



## ***Institut für Werkzeug- und Fertigungstechnik***

*Prof. Dr.-Ing. T. Schwanekamp*

*Prof. Dr.-Ing. B. Thimm*



**Lehrstuhl  
Werkstofftechnik**  
Materials Technology

## ***Lehrstuhl Werkstofftechnik***

*Prof. Dr.-Ing. S. Weber*

*Prof. Dr.-Ing. W. Theisen*

*Prof. Dr.-Ing. Martin Reuber, Leon Zimmer, B.Eng.*

# **Werkzeug-Grundkörper additiv herstellen - Herausforderungen und Möglichkeiten**

*VDMA-Technologieforum  
EMO Hannover, 21.09.2023*

# Additive Fertigung kohlenstoffreicher Stähle mittels Laser - Powder Bed Fusion (PBF-LB)



- Ziele

Erweiterung der Werkstoffpalette zur Herstellung von Werkzeuggrundkörpern, Haltern und Spannmitteln

Ganzheitliche Optimierung der Prozesskette aus PBF-LB und Post Processing kohlenstoffreichen Kalt- und Warmarbeitsstählen

- IGF-Projekt AddKoSt (abgeschlossen Juni 2023)

- Forschungsstellen und Projektleitung

iWFT der RFH Köln (Prof. Dr. Reuber)

LWT der RUB (Prof. Dr. Theisen, Prof. Dr. Weber)

- Unterstützt durch den Arbeitskreis Präzisionswerkzeuge des VDMA und projektbegleitenden Ausschuss aus 16 Industrieunternehmen

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Lehrstuhl  
Werkstofftechnik  
Materials Technology



Rheinische Fachhochschule Köln  
University of Applied Sciences



RUHR  
UNIVERSITÄT  
BOCHUM

RUB

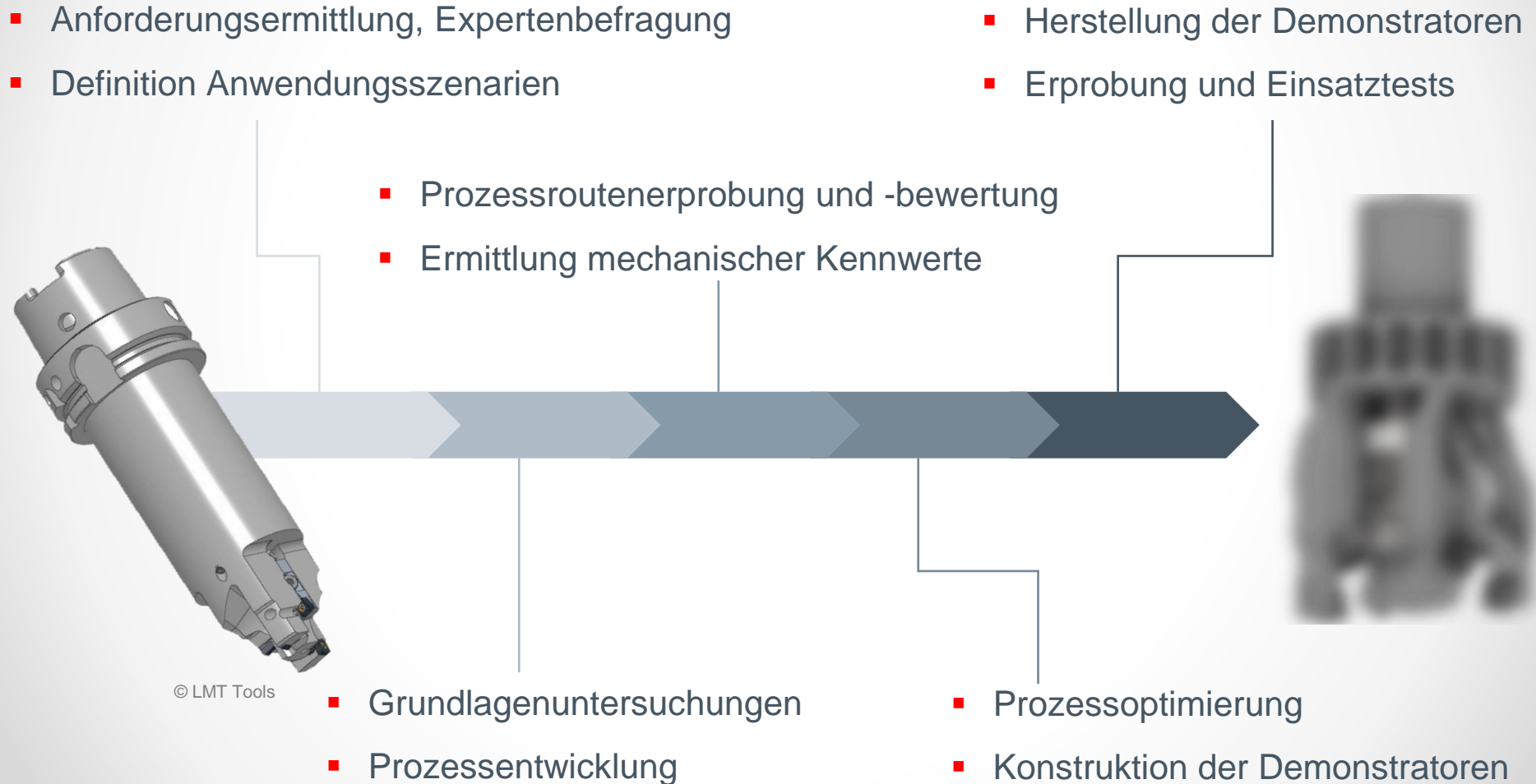


Lehrstuhl  
Werkstofftechnik  
Materials Technology

# Vorgehen im Forschungsprojekt



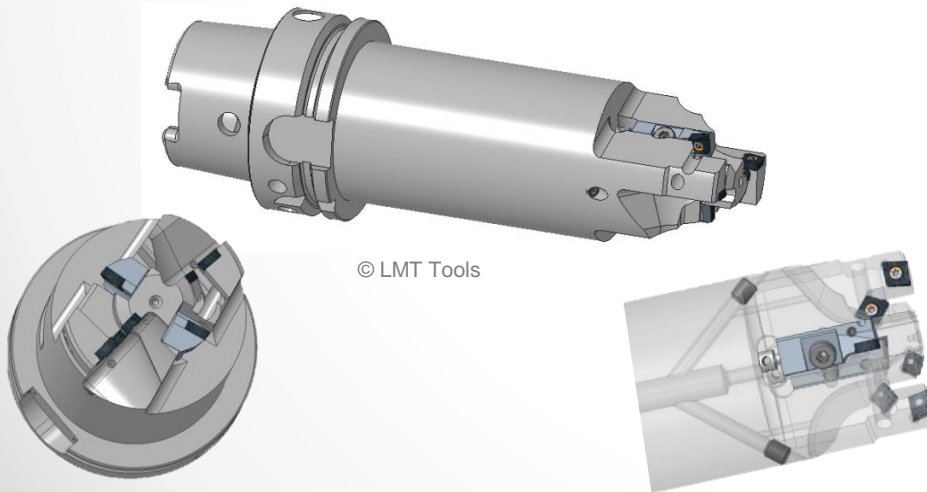
Additive Fertigung kohlenstofffreier Stähle  
mittels Laser-Powder Bed Fusion



- Anforderungen der Industrie

- Härte - 420 HV
- Zugfestigkeit  $> 1.300 \text{ N/mm}^2$
- Werkstoffe 1.2343, 1.2714, (1.2885)

- Anwendungsszenarien



Überdreh-/Glockenwerkzeug (LMT Kieninger)

- Ziele bei der Applikationsauswahl

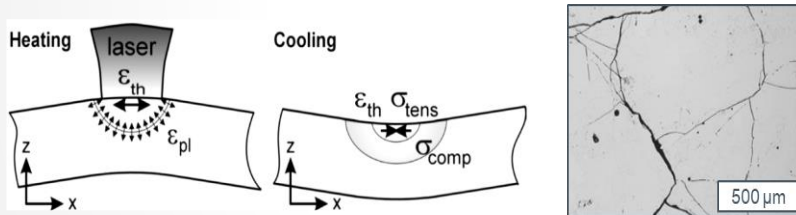
- Optimierung Steifigkeit bei reduziertem Gewicht
- Optimierung der Innenkühlkanäle
- Hybridfertigung für praxisgerechte Prozessketten



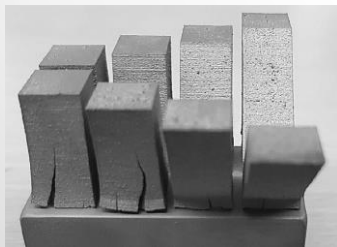
Eck-/Nutenfräser (Seco)

## Herausforderungen steigen mit dem Kohlenstoffgehalt

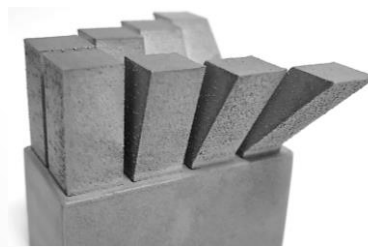
- thermische Gradienten im PBF-LB Prozess führen zu Eigenspannungen
- mit steigendem C-Gehalt erhöhte Rissgefahr



Mercelis, Kruth: „Residual stresses in selective laser sintering and selective laser melting“, Rapid Prototyping Journal, 12(5), DOI: 10.1108/13552540610707013, 2006



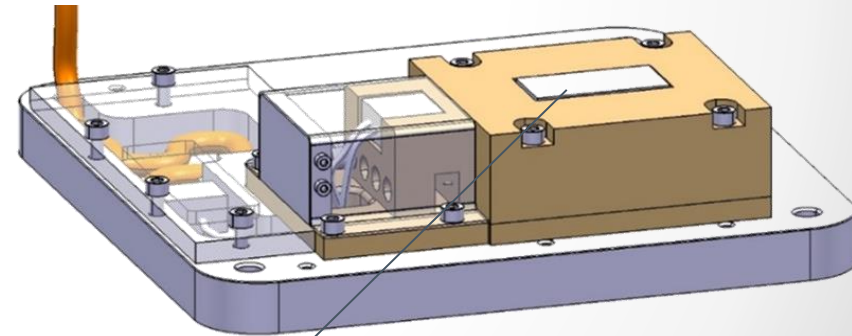
ohne Vorwärmung



mit Vorwärmung

## Bauraumvorheizung

- thermische Gradienten reduzieren
- Laserenergie verringern
- Materialplastizität / Bruchzähigkeit steigern

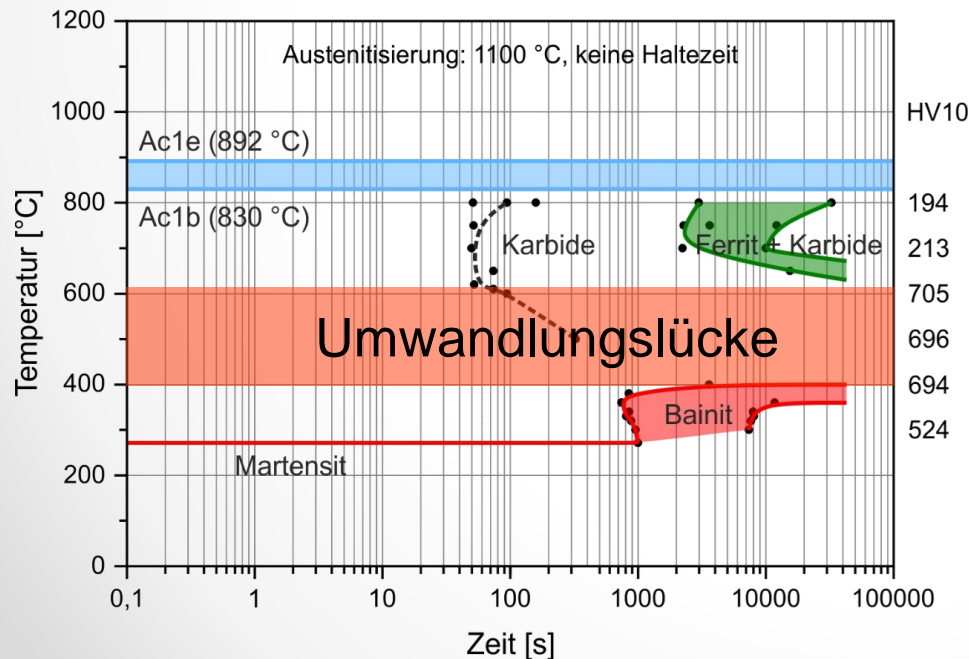


Vorheizung > 800°C am iWFT

# Mikrostruktur gezielt optimieren

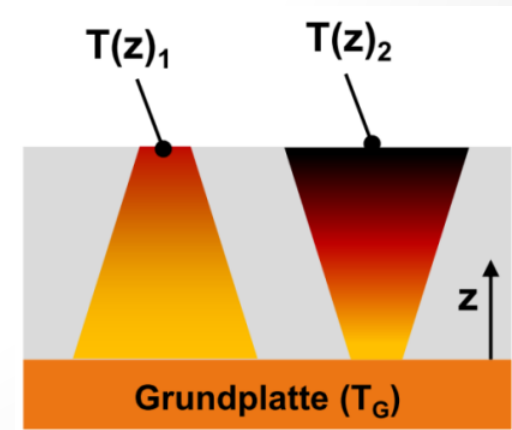
## ■ Effekte der AM-Prozessführung

- hohe Abkühlraten beim AM erzeugen feinkörnige Gefüge (Zelle-Saum-Struktur)
- Vorwärmung erlaubt gezielte Gefügeeinstellungen – In-Situ Wärmebehandlung



## ■ Herausforderungen

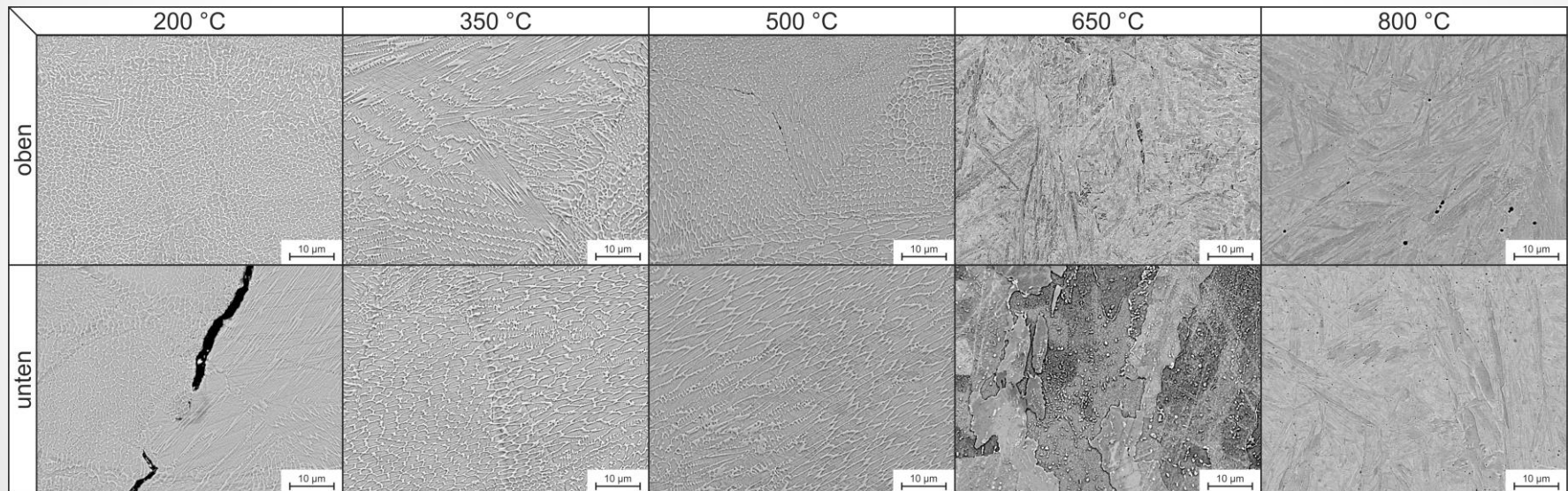
- Temperaturen und Haltezeiten im aufgebauten Bauteil sind bauhöhen- und -zeitabhängig
- Temperaturfluss im Bauteil ist geometrieabhängig (Querschnitte und Übergänge)





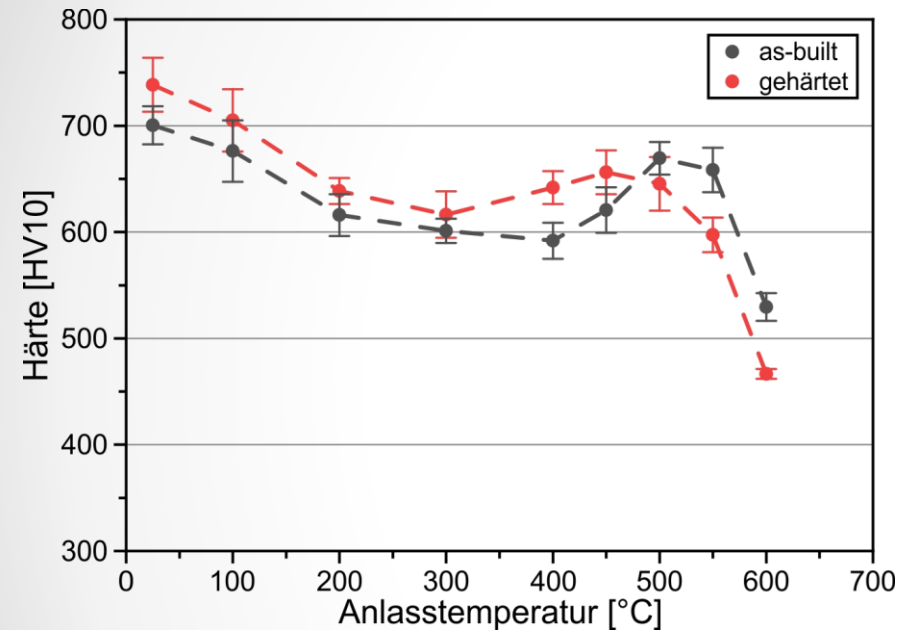
# Mikrostruktur im as-built Zustand

- Gefüge bei unterschiedlichen Vorwärmtemperaturen
- Gefüge in Abhängigkeit der Bauhöhe bzw. der korrespondierenden Haltezeit



- 250 bis 550 °C → Zelle-Saum-Struktur über die gesamte Bauhöhe
- 650 °C → Einsetzen diffusionskontrollierter Phasenumwandlungen
- 850 °C → Fortschreiten diffusionskontrollierter Phasenumwandlungen

# Wärmebehandlung und mechanische Kennwerte



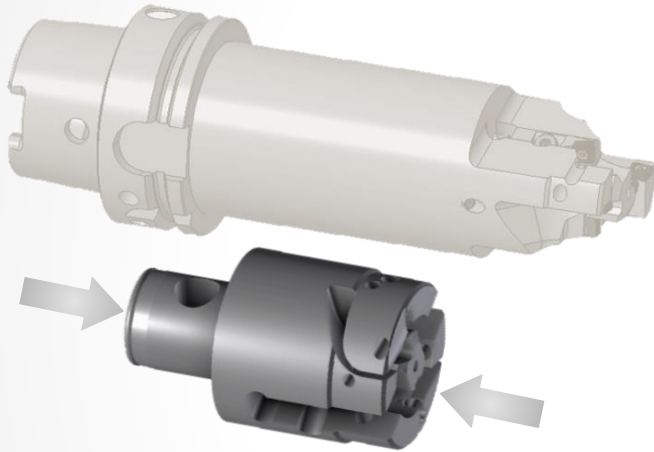
- Härte im As-Built-Zustand beim AM etwas geringer als mit konventioneller Härtung
- beim Anlassen zeigen additiv erzeugte Gefüge im Vergleich zu konventionell hergestellten Stählen
  - ein erhöhtes Sekundärhärtemaximum
  - ein zu höheren Temperaturen verschobenes Sekundärhärtemaximum (Temperaturbeständigkeit)

	Härte in [HV 10]	Zugfestigkeit in [N/mm <sup>2</sup> ] <i>in Aufbaurichtung</i>
Additiv gefertigt + Anlassen	683 ±5	1.631 ±39
Referenz	420	1.300 – 1.400



# Konstruktionsmethodik bei der Optimierung des Glockenwerkzeugs

## 1) Einkürzen und Material hinzufügen

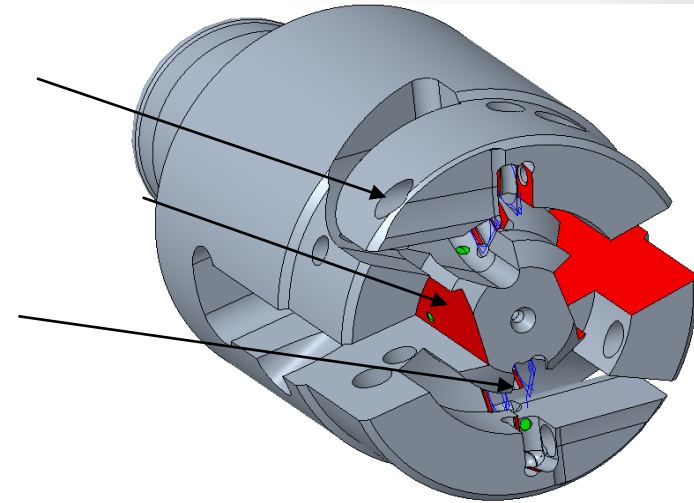


## 2) Funktionsrelevante Materialverteilung

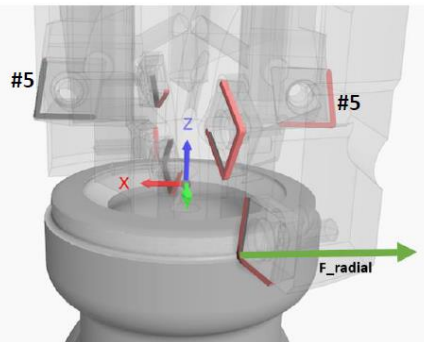
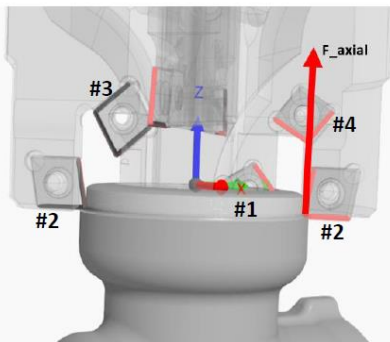
Zugänglichkeit  
der Schrauben

Eintauchen ins  
Werkstück

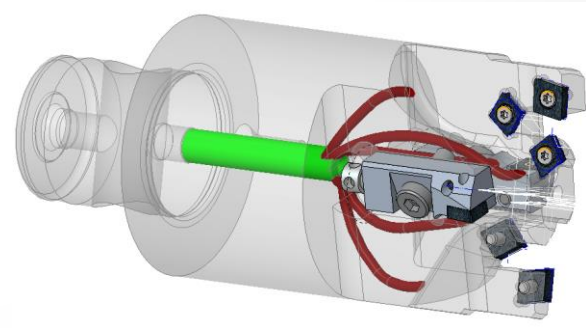
Austrittsstelle  
für Kühlmittel



## 3) Statische Simulation der Lastkollektive



## 4) Auslegung der Innenkühlkanäle



© RSC Engineering / LMT Tools

# Entwicklungsschritte zum additiv optimierten Werkzeug



- Topologieoptimierung anhand statischer Lastkollektive
- Kühlkanäle z.T. außerhalb der Trägerstruktur
- Masse und Masseverteilung wg. Unwuchten berücksichtigen
- Geometriefreiheit der additiven Fertigung ausnutzen

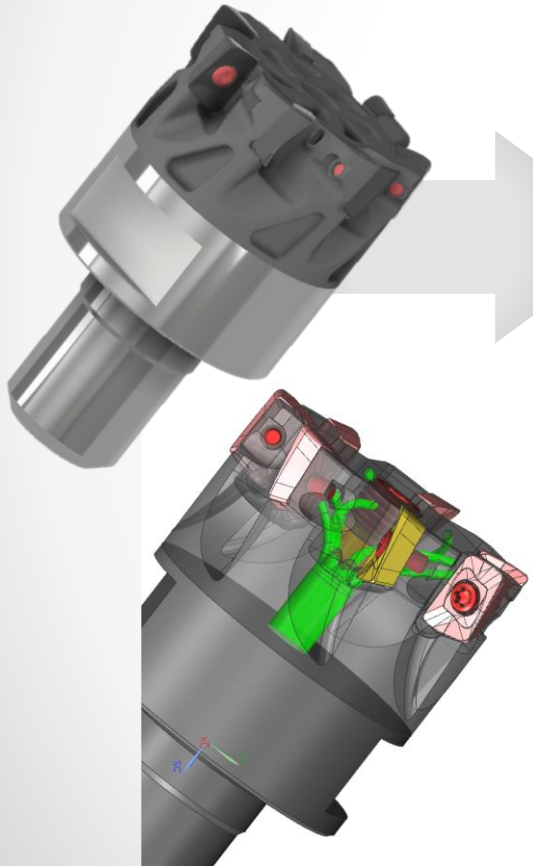
© RSC Engineering / LMT Tools

# Optimierung bei der additiven Fertigung eines Ecknutenfräasers



# Konstruktionsänderungen beim Ecknutenfräser

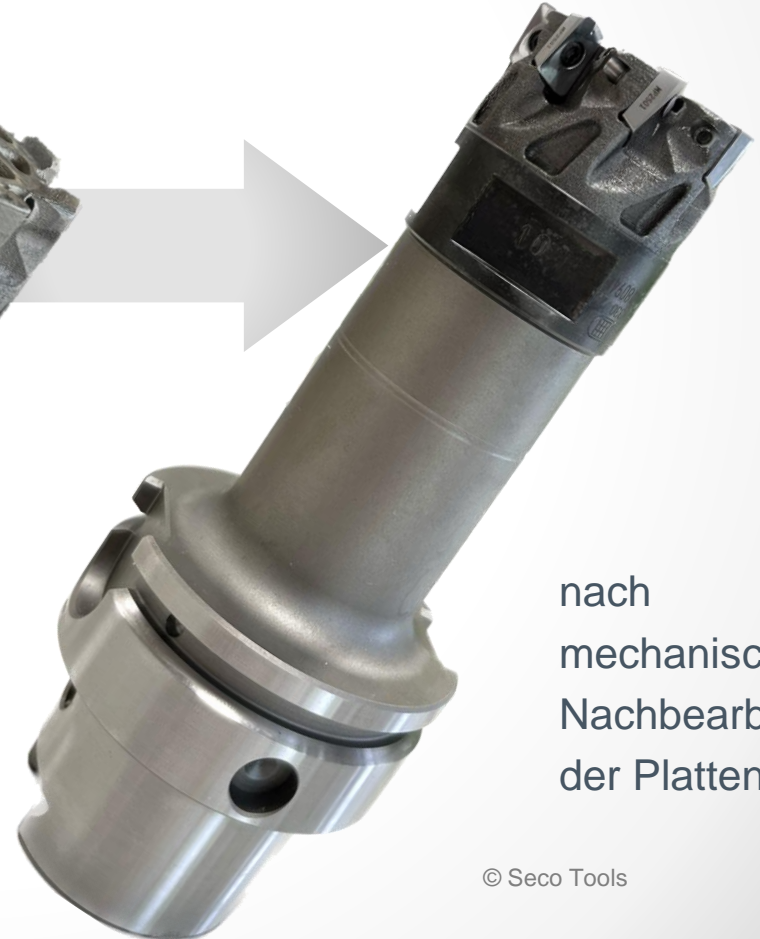
CAD-Modell



Additiv gefertigter Rohling



Einsatzfertiges Werkzeug



nach  
mechanischer  
Nachbearbeitung  
der Plattensitze

© Seco Tools



- Untersuchte Kohlenstoffstähle sind mit Vorwärmtemperaturen ab circa 250°C defektfrei verarbeitbar
- Geeignete Prozesstemperaturen liegen oberhalb der Martensitstarttemperatur
- Bei Prozesstemperaturen in der Umwandlungslücke genügt nach dem additiven Aufbau ein Anlassen (bei großen Bauhöhen und langen Bauzeiten zu empfehlen)
- Anlagentechnik mit Bauraumvorheizung erforderlich, Simulation der Wärmeverteilung sinnvoll
- Fertigungskette von der Konstruktion und Optimierung über den additiven Aufbau bis zur mechanischen Nachbearbeitung und Einsatztests im Projekt abgebildet
- Verschiedene Optimierungsziele, Topologieoptimierung und Hybridbau umgesetzt

Gefördert durch:

