Maschinenmesser-Symposium, Wuppertal-Kohlfurth, 26. April 2023

Metallkundliche Grundlagen der Wärmebehandlung von hochlegierten Stählen

M. Blüm, A. Röttger
Bergische Universität Wuppertal
Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik
Lehrstuhl für Neue Fertigungstechnologien und Werkstoffe

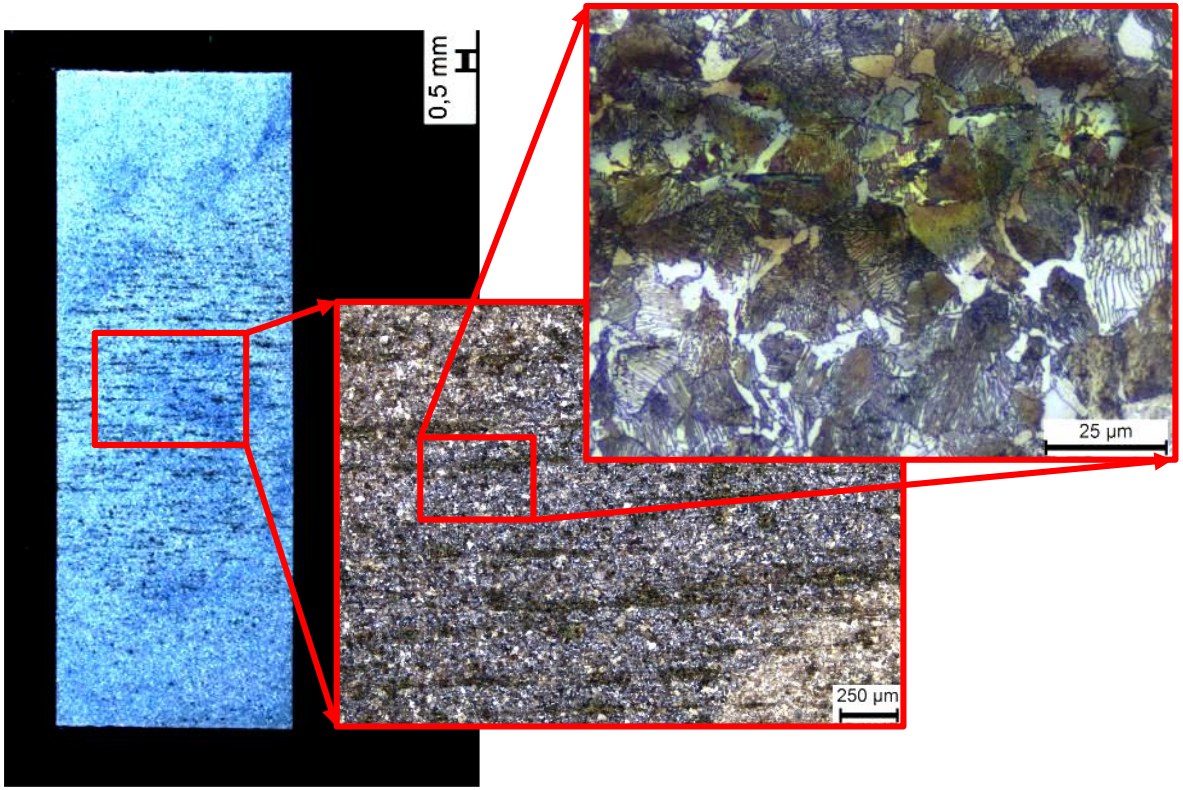
Gliederung

1. Mikrostruktur von Stählen
2. Legierungsbildung von Stählen
3. Wärmebehandlung von karbidreichen Stählen
4. Zusammenfassung

Was bedeutet Mikrostruktur?

Beispiel C60 warmgewalzt, aus der Walzhitze abgekühlt:

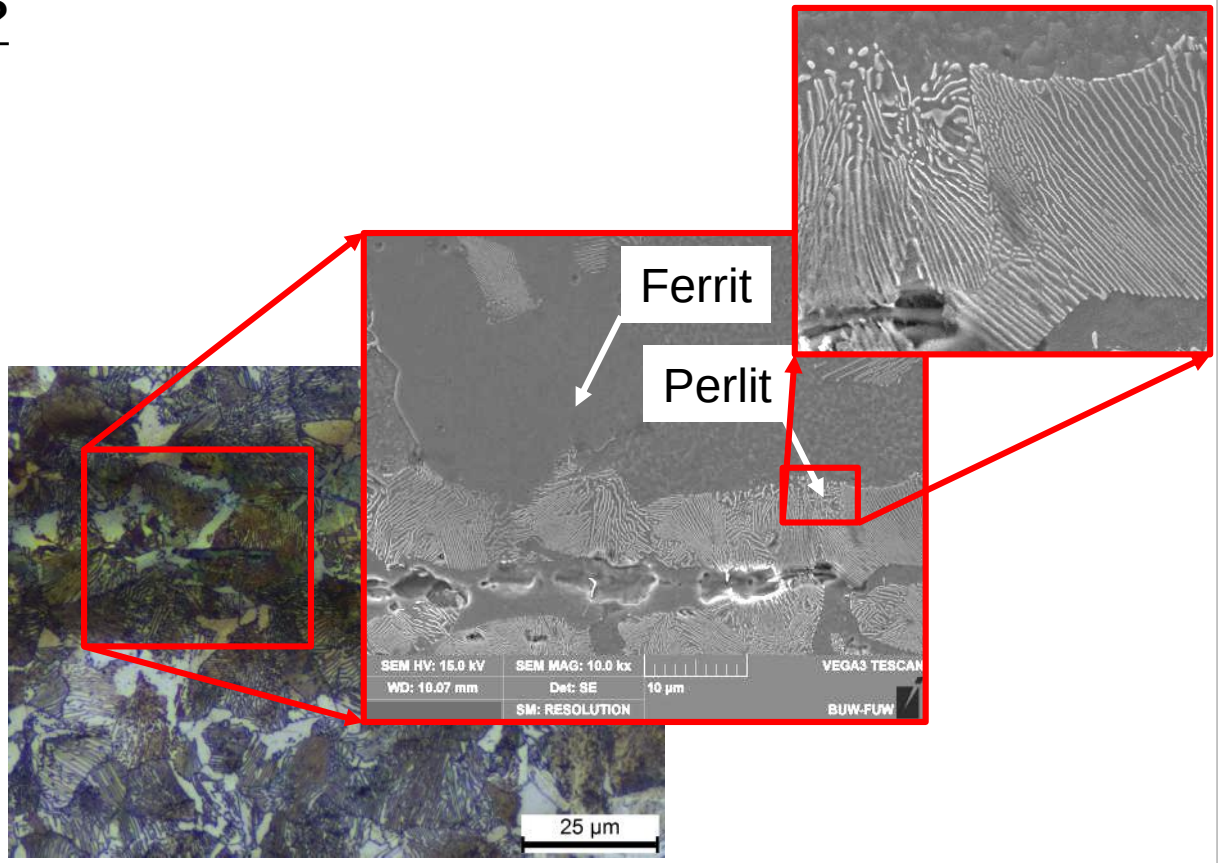
- Umformtechniker:
  - Walztextur
- Metallograph:
  - Gefüge, Einschlüsse



Was bedeutet Mikrostruktur?

Beispiel C60 warmgewalzt,
aus der Walzhitze abgekühlt:

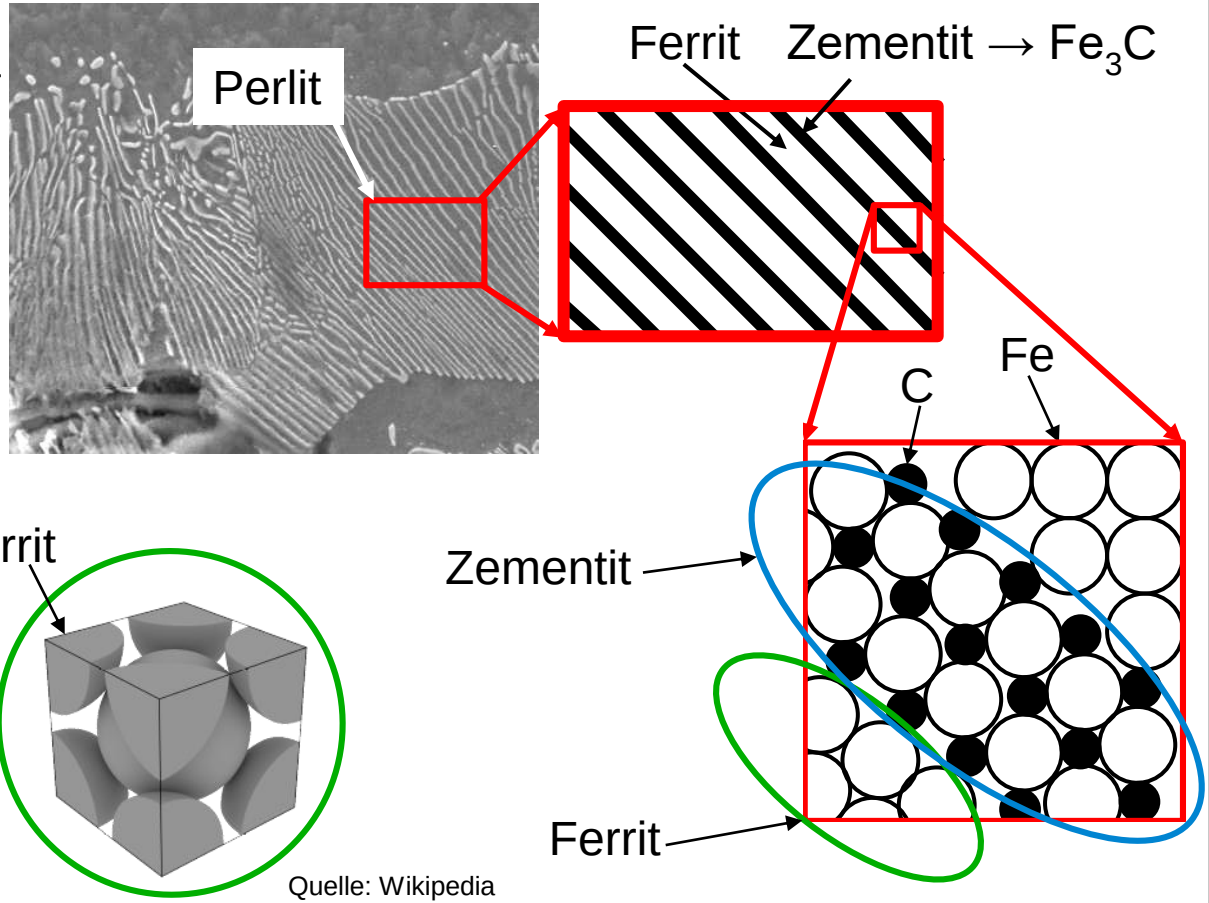
- Metallograph:
  - Gefüge, Einschlüsse
- Wissenschaftler:
  - Struktur Perlit?
  - Abkühlbedingung vs. Lamellenabstand



Was bedeutet Mikrostruktur?

Beispiel C60 warmgewalzt, aus der Walzhitze abgekühlt:

- Wissenschaftler:
  - Lamellenabstand Perlit
  - Kristallographische Struktur Phasen

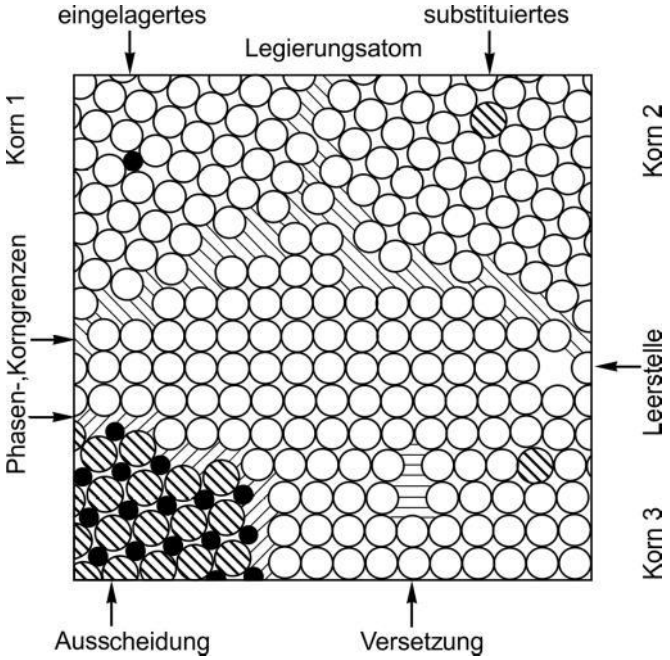


Quelle: Wikipedia

Quelle: Wikipedia

Atomarer Aufbau von Metallen

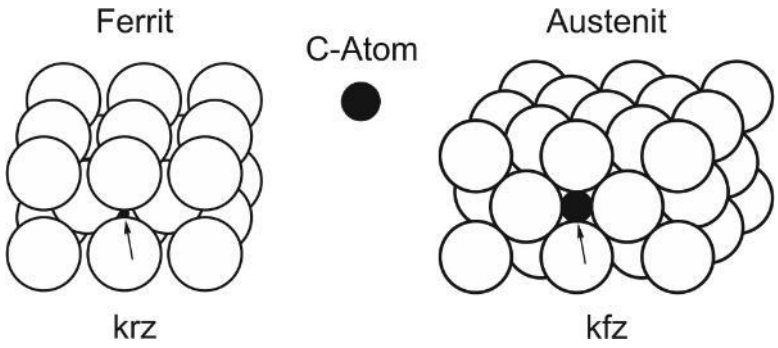
- Metallische Werkstoffe wie Stahl sind kristallin
  - Fe-Atome + Fremdatome sind regelmäßig angeordnet
- Technische Werkstoffe bestehen i.d.R. aus vielen Kristallen
  - Polykristallin
- Grenze zwischen verschieden orientierten Kristallen → Korngrenze
- Grenze zwischen verschiedenen Kristallen → Phasengrenze



Quelle: Berns, Theisen; Eisenwerkstoffe

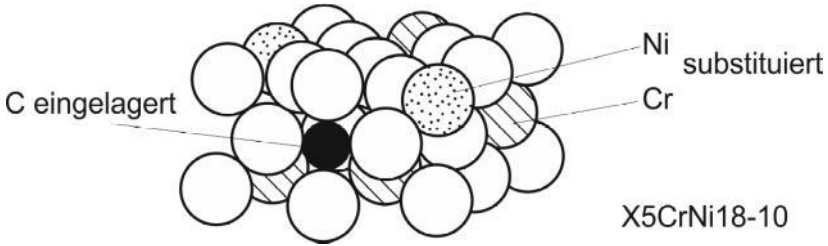
Grundlagen der Legierungsbildung von Stählen

- 2 Arten der Mischkristallbildung



- C + N (+ B) werden interstitiell gelöst
  - Oktaederlücken

- Größere Atome (z.B. Cr, Ni, Mo, Mn, W, V) substituieren Fe

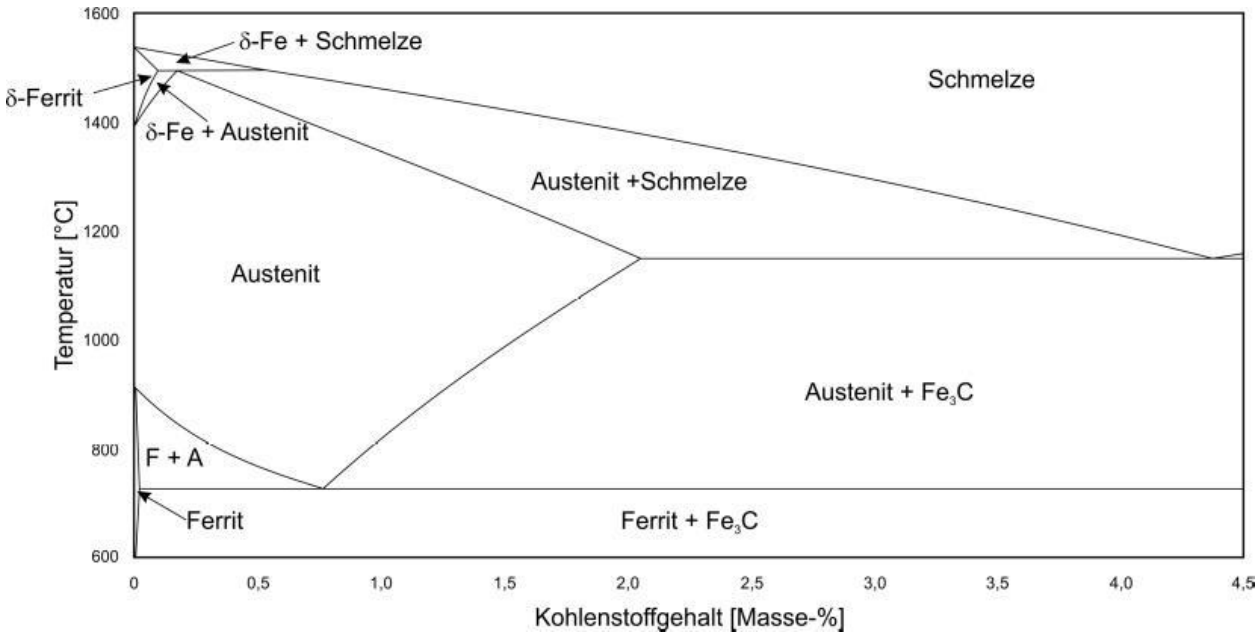


Quelle: Berns, Theisen; Eisenwerkstoffe

System Fe-C

Legieren mit C führt zu:

- Verschiebung der Phasenumwandlungen
- Neue Phasen (Fe_3C)



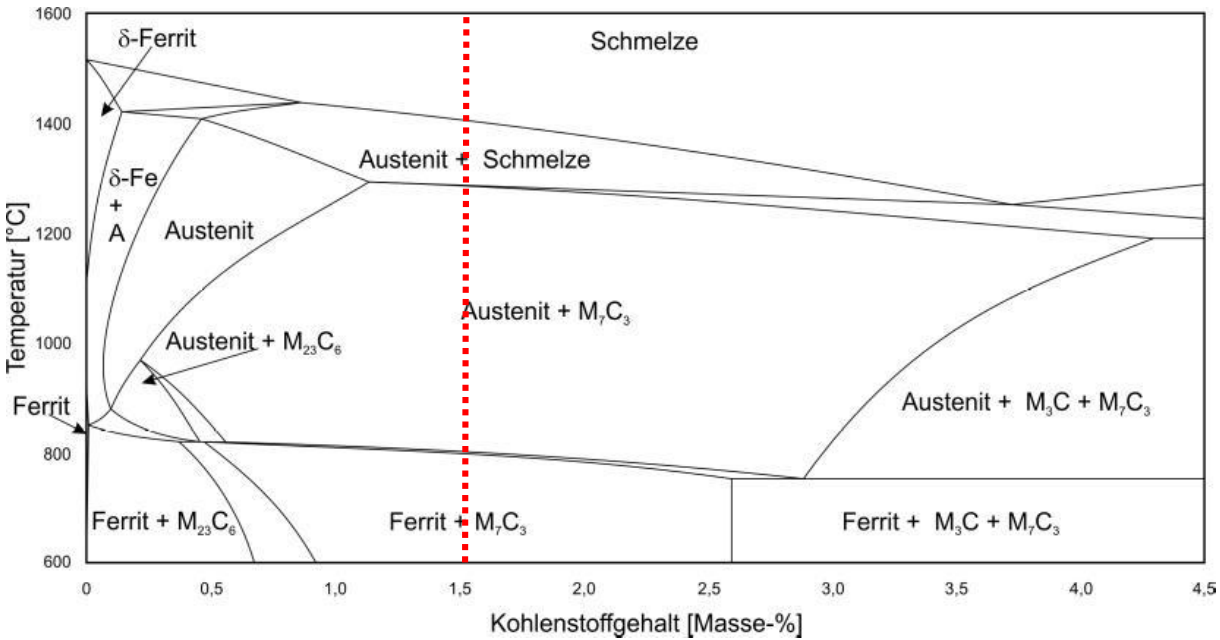
Werkzeugstähle

- Kaltarbeitsstähle (KAS)
  - KAS „zäh“ (z.B. C60)
  - KAS „hart“ (z.B.100Cr6)
  - KAS „karbidreich“ (z.B. X153CrVMo12)
- Warmarbeitsstähle (WAS)
- Schnellarbeitsstähle (HSS)

System Fe-C-13Cr

Legieren mit großen Mengen Cr führt zu:

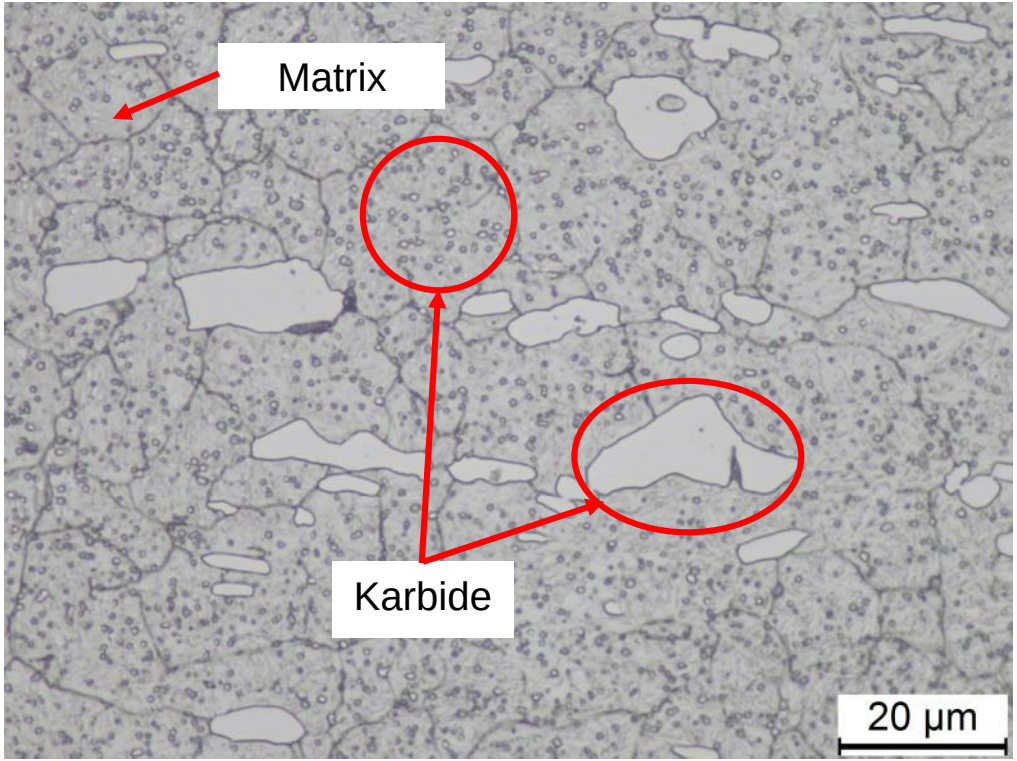
- Einschnürung Austenit
- Entstehung neuer Phasen
  - M_7C_3
  - $M_{23}C_6$



System Fe-C-13Cr

Beispiel X153CrVMo12:

- Zahlreiche Karbide aus der Stahlerzeugung:
  - Eingeformte eutektische Karbide
  - Aus dem Festkörper ausgeschiedene Karbide

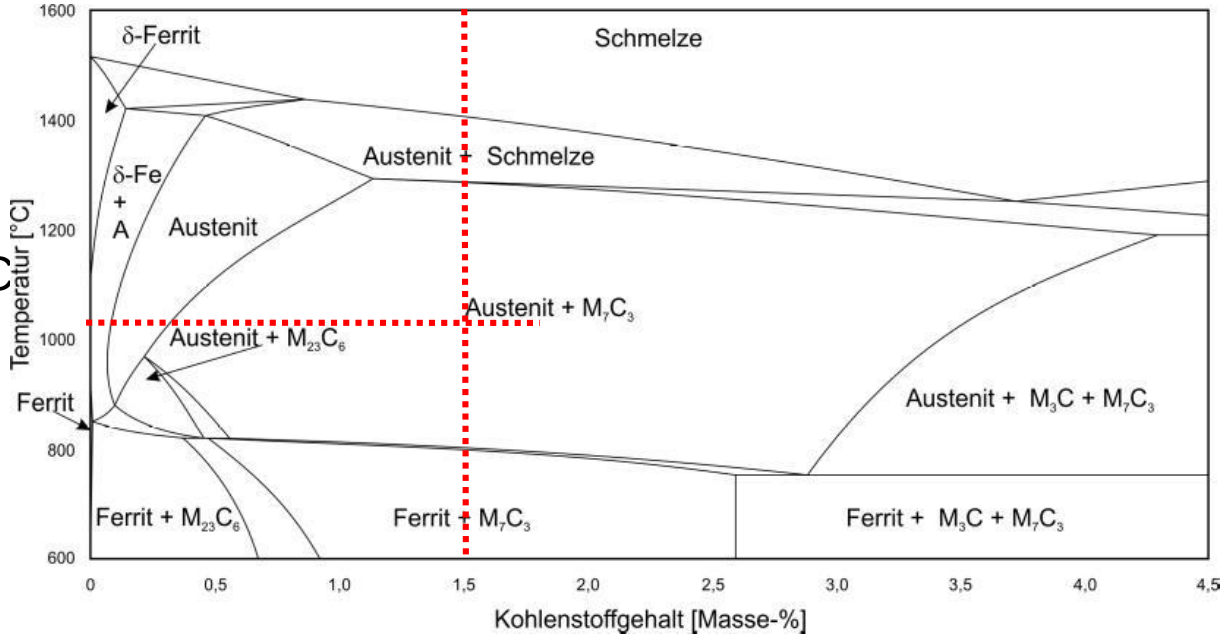


System Fe-C-13Cr

Beispiel X153CrVMo12

- Homogener Austenit nicht möglich
- Wärmebehandlung ~1030 °C
  - Austenit + M_7C_3

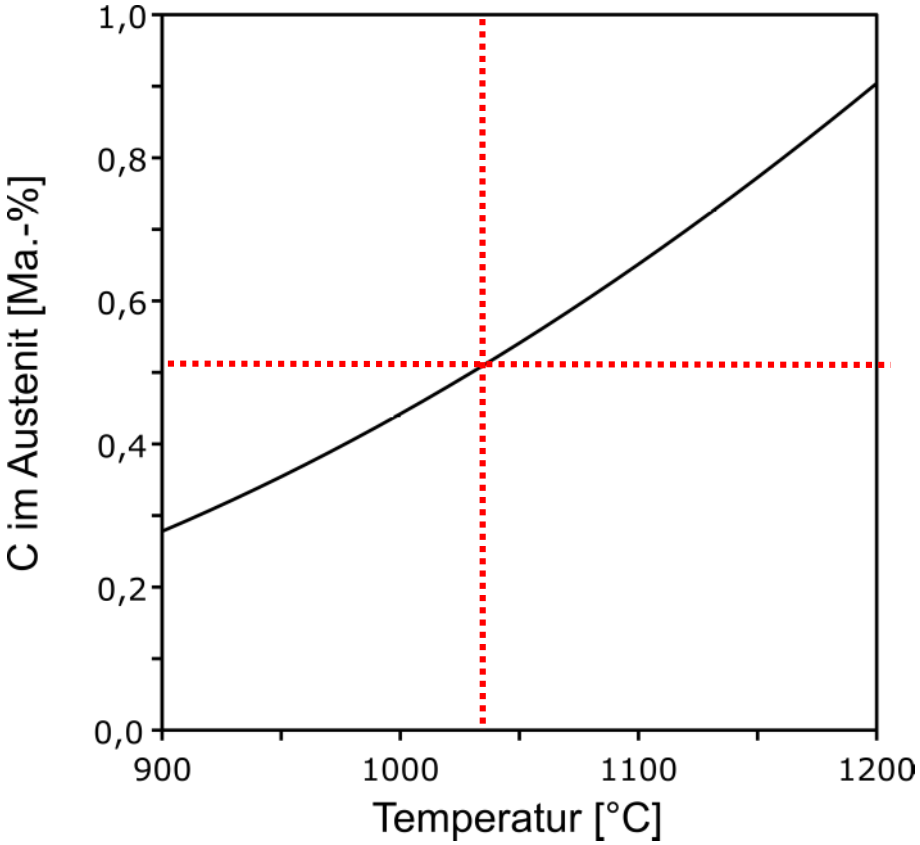
Optimale Temperatur?



Aufhärtung

Beispiel X153CrVMo12

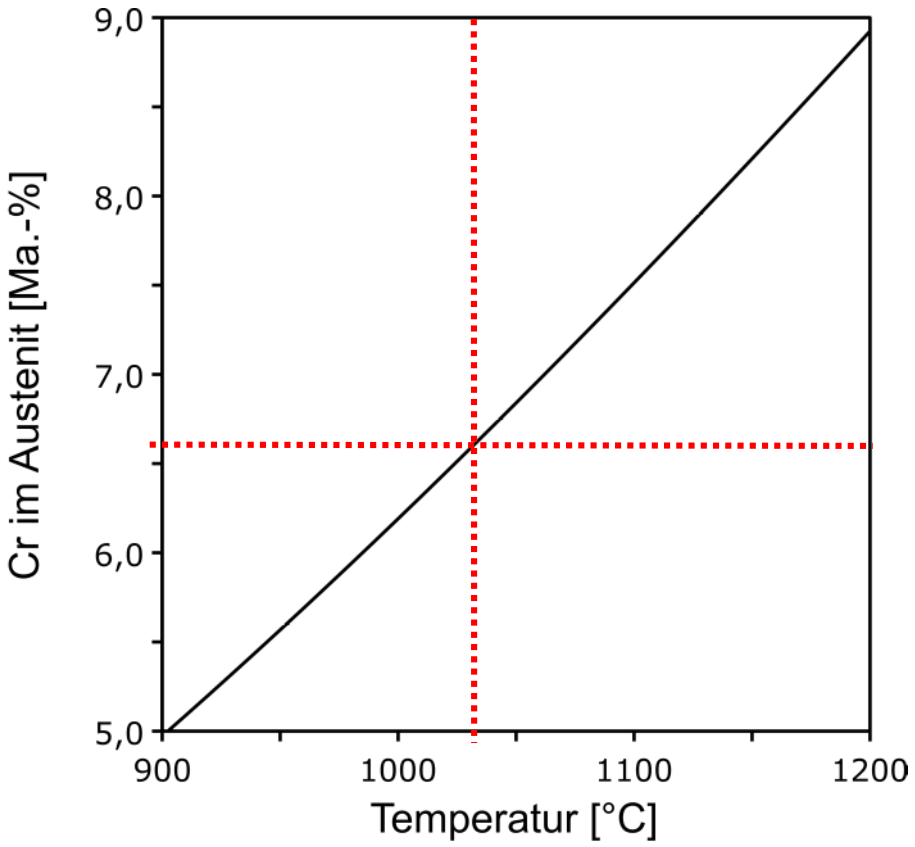
- Härte des Martensit nimmt mit steigender Menge an gelöstem Kohlenstoff zu
- Karbide müssen durch höhere Härtetemperatur aufgelöst werden



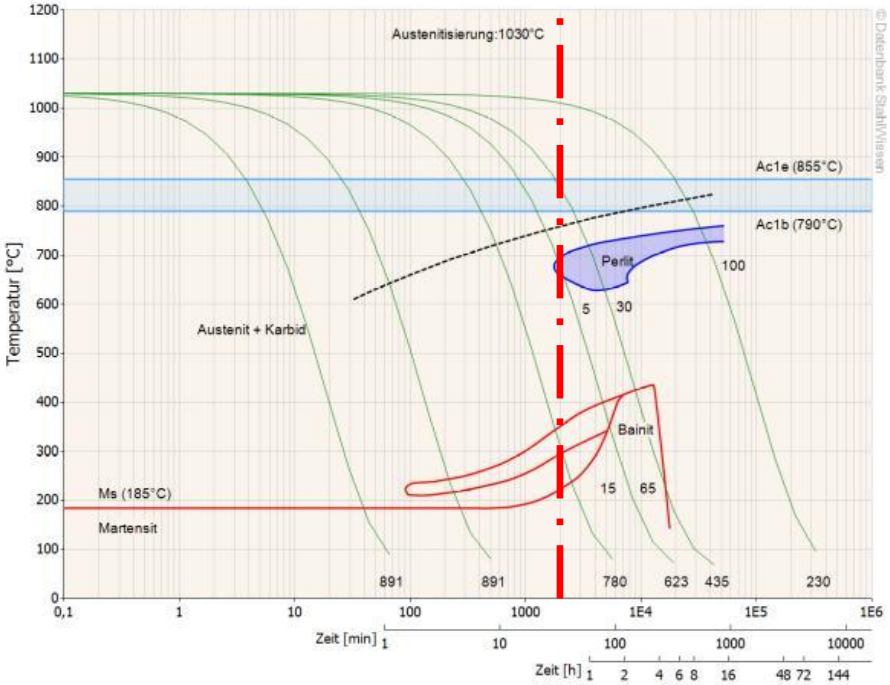
Einhärtung

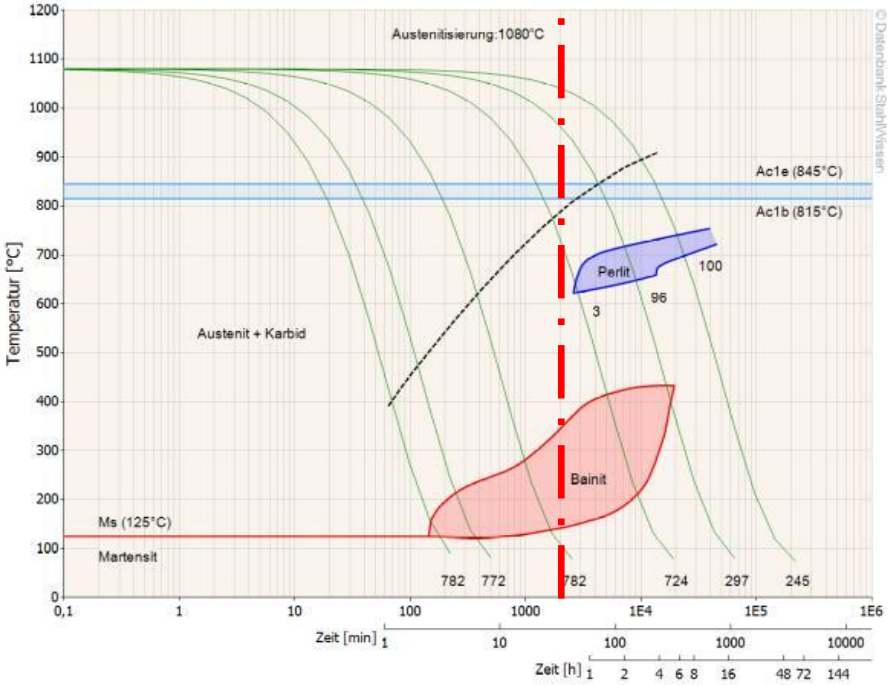
Beispiel X153CrVMo12

- Durch die Auflösung der Karbide wird auch Chrom in der Matrix gelöst
- Einfluss ZTU



Einfluss gelöste LE auf ZTU





Härtetemp.: 1030 °C
Gelöster Cr: ~ 6,5 Ma.-%

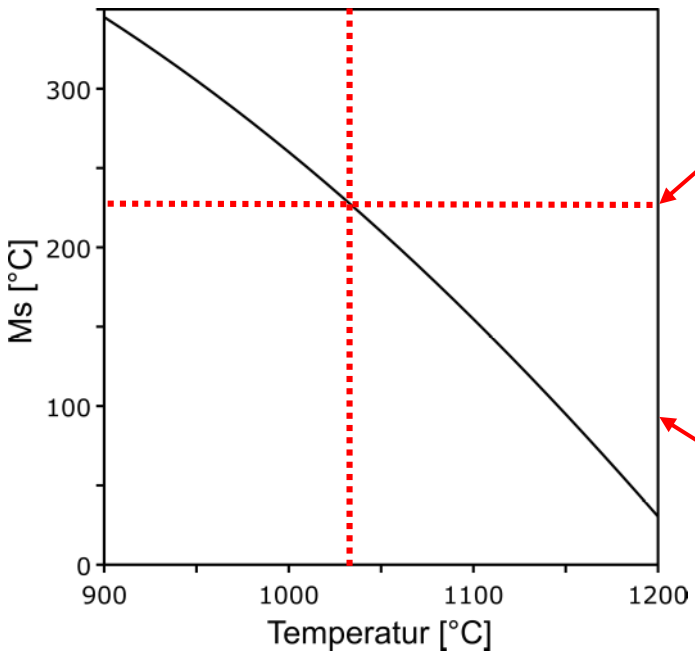
Quelle: Datenbank Stahlwissen

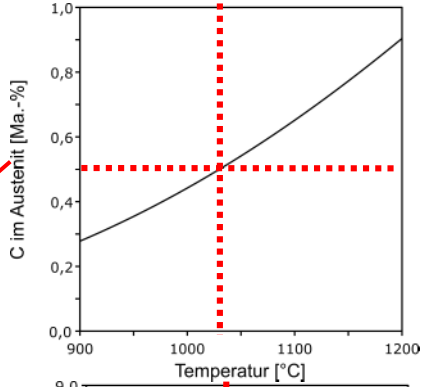
Härtetemp.: 1080 °C
Gelöster Cr: ~ 7,4 Ma.-%

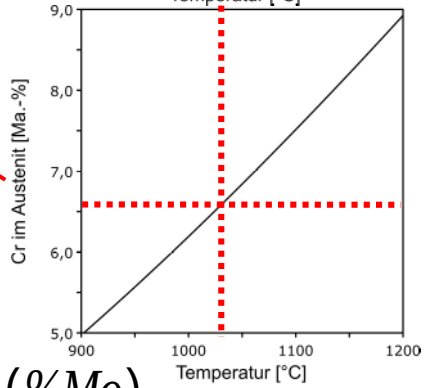
Martensit-Starttemperatur

Beispiel X153CrVMo12

- C + Cr senken MS
- Restaustenit







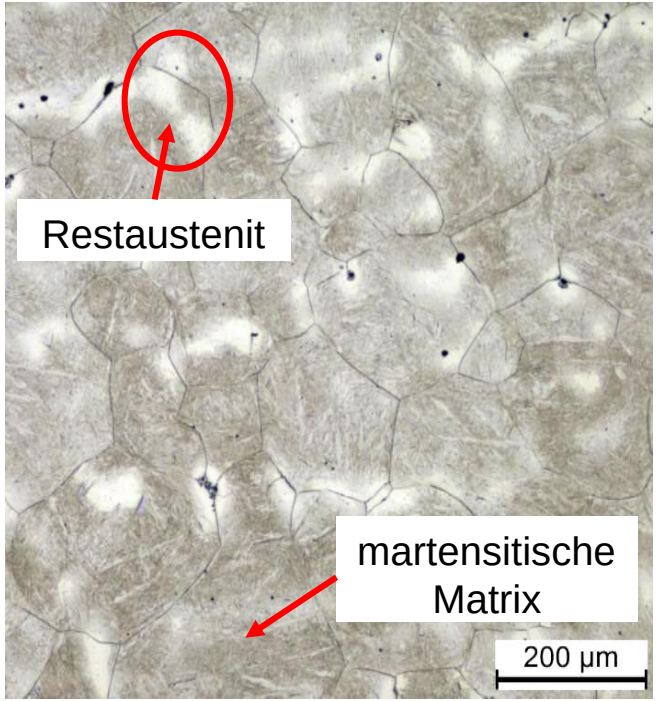
$$M_s(°C) = 539 - 423(\%C) - 30.4(\%Mn) - 17.7(\%Ni) - 12.1(\%Cr) - 7.5(\%Mo)$$

Quelle: Andrews K.W., JISI Vol.302 (1965), S. 721-727

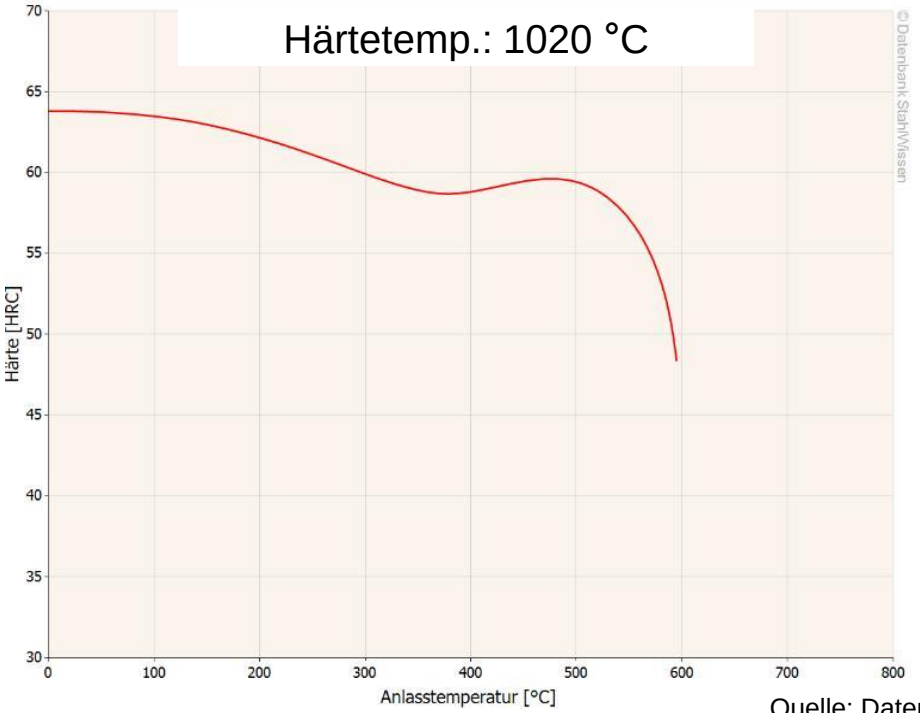
Abhilfe bei Restaustenit?

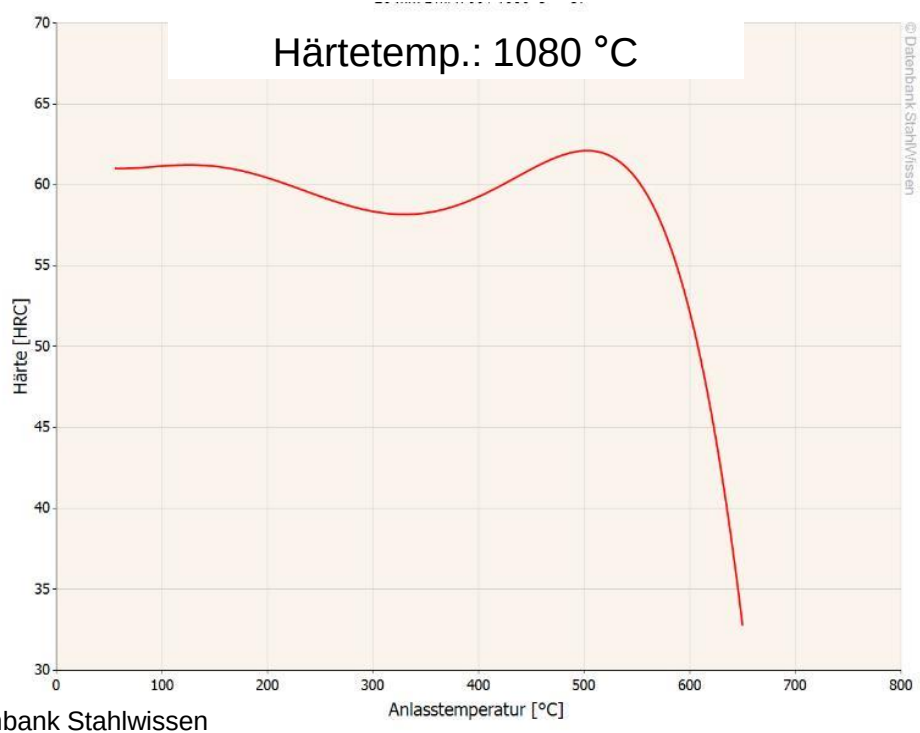
- **Anpassung der Härtetemperatur**
  - Weniger Karbide werden aufgelöst
  - Gehalte an C und subst. gelösten LE werden reduziert
  - M_s (und M_f) nehmen größere Temperaturwerte an (vgl. Folie 18)
- **Tiefkühlen deutlich unter M_f**
  - Erhöht die Triebkraft für die Umwandlung
  - zeitnah (< 1h) nach Härtung, ansonsten wird RA stabilisiert
- **Anlassen**

Restaustenit-Inseln in martensitischem Chromguss



Einfluss gelöste LE auf Anlassverhalten





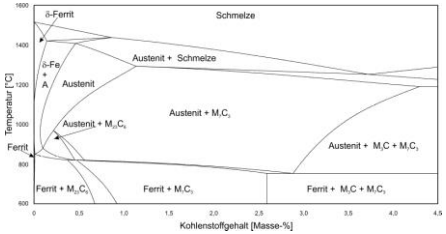
Quelle: Datenbank Stahlwissen

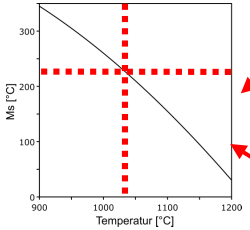
Zusammenfassung

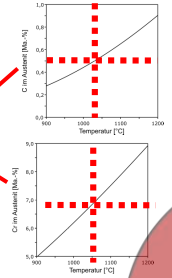
1. Härten karbidreicher martensitischer Stähle:
   partielle Auflösung von Karbiden vs. Vermeidung von Restaustenit (RA)

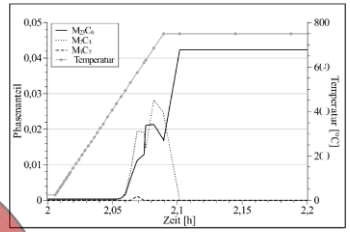
2. Beseitigung von RA:
   ➔ Zeitnahes (!) Tiefkühlen
   ➔ Anlassen (sofern keine korrosionsbeständige Güte)

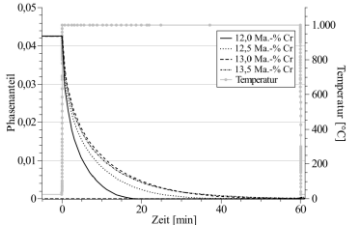
3. Beseitigung von RA durch Anlassen
   ➔ RA wird durch Bildung von Anlasskarbiden destabilisiert
   ➔ Karbide scheiden sich u.a. auf Korngrenzen aus → Bruchzähigkeit ↓
   ➔ bei korrosionsbeständigen Güten: Gefahr von interkristalliner Korrosion

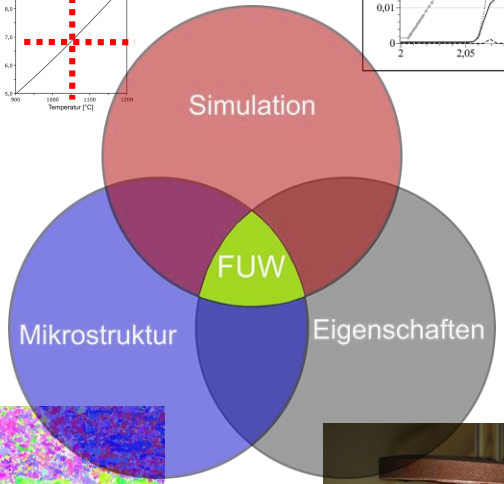




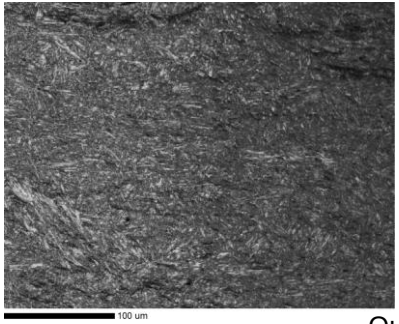


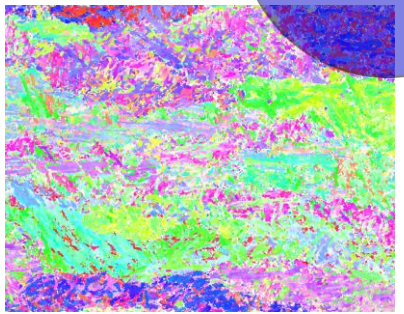




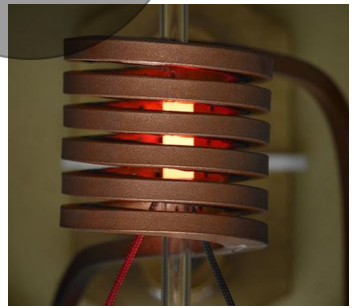


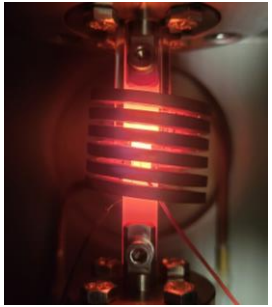
Quelle: TA Instruments





Quelle: EDAX





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

und Ihre Fragen !

Dr.-Ing. Michael Blüm
Lehrstuhl für Neue Fertigungstechnologien und Werkstoffe
Bahnhofstr. 15, 42651 Solingen
Email: bluem.fuw@uni-wuppertal.de
Tel.: 0212 231 340 112