

# Die Wärmebehandlung metallischer Werkstoffe

WS 2018  
DR. DIETER MÜLLER

## Wärmebehandlung Gusseisen

Bild 98: Schematische Darstellung der wichtigsten Wärmebehandlungsverfahren für Gusseisenwerkstoffe

## ADI – Austempered Ductile Iron (bainitisches / ausferritisches Gusseisen)

Bild 2-4: Schematische Darstellung der ADI-Wärmebehandlung /KOV96 und Einfluss der isothermen Umwandlung auf die Werkstoffeigenschaften am Beispiel einer Legierung mit 0,34% Mn und 0,53% Ni /DORAS2a, DORAS2b

## Inhalt Block 6

**3 DIE WÄRMEBEHANDLUNG VON GUSSEISEN**

4 Die Wärmebehandlung der Al-Legierungen  
5 Die Wärmebehandlung der Cu-Legierungen  
6 Die Wärmebehandlung der Ti-Legierungen  
7 Die Wärmebehandlung der Superlegierungen wird von Dr. Völkel im Anschluss gehalten

## Wärmebehandlung von GJS auf Festigkeit (Perlitglühen)

Während der langsamen Ofenabkühlung lagert sich der im Austenit gelöste Kohlenstoff am Graphit des Gusseisens an und es bildet sich Ferrit.

## Tempern

Gusseisendiagramm (nach Maunier)

## Übersicht Wärmebehandlung Gusseisen

Wärmebehandlungsverfahren	Gusseisensorte	Angestrebtes Ziel	Temperatur (°C)	Zeit	Abläufen
Spannungsgregülieren	Unlegiert, niedrig legiert, hoch legiert	Beseitigung von Spannungen	500-550 550-600 600-650	1h + 1h je 25 mm Wanddicke	Ofenabkühlung 40 K/h bis 200°C, bis 120°C für konstante Zeit
Weichglühen bei niedriger Temperatur (Perlitisieren, Graphitisieren)	Unlegiert, niedrig legiert	Ferritisches Gefüge, Erreichen besserer Zähreigenschaften	700-760	45 min je 1 h je 25 mm Wanddicke	Ofenabkühlung von Gießtemperatur bis 300°C
Weichglühen bei mittlerer Temperatur (Ferritisieren, Graphitisieren)	Unlegiert, Gusseisen und andere Sorten, die für die Glühzeit bei niedriger Temperatur nicht geeignet sind	Ferritisches Gefüge, Erreichen besserer Zähreigenschaften	780-900	1h je 1 h je 25 mm Wanddicke	Ofenabkühlung von Gießtemperatur bis 300°C
Weichglühen bei hoher Temperatur (Ferritisieren, Graphitisieren)	Martensit- oder weisses Gusseisen	Ferritisches Gefüge, Erreichen besserer Zähreigenschaften	900-955	1 bis 2 h + 1 h je 25 mm Wanddicke	Ofenabkühlung von Gießtemperatur bis 300°C
Weichglühen bei hoher Temperatur (Perlitisieren, Graphitisieren)	Martensit- oder weisses Gusseisen	Perlitgefüge, Erreichen besserer Zähreigenschaften	900-955	1 bis 2 h + 1 h je 25 mm Wanddicke	Luftabkühlung bis 540°C, dann Ofenabkühlung bis 300°C
Perlitglühen (Perlitisieren)	Alle Sorten	Ferritisches Gefüge	850-955	1 bis 2 h + 1 h je 25 mm Wanddicke	Luftabkühlung bis 540°C, dann Ofenabkühlung bis 300°C
Härten	Alle Sorten	Martensitisches Gefüge, Erreichen höherer Härte	800-950	2 bis 3 h je 25 mm Wanddicke	Luft- oder Flüssigkeitsabkühlung
Vergüten (Härten mit nachfolgendem Anlassen)	Alle Sorten	Vermindern der Sprödigkeit des Materials	550-650	1 h je 25 mm Wanddicke	Luft- oder Ofenabkühlung
Zweischrittverfahren	Unlegiert, niedrig legiert	Martensitisches Gefüge (Zweischrittverfahren)	850-950	1 bis 1 h je 25 mm Wanddicke	Luft- oder Flüssigkeitsabkühlung auf 230-400°C/1,5 bis 4 h halten

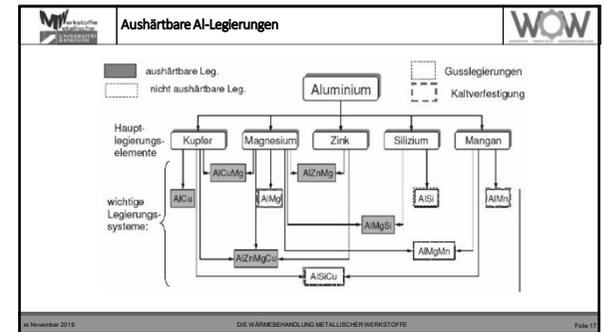
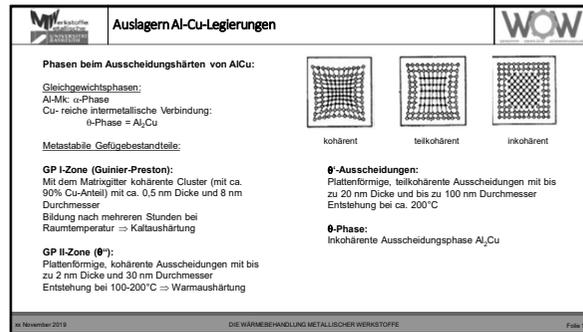
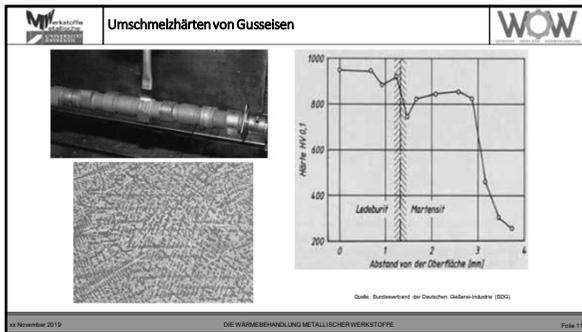
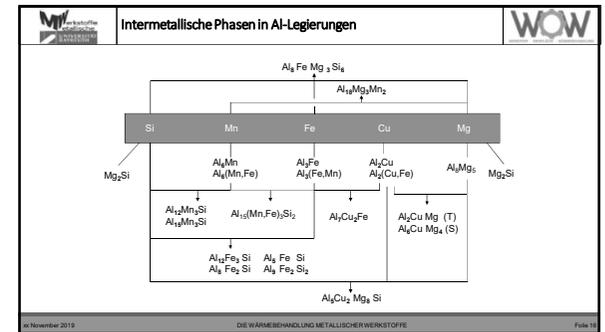
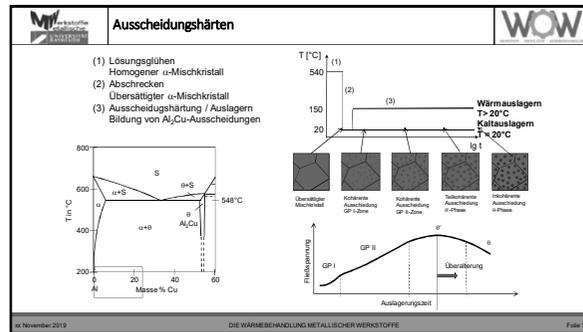
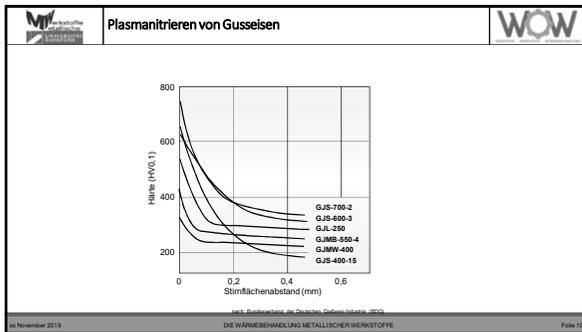
## Wärmebehandlung hochfester Gusseisensorten

Bild 22: Gefüge Martensit und Resbanten! [16]

## Randschichthärtungen von Gusseisen

Thermische Verfahren: Martensitisches Härten, Ledeburitisches Härten, Flammhärten, Induktionshärten, Laserhärten, Elektronenstrahlhärten

Thermochemische Verfahren: Nitrieren, Borieren, Sulfurieren, Chromieren, Umschmelzhärten durch Laserstrahl, Elektronenstrahl, Lichtbogen (WIG)

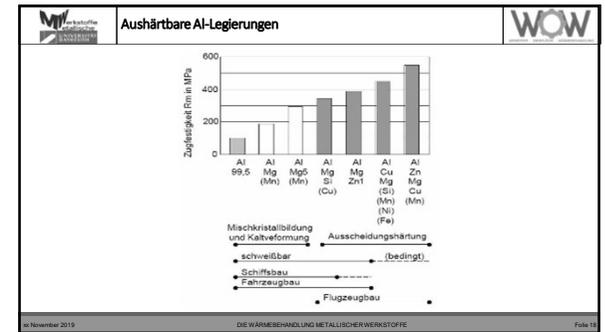
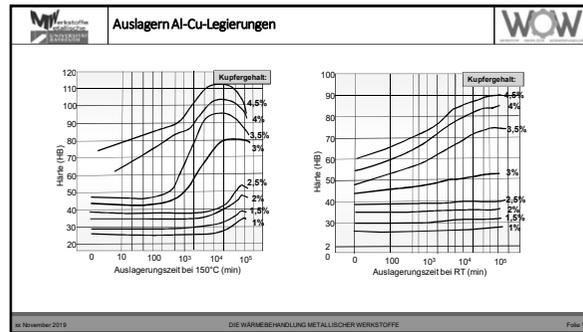


### Inhalt Block 6

3 Die Wärmebehandlung von Gusseisen  
**4 DIE WÄRMEBEHANDLUNG DER AL-LEGIERUNGEN**  
 5 Die Wärmebehandlung der Cu-Legierungen  
 6 Die Wärmebehandlung der Ti-Legierungen  
 7 Die Wärmebehandlung der Superlegierungen  
 wird von Dr. Völkel im Anschluss gehalten

Quelle: Buchbestand der Deutschen Gießerei-Institute (DGI)

16. November 2019 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 12



Aushärtbare Al-Legierungen Kennzeichnung des WB-Zustands	
W	lösungsgeglüht
T1	wärmungeformt + abgeschreckt + kaltausgelagert
T2	wärmungeformt + abgeschreckt + kaltumgeformt + kaltausgelagert
T3	lösungsgeglüht + abgeschreckt + kaltumgeformt + kaltausgelagert
T4	lösungsgeglüht + abgeschreckt + kaltausgelagert
T5	wärmungeformt + abgeschreckt + wärmausgelagert
T6	lösungsgeglüht + abgeschreckt + wärmausgelagert
T8	lösungsgeglüht + abgeschreckt + kaltumgeformt + wärmausgelagert
O	weichgeglüht

Inhalt Block 6	
3	Die Wärmebehandlung von Gusseisen
4	Die Wärmebehandlung der Al-Legierungen
5	Die Wärmebehandlung der Cu-Legierungen
<b>6</b>	<b>DIE WÄRMEBEHANDLUNG DER Ti-Legierungen</b>
7	Die Wärmebehandlung der Superlegierungen

wird von Dr. Völkel im Anschluss gehalten

Spannungsarmglühen von Titan				
Werkstoff	Temperaturspanne °C	Haltezeit	Abkühlung	
3.7024 3.7034 3.7064	Reintitan	500 - 600	30 - 60 min	Luft
3.7114	TiAl5Sn2	550 - 650	30 - 60 min	Luft
3.7164	TiAl6V4	550 - 700	30 - 60 min	Luft oder Ofen bis 500°C dann Luft
3.7174	TiAl6V6Sn2	550 - 650	60 - 120 min	Luft oder Ofen bis 500°C dann Luft

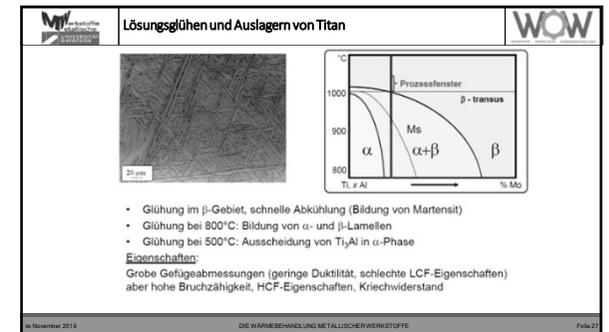
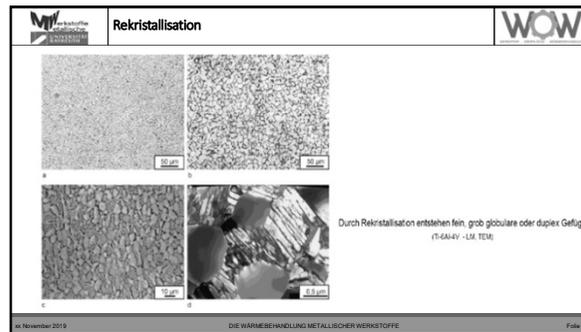
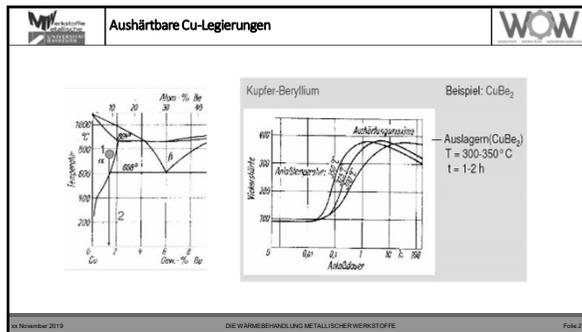
Die angegebene Haltezeit gilt für Dicken bis 10 mm, für jede weitere 10 mm 5 bis 20 min zusätzlich

Inhalt Block 6	
3	Die Wärmebehandlung von Gusseisen
4	Die Wärmebehandlung der Al-Legierungen
<b>5</b>	<b>DIE WÄRMEBEHANDLUNG DER Cu-Legierungen</b>
6	Die Wärmebehandlung der Ti-Legierungen
7	Die Wärmebehandlung der Superlegierungen

wird von Dr. Völkel im Anschluss gehalten

Weichglühen von Titan				
Werkstoff	Temperaturspanne °C	Haltezeit	Abkühlung	
3.7024 3.7034 3.7064	Reintitan	600 - 800	2 min/mm mind 10 min	Luft
3.7114	TiAl5Sn2	700 - 850	2 min/mm mind 30 min	Luft oder Ofen bis 500°C dann Luft
3.7164	TiAl6V4	700 - 840	2 min/mm mind. 30 min	Luft oder Ofen bis 500°C dann Luft
3.7174	TiAl6V6Sn2	700 - 840	2 min/mm mind. 30 min	Luft oder Ofen bis 500°C dann Luft

Lösungsglühen und Auslagern von Ti				
Werkstoff	Behandlung	Temperaturspanne °C	Haltezeit	Abkühlung
3.7154	Lösungsglühen	1040 - 1060	2 min/mm mind. 60 min	Öl
	Auslagern	540 - 560	24 h	Luft
3.7164	Lösungsglühen	840 - 940	2 min/mm mind. 15 min	Wasser
	Auslagern	460 - 800	2 - 8 h	Luft
3.7174	Lösungsglühen	820 - 870	2 min/mm mind. 15 min	Wasser
	Auslagern	500 - 600	8 h	Luft



**Ni-Basis-Superlegierungen**

Element	Fe/Ni- und Ni-Basis-Superlegierungen	Wirkung
Cr	5-25%	Korrosions- und Zunderbeständigkeit Mischkristallhärtung
Mo, W	0-12%	Bildung von $M_6C$ Mischkristallhärtung
Al, Ti	0,6%	Bildung von $\gamma'$ $Ni_3(Al,Ti)$ -Ausscheidungen, Ti bildet MC, Al erhöht Zunderbeständigkeit Ausscheidungshärtung
Co	0-20%	Erhöht $\gamma'$ -Lösungstemperatur
B, Zr, Hf		Verbessert Risszähigkeit; Bildung von Boriden, Hf bildet MC und fördert die Bildung von $\gamma-\gamma'$ -Eutektikum in Gußlegierungen
Ni		Stabilisiert Austenit; bildet Ausscheidungen Ausscheidungshärtung
Nb	0-5%	Bildet $\gamma''$ , $Ni_3Nb$ -Ausscheidungen; bildet orthorhombisches $\delta-Ni_3Nb$ Ausscheidungshärtung
Ta	0-12%	Bildet MC; verbessert Zunderbeständigkeit Mischkristallhärtung

19. November 2019 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 21

**Ni-Basis-Superlegierungen**



$\gamma'$ -Phase entspricht  $Ni_3Al$   
Kohärent zum  $\gamma$ -Mischkristall  
 $L1_2$ -Gittertyp  
Al-Substituenten: Ti, Nb, Ta, V, Mn, Si



$\gamma''$ -Phase entspricht  $Ni_3Nb$   
Bildung nur bei Fe-Anteilen im MK  
Teilkohärent zum  $\gamma$ -Mischkristall  
 $DO_{19}$ -Gittertyp  
Stabil bis 650°C

19. November 2019 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 21

**Ni-Basis-Superlegierungen**

### Ni-Superlegierungen

Zusammensetzung

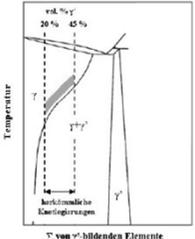
Legierung	Ni	Cr	Mo	Nb	Al	Ti	C	Si	Fe	Auslere
Inconel 625 NiCr22Fe9Nb	2.4856	61,0	21,5	5,0	3,6	0,20	0,06	0,25	2,5	-
Inconel 718 NiCr19Fe18NbMo3	2.4668	52,8	19,0	3,0	5,1	0,50	0,04	0,19	18,5	6,002 B
A 286 NiCr17Co15Ti	1.4940	26,0	15,0	1,3	-	6,2	2,6	0,05	0,5	1,3 Mo, 6,002 B

A286 ist ein hochwarmfester Stahl (Fe-Basis Superlegierung) zum Vergleich

Quelle: DKS

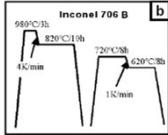
19. November 2019 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 22

**Ni-Basis-Superlegierungen**

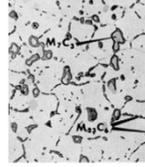


vol. %  $\gamma'$   
20 % 45 %  
Temperatur  
herkömmliche Superlegierungen  
 $\Sigma$  von  $\gamma'$ -bildenden Elementen

**Wärmebehandlung:**  
Lösungsglühen  
Stabilisierungsglühen  
Ausscheidungsglühen



Inconel 706 B  
980°C/3h  
820°C/10h  
720°C/3h  
620°C/3h  
1°C/min



**Stellit 6B** (Co-Basisleg.)  
Lösungsglühen 1230°C  
Auslagern: 8h/1150°C

Quelle: ASM

19. November 2019 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 12

**Ni-Basis-Superlegierungen**

### Ni-Superlegierungen

Mechanische Eigenschaften

Temperature [°C]	Yield Strength at 0,2% offset [MPa]	Ultimate Tensile Strength [MPa]	Tensile Elongation [%]	Dynamic Modulus of Elasticity [GPa]
21	1185	1405	21	200
540	1065	1275	18	171
650	1020	1228	19	163
760	740	950	25	154
870	330	340	68	139

Properties of Inconel 718, NiCr19Fe15Nb5Mo3 (2.4668):  
900°C/1h/ air cool + 720°C/3h/furnace cool + 620°C/10h/air cool

Quelle: Agnove

19. November 2019 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 10