

Generative Fertigungsverfahren 3D-Druck und „Laserschmelzen“

Chancen und Perspektiven von generativen Fertigungsverfahren in der Kompressorentechnik. Wie können Fertigungsprozesse optimiert werden? Welche neuen Verfahren gibt es?

Dr.-Ing. Bernhard Müller, Abteilung „Generative Verfahren“,
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Dresden



Fachtagung „Aktuelle Entwicklung und Einsatzmöglichkeiten moderner Kompressorentechnik“, 11. Juni 2018, Leipzig

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Anwendungsorientierte Forschung zum unmittelbaren Nutzen für die Wirtschaft und zum Vorteil für die Gesellschaft

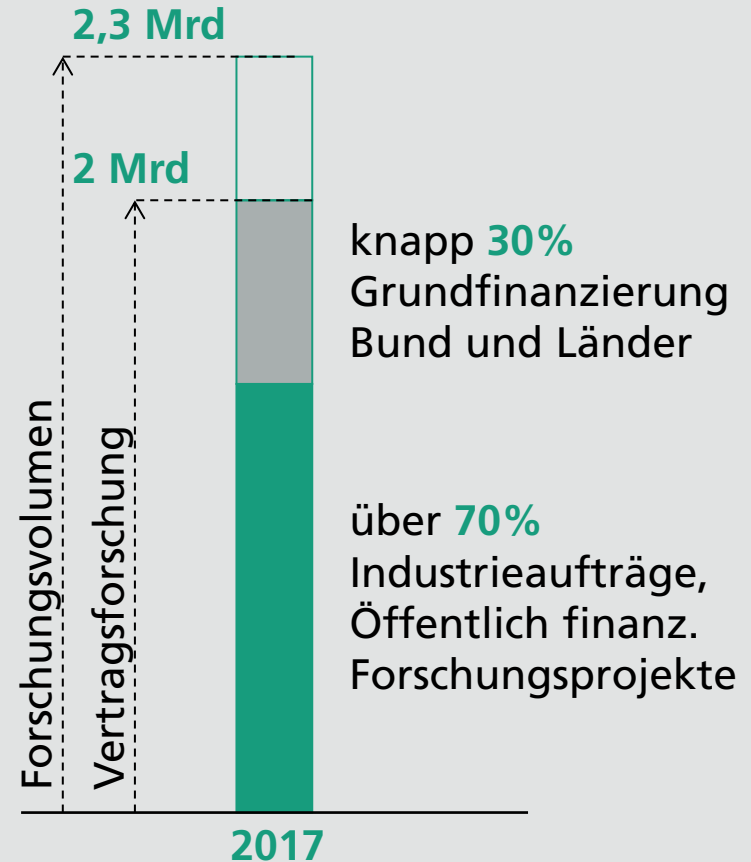


25.527

Mitarbeiterinnen
und Mitarbeiter

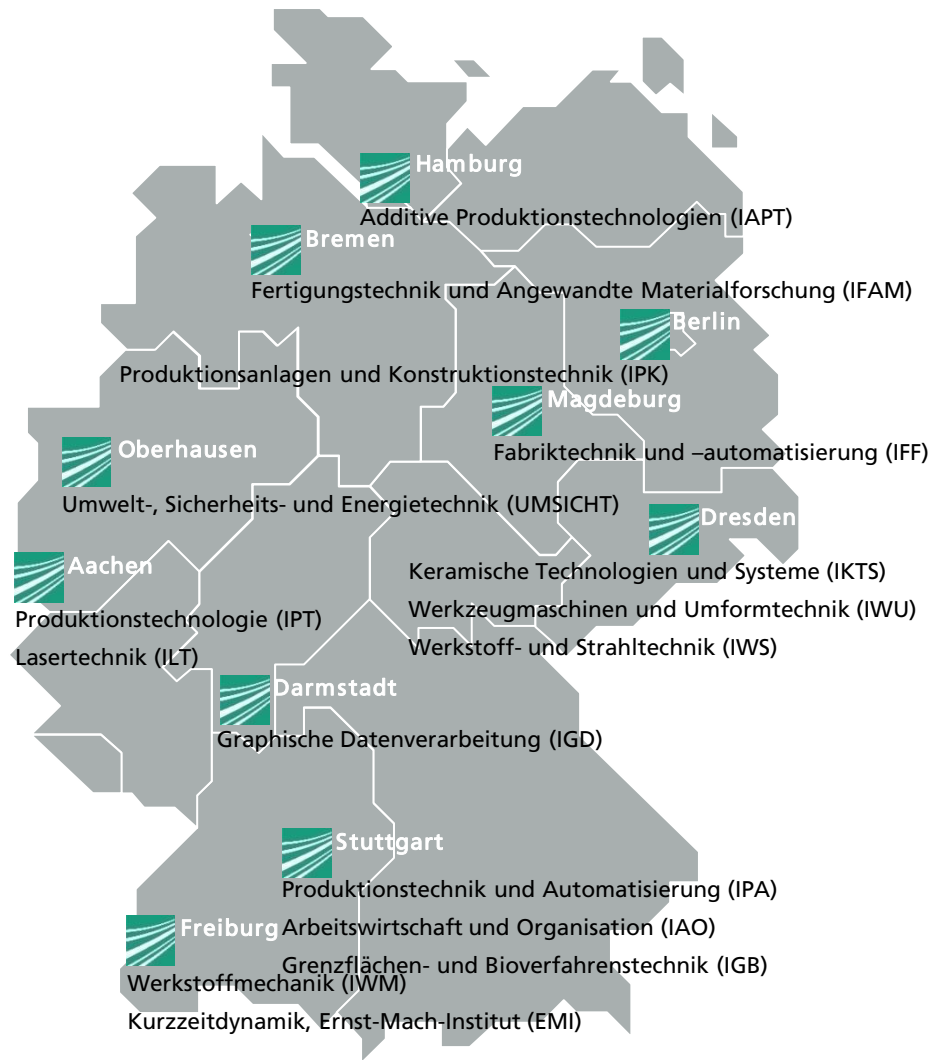


72 Institute und
Forschungseinrichtungen



Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung

Ein Thema – 18 Institute – eine Allianz



Engineering

Anwendungen entwickeln, konstruieren, auslegen und simulieren



Werkstoffe

Materialien entwickeln und adaptieren



Technologien

Prozesse entwickeln und wirtschaftlich gestalten



Qualität

Fertigung beherrschen (Reproduzierbarkeit)



Sprecher:

Dr. Bernhard Müller

Geschäftsstelle:

Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung
c/o Fraunhofer IWU, Nöthnitzer Straße 44, 01187 Dresden

Das Fraunhofer IWU im Profil

Forschungsstandorte



Chemnitz



Dresden



Zittau



Wolfsburg



Leipzig



- 72 Institute in Deutschland
- IWU Standorte

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

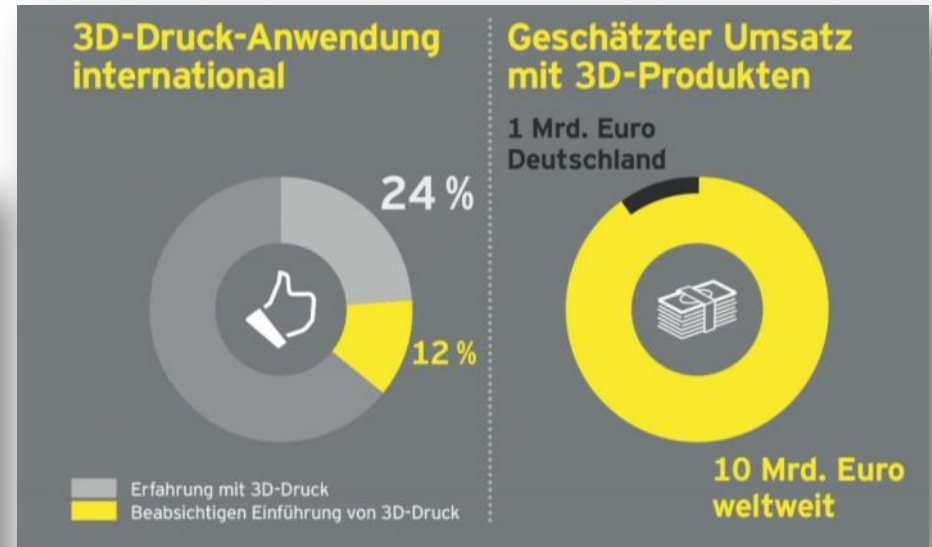


Werkzeugmaschinen,
Produktionssysteme
und Zerspanungstechnik



Generative Fertigungsverfahren

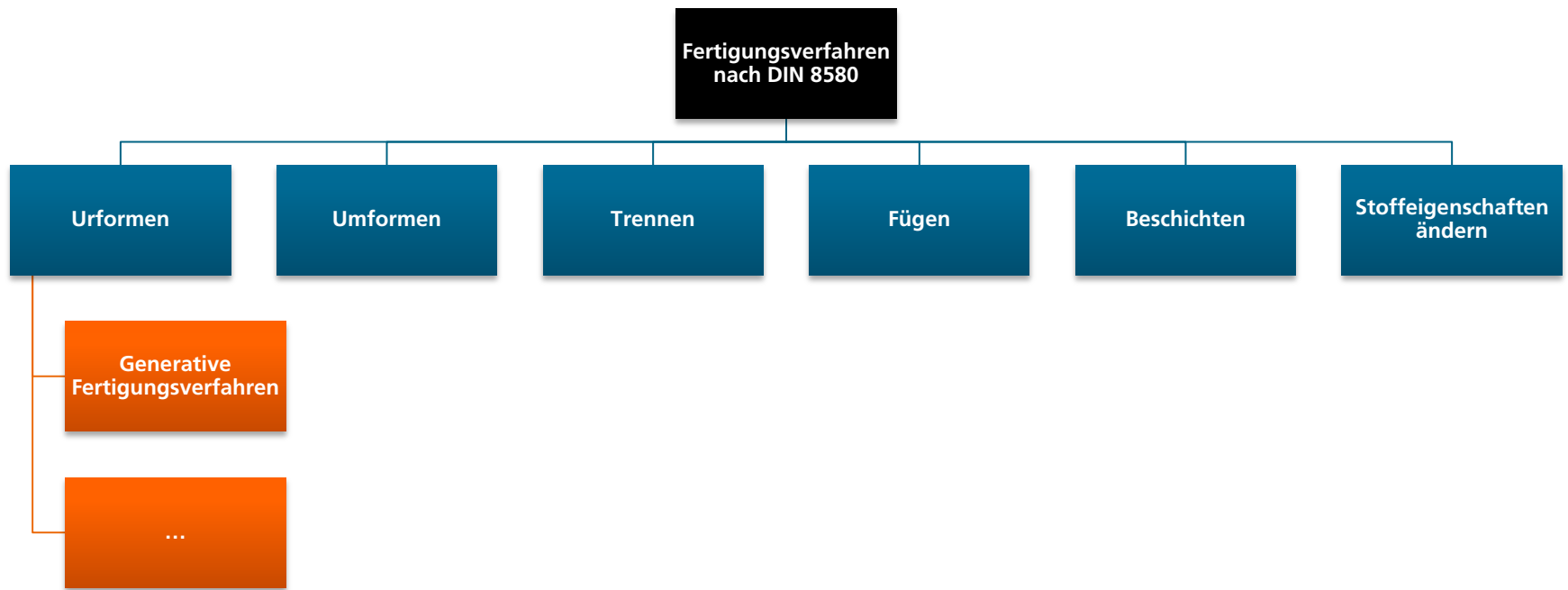
Marktsituation



(Stand 2016, Quelle: Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft)

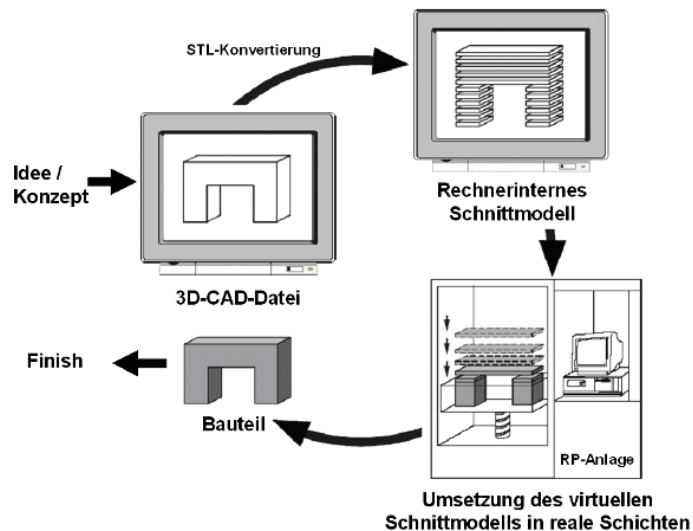
Generative Fertigungsverfahren

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-Auftragsschweißen (*), LENS Laser Engineered Net-Shaping

(* Verfahren am Fraunhofer IWU vorhanden)

Generative Fertigungsverfahren

Anlagentechnik am Fraunhofer IWU

Metall

■ Laserstrahlschmelzen



Concept Laser M2 Cusing,
IWU Dresden



Realizer SLM 100,
IWU Dresden

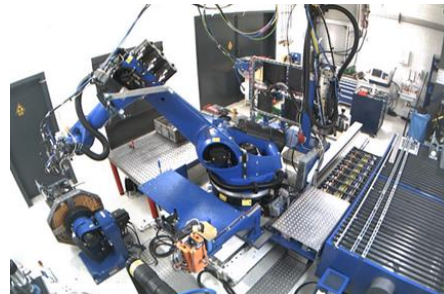


SLM Solutions SLM 250HL,
IWU Augsburg (RMV)
TU Chemnitz (SLK)

■ Laser-/Plasma-/Lichtbogen-Auftragschweißen



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



MSG-/Plasma-Schweißausrüstung
Phoenix 500 coldarc, TransPuls Synergie
5000 CMT, Tetrix 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 / Bautzen



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



Delta
Tower



Cube X
(3D Systems),
IWU Chemnitz

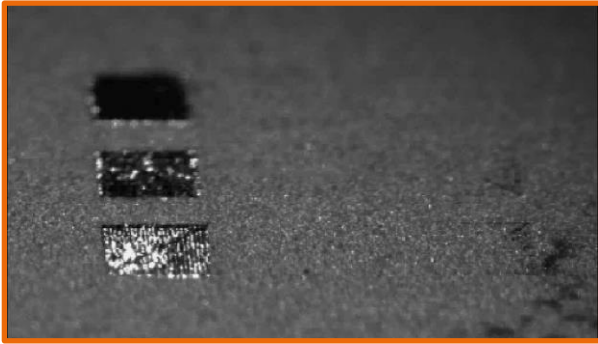
■ Selektives Laser-Sintern (SLS)



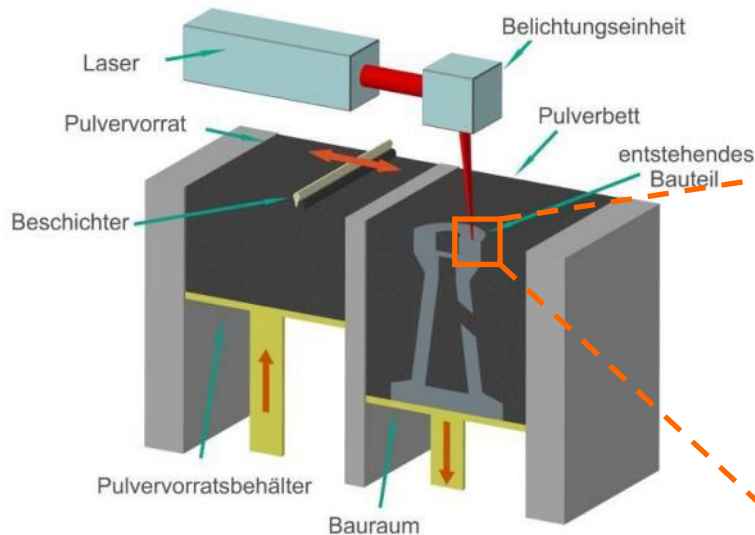
sPro™60 HD-HS
High Speed SLS® Center
(3D Systems)
IWU Zittau / Bautzen

Laser-Strahlschmelzen

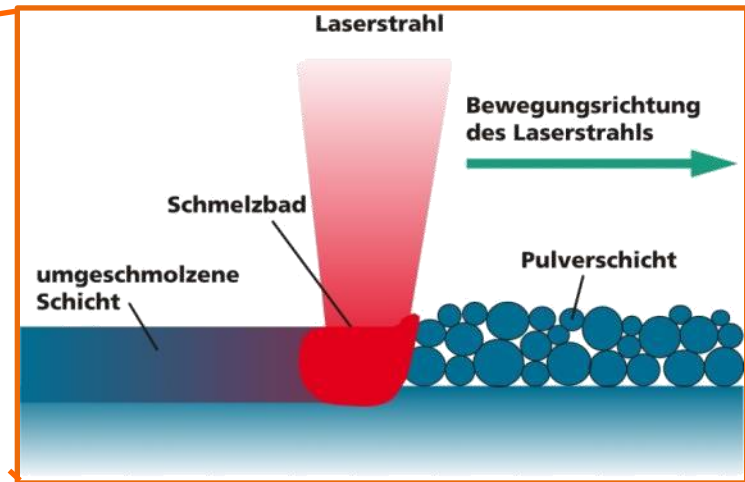
Verfahrensvorstellung



- **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

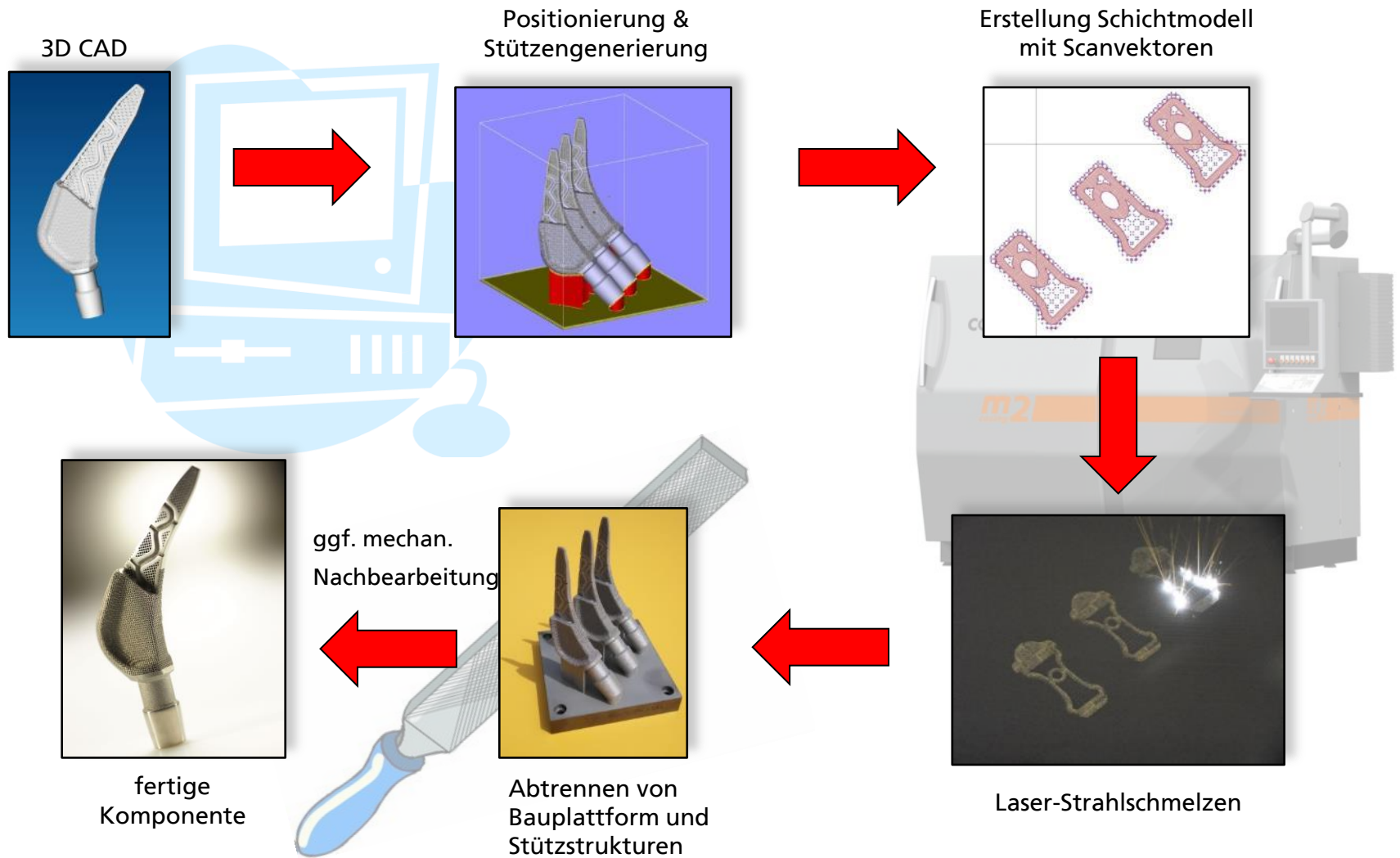


Funktionsprinzip einer Laser-Strahlschmelzanlage



Laser-Strahlschmelzen

Prozesskette



Laser-Strahlschmelzen

Vorteile



Time to Product

- keine Werkzeuge
- keine AV / Technologieplanung
- keine NC-Programmierung



Gestaltfreiheit

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



Werkstoffvielfalt

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

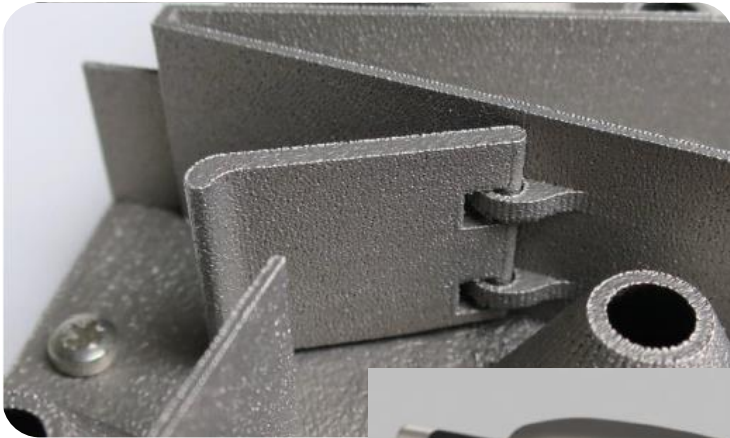


Leichtbau / Biokompatibilität

- Hohl- / Fachwerkstrukturen
- 100 % topologieoptimierte Bauteile
- bionische Strukturen
- gradierte Poren-/Gitterstrukturen

Laser-Strahlschmelzen

Vorteile - Gestaltfreiheit



Laser-Strahlschmelzen

Energiebilanz und Recycling

- Eine vorteilhaftere Energiebilanz im Vergleich zu konventionellen Fertigungsverfahren konnte an verschiedenen Beispielen unter Nutzung der Vorteile von additiver Fertigung nachgewiesen werden
- Bei Bauteilen, die nicht für die additive Fertigung geeignet sind, wird keine bessere Energiebilanz erreicht
- Beispielergebnis (rechts):
 - 90 % Abfallreduktion
 - 75 % schnellere Verfügbarkeit
 - 70 % Gewichtseinsparung



Quelle: Concept Laser (Hrsg.): Visionär! 3D-Metalldruck. Lichtenfels, 2016.
http://www.concept-laser.de/fileadmin/user_upload/1510_CL_Company_DE.pdf – Zugriff: 29.08.2016

Laser-Strahlschmelzen

Werkstoffe und mechanische Kennwerte

Werkstoff	Zustand	Zugfestigkeit R_m [MPa]	Streckgrenze $R_{p0,2}$ [MPa]	Bruchdehnung A [%]	Härte [HRC]
Werkzeugstahl ¹ 1.2709 X3NiCoMoTi 18 9 5	wärmebehandelt (490 °C)	2.040 - 2.180	1.870 - 1.940	3 - 5	54 - 56
Werkzeugstahl (rostfrei) Corrax®	wärmebehandelt (525 °C)	1.700	1.600	> 2	48 - 50
Edelstahl 1.4404 X2CrNiMo 17-12-2	wie gebaut	640	500	> 15	20
Titan ⁴ 3.7165 TiAl6V4	wärmebehandelt	950 - 1.250	800 - 1.100	10 - 20	32 - 36
Aluminium ² 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)
Hastelloy X 2.4665 NiCr22Fe18 Mo	wie gebaut	718 - 886	617 - 741	26 - 40	

**weitere Werkstoffe: CoCr, 17-4 PH,
AlSi12, Inconel 718** ³

¹ Kennwerte lt. VDI 3405 Blatt 2

³ VDI 3405 Blatt 2.2 in Arbeit

² VDI 3405 Blatt 2.1

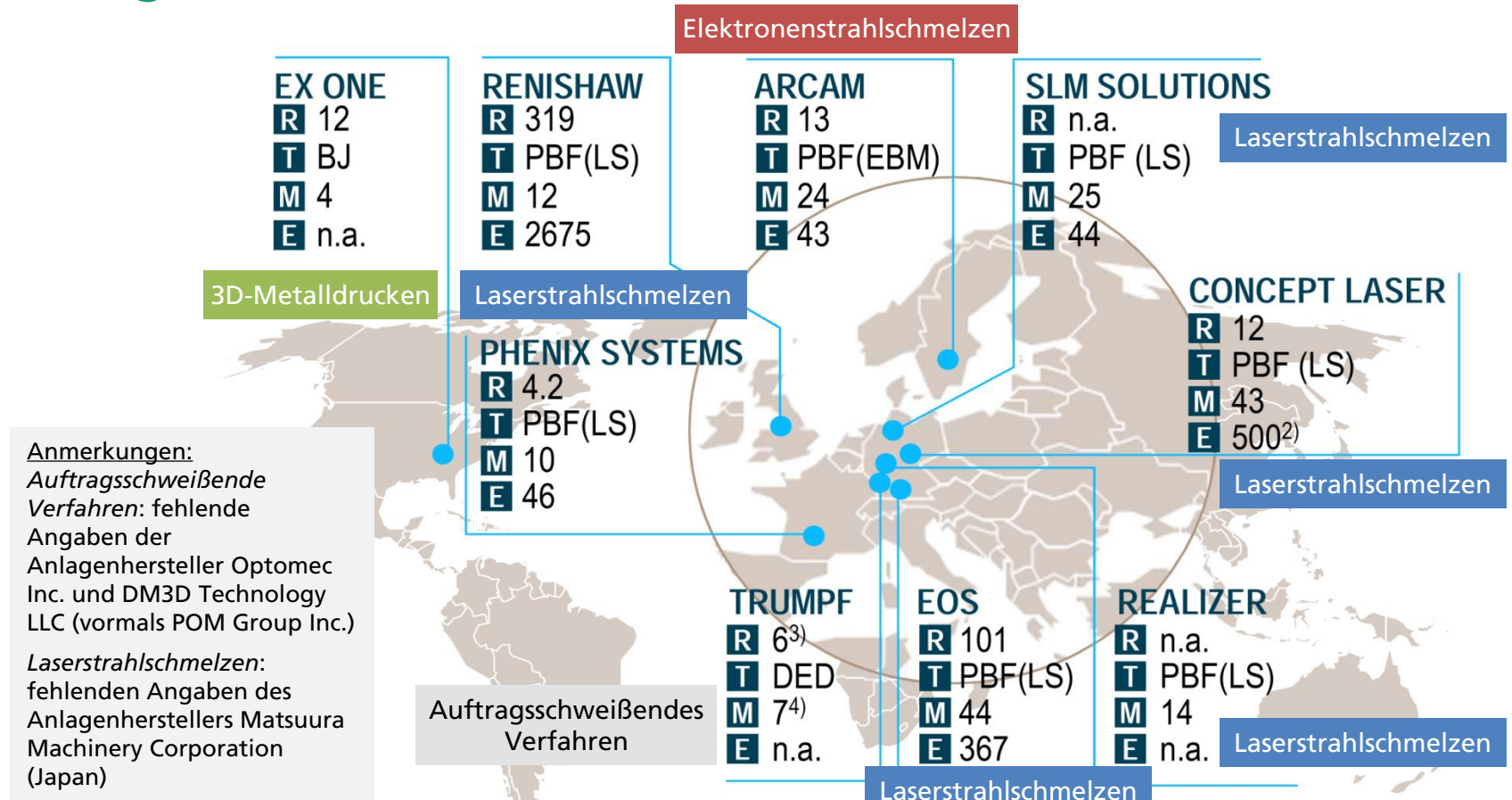
⁴ VDI 3405 Blatt 2.x in Vorb.

Entwicklungstrends der generativen Fertigungsverfahren



Entwicklungstrends der generativen Fertigungsverfahren

Anlagenanbieter (Metall)



1) 2012 2) Hofmann Group incl. Concept Laser 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

CONSUMER PROD./ELECTRONICS



AM
revenue
[EUR m]

370

- > Production of tools and manufacturing equipment such as grippers
- > Production of embedded electronics, e.g. RFID devices

AUTOMOTIVE



AM
revenue
[EUR m]

320

- > Primarily used for rapid prototyping esp. for visual aids and presentation models
- > Production of special components for motorsports sector, e.g. cooling ducts

MEDICAL/DENTAL



AM
revenue
[EUR m]

280

- > Production of dental bridges, copings, crowns, caps and invisible braces
- > Customized prosthetics such as head implants

AEROSPACE



AM
revenue
[EUR m]

180

- > Production of lightweight parts with complex geometry, e.g. fuel nozzles
- > Stationary turbine components
- > Reworking of burners (stat. turbine)

TOOLS/MOLDS



AM
revenue
[EUR m]

230

- > High usage for manufacturing inserts and tools/molds with cooling channels
- > Direct tooling (tools made via AM) and indirect tooling (patterns made via AM)

OTHER



AM
revenue
[EUR m]

330

- > Several other industrial areas such as military, architectural, oil & gas, space
- > Consumer markets, e.g. customized design objects, collectibles, jewelry

(Quelle: Roland Berger Strategy Consultants)

Entwicklungstrends der generativen Fertigungsverfahren

Aktueller Einsatz generativer Verfahren im Automobilbau entlang des Produktentstehungsprozesses



Substitution of conventional technologies for prototypes by SLM: **Laserstrahlschmelzen**

● master forming ● metal forming ● joining ○ cutting

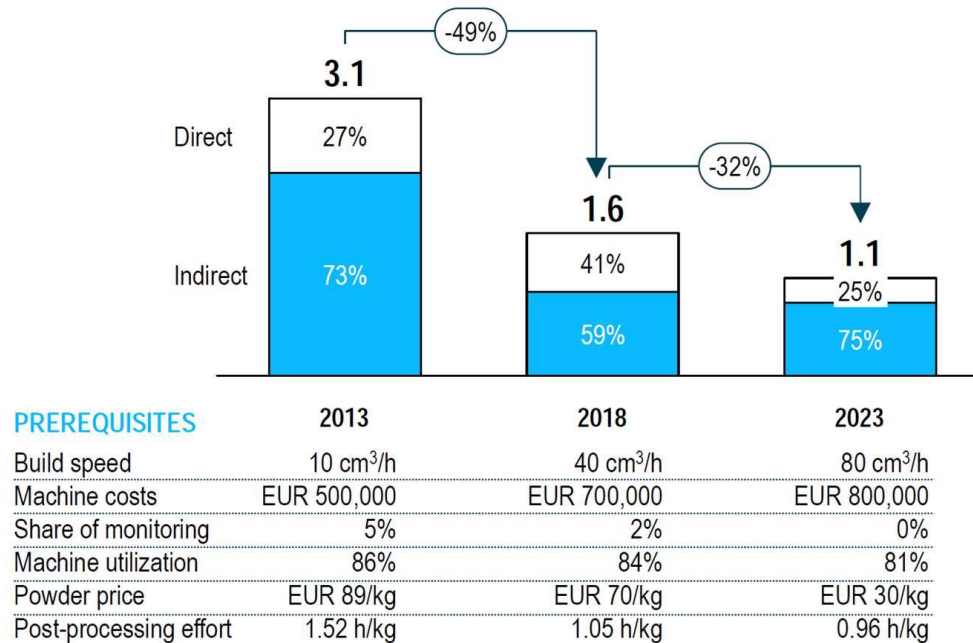
(Quelle: BMW AG)

Entwicklungstrends der generativen Fertigungsverfahren

Kostenentwicklung

- prognostizierte Kostenentwicklung für generative Fertigung in der nahen Zukunft

Forecast metal AM costs [EUR/cm³]



(Quelle: Roland Berger Strategy Consultants)

Entwicklungstrends der generativen Fertigungsverfahren

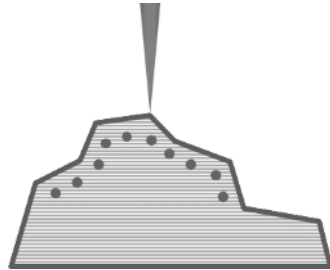
Fazit

- aktuell Serienanwendungen noch nicht im Vordergrund
- „Treiber“-Branchen Luftfahrt, Automotive, Medizintechnik, Energietechnik
- heute (noch) mit Abstand größter Anteil bei den kunststoffverarbeitenden generative Fertigungsverfahren
 - ➔ höhere Chancen für eine kurz- bis mittelfristige Einführung als Serienfertigungsverfahren, für unkritische Teile z. T. seit Jahren Praxis
 - ➔ beschränkte Einsatzmöglichkeiten für hochbelastete Bauteile/Produkte
- entwicklungsseitig sind kunststoffverarbeitende generative Fertigungsverfahren aber deutlich weiter ausgereizt als metallverarbeitende Verfahren
 - ➔ Innovationsschübe, auch hinsichtlich Produktivitätssteigerung und Kostensenkung, sind v. a. für die Metallverfahren zu erwarten
 - ➔ hoher industrieller Druck zur Serientauglichkeit/Serieneinführung

Laser-Strahlschmelzen am Fraunhofer IWU

Forschungsschwerpunkte

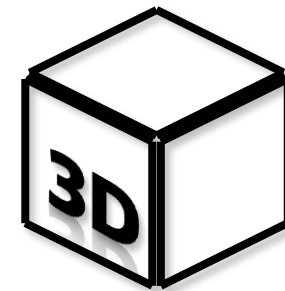
Werkzeug- und
Formenbau



Funktionsleichtbau



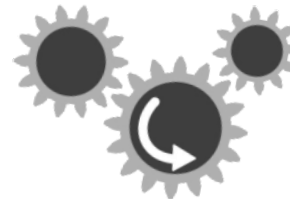
Komponenten-
entwicklung



Medizintechnik



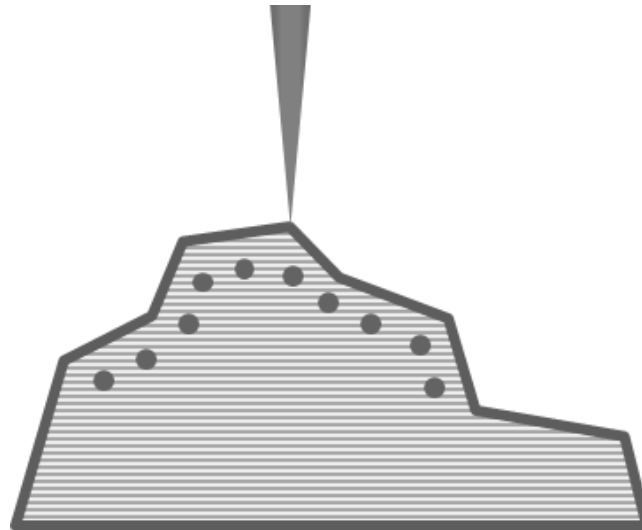
Prozessentwicklung &
Prozessüberwachung



Laser-Strahlschmelzen am Fraunhofer IWU

Forschungsschwerpunkte

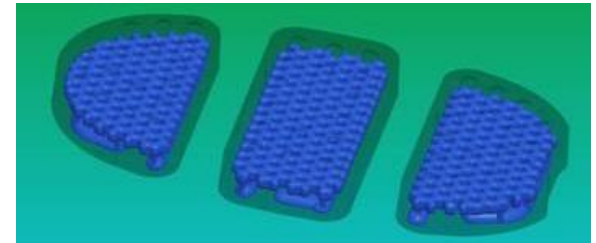
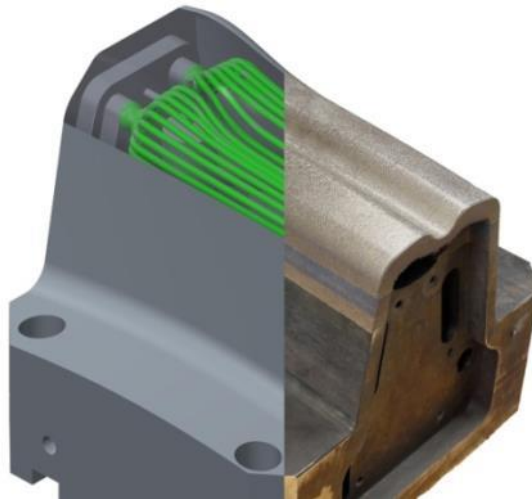
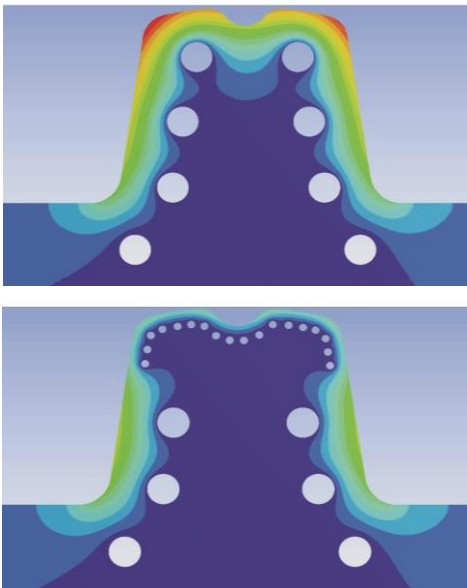
Werkzeug- und Formenbau



Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale

Werkzeug- und Formenbau

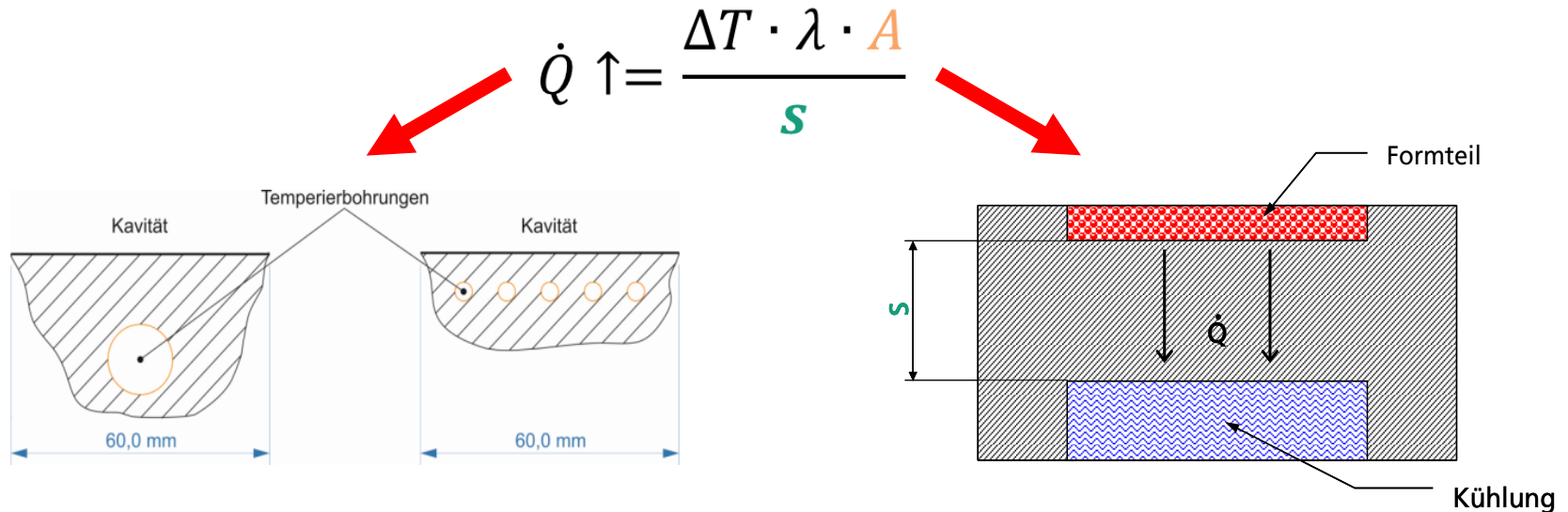
- Entwicklung und Auslegung innovativer, konturnaher Werkzeugtemperier-systeme
- Implementierung von laser-strahlgeschmolzenen Werkzeugeinsätzen in das Gesamtwerkzeug
- Betreuung des Anlaufs in der Produktion & Bewertung der Zykluszeit, Werkzeugstandzeit sowie Qualität und Maßhaltigkeit der Bauteile



Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale

Werkzeug- und Formenbau: Konturnahe Kühlsysteme

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

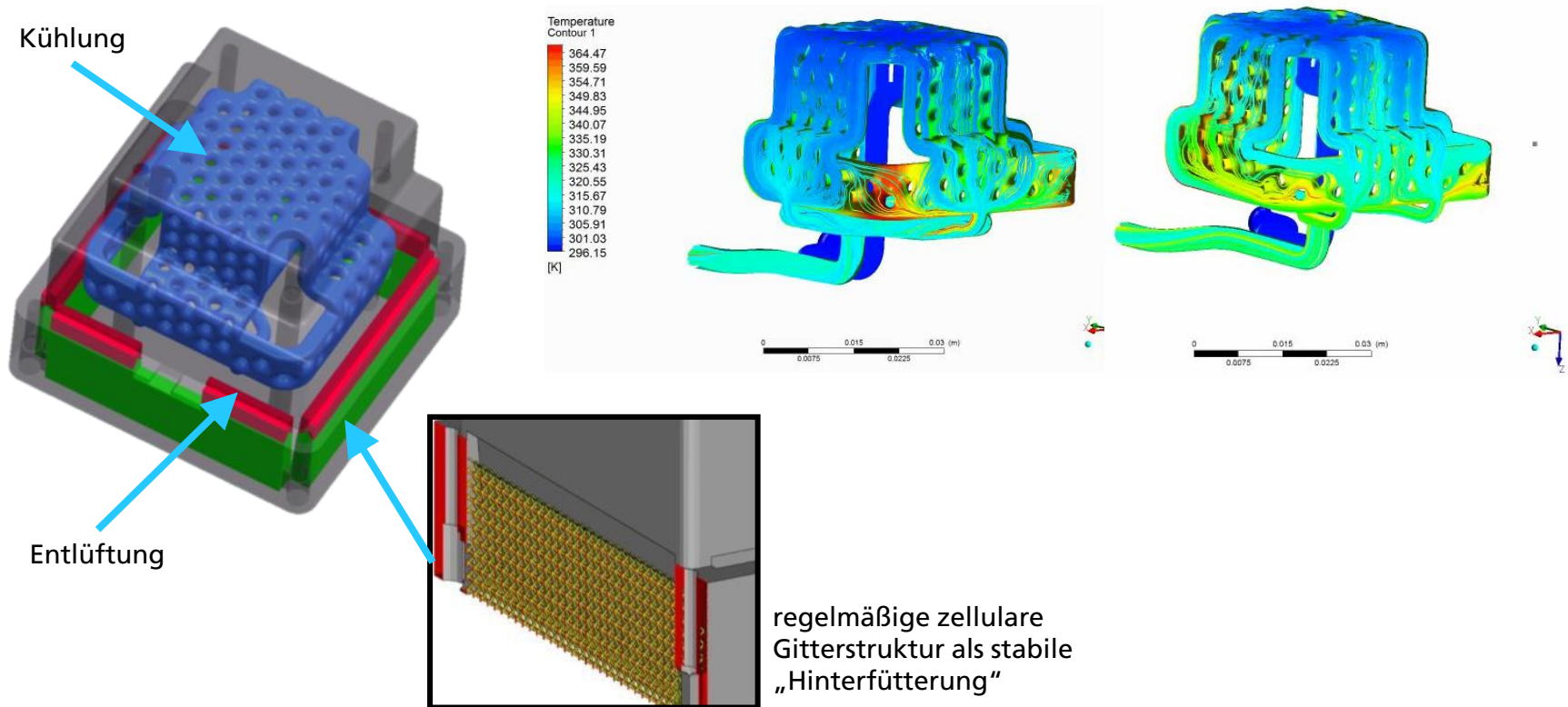


- mit größerer Kanaloberfläche wird ein höherer Wärmestrom $\dot{Q}$ übertragen
 - Prozesszeit sinkt
- wird der Abstand s reduziert, steigt der Wärmestrom $\dot{Q}$
 - Prozesszeit sinkt

Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale

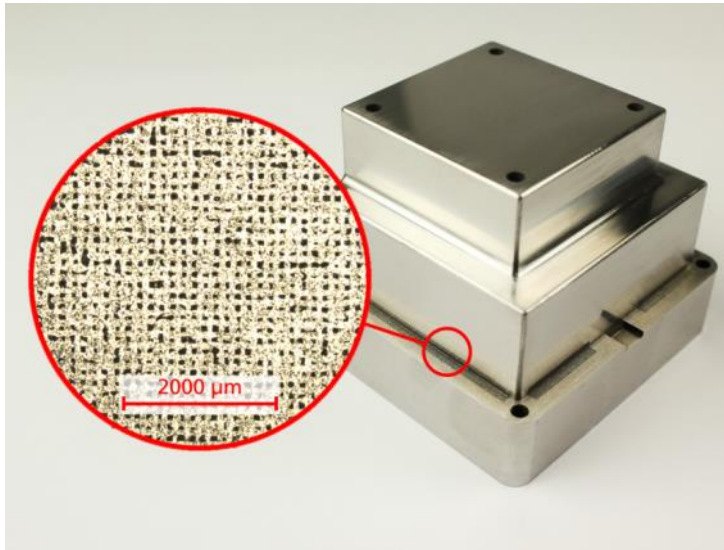
Spritzgießen – Kappe

- Werkzeugeinsatz mit innovativer Flächenkühlung und porösen Entlüftungsstrukturen in Integralbauweise

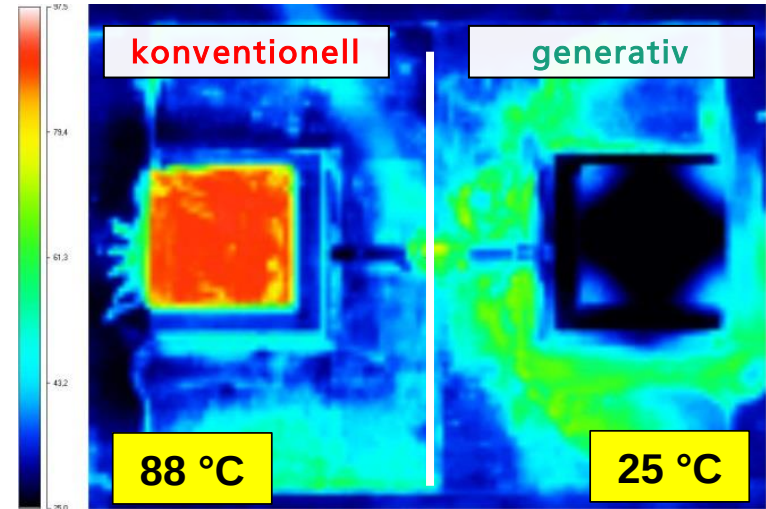


Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale

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.),

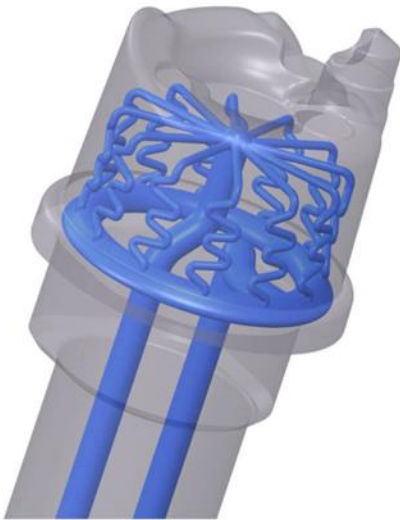
- Verringerung der Kühlzeit (Haltezeit) um **33,3%** (von 18 auf 12 s)
- Verringerung der Zykluszeit um **19,4%** (von 31,4 auf 25,3 s)
- Verringerung Spritzzeit und spezifischer Spritzdruck um jeweils ca. **5 %**

Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale

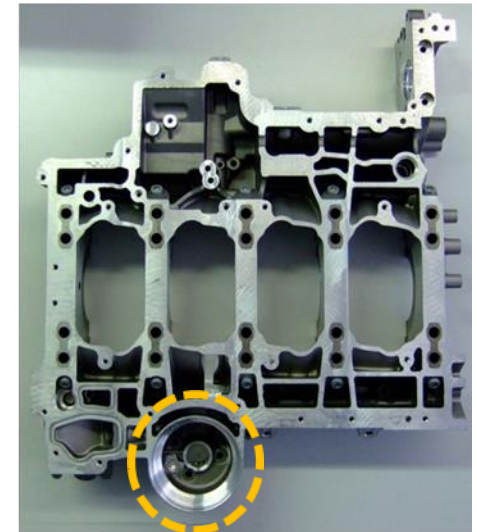
Druckgießen – Lagertraverse

Motivation:

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



Werkzeugeinsatz mit konturnahen Temperierkanälen



Bauteil

Ergebnisse:

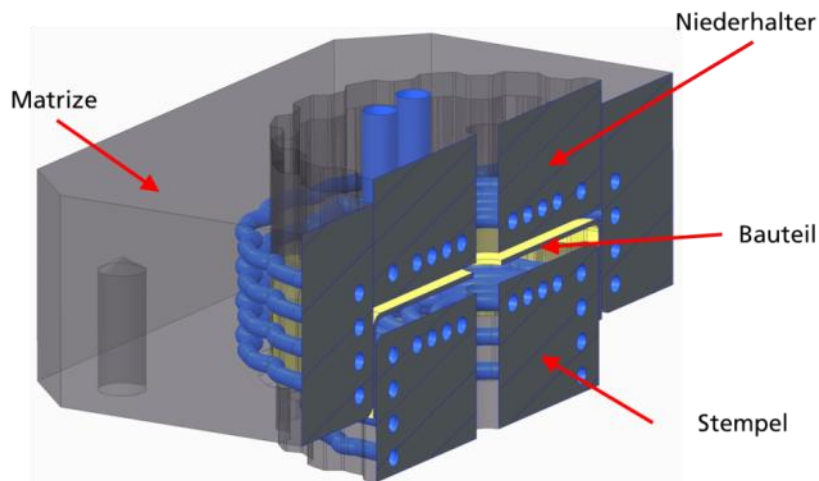
- weniger Hotspots → weniger Porosität (- 50 %) → weniger Ausschuss → geringere Kosten
- Reduzierung der Zykluszeit → höhere Produktivität

(Mit freundlicher Genehmigung der
DGH Group - Druckguss Heidenau GmbH, Dohna)

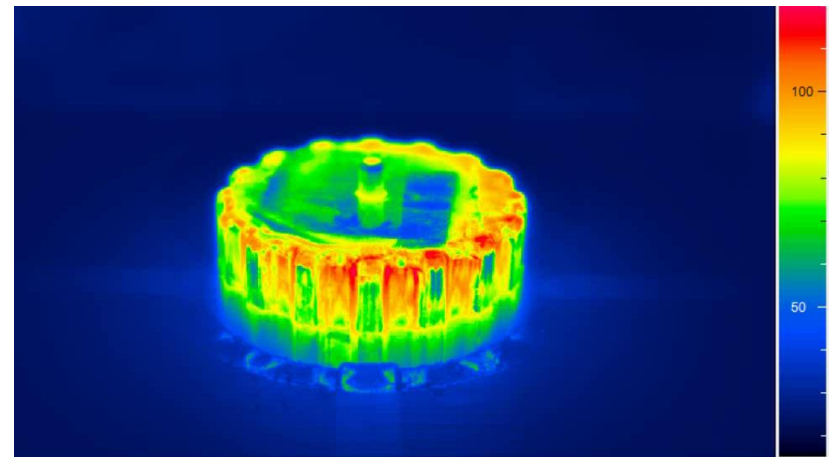
Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale Blechumformung

HiperFormTool „High performance sheet metal forming tooling“:

- 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



3D-CAD Modell Blechwarmumformwerkzeug



Rückkühlung generativ gefertigter Stempel

Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale

Massivumformung – Kolben

Zielstellung:

- Reduzierung thermisch-mechanischer Verschleiß bei Schmiedegesenken durch ein generativ hergestelltes komplexes Kühlsystem im Gesenk

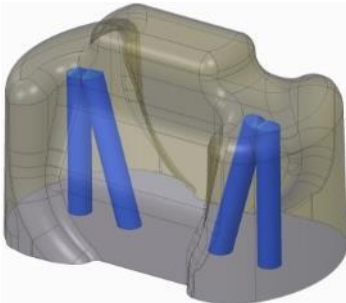
Ausgangssituation:

- große thermisch-mechanische Belastung, insbesondere an der Außenkontur des Werkzeugeinsatzes → 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



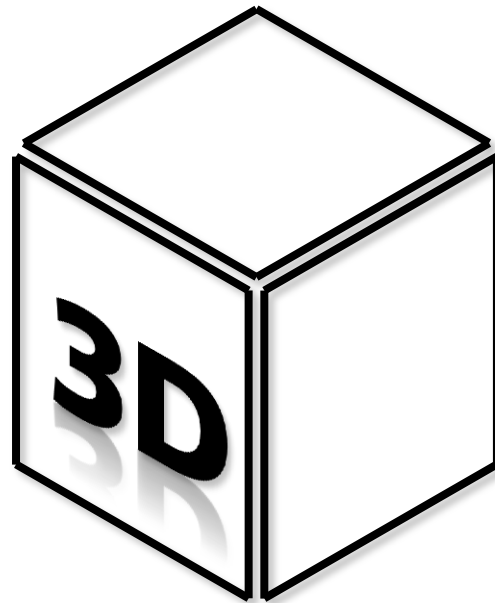
Verschleiß nach **6855**
Schmiedezyklen

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

Laser-Strahlschmelzen am Fraunhofer IWU

Forschungsschwerpunkte

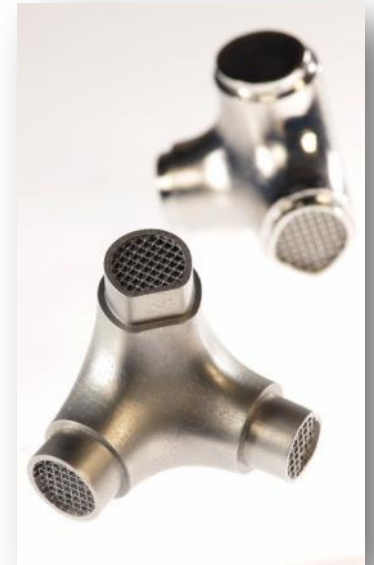
Komponentenentwicklung



Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale

Komponentenentwicklung – allgemein

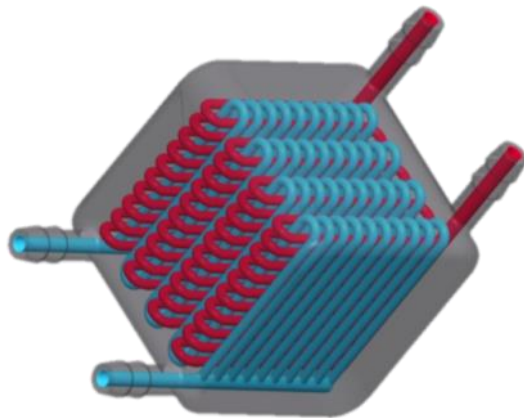
- schnelle Prototypen im metallischen Serienwerkstoff
- Entwicklung spezieller Werkstoffsysteme nach Kundenanforderung
- direkte Fertigung (Rapid Manufacturing) von Komponenten für den Serieneinsatz
- Komponenten- und Bauteilentwicklung mit Gitter- oder bionischer Struktur für bspw. Luft- und Raumfahrt



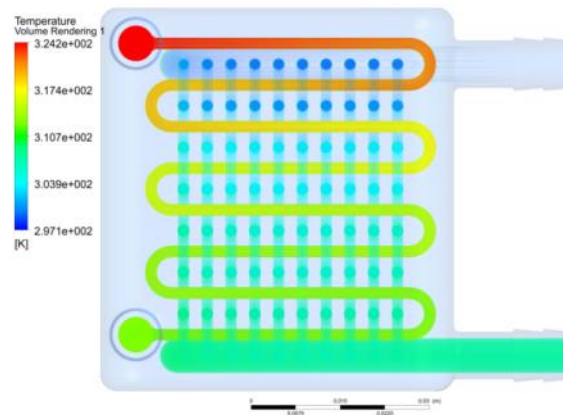
Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale

Komponentenentwicklung – Wärmetauscher

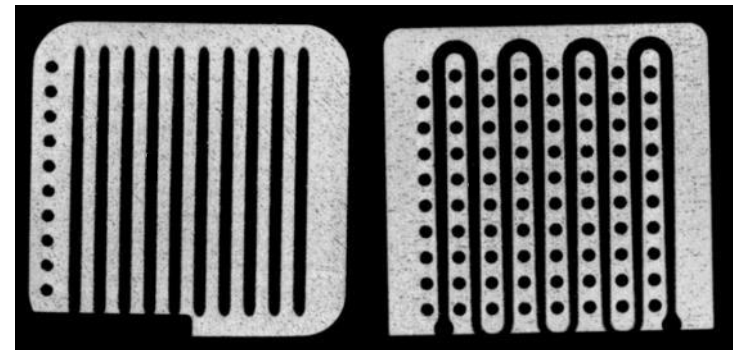
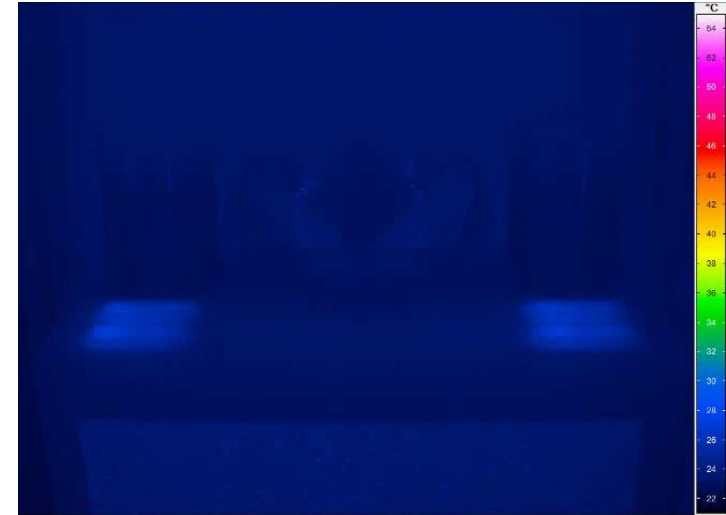
- Entwicklung von Bauteilen und Baugruppen zur thermischen Regulierung für bspw. Leistungselektronik (E-Mobilität)
- Entwicklung komplexer Bauteile für die Verfahrenstechnik



3D-CAD-Modell
Wärmetauscher



Fluidsimulation der
Leistungsfähigkeit



Auswertung / Überprüfung mittels µCT

Laser-Strahlschmelzen am Fraunhofer IWU

Forschungsschwerpunkte

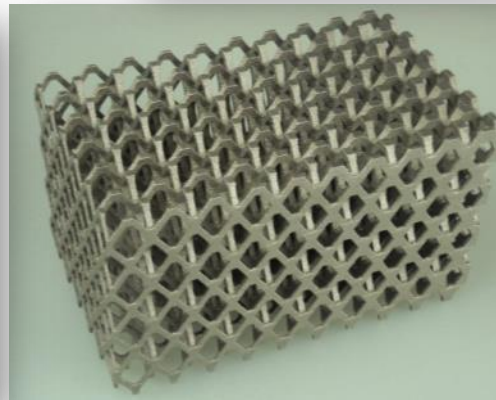
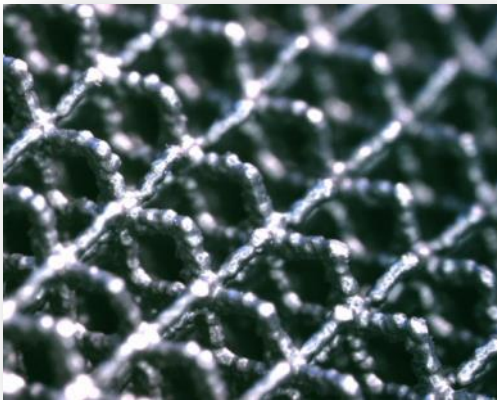
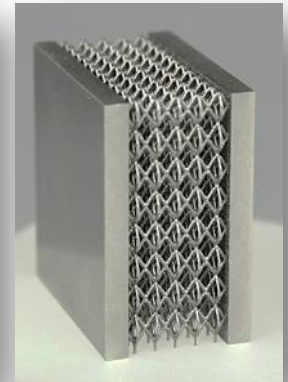
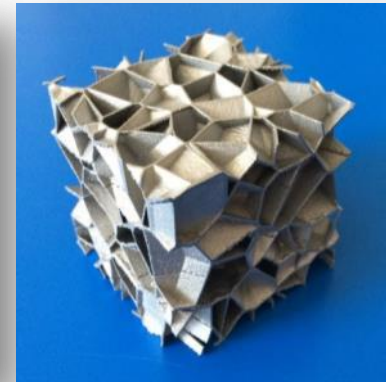
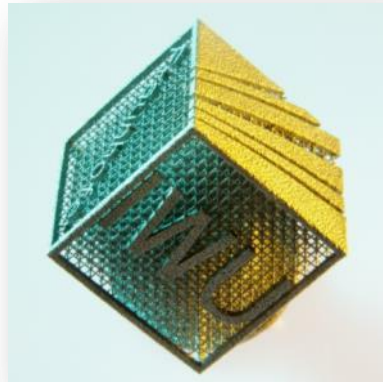
Funktionsleichtbau



Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale Funktionsleichtbau mittels Gitterstrukturen

Gitterstruktur-Integration in Bauteile für besondere Eigenschaften

- Extremleichtbau
- gradierte Strukturen
- lokal unterschiedliche Eigenschaften
- "fit-to-function"



Forschungsbedarf:

- ✓ Werkstoffverhalten
- ✓ Mechanische Eigenschaften
- ✓ Steifigkeit und Absorptionsfähigkeit

Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale

Funktionsleichtbau mittels Topologieoptimierung

- Verbesserte Funktionalität
- Optimierte Spannungsverteilung
- Gewichtsreduzierung (bis 50 %)
- Ressourceneffizienz



Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale

Funktionsleichtbau mittels Topologieoptimierung

- Verbesserte Funktionalität
- Optimierte Spannungsverteilung
- Gewichtsreduzierung (bis 50 %)
- Ressourceneffizienz



Laser-Strahlschmelzen am Fraunhofer IWU

Forschungsschwerpunkte

Medizintechnik



Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale Medizintechnik

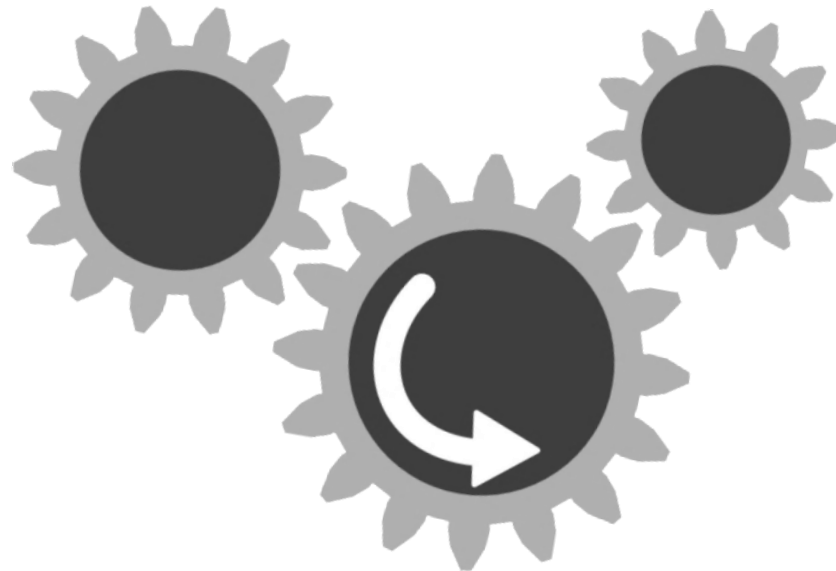
- Entwurf, Konstruktion und Fertigung patientenspezifischer Implantate
- Machbarkeitsstudien für neuartige medizinische Anwendungen
- Integration innovativer Funktionen in Implantate



Laser-Strahlschmelzen am Fraunhofer IWU

Forschungsschwerpunkte

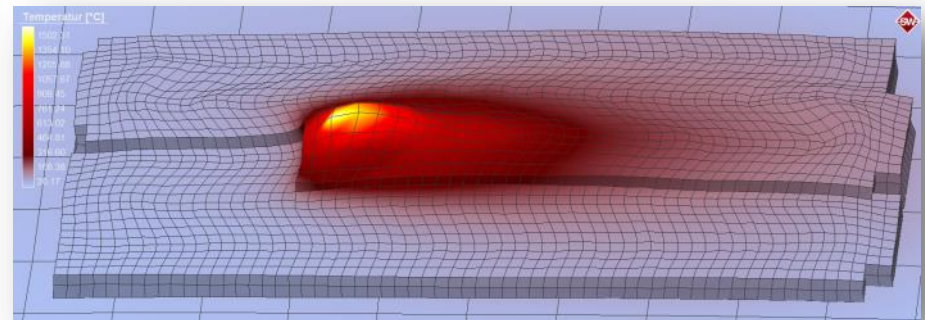
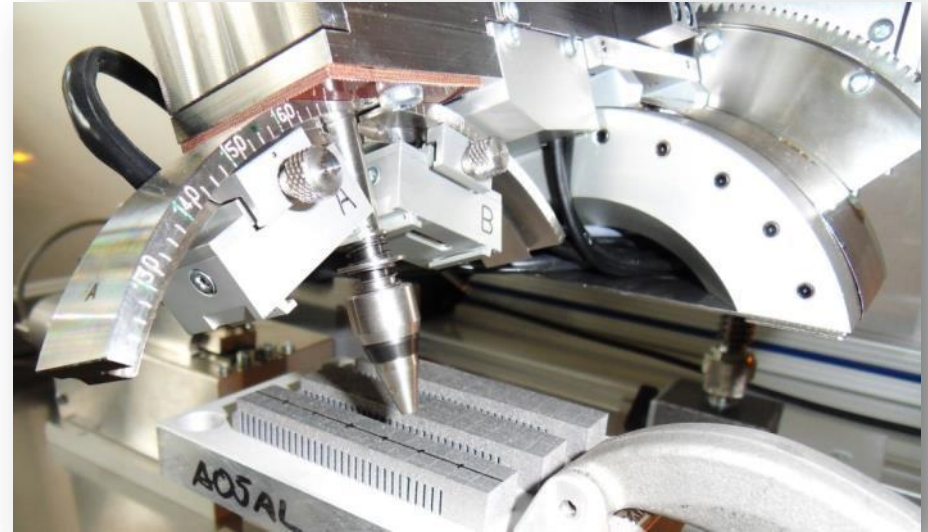
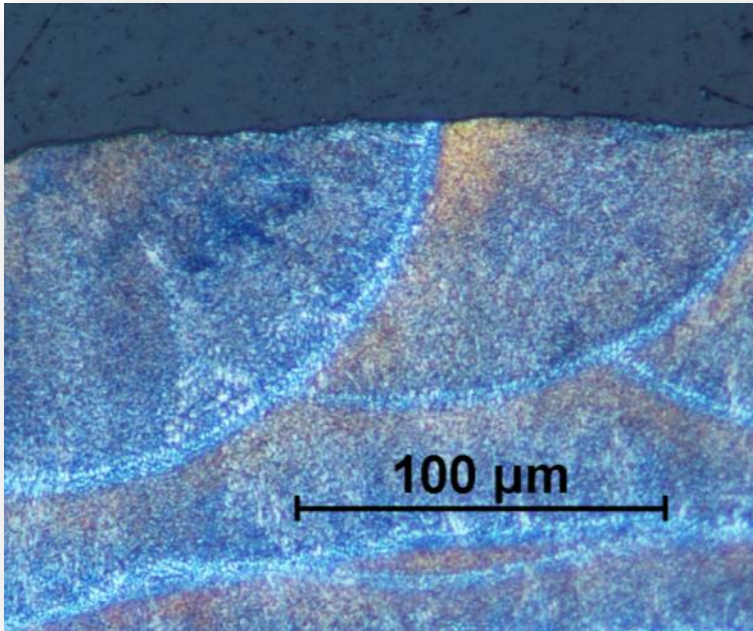
Prozessentwicklung und
Prozessüberwachung



Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale

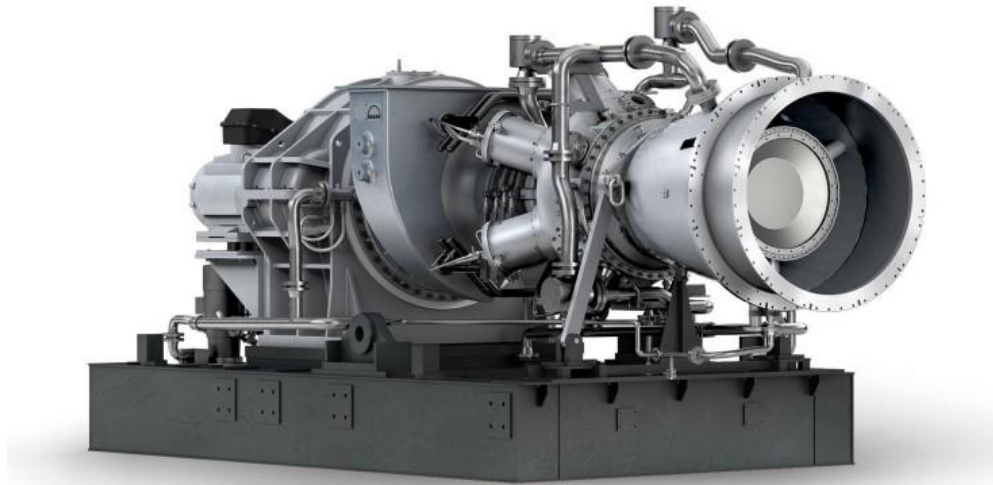
Prozessentwicklung und Prozessüberwachung

- Qualifizierung neuer Werkstoffe nach Kundenwunsch
- Prozesssimulation
- Qualitätssicherung
- Prozessüberwachung (Schmelzbad)



Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale

Kompressorentechnik



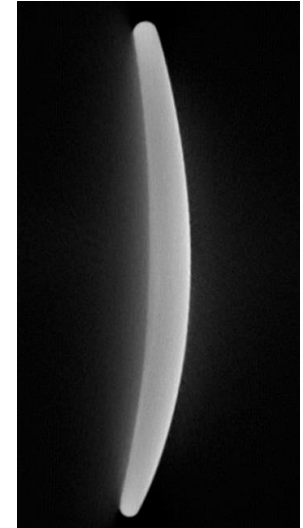
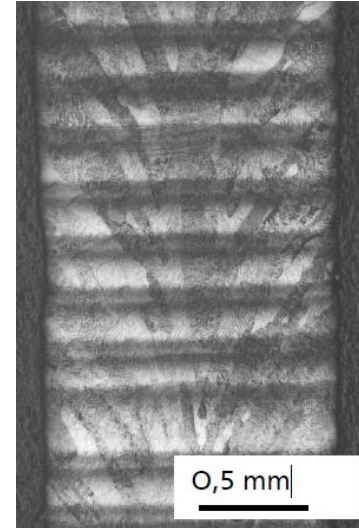
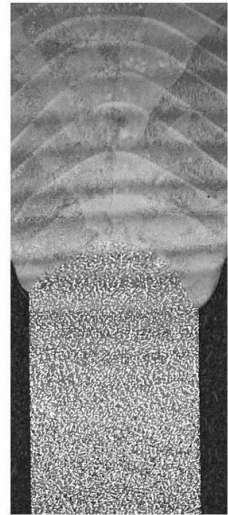
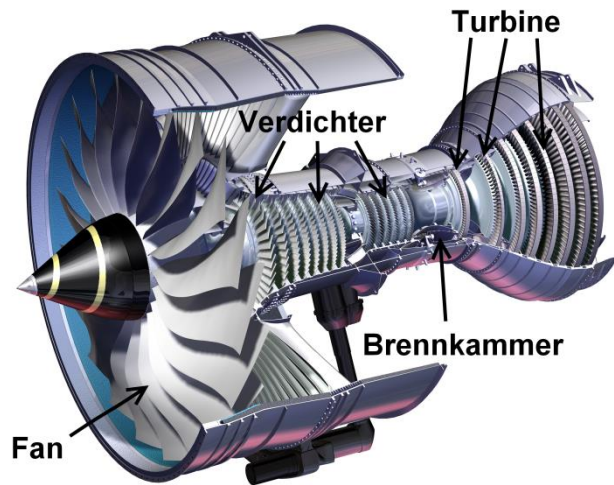
Prototypenfertigung erlaubt schnellere Turbinenentwicklung



- Senkung der Fertigungskosten und -zeit durch den Einsatz von SLM
- Veränderung der Prozesskette erlaubt modulare Fertigung

https://www.ilt.fraunhofer.de/de/presse/pressemitteilungen/pm2016/pressemitteilung_06072016.html

Anwendung in der Triebwerkinstandsetzung



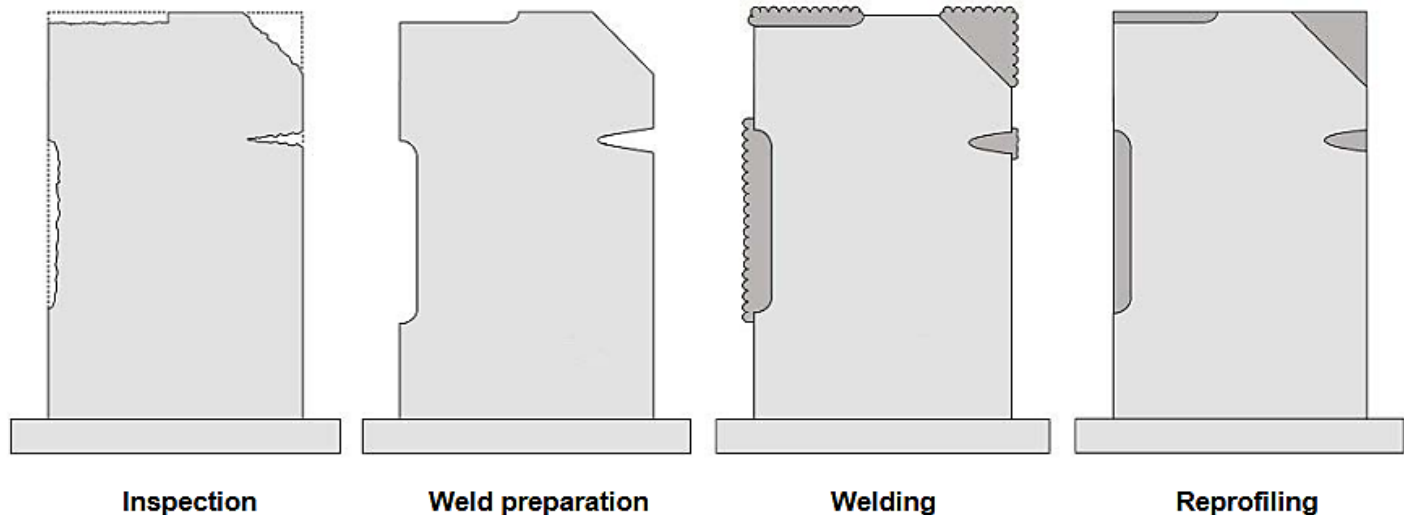
- Reperatur von Kompressoren-Blisks aus Ti6242 durch Laser-Auftragsschweißen
- Direkte generative Fertigung von Fan-Schaufeln



https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/if/lot/ressourcen/dateien/studium/lehrveranstaltungen/download_vorlesungen_ft1/VI5_ftII_ausblick_Jan14-17.pdf?lang=de
http://www.dlr.de/desktopdefault.aspx/tabid-6225/10237_read-23632/10237_page-3/
<https://www.ge.com/reports/future-manufacturing-take-look-inside-factory-3d-printing-jet-engine-parts/>

Anwendung in der Triebwerkinstandsetzung

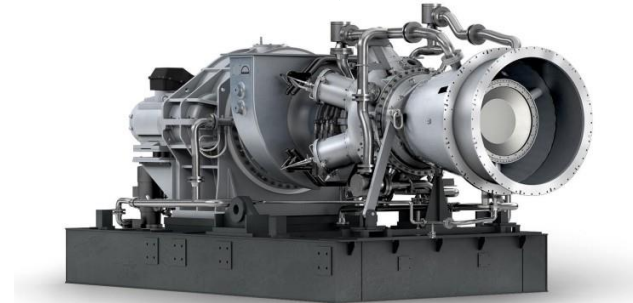
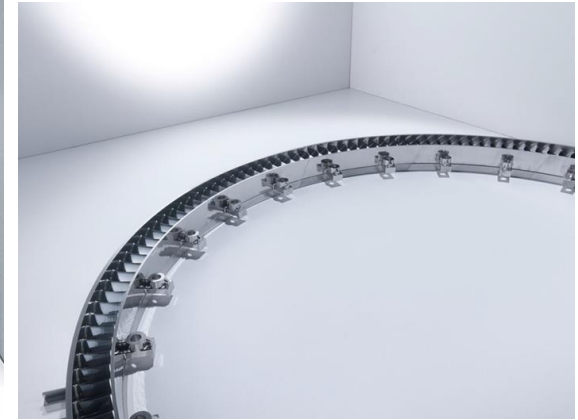
- Typischer Reparaturprozess für die Instandsetzung einzelner Turbinenschaufeln



<http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/proceeding.aspx?articleid=1571729/>

MAN Diesel & Turbo standardisiert 3D-Druck

- Bau von Komponenten via Laser-Strahlschmelz-Verfahren
- Leitschaufelsegmente finden bereits im Typ MGT6100 (Gasturbine zur industriellen Strom und Wärmeerzeugung) Verwendung
- Investition von 2,6 Millionen Euro in das MAN Center for Additive Manufacturing (MANCAM)



<https://www.mandieselturbo.com/de/presse-medien/pressemitteilungen/news-details/2017/04/19/man-diesel-turbo-3d-druck-wird-zum-standard>
<https://www.corporate.man.eu/de/presse-und-medien/pressecenter/Gasturbinengeschaeft-von-MAN-fasst-weiter-Fuss-in-China-252992.html>

Additive Manufacturing at MAN

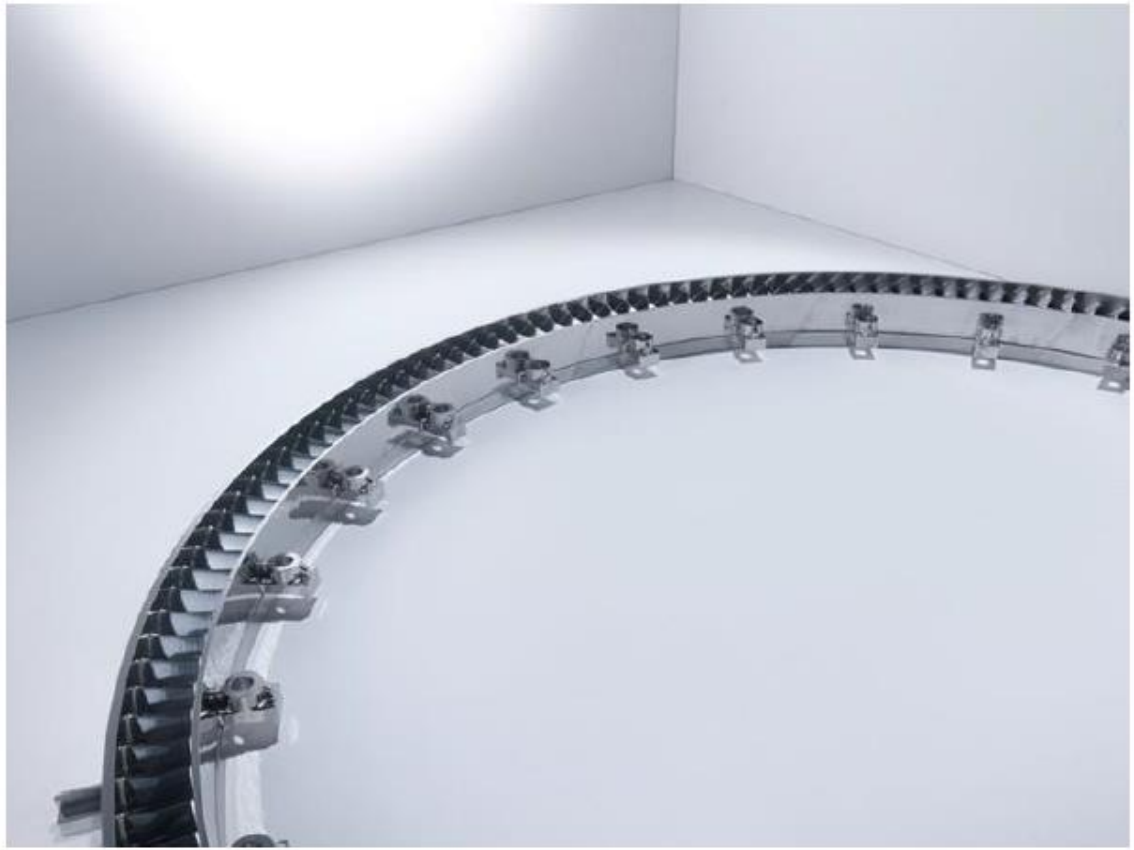
Current Additive Production Parts



- ▶ MAN Diesel & Turbo hat die Produktion von Leitschaufelsegmenten für Gasturbinen mit additiver Fertigungstechnologie gestartet.



MGT6100

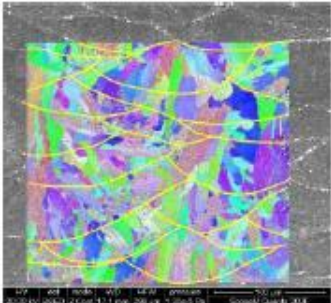
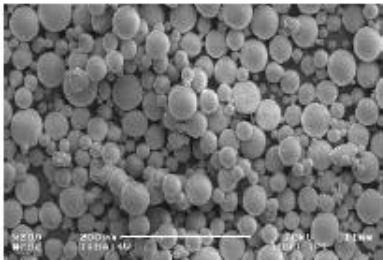
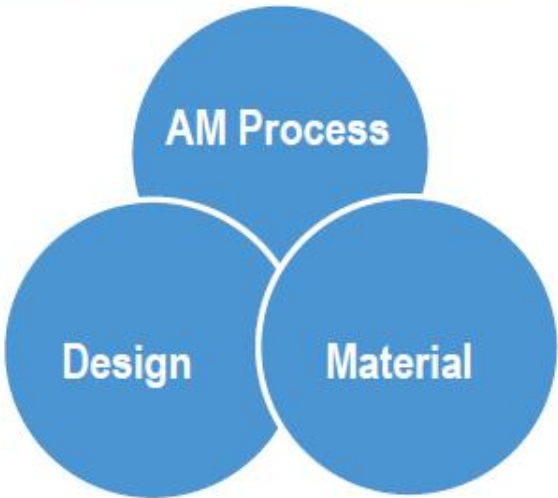
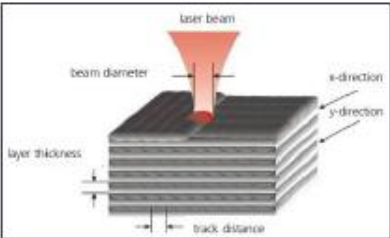


Additive Manufacturing

Collaboration as Success Factor



Collaboration of Design, Material and Process Engineering accelerates Development. An agile and innovative team consists of a design engineer, a process specialist and a material expert.



Metallic AM

Quality + Qualification Requirements



Key factors for an acceptable quality are:

Dimensional Accuracy



Development effort required for each component.
How can the deformation be controlled more sufficiently?

Material Properties



Properties are frequently sufficient.
But what about flaws and defects?

Surface Quality



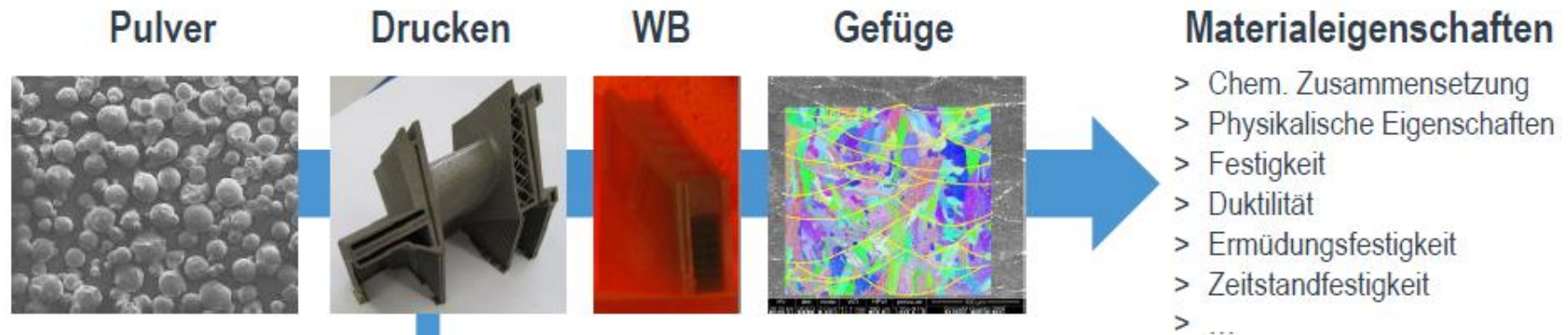
Machining and/or finishing mostly required.
Which surface quality is achievable at which cost level?

Additive Fertigung metallischer Bauteile

Materialaspekte



Additive Fertigung ist ein Urformverfahren ➔ AM Fertiger ist Werkstoffhersteller
 ➔ ist verantwortlich für die Sicherung der Werkstoffeigenschaften und -qualität
 Die gesamte Prozesskette bestimmt das Ergebnis.



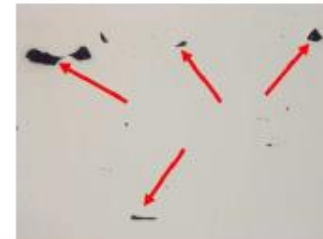
Potentielle Materialfehler

Material Imperfections

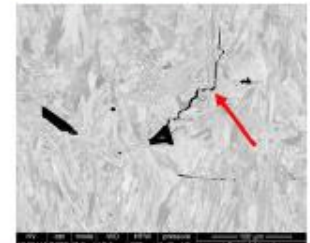
Pores



Cold welding



Cracks



Materials for Additive Manufacturing

Availability, Advantages, Limits



► All weldable materials can be printed

Tool- and Stainless Steels

1.4404 (316L), 1.4540 (15-5PH)
1.2709 (X3NiCoMoTi18-9-5)
1.4313 (X3CrNiMo13-4)

Titanium Alloys

TiAl6V4, TiAl6Nb7, Reintitan

Aluminum Alloys

AlSi12, AlSi7Mg, AlSi10Mg

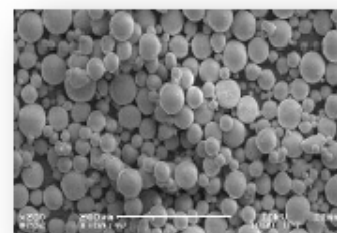
Nickel Base Alloys

Hastelloy X, IN 625,
IN 718, IN 939

Cobalt Base Alloys

CoCr, MAR-M 509

Copper Alloys



Advantages

- > Properties at moderate temperatures are equal / better than cast & forged qualities
- > High material flexibility, because share of material costs is low (<10%)
- > New materials with improved properties
(e.g. Scalmalloy, ODS, high entropy alloys, gradients,...)

Limits / Risks

- > Reduced creep and TMF-Life (at high temperature)
- > Defects need to be controlled
- > Structural-mechanical simulation requires new data and new models

Additive Fertigung von Ersatzteilen für Industriegasturbinen bei Siemens

Der Mehrwert von Additive Manufacturing:

30% weniger Treibhausgasemissionen
63% weniger Ressourcenverbrauch im Produktionsprozess
75% weniger Entwicklungszeit
unendliche Flexibilität bei der Entwicklung von Teilen
60% schnellere Reparatur
50% kürzere Lieferzeit
60% Wasserstoff im Brennstoffmix



Anwendungsbereiche:

- Rapid Prototyping (schnelle Prototypenfertigung)
- Rapid Repair (schnelle Reparatur)
- Rapid Manufacturing (schnelle Fertigung) von Komponenten

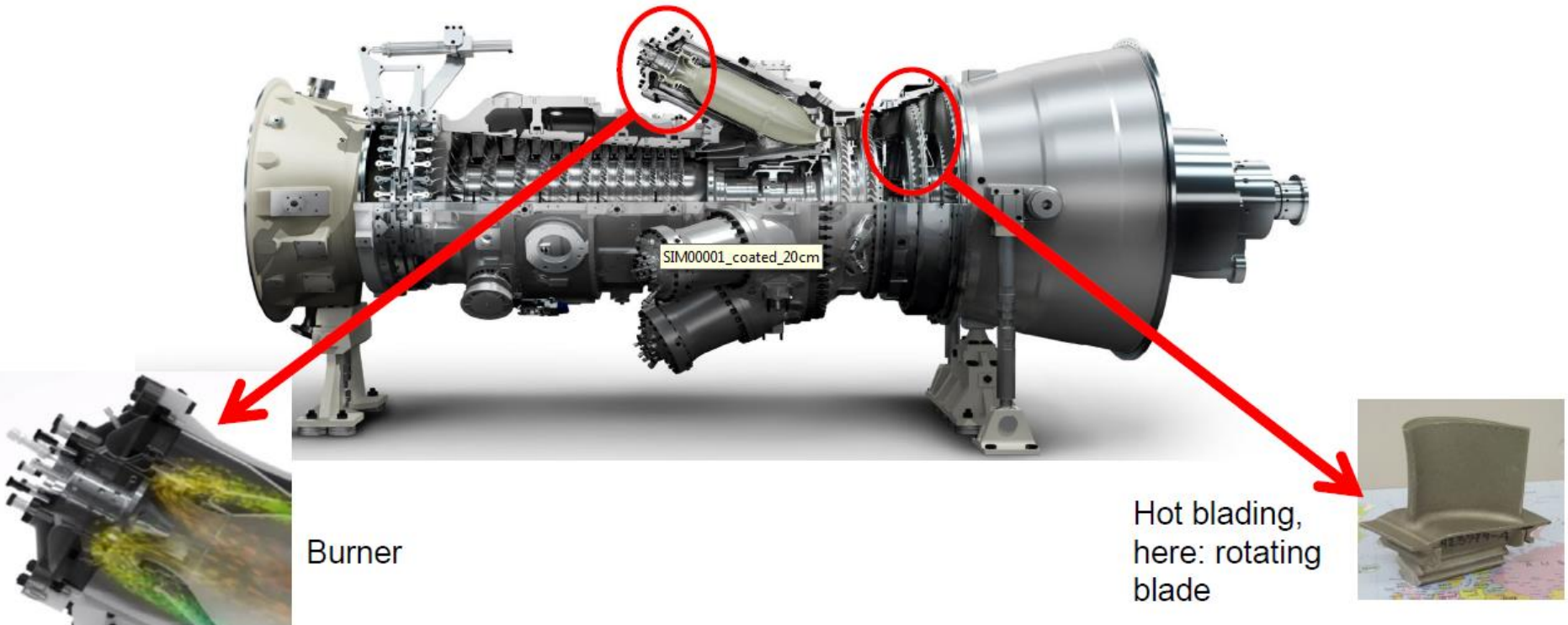
<https://www.energy.siemens.com/hq/de/services/industrielle-anwendungen/additive-fertigung.htm>

Additive Fertigung bei Siemens

Gas Turbine



Typical for GT industry: 1400 deg C and more; 6000 – 13000 rpm; aggressive atmosphere; incredible transitions from cold to hot and reverse; largest industrial user of NX inside Siemens



Page 4

Public © Siemens AG 2018

Quelle: Graichen, A.: Digitalization, Automation and Industrialization of Additive Manufacturing – A Siemens View. Fraunhofer DDMC conference, March 14-15, 2018, Berlin

Additive Fertigung bei Siemens

Siemens Was an Early Adopter of SLM Additive Manufacturing Technology and Has Successfully Scaled its Production

SIEMENS
Ingenuity for life

Outcomes



First SLM demonstrators



First combustion swirlers in commercial operation



Prototyping of qualification parts



Serial production of RaBuTiR



Burner front in commercial production



Turbine blade printed & tested in engine

2006 2009 2012 2013 2014 2015 2016 2017

Key enablers

Installation of the 1st EOS M270 SLM machine in FSP



Installation of 1st EOS M280 SLM machine in FSP, specifically adapted for Burner repair

Dedicated Additive COCs established

Development and qualification of Processes and Materials

Material Solutions acquisition



Finspong Industrial workshop inaugurated



2nd Generation



From R&D to serial parts production with SLM technology in 8 years

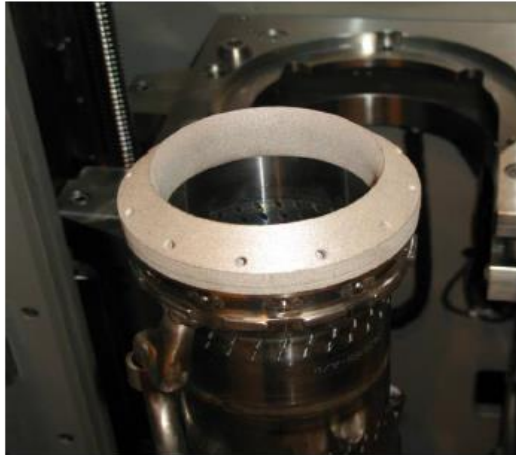
SLM: Selective Laser Melting

RaBuTiR: Rapid Burner Tip Repair

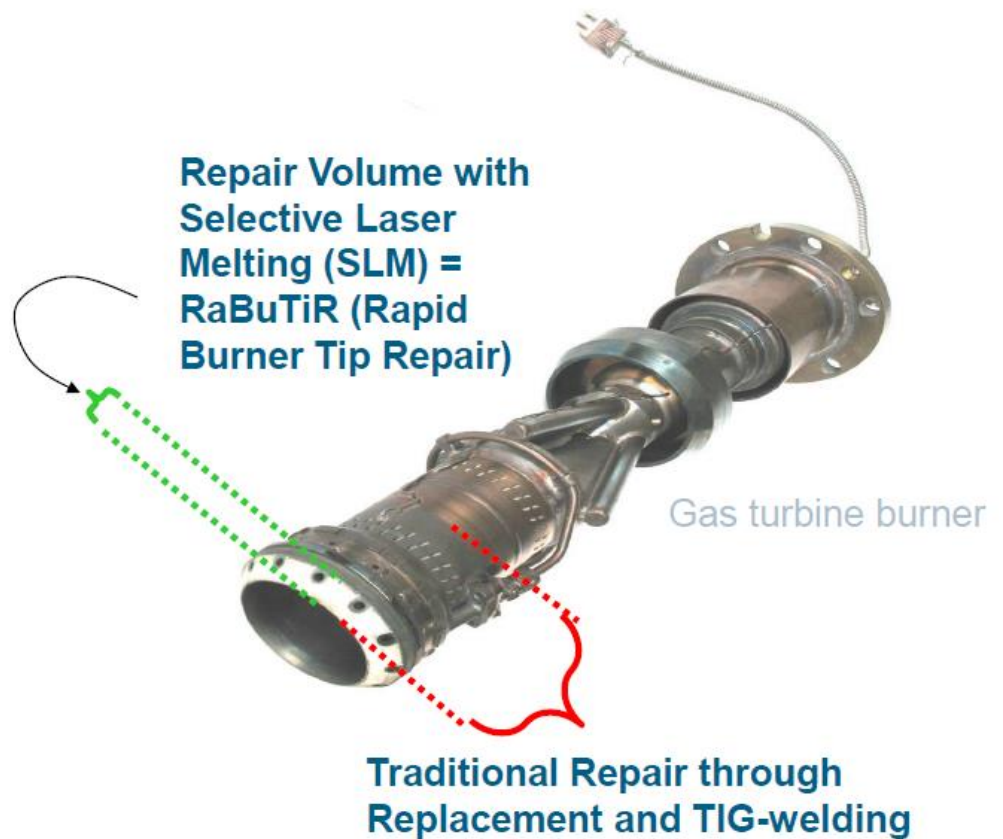
Additive Fertigung bei Siemens

RaBuTiR (Rapid Burner Tip Repair)

SIEMENS
Ingenuity for life



Repair Volume with
Selective Laser
Melting (SLM) =
RaBuTiR (Rapid
Burner Tip Repair)



Additive Fertigung bei Siemens

AM-Enhanced Burner Tip Repair Has Now Reached Serial Production with Significant Performance Increases



Rapid Burner Tip Repair (RaBuTiR)

Key benefits include:

- Improved cooling design brings down metal temperature
- Longer part lifetime
- Increased reliability
- Allows more customization for fuel flexibility
- Reduces the number of parts from 10+ in a new burner to just one AM repair



>1000 units have been produced – serial repair reached

Additive Fertigung bei Siemens



i-BuMa (intelligent Burner Manufacturing)

Conventional
thinking



Additive
Manufacturing
thinking



13 → 1 parts
system simplification

26 → 3 weeks
lead time reduction

22%
weight reduction

Function & performance
improvement

Designed in NX



Additive Fertigung bei Siemens

Vision: One integrated end-to-end system...

Example: i-BuMa

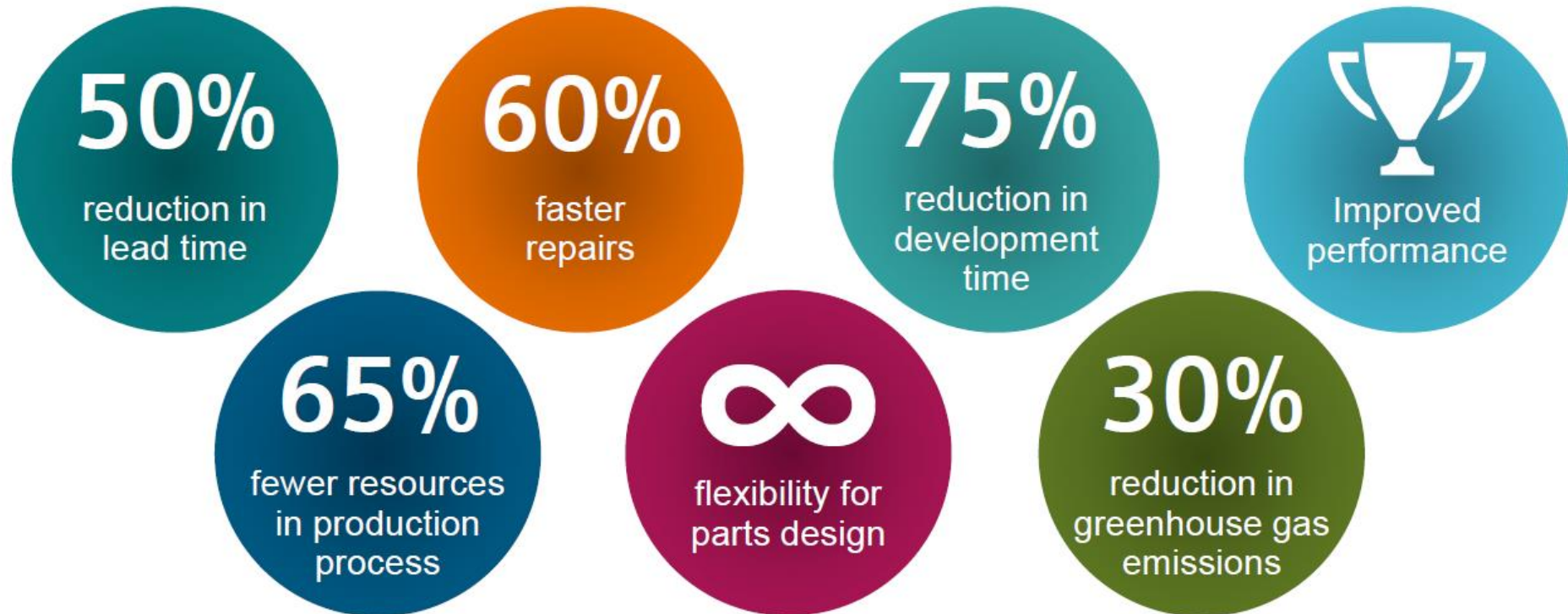
SIEMENS
Ingenuity for life



Additive Fertigung bei Siemens

First Summary: Additive Manufacturing has Seven Tangible Benefits

SIEMENS
Ingenuity for life



SUMMARY 2: Different Levels of Digitalized AM

The diagram illustrates the Industrial Internet of Things (IIoT) ecosystem. It features a horizontal bar with five colored segments (yellow, green, blue, purple, red) representing different manufacturing stages. Below this bar, a large blue box contains five labeled areas: Prototyping, Commercial Production and Repair, Integrated Manufacturing, 3D-Printer Network, and IoT for Industrial AM. Red arrows point from various images (a 3D printed part, a metal part, a 3D printer, a factory, and a 3D printer) to these areas. A green arrow points from the 'Integrated Manufacturing' area to the '3D-Printer Network' area. To the right, a yellow cloud labeled 'Cloud' is connected to a 3D printer and a 3D model of a part.

Additive Fertigung bei Siemens



3DP APPLICATIONS

INTERVIEW: ARMIN TREUBEL FOR SIEMENS' FIRST 3D PRINTED STEAM TURBINE PARTS

BEAU JACKSON - JUNE 08TH 2018 - 6:14PM  0  0

Quelle: <https://3dprintingindustry.com/news/interview-armin-treubel-siemens-first-3d-printed-steam-turbine-parts-134425/>

Additive Fertigung bei Siemens

- the award-winning 3D printed gas turbine blade of 2017



Quelle: <https://3dprintingindustry.com/news/interview-armin-treubel-siemens-first-3d-printed-steam-turbine-parts-134425/>

Additive Fertigung bei Siemens

- oil sealing rings have become the first metal 3D printed parts to be used in an industrial steam turbine
- 40% reduction in lead times
- 3D printing exceeds performance of traditional manufacturing



Quelle: <https://3dprintingindustry.com/news/interview-armin-treubel-siemens-first-3d-printed-steam-turbine-parts-134425/>

Schmolz + Bickenbach Guss-Gruppe verwendet 3D-Druckmodelle für Feingussbauteile



3D-Druck des Kunststoffmodells aus PMMA, das bei 73° C erweicht und jenseits der 700°C-Marke ohne Rückstände verbrennt

→ kostengünstige und schnellere Herstellung von Feingussmodellen

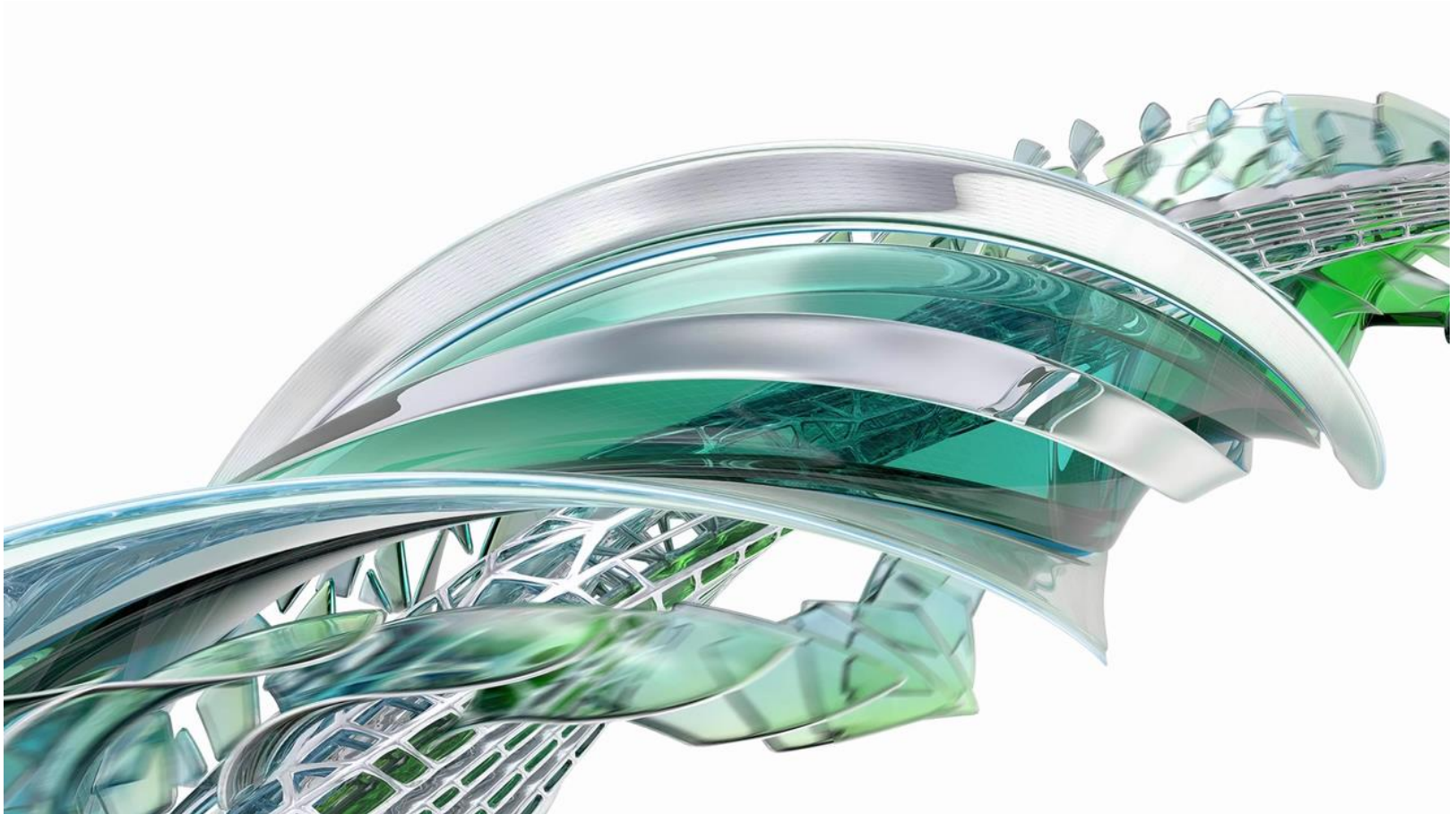
<https://www.voxeljet.com/de/branchen/cases/hochkomplexes-laufrad/>

Laser-Strahlschmelzen von Verdichterrädern



<https://www.youtube.com/watch?v=te9OaSZ0kf8>

Blisk Manufacturing



<https://www.youtube.com/watch?v=te9OaSZ0kf8>

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fraunhofer
IWU

Dr.-Ing. Bernhard Müller

Abteilung »Generative Verfahren«

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und
Umformtechnik IWU

Noethnitzer 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