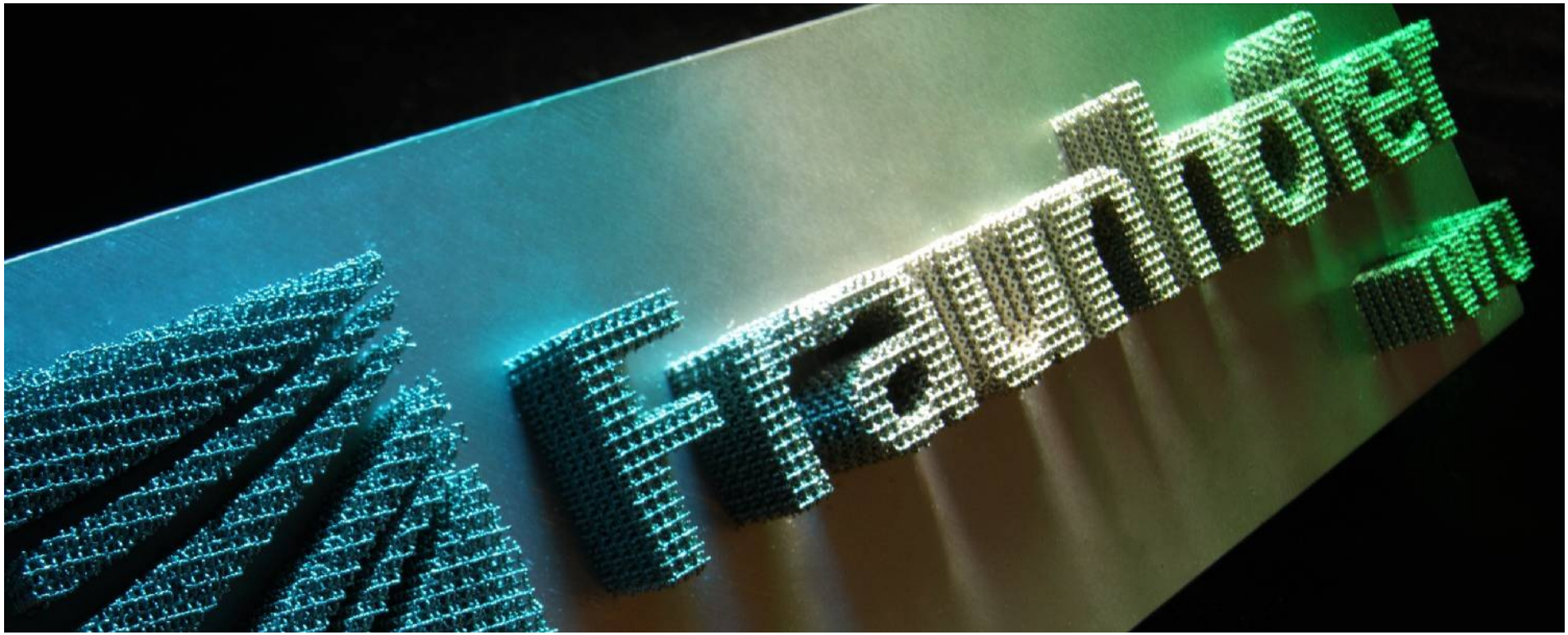
Integration neuartiger Funktionen in Werkzeugen- und Formen durch Laserstrahlschmelzen

Thomas Töppel

Wissensforum “Generative Fertigungsverfahren”, Bautzen, 11. Juni 2013



© Fraunhofer IWU

AGENDA

- Das Fraunhofer IWU
- Generative Fertigungsverfahren
- Laserstrahlschmelzen
- Anwendung im Werkzeug- und Formenbau
- Exkurs: weitere Anwendungsfelder für das Laserstrahlschmelzen

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

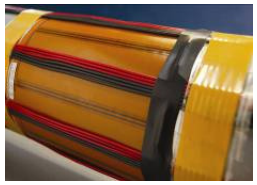
Das Fraunhofer IWU
Standorte in Deutschland

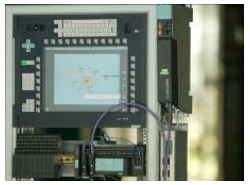
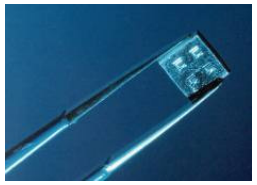
- Gründung am 1. Juli 1991
- ca. 520 Mitarbeiter
- 34 Mio Euro Jahresetat
- Projektgruppe Augsburg seit 01/2009
- Projektgruppe Zittau seit 10/2011

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Das Fraunhofer IWU
Profil



Kompetenzfelder

Werkzeugmaschinen

Mechatronik

Funktionsleichtbau

Umformtechnologien

Spanende Technologien

Füge- und Montagetechnologien

Produktionsmanagement

im Verbund mit

- Technischer Universität Chemnitz
- Fraunhofer-Gesellschaft
- Maschinen-, insbesondere Werkzeugmaschinenbauern
- deutscher und internationaler Automobilindustrie
- Zulieferindustrie (Umformung, Zerspanung, Werkzeugbau)

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Das Fraunhofer IWU

Institutsverbund Produktionstechnik Chemnitz – Dresden

Fraunhofer IWU
Chemnitz

Fraunhofer IWU
Dresden

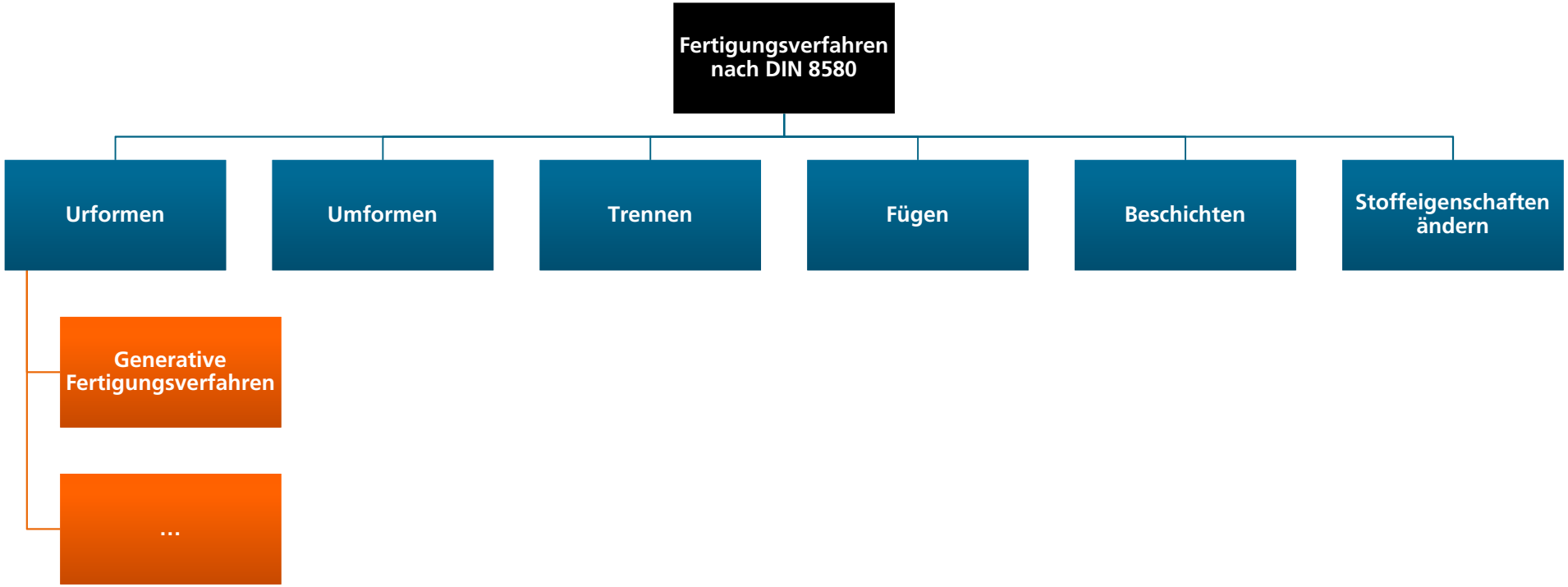
IWP
TU Chemnitz

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer
IWU

Generative Fertigungsverfahren

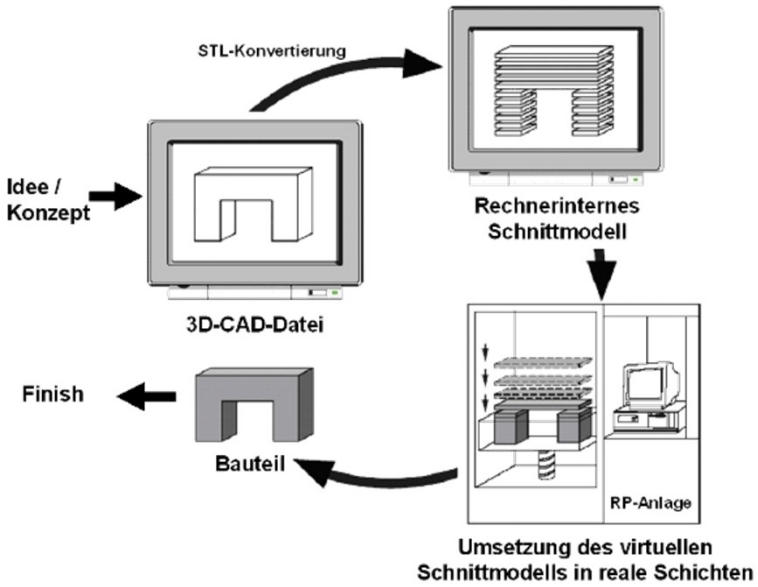
Einordnung nach DIN 8580



© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Generative Fertigungsverfahren
Grundlagen und Begriffe



Prinzipskizze generativer Fertigungsverfahren
(Quelle: Gebhardt, A.: Generative Fertigungsverfahren)

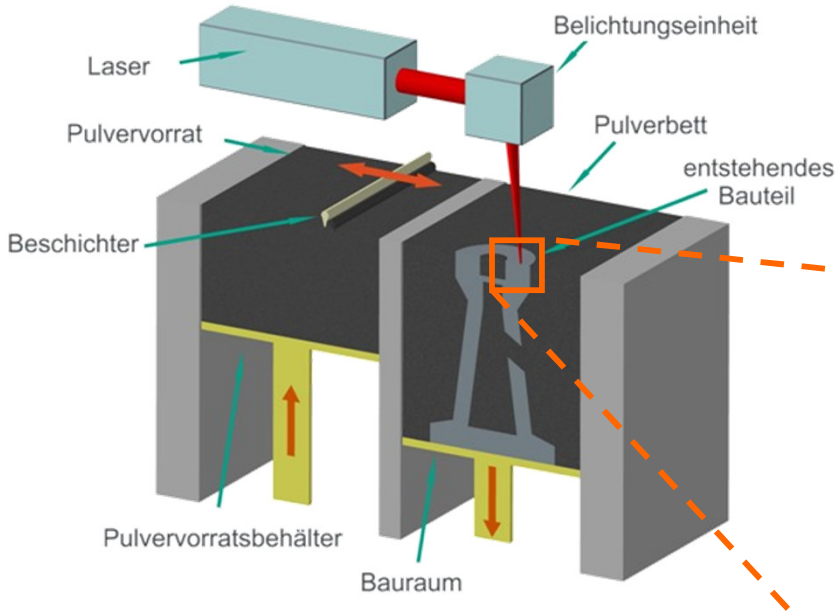
- **generativ** [aus dem Lateinischen] – erzeugend, urformend; hier: aufbauende Verfahren, z. B. schichtweise, additiv
- **Rapid Prototyping (RP):** generative Herstellung von Bauteilen mit eingeschränkter Funktionalität (Prototypen, Versuchsteile)
- **Rapid Tooling:** Anwendung der generativen Methoden und Verfahren auf den Bau von Werkzeugen und Formen
- **Rapid Manufacturing (RM):** generative Herstellung von Endprodukten/ Serienteilen (Konstruktion und Material entspricht dem des Endproduktes)

© Fraunhofer IWU

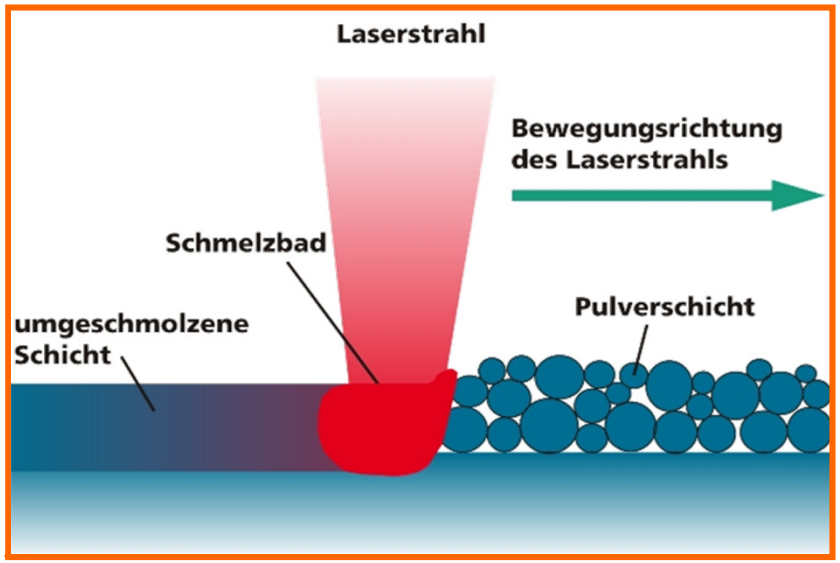
Fraunhofer IWU

Laserstrahlschmelzen
Verfahrensvorstellung

- **direktes Verfahren**, bei dem die gewünschten Teile in einem **einstufigen Prozess** im **metallischen Serienmaterial** entstehen
- **vollständiges**, lokales **Aufschmelzen** von Metallpulver zu einem 99,5 - 100 % dichten Gefüge



Funktionsprinzip einer Laserstrahlschmelzanlage

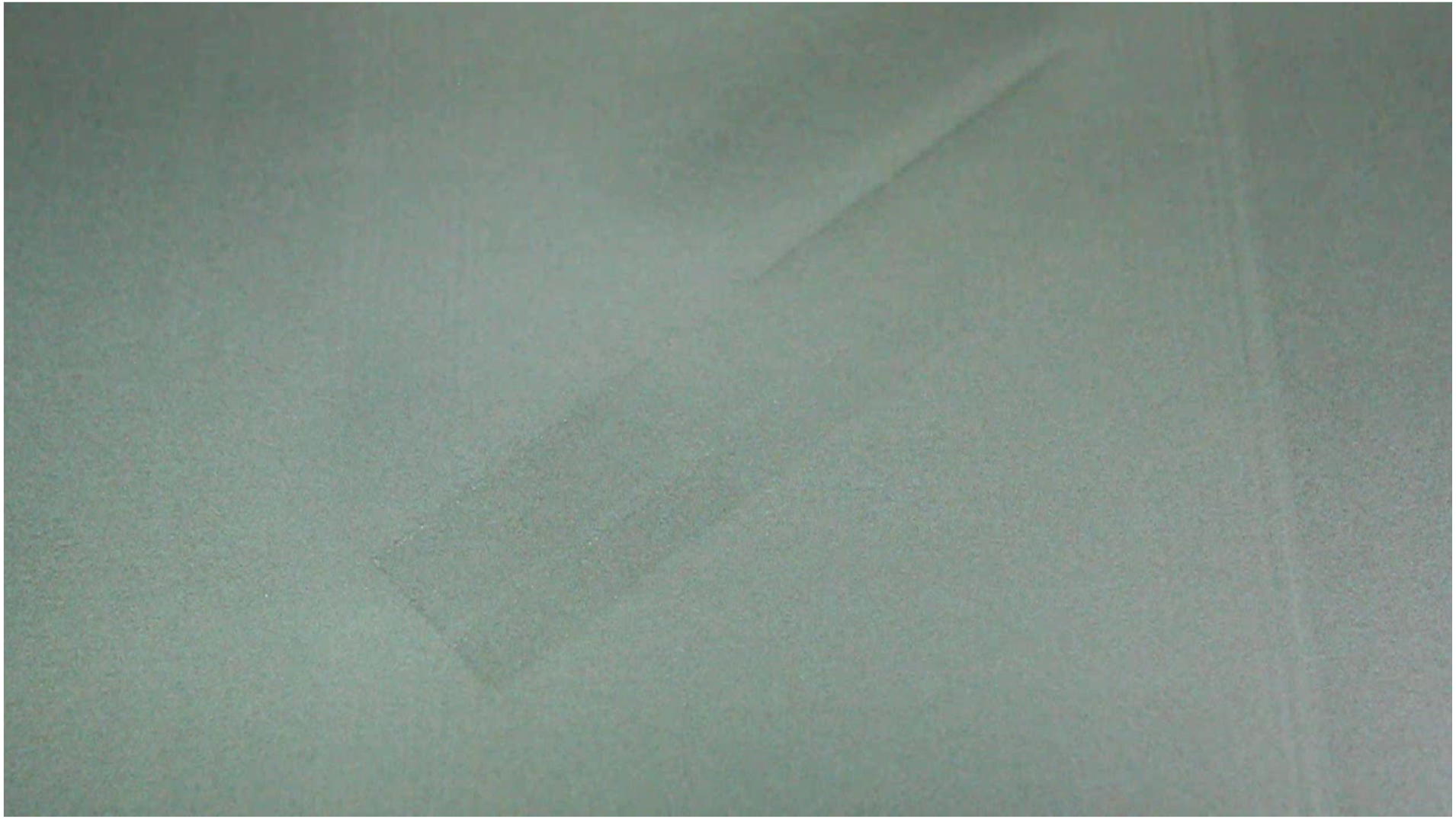


Schematische Darstellung Laserstrahlschmelzen

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Laserstrahlschmelzen
Verfahrensvorstellung



© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Laserstrahlschmelzen
Verfahrensvorteile

time to product

- keine Werkzeuge
- keine AV / Technologieplanung
- keine NC-Programmierung
- einstufiger Prozess
  (kein Schlichten, Erodieren)

Gestaltfreiheit

- beliebig komplexe Geometrien
- Hinterschneidungen
- Innengeometrien, Hohlräume
- filigrane Strukturen
- spanend/umformend nicht herstellbare Geometrien

Werkstoffvielfalt

- Warmarbeitsstahl
- Edelstahl
- Nickel-Basis-Legierung (Inconel)
- Kobalt-Chrom
- Aluminium
- Titan

Leichtbau / Bionik

- Hohl- / Fachwerkstrukturen
- 100 % topologieoptimierte Bauteile
- bionische Strukturen
- gradierte Porenstrukturen

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Laserstrahlschmelzen
Anlagentechnik am Fraunhofer IWU

<u>Laserstrahlschmelzanlage M2 cusing (Fa. Concept Laser GmbH):</u>

- Bearbeitungsbereich (x, y, z): 250 x 250 x 280 mm³,
- 400-Watt-Faserlaser, Schmelzpool-Echtzeitüberwachung, vollautomatische Siebstation

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Laserstrahlschmelzen

Werkstoffe & mechanische Kennwerte

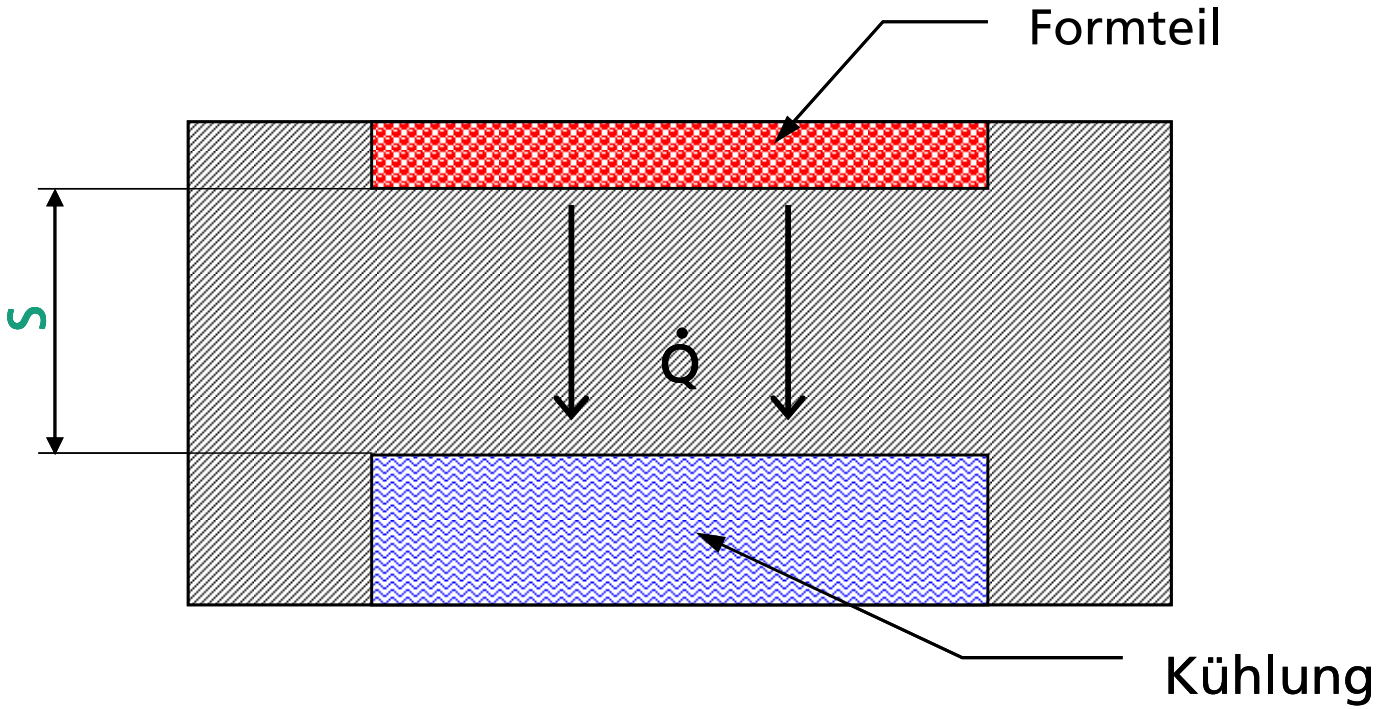
Werkstoff	Zustand	Zugfestigkeit R_m [MPa]	Streckgrenze $R_{p\,0,2}$ [MPa]	Bruchdehnung A [%]	Härte [HRC]
Werkzeugstahl 1.2709	wärmebehandelt (490 °C)	2.040 - 2.180	1.870 - 1.940	3 - 5	54 - 56
Werkzeugstahl (rostfrei) 1.2083	wärmebehandelt (525 °C)	1.700	1.600	> 2	48 - 50
Edelstahl 1.4404	wie gebaut	640	500	> 15	20
Kobalt-Chrom nach ASTM F75	wärmebehandelt	960	560	20	
Nickel-Basis-Leg. IN718	wie gebaut, bei 20 °C	1.295	1.110	10 - 13	
Titan TiAl6V4	wärmebehandelt	950 – 1.250	800 – 1.100	10 - 20	32 - 36
Aluminium AlSi10Mg	wie gebaut	280	235	1 - 2	

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Grundlagen zu konturnahen Kühlsystemen



Kühlmedium

Wärmeleitfähigkeit

$$\dot{Q} = \frac{\Delta Temp. \cdot \lambda \cdot A}{S}$$

konturnahe Kühlung

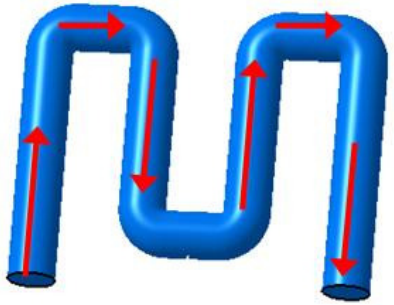
© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

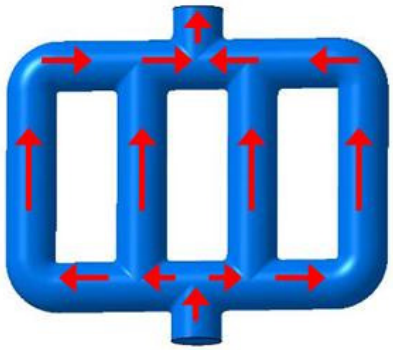
Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Arten von Kühlkreisläufen

- Serieller Kühlkreislauf



- Paralleler Kühlkreislauf



- Flächenkühlung

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Anwendungsbeispiel 1: Spritzgießen – Besteckkorb (I)

Bauteildaten:

- Abmessungen
  - Wandstärke: 1,1 mm
  - Länge: 188 mm
  - Breite: 116 mm
  - Höhe: 143 mm
- 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

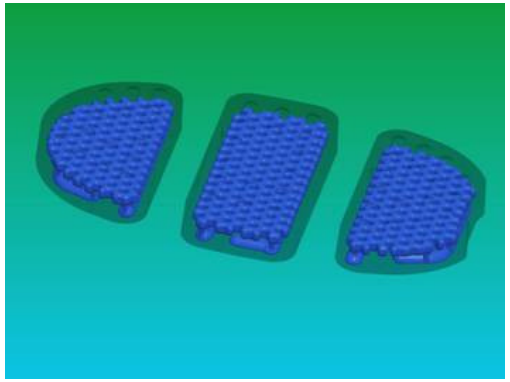
(Mit freundlicher Genehmigung vom Institute for Advanced Tooling IAT der Stellenbosch University, Südafrika)

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

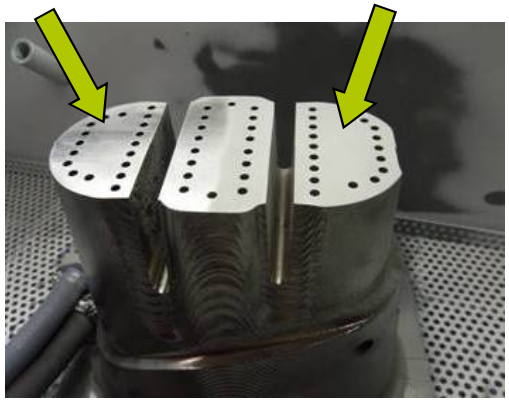
Anwendungsbeispiel 1: Spritzgießen – Besteckkorb (II)



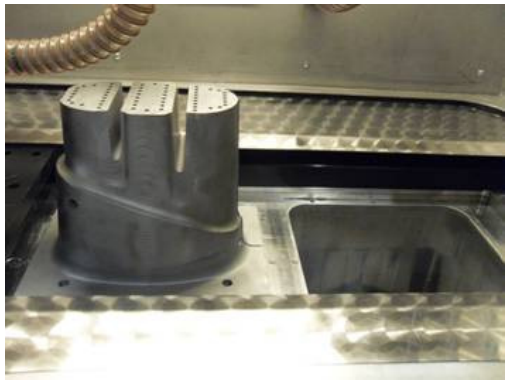
CAD-Modell der Flächenkühlung

gefräster Grundkörper mit Kühlbohrungen (vorgeschruppt)

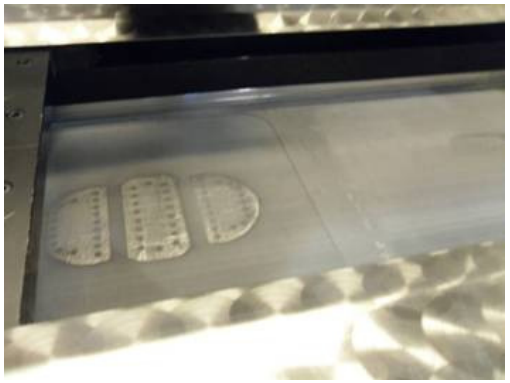
1. geschliffen **2. gestrahlt**



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)

© Fraunhofer IWU

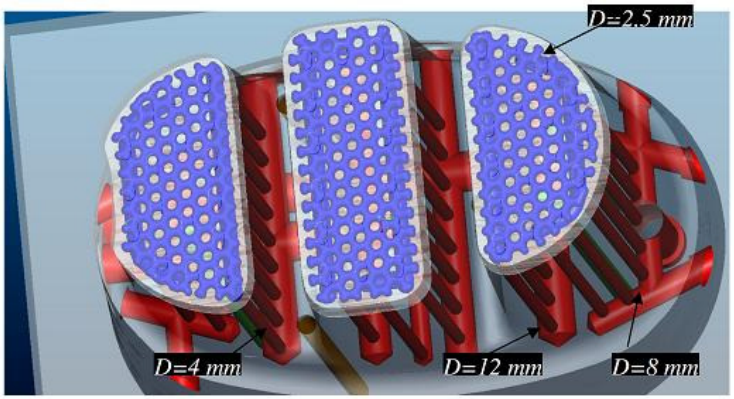
Fraunhofer IWU

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Anwendungsbeispiel 1: Spritzgießen – Besteckkorb (III)

<u>Zykluszeitenvergleich:</u>

- mit herkömmlichen Kühleinsatz **26 s**
  - Öffnen und Schließen 6,0 s
  - Kühlzeit 12,0 s
  - Formfüllung 3,0 s
  - Nachdrücken 3,5 s
  - Auswerfen 1,5 s
- mit innovativer Flächenkühlung **18 s**
  - Öffnen und Schließen 6,0 s
  - Kühlzeit 6,0 s
  - Formfüllung 2,0 s
  - Nachdrücken 2,5 s
  - Auswerfen 1,5 s
- **Reduzierung der Zykluszeit um 30,8 %**



rot: konventionelle Kühlung,
blau: Flächenkühlung

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

© Fraunhofer IWU

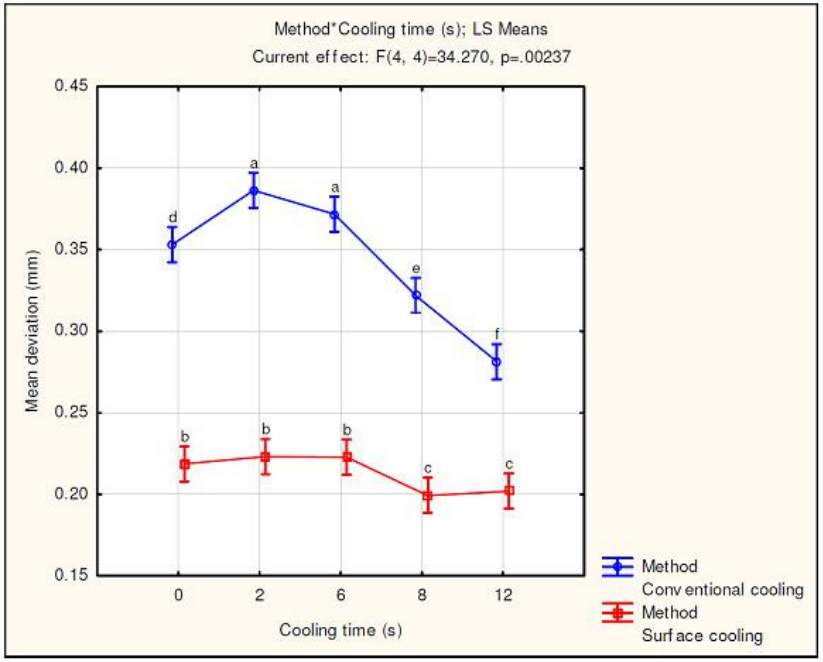
Fraunhofer IWU

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Anwendungsbeispiel 1: Spritzgießen – Besteckkorb (IV)

<u>Ergebnisse der Fallstudie:</u>

- Reduzierung der Zykluszeit
- Erhöhung der Wärmeabfuhr
- schnelleres Erreichen stabiler Temperaturzustand
- 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)

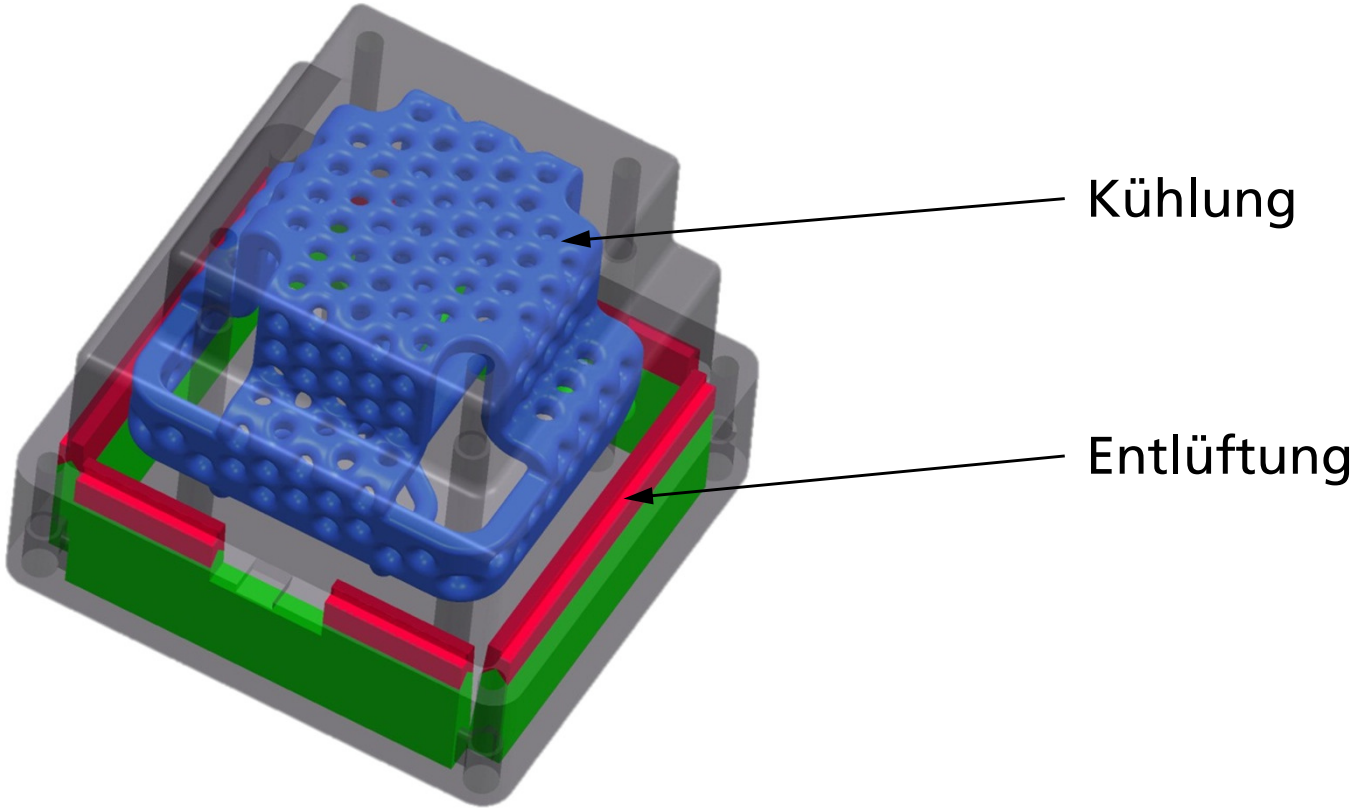
© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Anwendungsbeispiel 2: Spritzgießen – Kappe (I)

Werkzeugeinsatz mit innovativer Flächenkühlung und porösen Entlüftungsstrukturen in **Integralbauweise**

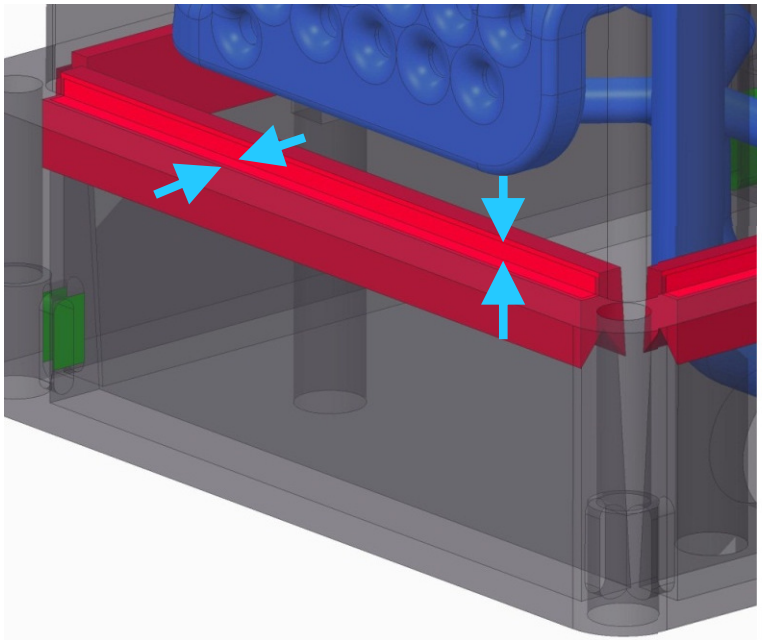


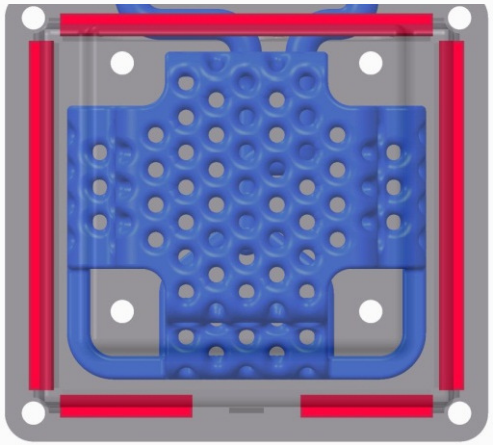
© Fraunhofer IWU

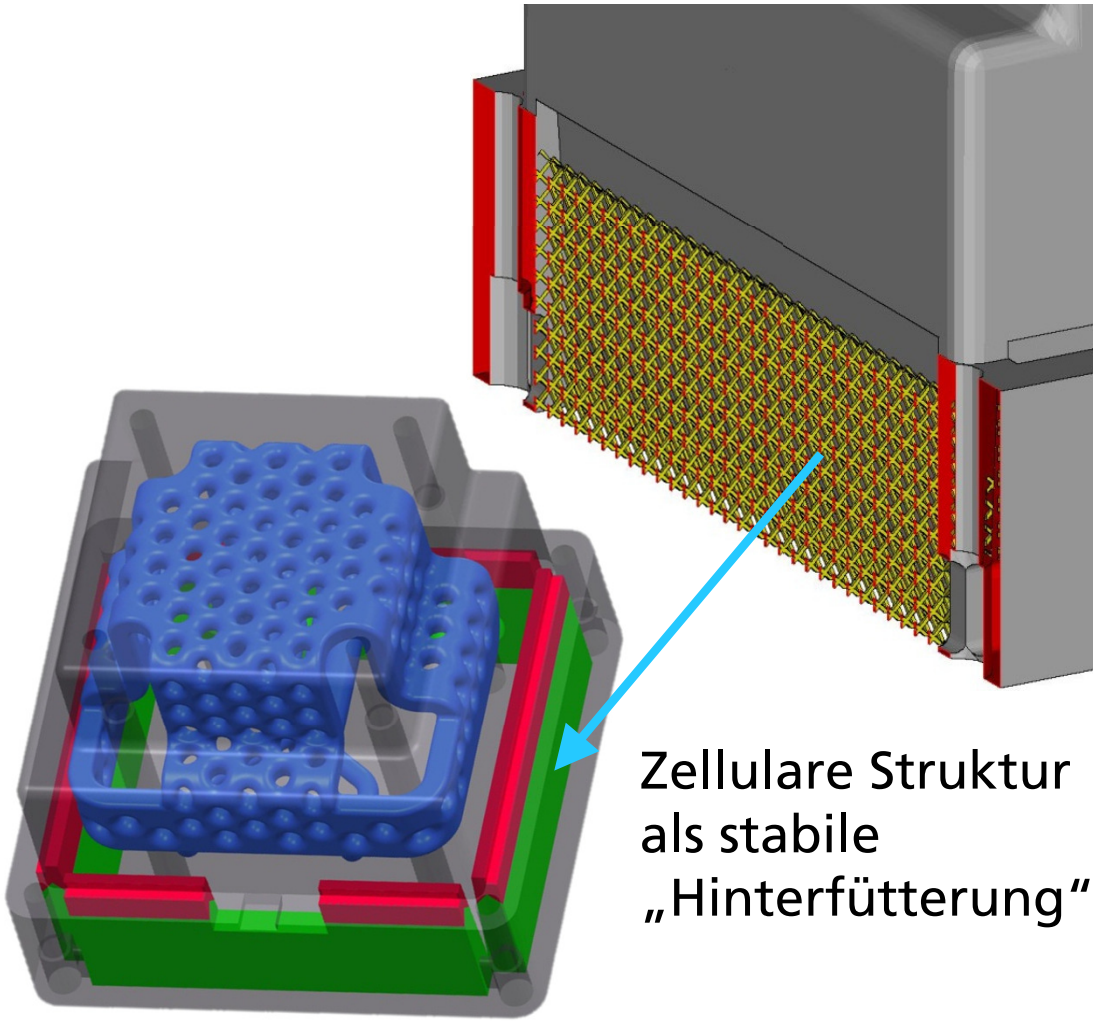
Europäische Union
Europa fördert Sachsen.
EFRE
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
KMS
Fraunhofer IWU

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Anwendungsbeispiel 2: Spritzgießen – Kappe (II)







Zellulare Struktur als stabile „Hinterfütterung“

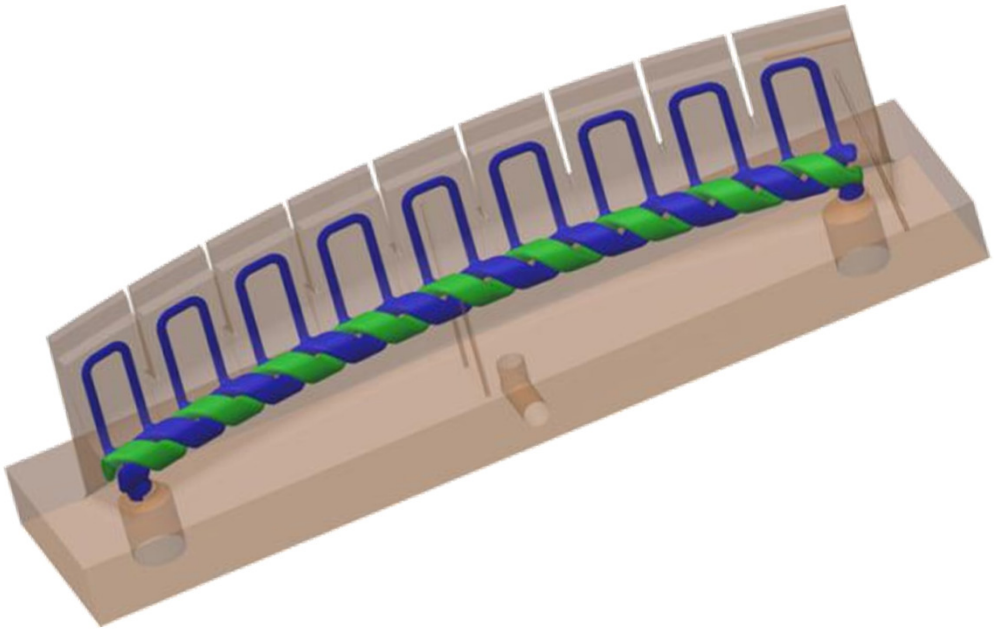
© Fraunhofer IWU

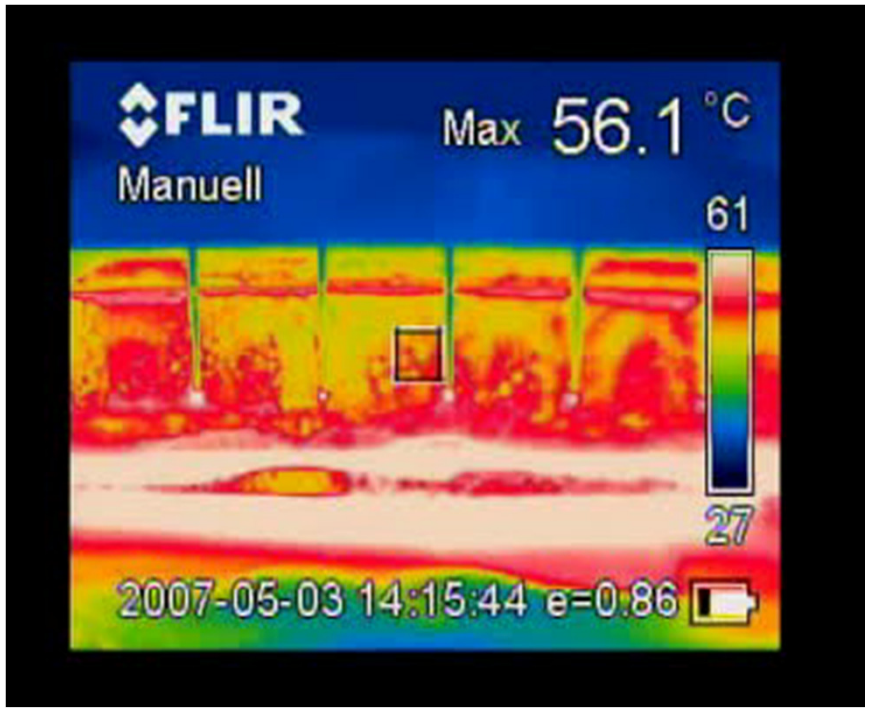
Europäische Union
Europa fördert Sachsen.
EFRE
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
KMS
Fraunhofer IWU

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Anwendungsbeispiel 3: Spritzgießen - Farbeimerdeckel

Werkzeugeinsatz mit Parallelkühlung





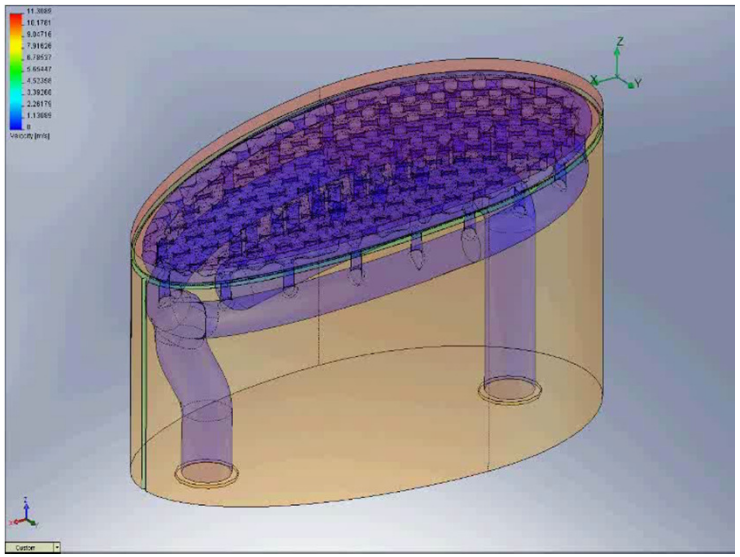
© Fraunhofer IWU

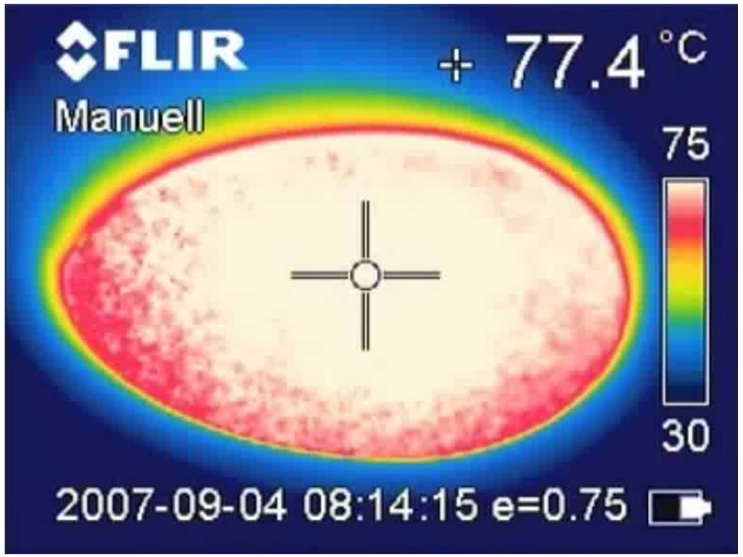
Fraunhofer IWU

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Anwendungsbeispiel 4: Spritzgießen - Brillenglas

Werkzeugeinsatz mit Flächenkühlung





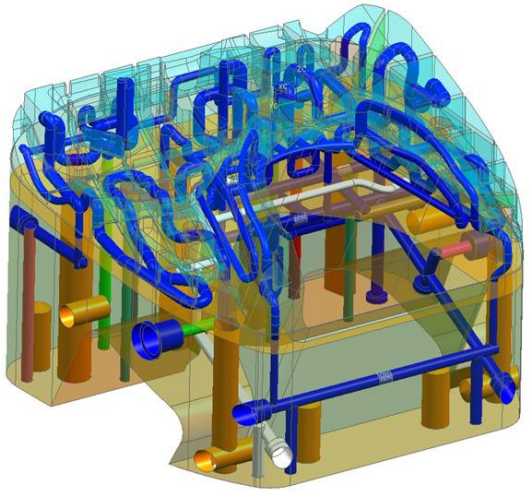
© Fraunhofer IWU

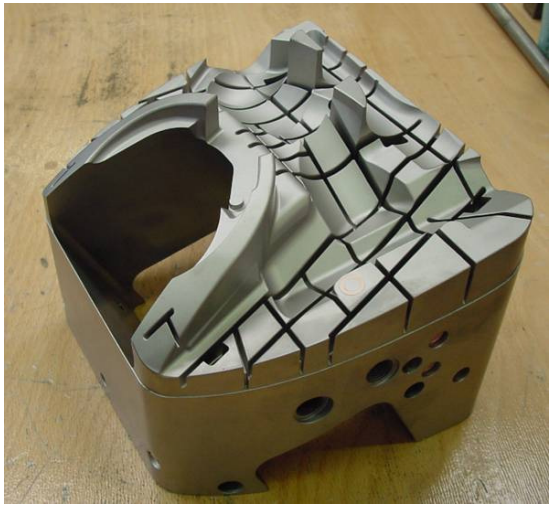
Fraunhofer IWU

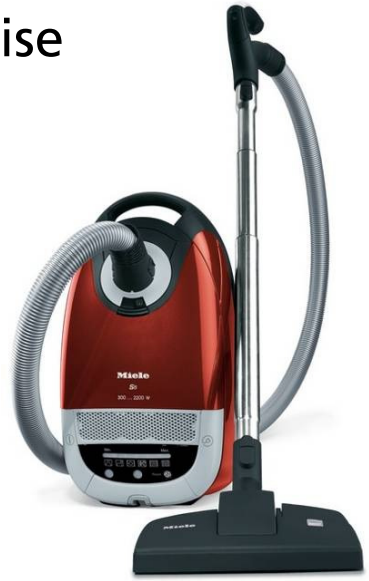
Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Anwendungsbeispiel 5: Spritzgießen - Gehäusedeckel

Werkzeugeinsatz mit konturnaher Kühlung in Hybridbauweise







- Zykluszeitreduzierung von 60 auf 45 Sekunden **(25 %)**
- 3 Werkzeuge im Serieneinsatz, bis heute über 1 Mio. Bauteile gefertigt
- OEM bestellt neue Werkzeuge für vergleichbare Bauteile nur noch mit laserstrahlgeschmolzenen Einsätzen mit konturnaher Kühlung!

© Fraunhofer IWU

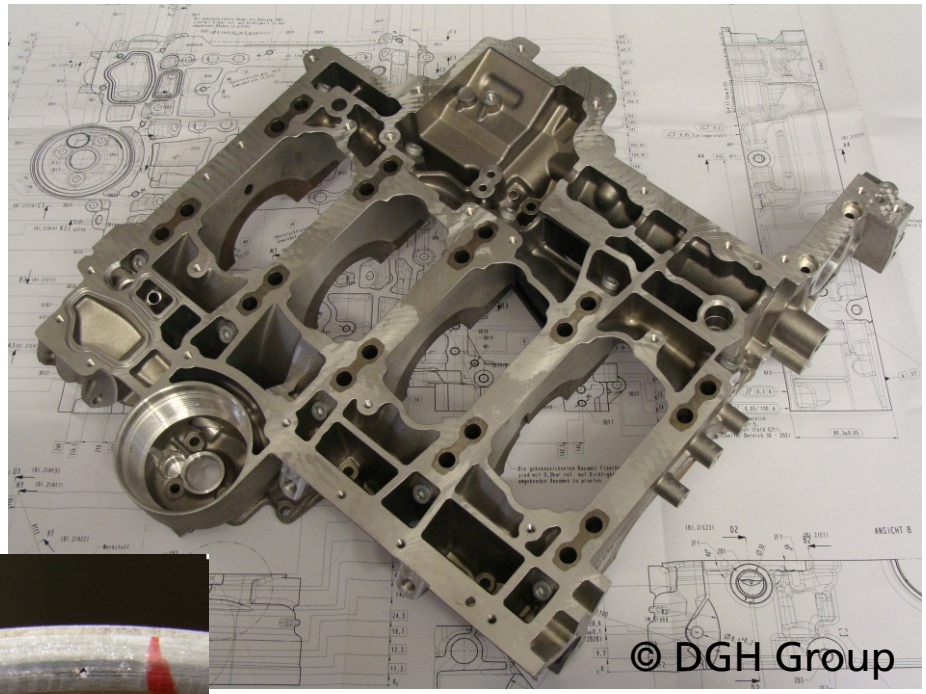
Fraunhofer IWU

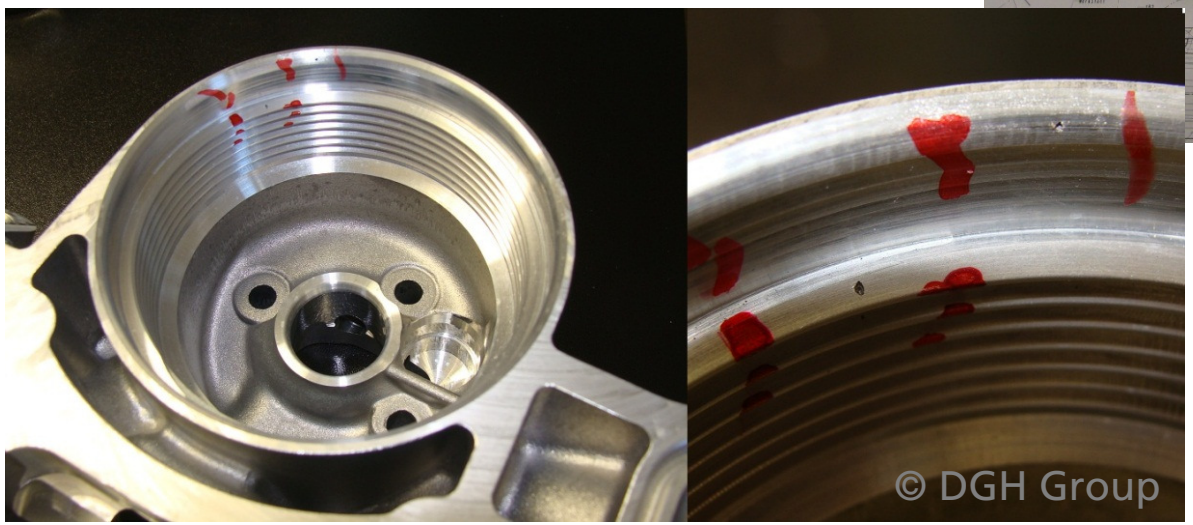
Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Anwendungsbeispiel 6: Druckgießen – Lagertraverse (I)

<u>Problemstellung:</u>

- Porosität im Bereich Ölfiltertopf der Lagertraverse





Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

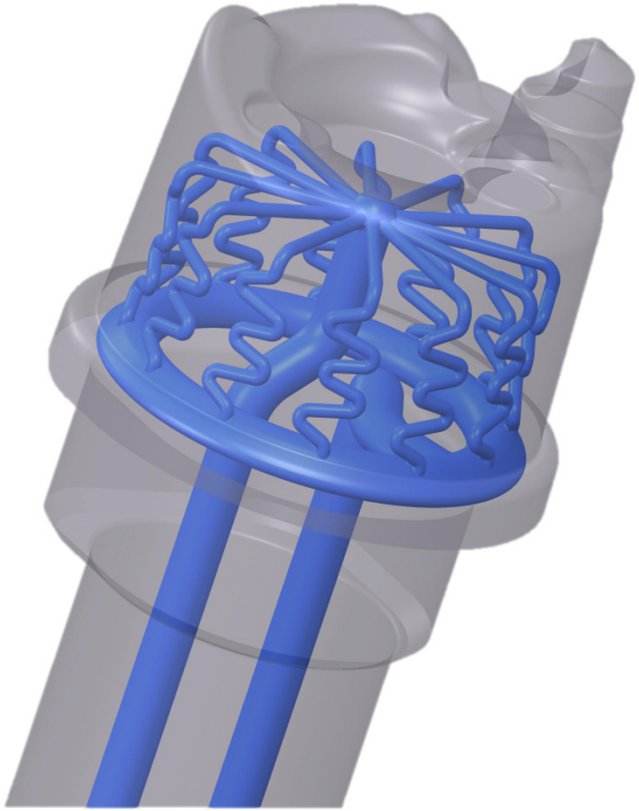
Anwendungsbeispiel 6: Druckgießen – Lagertraverse (II)

Lösungsweg:

- Druckgießkern mit konturnaher Parallelkühlung

Ergebnis:

- **> 50 %** Ausschussreduzierung
- **3 %** Zykluszeitreduzierung

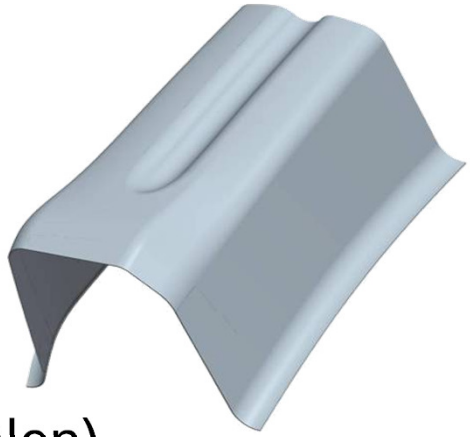


© Fraunhofer IWU

DGH-GROUP | Fraunhofer IWU

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Anwendungsbeispiel 7: Blechwarmumformen (I)



Ausgangssituation:

- steigender Bedarf an pressgehärteten Bauteilen in der Karosseriefertigung (im Golf VII 80 % der 245 kg wiegenden Rohkarosse aus hoch- und höchstfesten Stählen)
  → höhere Festigkeit bei geringerem Gewicht
- gezielte Temperierung bestimmter Bereiche konform zur Werkzeugkontur nur sehr aufwändig und mit Einschränkungen realisierbar

Zielstellung:

- optimale Werkzeugtemperatursteuerung
- Reduktion der Zykluszeiten (maßgeblich durch die Haltezeit bestimmt)

© Fraunhofer IWU

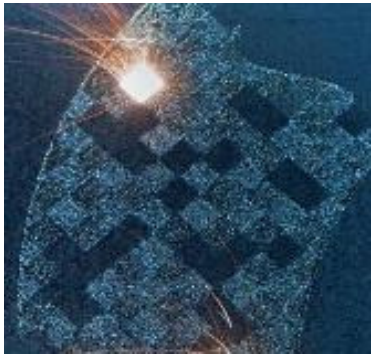
Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Anwendungsbeispiel 7: Blechwarmumformen (II)

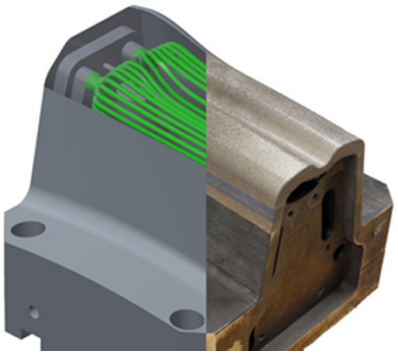
Lösungsweg:

- Generative Fertigung der Werkzeugeinsätze in Hybridbauweise mit konturnaher Flächenkühlung

Werkzeuggrundkörper (Stempel) in Laserstrahlschmelzanlage



Laserstrahlschmelzprozess



Laserstrahlgeschmolzener Werkzeugeinsatz (links: CAD, rechts: nach Bauprozess)

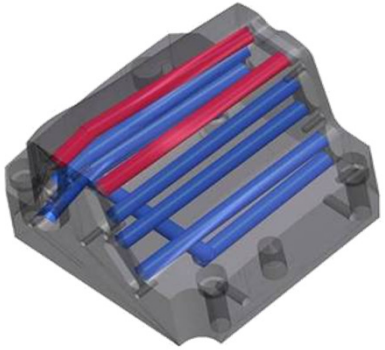
fertiger Werkzeugeinsatz (Stempel) nach Schlichtbearbeitung im Gesamtwerkzeug

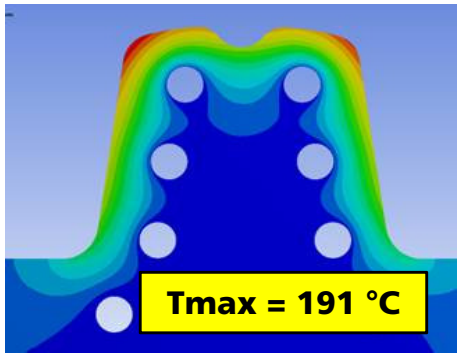
© Fraunhofer IWU

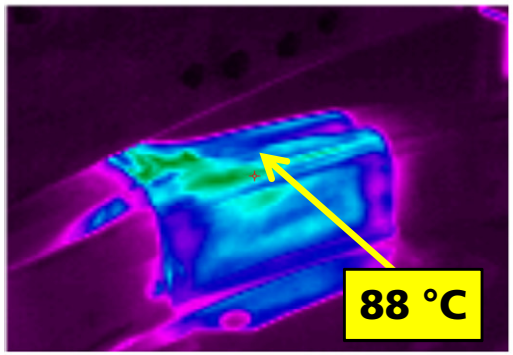
Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

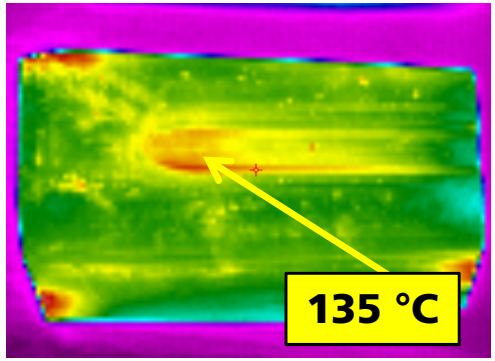
Anwendungsbeispiel 7: Blechwarmumformen (III)

Ergebnis:



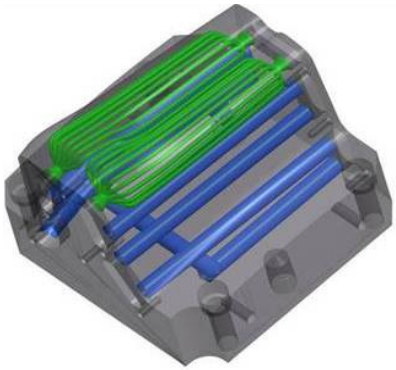


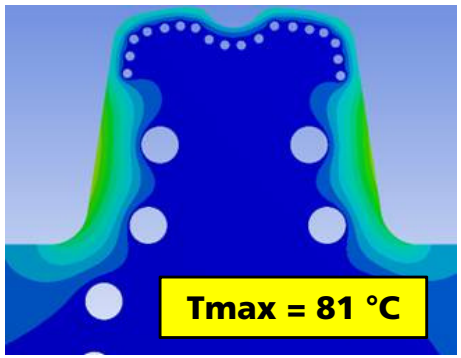


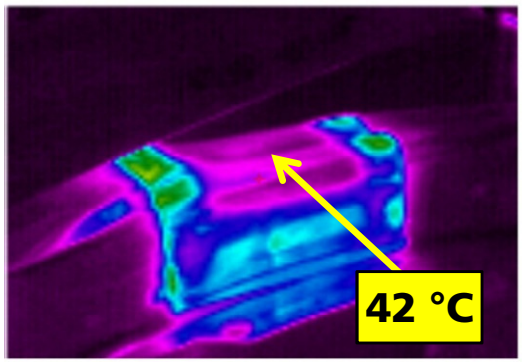


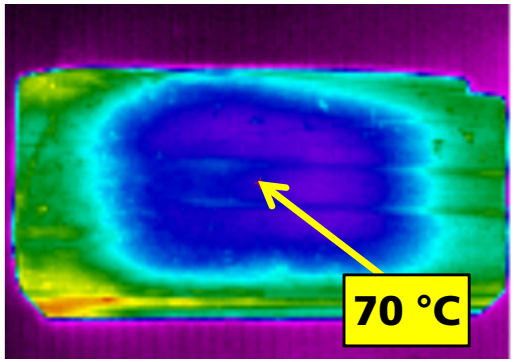
konventionell gebohrte Werkzeugkühlung

Bauteil









generativ gefertigte, optimierte Werkzeugkühlung

Bauteil

© Fraunhofer IWU

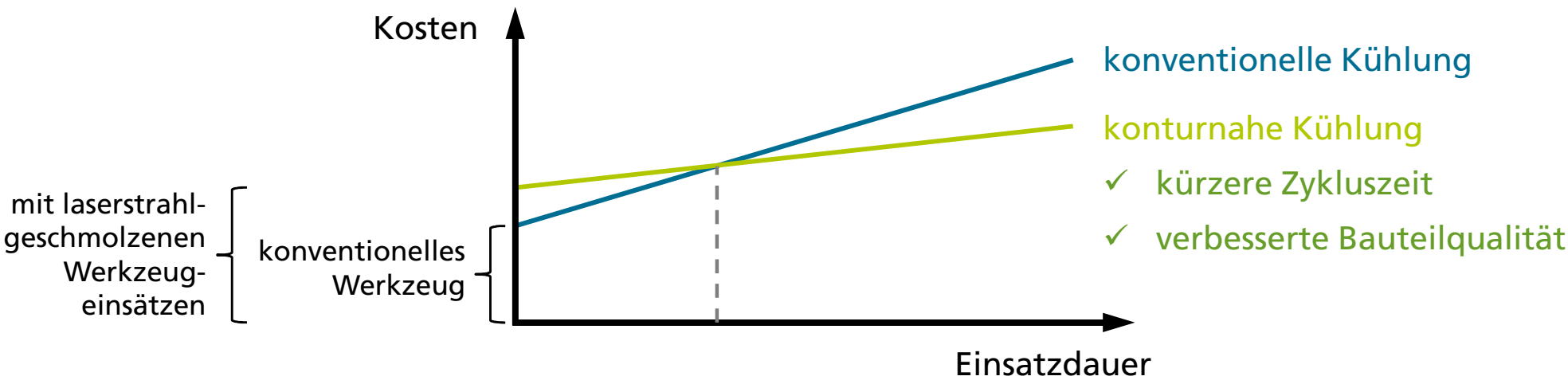
Innovations-Allianz Green Carbody Technologies

BRAUN CarTec

Fraunhofer IWU

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau
Kosten / Wirtschaftlichkeit

Pulvermaterial:	100 - 600 €/kg
	WZ-Stahl ~ 150 €/kg
Maschine:	50 - 80 €/h
Aufbaurate:	5 - 20 cm³/h



© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau
Zusammenfassung

- Verbesserung bestehender und Integration neuartiger Funktionen in Werkzeugen und Formen durch Laserstrahlschmelzen
  - konturnahe Temperierung
  - Entlüftungsstrukturen in Integralbauweise
  - Verbesserung tribologischer und thermischer Eigenschaften durch poröse / zellulare Strukturen
  - Integration von Sensorik und Aktorik
- Wirtschaftlichkeit durch Zykluszeiteinsparung und verbesserte Bauteilqualität
- komplexere Bauteile mit konturnaher Temperierung herstellbar
- gezielte Einstellung von Bauteileigenschaften durch Temperierung (Blechwarmumformung)

© Fraunhofer IWU

Unser Leistungsangebot für den Werkzeug- und Formenbau

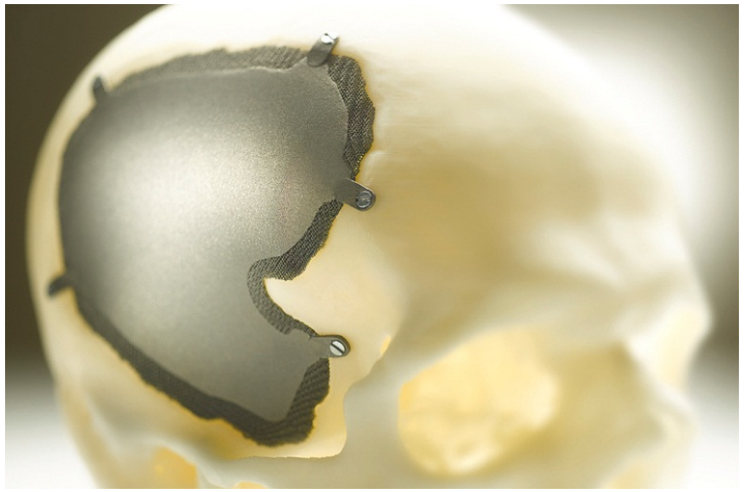
- Unterstützung bei der Optimierung bestehender Serienbauteile
- Entwicklung und Auslegung der Kühlsysteme
- Unterstützung bei der Gesamt-Werkzeug-Konstruktion, eigenständige Konstruktion der Werkzeugeinsätze für das Laserstrahlschmelzen
- Generative Herstellung der Werkzeugeinsätze mittels Laserstrahlschmelzen am Fraunhofer IWU
- Implementierung der laserstrahlgeschmolzenen Werkzeugeinsätze in das Werkzeug
- Betreuung des Anlaufs, Erfassung relevanter Fertigungsdaten für den Vergleich mit konventionellen Werkzeugen
- Bewertung der Zykluszeit, Werkzeugstandzeit sowie Qualität und Maßhaltigkeit der Formteile zu einem vergleichbaren, konventionell gefertigten Werkzeug

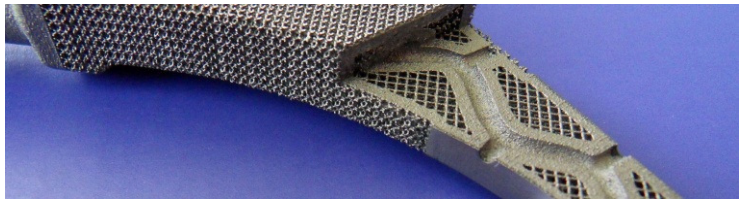
© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

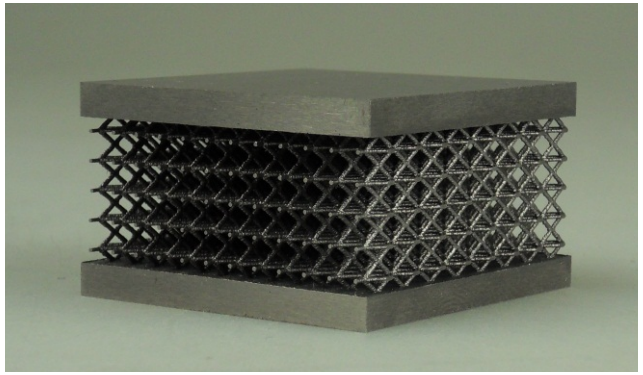
Exkurs: weitere Anwendungsfelder für das Laserstrahlschmelzen

Medizintechnik



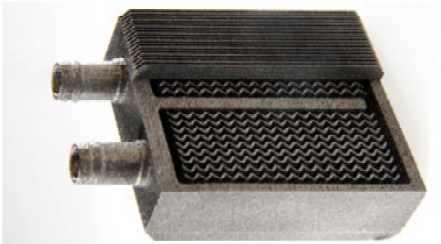


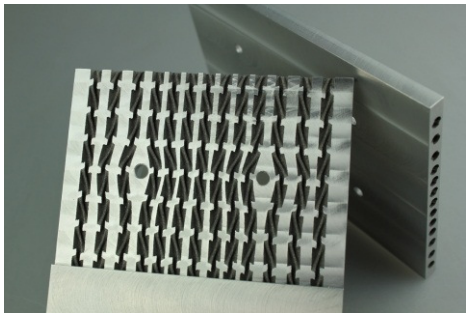
Leichtbau / Bionik



Prototypen

Thermische Komponenten





© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fraunhofer
IWU

Thomas Töppel
Dipl.-Wi.-Ing. (FH)

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Generative Fertigungsverfahren
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen
und Umformtechnik IWU

Nöthnitzer Strasse 44 I 01187 Dresden
Telefon +49 351 4772-2152 I Fax -2303
thomas.toeppel@iwu.fraunhofer.de
www.iwu.fraunhofer.de

© Fraunhofer IWU