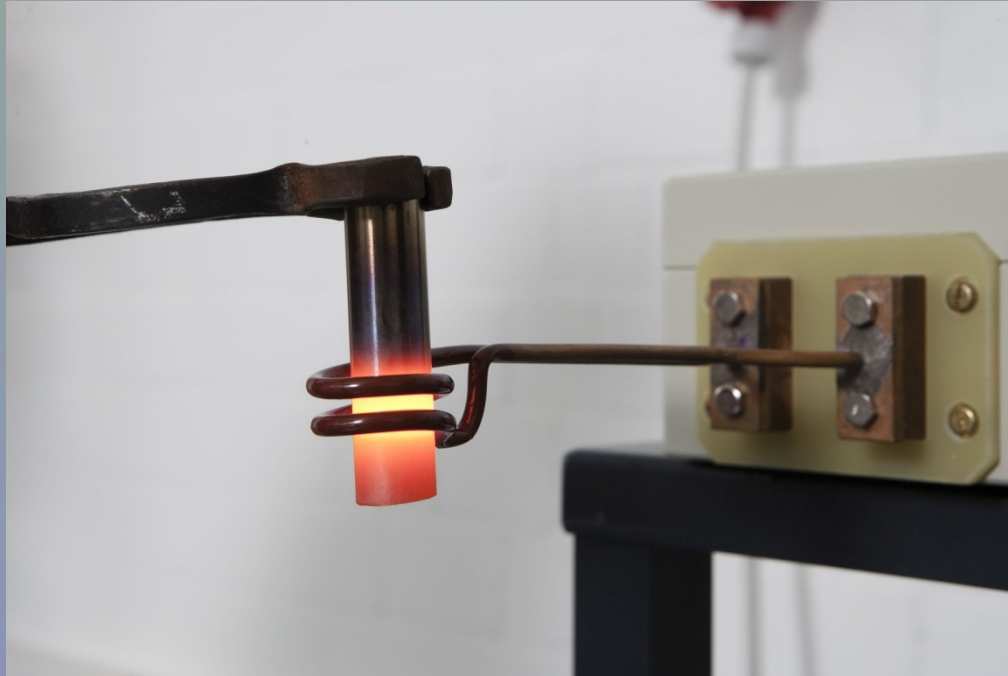


Untersuchung verschiedener Wärmebehandlungsparameter eines C60



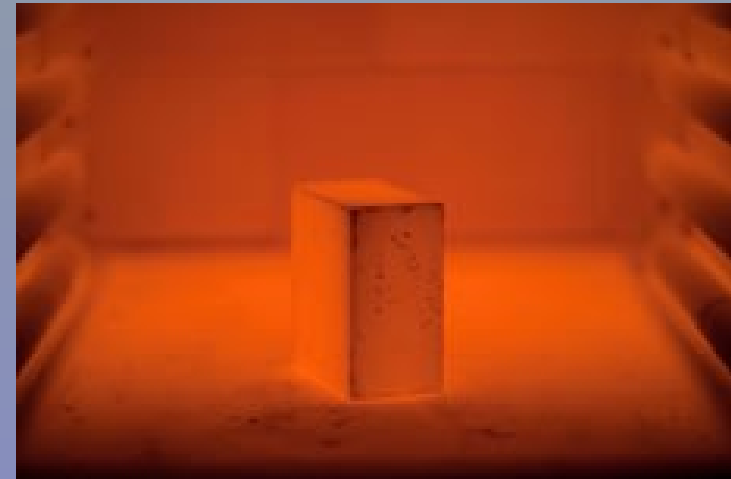
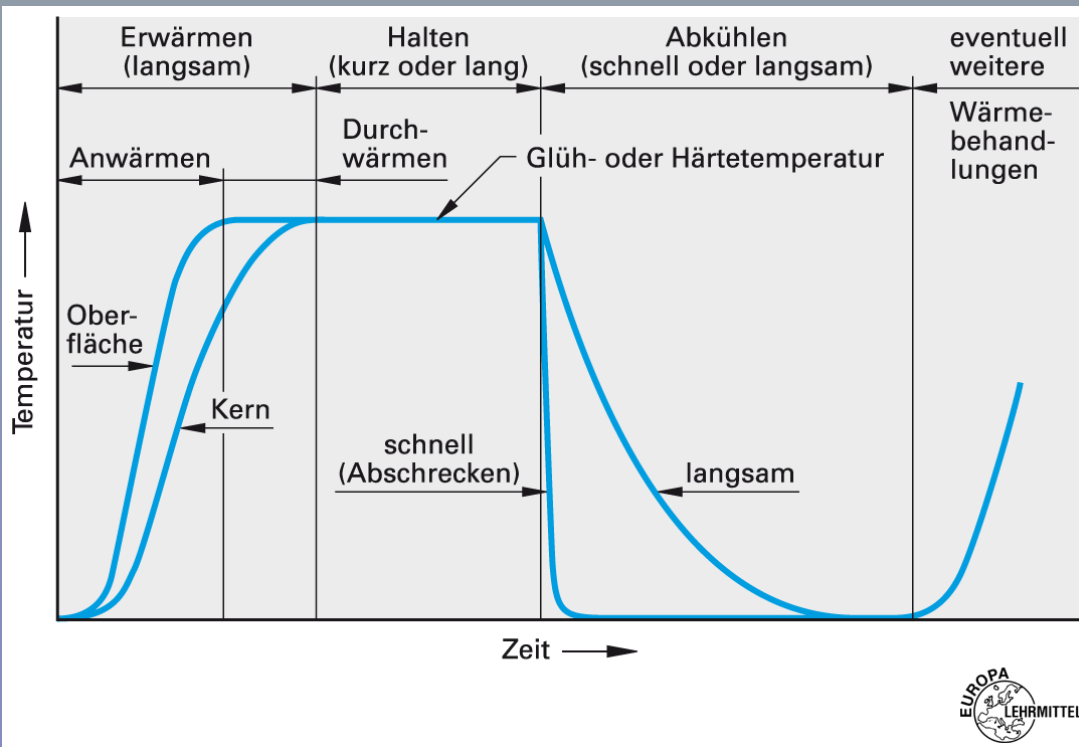
- Autoren: Marcel Esper, Christian Kunz
- Klasse: HME09a (2. Ausbildungsjahr)
- Fachlehrer: Herr Dr. Alkan, Frau Schwabe
- Fächer: Werkstofftechnik, Werkstoffprüfung & Analyse,
Metallographie

Inhaltsverzeichnis

1. Aufgabenstellung
2. Die geplanten Wärmebehandlungen
3. Erwartungen an die Ergebnisse
4. Versuchsdurchführung
5. Auswertung und Diskussion der Ergebnisse
6. Zusammenfassung
7. Danksagung

1. Aufgabenstellung

Untersuchung unterschiedlicher Einflussparameter der Wärmebehandlung auf die Gefügeausbildung und auf die Härte eines C60.



2. Die geplanten Wärmebehandlungen

Einfluss der Austenitisierungstemperatur bei Luftabkühlung:

Nr.	Austenitisierungstemperatur (°C)	Haltezeit (min)	Abkühlmedium	Untersuchung
Ausgangszustand	-----	-----	Luft	Gefügeuntersuchung und Härtemessung
1	750°C	35	Luft	
2	850°C	35	Luft	
3	1050°C	35	Luft	

Einfluss der Abkühlgeschwindigkeit bei gleichen Austenitisierungsbedingungen:

Nr.	Austenitisierungstemperatur (°C)	Haltezeit (min)	Abkühlmedium	Untersuchung
Ausgangszustand	-----	-----	Luft	Gefügeuntersuchung und Härtemessung
1	850°C	55	Ofen	
2	850°C	55	Watte	
3	850°C	55	Luft	
4	850°C	55	Öl	
5	850°C	55	Wasser	
6	850°C	55	N	

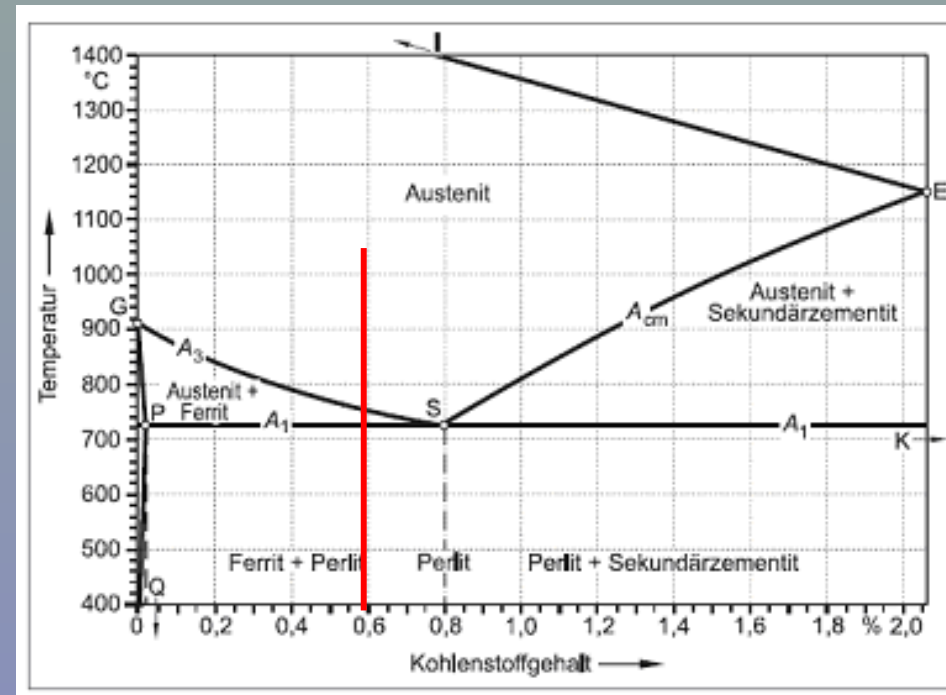
Einfluss der Anlasstemperatur bei optimaler Härtetemperatur:

Nr.	Austenitisierungstemperatur (°C)	Haltezeit (min)	Abkühlmedium	Anlassbedingungen	Untersuchung
1	850°C	35	Wasser	Keine	Gefügeuntersuchung und Härtemessung
2	850°C	35	Wasser	200°C/1 Std.	
3	850°C	35	Wasser	400°C/1 Std.	
4	850°C	35	Wasser	600°C/1 Std.	

3. Erwartungen an die Ergebnisse

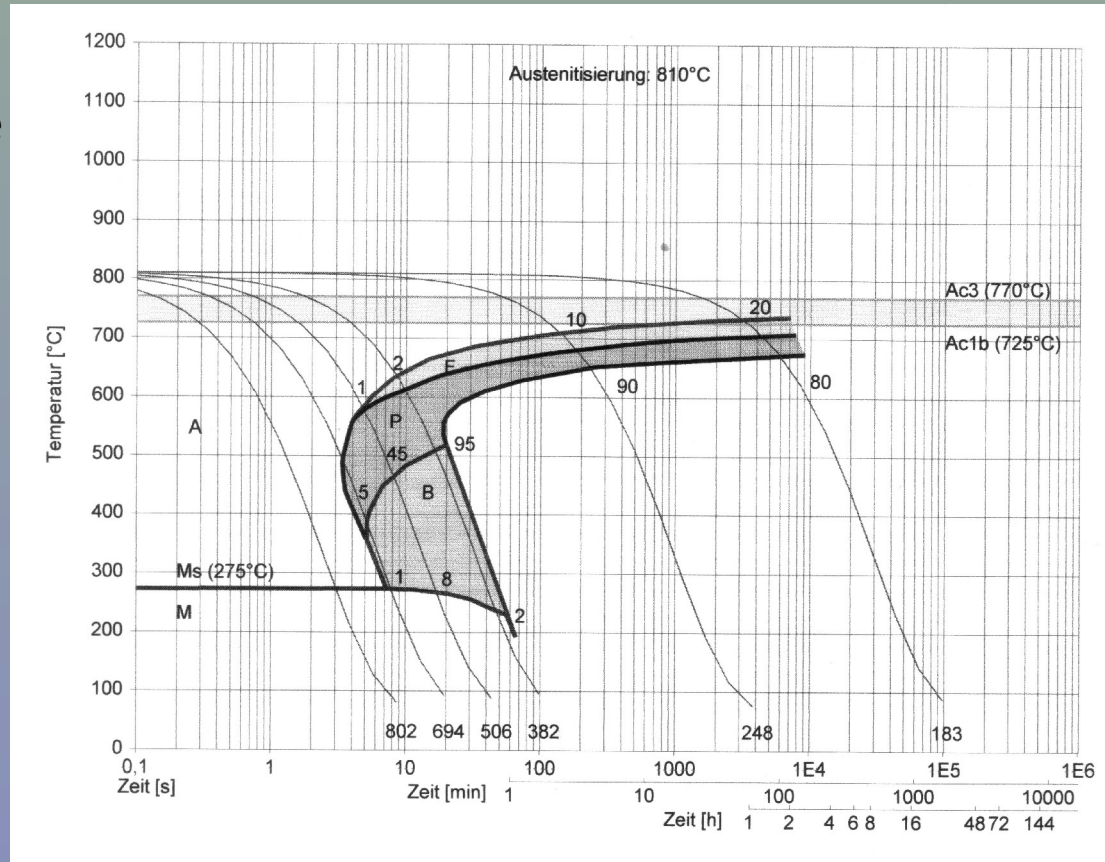
Variation der Austenitisierungstemperatur:

- $T_{Aus} = 850^{\circ}\text{C}$ (optimale Austenitisierungstemperatur):
 - Korngrenzenferrit und feinlamellarer Perlit
 - geschätzter Härtewert bei 230-280 HV
- $T_{Aus} = 750^{\circ}\text{C}$ (entspricht fast GS-Linie):
 - unvollständige Austenitisierung / evt. Inhomogener Austenit
 - nur teilweise Umwandlung des Ferrits in Austenit
- $T_{Aus} = 1050^{\circ}\text{C}$ (überhitzt):
 - grobkörniges Gefüge
 - evtl. Bildung von Widmannstättenschem Gefüge
 - geringere Härtewerte als $T_{Aus} = 850^{\circ}\text{C}$



Variation der Abkühlgeschwindigkeit gemäß ZTU

- Ofenabkühlung:
 - ferritisch-perlitische Gefüge nahe dem Gleichgewichtszustand
 - Härtewert: ca. 185 HV
- Luftabkühlung:
 - Korngrenzenferrit und feinlamellarer Perlit
 - Härtewert: ca. 230-280 HV
- Watteabkühlung (Al_2O_3):
 - Gefüge ähnlich der Luftabkühlung
 - Härtewert zwischen Ofen- und Luftabkühlung



Variation der Abkühlgeschwindigkeit gemäß ZTU

Ölabkühlung:

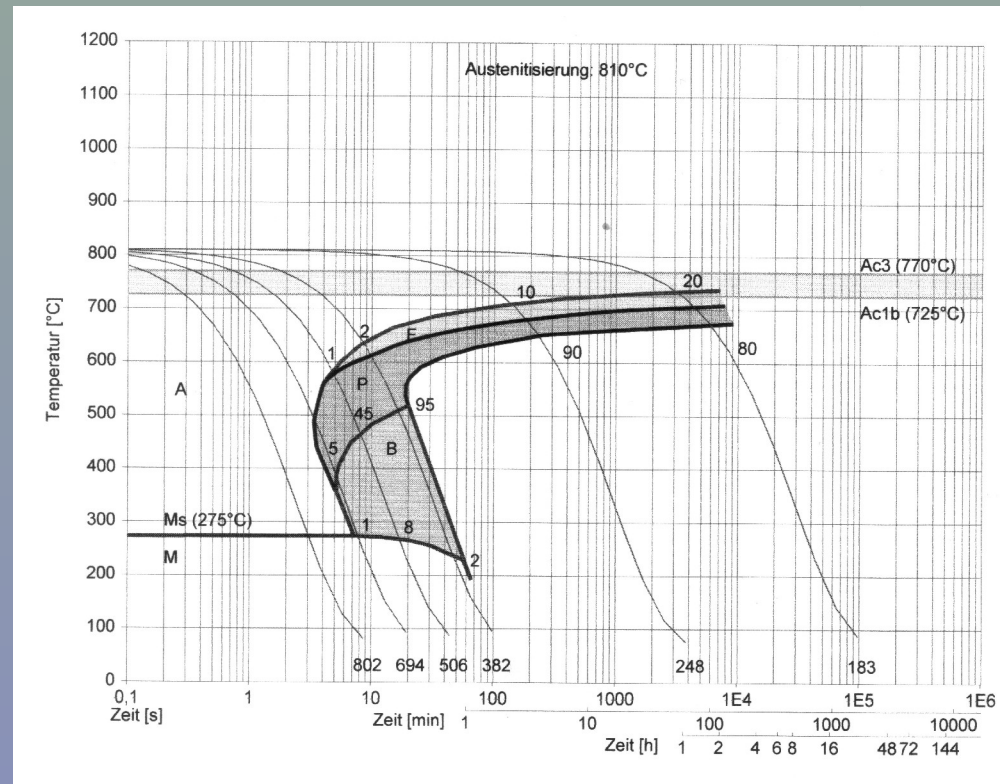
- Rand: Martensit, Bainit und Ferrit-Perlit (Perlit feinlamellar)
- Rand Richtung Kern: zunehmend niedrigerer Martensitanteil, zunehmend höherer Anteil an Bainit und Ferrit-Perlit
- höhere Härtewerte als Luftabkühlung, Abnahme vom Rand zum Kern

Wasserabkühlung:

- Rand: martensitisches Gefüge
- Rand Richtung Kern: zunehmende Anteile an Bainit und Ferrit-Perlit (feinlamellar)
- höhere Härtewerte als Ölabkühlung, leichte Abnahme vom Rand zum Kern

Stickstoffabkühlung:

- theoretisch schnellste Abkühlgeschwindigkeit
- komplett martensitisches Gefüge
- höchste Härtewerte



Variation der Anlasstemperatur gemäß Anlass- und Vergütungsschaubilder

Anlasstemperatur 200°C:

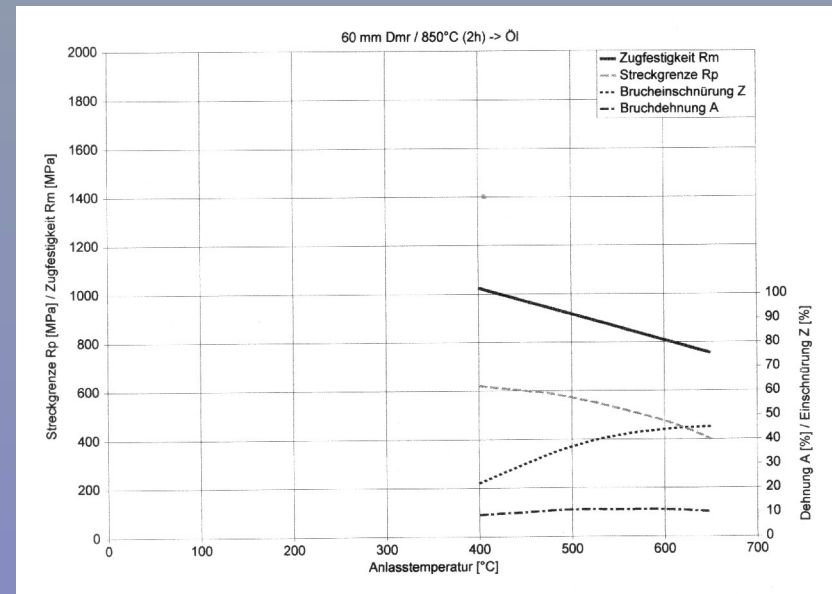
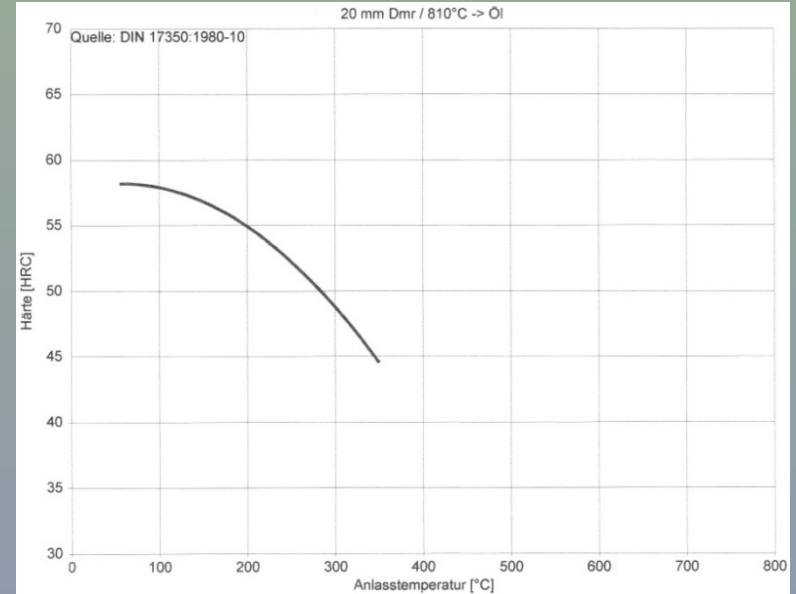
- martensitische Gefügestruktur immer noch gut erkennbar
- Martensit mit geringen Mengen an Fe_3C -Ausscheidungen
- niedrigere Härtewerte als bei Wasserabkühlung

Anlasstemperatur 400°C:

- Auflösung der Martensitstruktur, Zunahme der Fe_3C -Ausscheidungen
- niedrigere Härtewerte als bei Anlasstemperatur 200°C

Anlasstemperatur 600°C:

- ausgeprägtes Vergütungsgefüge
- niedrigere Härtewerte als bei Anlasstemperatur 400°C



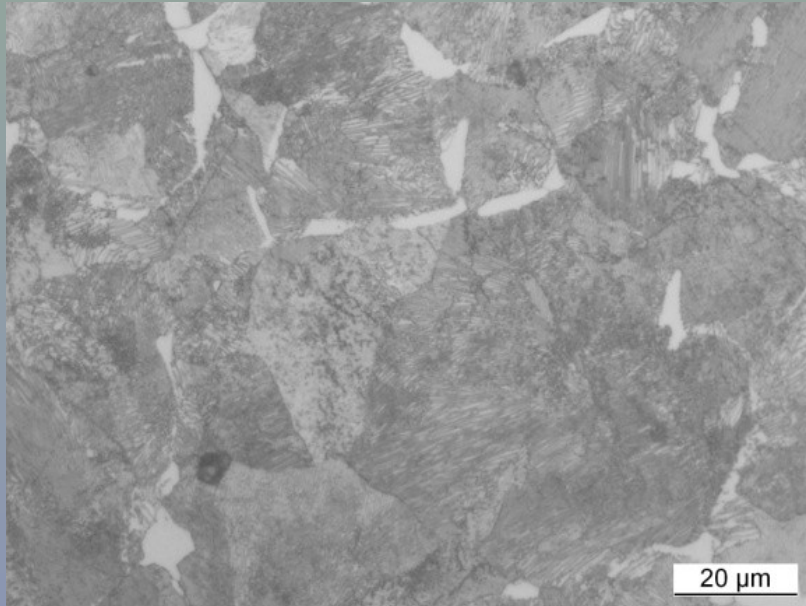
4. Versuchsdurchführung

1. Probenabmessungen
 - Zylinder: L=40 mm, D=30 mm
1. Trennen
2. Durchführung der Abkühlversuche am Max-Planck-Institut für Eisenforschung; Durchführung der Austenitisierungs- und Anlassversuche am TBK-Solingen
3. Einbetten
 - Jede Probe als Quer- und Längsschliff
1. Schleifen
 - Körnung: 120er, 320er, 500er, 800er, 1200er und 2400er (SiC)
1. Polieren
 - Harte Werkstoffzustände: 6, 3 und 1 μm (Dac)
 - Weichere Werkstoffzustände: 6, 3 und 1 μm (Mol)
 - Chemisch-mechanisch mit OPS
1. Mikroätzen mit 3% Nital
2. Analyse der Gefügestruktur am Lichtmikroskop und Dokumentation
3. Härteprüfung nach Vickers (Kleinlast HV 0,5)

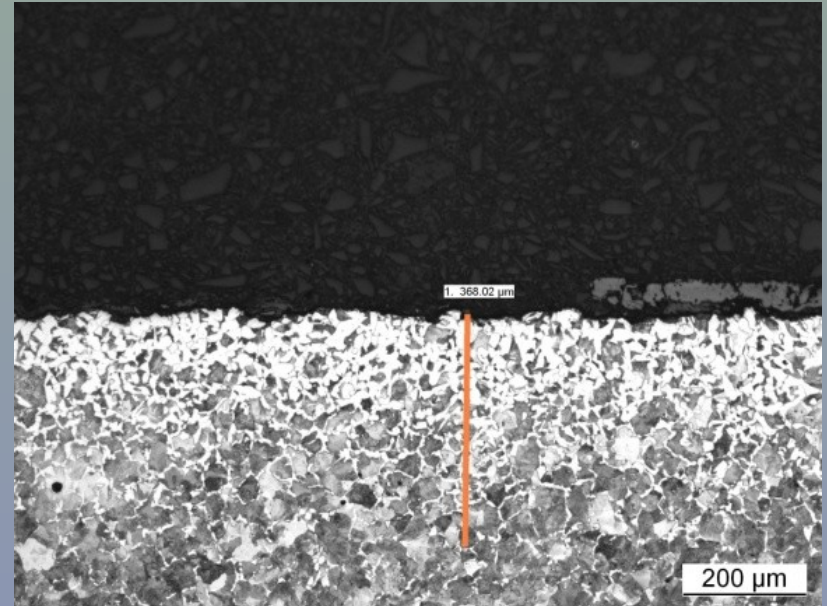


5. Auswertung und Diskussion der Ergebnisse:

Ausgangszustand:



Korngrenzenferrit +feinstreifiger Perlit



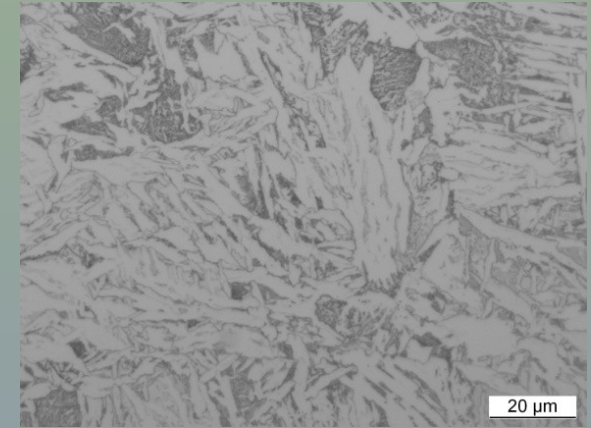
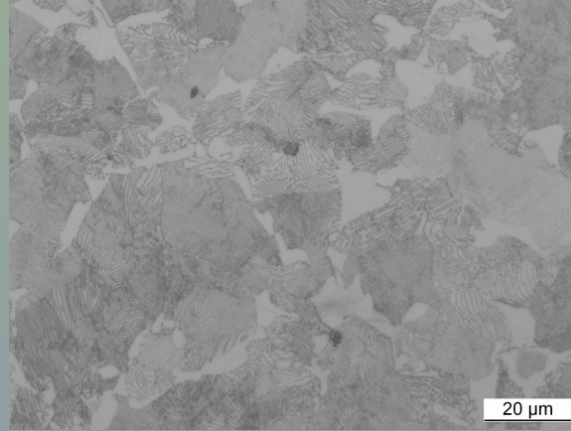
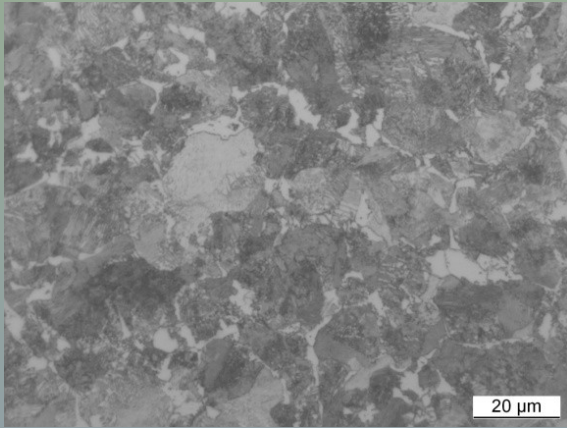
- Randentkohlung DD=0,37mm
- Alle Proben waren davon betroffen

Härtewerte HV 0,5:

Rand:	247 HV 0,5
Übergang:	265 HV 0,5
Kern	277 HV 0,5

→ Deswegen wird nur die Kernhärte untersucht.

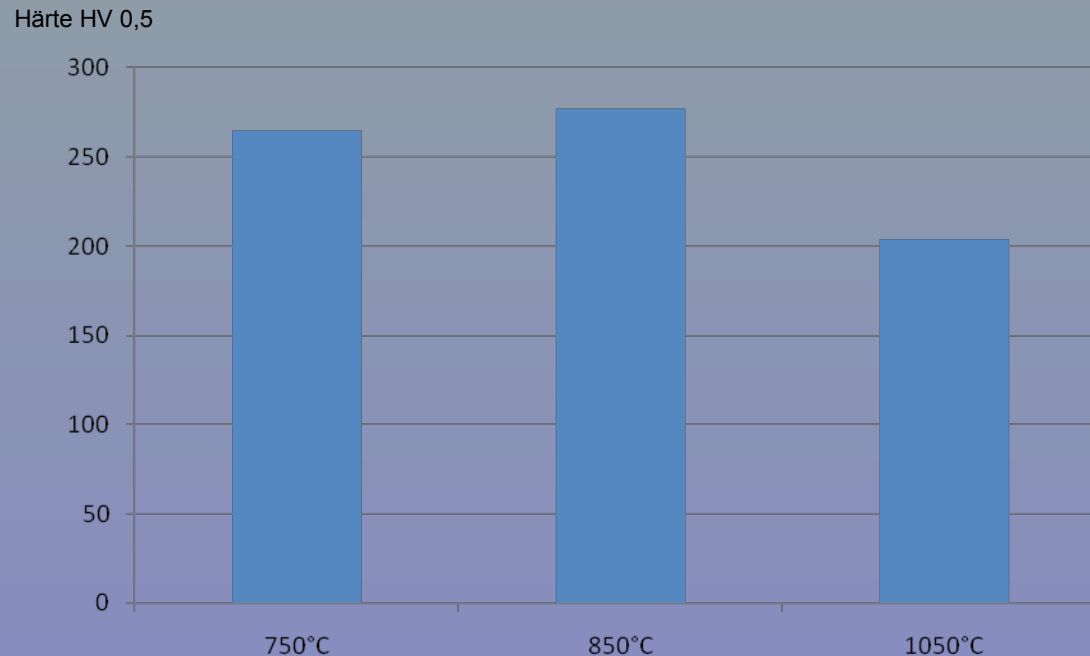
Einfluss der Austenitierungstemperatur



**Korngrenzenferrit +feinstreifiger Perlit
(750°C austenitisiert)**

**Korngrenzenferrit + feinstreifiger Perlit
(850°C austenitisiert)**

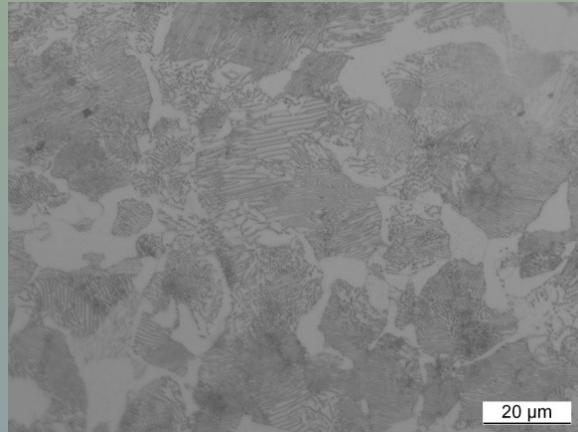
**Widmannstättensches Gefüge + sehr
feinstreifiger Perlit + wenig Bainit
(1050°C austenitisiert)**



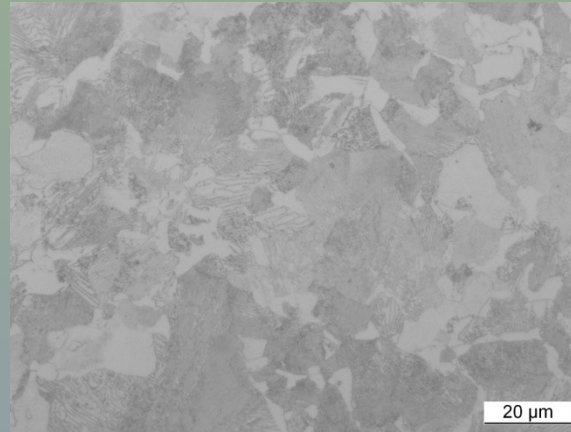
Fazit:

- Die Austenitierungstemperatur beeinflusst die Gefügeumwandlung, die Homogenität sowie die Korngröße.
- Der Einfluss der Austenitierungstemperatur auf die Gefüge- und Werkstoffeigenschaften ist somit groß.

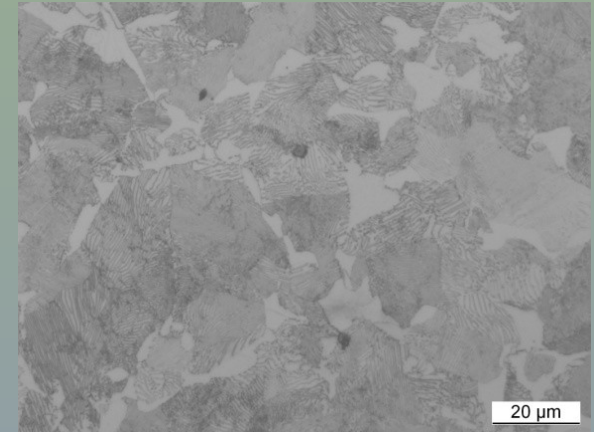
Einfluss der Abkühlgeschwindigkeit



Korngrenzenferrit +z.T. feinstreifiger Perlit (Ofenabkühlung)

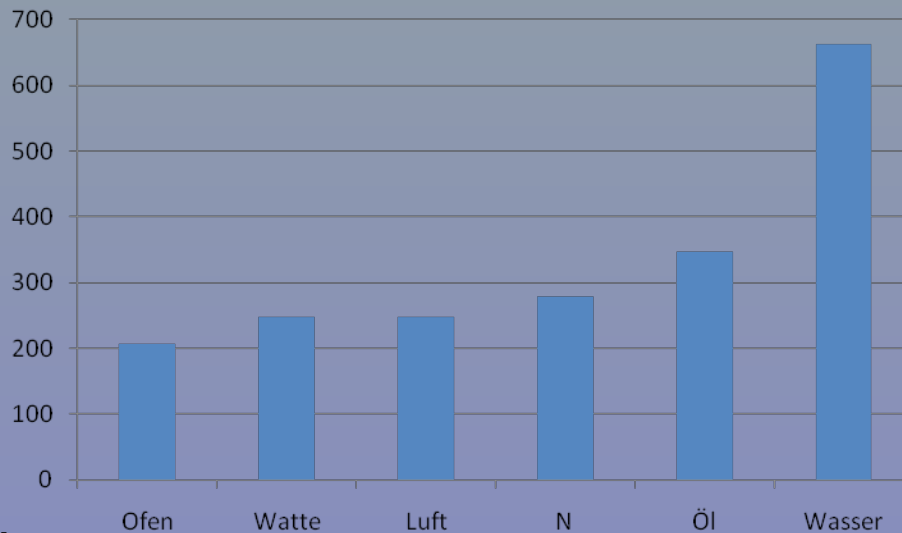


Korngrenzenferrit + feinstreifiger Perlit (Abkühlung mit Watte)



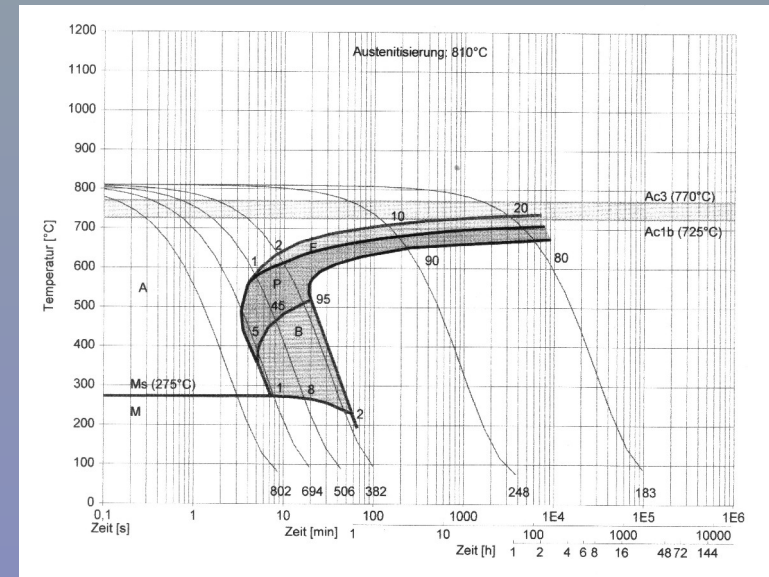
Korngrenzenferrit + feinstreifiger Perlit (Luftabkühlung)

Härte HV 0,5

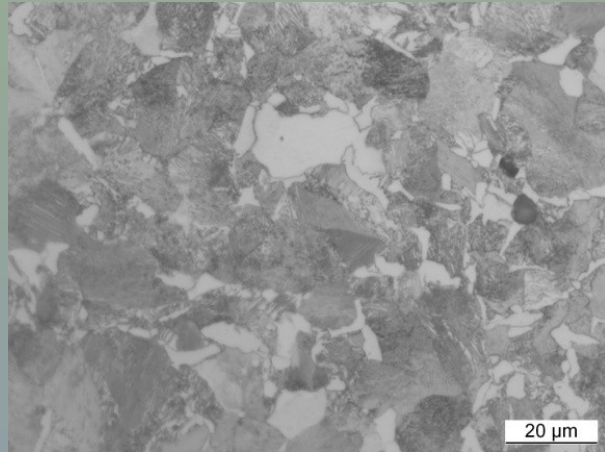


Fazit 1:

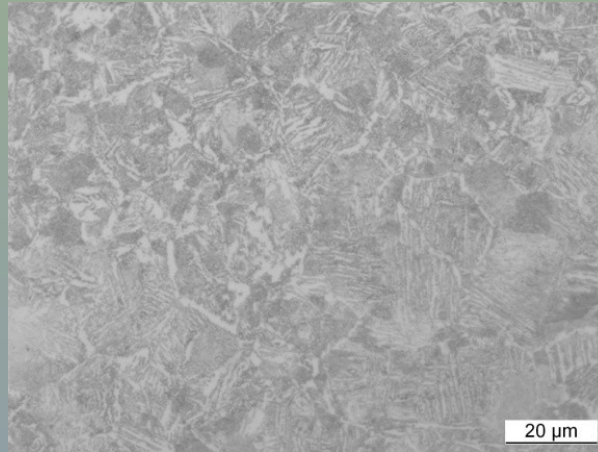
- Je höher die Abkühlgeschwindigkeit desto stärker ist die Perlitbildung und Feinheit der Lamellen, aufgrund zunehmend eingeschränkter C-Diffusion.



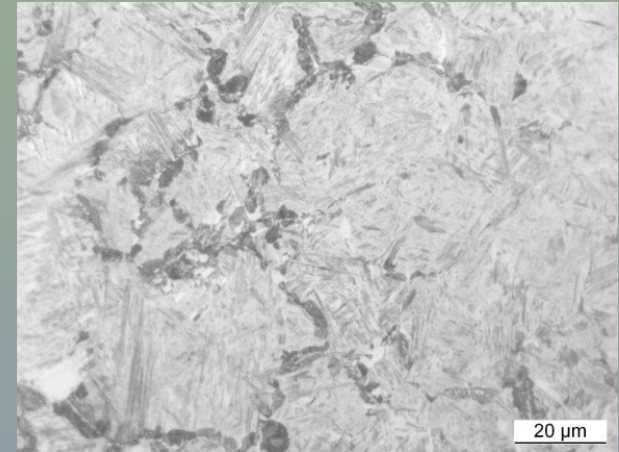
Einfluss der Abkühlgeschwindigkeit



Korngrenzenferrit + feinstreifiger Perlit (Stickstoffabkühlung)

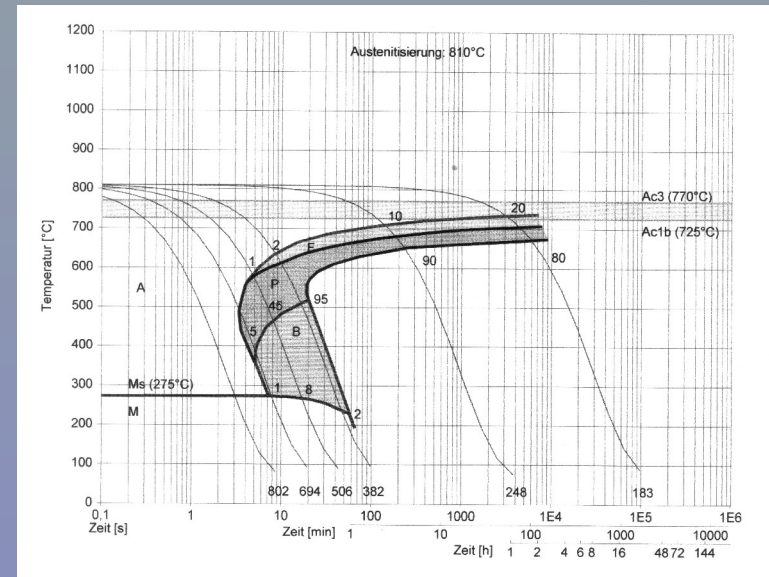
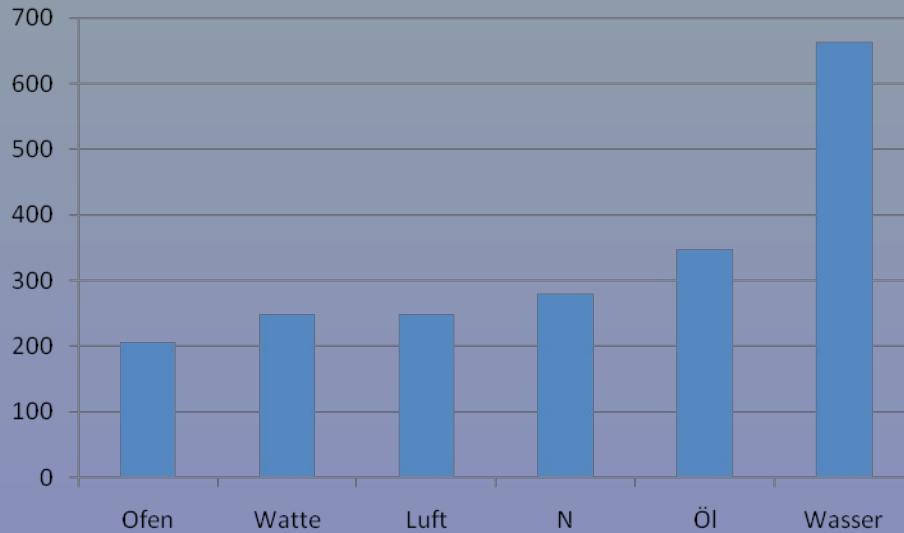


Korngrenzenferrit + sehr feinstreifiger Perlit + Bainit im Korninneren (Ölabkühlung)



unterkühlter Perlit (Troostit) an Korngrenzen + wenig Bainit + Martensit (Wasserabkühlung)

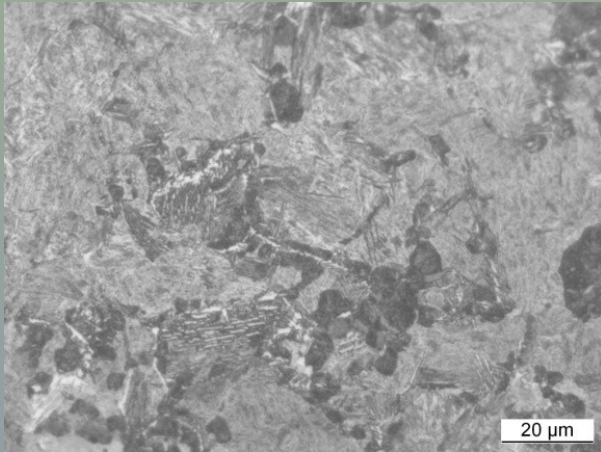
Härte HV 0,5



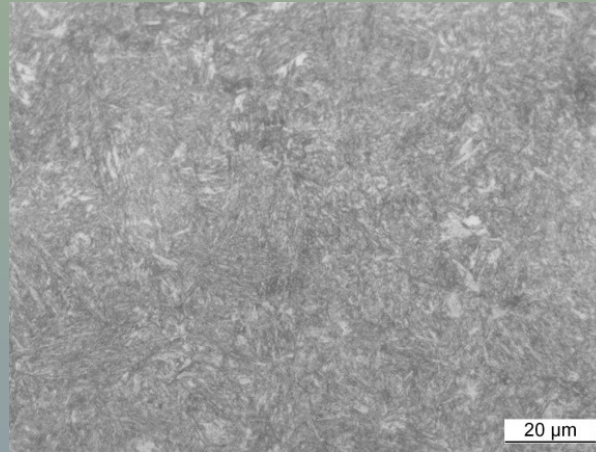
Fazit 2:

- Nach Überschreitung der sog. unteren krit. Abkühlgeschwindigkeit wird die Perlitbildung unterdrückt und Bainit und Martensit kann entstehen.
- Nach Überschreitung der sog. oberen krit. Abkühlgeschwindigkeit besteht das Gefüge vollständig aus Martensit.
- Je höher die Abkühlgeschwindigkeit desto höher die Festigkeit und desto niedriger die Verformbarkeit.

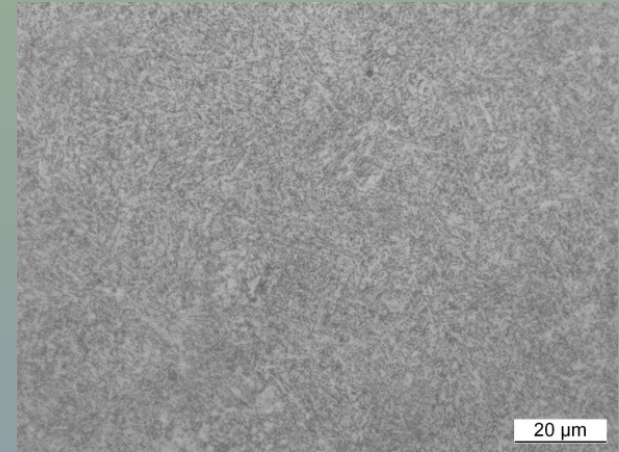
Einfluss der Anlasstemperatur



Martensit + Korngrenzenferrit + unterkühlter Perlit (Troostit)+ z.T. Bainit (200°C angelassen)

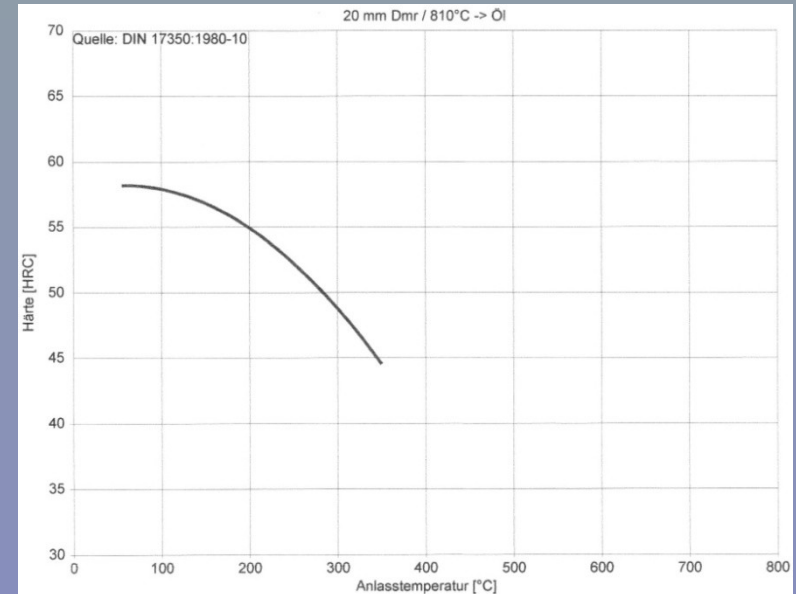
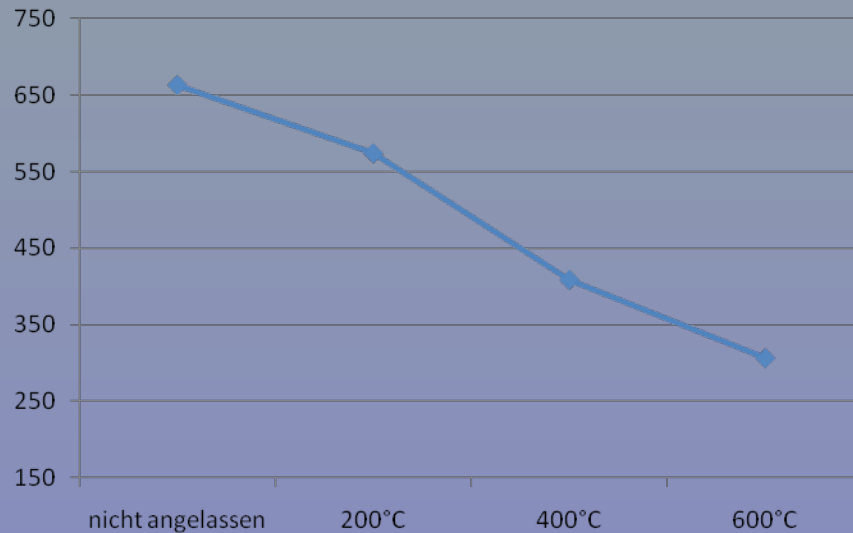


Vergütungsgefüge: Martensitstruktur noch sichtbar, geringer Anzahl an feinen Fe₃C-Ausscheidungen (400° angelassen)



Karbide eingebettet in eine Ferritmatrix, Martensitstruktur nahezu aufgelöst (600°C angelassen)

Härte HV 0,5



Fazit:

- Je höher die Anlasstemperatur, umso besser ist die C-Diffusion, womit die Karbidausscheidung begünstigt wird.
- Dadurch nimmt die Härte/Festigkeit zunehmend ab und die Zähigkeit steigt durch die zunehmende Entspannung des Martensit.

6. Zusammenfassung

- Ziel der Untersuchung war es den Einfluss unterschiedlicher Wärmebehandlungsparameter auf die Gefügeausbildung und Härte zu analysieren.
- Dazu wurden mehrere Proben bei verschiedenen Parametern wärmebehandelt und hinsichtlich der Zielsetzung untersucht.
- Es hat sich gezeigt, dass:
 1. die Austenitisierungstemperatur die Homogenität des Austenits und damit auch die Gefügeumwandlung und die Korngröße beeinflusst.
 2. eine zunehmende Abkühlgeschwindigkeit zur Ausbildung von verschiedenen Unterkühlungsgefügen führt (feinststreifiger Perlit, Bainit, Martensit).
 3. mit zunehmender Anlasstemperatur die C-Diffusion verbessert und die Fe_3C -Ausscheidung begünstigt wird.
- Desweiteren war die Randentkohlung problematisch, weshalb empfohlen wird die Untersuchungen mit fehlerfrei normalgeglühten Proben zu wiederholen.

7. Danksagung

Wir danken Frau Heidi Bögershausen von der metallographischen Abteilung und Herrn Herbert Faul von der Abteilung für Werkstoffprüfung des Max-Planck-Instituts für Eisenforschung für ihre Zusammenarbeit und der Unterstützung bei diesen Untersuchungen.

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Falls Sie weitere Fragen zum Thema haben,
können Sie sich vertrauensvoll an unsere
zukünftigen Metallographen wenden.