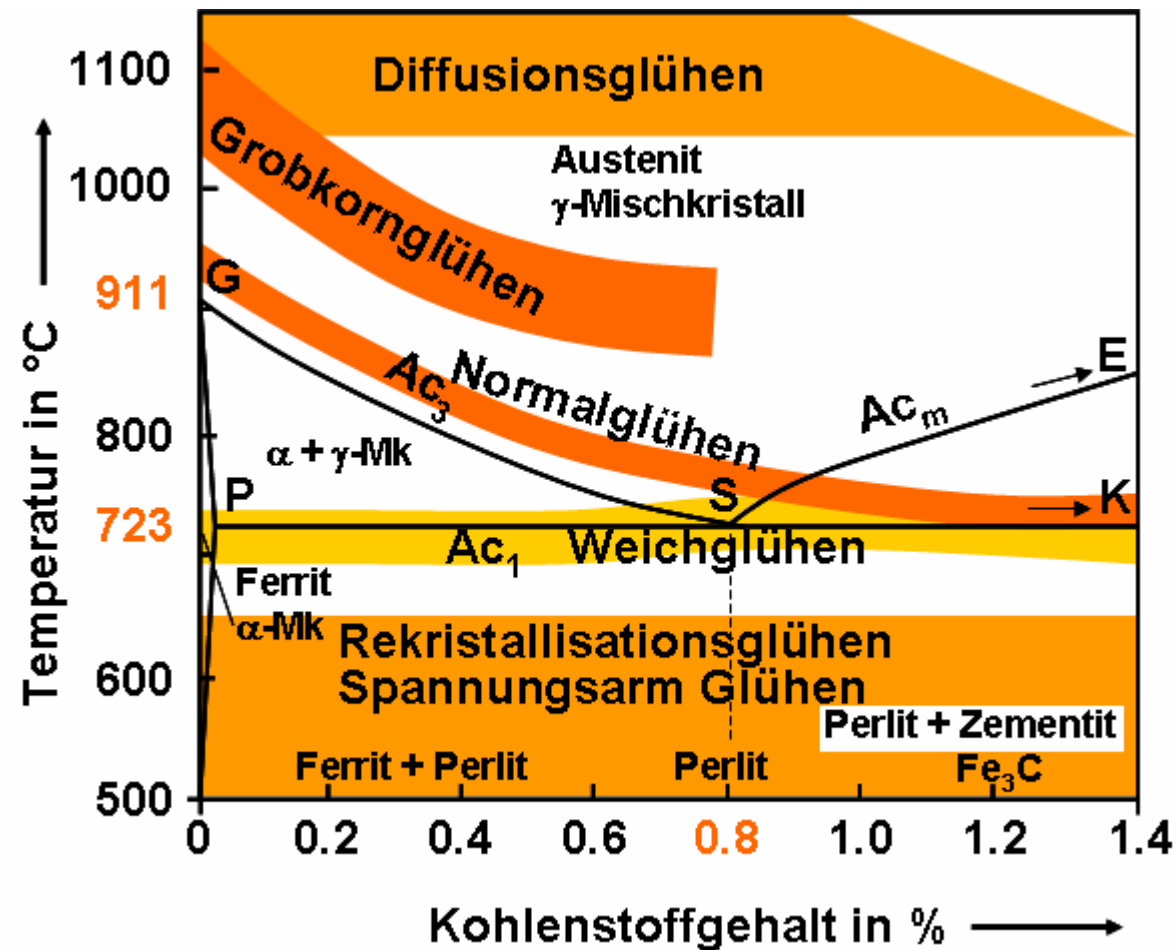
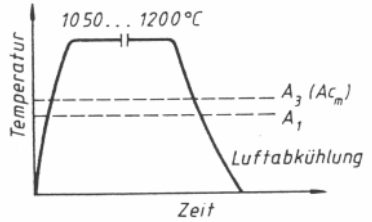
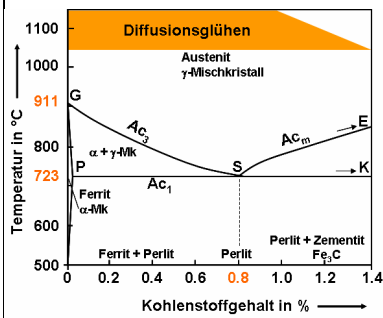
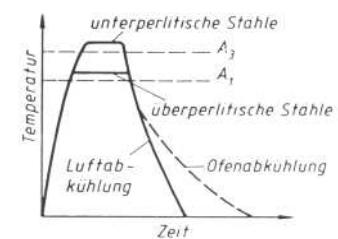
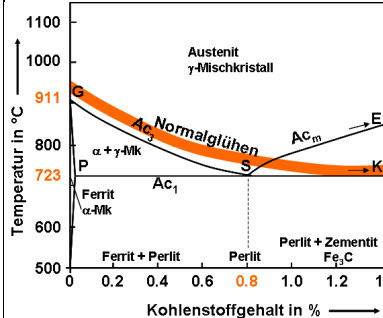
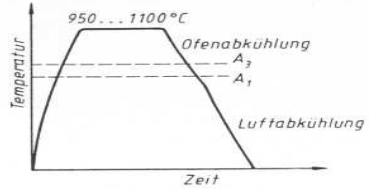
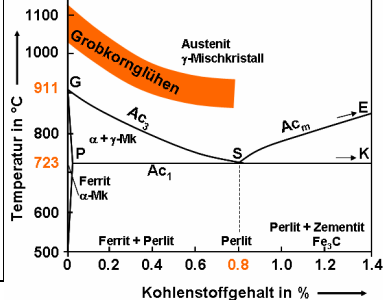


Übersicht über die Wärmebehandlungsverfahren bei Stahl

Werkstofftechnik, FHTW, Anja Pfennig



Ziel	Prinzip	Weg, Temperaturführung	T im EKD	Nachteil
GLÜHVERFAHREN				
Wärmebehandlung Ausgangsgefüge:	DIFFUSIONSGLÜHEN Gussgefüge, Mikroseigerungen	typische Legierungen: alle GJS, GJL		
Homogenisierung Konzentrationsunterschiede von direkt benachbarten Körnern (z.B. Kristallseigerungen) im Werkstück bzw. Gefügeheterogenitäten beseitigen oder verringern.	Hohe Temperaturen erleichtern die Diffusion. Durch die Atomwanderung werden die Inhomogenitäten wieder ausgeglichen	 <p>T: 1100-1300 °C > Ac3 t: 20-40 h Medium: Luft</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Kornvergrößerung (Beseitigung durch nachfolgendes Normalglühen) - Gefahr von Verzunderung und Entkohlung. - teuer
Wärmebehandlung Ausgangsgefüge:	NORMALGLÜHEN Grobkorn, Widmannstätten	typische Legierungen:		
Kornverfeinerung Feinkörniges, gleichmäßiges Gefüge mit feinlamellarem Perlit.	Durch die zweimalige $\alpha \rightarrow \gamma$ -Umwandlung (Erwärmen, Abkühlen) kommt es zu einem feinen Korn. Alle durch vorhergehende Verformungen oder Wärmebehandlung hervorgerufenen Eigenschafts- und Gefügeänderungen werden rückgängig gemacht. Wichtig: rasches Aufheizen und Abkühlen	 <p>T: 750-950 °C untereutektoid: 30-50°C > Ac3 übereutektoid: > Ac1 (PSK) t: 0,5 h Medium: Luft</p>		Nicht möglich bei umwandlungsfreien (ferritischen oder austenitischen) Stählen.
Wärmebehandlung Ausgangsgefüge:	GROBKORNGLÜHEN	typische Legierungen:		
Kornvergrößerung, um den Stahl besser spanbar zu machen.	Hohe Temperaturen führen zu Kornwachstum.	 <p>T: 950 – 1100 °C > Ac3 t: 1-2 h Medium: 1.Ofenkühlung 2.rasch Luft</p>		Grobes Korn vermindert Festigkeit und Zähigkeit. (Abhilfe: anschließendes Normalglühen, Härten oder Vergüten)

Wärmebehandlung REKRISTALLISATIONSGLÜHEN

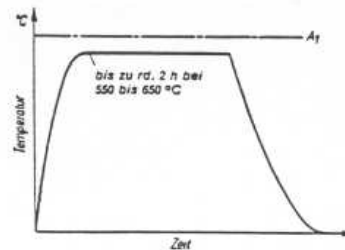
Ausgangsgefüge: Deformationsgefüge

typische Legierungen:

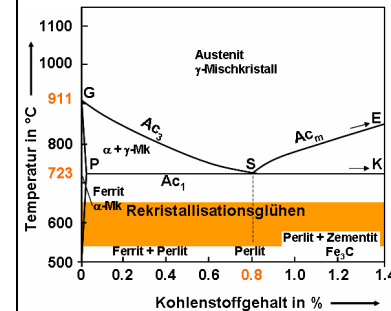
Umformbarkeit

Rückgängigmachen von durch Kaltverformen hervorgerufenen Eigenschafts- und Gefügeänderungen

Freisetzen der bei der Kaltverformung gespeicherten Energie durch Kornneubildung



T: 550-700 °C < Ac1
t: 0,5 h
Medium: Luft



Wärmebehandlung WEICHGLÜHEN

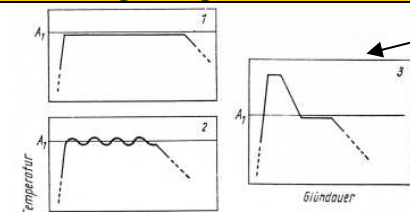
Ausgangsgefüge: Perlit-Gefüge

typische Legierungen:

Bearbeitbarkeit, Umformbarkeit

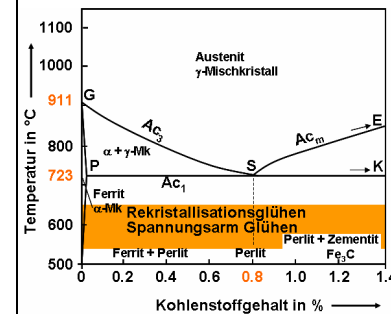
Einförmigen von lamellarem Perlit zu kugeligen Zementitkörnern, um die Weiterverarbeitung zu erleichtern.

Kugeliger Zementit in ferritischer Grundmasse ist das Gefüge mit dem geringsten Energieinhalt im Fe-Fe₃C-System.
(Beim Spanen werden Kugeln zur Seite gedrückt und nur der weiche Ferrit zerschnitten)



T: 600-700 °C
untereutektoid: knapp <Ac1 (1)
übereutektoid: Pendelglühen um Ac1 (2) o. kurz >Ac1 dann <Ac1 (3)
t: 20-40 h
Medium: langsam Luft

Mögliche Zyklen beim Weichglühen



Zu hohes Glühen >Ac₃ => Kornvergrößerung

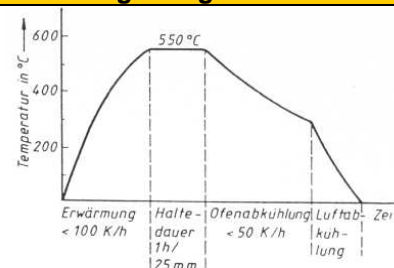
Wärmebehandlung SPANNUNGSARMGLÜHEN

Ausgangsgefüge: Innere Spannungen

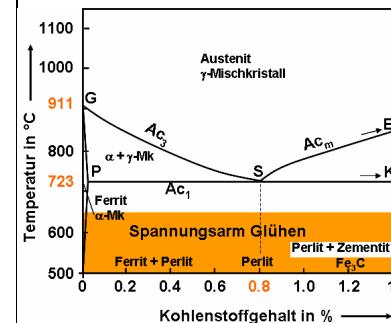
typische Legierungen:

Minimierung innerer Spannungen ohne wesentliche Eigenschaftsänderungen.

1. Absenken der Streckgrenze des Werkstoffs durch Erwärmen (Wärmebewegung schwächt den inneren Halt der Atome)
2. Abbau der Eigenspannungen durch plastische Deformation im Mikrobereich (plastisches Fließen)



T: 450-650 °C < PSK (Ac1)
t: 10-20 h (1-2h)
Medium: langsam Luft



Bei Vergütungsstählen: $T < T_{Anlass}$, um eine unerwünschte Erweichung zu vermeiden.

HÄRTEVERFAHREN

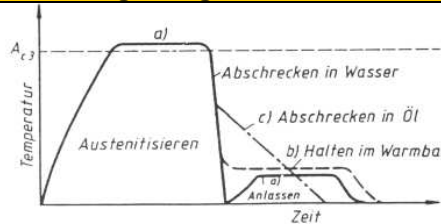
Wärmebehandlung HÄRTEN, VERGÜTEN = HÄRTEN + ANLASSEN

Ausgangsgefüge: Ferrit-Perlit

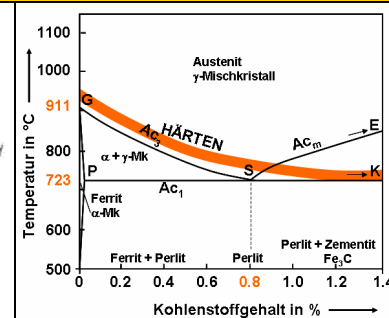
typische Legierungen: 42CrMo4, 13CrMo4, Ck45

Erhöhen der Festigkeit und des Verschleißwiderstandes.

Überschreitung der kritischen Abkühlgeschwindigkeit durch rasche Abkühlung aus dem Austenitgebiet → Martensitbildung



T: 750-950 °C > GSK (= Ac₃)
 untereutktoid: 30-50 °C > Ac₃
 übereutktoid: > Ac₁ (PSK)
t: 0,5 - 2 h
Medium: Öl, Luft, Wasser



Nicht möglich bei umwandlungsfreien (ferritischen oder austenitischen) Stählen.

Wärmebehandlung ANLASSEN

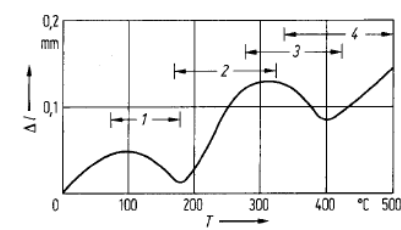
Ausgangsgefüge: Martensit

typische Legierungen: 42CrMo4, 13CrMo4, Ck45

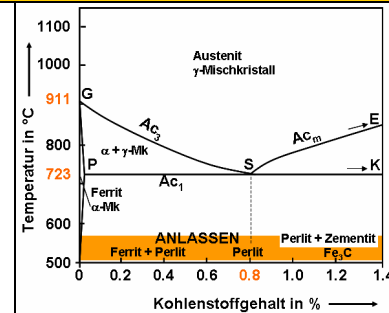
Zähigkeitserhöhung eines gehärteten Werkstücks

- 1.) Tetragonaler Martensit zerfällt in ein hexagonales, instabiles ϵ -Karbonid (Fe_2C) und in kubischen Martensit.
- 2.) Restaustenit klappt in kubischen Martensit um.
- 3.) Ausscheidung von C aus dem Gitter und weitere Bildung von Fe_3C .
- 4.) Koagulation von Fe_3C

Dilatometerkurve beim Anlassen



T: 100-700 °C < PSK (= Ac₁)
t: 0,5 - 2 h
Medium: langsam Luft



Wärmebehandlung VERGÜTEN = HÄRTEN + ANLASSEN

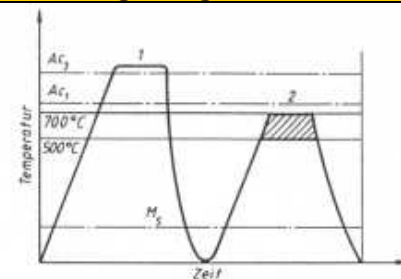
Ausgangsgefüge: Ferrit-Perlit

typische Legierungen: 42CrMo4, 13CrMo4, Ck45

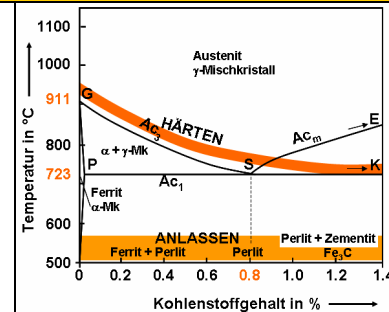
Erreichen einer idealen Kombination aus Festigkeit und Zähigkeit.

Durch das Anlassen wird die Festigkeit und Sprödigkeit vermindert, die Zähigkeit jedoch erhöht.

Siehe Härten, Anlassen



Härten + Anlassen
T: > GSK (Ac₃) + < PSK (Ac₁)



Nicht möglich bei umwandlungsfreien (ferritischen oder austenitischen) Stählen.

Oberflächenhärten					
Ziel				Prinzip, Weg	
harte Oberfläche, zäher Kern Erhöhung der Verschleißbeständigkeit und Dauerfestigkeit unter Beibehaltung der Duktilität				mechanisch: Kugelstrahlen, Festwalzen thermisch: Selektive Erwärmung Randschichthärten: Flammhärten, Induktionshärten thermochemisch: Selektive Änderung der Zusammensetzung Einsatzhärten, Nitrierhärten	
Randschichthärten (thermisch)					
Ziel	Prinzip	Weg	Anwendung	Legier.	
Verschleißfestigkeit oder Druckbelastbarkeit erhöhen	Selektive Erwärmung der Randschichten auf Härtetemperatur	Erwärmen der Randzone > Ac ₃ und schnelles Abschrecken → Martensitbildung	Kurbel-, Nockenwellen, Kaltwalzen, Zahnflanken	C45, 42CrMo4	
Einsatzhärten (thermochemisch)					
Ziel	Prinzip	Weg	Anwendung	Legier.	Zweck
Erhöhung des C-Gehaltes in der Randschicht von nicht härtbaren Stählen mit 0,1% - 0,2% auf 0,9% so dass diese härtbar werden (sog. Einsatzstähle).	Selektive Änderung der Zusammensetzung - Erwärmen der Randzone eines C-armen Stahls - Glühen bei 850°C ... 950°C in kohlenstoffabgebenden Mitteln (z.B. Cyan-Salzbad, Pulver, Gas) (Aufkohlen). (Nur im γ-Gebiet ist die Löslichkeit für C hoch genug.)	Anlassen bei 180 – 200°C Einsatzhärte­tiefe: 0,1 - 10 mm Abschrecken in Öl → Martensitbildung	sog. Einsatzstähle Zahnflanken,Ritzel, Antriebswellen Wellen Wälzlager­ringe	16MnCr5 17CrNiMo6 13MoCrNi4 2-16-14	Verschleißbeständigkeit Schwingfestigkeit schnelllaufender Lager