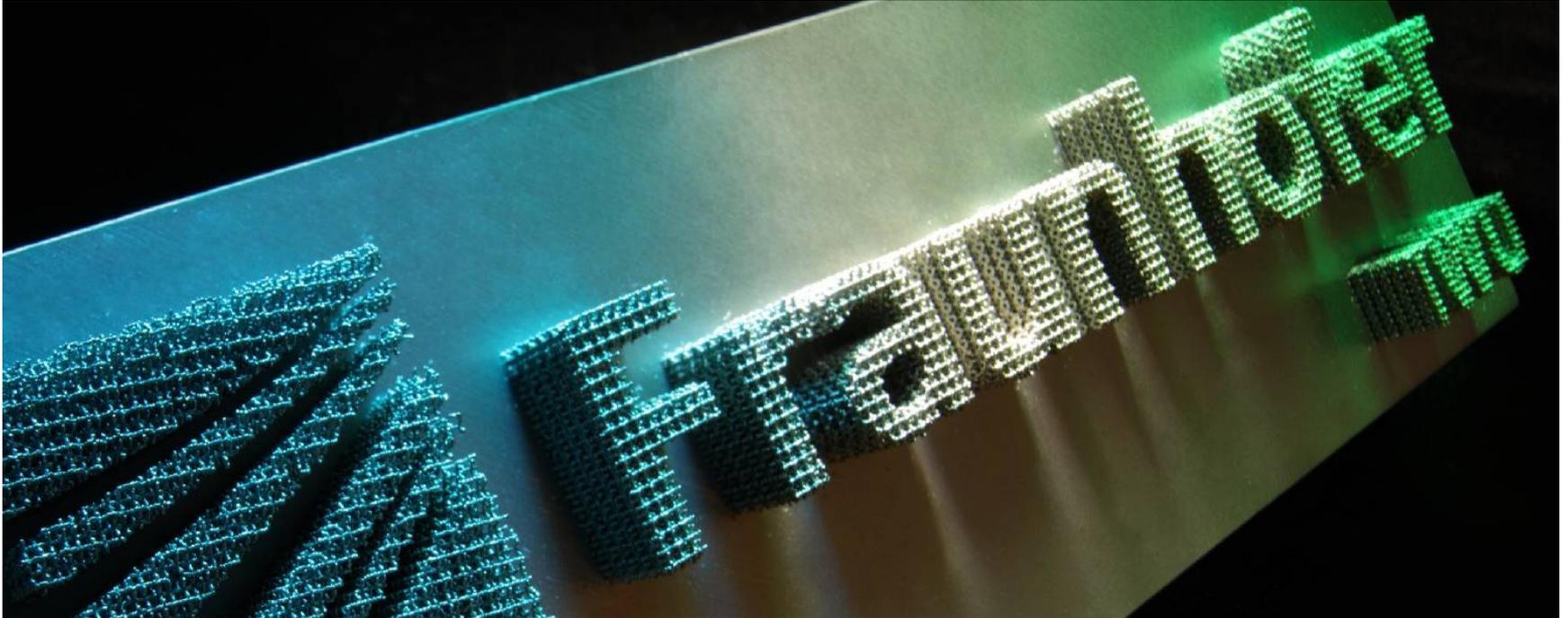


# Additive Fertigung für Spritzgieß- und Umformwerkzeuge

**Dipl.-Ing. Thomas Rädels**

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU Gruppe  
„Generative Verfahren“

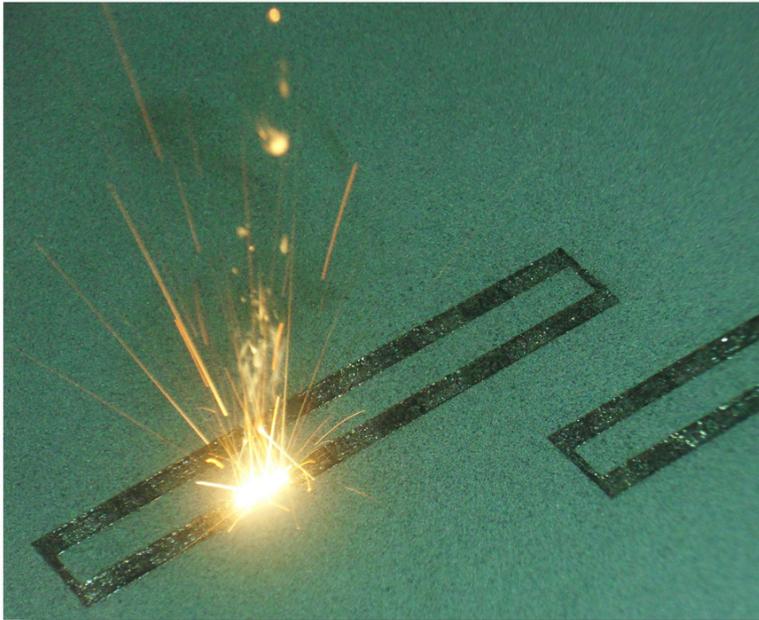


4. Fachtagung Werkzeugbau-Institut Südwestfalen, 29.10.2015, Lüdenscheid

# Gliederung

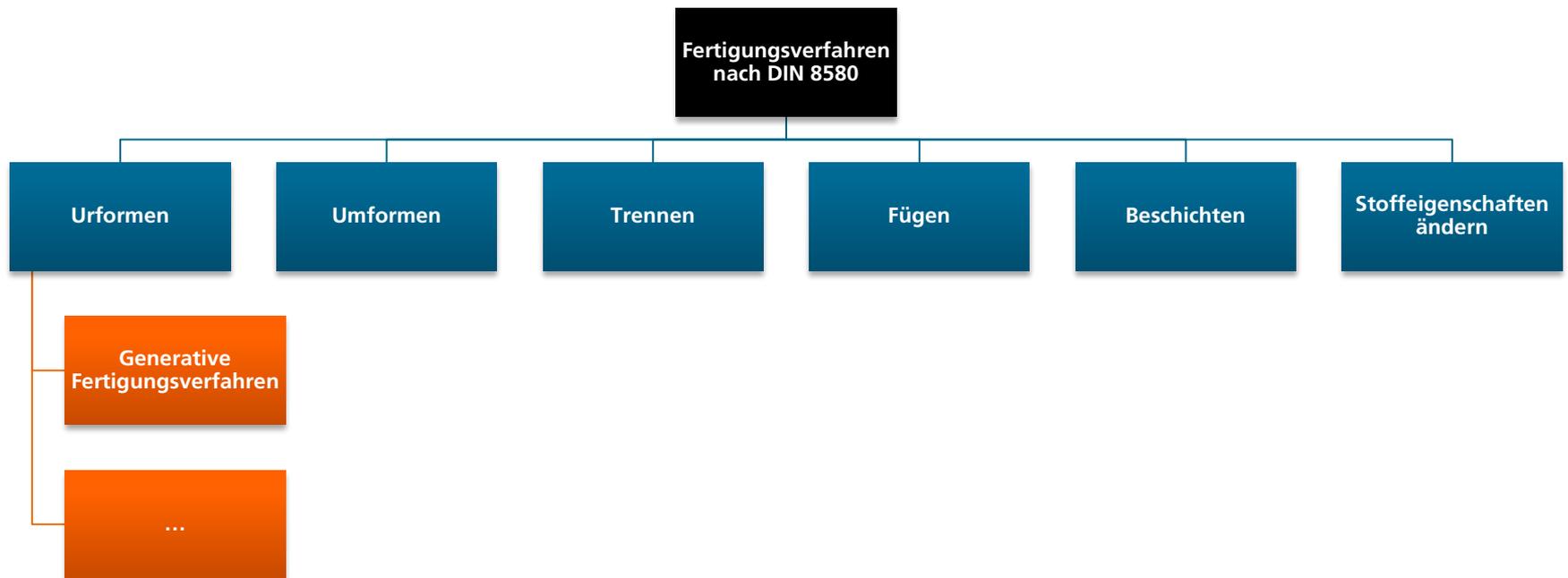
- Generative Fertigungsverfahren
  - Einordnung, Grundprinzip und Historie
  - Verfahrensübersicht
  - Anlagentechnik
  - Laserstrahlschmelzen
  - Vorteile
  - Werkstoffe für den Werkzeug- und Formenbau
- Entwicklungstrends der generativen Fertigungsverfahren
  - Hype – Vision – Roadmap
  - Kostenentwicklung
  - Anlagenanbieter
  - Marktvolumen
  - Aktueller Einsatz
  - Fazit
- Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale im Werkzeug- und Formenbau
  - Spritzgießen
  - Druckgießen
  - Blechwarmumformung (Presshärten)
  - Gesenkschmieden
  - Faserverbundfertigung
  - Blechumformung (kalt)
- Netzwerke und Allianzen

# Generative Fertigungsverfahren



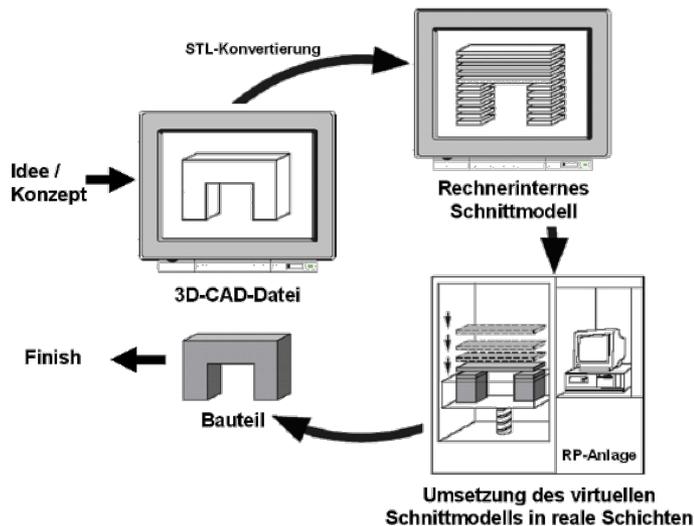
# Generative Fertigungsverfahren

## Einordnung nach DIN 8580



# 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)
- **Additive Manufacturing (AM):**  
generative Herstellung von Endprodukten/ Serienteilen (Konstruktion und Material entspricht dem des Endproduktes)
- **3D-Drucken:**  
populäre Bezeichnung, die sich meist auf den Bereich der Low-Cost-Anlagen für den Heimgebrauch bezieht

# Generative Fertigungsverfahren

## Verfahrensübersicht

### ■ Extrusionsbasierte Verfahren

Aufschmelzen von meist drahtförmigen Vormaterial in einer Heizdüse und gesteuerter Auftrag über ein Plottersystem, z. B. FDM/FLM Fused Deposition/Layer Modeling (\*)

### ■ Druckverfahren

tröpfchenweiser Materialaufbau oder Binderauftrag auf ein Pulverbett analog dem Tintenstrahldruck, z. B. 3D-Drucken (\*)

### ■ Photopolymerisationsverfahren

selektives UV-Licht-basiertes Aushärten von speziellen Kunststoffen, z. B. Stereolithographie

### ■ Selektives Sintern bzw. Schmelzen von Pulvermaterial

Lasersintern (\*), Laserstrahlschmelzen (\*), Elektronenstrahlschmelzen

### ■ Laminierverfahren

Aufeinanderkleben von Folien und Ausschneiden der Bauteilkontur, z. B. LOM Laminated Object Manufacturing

### ■ Verfahren mit gerichtetem Energieeintrag und gleichzeitigem Materialauftrag

z. B. Laser-Pulver-Auftragschweißen (\*), LENS Laser Engineered Net-Shaping

(\* Verfahren am Fraunhofer IWU vorhanden)

# Generative Fertigungsverfahren Anlagentechnik

## Metall

### Laserstrahlschmelzen



M2 Cusing (Concept Laser),  
IWU Dresden



SLM Realizer 100 (Realizer),  
IWU Dresden



SLM 250HL (SLM Solutions),  
IWU Augsburg (RMV)



SLM 250HL (SLM Solutions),  
TU Chemnitz (SLK)

## Kunststoff

### 3D-Drucken



ZPrinter 310 + ZPrinter 450  
(3D Systems / Z Corp.),  
TU Chemnitz (IWP, RP-Labor)

### Fused Layer Modeling (FLM/FDM)



FORTUS 900mc  
(Stratasys), IWU  
Zittau / Bautzen



Dimension SST  
1200es (Stratasys),  
TU Chemnitz (IWP, RP-Labor)



Delta  
Tower



Cube X  
(3D Systems),  
IWU Chemnitz

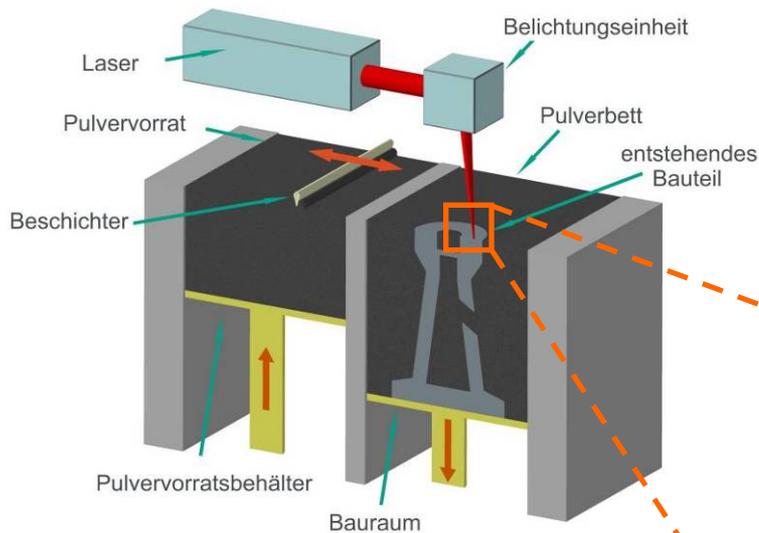
### Selektives Laser-Sintern (SLS)



sPro™60 HD-HS  
High Speed SLS® Center  
(3D Systems)  
IWU Zittau / Bautzen

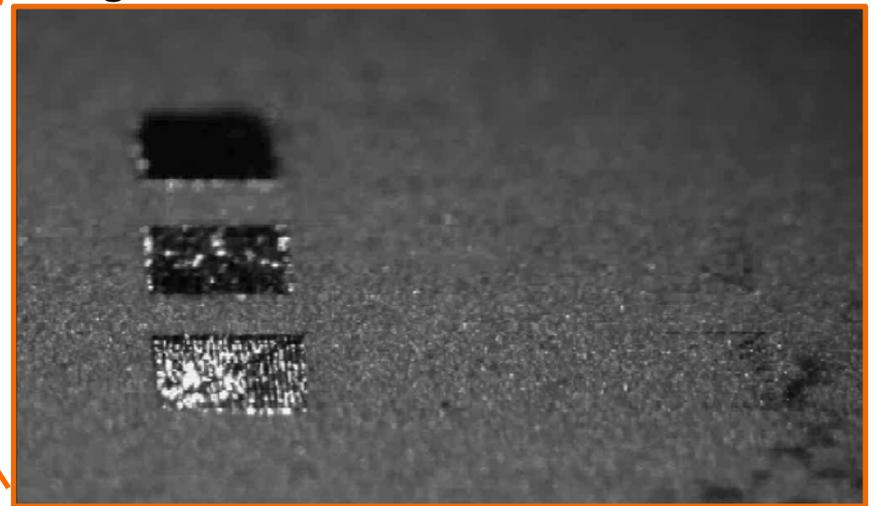
# Generative Fertigungsverfahren

## Laserstrahlschmelzen



Funktionsprinzip einer Laserstrahlschmelzanlage

- **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



# Generative Fertigungsverfahren – Laserstrahlschmelzen

## Vorteile



### *time to product*

- keine Werkzeuge
- keine AV / Technologieplanung
- keine NC-Programmierung
- einstufiger Prozess  
(kein Schichten, 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 / Biokompatibilität*

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

# Generative Fertigungsverfahren – Laserstrahlschmelzen

## Werkstoffe und mechanische Kennwerte

Werkstoff	Zustand	Zugfestigkeit $R_m$ [MPa]	Streckgrenze $R_{p0,2}$ [MPa]	Bruchdehnung A [%]	Härte [HRC]
<b>Werkzeugstahl</b> <sup>1</sup> 1.2709 X3NiCoMoTi 18 9 5	wärmebehandelt (490 °C)	2.040 - 2.180	1.870 - 1.940	3 - 5	54 - 56
<b>Werkzeugstahl</b> (rostfrei) Corrax®	wärmebehandelt (525 °C)	1.700	1.600	> 2	48 - 50
<b>Edelstahl</b> 1.4404 X2CrNiMo 17-12-2	wie gebaut	640	500	> 15	20
<b>Titan</b> <sup>4</sup> 3.7165 TiAl6V4	wärmebehandelt	950 - 1.250	800 - 1.100	10 - 20	32 - 36
<b>Aluminium</b> <sup>2</sup> 3.2381 AlSi10Mg	wie gebaut lösungsgeglüht T6 wärmebehandelt	353 - 482 221 - 260 281 - 320	210 - 295 126 - 160 222 - 362	2 - 7 10 - 18 5 - 10	95 - 119 (HB) 63 - 74 (HB) 85 - 101 (HB)
<b>Hastelloy X</b> 2.4665 NiCr22Fe18 Mo	wie gebaut	718 - 886	617 - 741	26 - 40	

**weitere Werkstoffe: CoCr, 17-4 PH, AlSi12, Inconel 718**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kennwerte lt. VDI 3405 Blatt 2

<sup>2</sup> VDI 3405 Blatt 2.1

<sup>3</sup> VDI 3405 Blatt 2.2 in Arbeit

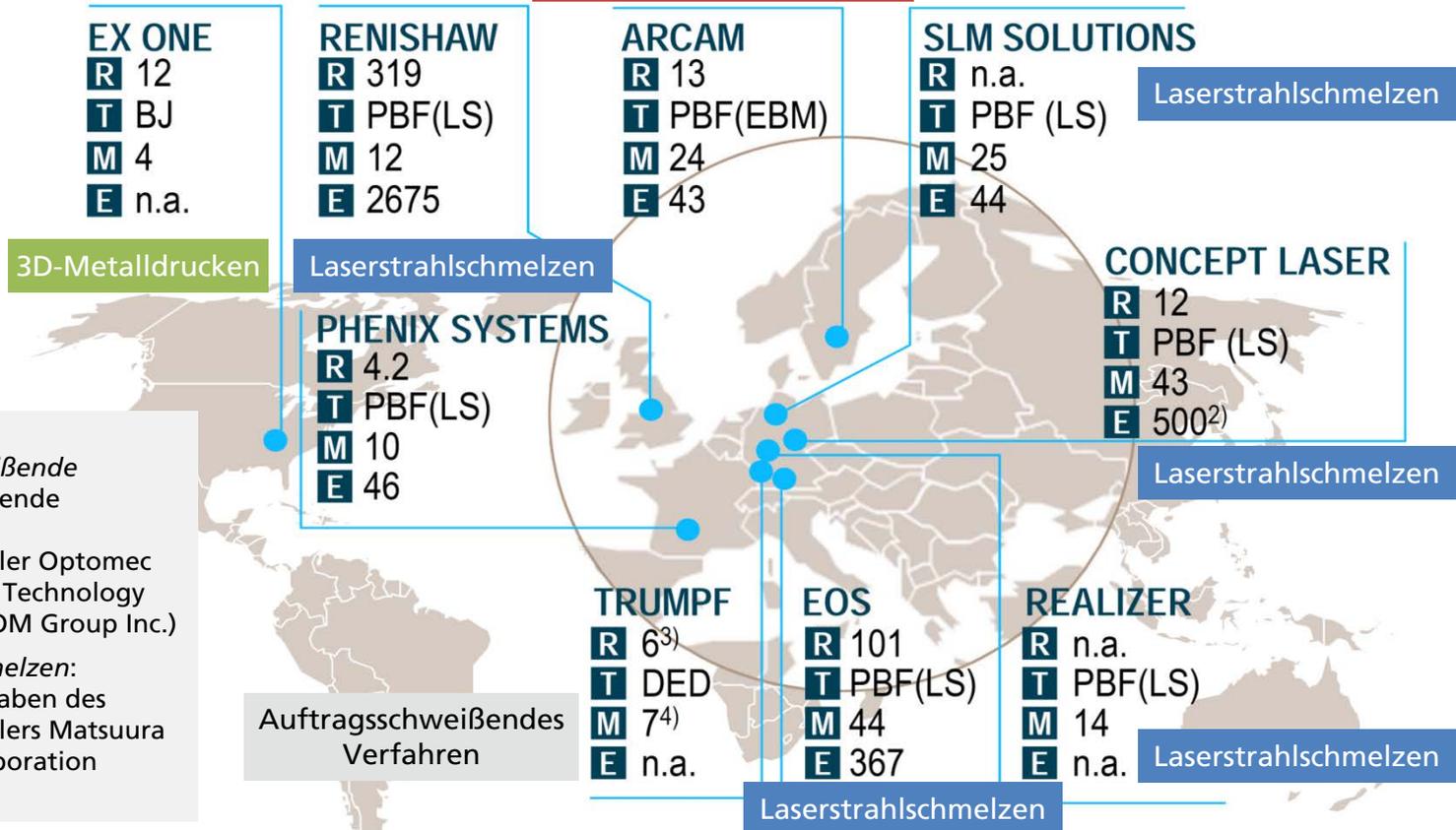
<sup>4</sup> VDI 3405 Blatt 2.x in Vorb.

# Entwicklungstrends der generativen Fertigungsverfahren



# Entwicklungstrends der generativen Fertigungsverfahren Anlagenanbieter (Metall)

## Elektronenstrahlschmelzen



Anmerkungen:  
Auftragsschweißende  
Verfahren: fehlende  
Angaben der  
Anlagenhersteller Optomec  
Inc. und DM3D Technology  
LLC (vormals POM Group Inc.)

Laserstrahlschmelzen:  
fehlenden Angaben des  
Anlagenherstellers Matsuura  
Machinery Corporation  
(Japan)

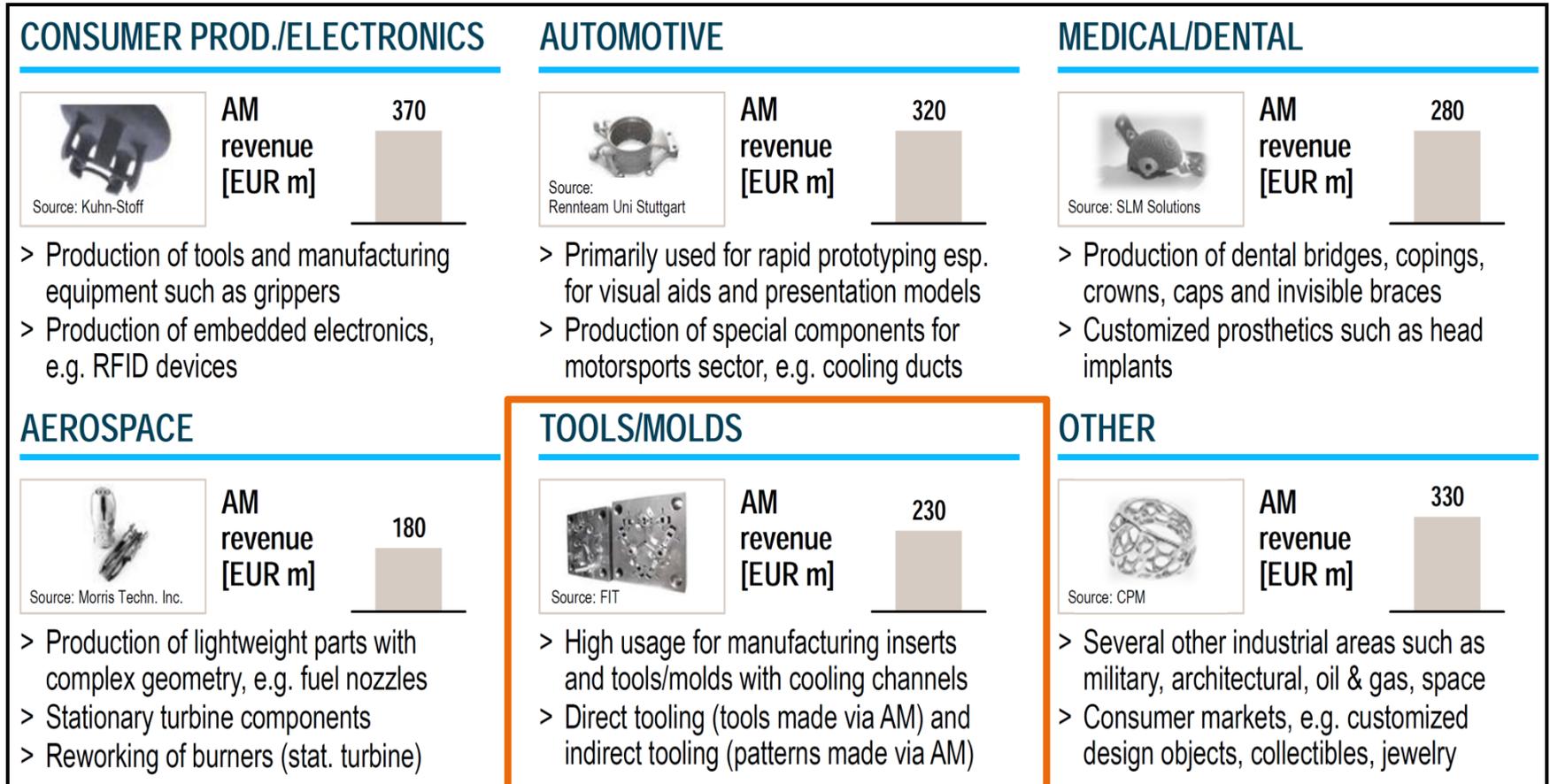
1) 2012 2) Hofmann Group incl. Concept Laser 1) in 2012 3) Revenue 2012 for laser deposition segment 4) AM upgrade kits

**R** Revenue [EUR m] 2011 **T** Technology **M** Metal AM systems sold in 2012 **E** Employees 2011

DED = Directed energy deposition PBF = Powder bed fusion LS = Laser sintering EBM = Electron beam melting BJ = Binder jetting  
(Quelle: Roland Berger Strategy Consultants)

# Entwicklungstrends der generativen Fertigungsverfahren

## Marktvolumen nach Industriezweigen



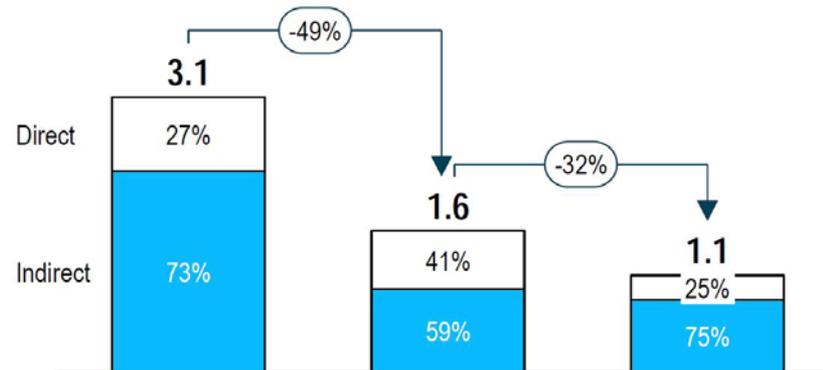
(Quelle: Roland Berger Strategy Consultants)

# Entwicklungstrends der generativen Fertigungsverfahren

## Kostenentwicklung

- prognostizierte Kostenentwicklung für generative Fertigung in der nahen Zukunft

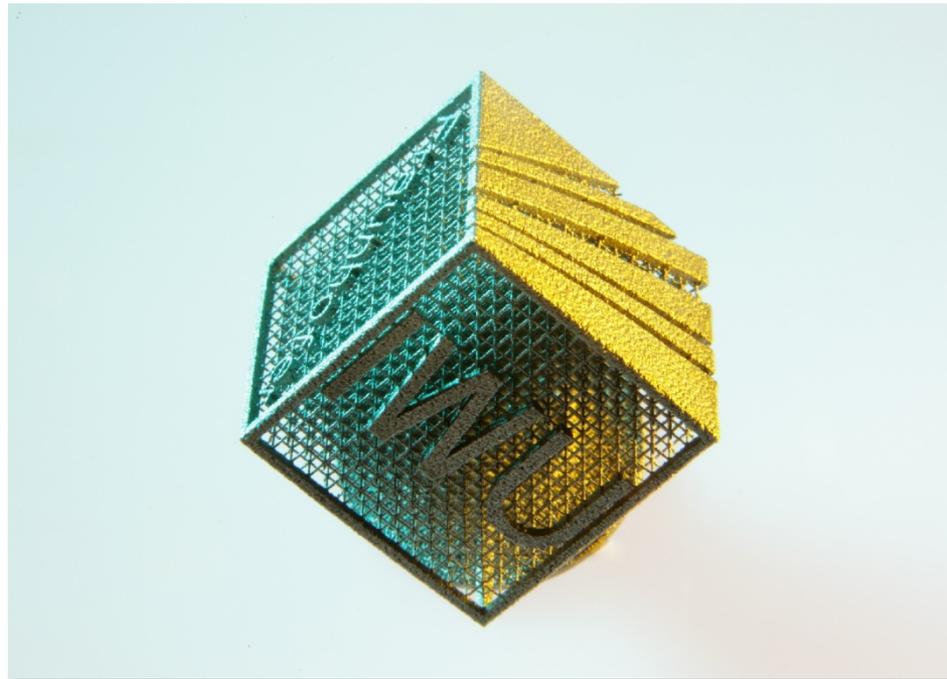
Forecast metal AM costs [EUR/cm<sup>3</sup>]



PREREQUISITES	2013	2018	2023
Build speed	10 cm <sup>3</sup> /h	40 cm <sup>3</sup> /h	80 cm <sup>3</sup> /h
Machine costs	EUR 500,000	EUR 700,000	EUR 800,000
Share of monitoring	5%	2%	0%
Machine utilization	86%	84%	81%
Powder price	EUR 89/kg	EUR 70/kg	EUR 30/kg
Post-processing effort	1.52 h/kg	1.05 h/kg	0.96 h/kg

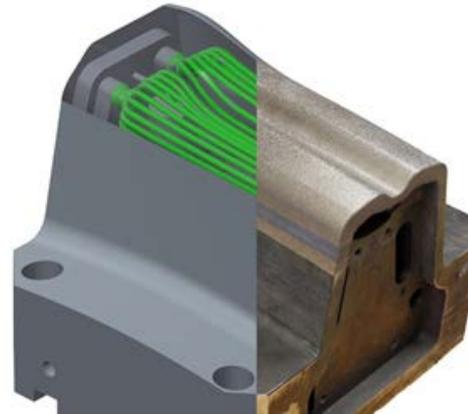
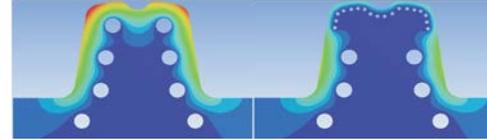
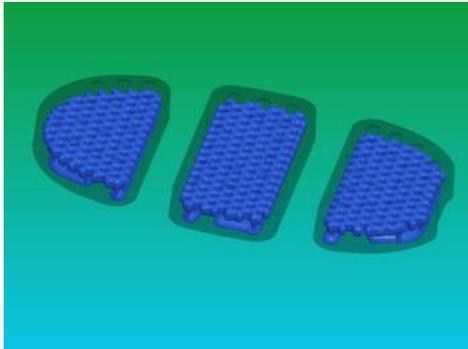
(Quelle: Roland Berger Strategy Consultants)

# Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale im Werkzeug- und Formenbau



# Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale

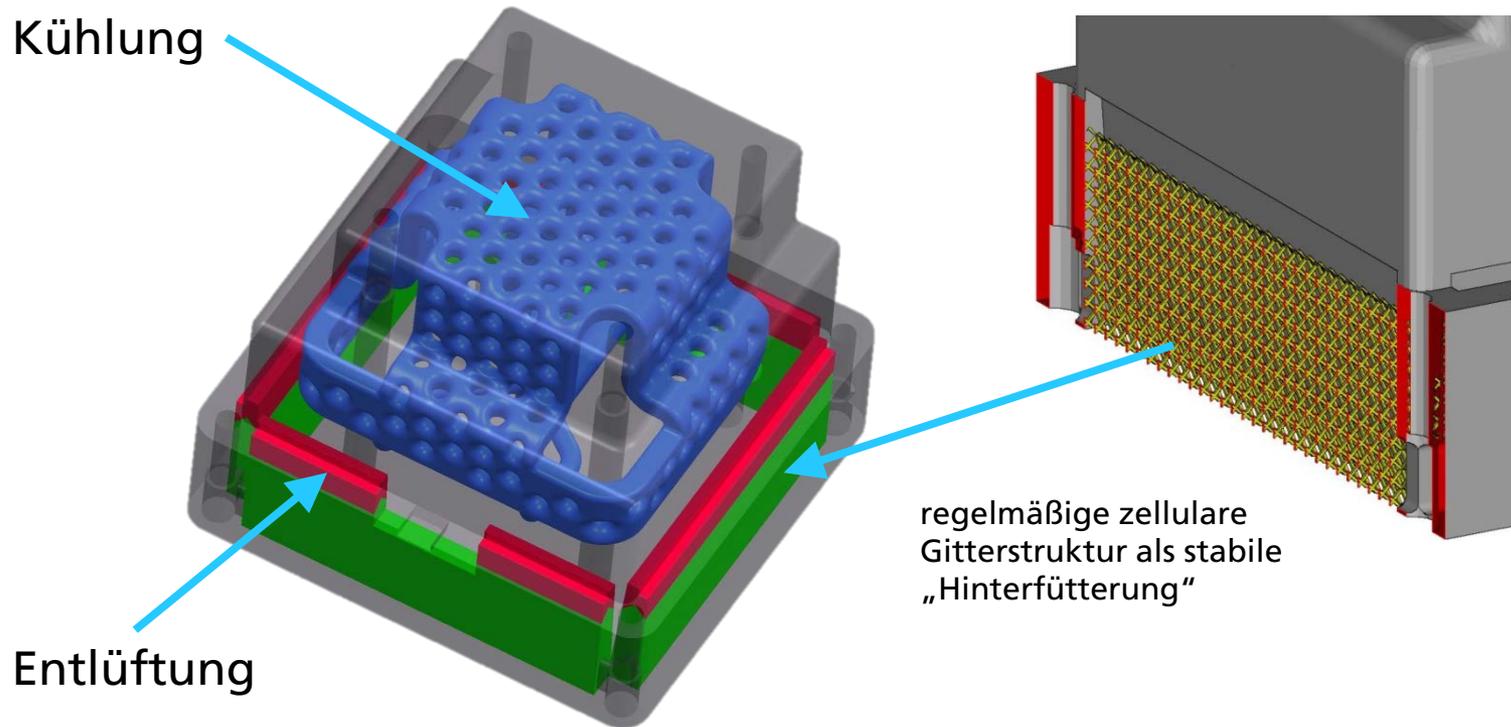
## *Werkzeug- und Formenbau*



# Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

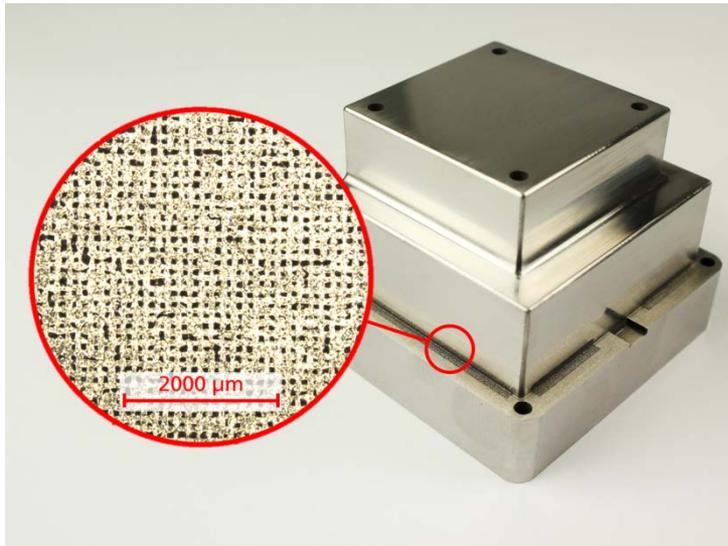
## *Spritzgießen (Kappe)*

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

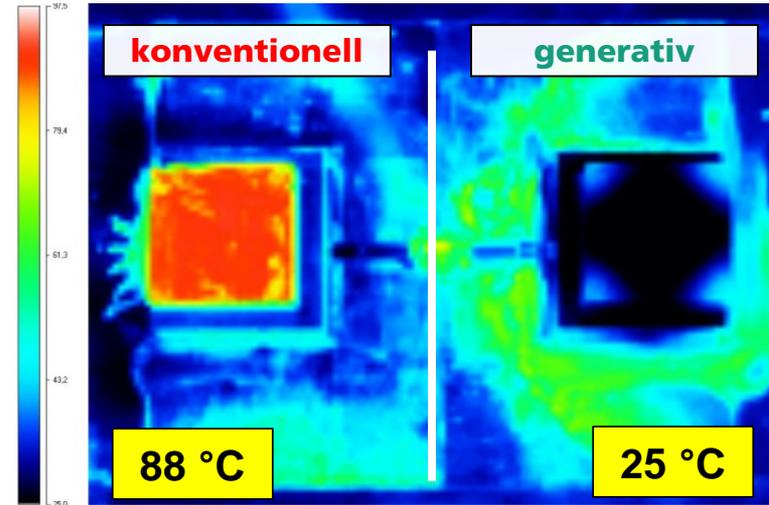


# Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

## *Spritzgießen (Kappe)*



generativ gefertigter Werkzeugeinsatz (Demonstratorwerkzeug) mit poröser Entlüftungsstruktur und Flächenkühlung



Thermografieaufnahme vorgeheiztes Werkzeug (90 °C)  
5 s nach dem Einschalten der Kühlung (15 °C)  
- konventioneller Werkzeugeinsatz (li.),  
generativ gefertigter Werkzeugeinsatz (re.),

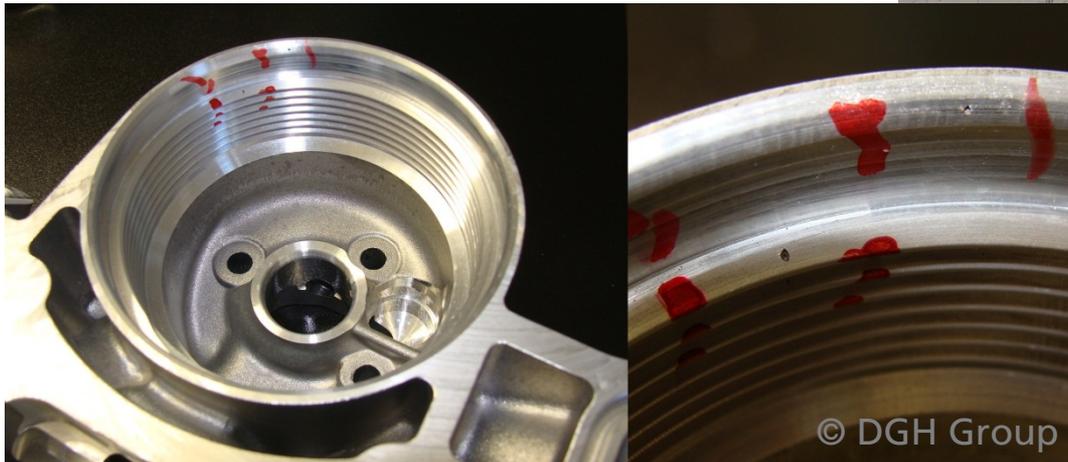
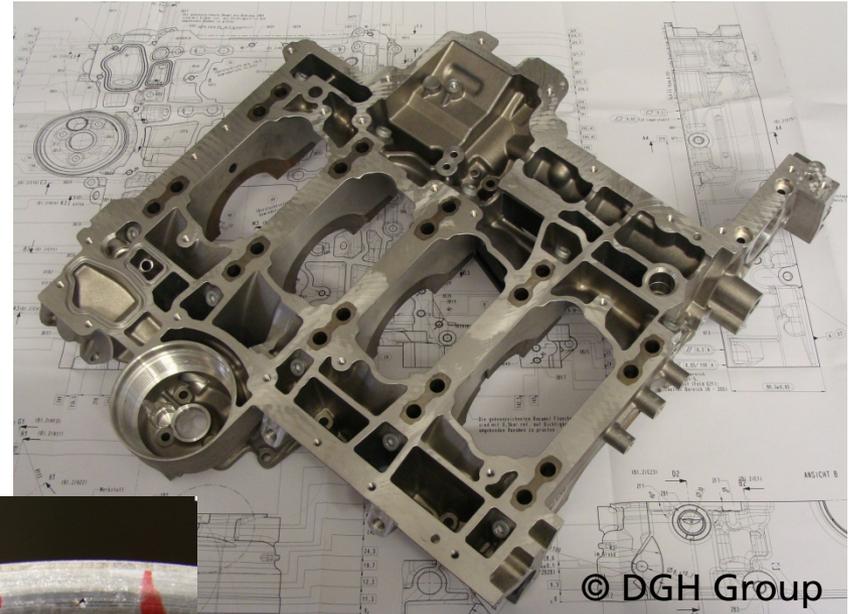
- Verringerung der Kühlzeit (Haltezeit) um **33,3%** (von 18 auf 12 s)
- Verringerung der Zykluszeit um **19,4%** (von 31,4 auf 25,3 s)
- Verringerung Spritzzeit und spezifischer Spritzdruck um jeweils ca. **5 %**

# Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

## *Druckgießen (Lagertraverse)*

### Problemstellung:

- Porosität im Bereich Ölfiltertopf der Lagertraverse



# Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

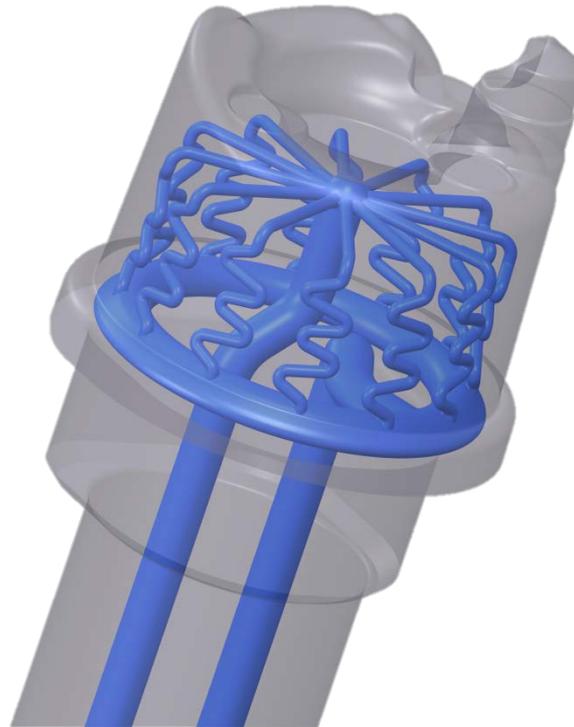
## *Druckgießen (Lagertraverse)*

### Lösungsweg:

- Druckgießkern mit konturnaher Parallelkühlung

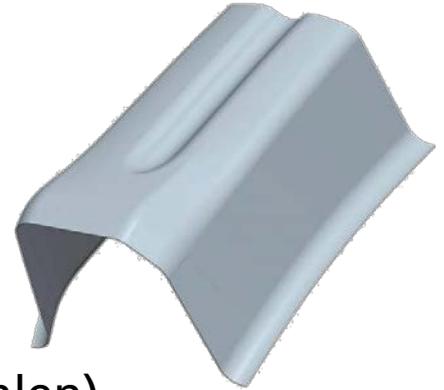
### Ergebnis:

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



# Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

## *Blechwarmumformen (Forschungsprojekt InnoCaT)*



### 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)

# Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

## *Blechwarmumformen (Forschungsprojekt InnoCaT)*

### Lösungsweg:

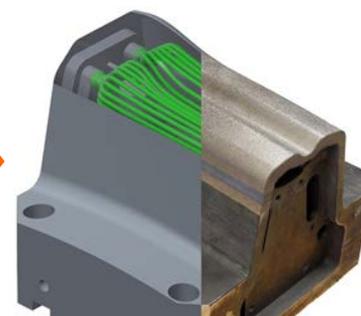
- Generative Fertigung der Werkzeugeinsätze in Hybridbauweise mit konturnaher Flächenkühlung



Werkzeuggrundkörper  
(Stempel) in  
Laserstrahlschmelzanlage



Laserstrahlschmelzprozess



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

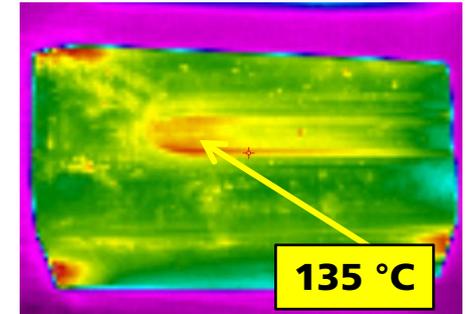
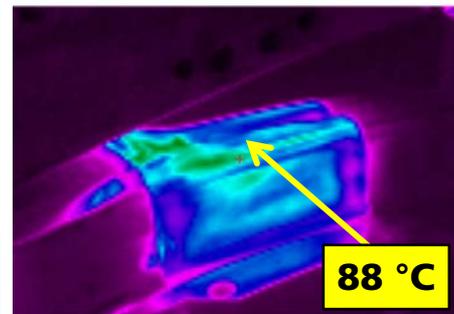
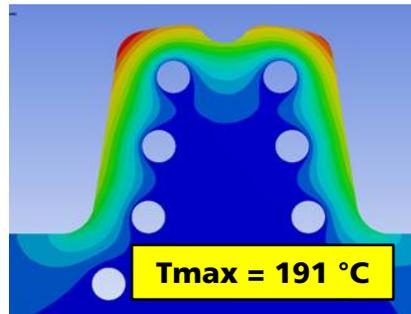


fertiger Werkzeugeinsatz  
(Stempel) nach  
Schichtbearbeitung im  
Gesamtwerkzeug

# Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

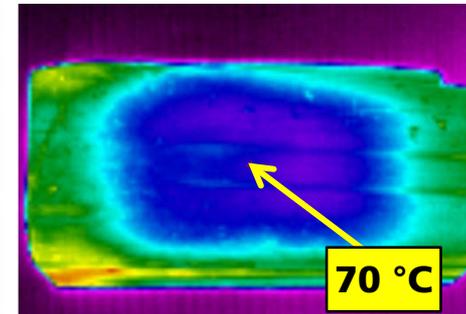
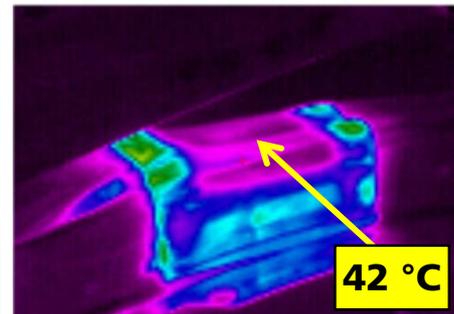
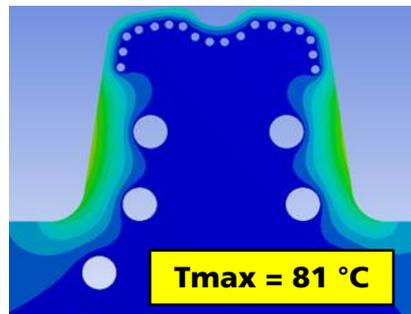
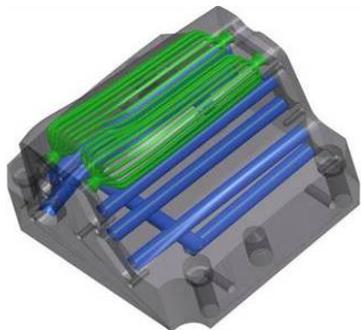
## Blechwarmumformen (Forschungsprojekt InnoCaT)

### Ergebnis:



konventionell gebohrte Werkzeugkühlung

Bauteil



generativ gefertigte, optimierte Werkzeugkühlung

Bauteil

# Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

## *Gesenkschmieden (Kurbelwellensegment)*



### Spezifische Daten:

- Durchmesser: 170 mm
- Höhe: ca. 50 mm
- Volumen: ca. 1000 cm<sup>3</sup>
- Werkstoff: 1.2709
- erzielte Härte: 52 HRC  
(lösungsgeglüht und warmausgelagert)

# Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

## *Faserverbundfertigung (Forschungsprojekt RESWER)*

### Ausgangssituation:

- Ständig steigender Bedarf an Faser-Kunststoff-Verbund-Bauteilen im Fahrzeugbau und in der Luft- und Raumfahrt
- Hoher Zerspanungsaufwand bei der Werkzeugherstellung
- Keine aktive konturnahe Temperierung in den Werkzeugen

### Zielstellung:

- Faser-Kunststoff-Verbund-Bauteile in kürzeren Fertigungszyklen und reduzierten Kosten im Großserienmaßstab wettbewerbsfähig herstellen
- Gegossene Präzisionswerkzeuge mit integrierter Temperierung



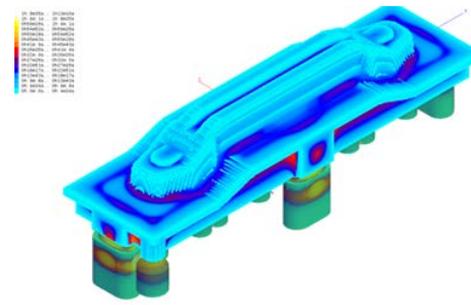
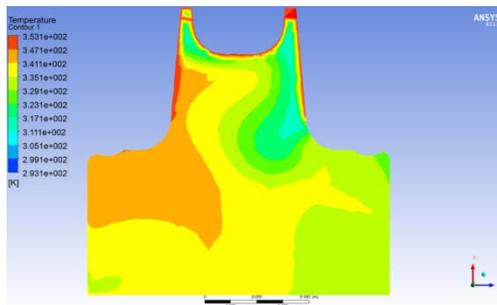
# Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

## Faserverbundfertigung (Forschungsprojekt RESWER)

### Lösungsweg:

#### ■ Gegossene Präzisionswerkzeuge mit integrierter Temperierung:

- Sehr große Gestaltungsfreiheit
- Oberflächennahe und gleichmäßige Temperierung
- lokal gezielte Temperierung durch generativ gefertigte WZ-Einsätze
- Anforderungsgerechte Materialauswahl
- Maximale Steifigkeit durch Topologieoptimierung



# 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 **drei** Blechumformprozessen (Tiefziehen, Abstreckziehen, Blechwarmumformung) unter Nutzung des generativen Laserstrahlschmelzens
  - Schaffung von Mehrwert und Integration zusätzlicher Funktionen
  - je nach Zielanwendung Kühlen, Heizen, Schmieren und Sensorik

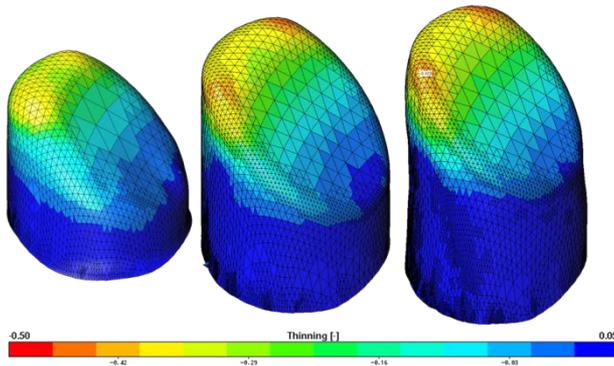
# Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

## *Blechumformung (Projekt HiperFormTool)*

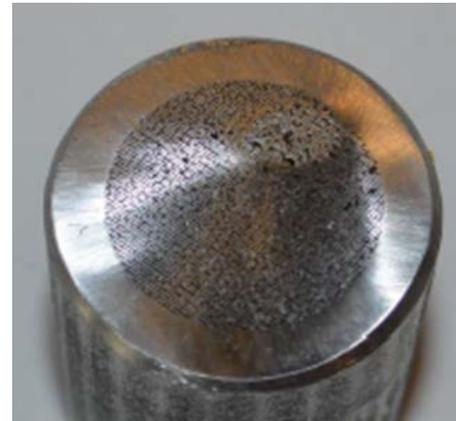


### Lösungsweg:

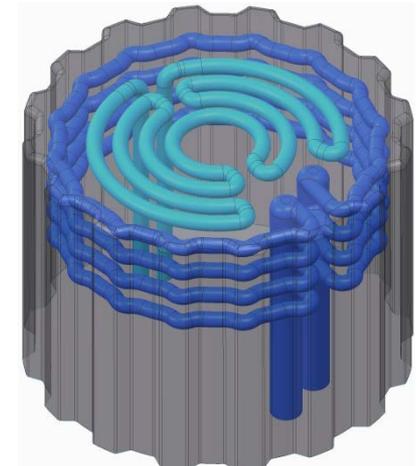
- Prozessanalyse und Optimierung mittels Simulation
- Entwicklung innovativer Temperiersysteme
  - konstante Prozessbedingungen, Verringerung Zykluszeit
- Entwicklung zellulärer Strukturen zur lokalen Schmiermittelversorgung
  - Verringerung Reibwert



Materialausdünnung entsprechend Zugstufe zur Bestimmung der optimalen Position für lokale Schmiermittelversorgung



generativ gefertigte zellulare Struktur zur Schmiermittelversorgung



CAD-Modell generativ gefertigte, konturnahe Werkzeugtemperierung

# Netzwerke und Allianzen

## Netzwerk Strahlschmelzen



**CONCEPTLASER**  
hofmann innovation group



**AMR**

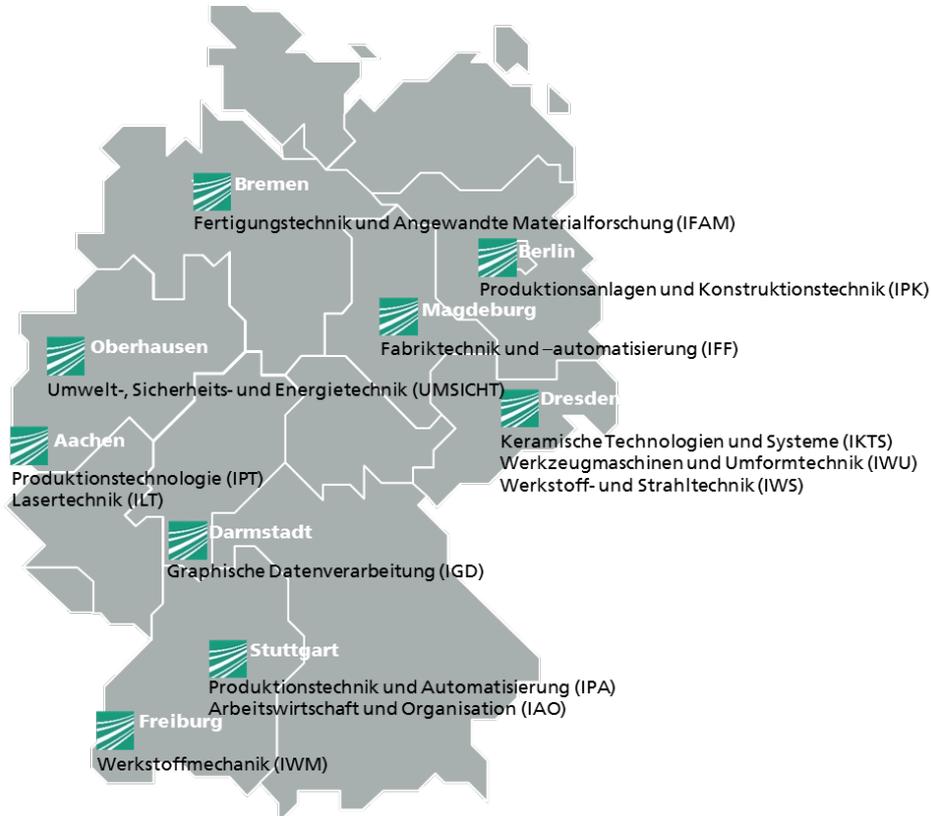


**FKT**<sup>®</sup>  
Formenbau und  
Kunststofftechnik



# Netzwerke und Allianzen

## Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung



### Engineering

Anwendungen entwickeln, konstruieren, auslegen und simulieren



### Werkstoffe

Materialien entwickeln und adaptieren



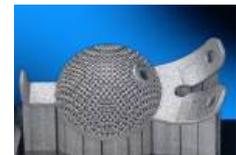
### Technologien

Prozesse entwickeln und wirtschaftlich gestalten



### Qualität

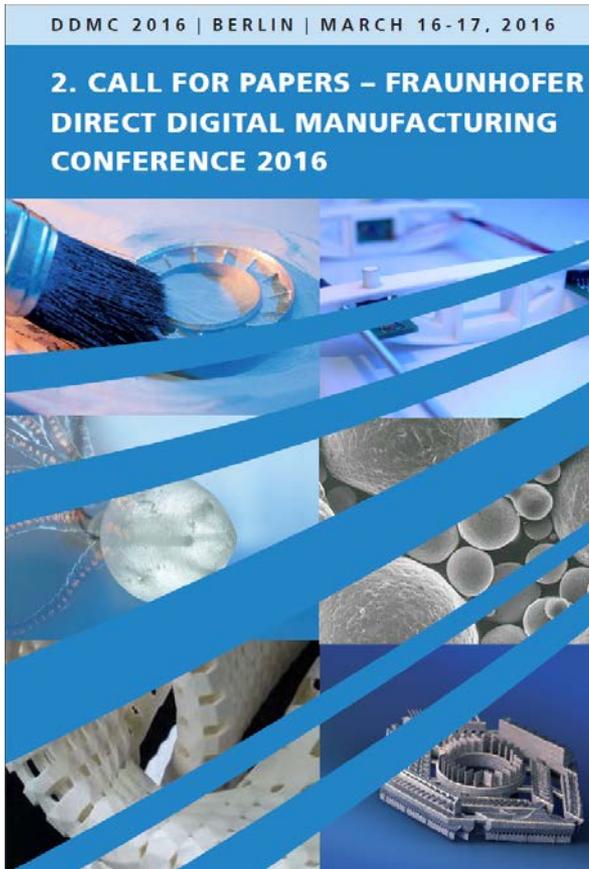
Fertigung beherrschen (Reproduzierbarkeit)



Geschäftsstelle:

Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung  
Sprecher: Dr. Bernhard Müller  
c/o Fraunhofer IWU, Nöthnitzer Straße 44, 01187 Dresden

# Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference DDMC Berlin, 16. - 17. März 2016



## **SCOPE: Encouraging dialogue!**

### **Range of topics:**

- Product Development
- Technologies
- Material
- Quality
- innovative and visionary approaches

### **Keynotes:**

- Prof. Boris Chichkov, Laser Zentrum Hannover
- Dr. Richard Bibb, Loughborough University
- Dr. Tommaso Ghidini, ESA
- Wouter Gerber, Aerosud (Südafrika)
- Dr. Martin Hillebrecht, EDAG
- RA Prof. Dr. L. Grosskopf LL.M.Eur., Uni Bremen
- Dr. Karl-Heinz Dusel, MTU Aero Engines

**More information:** [www.ddmc-fraunhofer.de](http://www.ddmc-fraunhofer.de)



 **Fraunhofer**  
IWU

**Dipl.-Ing. Thomas Rädel**

Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
»Generative Fertigungsverfahren«

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und  
Umformtechnik IWU

Nöthnitzer Straße 44 | 01187 Dresden  
Telefon: + 49 (0) 3 51 / 47 72-21 34  
Fax: + 49 (0) 3 51 / 47 72-23 03  
E-Mail: [thomas.raedel@iwu.fraunhofer.de](mailto:thomas.raedel@iwu.fraunhofer.de)