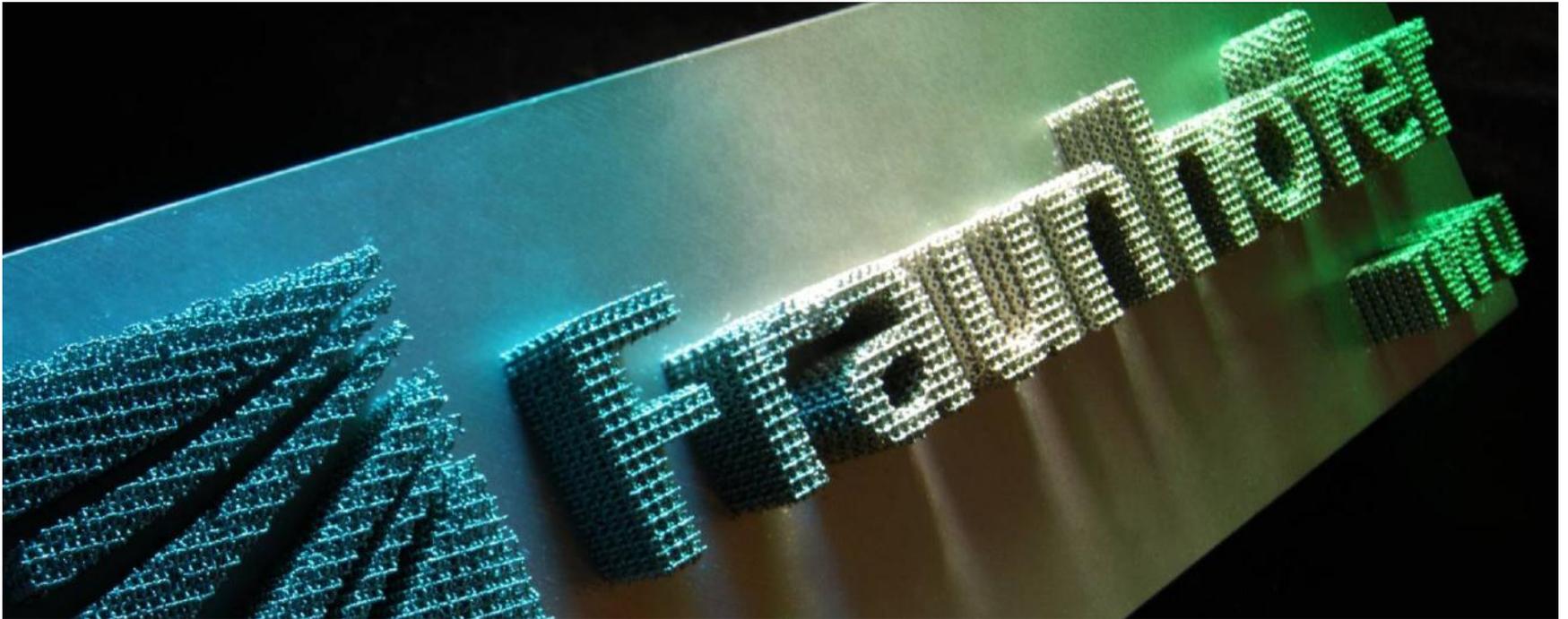

Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung – vom Werkzeugbau bis zum Leichtbauteil

Dipl.-Ing. Thomas Rädels

06.11.2013, Optonet-Workshop, Fraunhofer IWU, Dresden



INHALT

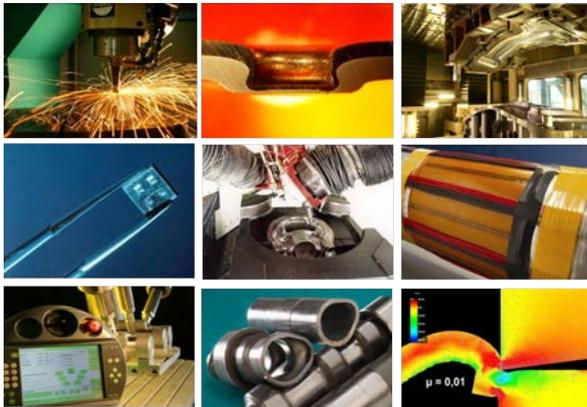
- Das Fraunhofer IWU im Profil
- Laserstrahlschmelzen und weitere generative Verfahren am IWU
 - Verfahren
 - Werkstoffe und mechanische Eigenschaften
- Generative Fertigungstechnologien heute und in der Zukunft
- Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung
 - Werkzeugbau,
 - Automobilbau,
 - Medizintechnik
- Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung
- Netzwerk Strahlschmelzen

Fraunhofer IWU im Profil

- 520 Mitarbeiter
- 34 Mio. € Forschungsvolumen (2013)
- 9 500 m² Versuchsfelder
- Standorte: **Chemnitz, Dresden,**
Augsburg, Zittau



Forschung unter der Dachmarke „**Ressourceneffiziente Produktion**“

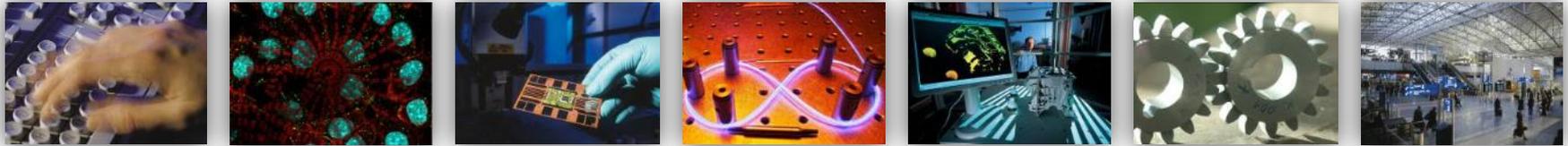


Forschungs- und Kompetenzfelder

- Werkzeugmaschinen und Automatisierung
- Mechatronik und Funktionsleichtbau
- Spanende Technologien
- Umformtechnologien
- Füge- und Montagetechnologien
- Produktionsmanagement

Fraunhofer IWU im Profil

IWU im Netzwerk



Verbund Produktion gegründet 1998

- IFF Magdeburg
- IML Dortmund
- IPA Stuttgart
- IPK Berlin
- IPT Aachen
- **IWU C-DD-A-ZI**
- UMSICHT Oberhausen

Forschungsallianzen

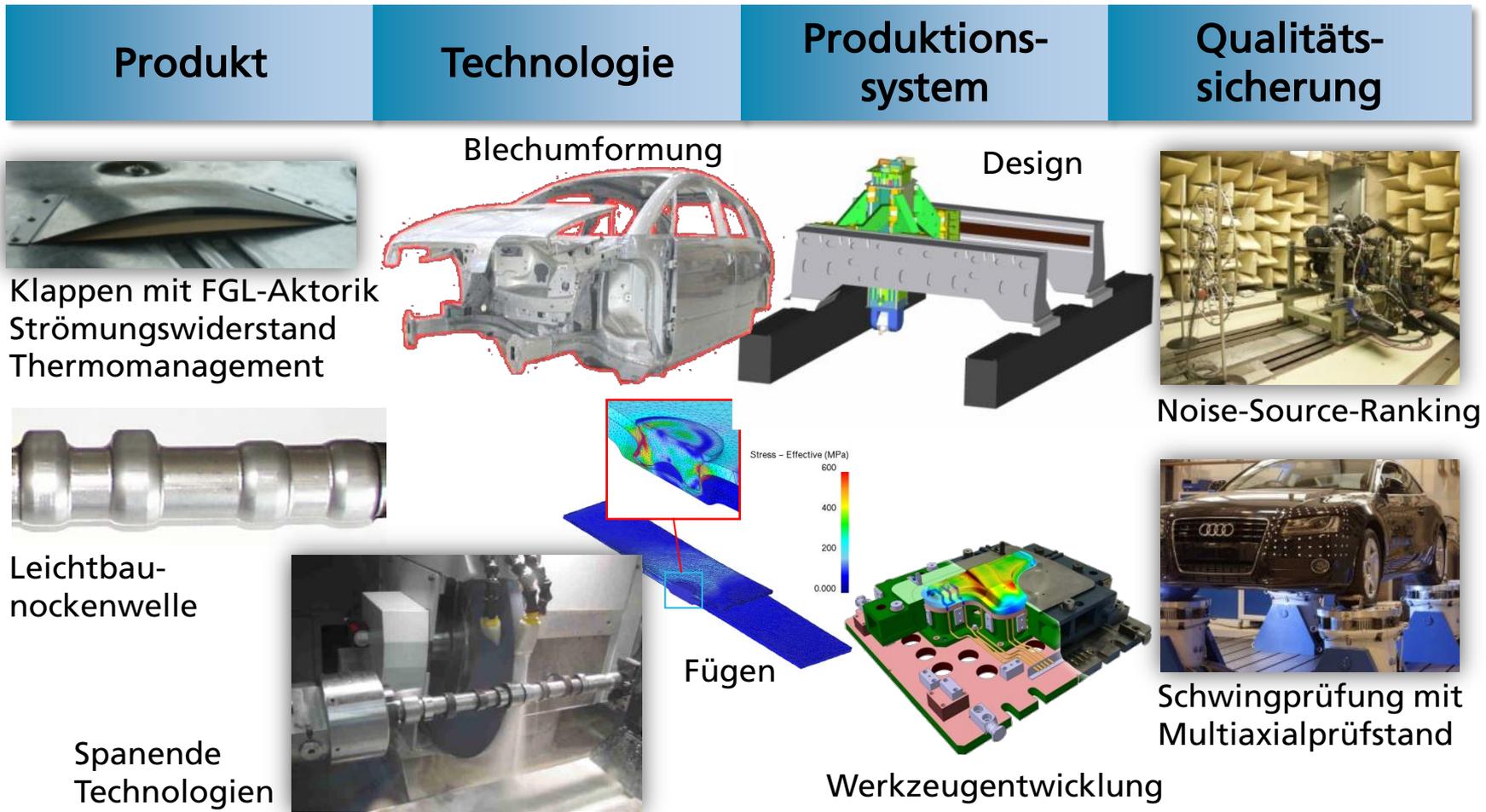
- autoMOBILproduktion
- Leichtbau
- Generative Fertigung
- Numerische Simulation
- Vision/Bildverarbeitung

Regionale Netzwerke

- Verbundinitiative
Maschinenbau Sachsen
VEMAS
- Kompetenzzentrum
Maschinenbau
Chemnitz/Sachsen **KMC**

Fraunhofer IWU im Profil

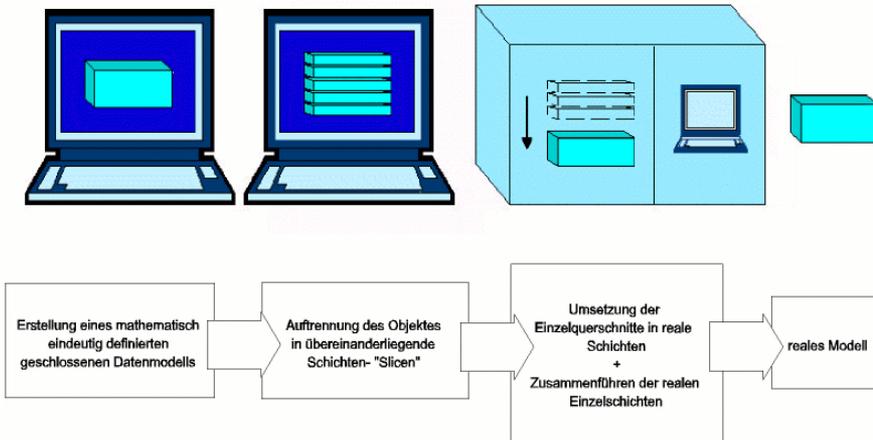
Kernkompetenz – Prozessketten der Automobilproduktion



Generative Fertigungsverfahren

Einführung

- **Generativ** [aus dem Lateinischen] – erzeugend, urformend; hier: schichtweiser additiver Aufbau („Generieren“) dreidimensionaler Körper aus einem formlosen Ausgangsmaterial (Pulver, Flüssigkeit, Draht) und selektive Formgebung innerhalb dieser Schicht durch Sintern, Aufschmelzen oder chemische Bindung bzw. Umwandlung (engl.: **Additive Manufacturing**)



Prinzipskizze generativer Fertigungsverfahren

(Quelle: IMK Uni Magdeburg)

- **Rapid Prototyping (RP):**

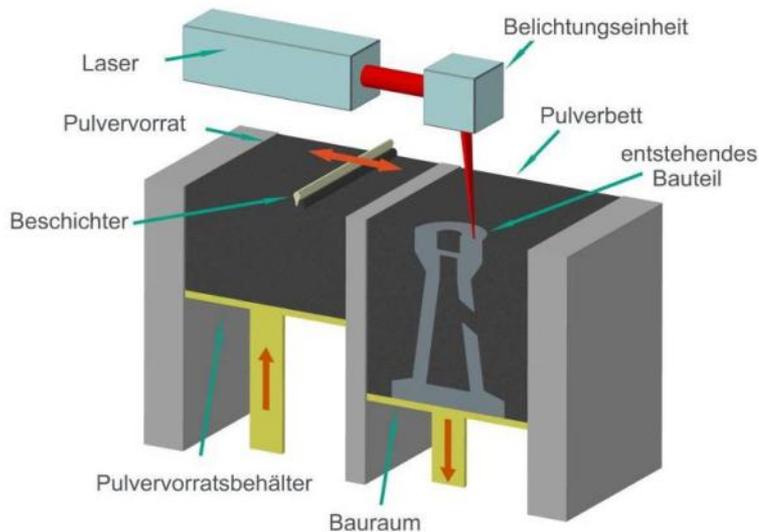
generative Herstellung von Bauteilen mit eingeschränkter Funktionalität (Prototypen, Versuchs- und Vorserienteile)

- **Rapid Manufacturing (RM) / Direct Digital Manufacturing (DDM):**

generative Herstellung von Endprodukten / Serienteilen (Konstruktion und Material entspricht dem Endprodukt)

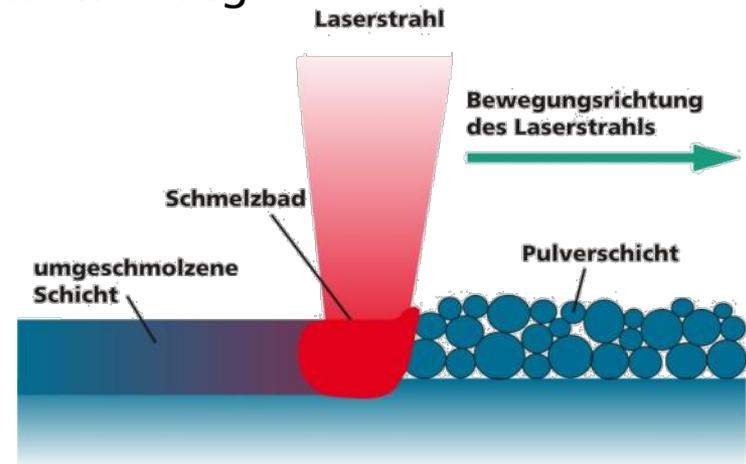
Laserstrahlschmelzen

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

- **alternative Bezeichnungen:**
LaserCusing®
Selective Laser Melting (SLM)®
Direktes Metall-Laser-Sintern (DMLS)®



Laserstrahlschmelzen

Vorteile Laserstrahlschmelzen



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

Laserstrahlschmelzen

Werkstoffe & mechanische Kennwerte

Werkstoff	Zustand	Zugfestigkeit R_m [MPa]	Streckgrenze $R_{p0,2}$ [MPa]	Bruchdehnung A [%]	Härte [HRC]
Werkzeugstahl 1.2709 X3NiCoMoTi 18 9 5	wärmebehandelt (490 °C)	2.040 - 2.180	1.870 - 1.940	3 - 5	54 - 56
Werkzeugstahl (rostfrei) 1.2083 X42Cr13	wärmebehandelt (525 °C)	1.700	1.600	> 2	48 - 50
Edelstahl 1.4404 X2CrNiMo 17-12-2	wie gebaut	640	500	> 15	20
Titan 3.7165 TiAl6V4	wärmebehandelt	950 - 1.250	800 - 1.100	10 - 20	32 - 36
Aluminium 3.2381 AlSi10Mg	wie gebaut	280	235	1 - 2	
Hastelloy X 2.4665 NiCr22Fe18 Mo	wie gebaut	718 - 886	617 - 741	26 - 40	

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

Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

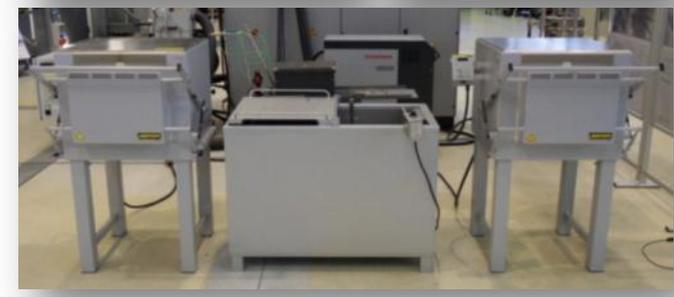
Anlagentechnik zum Strahlschmelzen am IWU

■ Strahlschmelzanlage M2 cusing:

- 400-Watt-Faserlaser
- Schmelzpool-Echtzeitüberwachung
- vollautomatische Siebstation

■ 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
- Werkstofflabor (REM, Dilatometer etc.)



Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

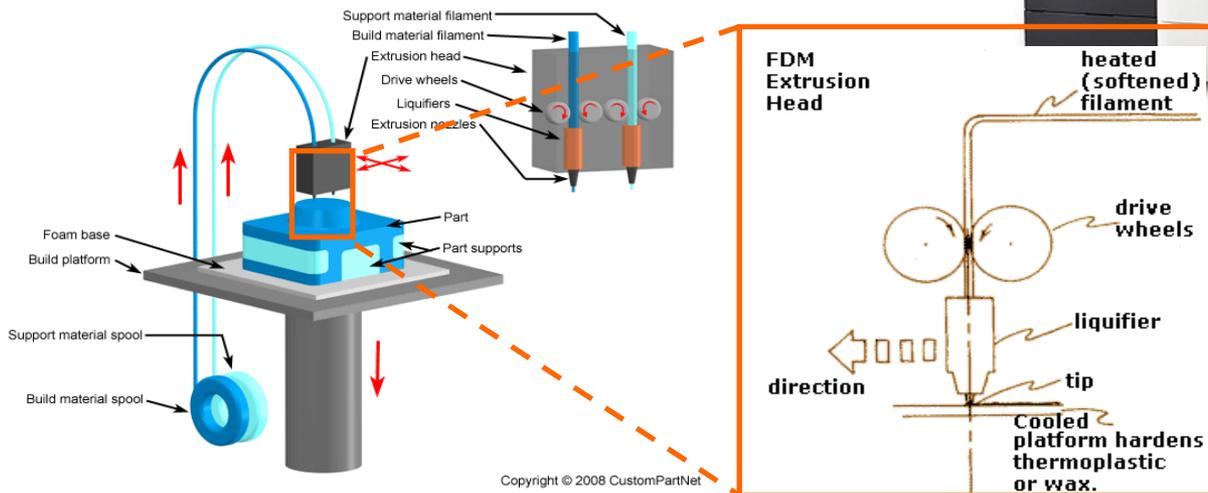
Anlagentechnik zur Fertigung von Kunststoffteilen am IWU

Herstellung komplexer Bauteile (Geometrieflexibilität; Funktionsintegration)

FORTUS 900 mc

Arbeitsraum: 915 x 600 x 915 mm³

Aufstellungsort: POLYSAX, Bautzen



Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

Anwendungen in der Gegenwart

Werkzeugbau

- Werkzeuge und Werkzeugeinsätze in den Bereichen:
 - Spritzgießen von Kunststoffen
 - Druckgießen von Aluminium
 - Blechwarmumformung von Karosserieblechen

Bauteile

- Komponenten in den Bereichen:
 - Prototypenbau
 - Leichtbau / Bionik
 - Thermische Komponenten
 - Medizintechnik

Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

Entwicklungspotential für die Zukunft

heute

- Prototypen
- Vorserienteile
- erste Serienwerkzeuge



morgen

- Serienfertigung von
 - Kleinserien
 - Ersatzteilen
 - Montagehilfen
 - Vorrichtungen und Werkzeugen



zukünftig

- Breite Nutzung in der Serienproduktion von
 - Einzelteilen
 - Baugruppen
 - Werkzeugen

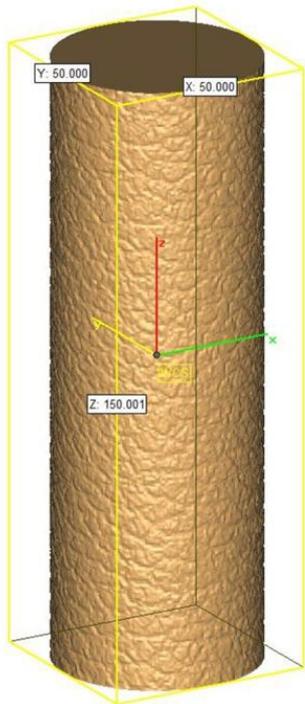
Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

Neuartige konstruktive Lösungsansätze

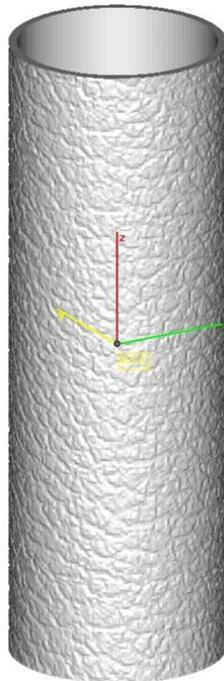
Aluminium-Bauteil:
Wandstärke 2 mm



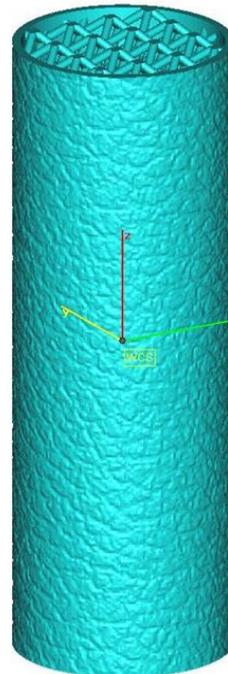
Gewichtsreduzierung:
70%



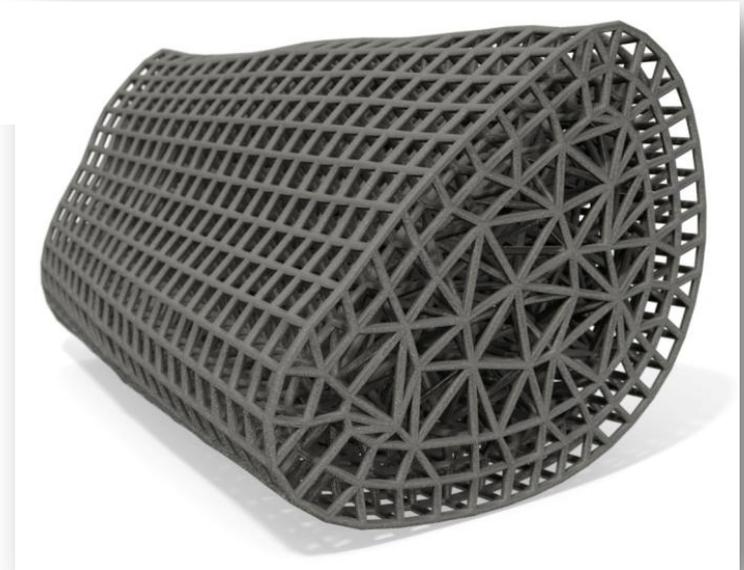
massiv: 800 g



hohl: 120 g



mit inneren Strukturen: 240 g



Funktions-Design –
Umsetzung mit
leistungsstarken CAD-
Werkzeugen

Quelle: Materialise 2012

Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

Substitution konventioneller Technologien für Prototypen im Automobilbau



Substitution von konventionellen Technologien für Prototypen durch Laserstrahlschmelzen

● Urformen ● Umformen ● Verbinden ○ Trennen

Quelle: BMW AG

Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

Arbeitsfeld Werkzeugbau

Leistungsspektrum Werkzeugbau

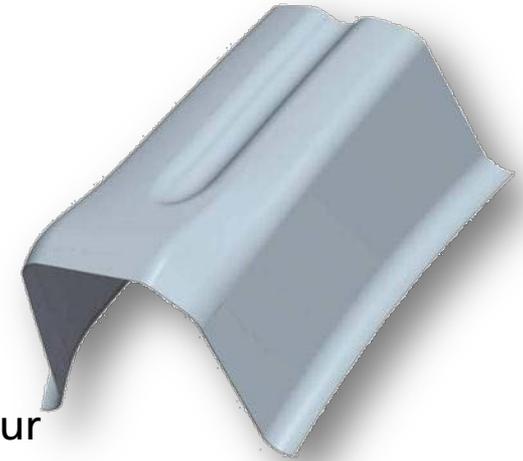
- Entwicklung und Auslegung innovativer, konturnaher Werkzeugtemperier-Systeme
- Unterstützung bei der Gesamt-Werkzeug-Konstruktion, eigenständige Konstruktion der Aktivkomponenten für das Laserstrahlschmelzen
- Generative Herstellung der Werkzeugeinsätze mittels Laserstrahlschmelzen
- Implementierung der laserstrahlgeschmolzenen Werkzeugeinsätze in das Gesamt-Werkzeug
- Betreuung des Anlaufs in der Produktion, Erfassung relevanter Fertigungsdaten für den Vergleich mit konventionell gefertigtem Werkzeug
- Bewertung der Zykluszeit, Werkzeugstandzeit sowie Qualität und Maßhaltigkeit der Bauteile zu einem vergleichbaren, konventionell gefertigten Werkzeug

Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

Anwendungsbeispiel 1: 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)

Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

Anwendungsbeispiel 1: Blechwarmumformen (II)

- Lösungsweg:
- Generative Fertigung der Werkzeugeinsätze in Hybridbauweise mit konturnaher Flächenkühlung



Werkzeuggrundkörper
(Stempel) in
Laserstrahlschmelzanlage



Laserstrahlschmelzprozess



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

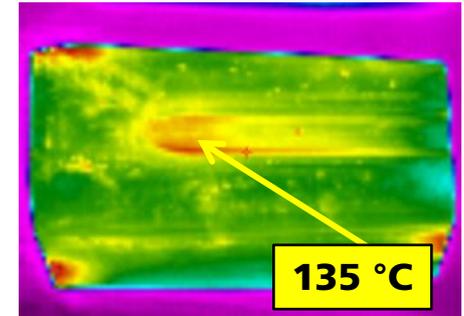
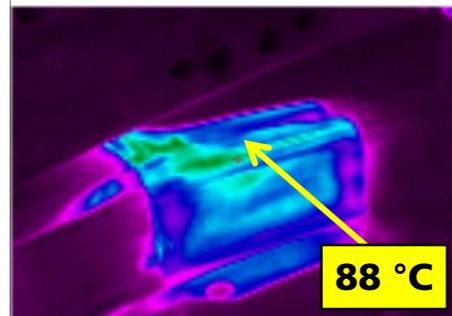
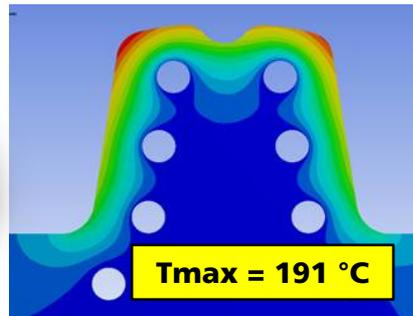
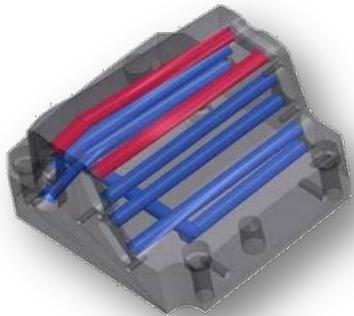


fertiger Werkzeugeinsatz
(Stempel) nach
Schichtbearbeitung im
Gesamtwerkzeug

Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

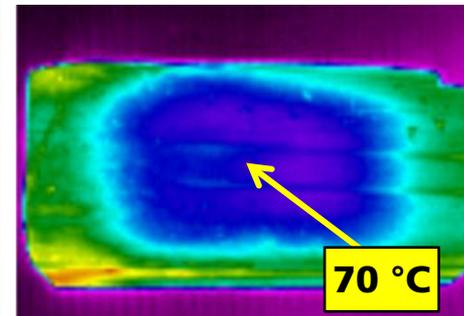
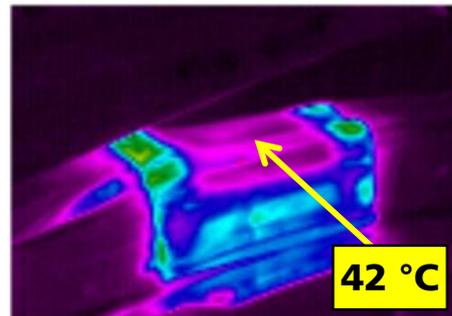
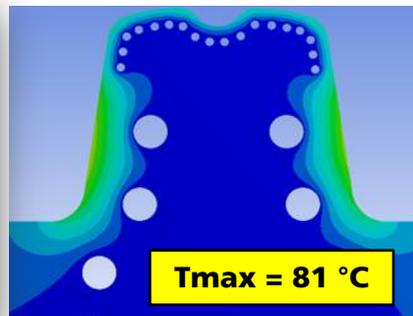
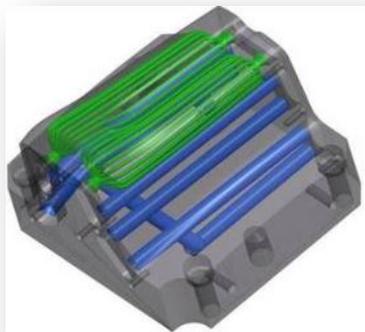
Anwendungsbeispiel 1: Blechwarmumformen (III)

■ Ergebnis:



konventionell gebohrte Werkzeugkühlung

Bauteil



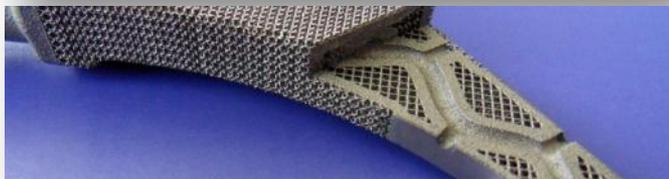
generativ gefertigte, optimierte Werkzeugkühlung

Bauteil

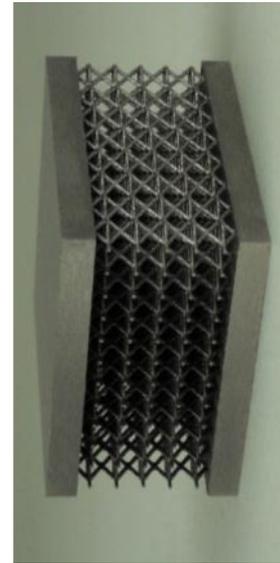
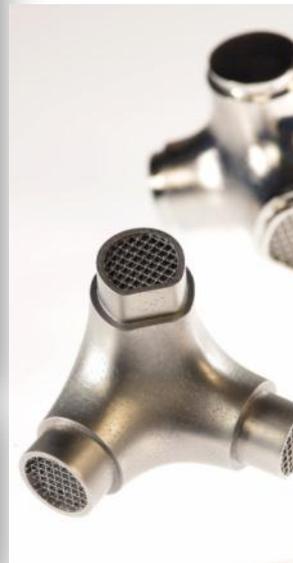
Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

Komponentenfertigung

Medizintechnik



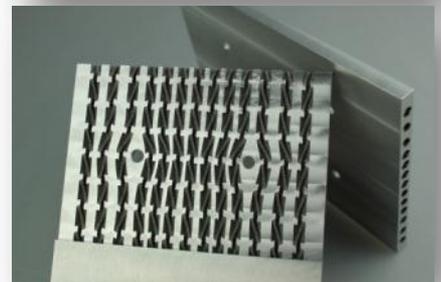
Leichtbau / Bionik



Prototypen



Thermische Komponenten



Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

Arbeitsfeld Komponentenfertigung

Leistungsspektrum Komponentenfertigung

- schnelle Prototypen im metallischen Serienwerkstoff mit Serieneigenschaften
- Entwicklung spezieller Werkstoffsysteme nach Kundenanforderung
- direkte Fertigung (Rapid Manufacturing) von Komponenten für den Serieneinsatz (Motorsport, Medizintechnik, etc.)
- Entwicklung, Konstruktion und Fertigung neuartiger Komponenten und Bauteile mit bspw. Gitter- oder bionischer Struktur für verschiedene Anwendungsgebiete (Maschinenbau, Luft- und Raumfahrt, etc.)

Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

Anwendungsbeispiel 2: Automobilbau / Motorsport (I)



Blechhalter-Prototyp für BMW Mini, AlSi10Mg
(Quelle: Fraunhofer-Gesellschaft)



Abgaskrümmmer, AlSi10Mg
[90 x 70 x 80 mm³]
(Quelle: CONCEPT Laser GmbH)



Halter, Edelstahl 1.4404
[80 x 45 x 40 mm³]



Abgaskrümmmer,
Edelstahl
(Quelle: CRP Technology,
Italien)

Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

Anwendungsbeispiel 2: Automobilbau / Motorsport (II)



Radaufhängung, AlSi12
[105 x 36 x 66 mm³]
(Quelle: TUfast e.V.)



Spiegelfuß, AlSi12
[30 x 100 x 50 mm³]
(Quelle: CONCEPT Laser GmbH)



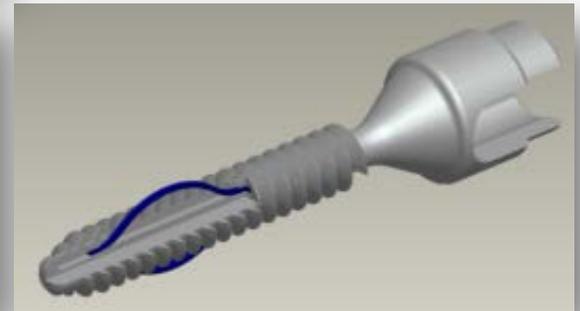
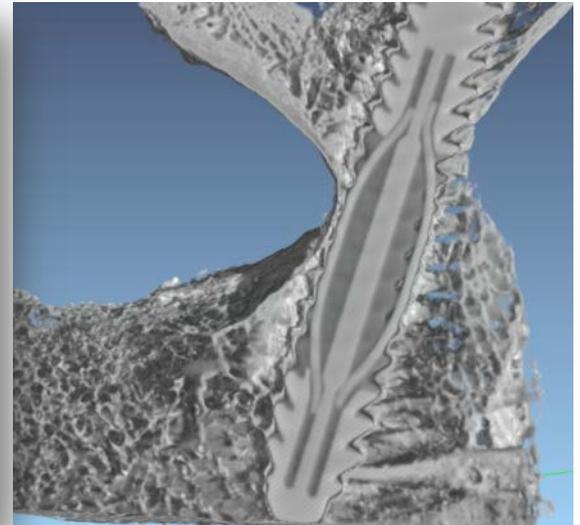
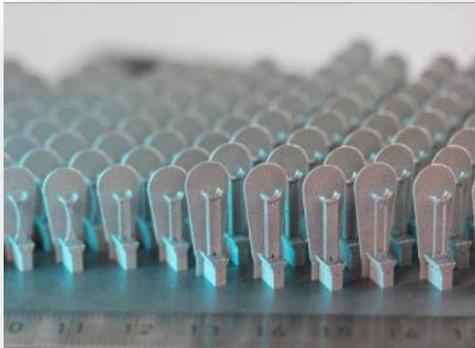
Lösemechanismus
für Lenkrad, AlSi12
[145 x 65 x 30 mm³]
(Quelle: TUfast e.V.)



Ölpumpengehäuse,
AlSi10Mg
[145 x 82 x 98 mm³]
(Quelle: TUfast e.V.)

Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

Anwendungsbeispiel 3: Medizintechnik - Implantate und Instrumente aus biokompatiblen Materialien



Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

Anwendungsbeispiel 3: Medizintechnik - MUGETO®- Implantat mit funktionalen Hohlräumen



CAD-Modell



generativ gefertigte Implantate
(unbearbeitet)



generativ gefertigtes Implantat
(poliert)

Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

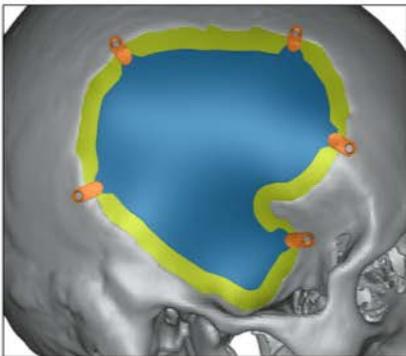
Anwendungsbeispiel 3: Medizintechnik - Individuelle patientenspezifische Implantate

■ Zielstellung für eine Schädelplatte

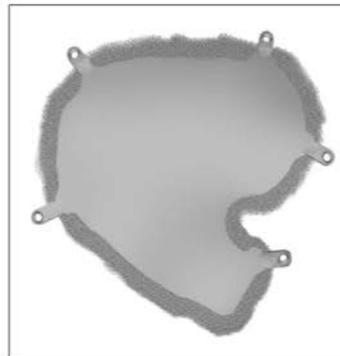
Konstruktion/ Entwicklung eines patientenspezifischen Implantats auf Basis von CT- oder MRT-Daten

■ Innovation

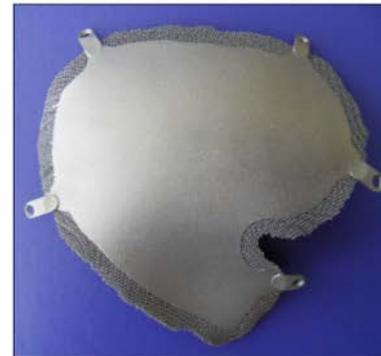
werkzeuglose, generative Fertigung patientenspezifischer Implantate mit lokal definierten Eigenschaften (Steifigkeitsanpassung durch zelluläre Strukturen, Oberflächenstrukturierung u. a.)



Modellierung auf Basis von CT-/ MRT-Daten



Optimierung / Funktionsintegration



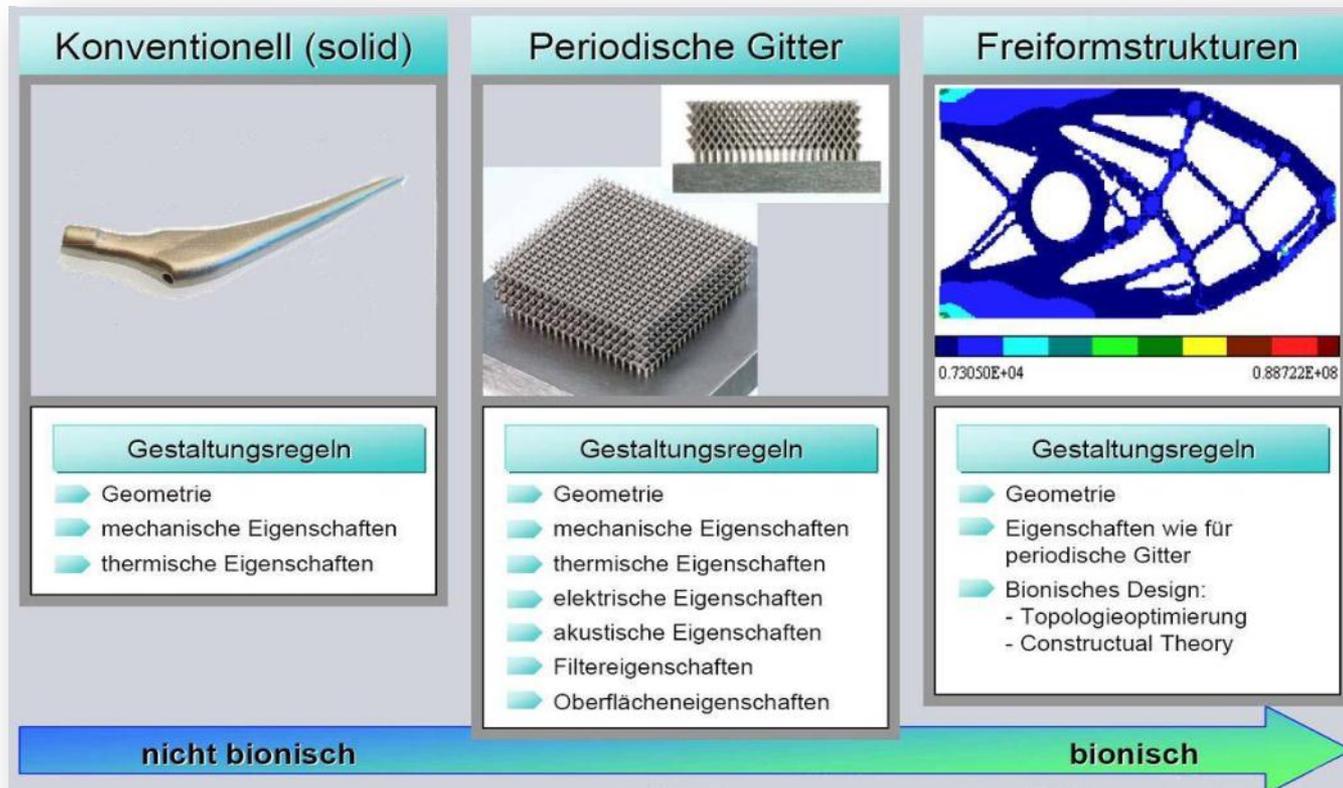
Generative Fertigung mittels Laserstrahlschmelzen



Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

Anwendungsbeispiel 4: Konstruktive Freiheiten

- Minimale Einschränkungen durch das Fertigungsverfahren erlauben funktionelle Integration und die Fertigung des „Unmöglichen“
- Keine Beeinflussung bzw. Limitierung des Produkt- bzw. Werkzeugdesigns durch Werkzeugbewegungen bzw. -zugänglichkeit und Prozesskräfte



(Quelle: Siemens AG)

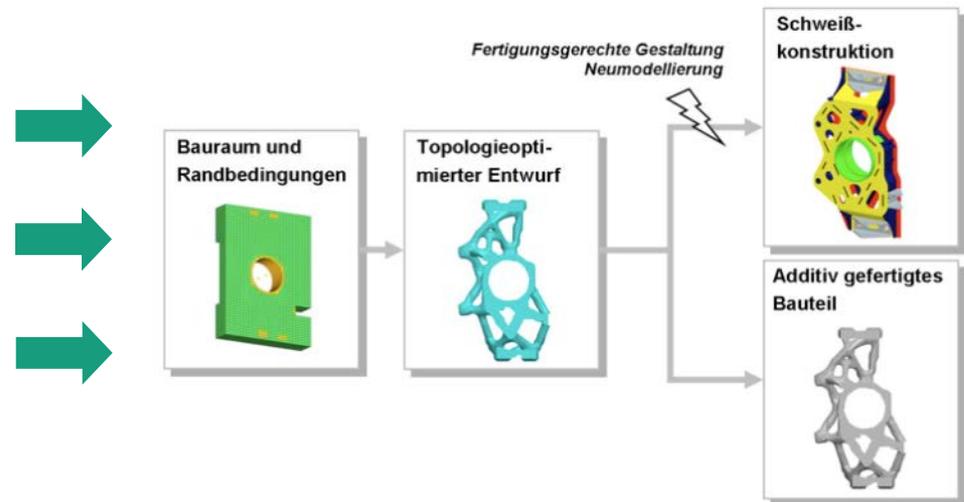
Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

Anwendungsbeispiel 5: Topologieoptimierung im Automobilbau / Motorsport



Radträger (Quelle: Elbflorace Formula Student Team TU Dresden e.V.)

Topologieoptimierung



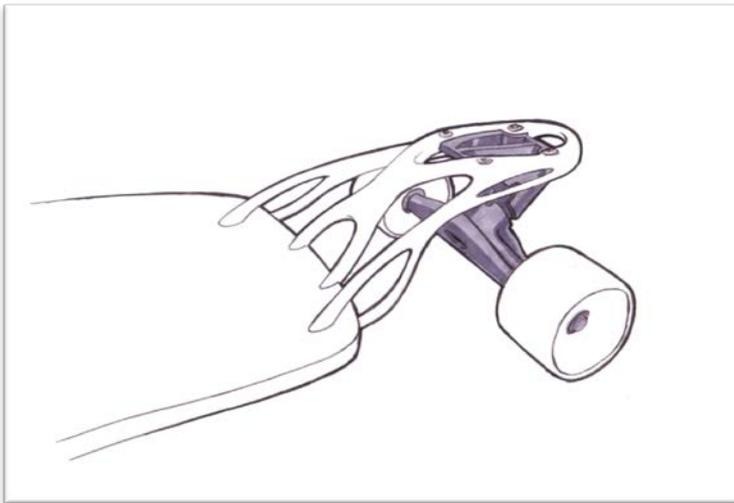
Topologieoptimierung am Beispiel eines Radträgers

(Quelle: Wartzack, Sandro; et al.: Besonderheiten bei der Auslegung und Gestaltung lasergesinterter Bauteile. In: RTEjournal 7(2010))

Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

Anwendungsbeispiel 6: Topologieoptimierung als Designelement

Design-Idee



Topologieoptimierung



- Vereinigung von bionischer Anmutung und notwendiger statischer und dynamischer Festigkeit

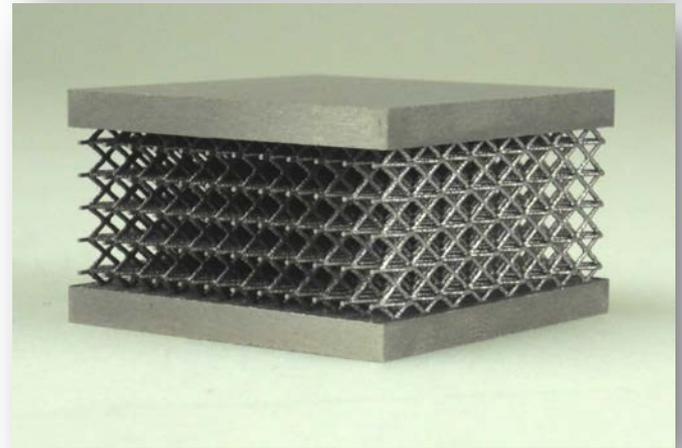
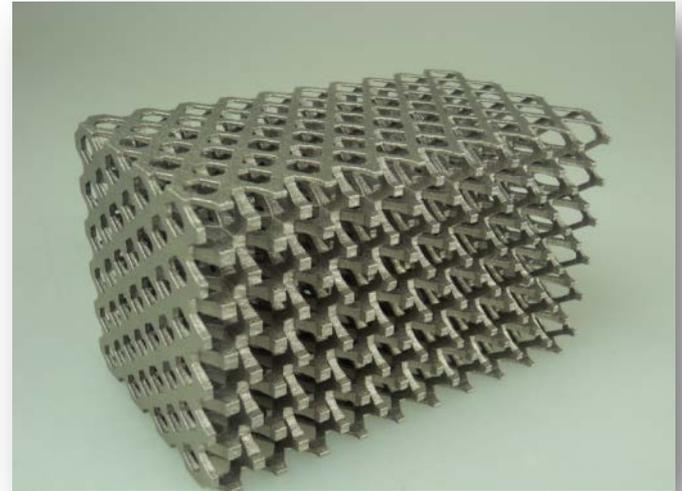
Longboard (Quelle: Chr. Rafoth - Burg Giebichenstein Kunsthochschule Halle)

Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

Anwendungsbeispiel 7: Gitterstrukturen

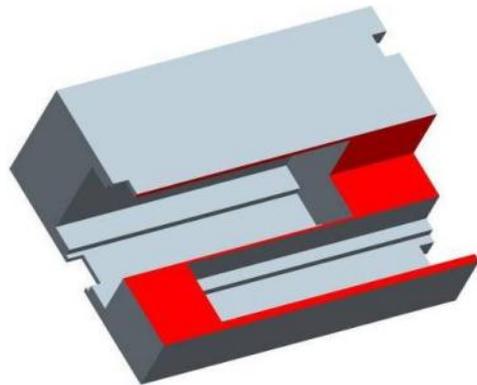
- **Gradierte Gitterstruktur:**
anisotropen Eigenschaften in
X-, Y-, Z-Richtung

- **Sandwich – Struktur:**
Generativer Aufbau in einem
Prozessschritt

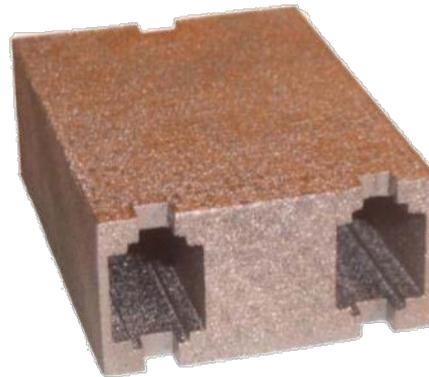


Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

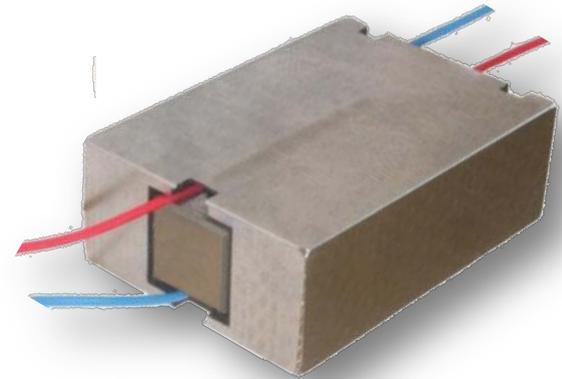
Anwendungsbeispiel 8: Gehäuse für ein adaptronisches Stellsystem



CAD-Modell



generativ gefertigtes Gehäuse
(unbearbeitet)



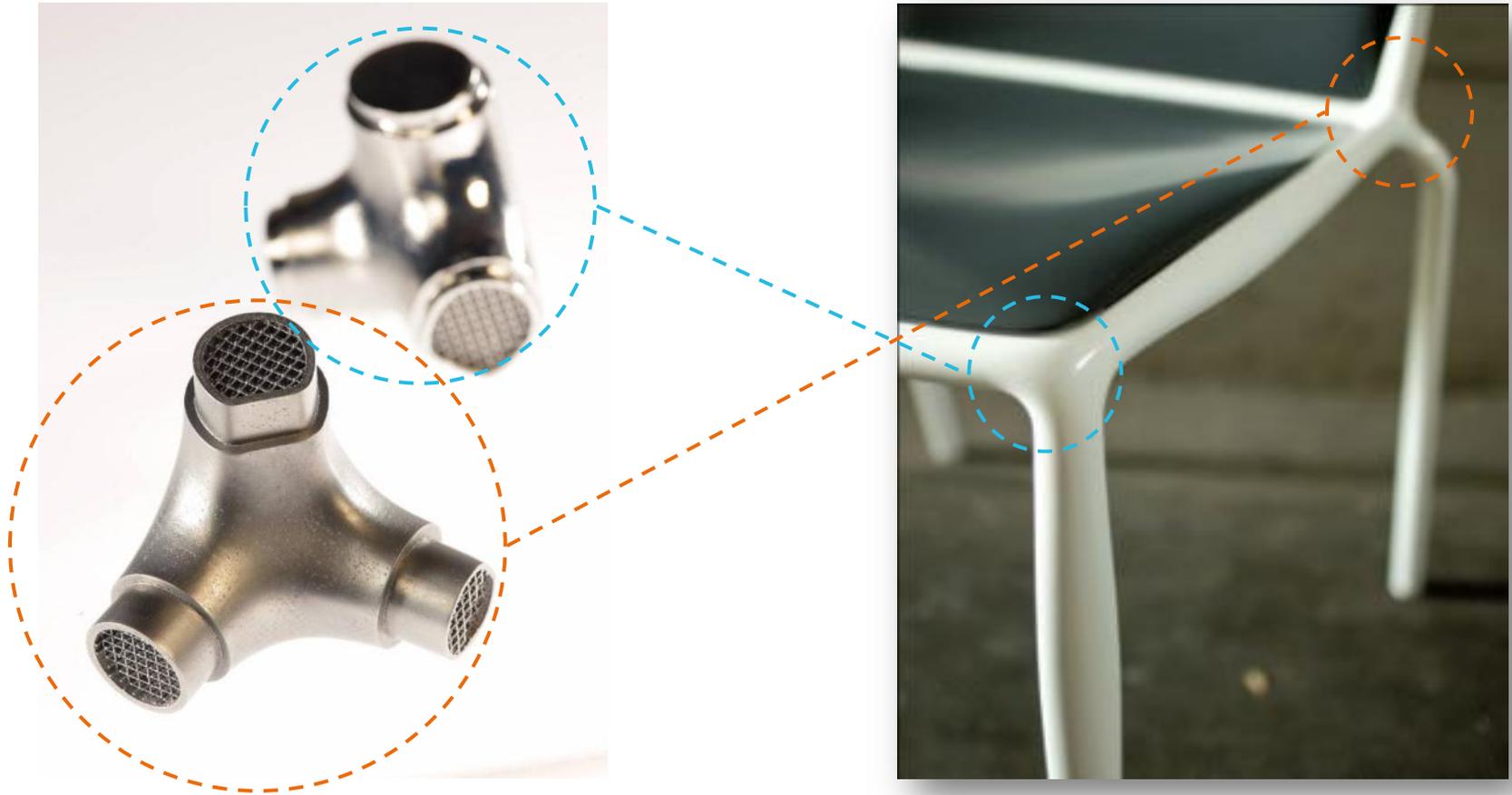
generativ gefertigtes Gehäuse
(geschliffen)

Spezifische Daten:

- Abmaße: 42 x 30 x 15 mm³
- Volumen: 9,7 cm³
- Stückzahl: 4
- Werkstoff: 1.2709
- Schwierigkeit: **0,3 mm** Wandstärke zw. den Taschen

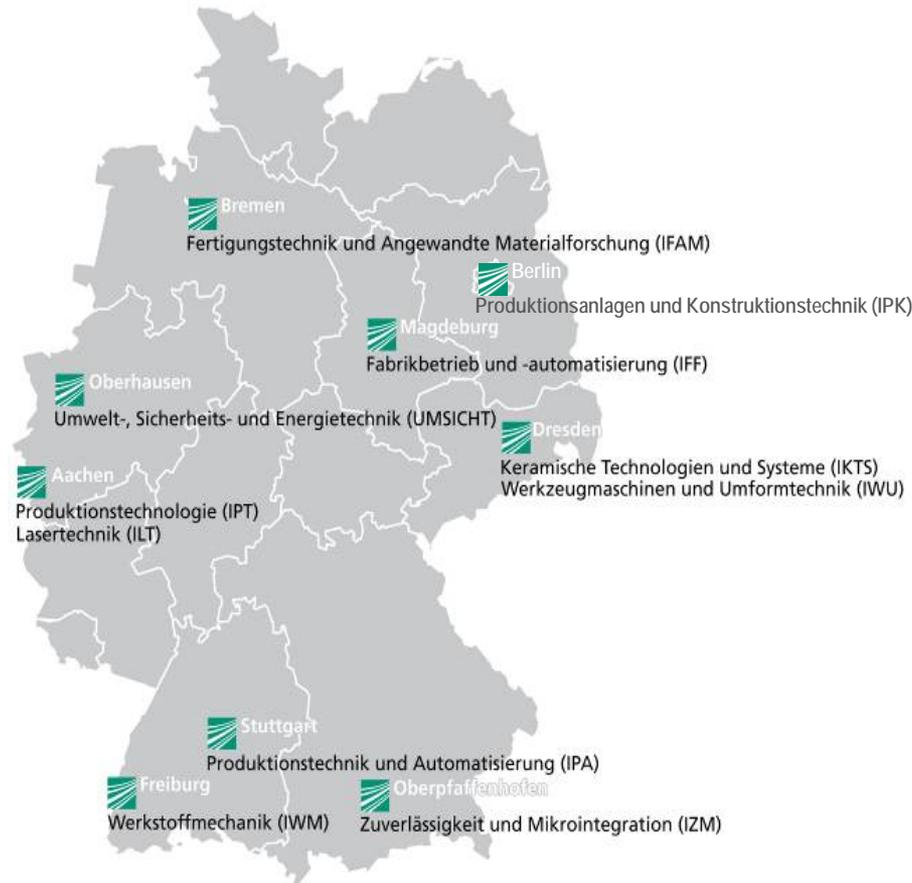
Innovative Leichtbaulösungen mit generativer Fertigung

Anwendungsbeispiel 9: Verbindungselemente für einen Designstuhl



Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung

Eine Allianz – elf Institute



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
c/o Fraunhofer IPT
Steinbachstraße 17
52074 Aachen

Netzwerk Strahlschmelzen

Partner



NETZWERK
STRAHLSCHMELZEN

ALPHAFORM 

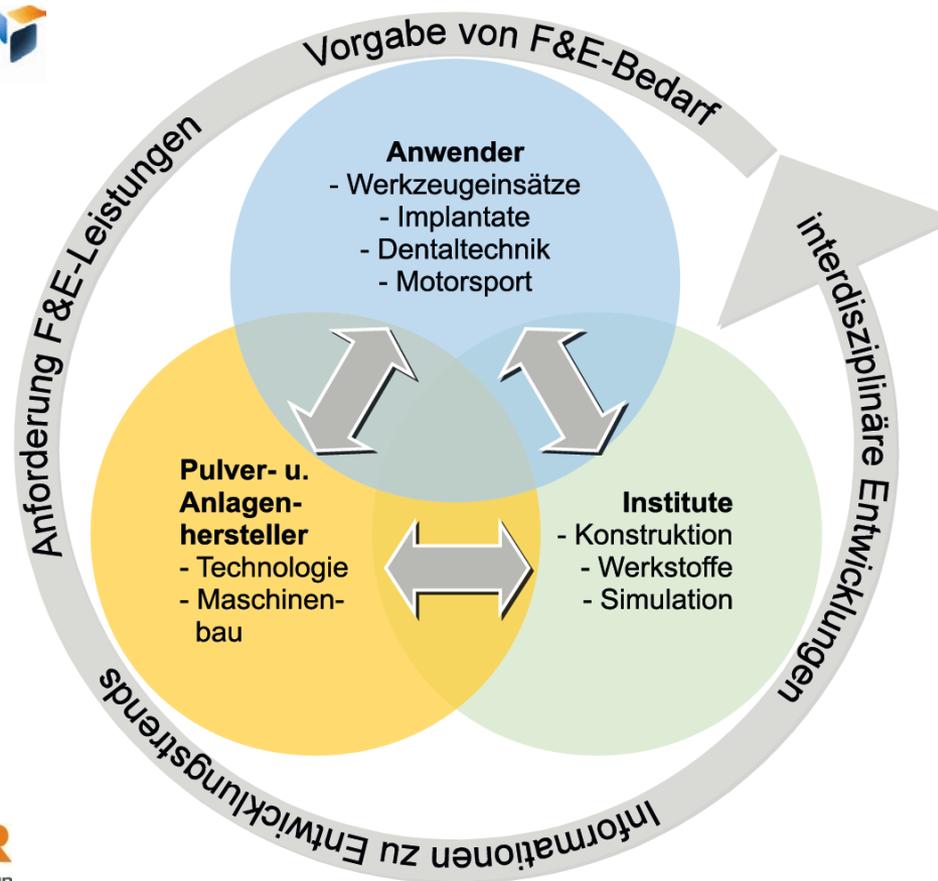
 **citim**

PTZ
PROTOTYPEN ZENTRUM

FKT[®]
Formenbau und
Kunststofftechnik

 **NANOVAL**

CONCEPTLASER
hofmann innovation group



SIEMENS

 **Janke Engineering**

pro forma

IWF
UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Institut für werkzeuglose Fertigung GmbH
An-Institut der Universität Duisburg-Essen

 **TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN** **KTC**

 **Fraunhofer**
IWU

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dipl.-Ing. Thomas Rädels

Wissenschaftlicher Mitarbeiter »Generative Fertigungsverfahren«

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

Postanschrift:

Reichenhainer Str. 88

09126 Chemnitz

Besucheranschrift:

Nöthnitzer Str. 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