

MÖGLICHKEITEN DER GENERATIVEN FERTIGUNG FÜR DIE FEINWERKTECHNIK

Dr.-Ing. Bernhard Müller

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Dresden



11. Tagung „Feinwerktechnische Konstruktion“, Dresden, 21. und 22. September 2017

GLIEDERUNG

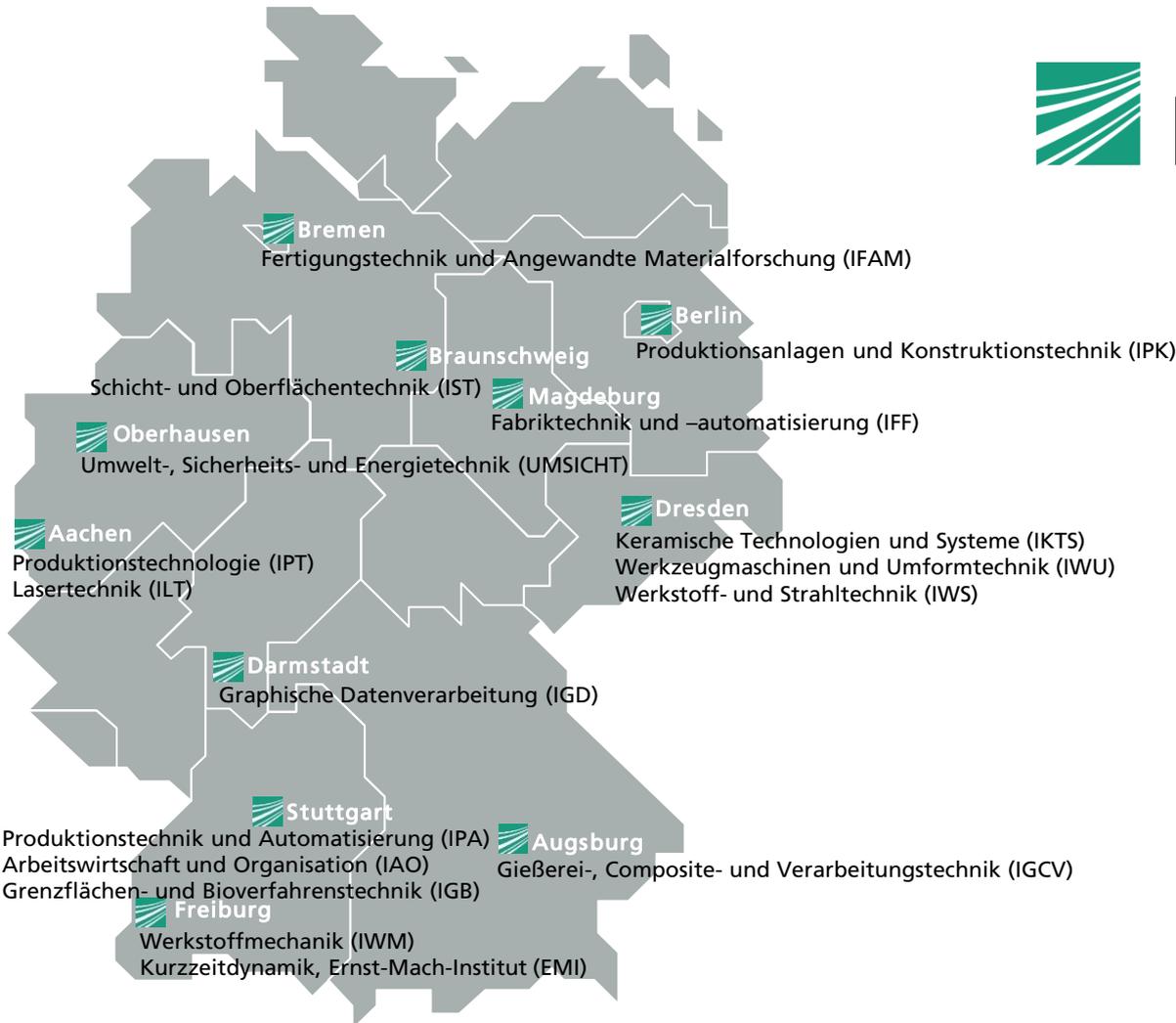
- Einführung
 - Generative Fertigung bei Fraunhofer und am IWU
 - Laserstrahlschmelzen
- Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung
 - Leichtbau
 - Funktionalisierung
 - Beispiele aus der angewandten Forschung
- Herausforderungen für die generative Fertigung in Serie

Generative Fertigung bei Fraunhofer

Ein Thema – Siebzehn Institute – Eine Allianz



Fraunhofer
GENERATIV



Fraunhofer-Allianz
Generative Fertigung

Sprecher:
Dr.-Ing. Bernhard Müller

Geschäftsstelle

c/o Fraunhofer IWU,
Nöthnitzer Straße 44,

01187 Dresden (Germany)

<http://www.generativ.fraunhofer.de>

Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung

Forschungsschwerpunkte

Produkte

Neue Produkte finden und konstruieren
Entwicklung geeigneter Prozessketten



Werkstoffe

Neue Werkstoffe anpassen



Technologien

Effiziente Technologien verfügbar machen



Qualität

Reproduzierbare Fertigungsqualität sichern



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



Das Fraunhofer IWU im Profil

Forschungsstandorte



Chemnitz



Dresden



Zittau



Wolfsburg



Leipzig



- 69 Institute in Deutschland
- ⊙ IWU Standorte

Das Fraunhofer IWU im Profil

Standort Dresden



Dresden



- Dresden ist Deutschlands Stadt mit der größten Forschungsdichte
- Institutsstandort mit 1000 m² großem Technikum in unmittelbarer Nähe zur TU Dresden
- Forschung und Entwicklung von material- und energieeffizienten Technologien und Produkten
 - **Forschungsschwerpunkte** sind Adaptronik, Akustik, Funktionsintegrierter Leichtbau, Generative Fertigung, Mechanische Fügetechnik, Medizintechnik sowie Cyber-physische Produktionssysteme
 - **Reflexionsarmer Raum** für akustische Untersuchungen an Maschinen, Fahrzeugen und Anlagen

Generative Fertigungsverfahren Anlagentechnik am Fraunhofer IWU

Metall

■ Laserstrahlschmelzen



Concept Laser M2 Cusing,
IWU Dresden



Realizer SLM 100,
IWU Dresden

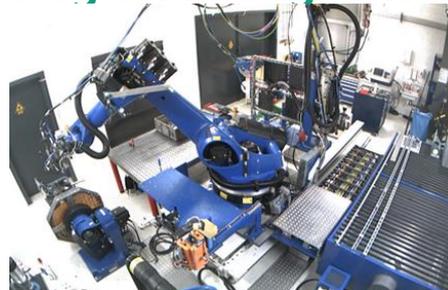


SLM Solutions SLM 250HL,
IWU Augsburg (RMV),
TU Chemnitz (SLK)

■ Laser-/Plasma-/Lichtbogen-Auftragschweißen



Laser-Pulver-Auftragschweißen
DepositionLine + TruDisk 6002
(Trumpf), IWU Chemnitz



MSG-/Plasma-Schweißausrüstung
Phoenix 500 coldarc, TransPuls Synergie
5000 CMT, Tetrax 400, IWU Chemnitz

Kunststoff

■ 3D-Drucken



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

■ Fused Layer Modeling (FLM/FDM)



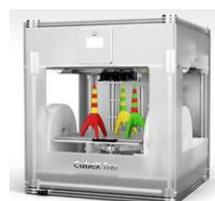
FORTUS 900mc
(Stratasys), IWU
Zittau



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



Delta
Tower



Cube X
(3D Systems),
IWU Chemnitz

■ Selektives Laser-Sintern (SLS)



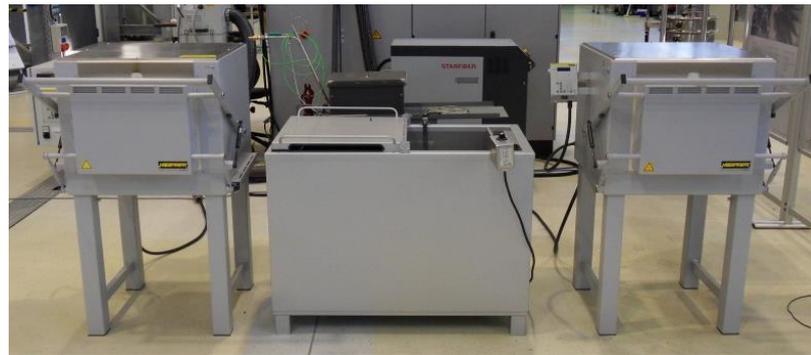
sPro™60 HD-HS
High Speed SLS® Center
(3D Systems)
IWU Zittau

Laser-Strahlschmelzen

Anlagentechnik am Fraunhofer IWU

■ Peripherie / Werkstoffprüfung:

- 2 Microstrahlanlagen PEENMATIC 620 S
- Wirbelschliffvibrator P30
- Härtesystem
- GOM ATOS II Triple Scan 3D-Scanner
- phoenix v|tome|x s μ CT-Scanner
- optisches Oberflächenrauheitsmessgerät
- Werkstofflabor (Zugversuche, REM, Dilatometer etc.)



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

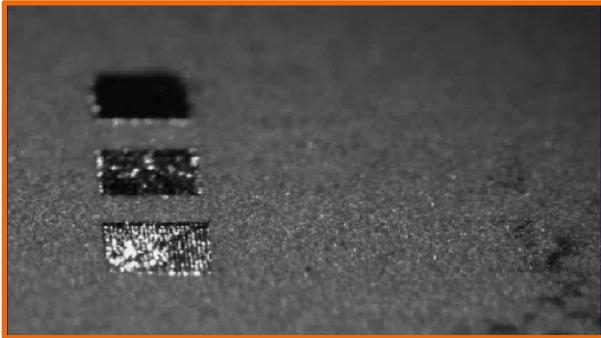
■ Verfahren mit gerichtetem Energieeintrag und gleichzeitigem Materialauftrag

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

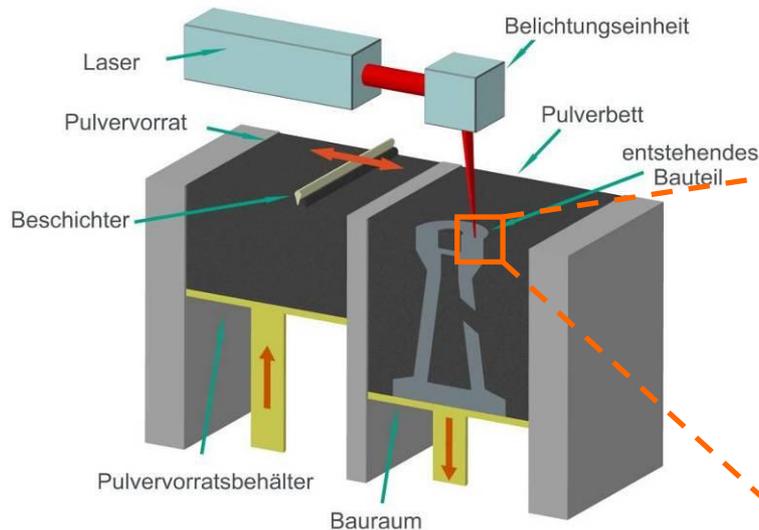
(* Verfahren am Fraunhofer IWU vorhanden)

Laserstrahlschmelzen

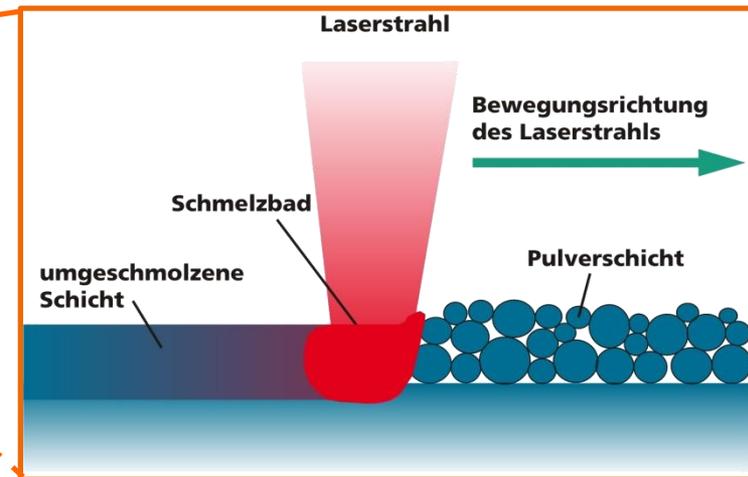
Verfahrensvorstellung



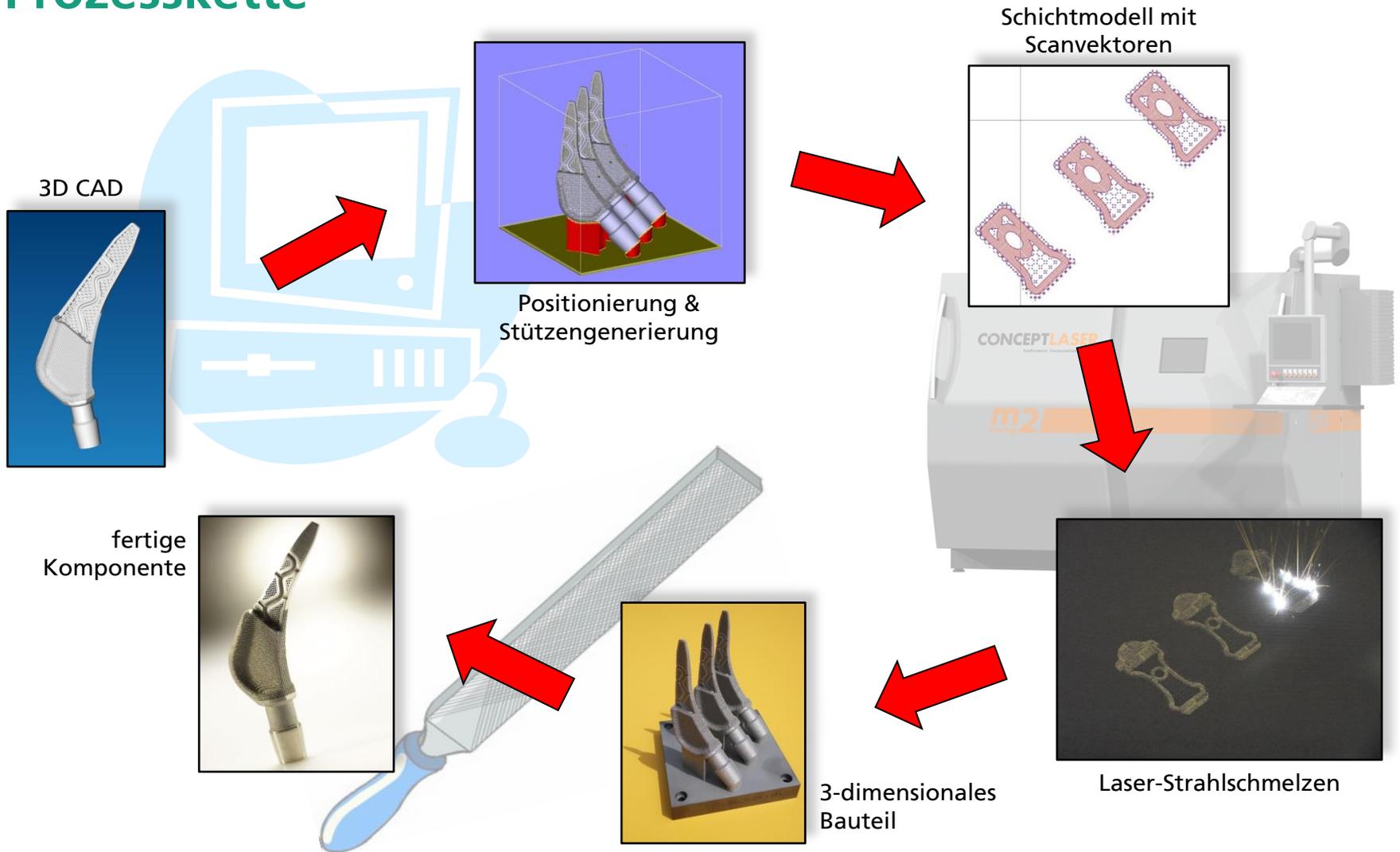
- **direktes Verfahren**, bei dem die gewünschten Teile in einem **einstufigen Prozess im metallischen Serienmaterial** entstehen (ggf. ist Entfernung von Stützstrukturen und Reinigung erforderlich)
- **vollständiges, lokales Aufschmelzen** von Metallpulvern zu einem **99,5 - 100 % dichten Gefüge**



Funktionsprinzip einer Laser-Strahlschmelzanlage



Laserstrahlschmelzen Prozesskette



Laserstrahlschmelzen

Vorteile



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 / Biokompatibilität

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

Laserstrahlschmelzen

Werkstoffpalette

Werkstoff	Zustand	Zugfestigkeit R_m [MPa]	Streckgrenze $R_{p0,2}$ [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®	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.

GLIEDERUNG

- Einführung
 - Generative Fertigung bei Fraunhofer und am IWU
 - Laserstrahlschmelzen
- Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung
 - Leichtbau
 - Funktionalisierung
 - Beispiele aus der angewandten Forschung
- Herausforderungen für die generative Fertigung in Serie

Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung

■ Funktionsleichtbau

- Verzicht auf Volumen ohne Funktion (Bionik, Topologieoptimierung)
- Miniaturisierung
- Gitterstrukturen

■ Gestaltfreiheit

- Design to function
- Herstellung des Unmöglichen
- Individualisierung/Flexibilisierung

■ Funktionalisierung

- geometrisch
- werkstofflich
- integrativ



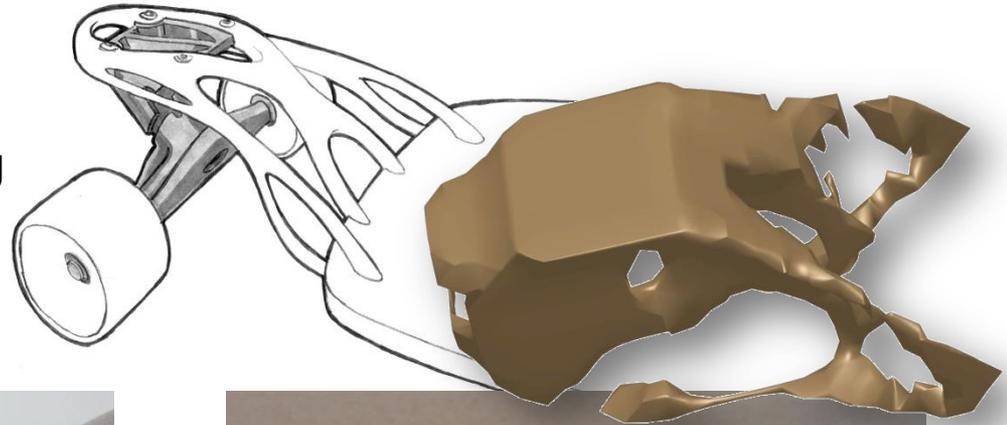
Mehrwert im Produkt oder Betriebsmittel

- Effizienzsteigerung
- Ressourcenschonung
- Leistungssteigerung
- völlig neue Produktmerkmale

Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung

Funktionsleichtbau mittels Topologieoptimierung

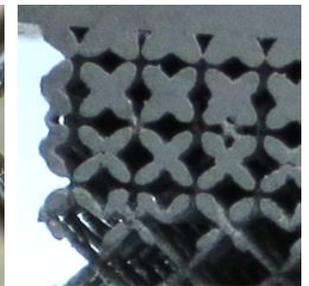
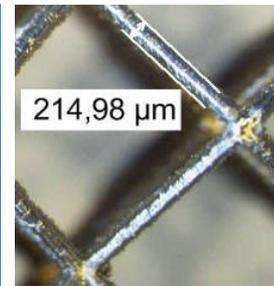
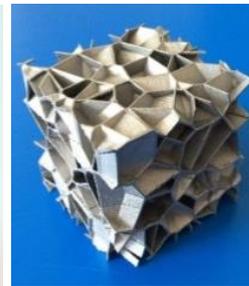
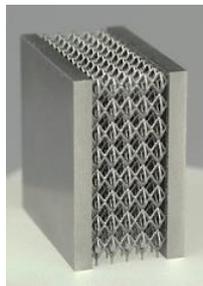
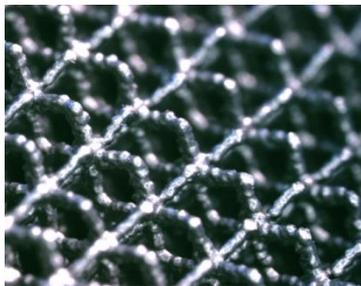
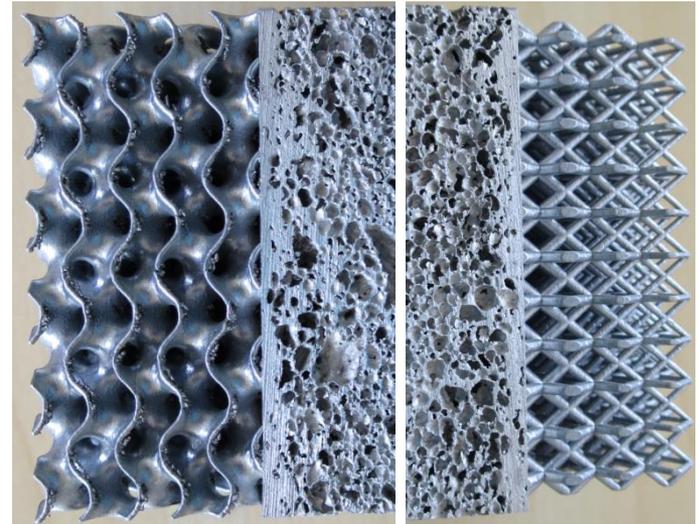
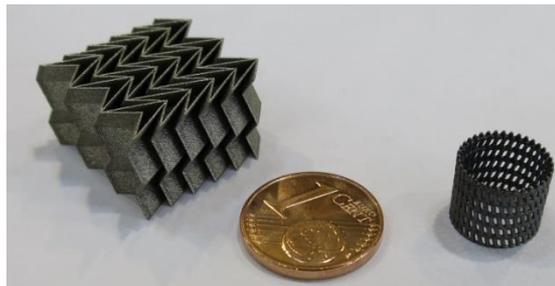
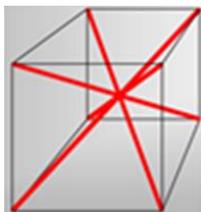
- ✓ Verbesserte Funktionalität
- ✓ Optimierte Spannungsverteilung
- ✓ Gewichtsreduzierung (bis 30 %)
- ✓ Ressourceneffizienz



Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung

Funktionsleichtbau mittels Gitterstrukturen

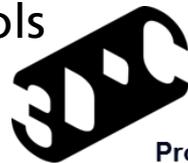
- Regelgitter
- gradierte Strukturen
- Körper aus räumlich angeordneten Flächen
- Gitter-Metallschaum-Komposit
- lokal angepasste Eigenschaften
- „fit-to-function“



Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung

Funktionsleichtbau

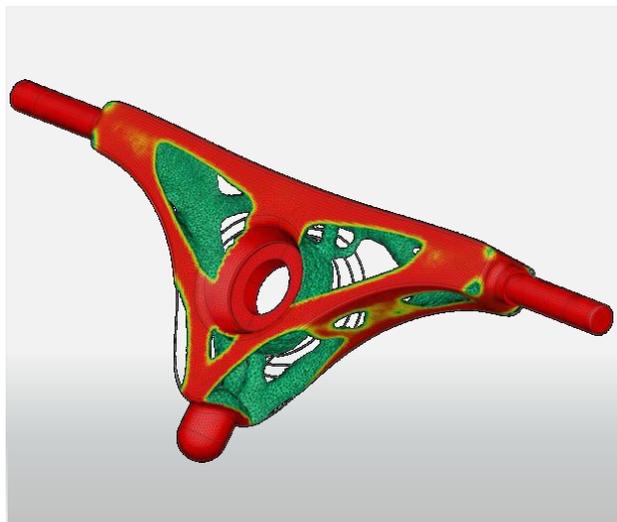
- integrierter Ansatz aus Topologieoptimierung und Gitterstrukturen
- neue Softwaretools
- nochmals gesteigertes Leichtbaupotential



3DPC
**3D Pioneers
Challenge**

Project T.O.S.T.

Best student project and
3DPC 2017 winner in the
category Design.



Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung

Funktionalisierung

■ geometrisch

- funktionale Kanäle und Hohlräume
 - wirkstellennahe Temperierung (z. B. konturnahe Kühlung)
 - Wärmetauscher
 - Medienver- & -entsorgung, z. B. (Druck-)Luft, Fluide, Medikament, ...

■ werkstofflich

- Hochleistungswerkstoffe (z. B. Scalmalloy®, hochfeste Stähle, ...)
- Funktionswerkstoffe (Smart Materials, Magnetwerkstoffe)
- Multi-Material-Bauteile (Metall-Metall, Metall-Keramik, ...)
- adaptronische Bauteile und Produkte
- komplexe Baugruppen/Produkte „aus einem Druck“

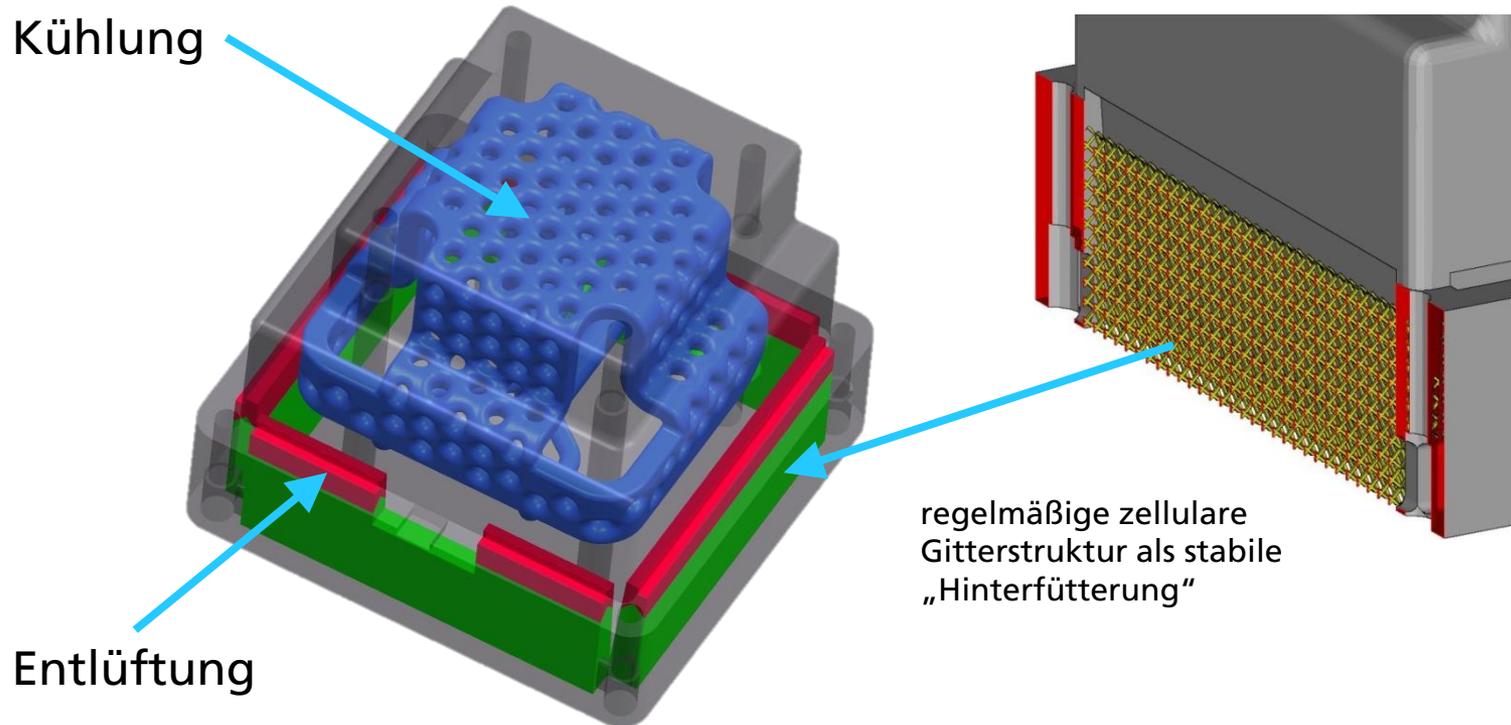
■ integrativ

- Integration von Funktionselementen/-bauteilen
- Sensoren und Aktoren
- elektrische/elektronische Funktionen

Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung

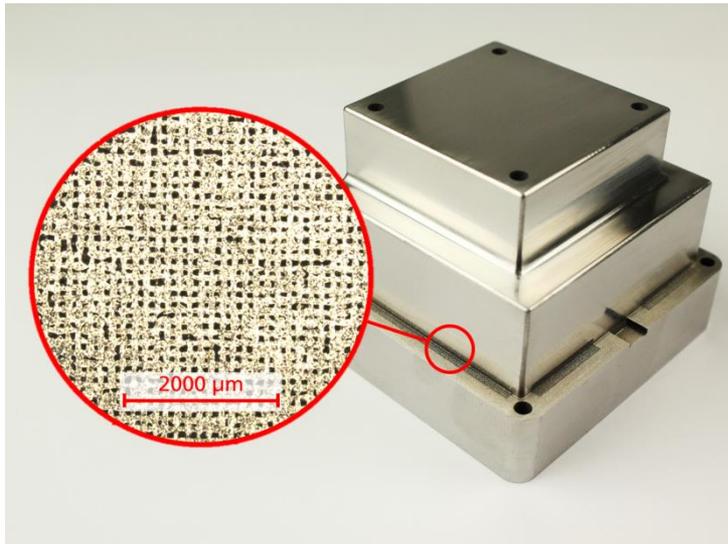
Geometrische Funktionalisierung: Kühlung / Entlüftung

- Werkzeugeinsatz mit innovativer Flächenkühlung und porösen Entlüftungsstrukturen in Integralbauweise

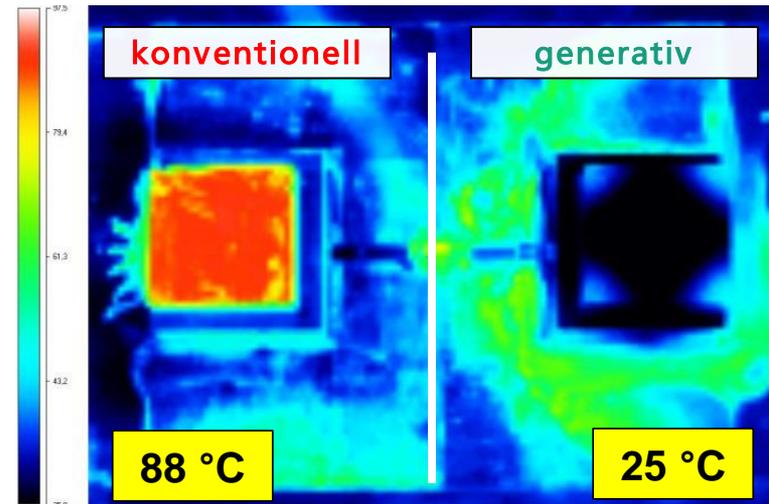


Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung

Geometrische Funktionalisierung: Kühlung / Entlüftung



generativ gefertigter Werkzeugeinsatz (Demonstratorwerkzeug) mit poröser Entlüftungsstruktur und Flächenkühlung



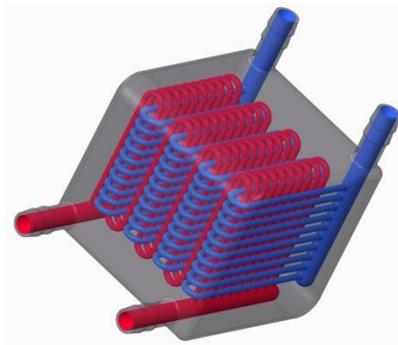
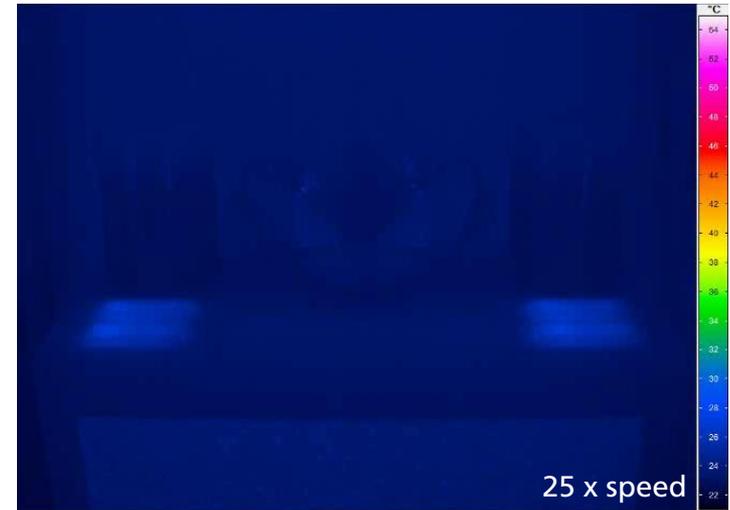
Thermografieaufnahme vorgeheiztes Werkzeug (90 °C)
5 s nach dem Einschalten der Kühlung (15 °C)
- konventioneller Werkzeugeinsatz (li.),
generativ gefertigter Werkzeugeinsatz (re.),

- 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 %**

Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung

Geometrische Funktionalisierung: Wärmetauscher

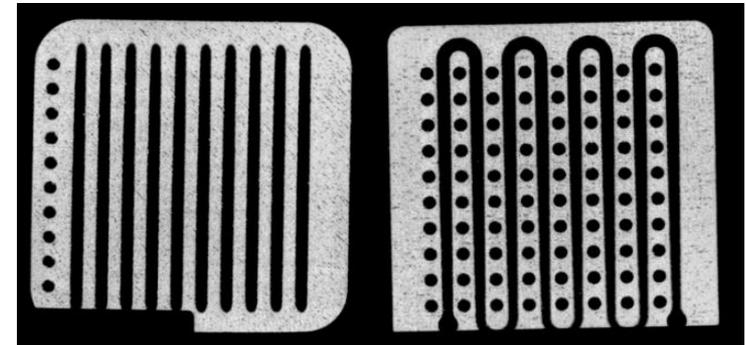
- Development of components and assemblies for thermal management for example power electronics (e-mobility)
- Development of complex components for process engineering



3D-CAD-model
innovative AM heat exchanger



additively manufactured
innovative heat exchanger



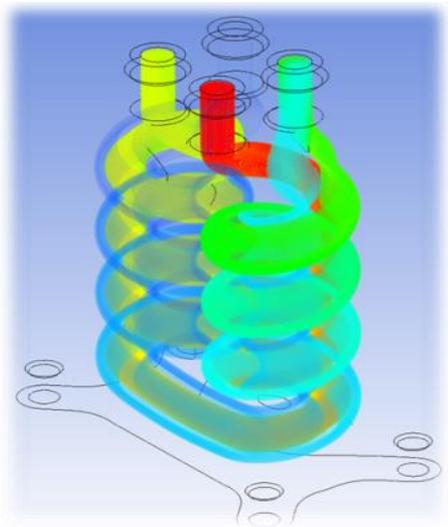
Evaluation / inspection by μ CT scan

Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung

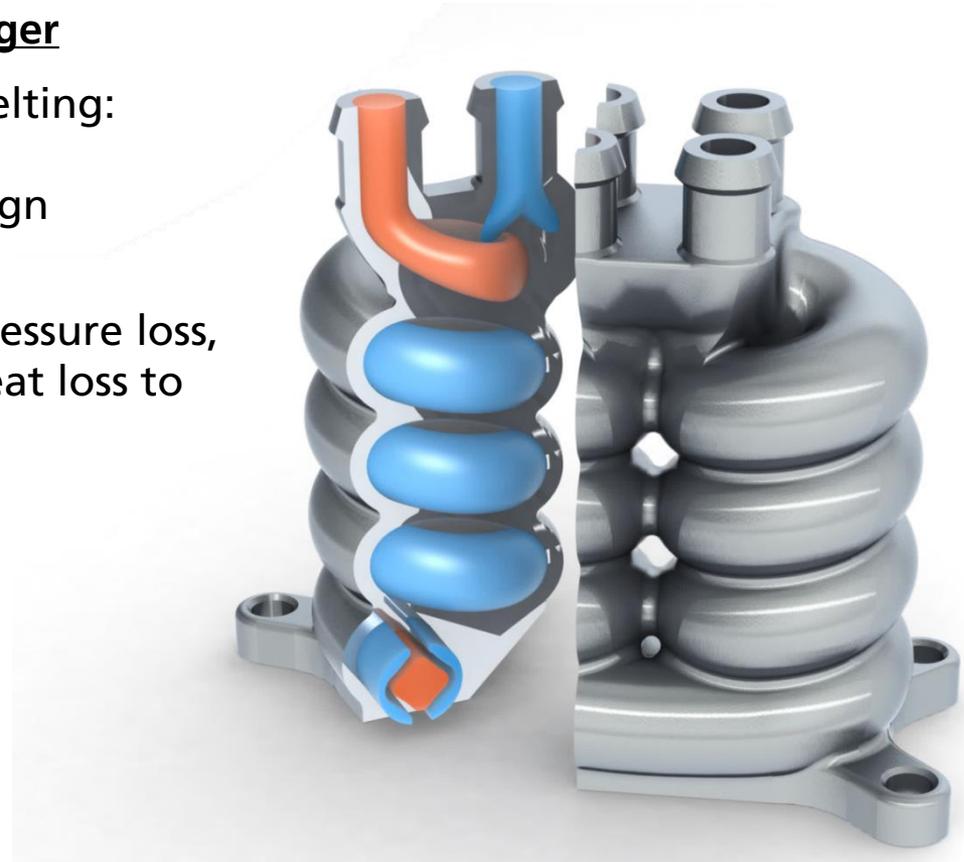
Geometrische Funktionalisierung: Wärmetauscher

Structurally optimized heat exchanger

- Designed for Laser Beam Melting: no support structure, no postprocessing, flexible design
- Special design features: max compact design, low pressure loss, optimal heat transfer, no heat loss to environment



CFD simulation of channels



Design by Kilian Boell

Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung

Geometrische Funktionalisierung: Medikamentendepot

MUGETO® - Implantat mit funktionalen Kanälen und Hohlräumen

- ✓ Medikamentendepot im Implantatinneren für postoperative Behandlung



CAD-Modell



Laserstrahlgeschmolzene Implantate auf der Bauplattform



Fertig oberflächenbearbeitetes Implantat

Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung

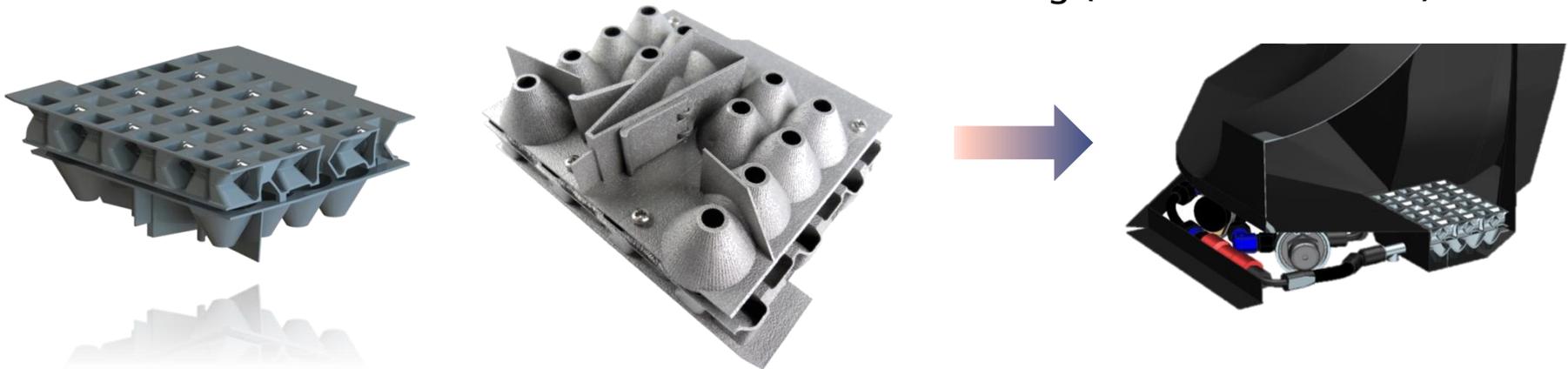
Geometrische Funktionalisierung: Bewegliche Baugruppen

Challenge:

- Reduction of fuel movement at suction point in the tank
- Low center of mass in vehicle
- Minimal fuel reserve (low total vehicle weight)

solution:

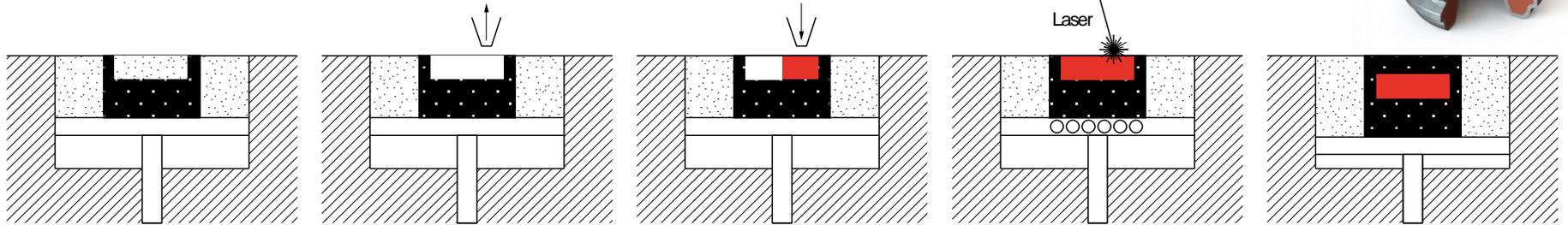
- design: multi-dimensional structure
- direction-dependent pressure build-up through fuel flaps (**movable parts**)
- material: AlSi10Mg
- weight: 70 g (for carbon fibre tank), 90 g (for aluminum tank)



Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung

Werkstoffliche Funktionalisierung: Multi-Material

Kombination Laser-Strahlschmelzen mit Dispensen von Pasten



producing a cavity in LBM process

removing powder in the cavity

Inserting pasty secondary component with dispenser

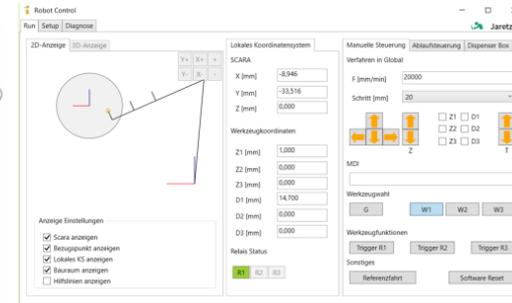
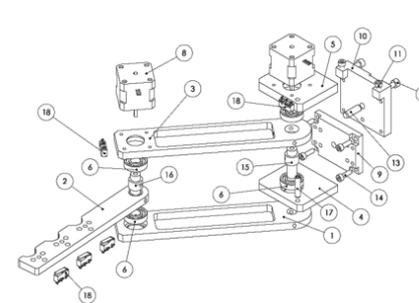
thermal curing of the paste

proceeding the LBM process



layer thickness of copper paste
Top: 0.25 mm, Bottom: 0.75 mm

- Verwendung industrieller Siebdruckpasten
- Aufbau Anlage am IWU (Integration in Realizer SLM 100)



Realizer SLM 100 – process chamber with first dispenser system prototype

successful printing test, considering the visco-elastic behavior of paste

robot arm – exploded view drawing

custom control software

Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung

Werkstoffliche Funktionalisierung: Magnetwerkstoffe

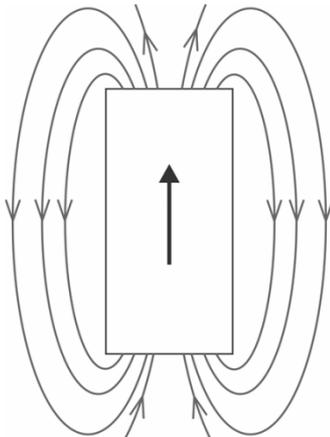
■ Etablierte Fertigungstechnologien für Permanentmagnete

- Sintern
- Heißpressen
- Warmumformung / Stauchen
- kunststoffgebundene Magnete

→ Für Volumenmaterial nur Fertigung von einfachen Geometrien möglich (Limitation in der Anwendung)



www.vacuumschmelze.de



- Durch die Geometrie des Magneten wird das umliegende Magnetfeld vorgegeben

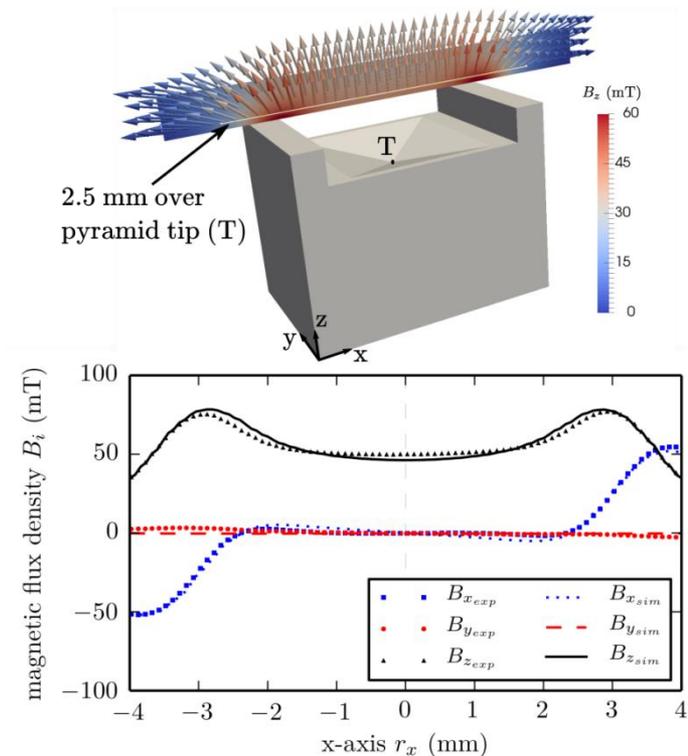
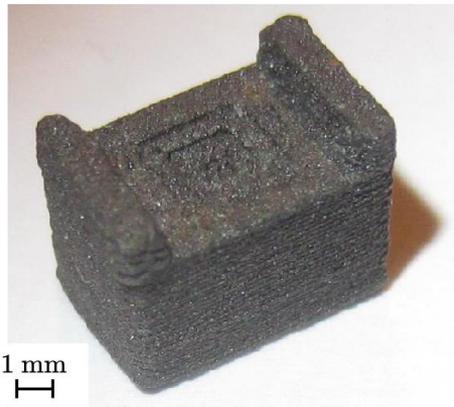
Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung

Werkstoffliche Funktionalisierung: Magnetwerkstoffe

- Ziel ist das anwendungsspezifische Design von Magnetfeldern mittels additiver Fertigungsverfahren

Beispiel

Magnet für GMR-Sensoren, bei denen ein homogenes Magnetfeld in z-Richtung erforderlich ist, um eine bestmögliche Nutzung der Sensoreffizienz zu gewährleisten

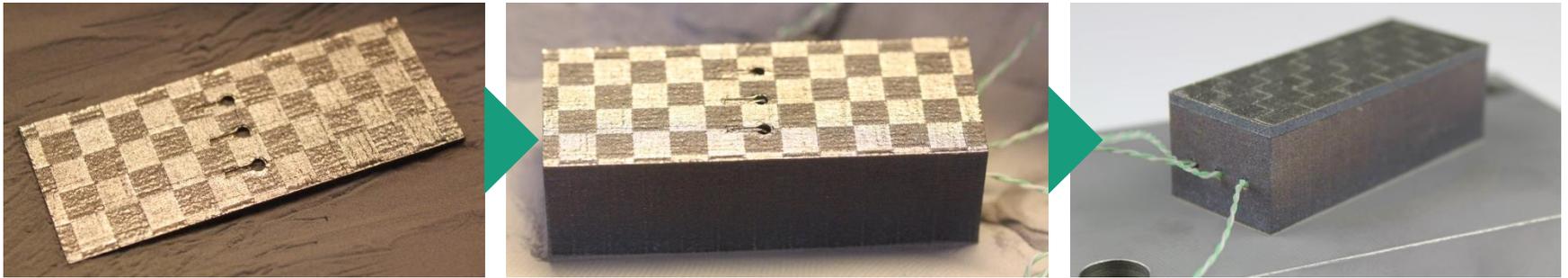
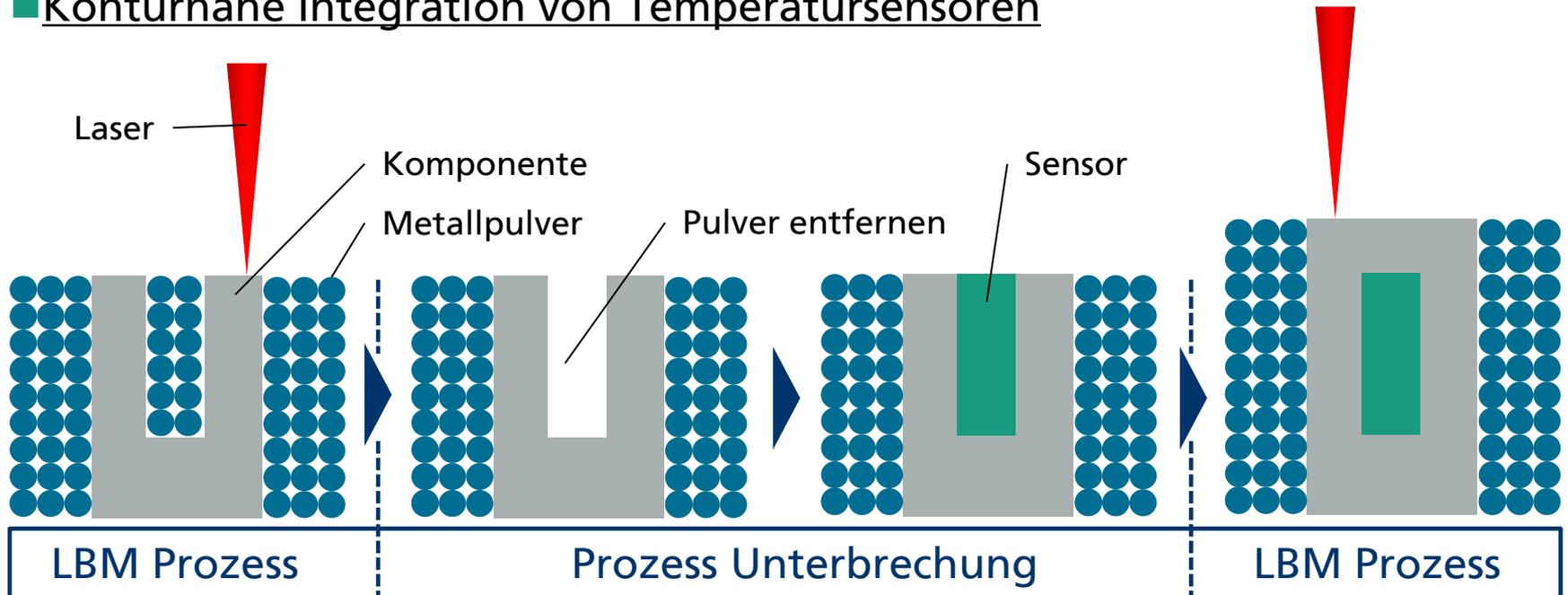


C. Huber et al., Applied Physics Letters **109**, 16 (2016)

Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung

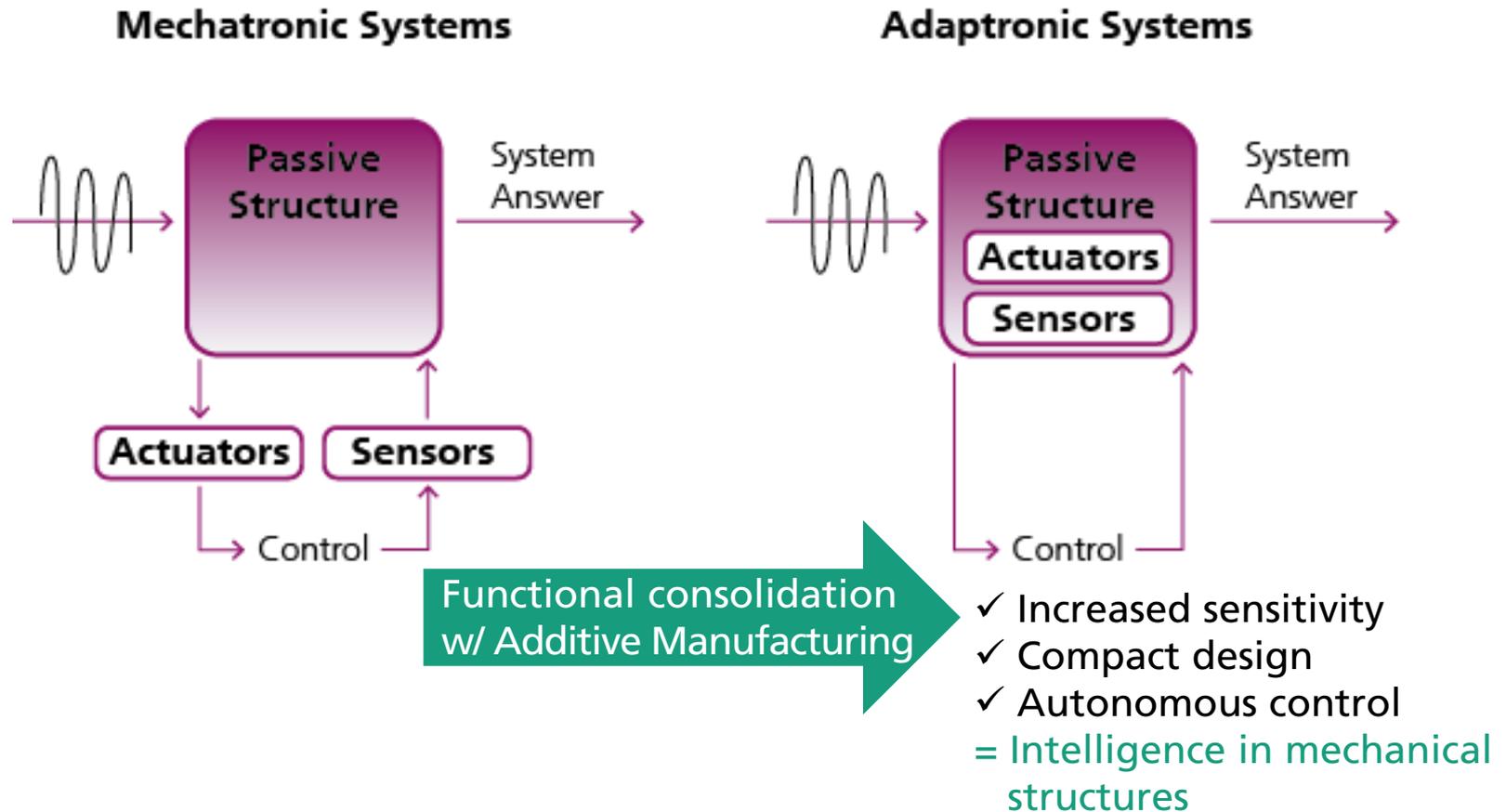
Integrative Funktionalisierung: Sensorintegration

■ Konturnahe Integration von Temperatursensoren



Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung

Integrative Funktionalisierung: Sensor-/Aktorintegration



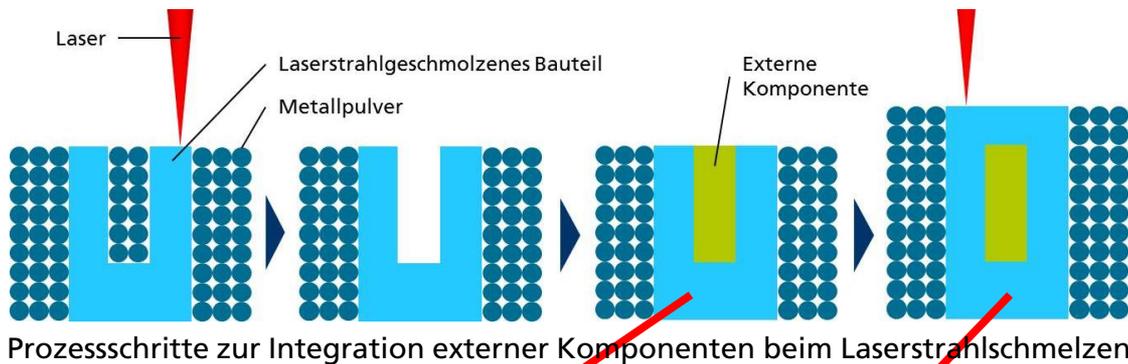
W.-G. Drossel, H. Kunze, A. Bucht, L. Weisheit, and K. Pagel, "Smart³ - Smart Materials for Smart Applications," Procedia CIRP, vol. 36, 2015, pp. 211-216.

Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung

Integrative Funktionalisierung: Sensor-/Aktorintegration

■ Lösungsweg:

- Sensorintegration noch während der generativen Fertigung → stoffschlüssig



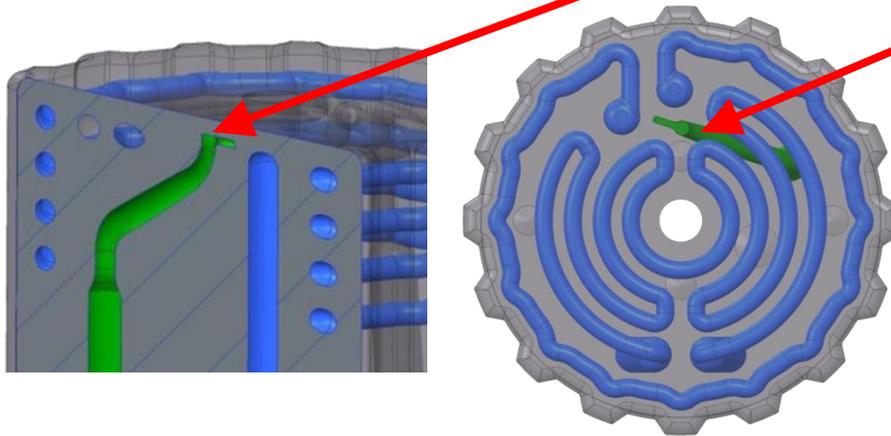
Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung

Integrative Funktionalisierung: Sensor-/Aktorintegration

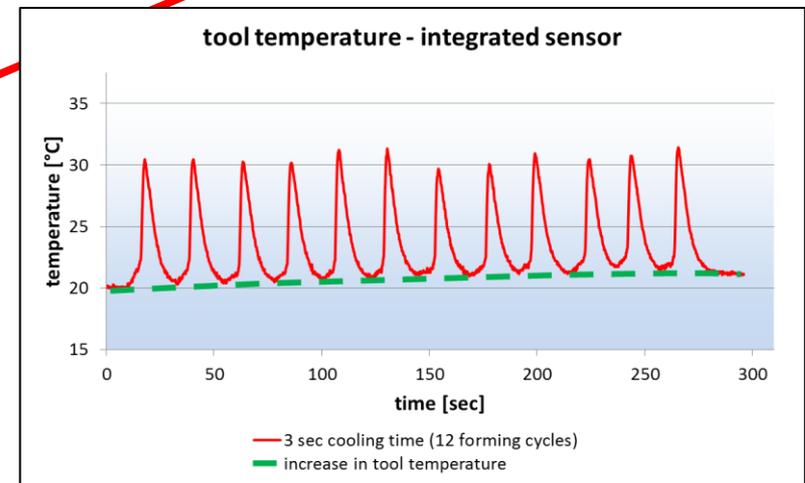


Lösungsweg:

- Integration Thermoelement in den „Werkzeugstempel“
- Abstand zur Werkzeugkontur nur 3 mm, in der Nähe von Zu- und Rücklauf



Position des Thermoelements im Werkzeugstempel



Messung der Werkzeugtemperatur über 12 Umformungen

Ergebnisse:

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

Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung

Integrative Funktionalisierung: Aktorintegration

Implantate mit integrierten Formgedächtnis-Aktoren



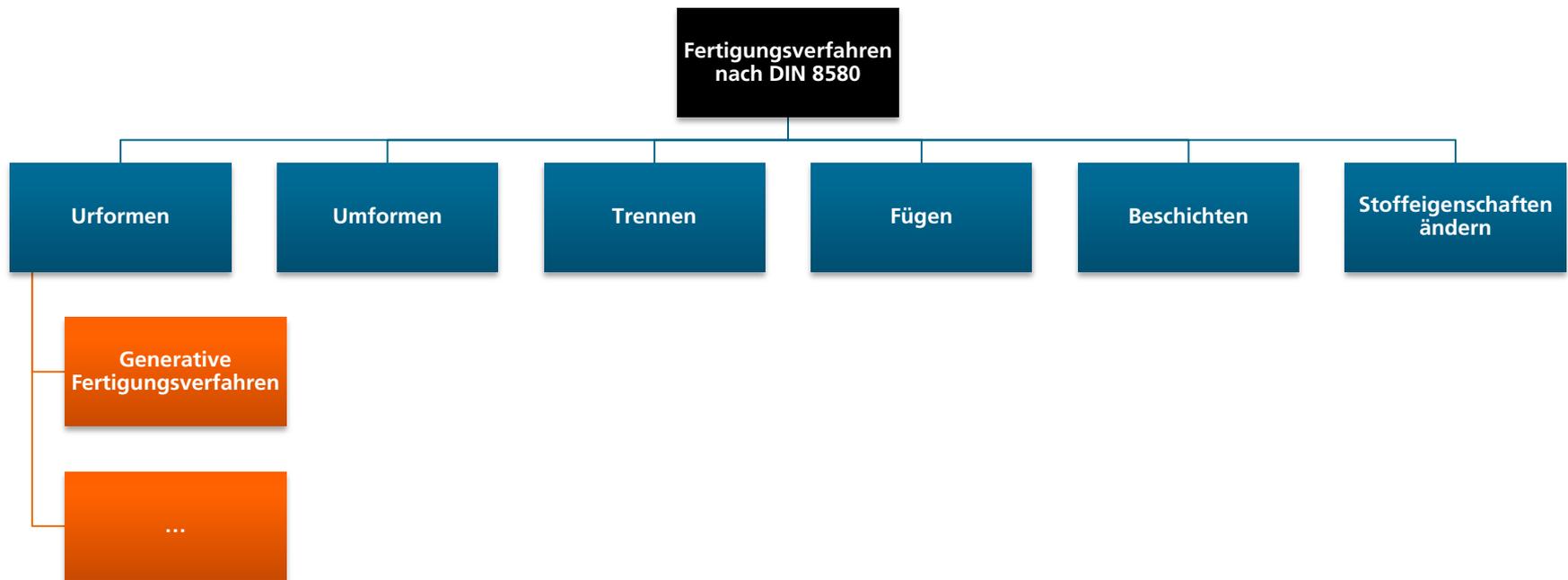
- ✓ homogene und stabile Fixierung von zementfreien Hüftschäften
- ✓ Verbesserung der Primärstabilität durch optimale Kraftverteilung an der Implantat-Knochen-Schnittstelle mit Hilfe von FGL-Aktoren

GLIEDERUNG

- Einführung
 - Generative Fertigung bei Fraunhofer und am IWU
 - Laserstrahlschmelzen
- Industrielle Einsatzpotentiale der Generativen Fertigung
 - Leichtbau
 - Funktionalisierung
 - Beispiele aus der angewandten Forschung
- Herausforderungen für die generative Fertigung in Serie

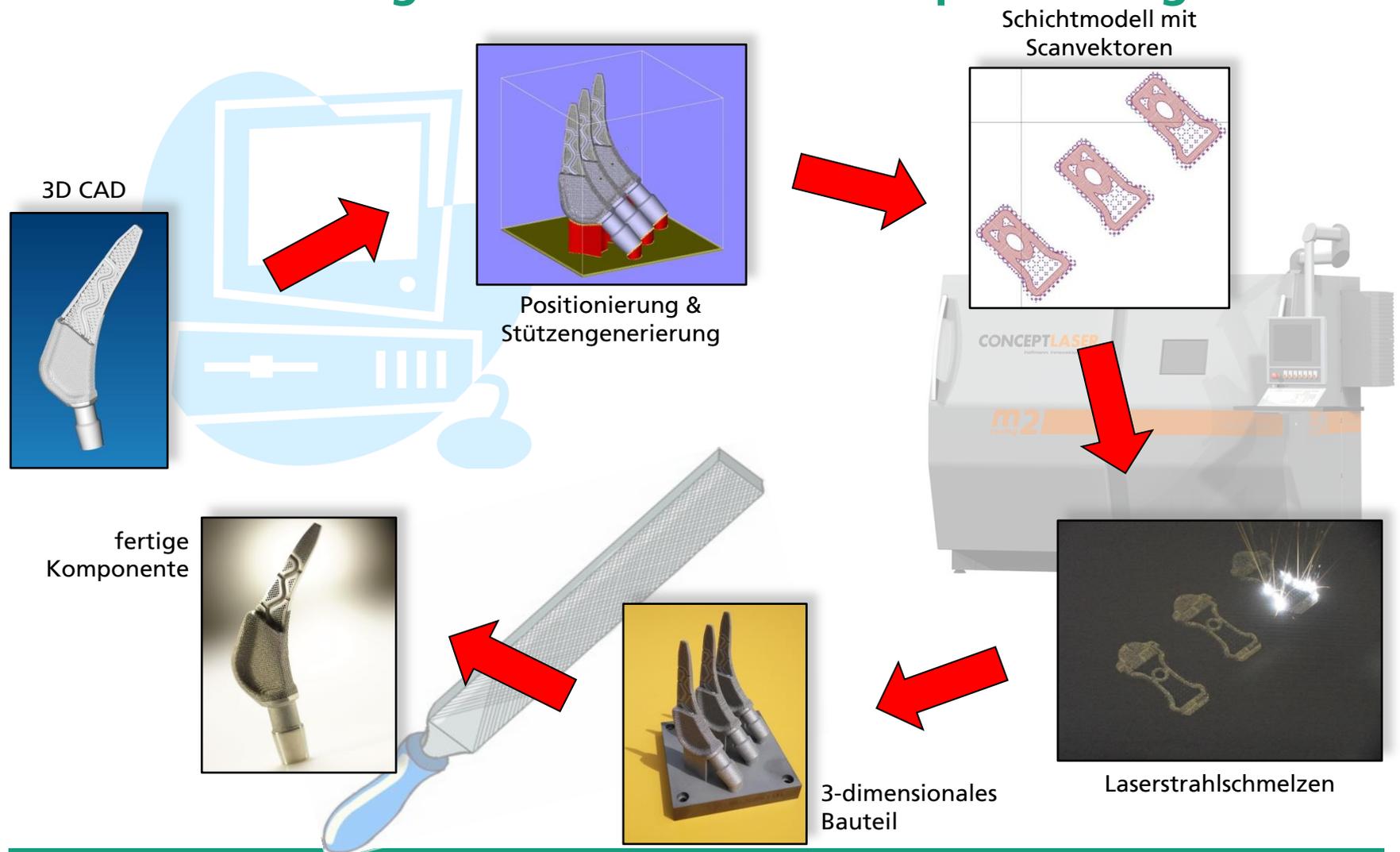
Generative Fertigung in Serie

Herausforderungen: Einordnung/Etablierung



Generative Fertigung in Serie

Herausforderungen: Prozesskette/Postprocessing



Generative Fertigung in Serie

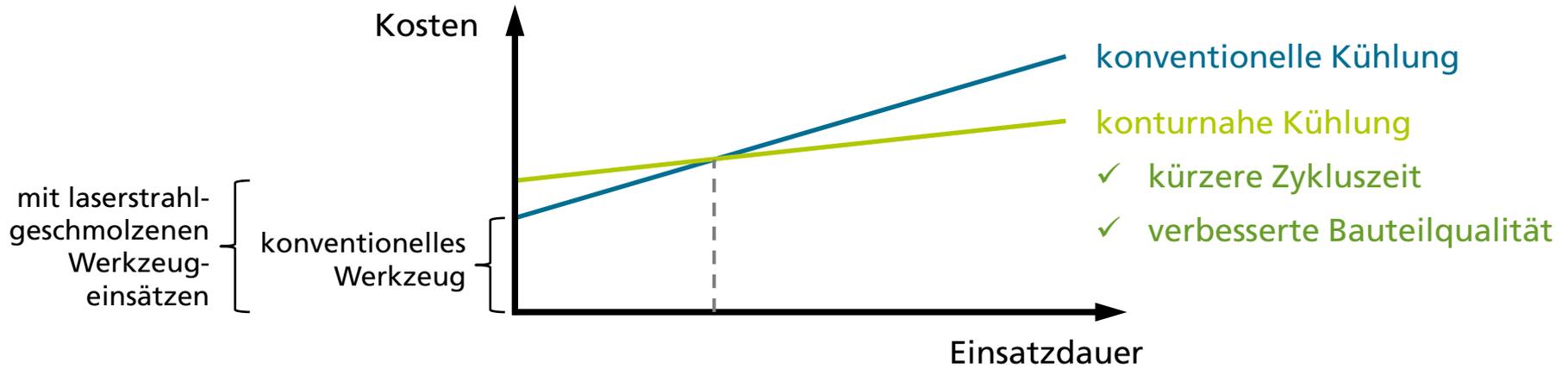
Herausforderungen: Kosten / Wirtschaftlichkeit

Pulvermaterial: 100 - 600 €/kg

WZ-Stahl ~ 150 €/kg

Maschine: 50 - 80 €/h

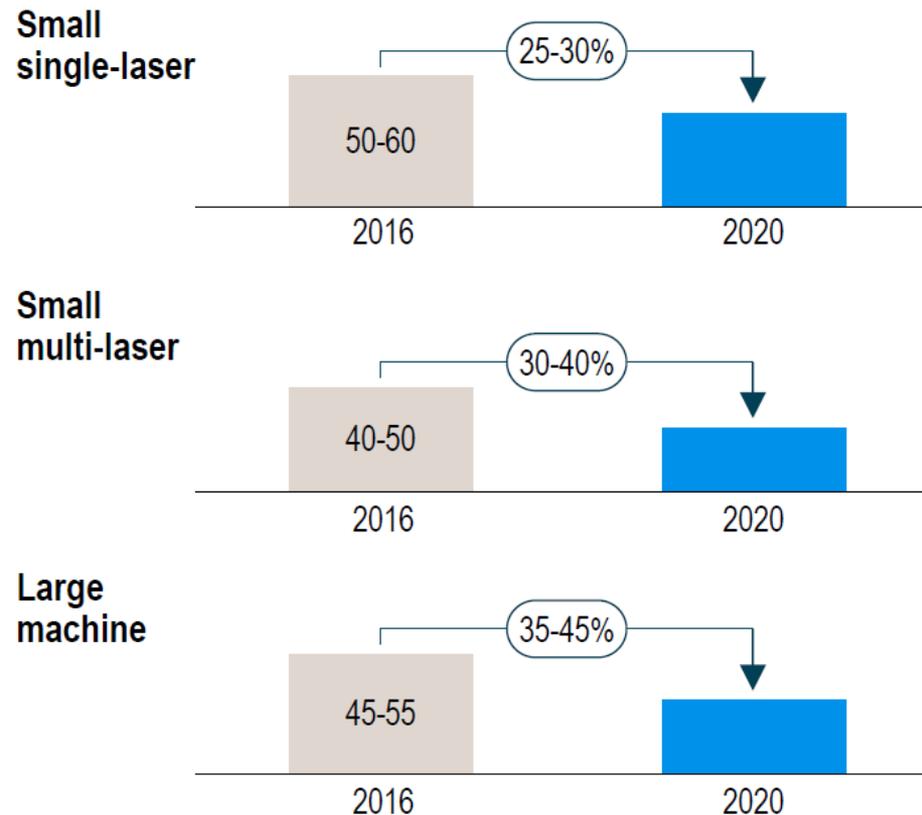
Aufbaurrate: 5 - 20 cm³/h



Generative Fertigung in Serie

Herausforderungen: Kosten / Wirtschaftlichkeit

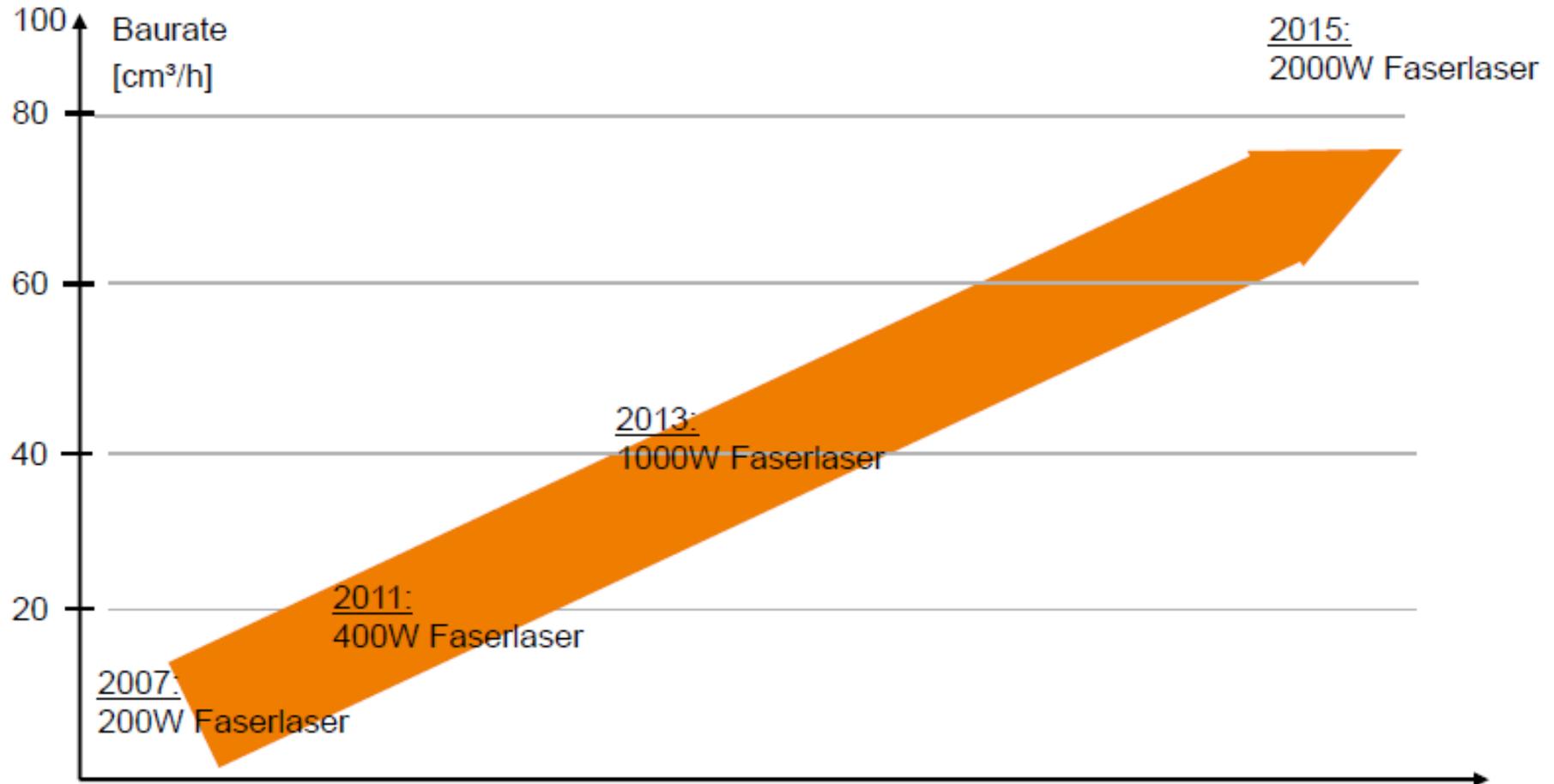
- Fertigungskosten für das Material Inconel 718 [EUR cent/g] nach Anlagenklasse



Quelle: Roland Berger Strategy Consultants 2016: Additive Manufacturing – next generation AMnx

Generative Fertigung in Serie

Herausforderungen: Produktivität



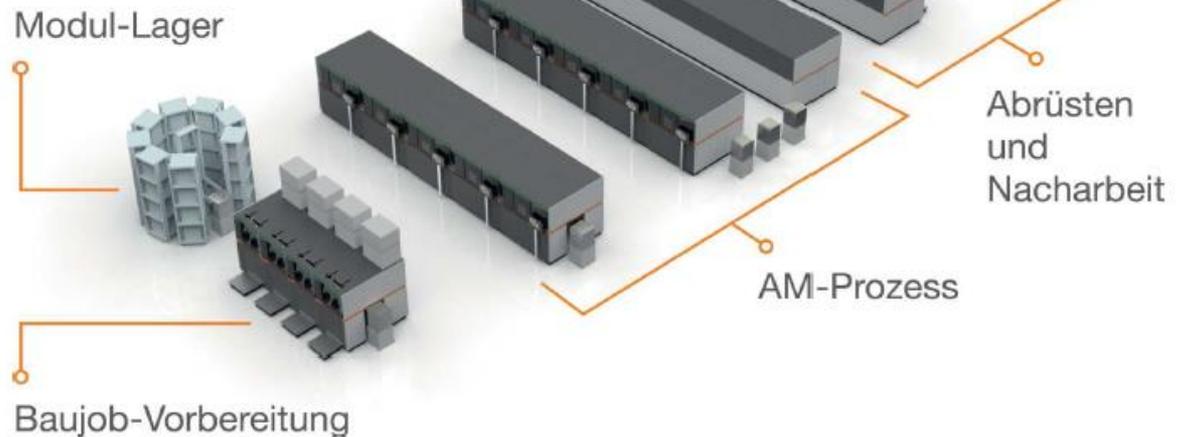
(Quelle: Concept Laser GmbH)

Generative Fertigung in Serie

Herausforderungen: Serienproduktionstauglichkeit



AM Factory – Fokus auf das Drucken



(Quelle: Concept Laser GmbH)

Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference DDMC 2018

Berlin, March 14 - 15, 2018



Range of topics:

- Product Development
- Technologies
- Materials
- Quality

Save the date!

Next conference: **MARCH 14-15, 2018**



Netzwerk Strahlschmelzen





 **Fraunhofer**
IWU

Dr.-Ing. Bernhard Müller

Abteilungsleiter
»Generative Verfahren«

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und
Umformtechnik IWU

Nöthnitzer Straße 44 | 01187 Dresden
Telefon: + 49 (0) 3 51 / 47 72-21 36
Fax: + 49 (0) 3 51 / 47 72-23 03
E-Mail: bernhard.mueller@iwu.fraunhofer.de