

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

# ADVANCED MATERIALS PROCESSING AND MICROFABRICATION

Optimierte Fertigung im Schleuderguss erzeugter Bauteile aus martensitischem Cr-Stahl

# Struktur

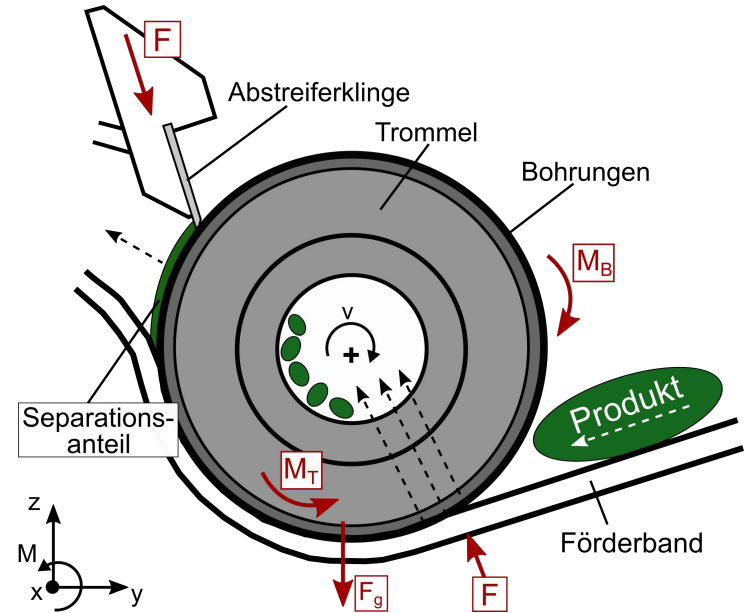
1. Anwendungshintergrund
2. Problemstellung: Makro- und Mikroschadensbilder
3. Fertigungsverfahren Schleuderguss
4. Gefügeuntersuchung
5. Mikroseigerungen und 2D-Eigenschaftsverteilungen
6. Entwicklung einer optimierten Fertigungsroute
7. Materialeigenschaften nach Optimierung
8. Technische Umsetzung
9. Zusammenfassung
10. Überprüfungsfragen

# Anwendungshintergrund



<https://www.youtube.com/watch?v=a-dyWaGp5u4>

## Funktionsprinzip



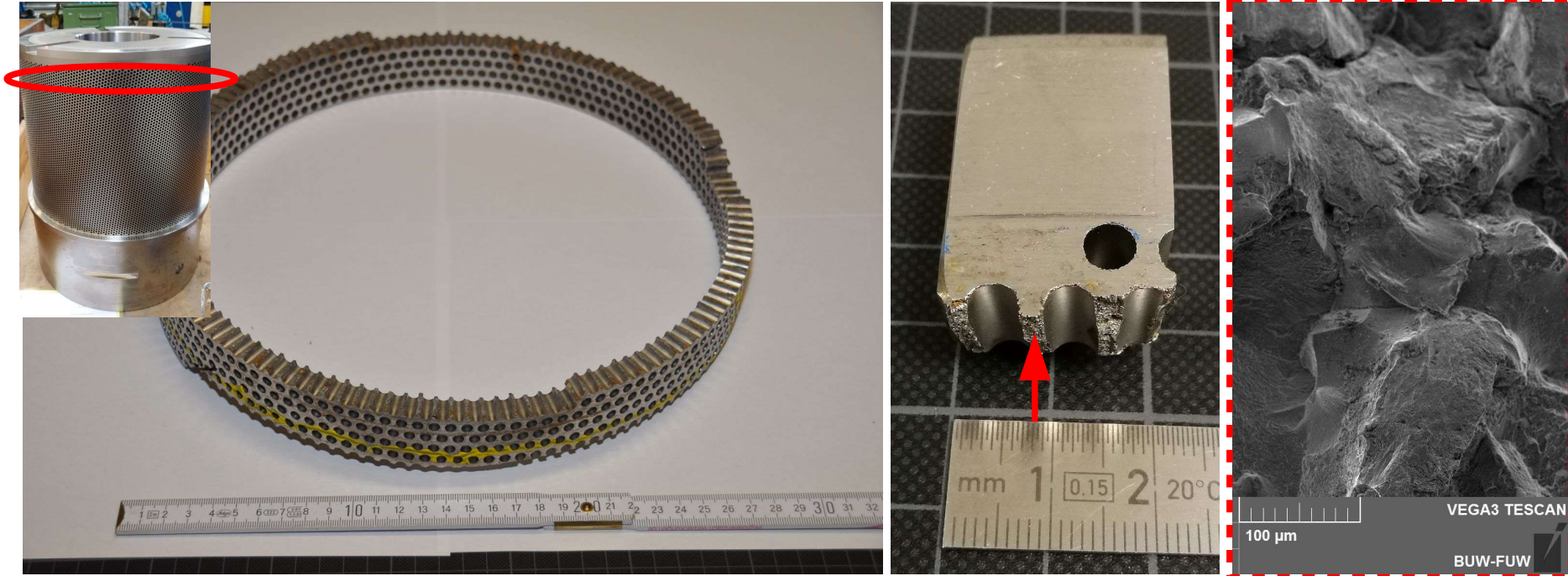
# Anwendungshintergrund



- Förderband presst Aufgabegut gegen rot. Trommel
- Umlaufbiegebelastung des Trommelwerkstoffs
- Trennung des Aufgabeguts durch Scherung
- Belastung der Trommel durch Aufgabegut u. Abstreifer



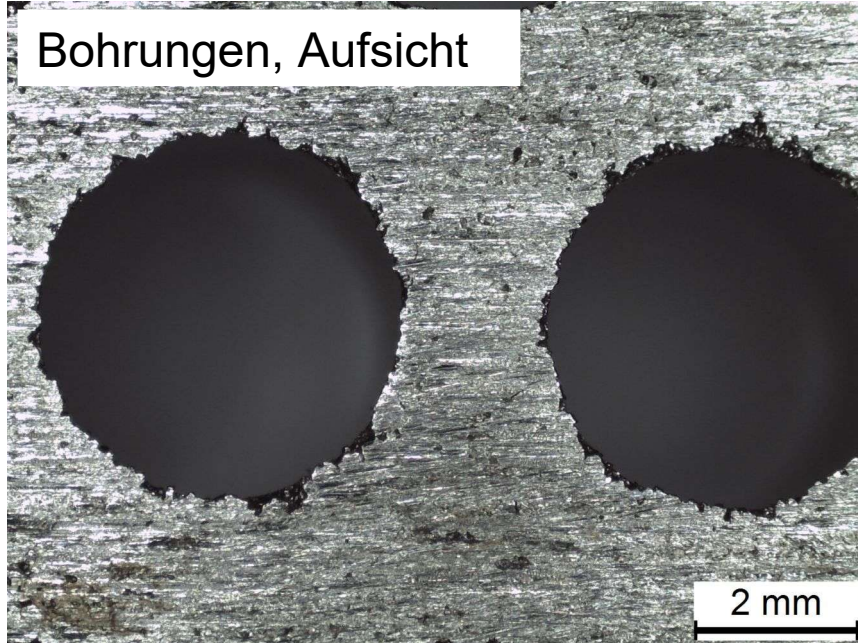
# Problemstellung: Makroskopisch



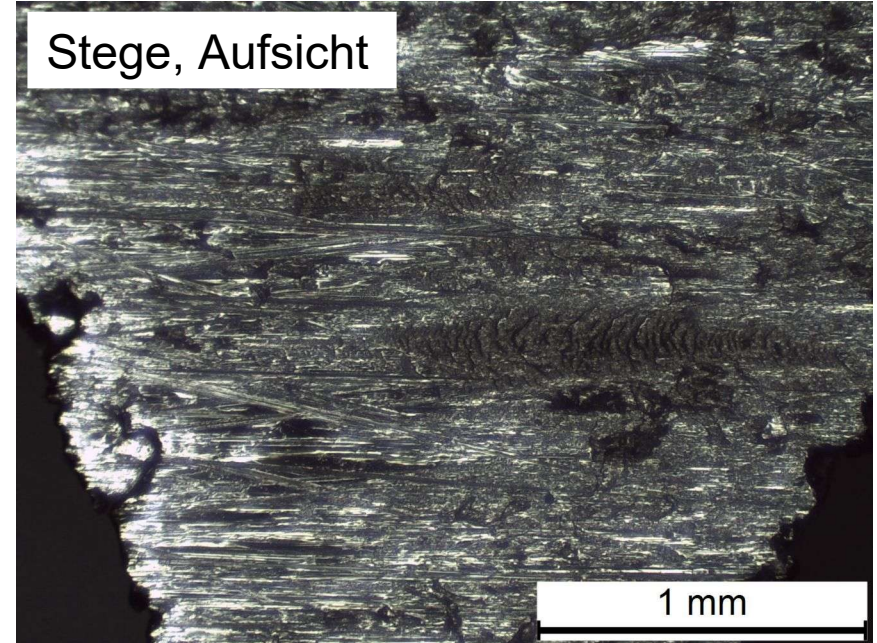


# Problemstellung: Mikroskopisch (LiMi)

Bohrungen, Aufsicht

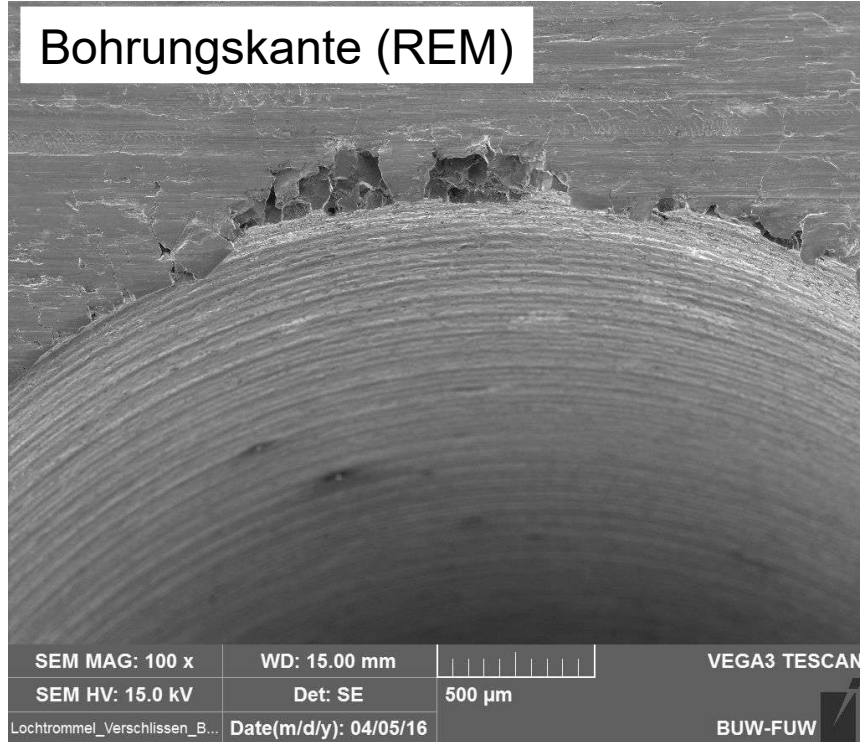


Stege, Aufsicht

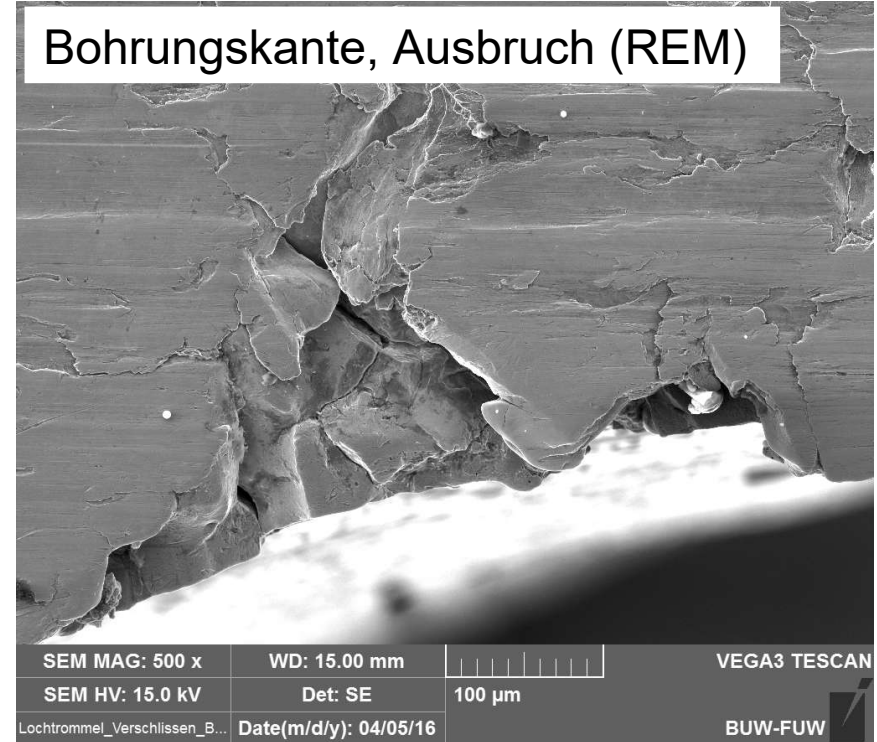


# Problemstellung: Mikroskopisch (REM)

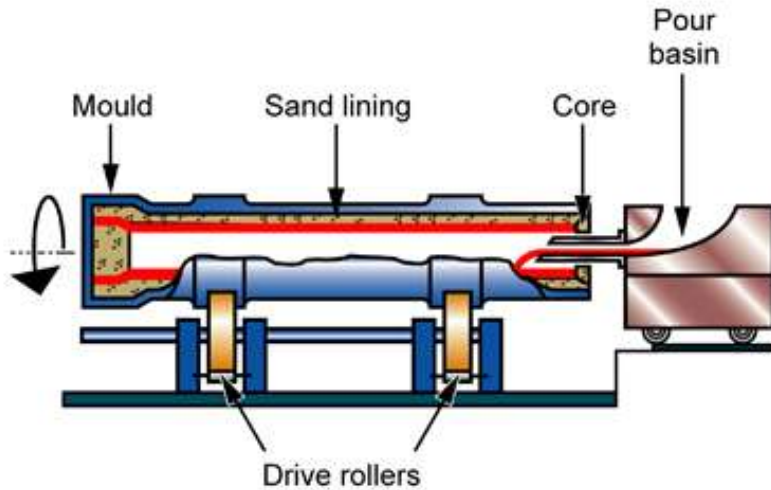
Bohrungskante (REM)



Bohrungskante, Ausbruch (REM)



# Fertigungsverfahren Schleuderguss



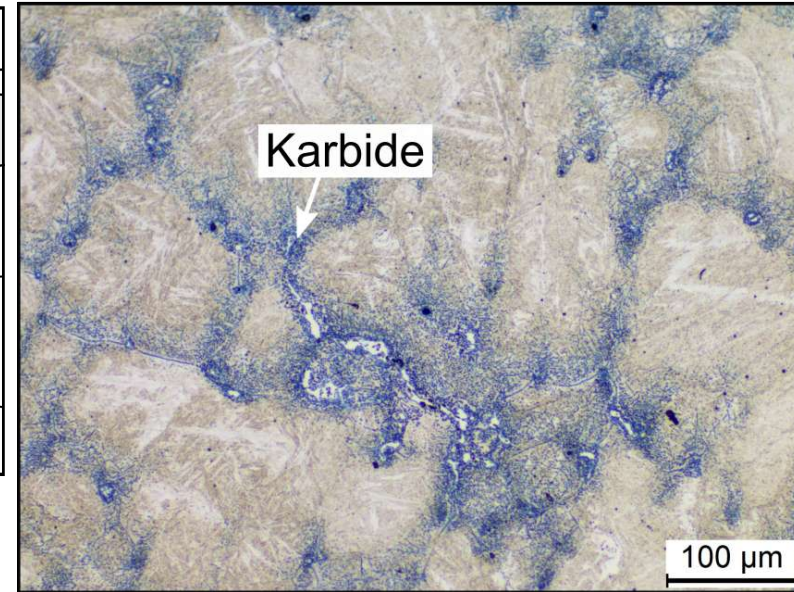
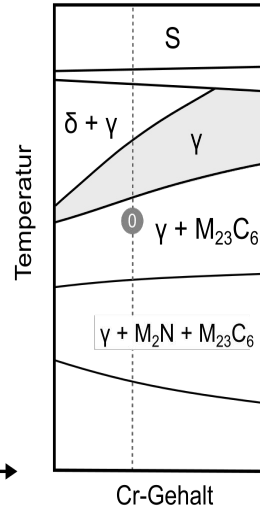
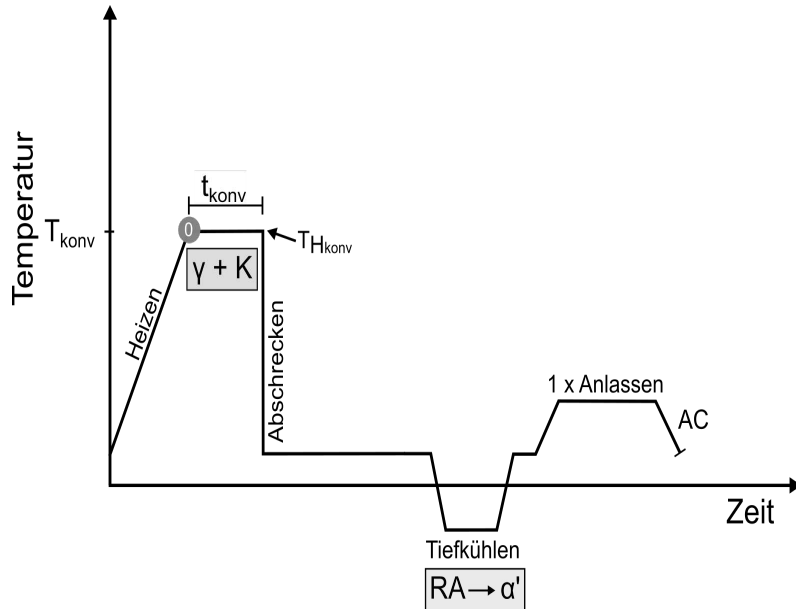
<https://www.youtube.com/watch?v=o4vkUhb91H0>

- Verfahren zur Herstellung zylindrischer Hohlkörper aus metallischen Werkstoffen
- Schmelze wird in rotierende Kokille (waagrecht oder senkrecht) gegossen
- Zentrifugalkraft presst Schmelze an Kokillenwand bis zur vollständigen (gerichteten) Erstarrung
- Dichte, defektarme Gusskörper; Verunreinigungen reichern sich innenseitig an
- Erzeugte Hohlkörper werden im Gusszustand+**Wärmebehandlung** eingesetzt
- Weitere Informationen: siehe *EduPack*

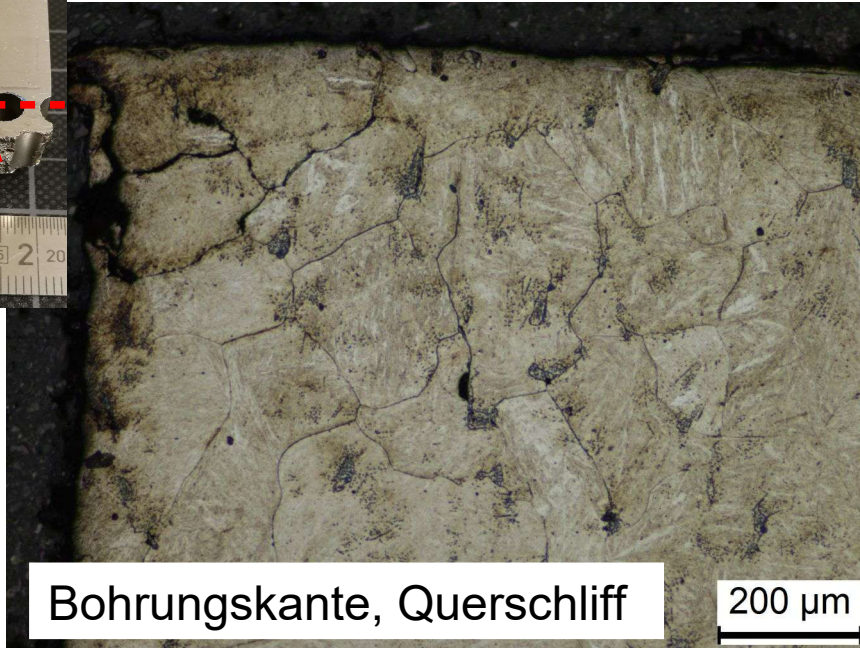
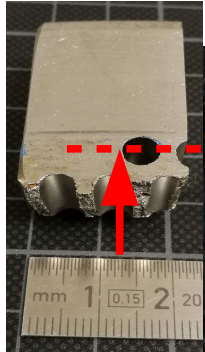


# Gefügeuntersuchung

Legierung	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Fe
GX40CrNiMoN16-2-2	0.30	0.54	0.65	<0.1	<0.1	15.56	0.79	1.8	0.15	Rest

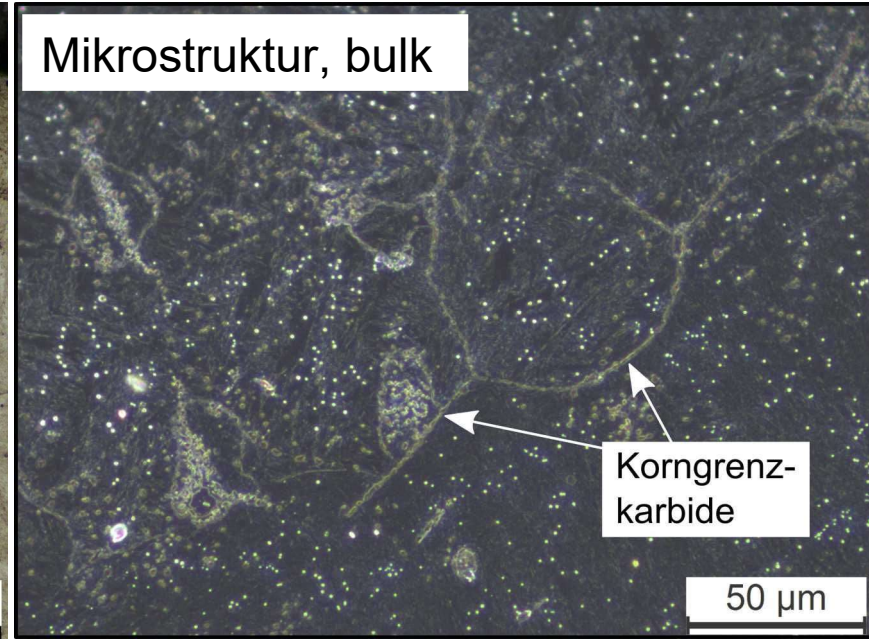


# Gefügeuntersuchung



Bohrungskante, Querschliff

200 µm



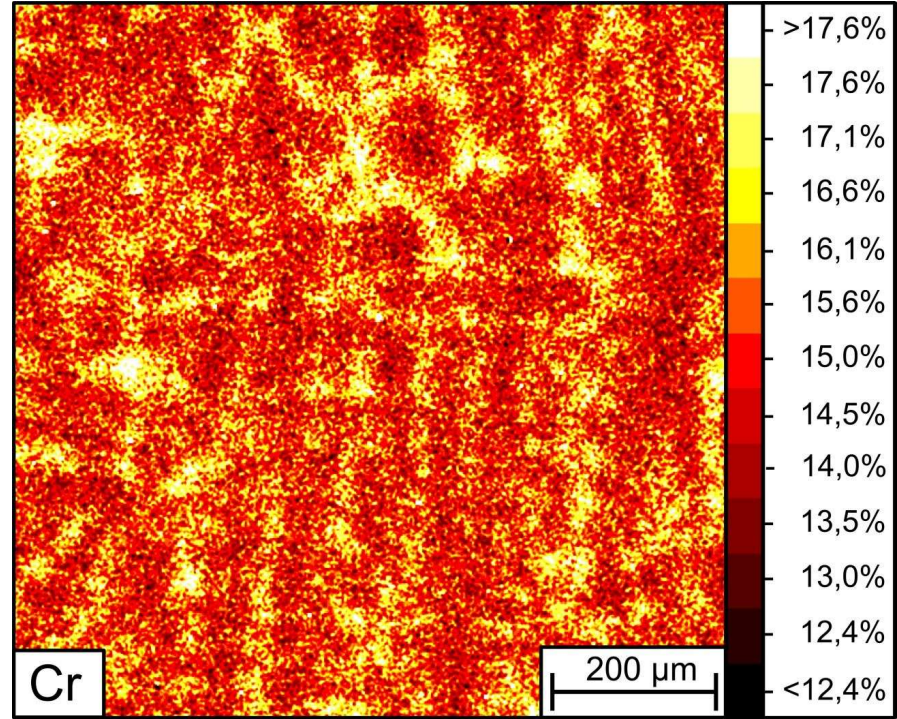
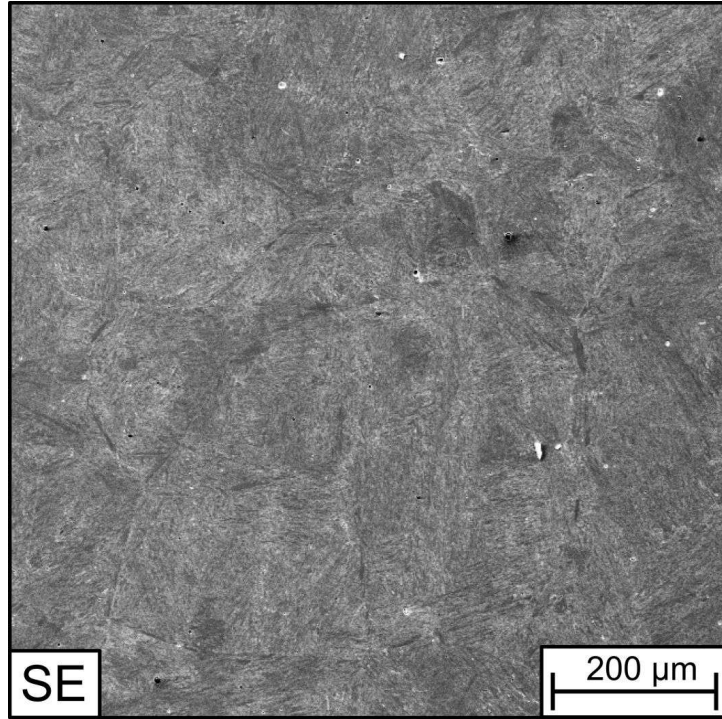
Mikrostruktur, bulk

Korngrenzkarbide

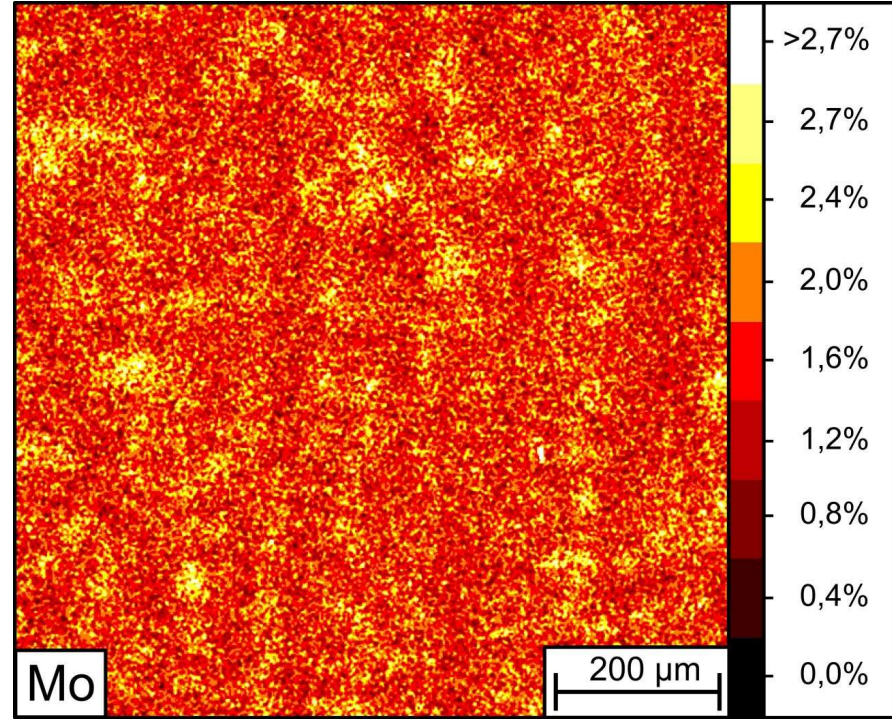
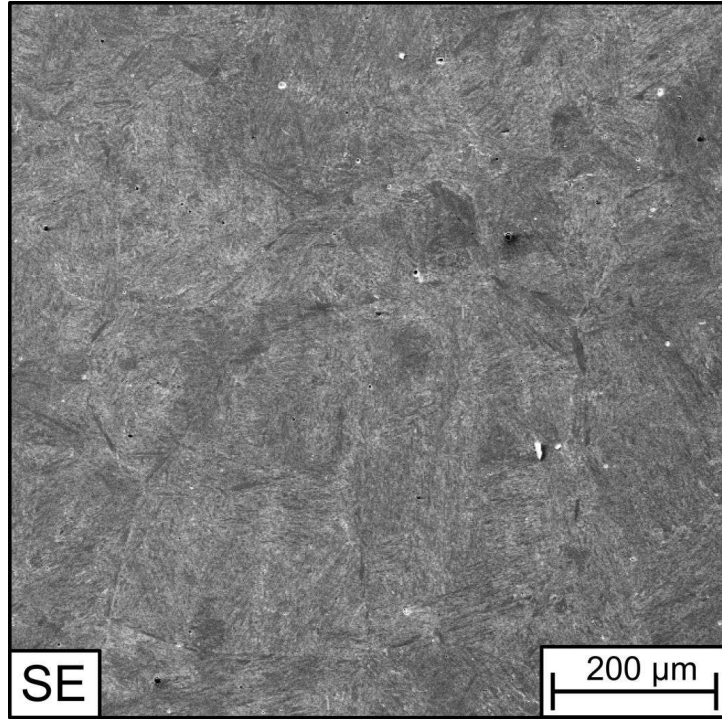
50 µm



# Mikroseigerungen



# Mikroseigerungen



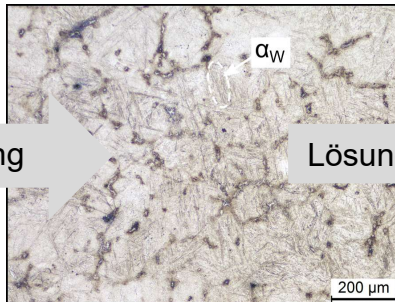


# Berechnung von Eigenschaftsbildern

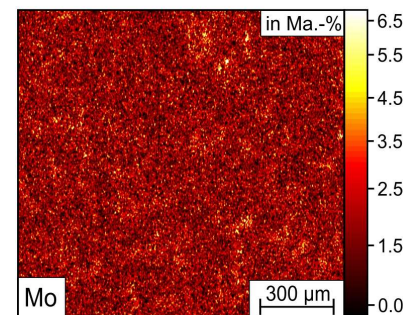
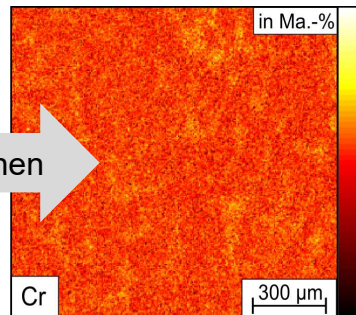
Schleuderguss



Gusszustand

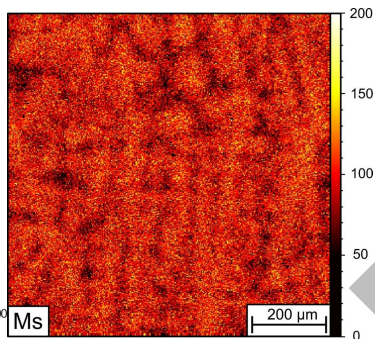
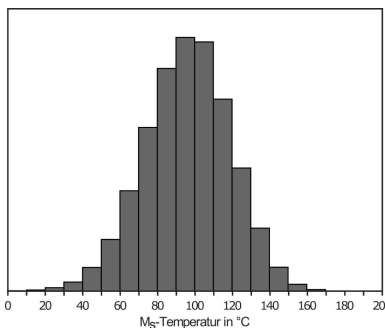


Lokale Elementkonzentrationsverteilung (EDX)



Abkühlung

Lösungsglühen

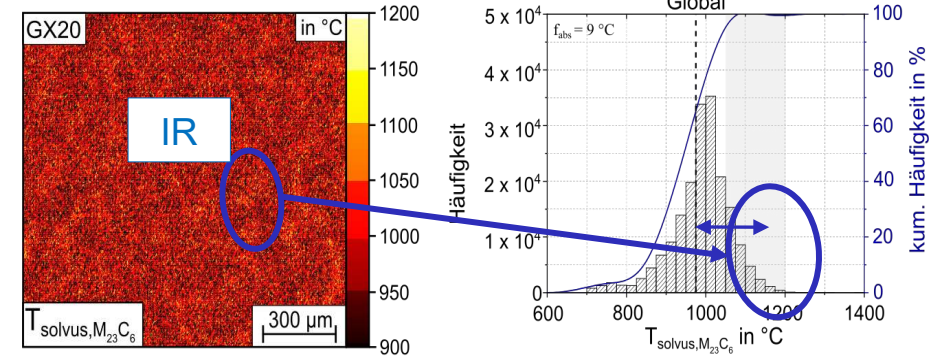
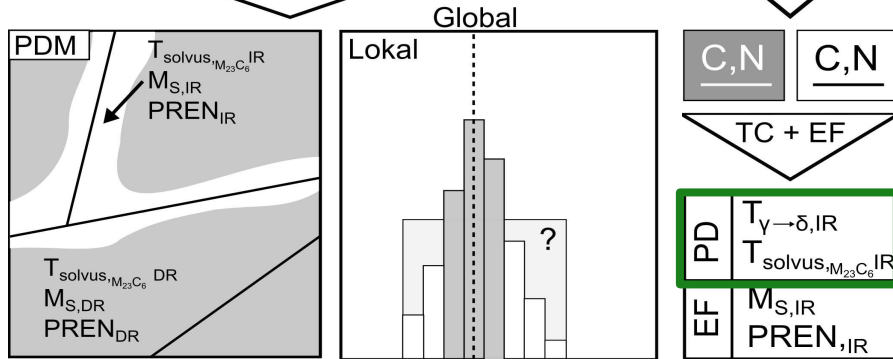
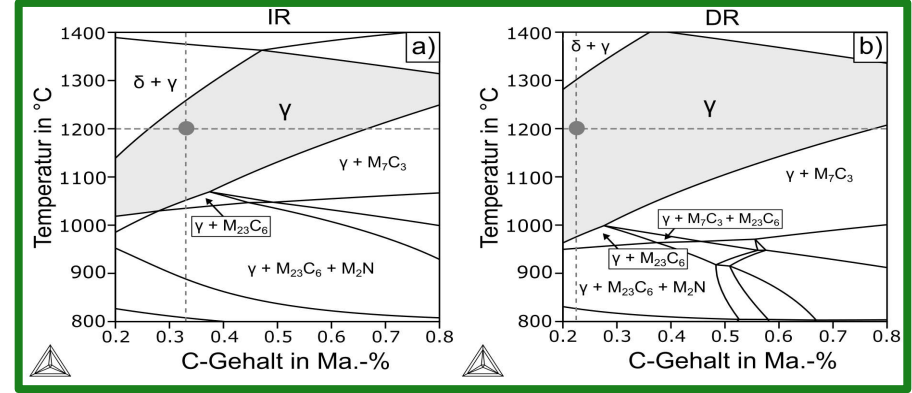
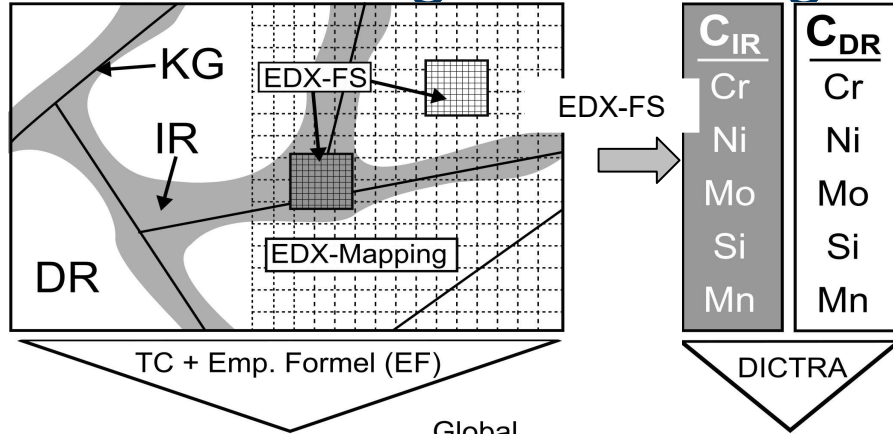


Thermodynamische  
Berechnung +  
empirische oder nicht-  
empirische Formeln

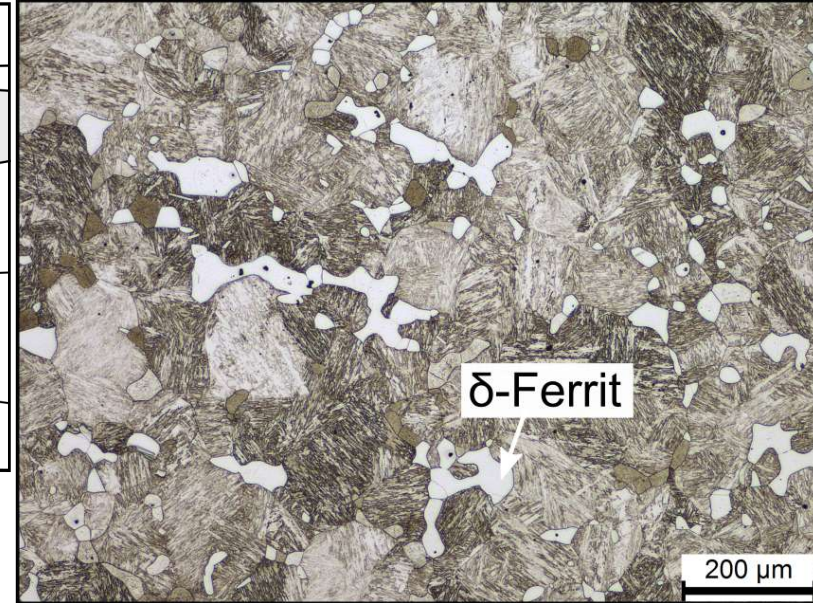
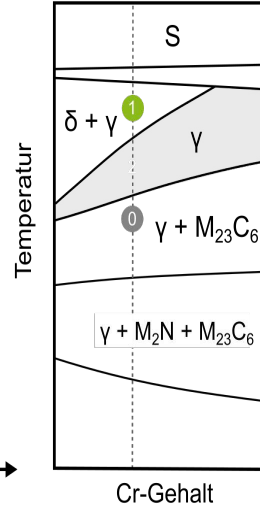
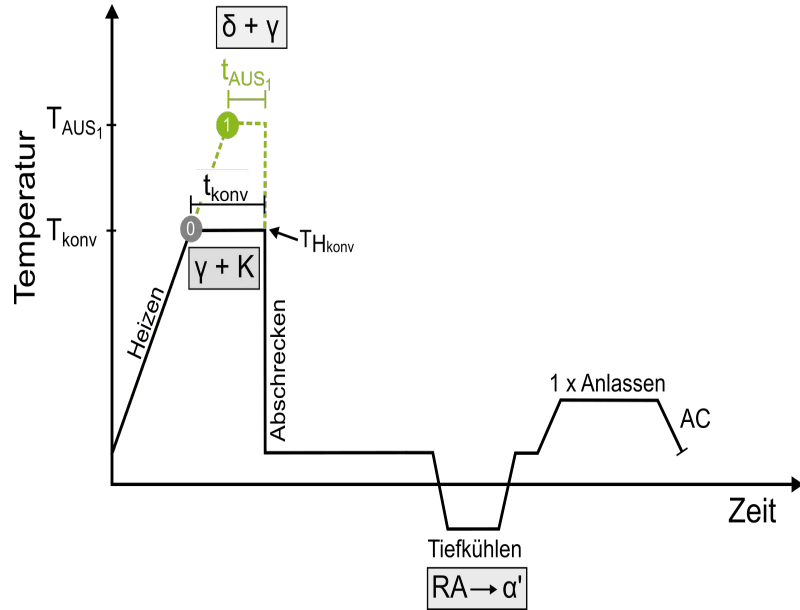
Thermo-Calc  
Software

MATLAB

# Berechnung von 2D-Eigenschaftsverteilungen

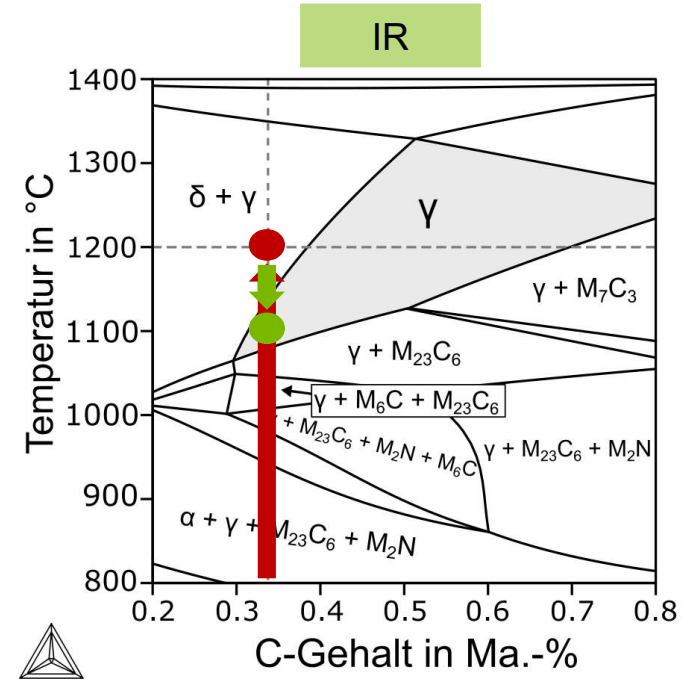
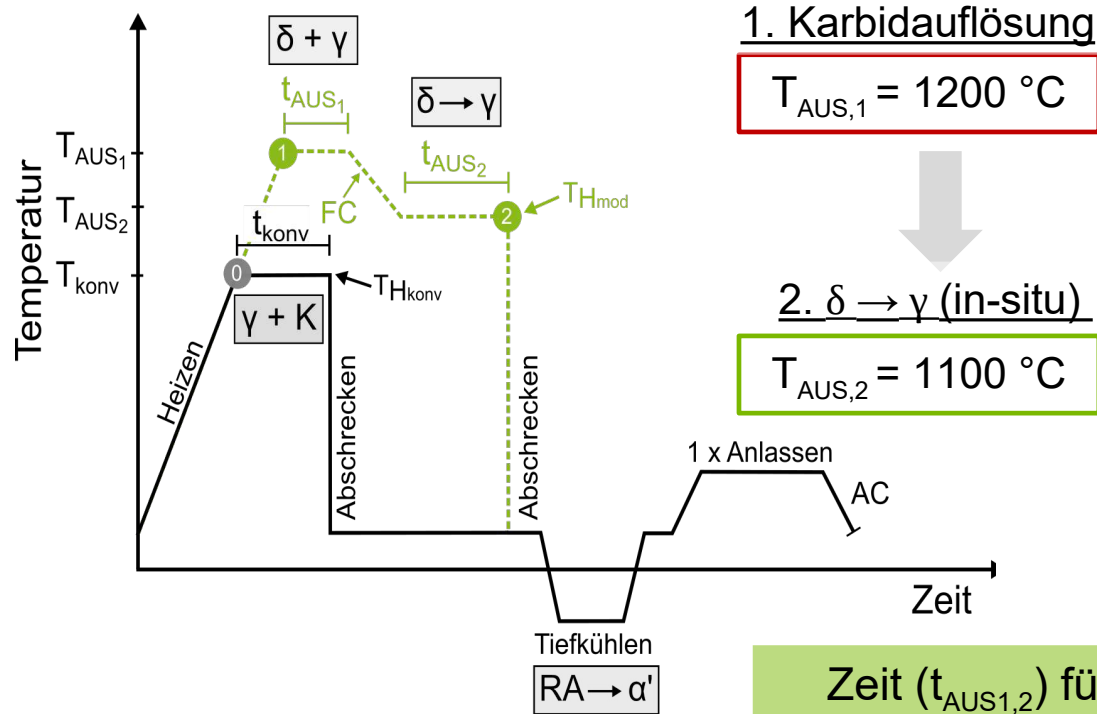


# Optimierte Fertigungsroute



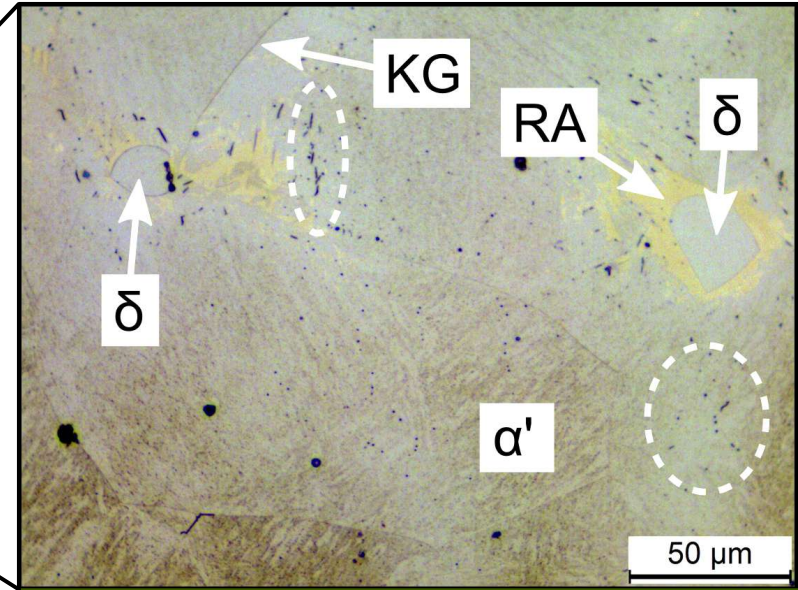
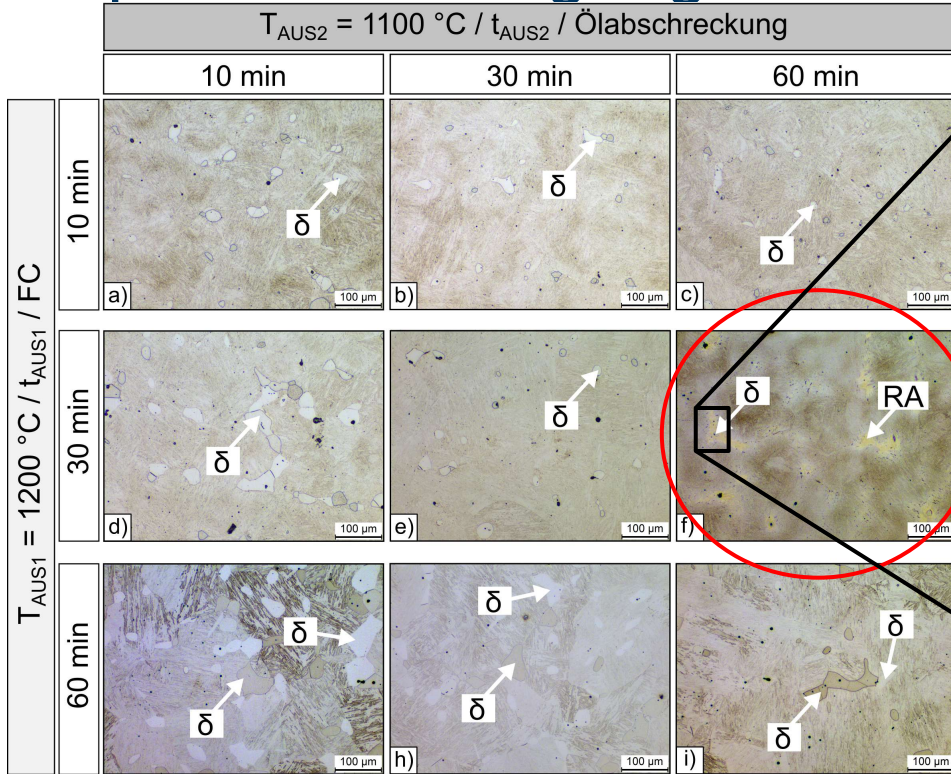
- Glühen im (hypothetischen) homogenen  $\gamma$ -Gebiet löst Karbide nicht auf
- Glühen bei höheren T (1200°C) löst Karbide auf, aber  $\delta$ -F verbleibt im Gefüge

# Optimierte Fertigungsroute



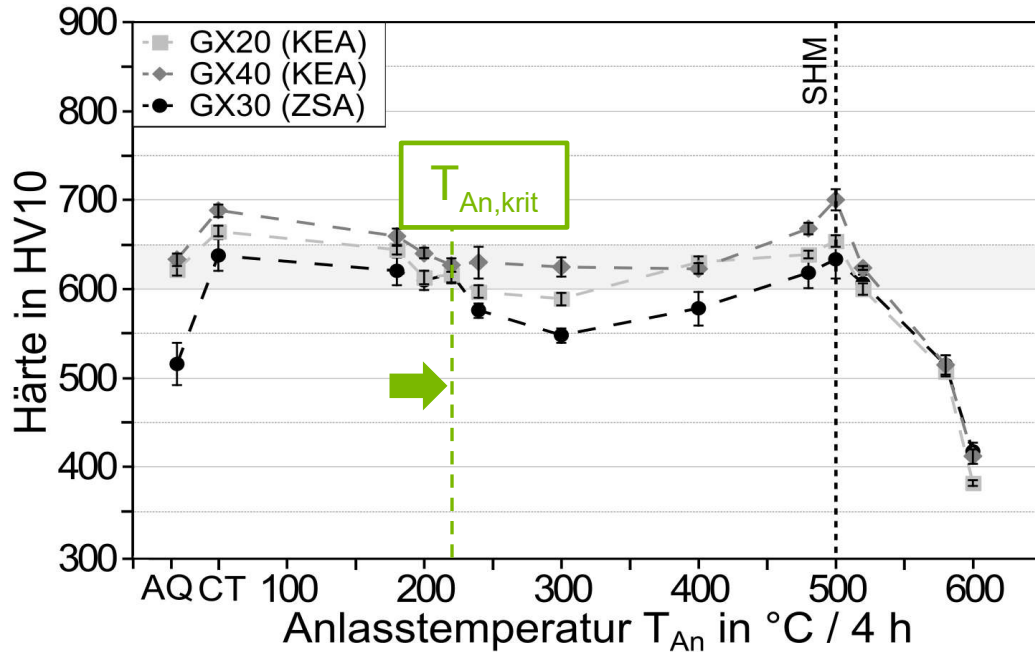


# Optimierte Fertigungsroute



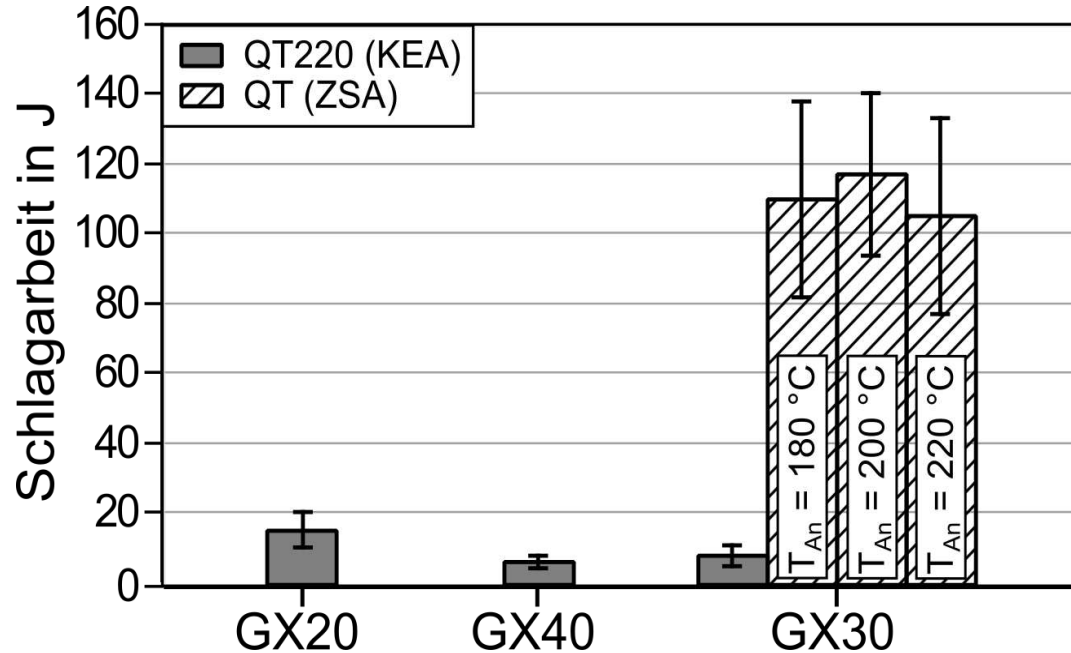
- Geringe Menge  $\delta$ -F verbleibt
- Restaustenit wird lokal stabilisiert

# Materialeigenschaften nach Optimierung



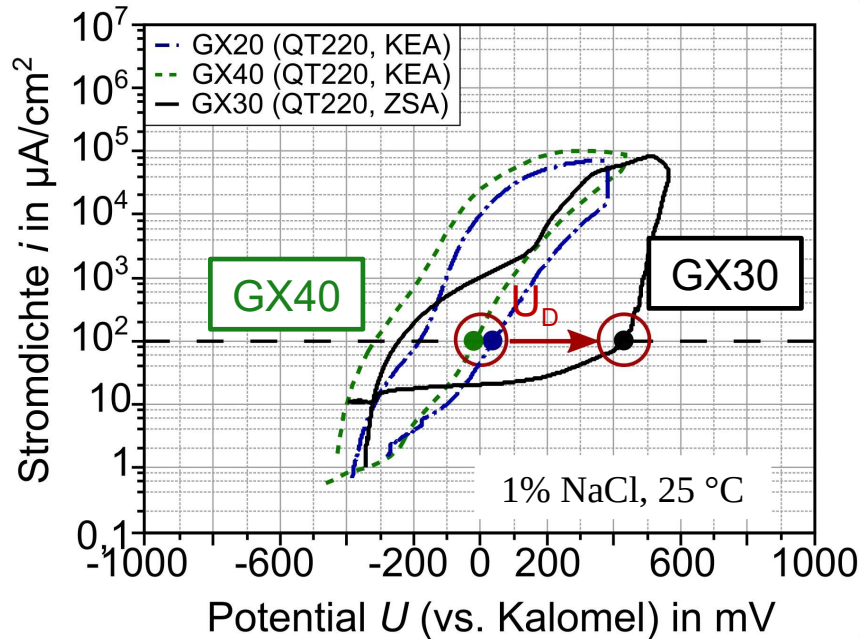
- **KEA:** Konventionelle, einstufige Austenitisierung
- **ZSA:** Zweistufige Austenitisierung
- Anlasstemperaturen unterhalb 220°C führen zur Zielhärte (600 HV10)
- Anlassen auf Sekundärhärte nicht empfehlenswert, Verlust an Korrosionsbeständigkeit

# Materialeigenschaften nach Optimierung



- GX20 und GX30 entsprechen Referenzwerkstoffen nach KEA
- ZSA verbunden mit erheblich höhere Schlagarbeiten
- Ein zäheres Materialverhalten und eine höhere Bruchsicherheit sind daher zu erwarten

# Materialeigenschaften nach Optimierung



- Aufnahme von Stromdichte-Potentialkurven in NaCl-Lösung als Maß für die Beständigkeit gegen Lochkorrosion
- Höheres Durchbruchpotential entspricht einem höheren Widerstand gegen Lochkorrosion
- Referenzwerkstoffe GX20 und GX40 lassen nach KEA schlechtere Korrosionseigenschaften erwarten als GX30 nach ZSA



# Technische Umsetzung

Schleuderguss



Zerspanung



Verschweißung



Spanende Formgebung



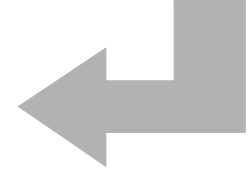
Wärmebehandlung



Feldversuch



Evaluation der  
Betriebseigenschaften anhand  
eines Feldversuchs in der  
Lebensmittelindustrie



# Zusammenfassung

1. Die betrachtete Separatortrommel weist ein makro- und ein mikroskopisches Schadens- und Verschleißbild auf. Ersteres ist technisch nicht akzeptabel.
2. Beide o.g. Punkte sind auf im Gefüge vorliegende Karbide (eutektische Karbide und Korngrenzkarbide), überwiegend vom Typ  $M_{23}C_6$ , zurückzuführen.
3. Das Material liegt im Gusszustand mit ausgeprägten Mikroseigerungen, v.a. von Mo und Cr, vor, die durch die konventionelle Wärmebehandlung bei  $T=1050^{\circ}\text{C}$  nicht beseitigt werden.
4. Die Betrachtung der globalen chemischen Zusammensetzung führt zu Fehlschlüssen im Falle einer direkten Anwendung von Calphad-Berechnungen.
5. Eine Austenitisierung bei  $T=1200^{\circ}\text{C}$  führt zur Auflösung aller Karbide, nach dem Abschrecken bleibt jedoch unerwünschter  $\delta$ -Ferrit zurück.
6. Eine auf das Legierungssystem und den Seigerungsgrad abgestimmte, zweistufige Austenitisierung beseitigt Karbide und  $\delta$ -Ferrit weitestgehend; (weicher) Restaustenit verbleibt lokal im Gefüge.
7. Eine vollständige Homogenisierung in technisch relevanten Zeiten ist nicht möglich, lokale Unterschiede aufgrund von Mikroseigerungen bleiben stets erhalten.
8. C+N partitionieren bei  $T=T_{\text{Aus}}$  entsprechend der lokalen GG-Löslichkeit; Berechnung möglich.

# Überprüfungsfragen

1. Recherchieren Sie, für welche Werkstoffe sich das Schleudergussverfahren eignet!
2. Woraus resultiert die lokale Stabilisierung des  $\delta$ -Ferrit?
3. Was verstehen Sie unter einer 2D-Eigenschaftsverteilung?
4. Wie würde sich die 2D-Eigenschaftsverteilung im Falle der „KEA“ ändern, wenn Sie
  - a) an Stelle des „GX30“ einen Stahl C35 verwenden?
  - b) den betrachteten Stahl als Schmiedevariante mit hohem Umformgrad verwenden?
5. Wie wirkt sich die Präsenz hoher Karbidgehalte auf die Korrosionsbeständigkeit aus? Begründen Sie!
6. Wie wirken sich KG-Karbide und eutektische Karbidnetzwerke auf die mechanischen Eigenschaften aus? Warum wird die Zähigkeit deutlicher beeinflusst als die Festigkeit?
7. Warum wird auch im Falle der ZSA kein globales Gleichgewicht erreicht?
8. Wie partitionieren die Elemente C und N zwischen den Bereichen „IR“ und „DR“?

# Literatur

- Dissertationsschrift F. Van gen Hassend, Bergische Univ. Wuppertal (2020)
- Van gen Hassend, F., Weber, S.: Influence of Chemical Inhomogeneities on Local Phase Stabilities and Material Properties in Cast Martensitic Stainless Steel, Steel Research International, 11, 2019, DOI: 10.1002/srin.201900481
- Van gen Hassend, F., Weber, S.: Gefügecharakterisierung und -optimierung von nichtrostenden martensitischen Cr-Stählen, Sonderbände der Praktischen Metallographie zur 51. Metallographie-Tagung: Fortschritte in der Metallographie (2017), S. 67 - 72, ISBN: 978-3-88355-415-0



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit und Ihre Mitarbeit !

Prof. Dr.-Ing. Sebastian Weber  
Fakultät für Maschinenbau  
Lehrstuhl Werkstofftechnik  
Universitätsstr. 150, IC 03-319  
D-44801 Bochum