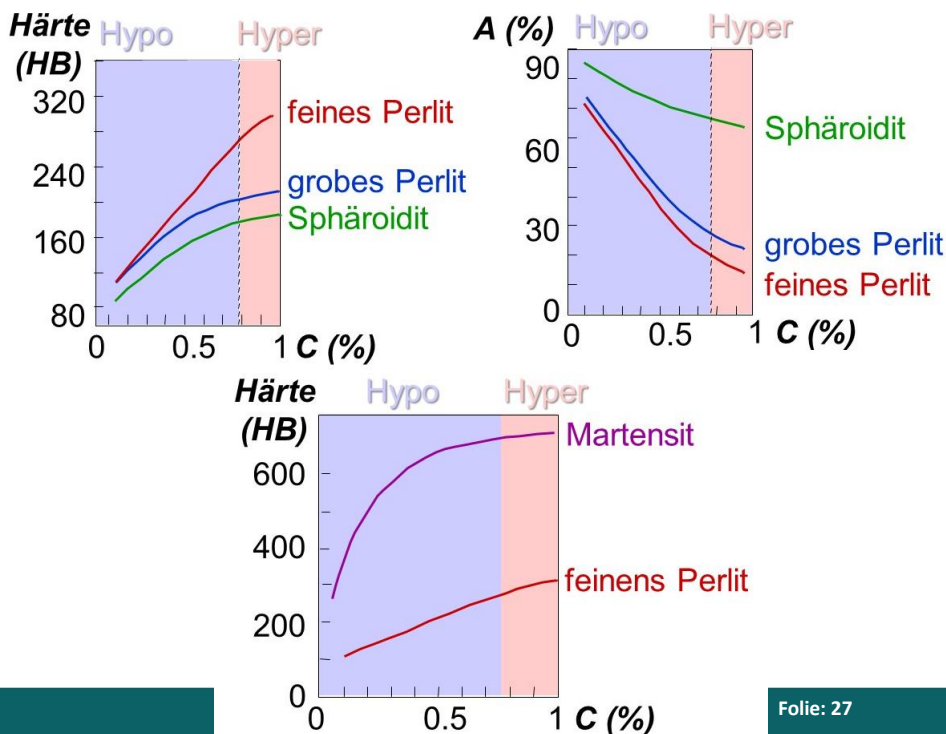
Folie: 25



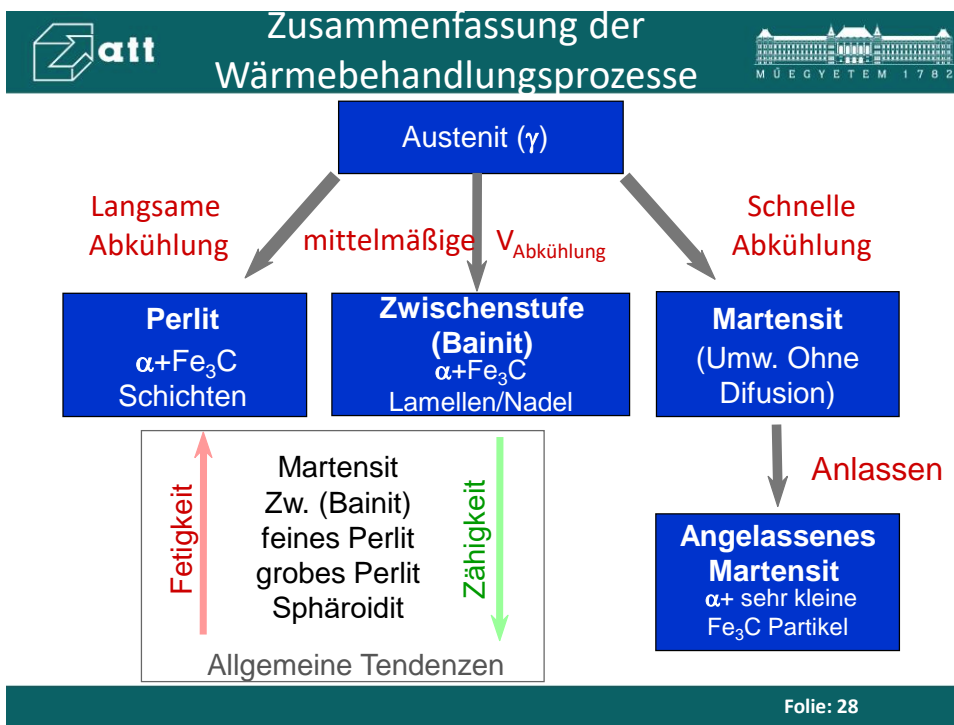
Mechanische Eigenschaften im Zusammenhang mit der C-Gehalt



Folie: 26



Folie: 27



Folie: 28



Nichtgleichgewichts Umwandlungen von Stählen



Danke für die Aufmerksamkeit!

