

Die Wärmebehandlung metallischer Werkstoffe

WS 2019
DR. DIETER MÜLLER

Temperaturbereiche verschiedener Wärmebehandlungsverfahren

11.11. November 2019 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 4

Eigenspannungen

Definition
Eigenspannungen sind mechanische Spannungen, die in einem Körper herrschen, an dem keine äußeren Kräfte und Momente angreifen und der sich im thermischen Gleichgewicht befindet.

Eigenspannungen I. Art
sind über größere Werkstoffbereiche (mehrere Körner) nahezu homogen und über ein komplettes Bauteil im Gleichgewicht. Bei Eingriffen in das System treten Maßänderungen auf.

Eigenspannungen II. Art
sind über kleine Werkstoffbereiche (ein bis mehrere Körner) homogen. Bei Eingriffen in das System können Maßänderungen auftreten.

Eigenspannungen III. Art
sind über kleinste Werkstoffbereiche inhomogen. Bei Eingriffen in das System treten keine Maßänderungen auf.

Werden unter Eigenspannung stehende Teile erwärmt, ist die Höhe der Eigenspannungen höher als die temperaturabhängige Streckgrenze, dann kommt es beim Erreichen der entsprechenden Temperatur zu einem Spannungsabbau durch plastisches Fließen, was eine Verformung zur Folge hat.

11.11. November 2019 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 7

Inhalt Block 3

2.7 GLÜHVERFAHREN

- 2.7.1 Spannungsglühen
- 2.7.2 Rekristallisationsglühen
- 2.7.3 Weichglühen
- 2.7.4 Normalglühen
- 2.7.5 Grobkornglühen
- 2.7.6 Diffusionsglühen
- 2.8 Martensitisches Härten
- 2.8.1 Einfluss der Prozessparameter
- 2.8.2 Härbarkeit der Stähle
- 2.8.3 Anlassen
- 2.9 Bainitisches Härten / Zwischenstufenvergüten

11.11. November 2019 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 2

Temperaturbereiche der Wärmebehandlung von Stahl

11.11. November 2019 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 3

Spannungsglühen Ursachen von Eigenspannungen

Thermische Eigenspannungen
aufgrund Ausdehnungskoeffizient und unterschiedlicher Abkühlung Rand-Kern (z.B. Erwärmung, Schweißen)

Metallurgische Eigenspannungen
aufgrund Phasenumwandlung (z.B. Martensitbildung)

Mechanische Eigenspannung
aufgrund Kaltumformung, Zerspaltung

a: temperaturabhängige Phasenumwandlung
b: Längenerweiterung infolge Phasenumwandlung
c: Wärmedehnung
d: spannungsgelinderte Phasenumwandlung
e: Wärmedehnung infolge Phasenumwandlung
f: Umwandlung von Verformungsenergie in Wärme

Quelle: G. Spurr, Th. Stoffels, Handbuch der Fertigungstechnik, Band 42, Wärmebehandeln.

11.11. November 2019 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 8

Übersicht Wärmebehandlungsverfahren

11.11. November 2019 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 3

Inhalt Block 3

2.7 GLÜHVERFAHREN

2.7.1 SPANNUNGSARMGLÜHEN

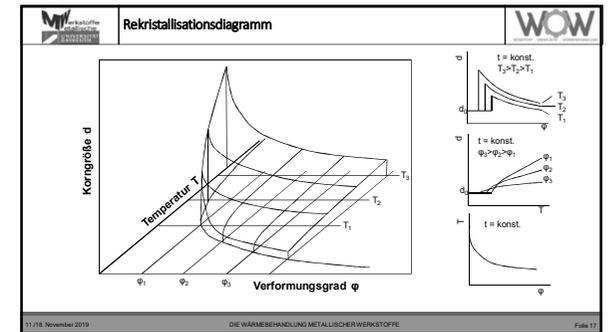
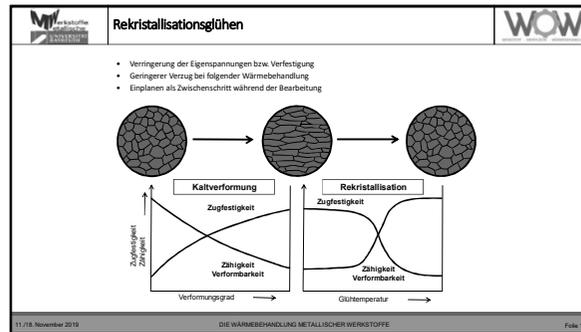
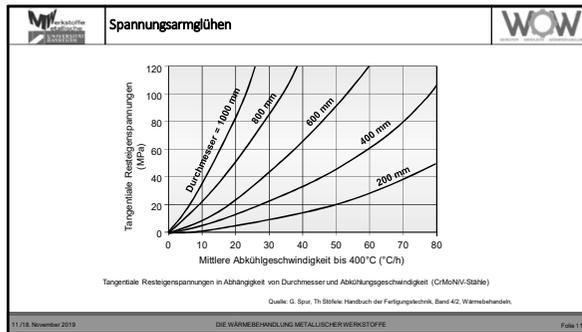
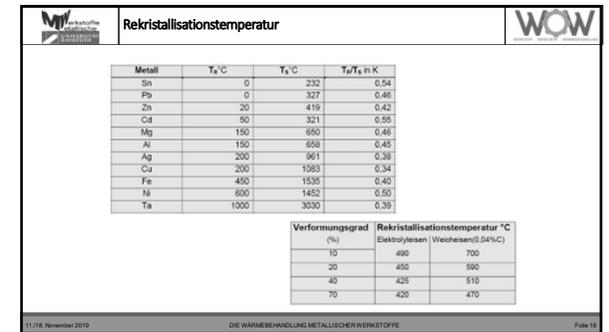
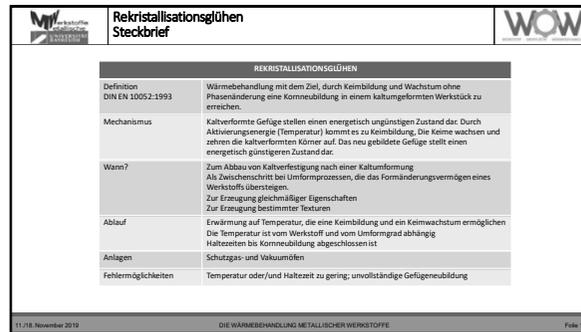
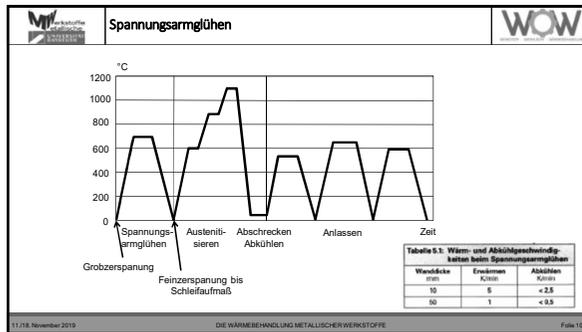
- 2.7.2 Rekristallisationsglühen
- 2.7.3 Weichglühen
- 2.7.4 Normalglühen
- 2.7.5 Grobkornglühen
- 2.7.6 Diffusionsglühen
- 2.8 Martensitisches Härten
- 2.8.1 Einfluss der Prozessparameter
- 2.8.2 Härbarkeit der Stähle
- 2.8.3 Anlassen
- 2.9 Bainitisches Härten / Zwischenstufenvergüten

11.11. November 2019 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 4

Spannungsglühen Steckbrief

SPANNUNGSARMGLÜHEN	
Definition	Wärmebehandlung, bestehend aus Erwärmen und Halten bei ausreichend hoher und anschließendem zweckentsprechenden Abkühlen, um innere Spannungen ohne wesentliche Änderung des Gefüges weitgehend abzubauen
Mechanismus	Durch Temperatur werden Versetzungen aktiviert, welche sich an anderen Versetzungen auslösen oder an die Grenzfläche laufen. Dies führt zum Abbau von Spannungsfeldern und zu plastischer Verformung
Wann?	Bei vorliegenden Eigenspannungen aus der mechanischen Bearbeitung (z.B. Zerspaltung, Kaltumformung) Bei (erbsonders lokaler) thermischer Beanspruchung (z.B. Schweißen, lokale Erwärmung...) Bei hoher Anforderung an Maßhaltigkeit
Ablauf	Erwärmung auf Temperatur, die eine Versetzungsbewegung erlaubt Bei Stählen unterhalb A ₁ Keine langen Haltezeiten erforderlich Langsames Abkühlen entsprechend Querschnitt Bei vergüteten Stählen 30-50°C unter Anlasstemperatur
Anlagen	Lüftarmwälzöfen (Oxidation) Schutzgas- und Vakuumöfen
Fehlermöglichkeiten	Temperatur zu gering; unzureichender Spannungsabbau Abkühlung zu schnell; dadurch entstehen erneut thermische Eigenspannungen Starke Oxidation durch zu lange Haltezeit

11.11. November 2019 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 5



Inhalt Block 3

2.7 GLÜHVERFAHREN

2.7.1 Spannungsarmglühen

2.7.2 REKRYSTALLISATIONSGLÜHEN

2.7.3 Weichglühen

2.7.4 Normalglühen

2.7.5 Grobkornglühen

2.7.6 Diffusionsglühen

2.8 Martensitisches Härten

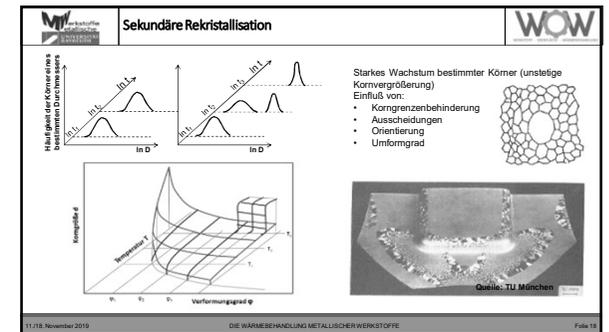
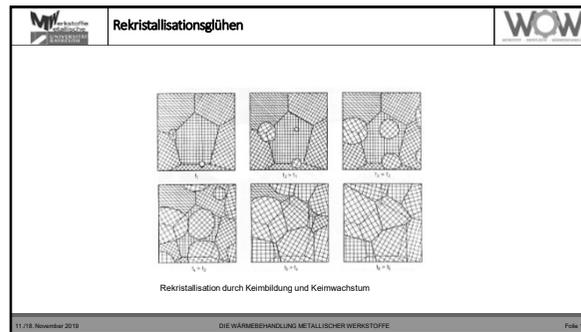
2.8.1 Einfluss der Prozessparameter

2.8.2 Härtebarkeit der Stähle

2.8.3 Anlassen

2.9 Bainitisches Härten / Zwischenstufenvergüten

11.11. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 12

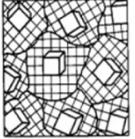


Tertiäre Rekristallisation

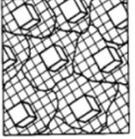
Von tertiärer Rekristallisation wird gesprochen, wenn Körner in Abhängigkeit von ihrer kristallografischen Orientierung bevorzugt wachsen. Bei dünnen Bleichen wird eine eingestellte Walztextur extrem stark ausgeprägt und die Größe der Körner erreicht Bleichdicke.

Anwendung: Trafobleche (Goss-Textur)

Regellose Körner

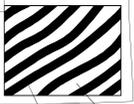
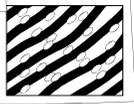


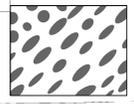
Ausgerichtete Körner



11/18. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 19

Weichglühen



Zementit Fe₃C Ferrit

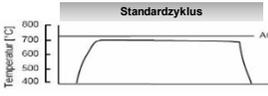
- Verringerung der Härte durch Einförmung von Zementitlamellen
- Verbesserte Zerspanbarkeit
- Triebkraft: kleinere Oberfläche der Zementitkügelchen (Grenzflächenenergie)



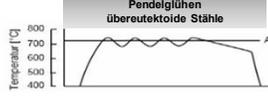
11/18. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 22

Weichglühen: Temperaturzyklus

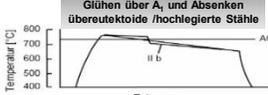
Standardzyklus



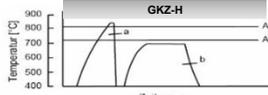
Pendelglühen überreutektoider Stähle



Glühen über A1 und Absenken überreutektoider/hochlegierter Stähle



Glühen über A1 und Absenken überreutektoider/hochlegierter Stähle



11/18. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 25

Inhalt Block 3

2.7 GLÜHVERFAHREN

2.7.1 Spannungsarmglühen

2.7.2 Rekristallisationsglühen

2.7.3 WEICHLÜHEN

2.7.4 Normalglühen

2.7.5 Grobkomnglühen

2.7.6 Diffusionsglühen

2.8 Martensitisches Härten

2.8.1 Einfluss der Prozessparameter

2.8.2 Härbarkeit der Stähle

2.8.3 Anlassen

2.9 Bainitisches Härten / Zwischenstufenvergüten

11/18. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 20

Weichglühen

	C10	C45	C100	Gefügezustand
				N
				GKZ-N
				GKZ-H

11/18. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 23

Inhalt Block 3

2.7 GLÜHVERFAHREN

2.7.1 Spannungsarmglühen

2.7.2 Rekristallisationsglühen

2.7.3 Weichglühen

2.7.4 NORMALGLÜHEN

2.7.5 Grobkomnglühen

2.7.6 Diffusionsglühen

2.8 Martensitisches Härten

2.8.1 Einfluss der Prozessparameter

2.8.2 Härbarkeit der Stähle

2.8.3 Anlassen

2.9 Bainitisches Härten / Zwischenstufenvergüten

11/18. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 26

Weichglühen Steckbrief

WEICHLÜHEN	
Definition DIN EN 10052:1993	Wärmebehandlung zum Vermindern der Härte eines Werkstoffes auf einen vorgegebenen Wert. Sonderform Glühen auf kugelige Carbide (GKZ). Glühen mit dem Ziel einer Einförmung der Carbide. Es umfasst im allgemeinen ein längeres Halten auf einer Temperatur bei A _{cs} , ggf. ein Pendeln um diese Temperatur.
Mechanismus	Lamellenförmige Carbidaufordnungen wie z. B. Perlit wirken härtestrengend, erschweren aber gleichzeitig die Bearbeitung. Kugelige Carbidaufordnungen sind energetisch günstiger (Grenzflächenenergie) und erleichtern die Bearbeitung. Hierzu sind Diffusionsvorgänge im Gefüge notwendig, sodass der Vorgang unter erhöhter Temperatur abläuft.
Wann?	Zur Verringerung der Härte Zur Verbesserung der Bearbeitung (Zerspanung, Kaltumformung...)
Ablauf	Erwärmung auf Temperatur, die eine Diffusion der C-Atome ermöglicht Temperatur knapp unter A _{c1} bzw. Pendeln um A _{c1} Haltezeiten bis gewünschte Härte bzw. Einförmigkeit erreicht ist
Anlagen	Luftumwälzöfen Schutzgas- und Vakuumöfen
Fehlermöglichkeiten	Temperatur oder/und Haltezeit zu gering; unvollständige Carbideinförmung

11/18. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 21

Weichglühen

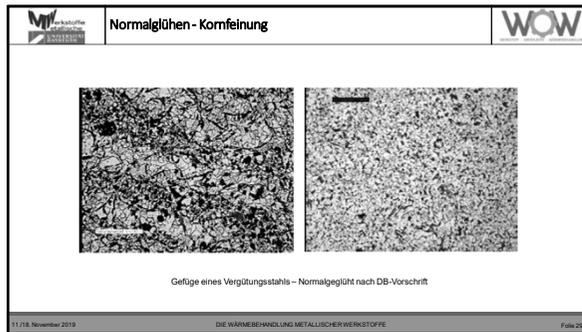
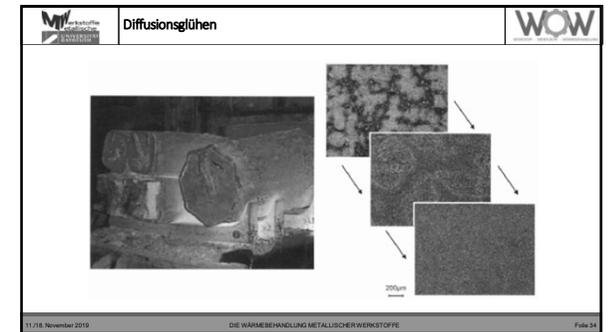
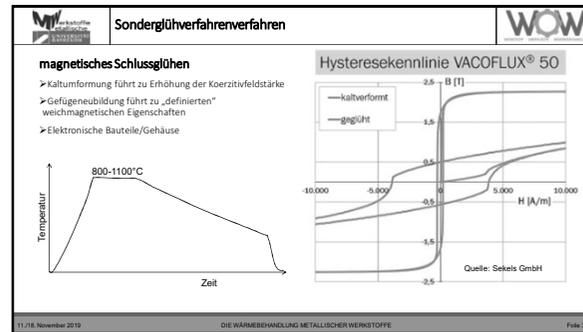
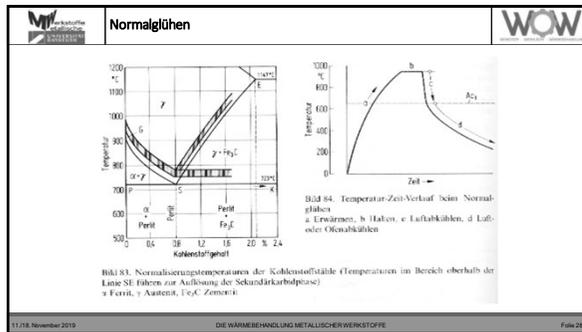
Werkkärner (Buderus Edelstahl) Richtreihe für das GKZ-Glühen von 100Cr6:
Prozentangaben für Anteil an lamellaren Perlit

11/18. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 24

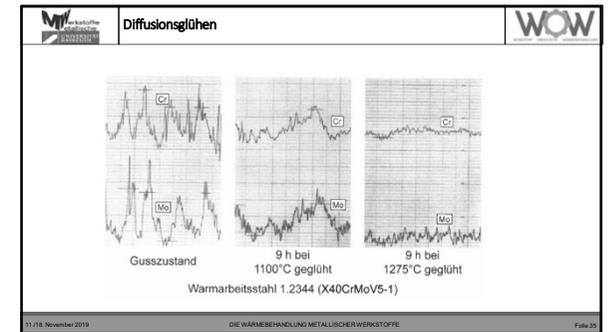
Normalglühen Steckbrief

NORMALGLÜHEN (NORMALISIEREN; FEINKORNGLÜHEN)	
Definition DIN EN 10052:1993	Wärmebehandlung bestehend aus Austenitisieren und anschließendem Abkühlen an ruhender Luft.
Mechanismus	Durch Durchschreiten der Austenitbildung kommt es zur Kornneubildung mit ferritischen Gefüge, welches i. d. R. einen kleineren Korndurchmesser hat als das Ausgangsgefüge.
Wann?	Zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften (feinkörniges Gefüge); Anstieg von Festigkeit und Zähigkeit Wird häufig durchgeführt z. B. nach dem Glühen, nach Schmiedeprozessen, nach dem Schweißen. Kann mehrfach wiederholt werden
Ablauf	Erwärmung auf Temperatur, bei der austenitisches Gefüge vorliegt, unterreutektoider Stähle über A _{c1} , unterreutektoider Stähle über A _{c2} . Danach kurze Haltezeit und Abkühlung entsprechend Querschnitt und Werkstoff, die Umwandlung sollte zügig durchlaufen werden, aber ohne Bainit- oder Martensitbildung.
Anlagen	Luftumwälzöfen Schutzgas- und Vakuumöfen
Fehlermöglichkeiten	Temperatur zu hoch oder/und Haltezeit zu lang; Kornvergrößerung Temperatur zu niedrig oder/und Haltezeit zu kurz; unvollständige Gefügebildung Abkühlung zu schnell; Bainit- oder Martensitanteile im Gefüge Abkühlung zu langsam; Kornfeinung nicht optimal

11/18. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 27



- Inhalt Block 3**
- 2.7 GLÜHVERFAHREN**
- 2.7.1 Spannungsarmglühen
 - 2.7.2 Rekristallisationsglühen
 - 2.7.3 Weichglühen
 - 2.7.4 Normalglühen
- 2.7.5 GROBKORNGLÜHEN**
- 2.7.6 Diffusionsglühen
- 2.8 Martensitisches Härten**
- 2.8.1 Einfluss der Prozessparameter
 - 2.8.2 Härbarkeit der Stähle
 - 2.8.3 Anlassen
 - 2.9 Bainitisches Härten / Zwischenstufenvergüten
- 11.11. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 32



Glühen - Sonderverfahren

BG-Glügen (Besonderes Gefüge):
 auch FP-Glügen (Ferrit-Perlit)
 Normalglühen bei 900-1000°C mit anschließender geregelter Abkühlung und isothermer Umwandlung; Wärmebehandlung nach Warmumformung

BF-Glügen (Besondere Festigkeit):
 Wärmebehandlung bei 850-950°C mit anschließendem Abkühlen aus der Schmiedehitze und folgendem Anlassen bei 500-550°C (Vergüten)

BY-Glügen:
 Kontrolliertes Abkühlen aus der Schmiedehitze

11.11. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 30

- Inhalt Block 3**
- 2.7 GLÜHVERFAHREN**
- 2.7.1 Spannungsarmglühen
 - 2.7.2 Rekristallisationsglühen
 - 2.7.3 Weichglühen
 - 2.7.4 Normalglühen
 - 2.7.5 Grobkornglühen
- 2.7.6 DIFFUSIONSGLÜHEN**
- 2.8 Martensitisches Härten
 - 2.8.1 Einfluss der Prozessparameter
 - 2.8.2 Härbarkeit der Stähle
 - 2.8.3 Anlassen
 - 2.9 Bainitisches Härten / Zwischenstufenvergüten
- 11.11. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 33

- Inhalt Block 3**
- 2.7 Glühverfahren
 - 2.7.1 Spannungsarmglühen
 - 2.7.2 Rekristallisationsglühen
 - 2.7.3 Weichglühen
 - 2.7.4 Normalglühen
 - 2.7.5 Grobkornglühen
 - 2.7.6 Diffusionsglühen
 - 2.8 MARTENSITISCHES HÄRTEN**
 - 2.8.1 Einfluss der Prozessparameter
 - 2.8.2 Härbarkeit der Stähle
 - 2.8.3 Anlassen
 - 2.9 Bainitisches Härten / Zwischenstufenvergüten
- 11.11. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 36

Historische Härteanweisung

Erstlich wie man eysen
 n.n., 1532 bei Peter Jordan in Mainz gedruckt:
Von Stahel und Eysen

Erstlich wie man Eysen härten und wieder weich machen soll.

Nimm Eisenkraut, sowohl die Stengel als auch die Blätter Zerstampfe es und presse den Saft durch ein Tuch, den den Saft in ein Glas und hebe es auf

Wenn Du dann Härten wilt, so tue auch soviel Harn eines Mannes dazu als Saft vorhanden ist

Tue ferer Saft von den Würmen dazu, die man Eperlinge nennt

Laß dann das Eisen nicht gar zu heilß werden

Sondern nur bis es eine ausreichende Hitze hat ...

Die Härte des Eisens zu besettigen
 Lasse Menschenhüt abtöthen, bis Wasser darauf steht

Dieses Wasser wird abgeseibet und aufbewahrt

Danach halte die gehärteten Waffen ins Feuer

Bis dass sie heiß werde

Dann streiche das Blutwasser mit einer Feder auf

Wenn das Wasser verdampft ist, so werde sie weich ...

11.18. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 27

Inhalt Block 3

2.7 Glühverfahren
 2.7.1 Spannungsarmglühen
 2.7.2 Rekristallisationsglühen
 2.7.3 Weichglühen
 2.7.4 Normalglühen
 2.7.5 Grobkornglühen
 2.7.6 Diffusionsglühen

2.8 MARTENSITISCHES HÄRTEN
2.8.1 EINFLUSS DER PROZESSPARAMETER
 2.8.2 Härbarkeit der Stähle
 2.8.3 Anlassen
 2.9 Bainitisches Härten / Zwischenstufenvergüten

11.18. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 40

Temperaturzyklus beim Härten

1. Erwärmen (genügt)
 2. Austenitisieren (spez. Härte Temperatur)
 3. Abschrecken
 so mild wie möglich, so schnell wie nötig
 4. Anlassen

Quelle: Stahl-Informationszentrum

11.18. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 43

Begriffe der Wärmebehandlung (EN 10052)
Härten

Härten
 Wärmebehandlung bestehend aus Austenitisieren und Abkühlen unter solchen Bedingungen, dass eine Härtezunahme durch mehr oder weniger vollständige Umwandlung des Austenits in Martensit und ggf. Bainit erfolgt.

Austenitisieren
 Wärmebehandlungsschritt, in dessen Verlauf das Werkstück auf eine Temperatur gebracht wird, bei der die Matrix austenitisch wird.

Abschrecken
 Wärmebehandlungsschritt, bei dem Werkstück mit größerer Geschwindigkeit als an ruhender Luft abgekühlt wird.

Abkühlungsgeschwindigkeit
 Sie gibt die Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit während des Abkühlens an. Man unterscheidet:
 - die momentane Abkühlgeschwindigkeit bei einer bestimmten Temperatur
 - die mittlere Abkühlgeschwindigkeit in einem bestimmten Temperaturintervall

kritischer Abkühlverlauf
 Abkühlverlauf, bei dem eine vollständige Umwandlung (bei Vermeidung ungewünschten Gefüges) unter den vergleichsweise mildesten Abkühlbedingungen erreicht werden.

11.18. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 38

Härte von Martensit

11.18. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 41

Das Austenitisieren

Parameter
Austenitisierungstemperatur:
 Ist werkstoffabhängig und kann entsprechenden Datenblättern entnommen werden. Prinzipiell steigt die Austenitisierungstemperatur mit zunehmendem Gehalt an Sonderkarbidbildnern, da die Karbide im Gefüge in Lösung gebracht werden müssen.

Darf nicht zu hoch sein, da es sonst zu unerwünschter Kornvergrößerung kommt (Überhitzung)

Austenitisierungszeit:
 Muss lang genug sein, um homogenen Austenit zu bilden

Darf insbesondere bei hohen Härtetemperaturen nicht zu lang sein, da es sonst zu einer unerwünschten Kornvergrößerung kommt (Überzeitung)

11.18. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 44

Begriffe der Wärmebehandlung (EN 10052)
Härten

Bainitisieren; isothermes Umwandeln in der Bainitstufe; Zwischenstufenvergüten
 Wärmebehandlung, bestehend aus Austenitisieren und anschließend gestuften Abschrecken auf eine Temperatur oberhalb M_s mit solcher Geschwindigkeit, dass jegliche Bildung von Ferrit oder Perlit vermieden wird, und Halten auf dieser Temperatur, um den Austenit teilweise oder vollständig in Bainit umzuwandeln.

Anlassen
 Wärmebehandlung, die im allgemeinen nach einem Härten oder einer anderen Wärmebehandlung durchgeführt wird, um gewünschte Werte für bestimmte Eigenschaften zu erreichen.

Sie besteht aus ein- oder mehrmaligem Erwärmen auf eine vorgegebene Temperatur ($<A_1$), Halten auf dieser Temperatur und anschließendem zweckentsprechendem Abkühlen.

Vergüten
 Härten und Anlassen bei höherer Temperatur, um die gewünschte Kombination der mechanischen Eigenschaften, insbesondere Zähigkeit und Duktilität, zu erreichen.

Warmbadhärten
 Wärmebehandlung, bestehend aus Austenitisieren, anschließend gestuften Abschrecken auf eine Temperatur dicht oberhalb M_s mit solcher Geschwindigkeit, dass die Bildung von Ferrit, Perlit oder Bainit vermieden wird, und einem ausreichend langen Halten bei jener Temperatur, um einen Temperaturausgleich über den Querschnitt zu erzielen, jedoch nicht zu lange, um Bainitbildung zu vermeiden.

11.18. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 39

Bedingungen für die Martensitbildung

☞ Gefüge homogener Austenit
 ☞ Abkühlgeschwindigkeit schneller als kritischer Abkühlverlauf (v_{kr})
 ☞ Temperatur kleiner als Martensitstarttemperatur (M_s)

Empirische Formel zur Abschätzung der Martensitstarttemperatur:
 $M_s (1\%) = 561 - 474 (\%C) - 33 (\%Mn) - 17 (\%Cr) - 17 (\%Ni) - 21 (\%Mo) (^\circ C)$
 $M_f (0\%) = 485 - 27^\circ C$
 $M_f (0,9\%) = 485 - 424^\circ C$

11.18. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 42

Austenitisierungstemperaturen

1: Unlegierte Stähle C45, C60, C100
 2: Niedrig legierte Vergütungsstähle 42CrMo4, 50 CrV4, 30MnB4
 3: Niedriglegierte Wälzlagerstähle 100Cr6, 100CrMo6-7
 4: Hochlegierte Warmarbeitsstähle X38CrMoV5-1, X32CrMoV5-3
 5: Härbbare korrosionsbeständige Stähle X40Cr13, X39CrMo17-1, X105CrMo17
 6: Ledgeburtsche Kaltarbeitsstähle X210Cr12, X155CrMo12-1
 7: Schnellarbeitsstähle, PM-Stähle H56-5-2, H56-5-2-6

11.18. November 2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 45

Abschrecken - Abschreckmedien

Abschreckmittel

Gasförmige (bis 20 bar) <ul style="list-style-type: none"> • Luft • N₂ • He • H₂ 	Flüssige <ul style="list-style-type: none"> • Härteöle (Mineralöle, synthetische Öle) • Wässrige Lösungen (Polymerbäder) 	Bei RT feste <ul style="list-style-type: none"> • Metallschmelzen (Blei, Zinn) • Salzschmelzen (Nitritbasis)
---	---	---

11.11.2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 48

Restausenit

Liegt die Martensitnischtemperatur unterhalb Raumtemperatur, so bleibt im Gefüge nicht umgewandelter Austenit erhalten, welcher als Restausenit bezeichnet wird. Dieser ist jedoch nicht stabil und kann im Laufe der Zeit in Martensit umwandeln, weswegen er in der Regel unerwünscht ist.

Abhilfemaßnahmen:

- Anlassen
- Tiefkühlen unter M_s

11.11.2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 49

Inhalt Block 3

- 2.7 Glühverfahren
 - 2.7.1 Spannungsarmglühen
 - 2.7.2 Rekristallisationsglühen
 - 2.7.3 Weichglühen
 - 2.7.4 Normalglühen
 - 2.7.5 Grobkomglühen
 - 2.7.6 Diffusionsglühen
- 2.8 MARTENSITISCHES HÄRTEN**
 - 2.8.1 Einfluss der Prozessparameter
 - 2.8.2 HÄRTBARKEIT DER STÄHLE**
 - 2.8.3 Anlassen
 - 2.9 Bainitisches Härten / Zwischenstufenvergüten

11.11.2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 52

Abschrecken - Dampfhaubitung

11.11.2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 47

Morphologie des Martensits

Lanzettenmartensit (LM) (Massiv-Martensit) gemischt Plattenmartensit (PM) (Nadel-Martensit) Restausenit (RA)

Temperatur in °C vs Kohlenstoffgehalt in Ma.-%

11.11.2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 50

Stirnabschreckversuch nach Jominy

Härtbarkeit (nach DIN EN 10052:1994)
Fähigkeit eines Stahles, in Martensit und/oder Bainit umzuwandeln. Unter vorgegebenen Bedingungen des Härten wird die Härte oft durch den Härteverlauf in Abhängigkeit vom Abstand zu abgeschreckten Oberfläche eines gehärteten Werkstückes gekennzeichnet, z.B. durch die Härteverlaufskurve im STIRNABSCHRECKVERSUCH

11.11.2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 53

Abschrecken - Abschreckmedien

11.11.2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 48

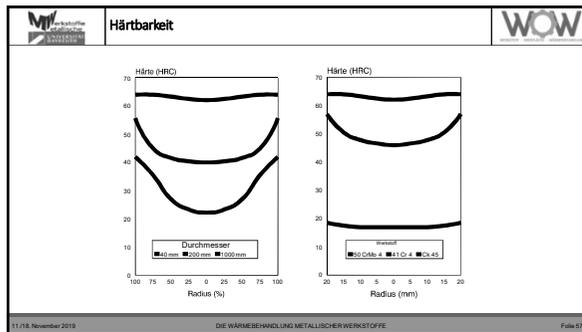
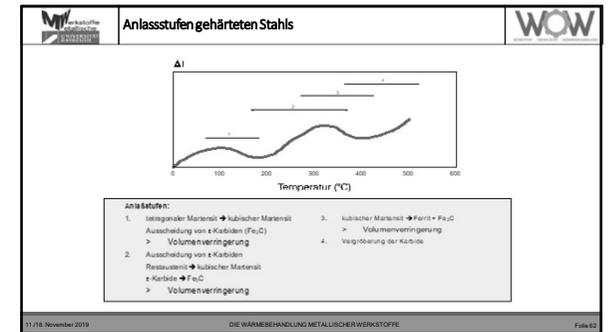
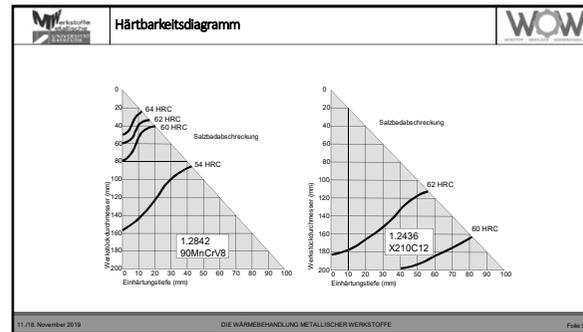
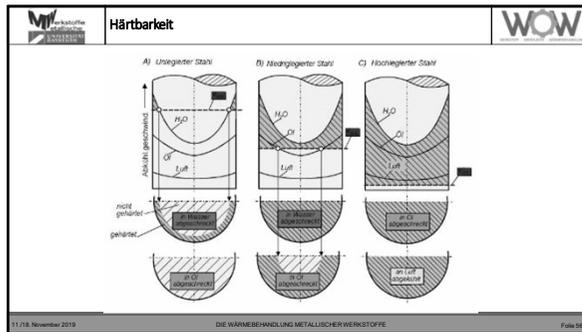
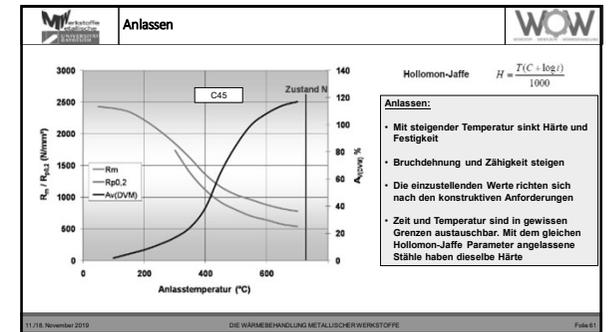
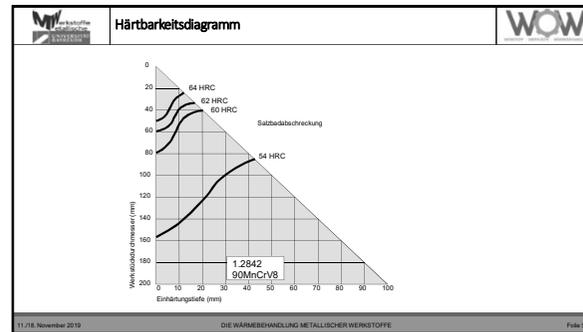
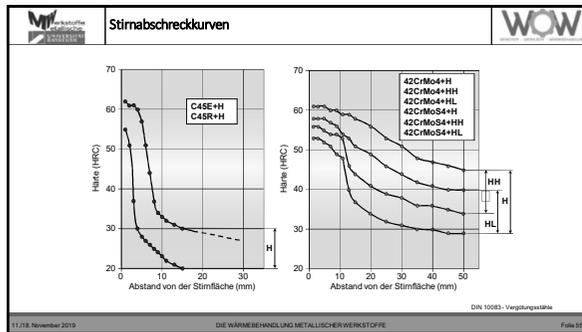
Gefügeausbildung von Martensit

Nach dem Umklappen ins Martensitgitter hat der Kohlenstoff eine wesentlich höhere Diffusionsgeschwindigkeit als im Austenit. Aus diesem Grund scheiden sich noch während der Abkühlung bei den zuerst (bei hohen Temperaturen) gebildeten Martensitplatten feinste Karbidausscheidungen aus. Dadurch ätzen sie sich im Schlift dunkel an.

11.11.2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 51

Härteverlauf Jominy-Probe

11.11.2010 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 54

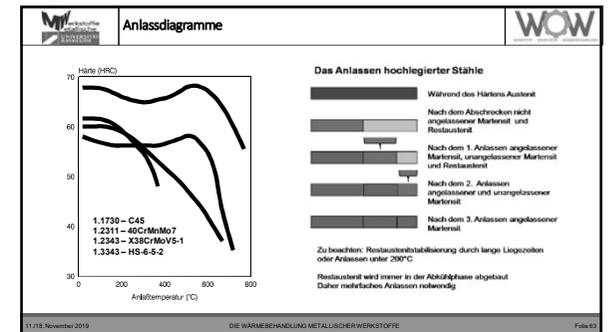


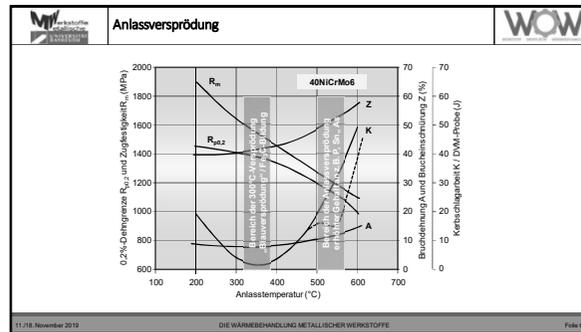
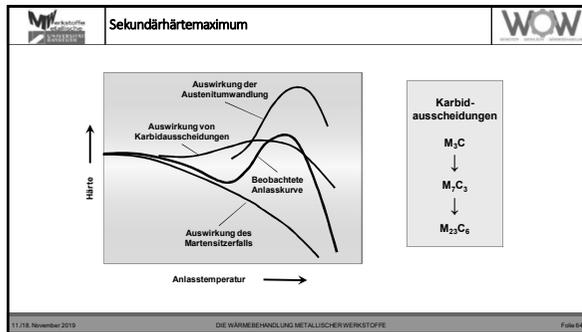
Inhalt Block 3

2.7 Glühverfahren
 2.7.1 Spannungsarmglühen
 2.7.2 Rekristallisationsglühen
 2.7.3 Weichglühen
 2.7.4 Normalglühen
 2.7.5 Grobkornglühen
 2.7.6 Diffusionsglühen

2.8 MARTENSITISCHES HÄRTEN
 2.8.1 Einfluss der Prozessparameter
 2.8.2 Härtebarkeit der Stähle
2.8.3 ANLASSEN
 2.9 Bainitisches Härten / Zwischenstufenvergüten

11.11. November 2019 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 60

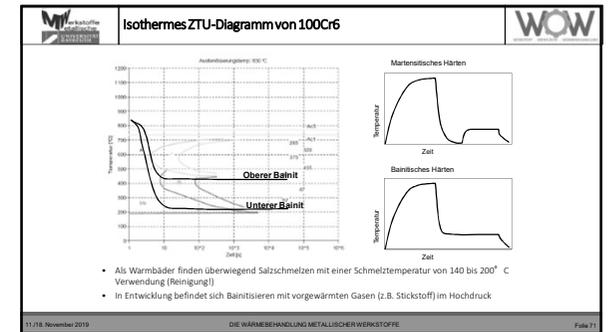
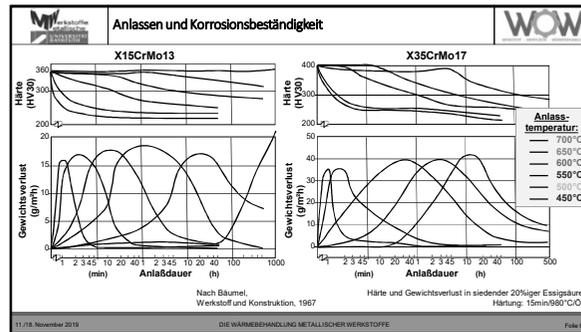
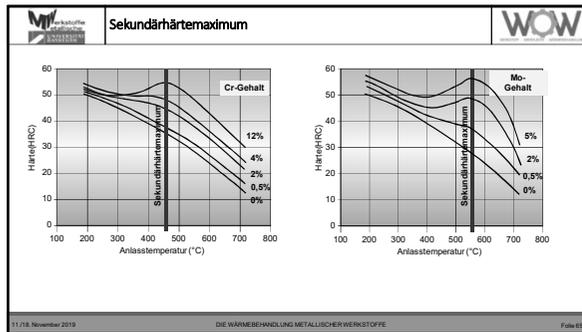




Inhalt Block 3

- 2.7 Glühverfahren
 - 2.7.1 Spannungsarmglühen
 - 2.7.2 Rekristallisationsglühen
 - 2.7.3 Weichglühen
 - 2.7.4 Normalglühen
 - 2.7.5 Grobkomglühen
 - 2.7.6 Diffusionsglühen
- 2.8 Martensitisches Härten
 - 2.8.1 Einfluss der Prozessparameter
 - 2.8.2 Härbarkeit der Stähle
 - 2.8.3 Anlassen
- 2.9 BAINITISCHES HÄRTEN / ZWISCHENSTUFENVERGÜTEN**

11.18. November 2019 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 70



Ausscheidungen in Stählen

Ausscheidung	Struktur	Matrix	Mz	Ausscheidung	Struktur	Matrix	Mz
Eisenmatrixlegierung mit interstitiellen Legierern							
Fa-X		>150°C	>250°C	M-M		>450°C	>700°C
Fe-C	hex	ε-Karbid	+	NaN	ktz	β2-Phase	++
Fe-C	oH	Zementit	+	NaN	KS	γ'-Phase	++
Fe-N	bcz	ε'-Nitrid	++	NaN	hex	α-Phase	-
Fe-N	kb	γ'-Nitrid	+	Fe3Mo2W6	ds	μ-Phase	-
Metallmatrixlegierung mit interstitiellen Legierern							
M-X		>450°C	>600°C	Fe3(Mo,W)	hex	Lavao-Phase	-
MC	kb	V, Nb, Ti	-	FeC	tetr	α-Phase	-
M-C	hex	Mn, V	++	Fe3C2, Mn3C2	kbz	α-Phase	-
M3C	hex	Cr	-	Fe3Mo2W6	kb	ε-Phase	+
M3C	kb	Cr	-				
M3C	kb	Mn, W	-				
MN	kb	Cr	-				
MN	hex	Al	-				
M,N	hex	Cr	-				

11.18. November 2019 DIE WÄRMEBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Folie 66

