

Funktionalisierung von Ur- und Umformwerkzeugen mittels generativer Laser-Strahlschmelz-Technologie

Torsten Schnabel, Fraunhofer IWU



Inhalt

- Überblick Laser-Strahlschmelzen
- Funktionsintegration in Werkzeuge und Formen
 - Temperierung
 - Zellulare Strukturen
 - Sensorintegration
- Anwendungsbeispiele
 - Kunststoffspritzgießen
 - Druckgießen
 - Massivumformung
 - Blechumformung
- Entwicklungstrends

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

Das Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU ist Motor für Neuerungen im Umfeld der produktionstechnischen Forschung und Entwicklung. Wir erschließen Potenziale, entwickeln Lösungen, verbessern Technik und treiben Innovationen in Wissenschaft und Auftragsforschung voran. Im Fokus: Bauteile und Verfahren, Technologien und Prozesse, komplexe Maschinensysteme – die ganze Fabrik.

Die Kernkompetenzen des Fraunhofer IWU werden seit dem Jahre 2008 durch den Einsatz generativer Fertigungsverfahren ergänzt. Die Fertigung mittels Laser-Strahlschmelzen ermöglicht dem Fraunhofer IWU und seinen Industrie- und Forschungspartnern, neue Wege in der Entwicklung und Fertigung innovativer metallischer Bauteile und Komponenten zu gehen. Speziell im Bereich Werkzeugbau wurden in verschiedensten Projekten innovative laser-strahlgeschmolzene Werkzeuge entwickelt, gefertigt und erfolgreich eingesetzt. Das Fraunhofer IWU als Forschungspartner hat Anwendungen laser-strahlgeschmolzener Werkzeugeinsätze in der Urformtechnik etabliert und bereits erste Anwendungsreferenzen für Umformverfahren geschaffen.

Dipl.-Ing. (Univ.) Torsten Schnabel

- 10/2002 – 12/2008: TU Dresden - Studium in der Fachrichtung Maschinenbau, Vertiefungsrichtung Luft- und Raumfahrttechnik
- 05/2008 – 11/2008: Airbus Deutschland GmbH (Bremen) - Diplomand
- 07/2009 – 04/2013: Airbus Defence & Space (ehemals EADS Defence & Security) - Entwicklungsingenieur
Fatigue & Damage Tolerance: Erstellung rechnerischer und experimenteller Lebensdauernachweise, Erarbeitung von Maßnahmen zur strukturellen Lebensdauererweiterung etc. für die Waffensysteme Tornado und Eurofighter
- 05/2013 – 12/2015: Airbus Defence & Space - Projektmanager Fatigue, SHM & Structural Integrity: Leitung und Durchführung eines multidisziplinären Projekts für internationale militärische Kundschaft unter Einbindung nationaler und internationaler Supplier für das Waffensystem Eurofighter
- 01/2016 – 12/2016: Airbus Defence & Space - Teamleiter „Fatigue & Damage Tolerance: Fachliche und disziplinarische Leitung des Teams, Fortführung Projektleitertätigkeit
- 01/2017 – heute: Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU – Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Abteilung Generative Verfahren: Forschung und Entwicklung im Bereich Laser-Strahlschmelzen

Website

<https://www.iwu.fraunhofer.de/de/forschung/leistungsangebot/kompetenzen-von-a-bis-z/generative-fertigung.html>

Funktionalisierung von Ur- und Umformwerkzeugen mittels generativer Laser-Strahlschmelz-Technologie

Dipl.-Ing. Torsten Schnabel

Dipl.-Ing. (FH) Mathias Gebauer

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU



2. Anwendersymposium 2017 – 3D-Druck Metall: „Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau“, 28.-29.09.2017, Wels (AT)

Das Fraunhofer IWU im Profil

Forschung unter dem Leitthema »Ressourceneffiziente Produktion«

- Gründung am 1. Juli 1991
- Aktuell 620 MitarbeiterInnen
- Ca. 40 Mio Euro Forschungsvolumen
- Standorte: Chemnitz (Hauptsitz)
Dresden, Zittau, Wolfsburg, Leipzig
- 3 Wissenschaftsbereiche:



Mechatronik und
Funktionsleichtbau



Umformtechnik und
Fügen



Werkzeugmaschinen,
Produktionssysteme
und Zerspanungstechnik

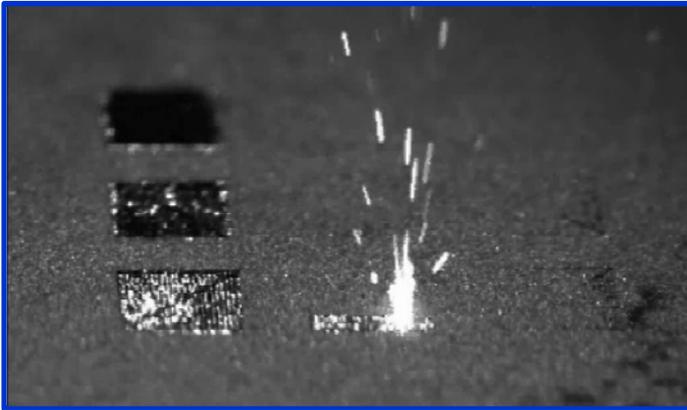


Gliederung

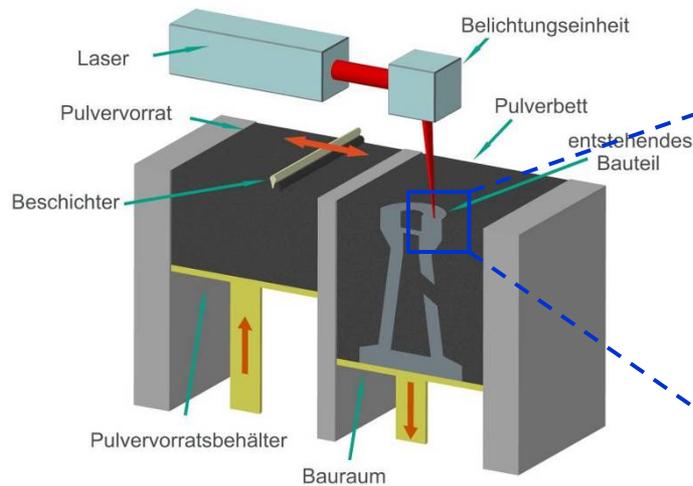
- Überblick Laser-Strahlschmelzen
 - Verfahrensvorstellung
 - Vorteile
 - Werkstoffe für den Werkzeug- und Formenbau
- Funktionsintegration in Werkzeuge und Formen
 - Temperierung
 - Zellulare Strukturen
 - Sensorintegration
- Funktionsintegration in Werkzeuge und Formen – Anwendungsbeispiele
 - Kunststoffspritzgießen
 - Druckgießen
 - Massivumformung
 - Blechwarmumformung (Presshärten)
 - Blechumformung
- Entwicklungstrends

Laser-Strahlschmelzen

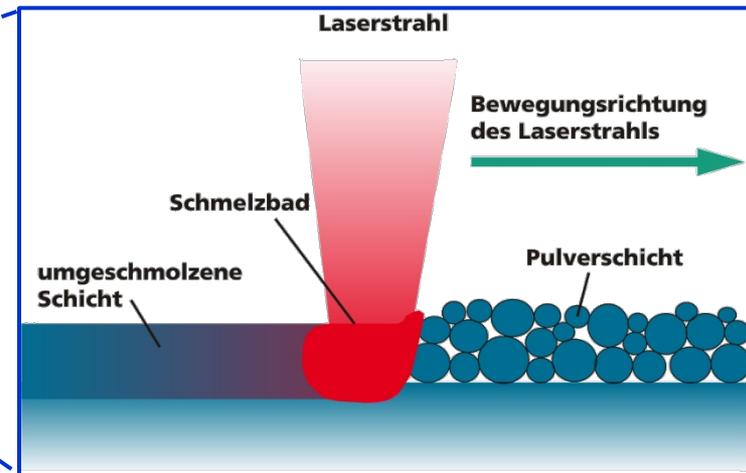
Verfahrensvorstellung



- **direktes Verfahren**, bei dem die gewünschten Teile in einem **einstufigen Prozess** im **metallischen Serienmaterial** entstehen (ggf. ist Entfernung von Stützstrukturen und Reinigung erforderlich)
- **vollständiges**, lokales **Aufschmelzen** von Metallpulvern zu einem 99,5 - 100 % dichten Gefüge



Funktionsprinzip einer Laserstrahlschmelzanlage



Laser-Strahlschmelzen

Vorteile



(Quelle: Fraunhofer IWU)



(Quelle: Fraunhofer IWU)



(Quelle: Philipp Manger)

- Gestaltfreiheit
- Filigrane Strukturen
- Komplexe innere Geometrien
- Verarbeitung konventioneller metallischer Werkstoffe (z.B. Warmarbeitsstahl)

Laser-Strahlschmelzen

Werkstoffe und mechanische Kennwerte

Werkstoff	Zustand	Zugfestigkeit R _m [MPa]	Streckgrenze R _{p 0,2} [MPa]	Bruchdehnung A [%]	Härte	E-Modul [GPa]
Werkzeugstahl ¹ 1.2709 X3NiCoMoTi 18 9 5	wärmebehandelt (490 °C)	2.040 - 2.180	1.870 - 1.940	3 - 5	54 - 56 [HRC]	
Werkzeugstahl (rostfrei) Corrax® (Uddeholm)	wärmebehandelt (525 °C)	1.700	1.600	> 2	48 - 50 [HRC]	
Edelstahl 1.4404 X2CrNiMo 17-12-2	wie gebaut	640	500	> 15	20 [HRC]	
Titan ⁴ 3.7165 TiAl6V4	wärmebehandelt	950 - 1.250	800 - 1.100	10 - 20	32 - 36 [HRC]	
Aluminium ² 3.2381 AlSi10Mg	wie gebaut lösungsgeglüht T6 wärmebehandelt	353 - 482 221 - 260 281 - 320	210 - 295 126 - 160 222 - 262	2 - 7 10 - 18 5 - 10	95 - 119 [HB] 63 - 74 [HB] 85 - 101 [HB]	67 - 78 57 - 73 69 - 80
Inconel 718 ³ 2.4668 NiCr19NbMo	wie gebaut lösungsgeglüht T6 wärmebehandelt	929 - 1308 896 - 1080 1334 - 1545	583 - 945 549 - 922 924 - 1278	20.2 - 32.7 31.9 - 42.2 6.6 - 19.4	280 - 395 [HV 10] 273 - 320 [HV 10] 453 - 485 [HV 10]	128 - 232 142 - 257 149 - 242

**weitere Werkstoffe: CoCr, 17-4 PH,
AlSi12, Hastelloy X**

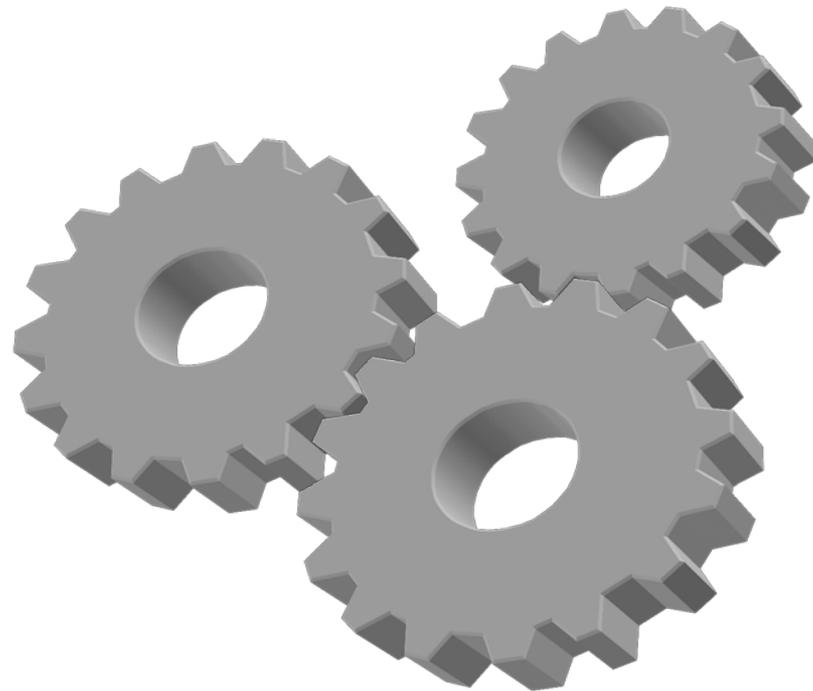
¹ Kennwerte lt. VDI 3405 Blatt 2

³ VDI 3405 Blatt 2.2

² VDI 3405 Blatt 2.1

⁴ VDI 3405 Blatt 2.4 in Vorb.

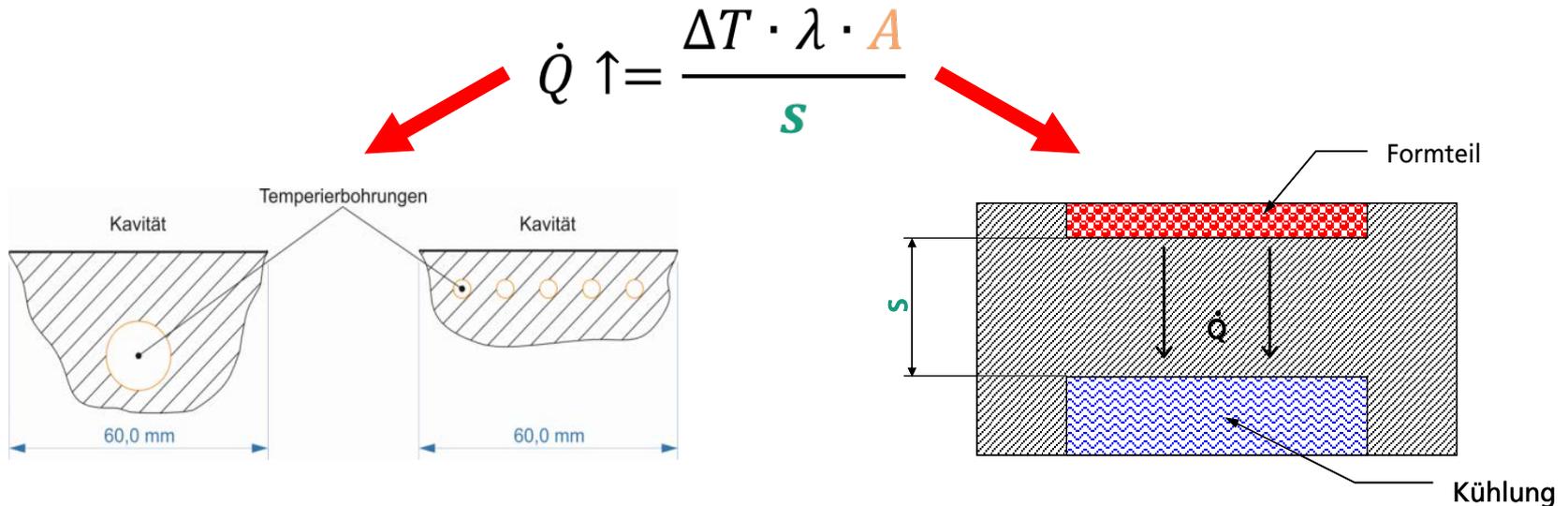
Funktionsintegration in Werkzeuge und Formen



Funktionsintegration in Werkzeuge und Formen

Temperierung

- Einfluss des Kanalabstands s (Haupteinfluss) und der Kanaloberfläche A

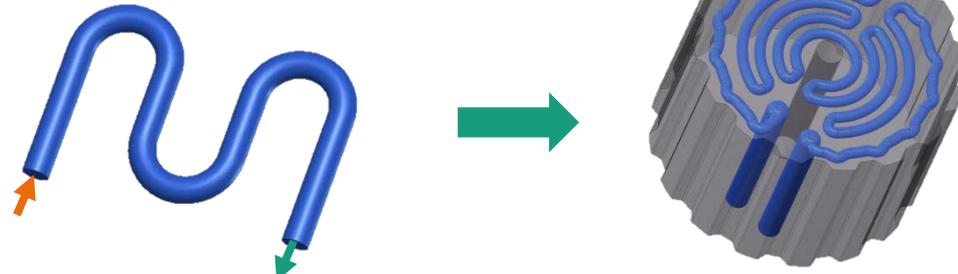


- eine größere Kanaloberfläche führt zu einem höheren Wärmestrom \dot{Q}
 - Prozesszeit sinkt
- wird der Abstand s reduziert, steigt der Wärmestrom \dot{Q}
 - Prozesszeit sinkt

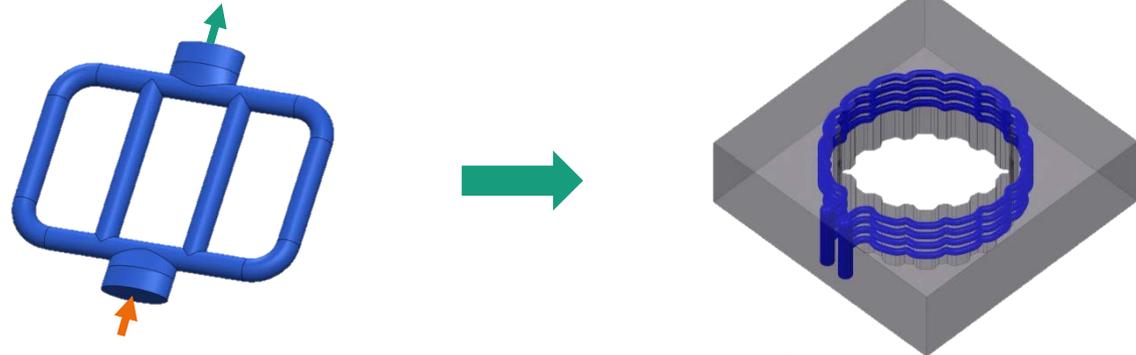
Funktionsintegration in Werkzeuge und Formen

Temperierung

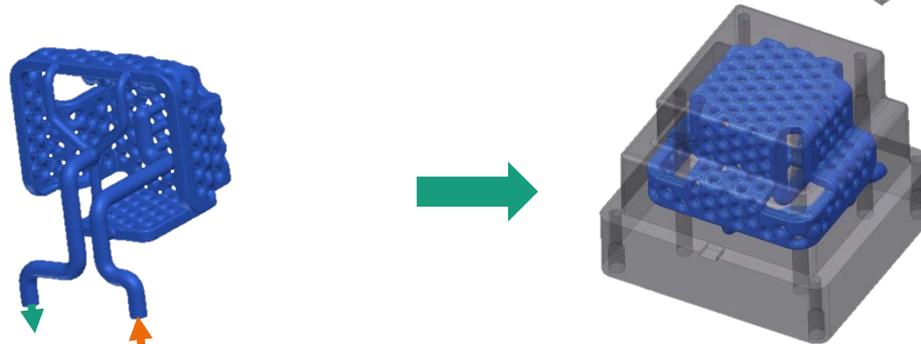
Serieller Kreislauf



Paralleler Kreislauf



Flächenkühlung

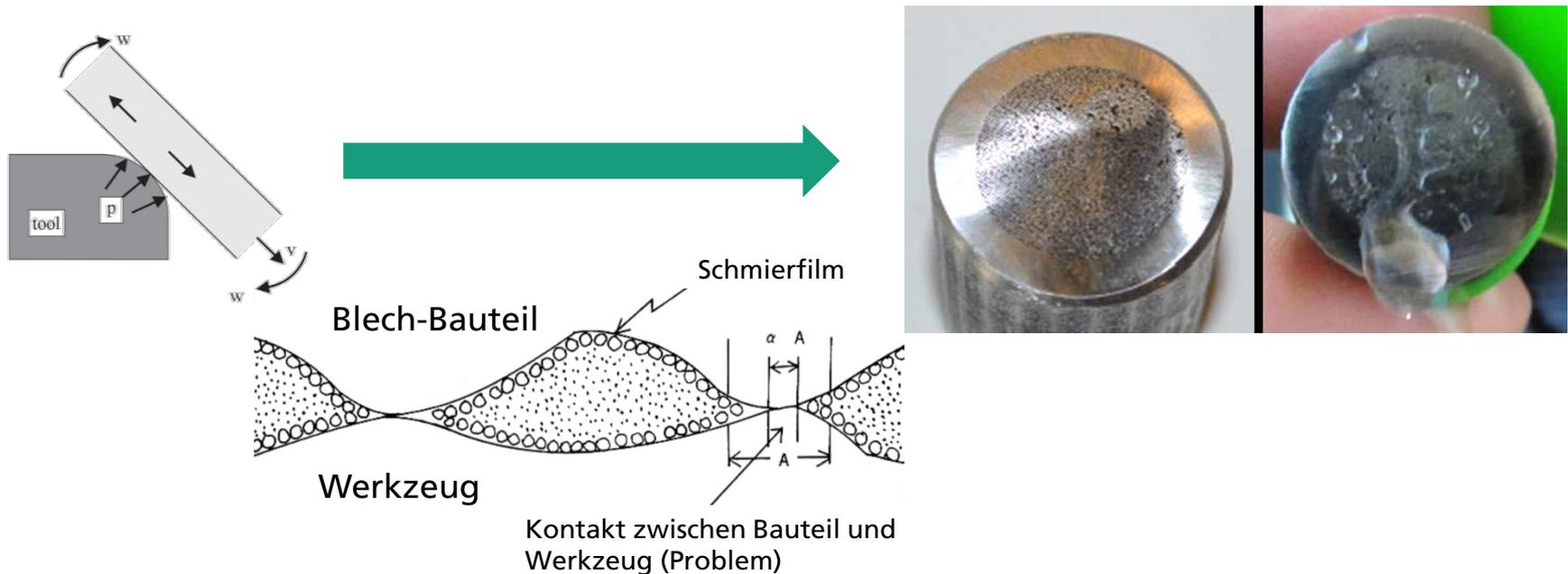


Zulauf/ Rücklauf

Funktionsintegration in Werkzeuge und Formen

Zellulare Strukturen

Zellulare Strukturen als Formentlüftung oder zur Schmiermittelzufuhr



(Quellen:

Stoll, Philipp:

Gute Poren - Erwünschte Porosität in SLM-Werkstücken. Rapid.Tech 2015, Erfurt, 10. - 11.06.2015

Haar, Rudi ter.: Friction in sheet metal forming – the influence of (local) contact conditions and deformation. Ph.D, University of Twente, 1996

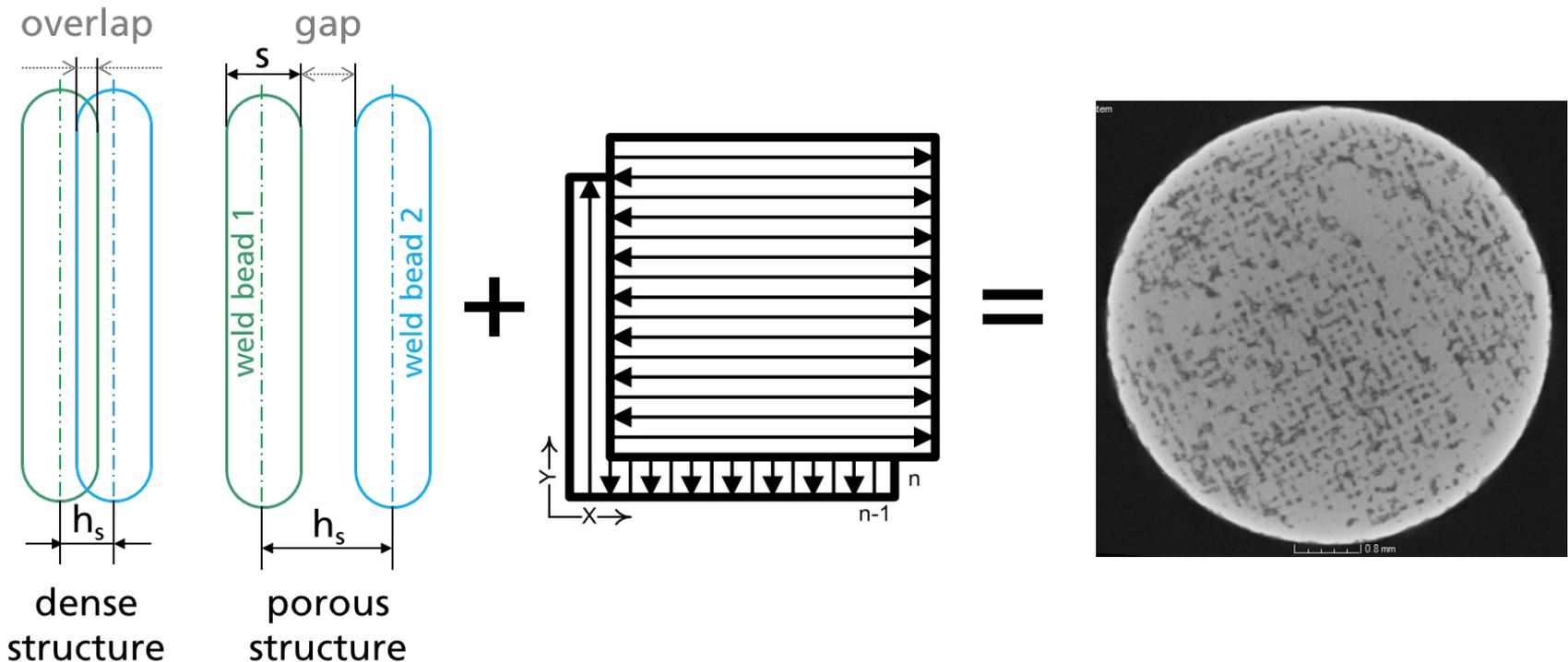
Hironaka, Seiichiro:

Boundary Lubrication and Lubricants. Three Bond Technical News, No. 9, 1984)

Funktionsintegration in Werkzeuge und Formen

Zellulare Strukturen

Zellulare Strukturen als Formentlüftung oder zur Schmiermittelzufuhr

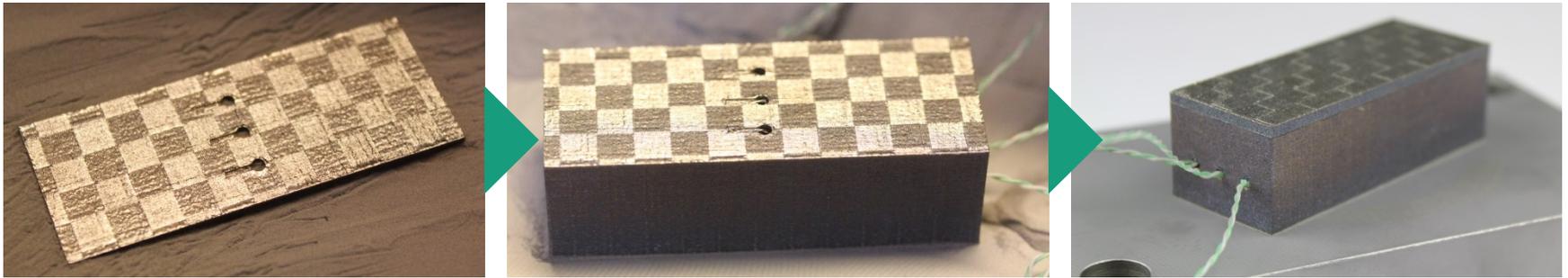
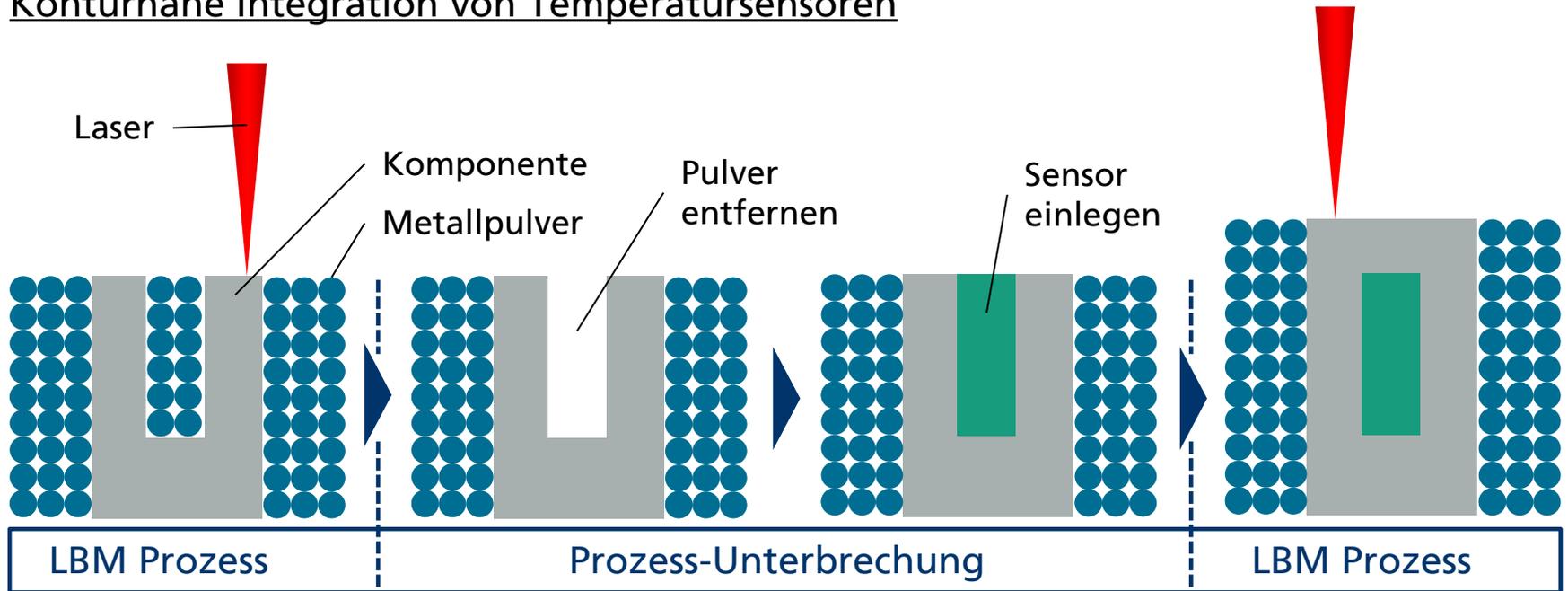


s ... weld bead width
 h_s ... scan line / weld bead spacing

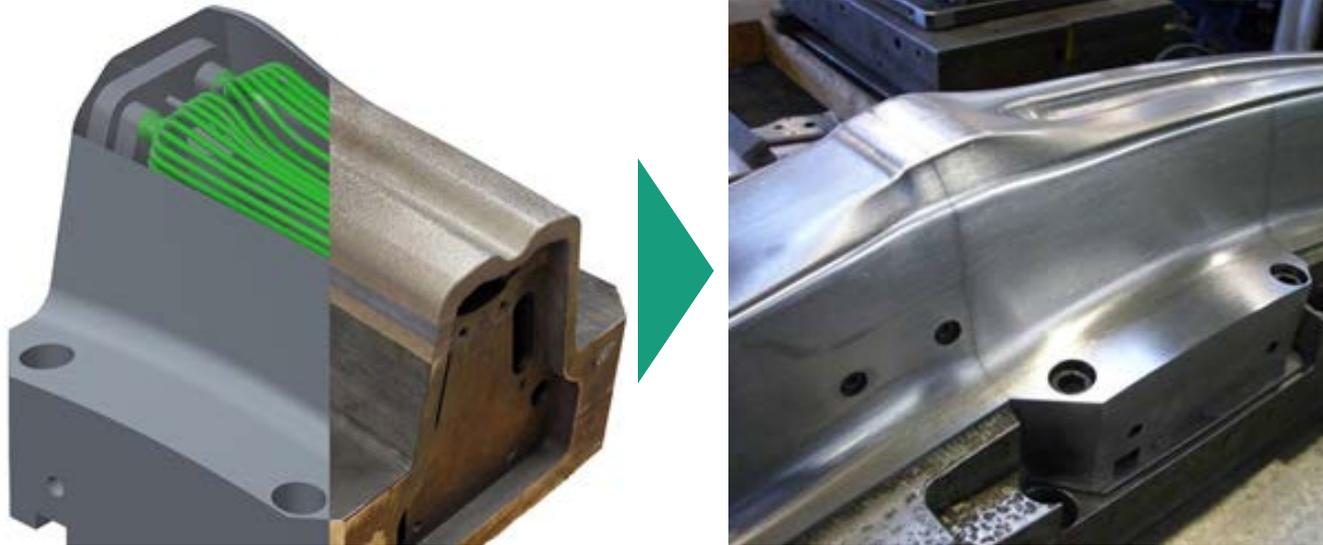
Funktionsintegration in Werkzeuge und Formen

Sensorintegration

Konturnahe Integration von Temperatursensoren



Funktionsintegration in Werkzeuge und Formen – Anwendungsbeispiele



Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Kunststoffspritzgießen

Motivation:

- Optimierung des Thermomanagements
- Abmessungen Bauteil:
 - Wandstärke: 1,1 mm
 - L x B x H: 188 x 116 x 143 mm³
- Werkstoff:
 - Bauteil: Polypropylen
 - Werkzeug: Werkzeugstahl (1.2343)

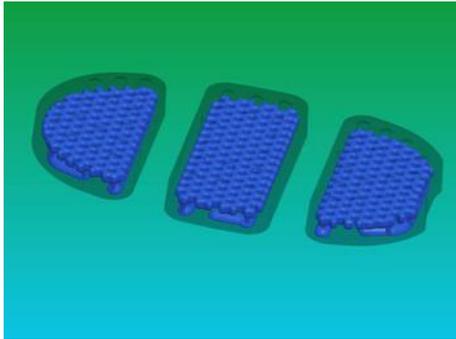


Auswahlkriterium	Bauteil-Einstufung		
Komplexität	niedrig	mittel	hoch
Platz für Kühlung	groß	mittel	eng
Qualitätsanforderungen	niedrig	mittel	hoch
Stückzahlen	niedrig	mittel	hoch
Produkt-Lebenszyklus	kurz	mittel	lang

(Mit freundlicher Genehmigung vom Institute for Advanced Tooling IAT der Stellenbosch University, Südafrika)

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Kunststoffspritzgießen



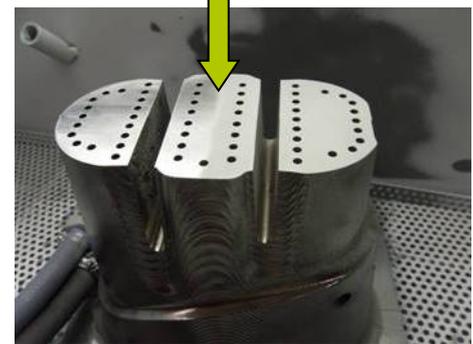
CAD-Modell der
Flächenkühlung



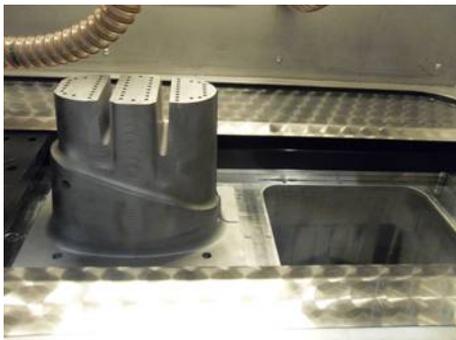
gefräster Grundkörper mit
Kühlbohrungen (vorgeschruppt)



Oberfläche geschliffen u.
gestrahlt



Vorbereitung der
Verbindungsfläche



Ausrichten und Fixieren in der
Strahlschmelzanlage



Strahlschmelzanlage vorbereitet
→ fertig für Bauprozess



Werkzeugeinsatz mit Flächen-
kühlung → fertig für die
Schlichtbearbeitung

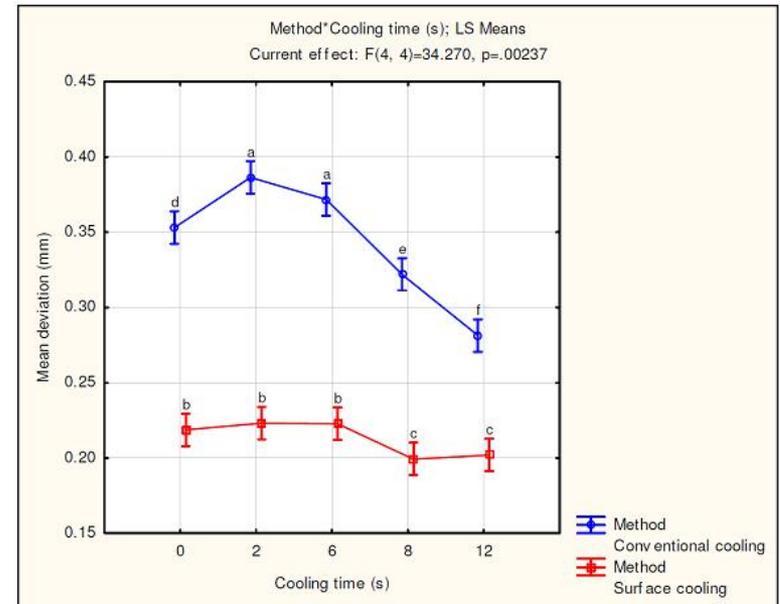
(Mit freundlicher Genehmigung vom Institute for Advanced Tooling IAT der Stellenbosch University, Südafrika)

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Kunststoffspritzgießen

Ergebnisse:

- Reduzierung der Zykluszeit um **30 %** (von 26 s auf 18 s)
- Erhöhung der Wärmeabfuhr
- schnelleres Erreichen eines stabilen Temperaturzustandes
- gleichmäßigere Temperaturverteilung
- höhere Maßgenauigkeit der Bauteile



mittlere Abweichung der Formteile
(Vergleich:
herkömmlichen Kühlung – Flächenkühlung bei
unterschiedlichen Abkühlzeiten von
0, 2, 6, 8 und 12 s)

(Mit freundlicher Genehmigung vom Institute for Advanced Tooling IAT der Stellenbosch University, Südafrika)

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

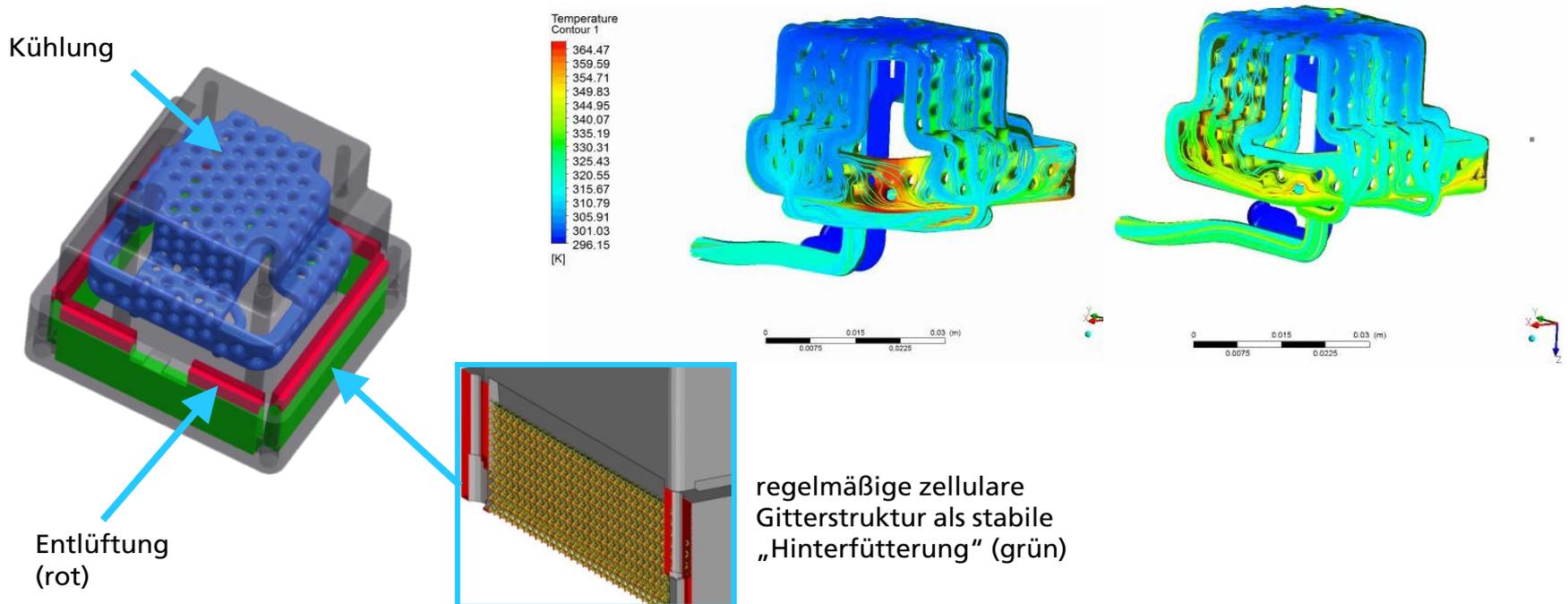
Kunststoffspritzgießen

Motivation:

- sichtbarer Deseleffekt an den Spritzgießbauteilen, schlechtes Thermo-Management

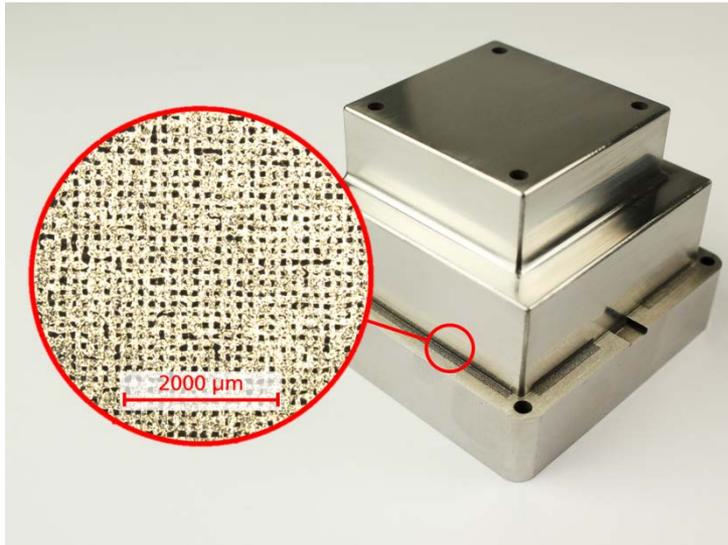
Lösungsansatz

- Einsatz mit Flächenkühlung und porösen **Entlüftungsstrukturen** in Integralbauweise

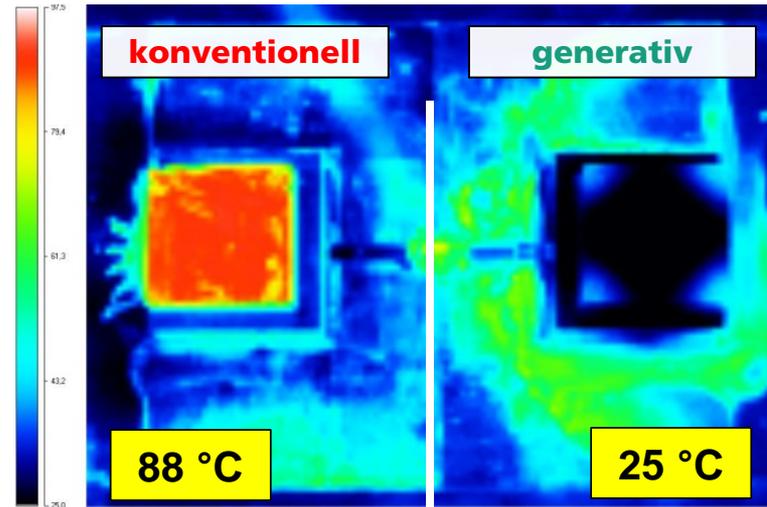


Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Kunststoffspritzgießen



generativ gefertigter Werkzeugeinsatz
(Demonstratorwerkzeug) mit poröser
Entlüftungsstruktur und Flächenkühlung



Thermografieaufnahme 5 s nach dem Einschalten der
Kühlung (Vorheiztemp.: 90°C)

Ergebnisse:

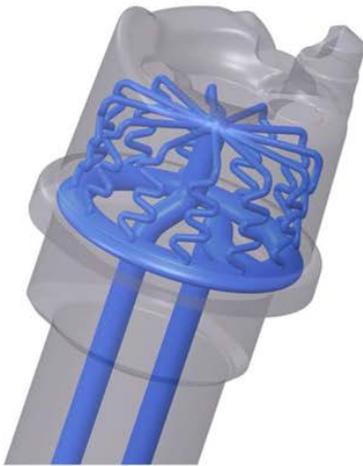
- Kühlung: Verringerung der Kühlzeit (Haltezeit) um **33%** (von 18 auf 12 s)
 - Entlüftung: Verringerung Spritzzeit und spezifischer Spritzdruck um jeweils ca. **5 %**
- Reduktion der Gesamtzykluszeit um **19%** (von 31 auf 25 s)

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

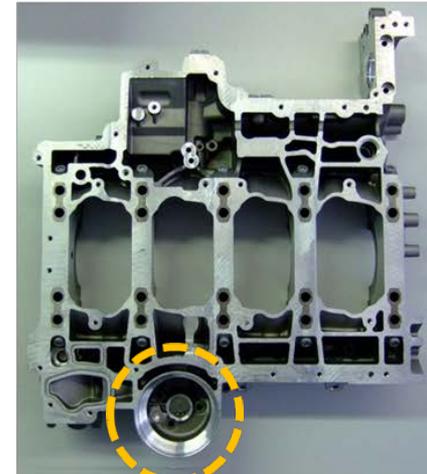
Druckgießen

Motivation:

- kritische Porositäten im Bereich des Ölfiltergehäuses einer Lagertraverse (V8 Motor)



Werkzeugeinsatz mit konturnaher Kühlung



Fertigteil

Lösung:

- laserstrahlgeschmolzener Werkzeugeinsatz mit konturnaher Kühlung in Hybridbauweise

Ergebnisse:

- weniger Hotspots → weniger Porosität (- 50 %) → weniger Ausschuss → geringere Kosten
- zusätzlich: Reduktion der Zykluszeit → höhere Produktivität

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Massivumformung (Gesensschmieden)

Zielstellung:

- Reduzierung des thermisch-mechanischen Verschleißes bei Schmiedegesenken

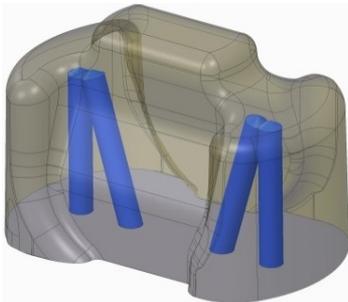
Ausgangssituation:

- große thermisch-mechanische Belastung, insbesondere an der Außenkontur des Werkzeugeinsatzes (über 400°C)
→ hoher Verschleiß
- unzureichende Kühlung aufgrund der komplexen Werkzeugform

Lösungsansatz:

- Integration eines komplexen, konturnahen Kühlsystems
- **Herstellung durch Hybrid Tooling** (konventionell hergestellter Grundkörper + generative Funktionsgeometrie)

konventionell

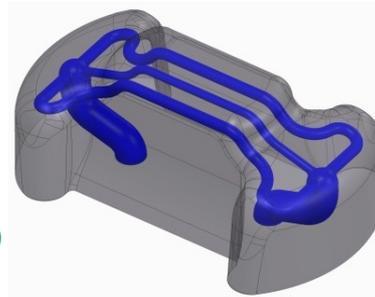


gebohrte Kühlkanäle



Verschleiß nach **5836** Schmiedezyklen

generativ



komplexes, konturnahes Kühlsystem



Verschleiß nach **6855** Schmiedezyklen

→ **deutliche Reduzierung des Werkzeugverschleißes** → **Standmengenerhöhung um 17,5%**

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Blechumformung (Projekt HiperFormTool)



Ausgangssituation:

- Anforderungen an Werkzeuge und Formen für Blechumformung steigen
 - konventionelle Verfahren der Werkzeugfertigung stoßen zunehmend an ihre Grenzen
- Forderung nach Integration zusätzlicher oder verbesserter Funktionen
 - Fertigung von neuartigen Werkzeugen mit Mehrwert erfordert innovative Fertigungsmethoden

Zielstellung:

- Steigerung der Leistungsfähigkeit von Blechumformprozessen (Blechwarmumformung, Tiefziehen, Abstreckziehen) unter Nutzung des generativen Laser-Strahlschmelzens
 - Schaffung von Mehrwert und Integration zusätzlicher Funktionen
 - je nach Zielanwendung Kühlen, Heizen, Schmieren und Sensorik

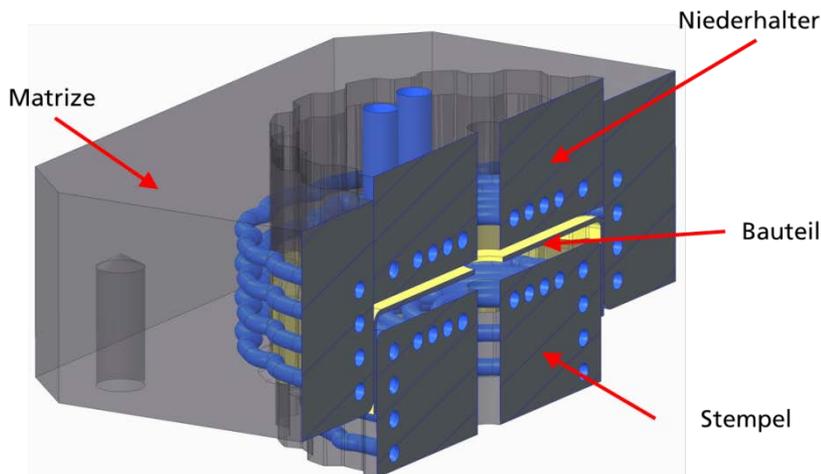
Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Blechwarmumformung

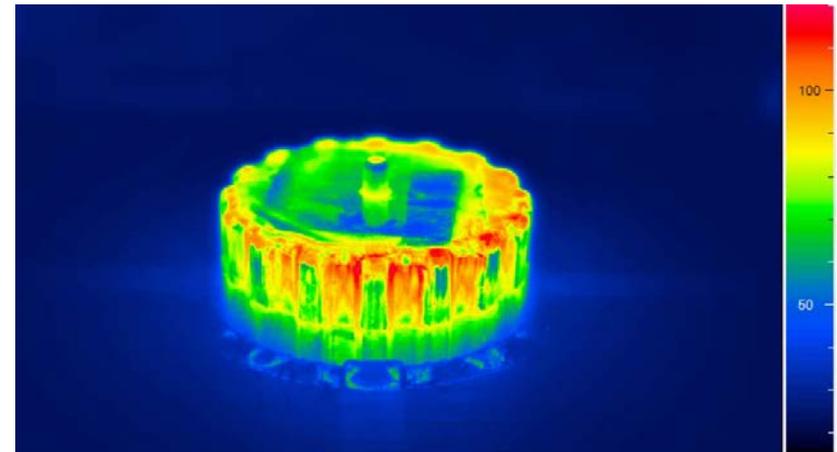


Lösungsweg:

- Prozessanalyse und Optimierung mittels Simulation
- Entwicklung eines innovativen Temperiersystems
 - konstante Prozessbedingungen und verringerte Zykluszeit



3D-CAD Modell Blechwarmumformwerkzeug
(Demonstrator)



Rückkühlung generativ gefertigter Stempel (Video)

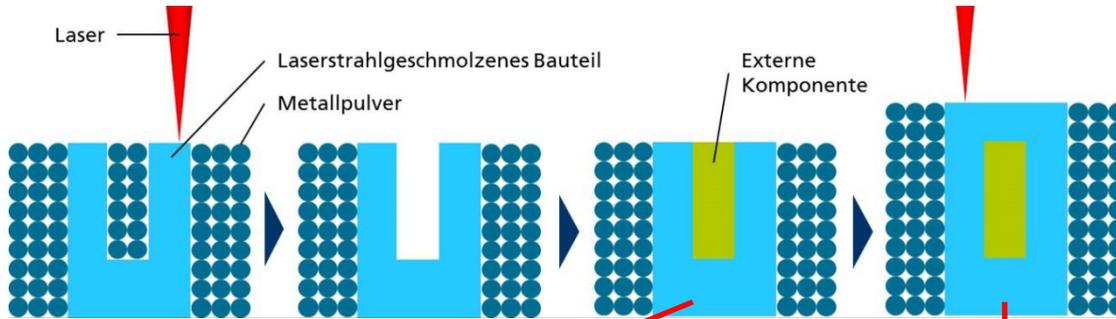
Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Blechwarmumformung



Lösungsweg:

- Sensorintegration noch während der generativen Fertigung → stoffschlüssig
- Prozessschritte zur Integration externer Komponenten beim Laser-Strahlschmelzen:



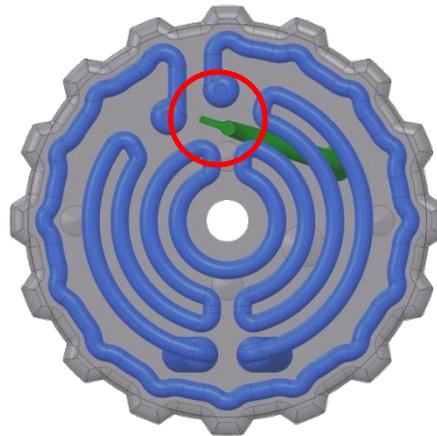
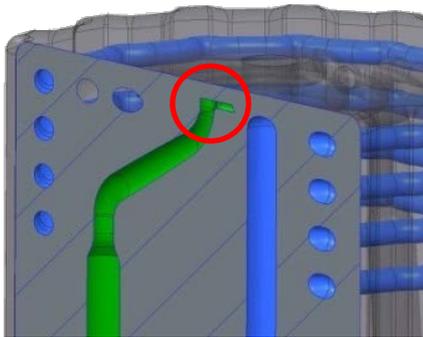
Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Blechwarmumformung

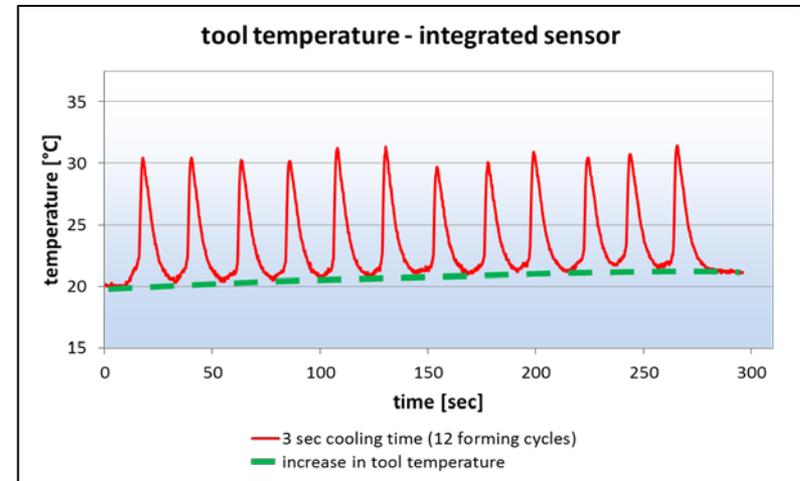


Lösungsweg:

- Integration Thermoelement in den „Werkzeugstempel“
- Abstand zur Werkzeugkontur nur 3 mm von der Kontur



Position des Thermoelements im Werkzeugstempel



Messung der Werkzeugtemperatur über 12 Umformungen

Ergebnisse:

- Erfolgreiche Integration eines Thermosensors in das Werkzeug → Funktionsnachweis
- signifikante Reduktion der Kühl-/Haltezeit von 10 s auf 3 s

Entwicklungstrends



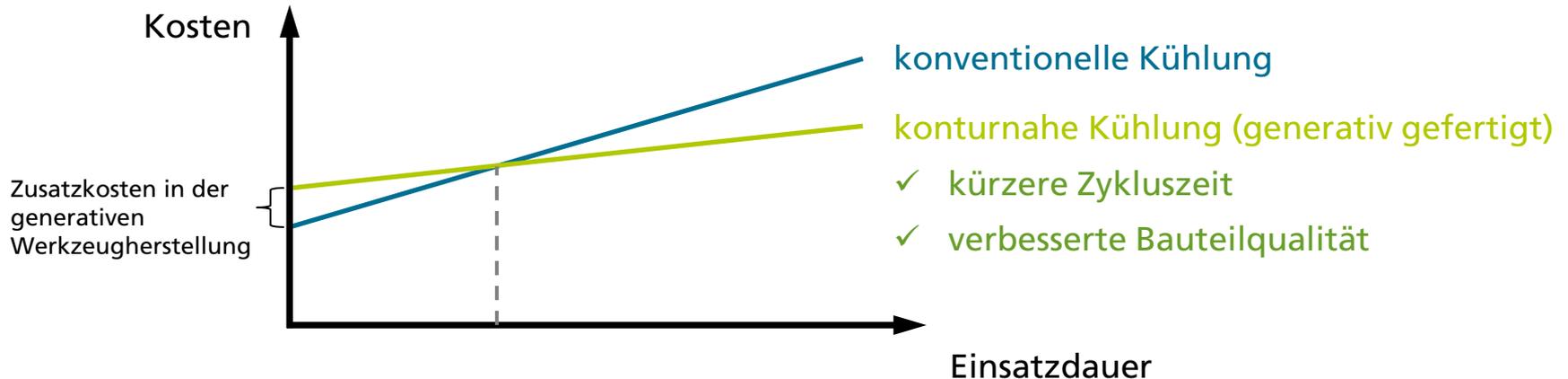
Trends der Generativen Fertigung

Kosten / Wirtschaftlichkeit (aktuell)

Pulvermaterial: ~70 - 500 €/kg
Werkzeug-Stahl ~130 €/kg

Maschine: ~50 - 80 €/h

Aufbaurrate: 5 - 20 cm³/h



Trends der Generativen Fertigung

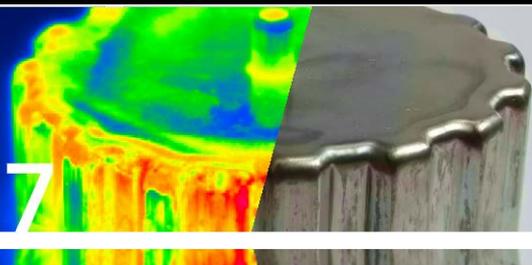
Potential im Werkzeug- und Formenbau

- **lastfall- und strukturangepasste** Auslegung der **Werkzeuge** zur Reduzierung des Materialeinsatzes / Volumen
 - Reduzierung der Werkzeugkosten und Fertigungszeit
- **gradierter generativer Aufbau** der Werkzeugoberfläche unter der Verwendung hochverschleißfester Beschichtungen (z.B. durch LPA)
 - Werkzeuge mit überlegenen Eigenschaften und maximalem Mehrwert
- **Entwicklung von Anlagen und Prozessparametern** zur Verarbeitung von Werkzeugstählen mit hohen Laserleistungen für hohe Aufbauraten in größeren Bauräumen
 - Reduzierung der Werkzeugkosten und Fertigungszeit
 - Herstellbarkeit größerer Bauteile und Werkzeugsegmente
- **Integration von Sensorik und Aktorik** in generativ gefertigte Werkzeuge und Formen
 - Qualitätssicherung, Prozessüberwachung und -regelung

Trends der Generativen Fertigung

Potential im Werkzeug- und Formenbau

- Im Werkzeug- und Formenbau hat sich die Erkenntnis noch nicht in ausreichendem Maße durchgesetzt, dass sich die Mehrkosten eines generativen Werkzeugs oft mehrfach amortisieren.
- Für ein bestmögliches Verhältnis aus erreichbarbarem Mehrwert und geringen Werkzeugkosten sind Kenntnisse über die generative Fertigung, insbesondere über deren Restriktionen notwendig
 - Umdenken bei der Konstruktion (volle Ausnutzung der Möglichkeiten)
 - Nutzung der Hybridbauweise zur Kostenreduktion
- Ohne entsprechende Simulationswerkzeuge sind verlässliche Aussagen zur verbesserten Kühlung nur unzureichend möglich.
- Der für das Laser-Strahlschmelzen typische Werkstoff 1.2709 stößt immer noch auf Skepsis beim Endanwender (in der konventionellen Werkzeugfertigung bisher kaum eingesetzt)



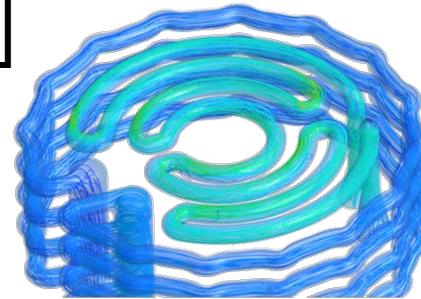
2017

19.10.2017 – SAVE THE DATE

Workshop „Potentiale generativer
Fertigung im Werkzeug- und Formenbau“

... Erfolgsgeschichten aus der Industrie

Veranstaltungsort:
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU,
Nöthnitzer Straße 44, 01187 Dresden



 **Fraunhofer**
IWU

- Trends im Werkzeug- und Formenbau
- Beispiele industrieller Umsetzung
- Versuchsfeldführung im IWU

Ansprechpartner: Mathias Gebauer
Tel.: +49 351 4772-2151 / Mail: mathias.gebauer@iwu.fraunhofer.de



 **Fraunhofer**
IWU

Dipl.-Ing. Torsten Schnabel

Abteilung »Generative Verfahren«

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und
Umformtechnik IWU

Nöthnitzer Straße 44 | 01187 Dresden | Germany

Telefon: + 49 (0) 351 / 4772 - 2120

Fax: + 49 (0) 351 / 4772 - 32120

E-Mail: torsten.schnabel@iwu.fraunhofer.de

 **Fraunhofer**
IWU

Dipl.-Ing. (FH) Mathias Gebauer

Abteilung »Generative Verfahren«

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und
Umformtechnik IWU

Nöthnitzer Straße 44 | 01187 Dresden | Germany

Telefon: + 49 (0) 351 / 4772 - 2151

Fax: + 49 (0) 351 / 4772 - 32151

E-Mail: mathias.gebauer@iwu.fraunhofer.de