

# HITWK

Hochschule für Technik,  
Wirtschaft und Kultur Leipzig



## Tagungsband

3D-Druck in der Anwendung

6. Mitteldeutsches Forum

29. Oktober 2019

ING Fakultät  
Ingenieurwissenschaften

enficos

## **3D-Druck in der Anwendung**

HTWK Leipzig, 29. Oktober 2019

Für die Redebeiträge, die Beiträge zur Kooperationsbörse, die freundliche Unterstützung der Veranstaltung und die Beiträge zum Tagungsband bedanken sich die Organisatoren

Peter Schulze  
Kathrin Schaper-Thoma  
Bernd Schmidt  
Günther Ganß  
Hartmut Stabler

### **Veranstalter**

Hochschule für Technik, Wirtschaft und  
Kultur Leipzig, Fakultät Ingenieurwissenschaften  
Mitteldeutsches Netzwerk Rapid Prototyping-enficos

### **Partner**

Ernst-Abbe-Hochschule Jena  
Hochschule Merseburg  
Hochschule Mittweida

### **Tagungsort**

HTWK Leipzig, Fakultät Ingenieurwissenschaften  
04277 Leipzig  
Karl-Liebknecht-Straße 134

# Inhaltsverzeichnis

Plenarveranstaltung

**„Entwicklungstrends im metallischen 3D-Druck“**

Bernhard Müller und Thomas Töppel, Fraunhofer-Institut für  
Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

Seite 6

**„Opportunities and Chances of Additive Manufacturing - different  
Approaches“**

Eric Klemp

Seite 28

**„Der größte 3D-Drucker der Welt, ein virtuelles Museum und Citizen  
Science 2.0 - Perspektiven einer Naturwissenschaftlichen  
Revolution.“**

Ronny Maik Leder, Stadt Leipzig, Naturkundemuseum Leipzig

Seite 49

Sektion 1 - Hybride Fertigung

**„Ganzheitliche Prozesskette im Additive Manufacturing - von der Idee  
bis zum Fertigteil“**

Rinje Brandis, DMG MORI Academy GmbH

Seite 73

**„Additive Fertigung in der industriellen Prozesskette“**

Florian Feucht, REALIZER GmbH

Seite 73

**„Vorstellung einer Prozesskette zur Fertigung von hochbelastbaren  
Funktionsflächen an SLM-Bauteilen“**

Matthias Horn und Marco Posdich, Laserinstitut Hochschule Mittweida

Seite 74

**„Additive Fertigung mit Lasersintern (SLS): Pulverwerkstoffe und  
Bauteilqualität“**

Manfred Schmid, inspire AG

Seite 88

**„3D-Druck mit faserverstärkten Kunststoffen – Einblicke in Material  
und Prozess“**

Friedrich Zerling, R. Schlimper und R. Schäuble, Fraunhofer-Institut für  
Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS

Seite 99

## Sektion 2 - Biomedizinische und medizintechnische Anwendungen

### **„Biochemische Modifizierung von Chips und Implantaten“**

Annette G. Beck-Sickinger, Universität Leipzig

Seite 110

### **„Neue technologische Strategien und Materialien für den 3D-Druck in biomedizinischen Anwendungen“**

Michaela Schulz-Siegmund und Michael Hacker, Universität Leipzig

Seite 125

### **„Mit Highspeed vom 3D-Scan zum 3D-Druck von orthopädischen Helmschalen“**

Jörg Matthes, Claudius Petzold und Valentin Mauersberger,  
HS Mittweida Fakultät Ingenieurwissenschaften

Seite 136

### **„Entwicklung einer Prozesskette zur Herstellung patientenindividueller 3D-Reichweitenmodulatoren für die Partikeltherapie“**

Michel Layher, A. Hopf, D. Just, J. Bliedtner, Ernst-Abbe-Hochschule Jena;  
U. Weber, C. Schuy, GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH;  
K. Zink, Y. Simeonov, TH Mittelhessen – Institut für Med. Physik und Strahlenschutz – Gießen;  
J. Weißer, Messtronik GmbH – St. Georg Langenschiltach;  
H. Krause, Portec GmbH - Zella Mehlis;  
M. Grimm, R. Kussäther, MedCom Gesellschaft für med. Bildverarbeitung mbH - Darmstadt

Seite 147

### **„Ausgedruckt in einem Guss - 3D-Druck im medizinischen Modellbau“**

Jana Klammer, Forschungszentrum Ultraschall gGmbH

Seite 159

## Sektion 3 - 3D-Druck und Urformtechnik

### **„Anwendung des 3D-Druck in den Prozessen der Gießereiindustrie“**

Norbert Demarczyk, ACTech GmbH

Seite 168

### **„Vom Prototypen zur Serie – die Verbindung von Werkzeugbau, 3D-Druck und 3DScanning als technologische Chance für das Feingießen“**

Gert Pistol, Pistol GmbH

Seite 187

### **„Produktion einsatzfähiger Kleinserien über die additive Fertigung“**

Karl Hoppe, Rapidobject GmbH

Seite 188

**„Numerische Simulation Prozess bedingter Eigenspannungen in 3D-Druckteilen“**

Andreas Krombholz, S. Schwan, J. Klehm, Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS

Seite 205

Sektion 4 - 3D-Druck in der Gesellschaft

**„Rechtliche Aspekte additiver Fertigungsverfahren – alles neu beim Schutz von IP-Rechten, den Liefer- und Leistungsbeziehungen und der Datensicherheit!?“**

Marco Müller-ter Jung, DWF Germany Rechtsanwaltsgesellschaft mbH

Seite 220

**„3D-Erfassung und 3D-Ausgabe in der Kriminaltechnik“**

Rainer Schubert, LANDESKRIMINALAMT SACHSEN

**„3D-Druck - Potentiale für gerichtsverwertbare kriminaltechnische Untersuchungen“**

Stefan Holtzhausen, Technische Universität Dresden

Seite 232

**„Erfahrungsbericht: Die Trumpf TruPrint 1000 im universitären Einsatz aus Anwendersicht“**

Fabian Laufer und Tony Winkler, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Seite 238

# PLENARVORTRAG: Entwicklungstrends im metallischen 3D-Druck

Dr.-Ing. **Bernhard Müller**, Dipl.-Wi.-Ing. (FH) **Thomas Töppel**  
 Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU  
 Abteilung Generative Verfahren



6. Mitteldeutsches Forum „3D-Druck in der Anwendung“, 29. Oktober 2019, Leipzig

© Fraunhofer IWU

**HTWK** Hochschule für Technik,  
Wirtschaft und Kultur Leipzig

**Fraunhofer**  
IWU

1

## Gliederung

- Einführung
  - Die Fraunhofer-Gesellschaft und das IWU
  - Netzwerke und Allianzen zur additiven Fertigung
- Status quo & Entwicklungstrends der additiven Fertigungsverfahren
  - Technologiereifegrad
  - Marktentwicklung
  - Kostenentwicklung
  - Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
  - Serienproduktionstauglichkeit
  - Normen und Richtlinien
- Industrielle Einsatzpotentiale der additiven Fertigung in Metall
  - Funktionsleichtbau
  - Gestaltungsfreiheit
  - Funktionalisierung
- Fazit

© Fraunhofer IWU

**Fraunhofer**  
IWU

2

# Die Fraunhofer-Gesellschaft

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



> 26.000  
Mitarbeiterinnen  
und Mitarbeiter



72 Institute und  
Forschungseinrichtungen



knapp 30%  
Grundfinanzierung  
Bund und Länder

über 70%  
Industrieaufträge,  
Öffentlich finanz.  
Forschungsprojekte

# Das Fraunhofer IWU im Profil

Forschungsstandorte



■ 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:



© Fraunhofer IWU



5

## Netzwerk Strahlschmelzen

### Überblick



- zum 1. Juli 2010 unter Leitung des Fraunhofer IWU gegründet
- Verbund von KMU, Industrie und Forschungseinrichtungen
- bis Mitte 2013 gefördert im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM), heute eigenständige Finanzierung durch die NW-Partner
- einzigartige Bündelung von Know-how entlang der Strahlschmelz-Prozesskette



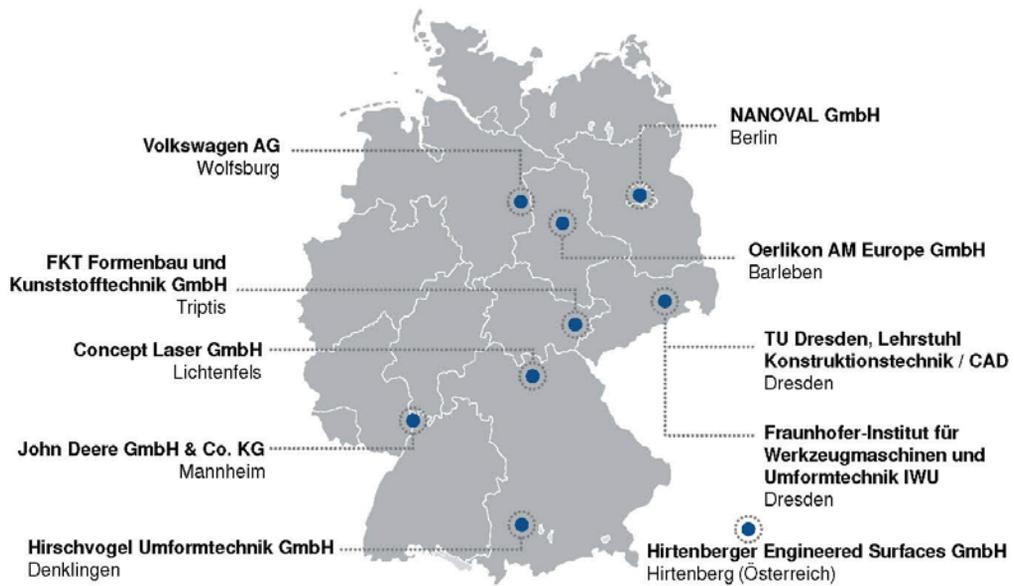
© Fraunhofer IWU



6

# Netzwerk Strahlschmelzen

## Partnerverteilung in Deutschland



© Fraunhofer IWU



# Netzwerk Strahlschmelzen

## Ziele und Arbeitsschwerpunkte



### Informationsaustausch

- Fachvorträge
- Wissensaustausch

### Gemeinsame Forschung und Entwicklung

- Förderprojekte
- Netzwerkinterne Kooperationen

### Gemeinsames Marketing

- Messeauftritte
- Homepage
- Broschüre
- Dienstleistungen

© Fraunhofer IWU



# Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung

Ein Thema – 20 Institute – eine Allianz



- **Produkte**  
Anwendungen entwickeln, konstruieren und auslegen
- **Werkstoffe**  
Materialien entwickeln und adaptieren
- **Technologien**  
Prozesse entwickeln und wirtschaftlich gestalten
- **Qualität**  
Fertigung beherrschen und Reproduzierbarkeit sichern
- **Software und Simulation**  
Algorithmik entwickeln und Simulation effizient einsetzen



Sprecher: Dr. Bernhard Müller

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

© Fraunhofer IWU



# Direct Digital Manufacturing Conference

Fraunhofer DDMC 2020, Berlin, 18.-19. März 2020



## Konferenzschwerpunkte im Kontext der additiven Fertigung:

- Produktentwicklung
- Technologien
- Materialien
- Qualität
- Post Processing
- Software
- Neueste Industrieentwicklungen

**Keynotes:** Hans Langer (EOS), Tim Weber (HP), Greg Fallon (Autodesk), Janne Kyttanen (What The Future)



DDMC 2018 – Zahlen und Fakten:

- 6 Keynotes, 17 Sessions, 58 Vorträge, 12 Poster, Best Paper & Poster Award
- 160 Teilnehmer (häufig Forschung & Industrie) aus 25 Ländern
- Tagungsband im Fraunhofer-Bookshop erhältlich



© Fraunhofer IWU



# Fraunhofer GENERATIV

## NEWS 1.19

**Highlights:**

- Fraunhofer DDMC 2020, 18. - 19. März, Berlin
- Prozessüberwachung & Schmelzbadsimulation
- 3D-Druck von Hartmetallen
- 3D-Druck von Kleinsatelliten-Komponenten

**Online unter:**

<https://www.generativ.fraunhofer.de/de/pressemedien/newsletter.html>

**formnext**

**Sonderausgabe 2.19** erscheint zur  
Besuchen Sie uns: 19. - 22.11.19, Halle **11.0**, Stand **D51**



© Fraunhofer IWU

11



# Status quo & Entwicklungstrends der additiven Fertigungsverfahren



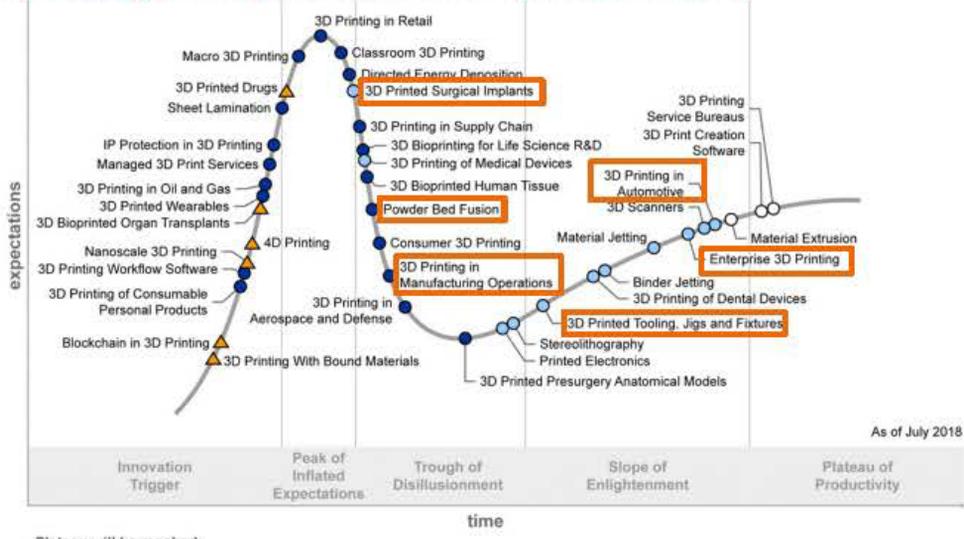
© Fraunhofer IWU

12



# Status quo der additiven Fertigung

## Technologiereifegrad: Einzelne Trends im Fokus



Plateau will be reached:  
 ○ less than 2 years   ● 2 to 5 years   ● 5 to 10 years   ▲ more than 10 years   ⊗ obsolete before plateau

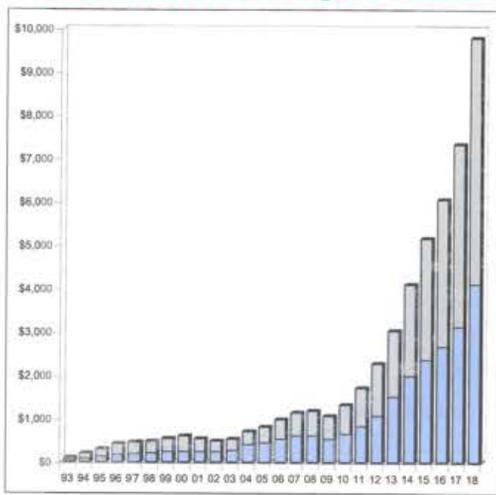
Quelle: Emerging Technology Hype Cycle for the 3D Printing Industry.  
 In: Predicts 2019: 3D Printing Accelerates, While 4D Printing is Getting Started. Gartner Inc., 2018

© Fraunhofer IWM



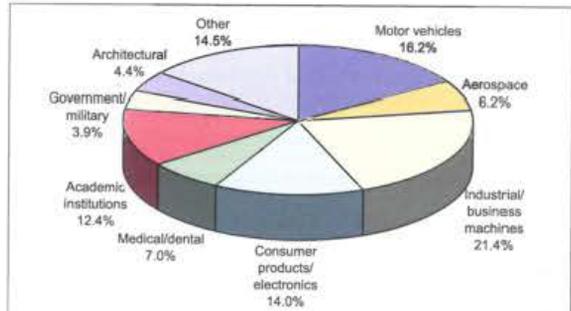
# Status quo der additiven Fertigung

## Marktentwicklung: Direkter AM-Markt (Wachstum & Branchen)



Marktvolumen in Mio. US\$   Source: Wohlers Associates, Inc.

- Produkte (blau) und Dienstleistungen (lila)
- Weltweites Wachstum bei AM-Produkten:  
 2014: + 31,6 %  
 2015: + 18,4 %  
 2016: + 12,9 %  
 2017: + 17,4 %  
 2018: + 31,6 %



Source: Wohlers Associates, Inc.

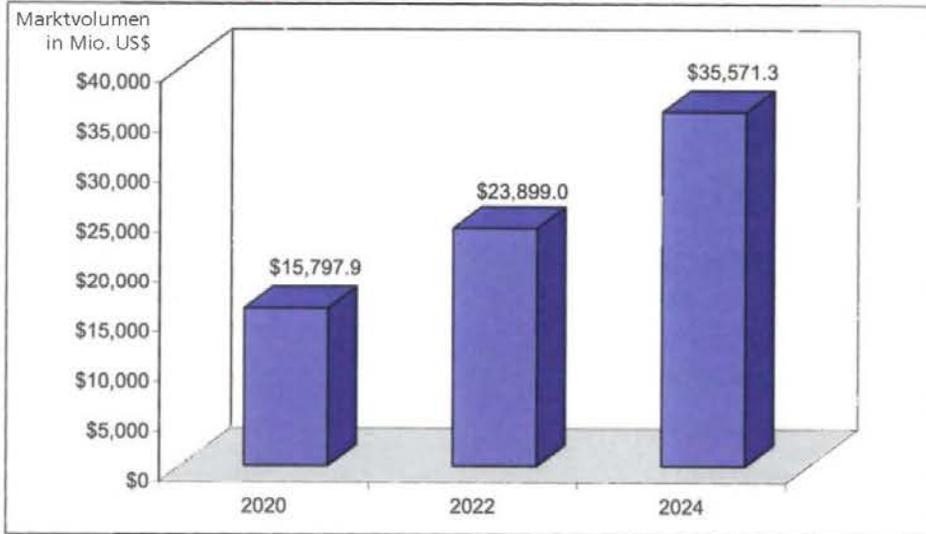
Quelle: Wohlers Report 2019.  
 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry – Annual Worldwide Progress Report. Wohlers Associates Inc., 2019

© Fraunhofer IWM



## Status quo der additiven Fertigung

### Marktentwicklung: Direkter AM-Markt (Wachstumsprognose)



Source: Wohlers Associates, Inc.

Quelle: Wohlers Report 2019.  
3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry – Annual Worldwide Progress Report. Wohlers Associates Inc., 2019

© Fraunhofer IWU



15

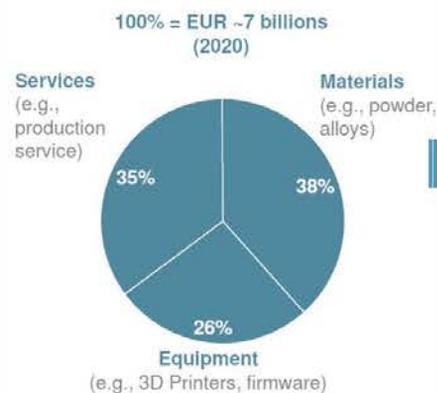
## Status quo der additiven Fertigung

### Marktentwicklung: Indirekter AM-Markt ist noch 10 x größer

The primary AM market size is moderate ...

#### Direct AM market

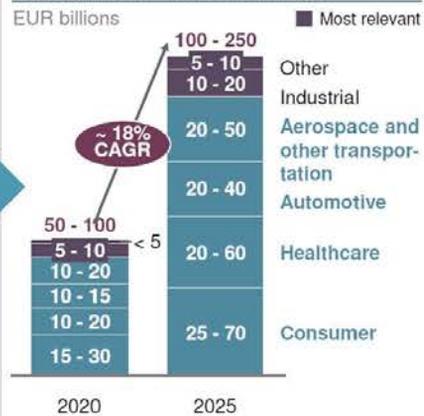
Revenues from materials, equipment, services



... but the total expected value of produced goods and services is significant

#### Economic impact

Value of products and services sold



Quelle: Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy. McKinsey & Company, 2013

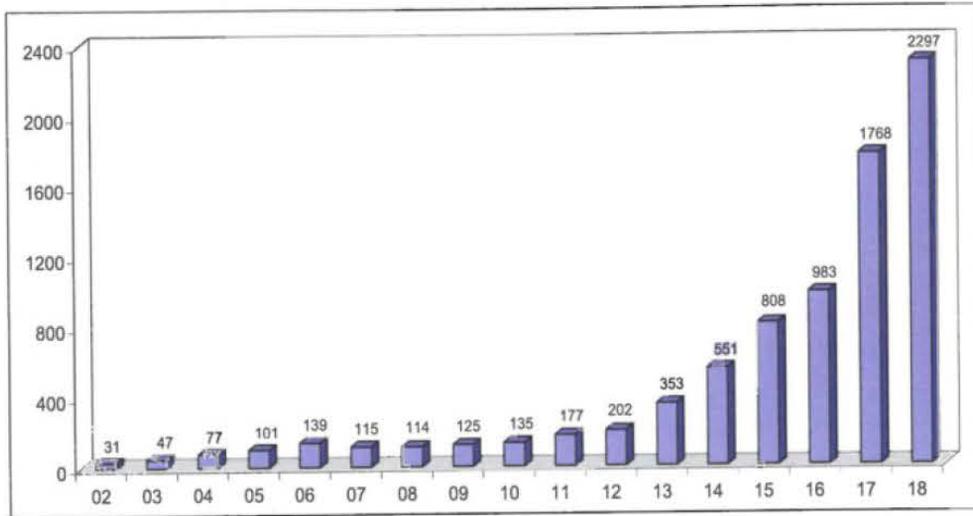
© Fraunhofer IWU



16

## Status quo der additiven Fertigung

### Marktentwicklung: Anlagenverkäufe (Metall-AM)



Source: Wohlers Associates, Inc.

Quelle: Wohlers Report 2019.  
3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry – Annual Worldwide Progress Report. Wohlers Associates Inc., 2019

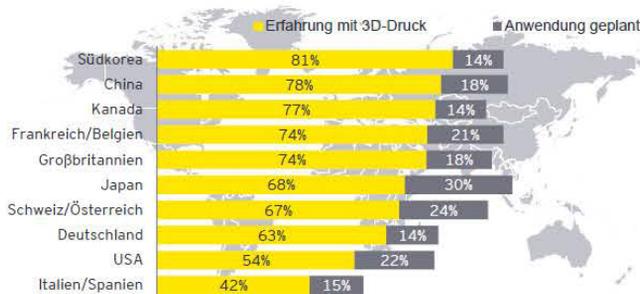
© Fraunhofer IWU



17

## Status quo der additiven Fertigung

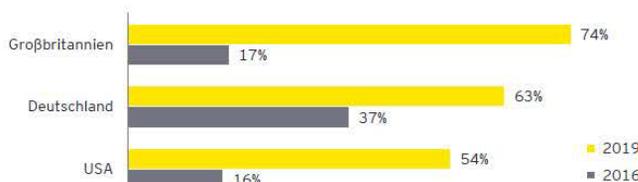
### Marktentwicklung: Deutschland büßt Vorreiterrolle ein



▶ Aktuell weisen **63 Prozent** der deutschen Unternehmen Erfahrung mit 3DP auf, 2016 waren es nur 37 Prozent.

▶ Allerdings hat **Deutschland** damit seine Vorreiterposition vorerst verloren: In **Großbritannien** z.B. ist die Verbreitung im gleichen Zeitraum von 17 Prozent auf 74 Prozent in die Höhe geschneilt.

Erfahrung mit 3D-Druck-Anwendung 2016 und 2019 in ausgewählten Ländern



Quelle: EY's Global 3D Printing Report 2019. Ernst & Young GmbH, 2019

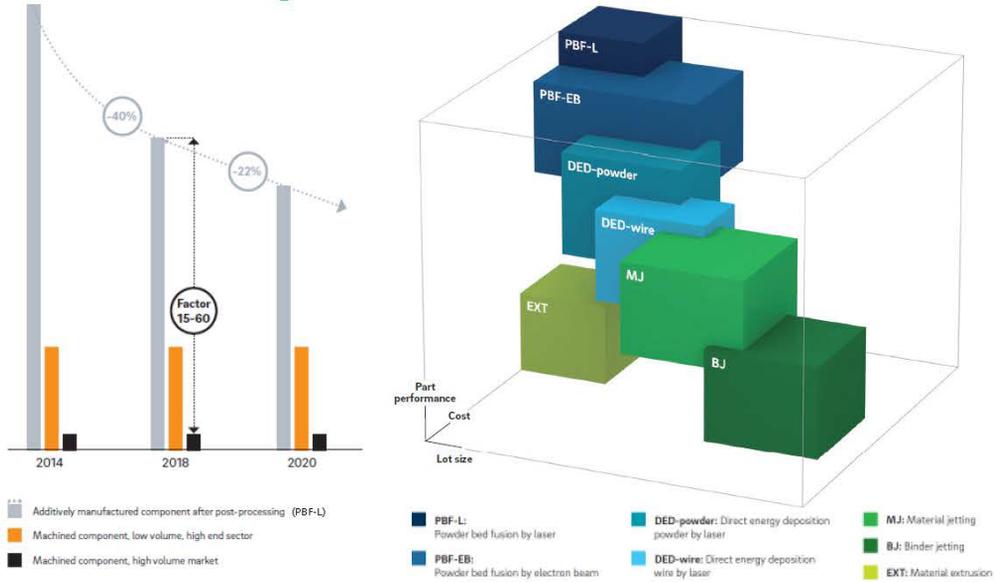
© Fraunhofer IWU



18

## Entwicklungstrends der additiven Fertigung

Kostenentwicklung: Kosten sinken deutlich, aber nicht ausreichend



Quelle: Advancements in metal 3D printing, Beyond powder bed – Additive manufacturing on the brink of industrialization, Roland Berger GmbH, 2018

© Fraunhofer IWU

19

## Entwicklungstrends der additiven Fertigung

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung: Total Lifecycle Cost

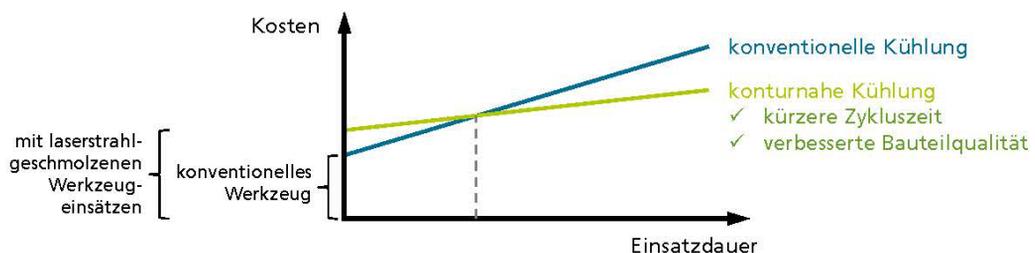
Pulvermaterial: 30 - 600 €/kg

WZ-Stahl ~ 100 €/kg

Maschine: 40 - 80 €/h

Aufbaurrate: 5 - 20 cm<sup>3</sup>/h

WZ-Stahl ~ 15 cm<sup>3</sup>/h



© Fraunhofer IWU

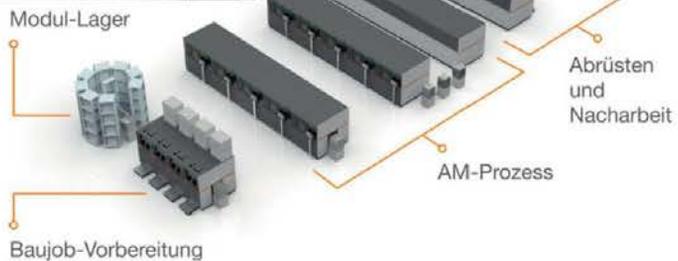
20

# Entwicklungstrends der additiven Fertigung

## Serienproduktionstauglichkeit: AM-Fabrik der Zukunft



AM Factory – Fokus auf das Drucken



Quelle: Concept Laser GmbH

© Fraunhofer IWU

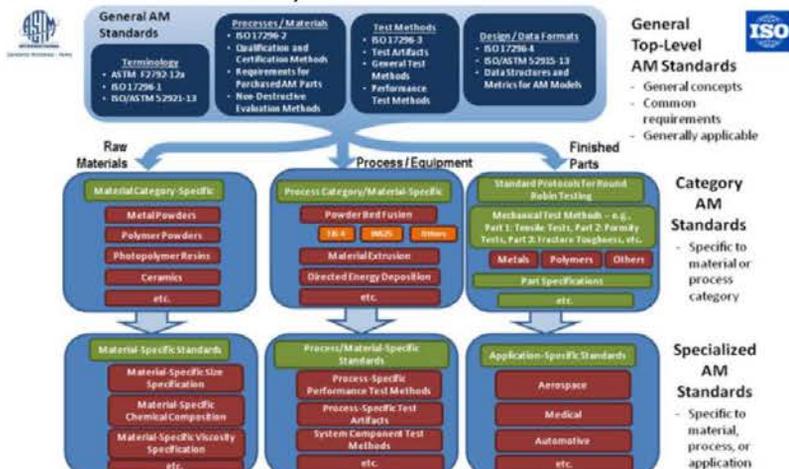


21

# Status quo der additiven Fertigung

## Normen und Richtlinien

- National: VDI-Richtlinienreihe 3405 (vgl. [www.vdi.de/3405](http://www.vdi.de/3405)), DIN NA 145
- International: ISO TC 261, ASTM International F42 Committee



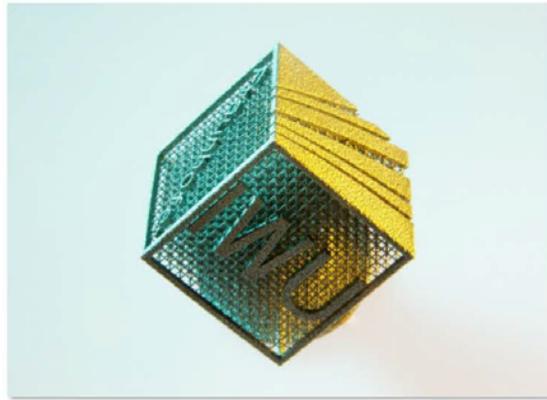
Quelle: Lenz, J.: Standardisierung und Normung industrieller additiver Fertigung. Konferenzbeitrag: BMBF-Technologiegespräch Additive Fertigung, Bonn, 24. Juni 2015

© Fraunhofer IWU



22

# Industrielle Einsatzpotentiale der additiven Fertigung in Metall



## Industrielle Einsatzpotentiale der additiven 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

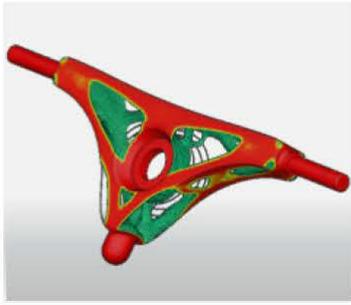
## Industrielle Einsatzpotentiale der additiven Fertigung

### Funktionsleichtbau mittels Topologieoptimierung

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



**3D Pioneers Challenge**  
**Winner 2017**  
 in the categories **Design**  
 and **Best student project**



© Fraunhofer IWU

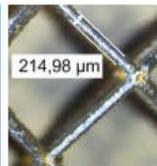
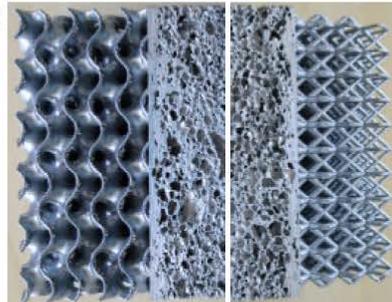
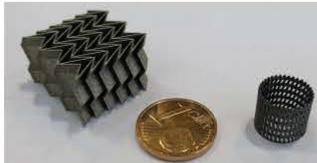
25

**Fraunhofer**  
IWU

## Industrielle Einsatzpotentiale der additiven Fertigung

### Funktionsleichtbau mittels Gitterstrukturen

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



© Fraunhofer IWU

26

**Fraunhofer**  
IWU

# Industrielle Einsatzpotentiale der additiven 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

© Fraunhofer IWU

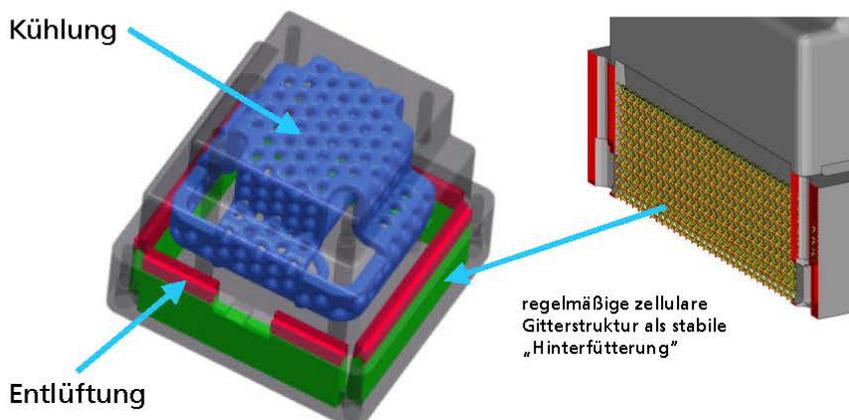


27

# Industrielle Einsatzpotentiale der additiven Fertigung

## Geometrische Funktionalisierung: Kühlung / Entlüftung

Werkzeugeinsatz mit innovativer Flächenkühlung und porösen Entlüftungsstrukturen in Integralbauweise



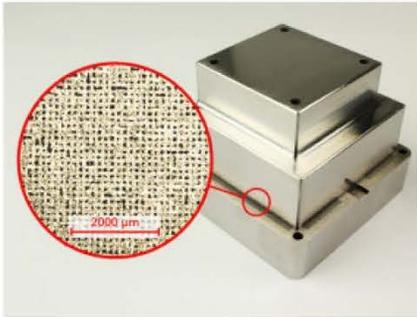
© Fraunhofer IWU



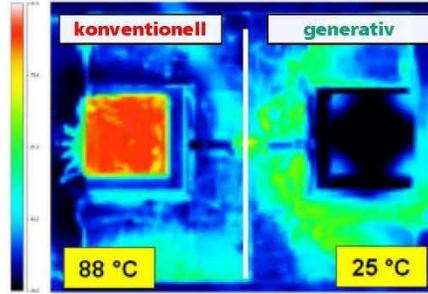
28

# Industrielle Einsatzpotentiale der additiven 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 %**

© Fraunhofer IWU

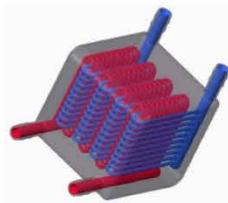
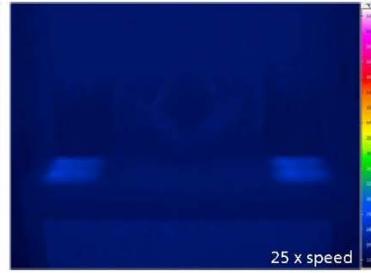
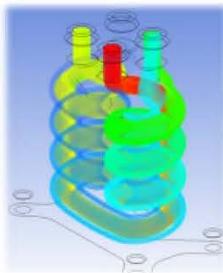


29

# Industrielle Einsatzpotentiale der additiven Fertigung

## Geometrische Funktionalisierung: Wärmetauscher

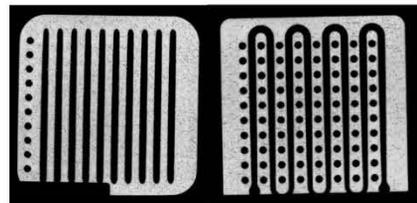
- Entwicklung von Komponenten und Baugruppen zum Thermomanagement
  - Strukturoptimierung
  - Miniaturisierung
  - Leistungssteigerung
  - flexibles, individuelles Design



3D-CAD-Modell Wärmetauscher



Generativ gefertigter Wärmetauscher



Evaluation / Qualitätsprüfung mittels µCT

© Fraunhofer IWU



30

# Industrielle Einsatzpotentiale der additiven Fertigung

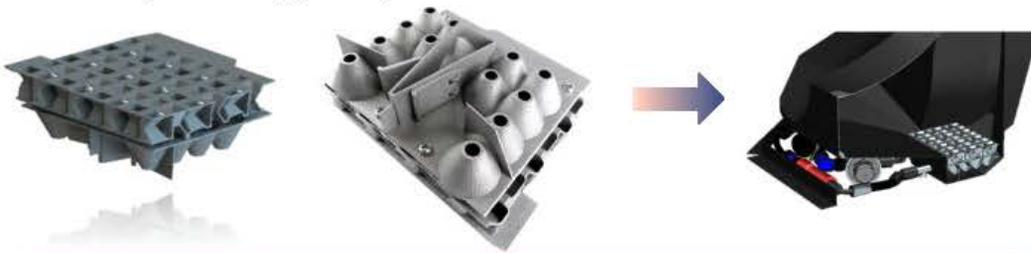
## Geometrische Funktionalisierung: Bewegliche Baugruppen

### Herausforderung:

- Verminderung der Treibstoffbewegung am Ansaugpunkt im Tank
- niedriger Masseschwerpunkt im Fahrzeug
- Minimale Treibstoffreserve (niedriges Fahrzeuggesamtgewicht)

### Lösung:

- Konstruktion: multi-dimensionale Struktur
- richtungsabhängiger Druckaufbau durch Treibstoffklappen (**bewegliche Teile**)
- Material: AlSi10Mg
- Gewicht: 70 g (für Kohlefasertank), 90 g (für Aluminiumtank)



© Fraunhofer IWU

31



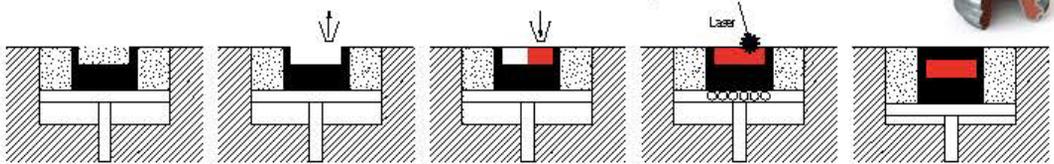
NETZWERK STRAHLSCHELZEN



# Industrielle Einsatzpotentiale der additiven 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

- Verwendung industrieller Siebdruckpasten

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



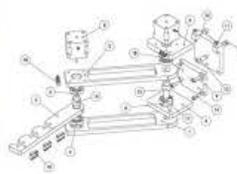
layer thickness of copper paste  
Top: 0.25 mm, Bottom: 0.75 mm



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

© Fraunhofer IWU

32

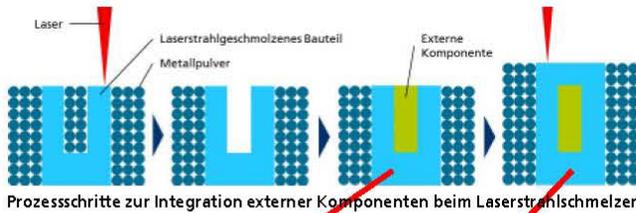


# Industrielle Einsatzpotentiale der additiven Fertigung

## Integrative Funktionalisierung: Sensorintegration

### Lösungsweg:

- Sensorintegration noch während der additiven Fertigung → stoffschlüssig



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

gesteiger.ch

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Kommission für Technologie und Innovation KT



© Fraunhofer IWU



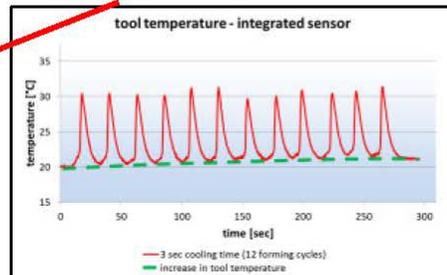
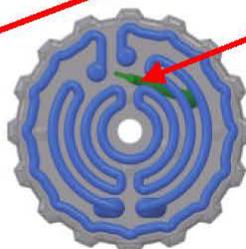
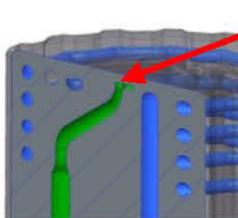
33

# Industrielle Einsatzpotentiale der additiven Fertigung

## Integrative Funktionalisierung: Sensorintegration

### 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

© Fraunhofer IWU



34

## Integrative Funktionalisierung: Sensor-/Aktorintegration

vollkommen hermetisch abgeschlossene und  
werkstofflich verbundene Integration  
des Sensor/Aktor-Systems  
innerhalb des Hüftschafts

Additiv gefertigter Hüftschaft aus Titan

+ Drahtlose Daten- und Energieübertragung

© Fraunhofer IWU

**THERANOSTIC  
IMPLANTS**

**Fraunhofer**  
IKTS

**Fraunhofer**  
IWU

## CT-Aufnahme

Werkstoffliche Verbindung

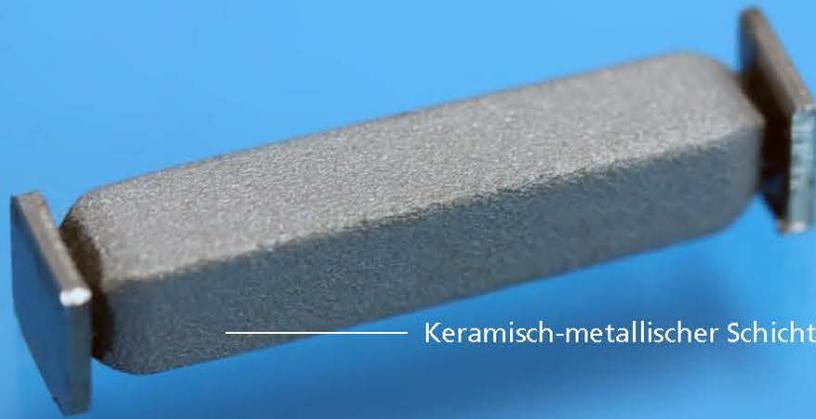
© Fraunhofer IWU

**THERANOSTIC  
IMPLANTS**

**Fraunhofer**  
IKTS

**Fraunhofer**  
IWU

## Sensor/Aktor-System



Keramisch-metallischer Schichtaufbau



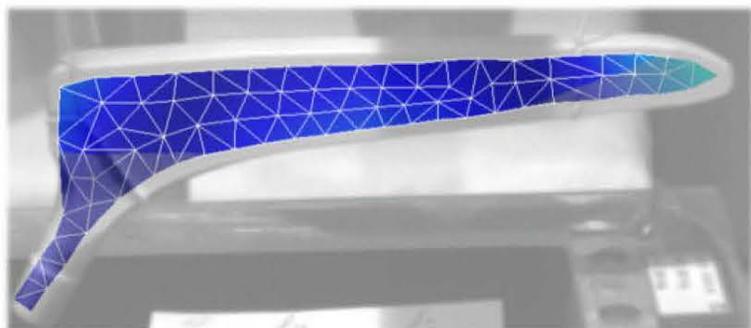
## Simulation/FEM und 3D-Scanning-Vibrationsmessung



Simulation

Frei oszillierendes System im aktivierten Aktor-Modus

Experiment



# Integration via Laser-Strahlschmelzen / Metall-3D-Druck



© Fraunhofer IWU

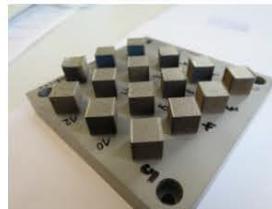
39



## Werkstoffqualifizierung für die additive Fertigung Einsatzstähle

1.7131  
16MnCr5

1.2764  
X19NiCrMo4



- Anwendungspotential u. a. in der Getriebetechnik, z. B. für Leichtbau- und funktionsintegrierte Zahnräder, Werkzeug- und Formenbau (Spritzguss)
- dichtes, homogenes Werkstoffgefüge (0,06% Porosität)
- mechanische Kennwerte: ~40 HRC wie gebaut, weitere Untersuchungen inkl. Einsatzhärten laufen

© Fraunhofer IWU

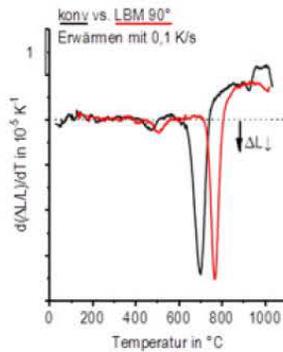
40



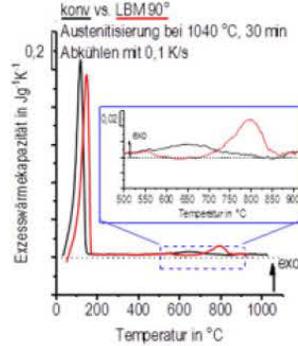
# Entwicklung spezifischer Wärmebehandlungsstrategien für additiv gefertigte Bauteile

## Motivation

- je nach Werkstoff teilweise deutliche Unterschiede zwischen additiv und konventionell gefertigten Bauteilen
  - additiv verarbeitete Werkstoffe zeigen temperaturverschobene Phasenumwandlungen, veränderte Umwandlungsintensitäten und zusätzliche Reaktions-Peaks



Dilatometerkurve beim Erwärmen des Stahls X5CrNiCuNb16-4 (17-4 PH)



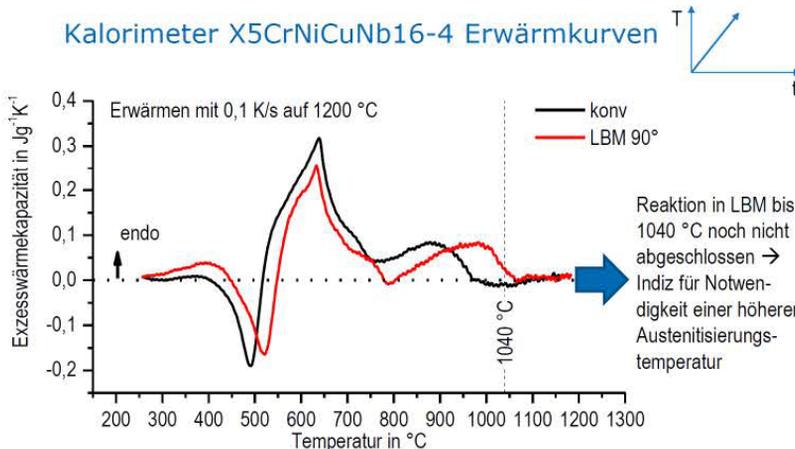
Kalorimeterkurve beim Abkühlen des Stahls X5CrNiCuNb16-4 (17-4 PH)

# Entwicklung spezifischer Wärmebehandlungsstrategien für additiv gefertigte Bauteile

## Ergebnis

- Wärmebehandlung (Lösungsglühen) für bspw. additiv verarbeiteten X5CrNiCuNb16-4 (17-4 PH) muss bei höheren Temperaturen durchgeführt werden

### Kalorimeter X5CrNiCuNb16-4 Erwärmlinien



## Fazit

- Additive Fertigung ist im Kommen!
- Sie wird die Produktionstechnik verändern und sinnvoll ergänzen.
- Völlig neue gestalterische und funktionale Möglichkeiten ergeben sich durch 3D-Druck-gerechte Konstruktion von komplexen Bauteilen und Produkten.
- Es gilt wesentliche Herausforderungen zu meistern, um die additive Fertigung als industrietaugliche Serienfertigungstechnologie in der Breite zu etablieren.
- Additive Fertigung ist eine Chance für den Wirtschaftsstandort Deutschland und keine Bedrohung für klassische und kleine und mittelständische Betriebe, wenn man die Herausforderung annimmt!
- Die erfolgreiche Anwendung von 3D-Druck erfordert grundsätzliches, radikales Umdenken in der Produktentwicklung.
- Additive Fertigung in Metall – als Strukturwerkstoff komplexer Hochleistungsprodukte (Automobil, Flugzeug, Energiemaschine, Implantat, Werkzeug) – hat besonderes Potenzial zur breiten industriellen Anwendung.
- Deutschland muss seine Pionierrolle in der Erforschung, Entwicklung und Anwendung additiver Fertigungstechnologien durch gezielte Förderung zurückgewinnen!

© Fraunhofer IWU

43



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

Fragen?



© Fraunhofer IWU

44



**Dr.-Ing. Bernhard Müller**

Abteilung »Generative Verfahren«  
Sprecher Fraunhofer-Allianz GENERATIV

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](mailto:bernhard.mueller@iwu.fraunhofer.de)



**Dipl.-Wi.-Ing. (FH) Thomas Töppel**

Abteilung »Generative Verfahren«  
Gruppenleiter Prozesstechnik

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

Nöthnitzer Strasse 44 | 01187 Dresden  
Telefon: + 49 (0) 3 51 / 47 72-21 52  
Fax: + 49 (0) 3 51 / 47 72-23 03  
E-Mail: [thomas.toeppel@iwu.fraunhofer.de](mailto:thomas.toeppel@iwu.fraunhofer.de)



# Opportunities and Chances of Additive Manufacturing – different Approaches

Möglichkeiten und Chancen Additiver Fertigungsverfahren

1

## Gibt es Außerirdische?



29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klomp

3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

2

2

## Inhalt

1. Additive Fertigungsverfahren
2. Die Prozesskette
3. Herausforderungen
4. Anwendungen
  - a. Prototypen
  - b. Werkzeuge
5. Zusammenfassung

## Inhalt

- 1. Additive Fertigungsverfahren**
2. Die Prozesskette
3. Herausforderungen
4. Anwendungen
  - a. Prototypen
  - b. Werkzeuge
5. Zusammenfassung

# 1. Additive Fertigungsverfahren

## Prozessketten

CAD-Modell

Additiver  
Fertigungs-  
prozess

Transfer-modell

Folgeprozess

Einsatzfähiges  
Bauteil

CAD-Modell

Additiver  
Fertigungsprozess

Folgeprozess

Einsatzfähiges  
Bauteil

CAD-Modell

Einsatzfähiges  
Bauteil

Quelle: Vorlesung AM, Klomp, Uni Paderborn

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klomp
3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum
5

5

# 1. Additive Fertigungsverfahren

## Modelle und VDI 2221

**Phasen der VDI 2221**

Phase I

Phase II

Phase III

Phase IV

**Vorgehen nach VDI 2221**

1. Klärung der Aufgabenstellung
2. Ermitteln von Funktionen und Strukturen
3. Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen
4. Gliedern in realisierbare Module
5. Gestalten der nutzgebenden Module
6. Produktgestaltung
7. Ausarbeitung

**Modelle in der Produktentwicklung**

Proportionsmodell

Ergonomiemodell

Designmodell

Funktionsmodell

Prototyp

Muster

**Weg der Idee zum Produkt**

Idee

Marketing & Design

Entwicklung & Konstruktion

Produktionsplanung

Produktion

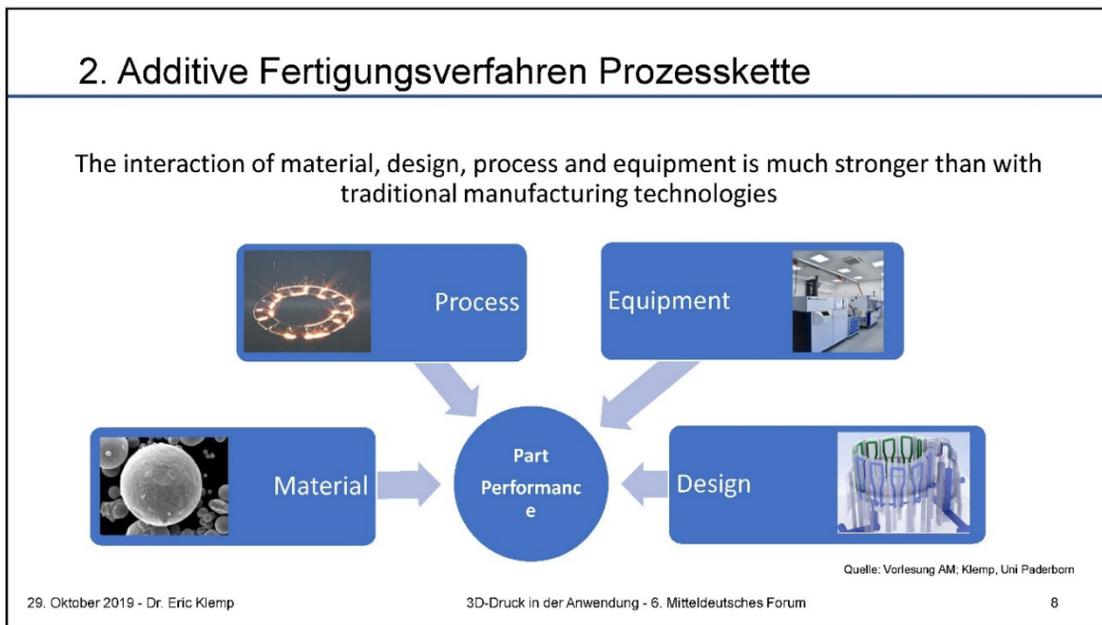
Quelle: Vorlesung AM, Klomp, Uni Paderborn

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klomp
3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum
6

6

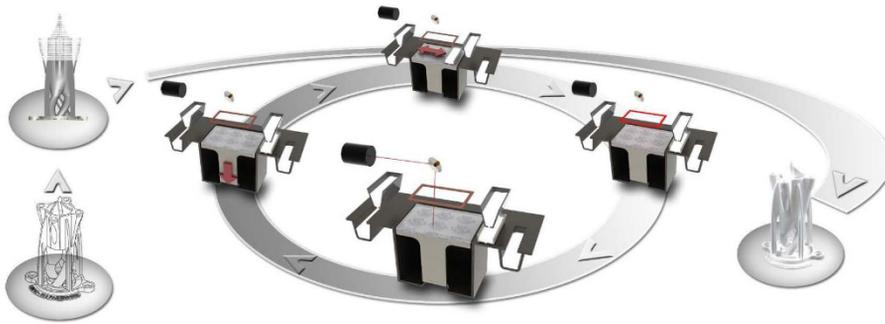
<h1>Inhalt</h1>
<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Additive Fertigungsverfahren</li> <li><b>2. Die Prozesskette</b></li> <li>3. Herausforderungen</li> <li>4. Anwendungen             <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Prototypen</li> <li>b. Werkzeuge</li> </ul> </li> <li>5. Zusammenfassung</li> </ul>
<p>29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp <span style="float: right;">3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum <span style="float: right;">7</span></span></p>

7



8

## 2. Additive Fertigungsverfahren Prozesskette



Quelle: Vortagung AM; Klomp, Uni Paderborn

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klomp

3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

9

9

## Inhalt

1. Additive Fertigungsverfahren
2. Die Prozesskette
- 3. Herausforderungen**
4. Anwendungen
  - a. Prototypen
  - b. Werkzeuge
5. Zusammenfassung

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klomp

3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

10

10

### 3. Herausforderungen Herausforderungen und Industrien



Quelle: Vorlesung AM; Klemp, Uni Paderborn

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp

3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

11

11

### 3. Herausforderungen Herausforderungen und Möglichkeiten und Chancen

**Industries**  
**Mass Customization**      *Protection against Product Piracy*      **Complex Geometries**  
*Functional Driven Design*      **Green Production**      *Sustainability*      **Federal Support**  
**Process Integration**      *Value-added Networks*      **Standardization**  
*New Materials*      *New Kinds of Value Chains*      *Resource Scarcity*  
**Regulations**      **New School of Design**      **New Business Models**      **Individuality**  
*Quality Assurance*      *Spare Part Business*      *Urbanization*

➤ Aerospace Industry      ➤ Automotive Industry      ➤ Electronics Industry      ➤ Global Environment

Quelle: Vorlesung AM; Klemp, Uni Paderborn

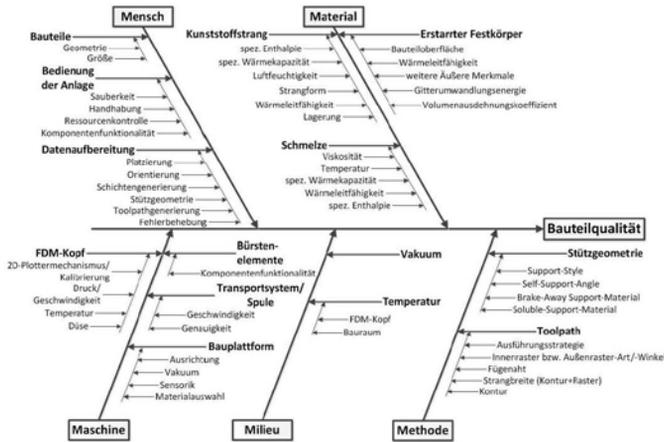
29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp

3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

12

12

### 3. Herausforderungen Ishikawa - FDM



Quelle: Vorlesung AM; Klomp, Uni Paderborn

### Inhalt

1. Additive Fertigungsverfahren
2. Die Prozesskette
3. Herausforderungen
- 4. Anwendungen**
  - a. Prototypen
  - b. Werkzeuge
5. Zusammenfassung

## 4. Anwendungen Prototypen



Quelle: Vorlesung AM; Klemp, Uni Paderborn

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp

3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

15

15

## 4. Anwendungen Prototypen

Bildquelle: Messe Erfurt GmbH, Fotografin Barbara Neumann

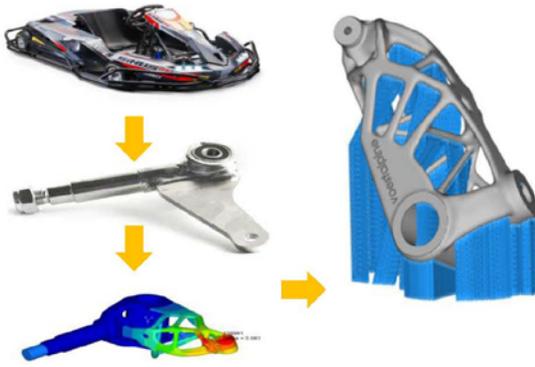
29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp

3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

16

16

### 4. Anwendungen TOPOLOGY OPTIMIZATION CHALLENGES



Topology optimizations may allow great material reduction and structural improvement

Building direction is crucial for post processing

Afterwards structural editing and newly analysis

Quelle: vAMC GmbH

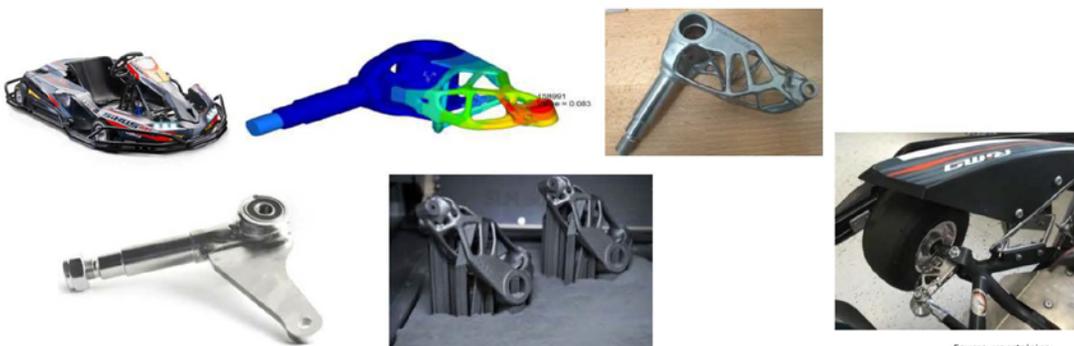
29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klomp

3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

17

17

### 4. Anwendungen Technology Showcase - lightweight



Source: voestalpine

Quelle: vAMC GmbH

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klomp

3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

18

18

### 4. Anwendungen

#### Motorhaubenscharnier

- » **Toolless high flexible manufacture**
  - » Investment minimal for small series
  - » update-capable production
- » **Ultra lightweight design**
  - » CAE topology optimization
  - » AM just ultra-lightweight design
- » **Maximal functional integration**
  - » Fragile structure for freedom of movement
  - » No complex kinematics



- » Tool-free high flexible manufacturing
- » Ultra lightweight design
- » Maximal functional integration
- » Sustainability & resource efficiency



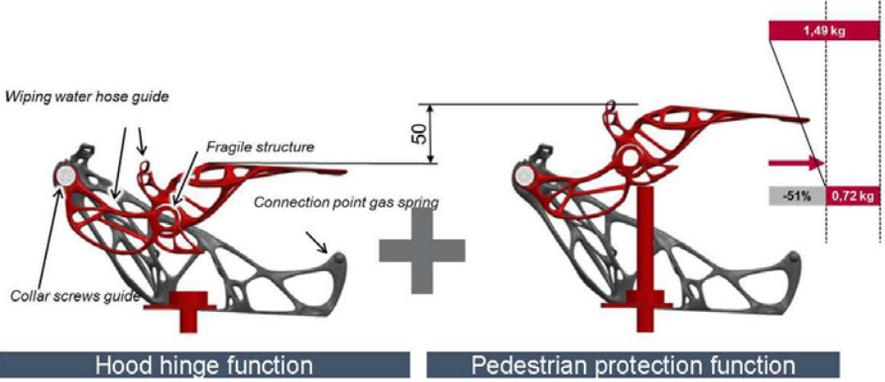
Quelle: voestalpine, EDAG, simufact

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp      3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum      19

19

### 4. Anwendungen

#### Motorhaubenscharnier -Funktionalität



Hood hinge function

Pedestrian protection function

Quelle: voestalpine, EDAG, simufact

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp      3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum      20

20

### 4. Anwendungen

#### Motorhaubenscharnier - Gewichtsoptimierung

» **Topology analysis** without consideration

- a. of the functional integration
- b. of the manufacturing concept

brings the design engineer on a "wrong mechanical track"



Principle "breakaway structure" instead of "kinematics"  
= Success factor for weight minimization

Quelle: voestalpine, EDAG, simufact

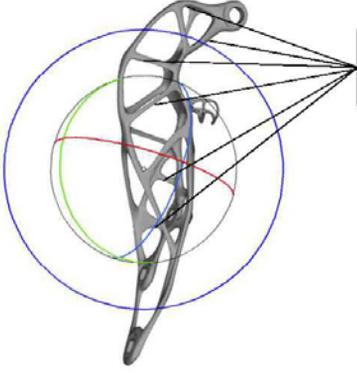
29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klomp      3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum      21

21

### 4. Anwendungen

#### Motorhaubenscharnier - Topologieoptimierung

Build direction for a minimal amount of support



Support essential areas

Quelle: voestalpine, EDAG, simufact

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klomp      3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum      22

22

**4. Anwendungen**  
 Motorhaubenscharnier - Topologieoptimierung

Linking area with breaking points

„window“ like narrowing

Separate bodys for supporting lattice

Quelle: voestalpine, EDAG, simufact

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp      3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum      23

23

**4. Anwendungen**  
 Motorhaubenscharnier - Topologieoptimierung

Quelle: voestalpine, EDAG, simufact

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp      3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum      24

24

### 4. Anwendungen

#### Motorhaubenscharnier - Topologieoptimierung

**Experience based knowledge**  
 Conceptual Design  
 Part orientation

**Simulative based knowledge**  
 Adaptation constructive design  
 Component alignment in LAM chamber

Quelle: voestalpine, EDAG, simufact

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp      3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum      25

### 4. Anwendungen

#### Motorhaubenscharnier - Funktionalität

- Degrees of freedom for designers: they enable the integration of an active hood function in the flat design of the front end
- Breakaway fractal structure acts as an ultra-light, printed kinematics in interaction with the pyrotechnic triggered spring elements
- Active bonnet will lift approx. 50 mm in the area of the hinges

Quelle: voestalpine, EDAG, simufact

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp      3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum      26

## 4. Anwendungen Motorhaubenscharnier - Optimierungen



Quelle: SLM Solutions, Lübeck

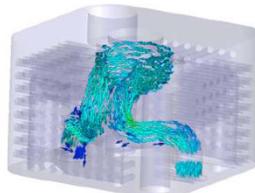
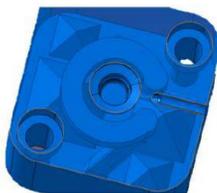
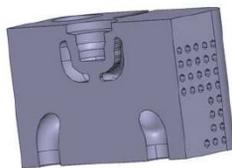
29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klomp

3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

27

27

## 4. Anwendungen Spritzgussform – Konturnahe Kühlung



### APPLICATION

Plastic injection molding tool with conformal cooling

### AM ADVANTAGES

- Reduced cooling time **20s → 6s**
- Simulation and advanced channel design\* guarantees best performance
- Lightweight design\*\* to reduce cooling losses and reduce printing time



Quelle: voestalpine, Eisenhuth

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klomp

3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

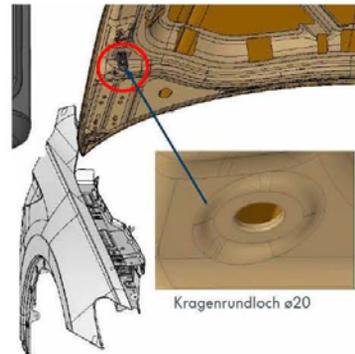
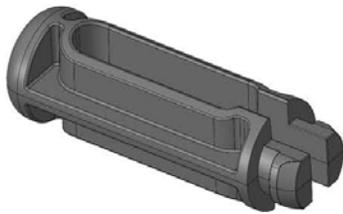
28

28

## 4. Anwendungen

### Spritzgussform – Konturnahe Kühlung

- Application: Tooling insert for plastic injection moulding
- Product: distance pieces for the automotive industry



Kragenrundloch ø20

**EISENHÜTH**

Quelle: voestalpine, Eisenhuth

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp

3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

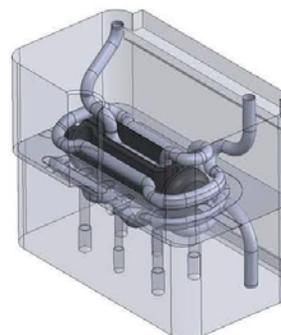
29

29

## 4. Anwendungen

### Spritzgussform – Konturnahe Kühlung

- Made of Polyamide 66
- Ribs and certain massive areas need conformal cooling to reduce cooling time and warpage



**EISENHÜTH**

Quelle: voestalpine, Eisenhuth

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp

3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

30

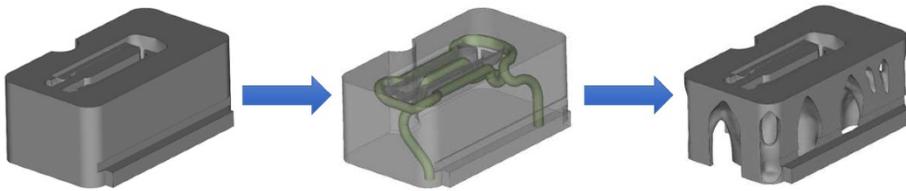
30

## 4. Anwendungen

### Spritzgussform – Konturnahe Kühlung

Light weight design for lower material & machine costs

- 1.Design of cooling channels
- 2.Topology optimization to reduce the mass
- 3.Additive Manufacturing with Uddeholm AM Corrax



Quelle: voestalpine, Eisenhuth

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp

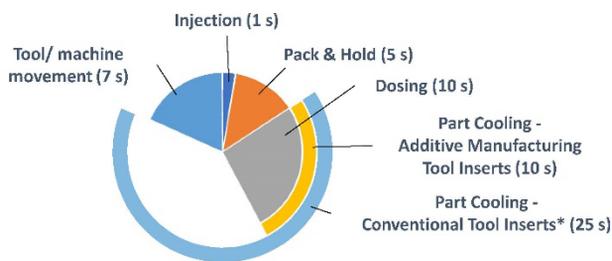
3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

31

31

## 4. Anwendungen

### Spritzgussform – Konturnahe Kühlung



**→ Cooling time reduced by 60 % (25 s to 10 s)**  
**Cycle Time reduced by 40 % (38 s to 23 s)**

\*Customer Reference Part



Quelle: voestalpine, Eisenhuth

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp

3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

32

32

## 4. Anwendungen Spritzgussform – Konturnahe Kühlung



Variable	Original with Conformal Cooling	Topology Optimized with Conformal Cooling
Mass (kg)	2,3	1,5
Additive Manufacturing time per part (h)	19,5	13,4

 **35% less material and 31 % less machine costs**



Quelle: voestalpine, Eisenhuth

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp

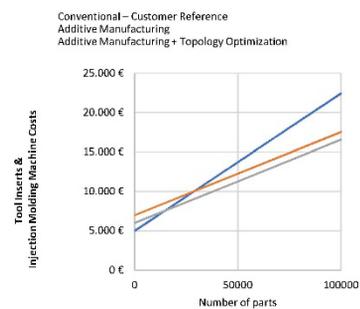
3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

33

33

## 4. Anwendungen Spritzgussform – Konturnahe Kühlung

Version:	Conventional	AM	AM + Topology Optimization
<b>A. AM Costs (€):</b> (Machine time, Material)	-	3200	2200
<b>B. Tool making cost (€):</b> (HT, hard machining, eroding, adjusting etc.)	-	3800	3800
<b>C. Costs of tool inserts (€), (A+B)</b>	5000	7000	6000
<b>D. Injection Molding Machine Costs per hour (€/h)</b>	16,5		
<b>E. Cycle Time per part (s)</b>	38	23	
<b>F. Production (Number of parts per year)</b>	50000		
<b>G. Tool insert &amp; Injection molding machine costs/part during first year (€)</b>	0,27	0,25	0,23



Quelle: voestalpine, Eisenhuth

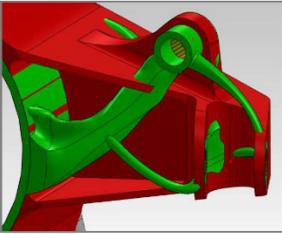
29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp

3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

34

34

### 4. Anwendungen Produktschutz


i

Einzige Konstruktion!

Produktion ausschließlich mittels AM

Dr. Ingrid M. Hentsch  
 Additive Manufacturing  
 it's owl

Quelle: Vorlesung AM; Klomp, Uni Paderborn

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klomp

3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

35

35

### 4. Anwendungen Produktschutz



- How to mark efficiently?
- How to produce robustly?
- How to scan over lifecycle?




Additive  
 Marking

Quelle: Additive Marking

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klomp

3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

36

36

<h1>Inhalt</h1>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Additive Fertigungsverfahren</li> <li>2. Die Prozesskette</li> <li>3. Herausforderungen</li> <li>4. Anwendungen             <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Prototypen</li> <li>b. Werkzeuge</li> </ul> </li> <li><b>5. Zusammenfassung</b></li> </ul>	
29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp	3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum
	37

37

<h2>5. Zusammenfassung</h2>	
<h3>Möglichkeiten und Chancen</h3>	
<p><b>Nein!</b> Diese Bauteile können in besserer Qualität zu geringeren Kosten mit konventionellen Fertigungsmethoden hergestellt werden.</p>	<p><b>JA!</b> Diese Bauteile besitzen eine hohe Komplexität und sind somit geeignet, in vergleichbarer Qualität zu geringeren Kosten in AM hergestellt zu werden (vorausgesetzt, die Konstruktion ist angepasst).</p>
29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp	3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum
	Quelle: Vorlesung AM, Klemp, Uni Paderborn 38

38

## 5. Zusammenfassung

### Chancen



Quelle: Vonesung AM, Klemp, Uni Paderborn

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp

3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

39

39

## 5. Zusammenfassung

### Do's und Don'ts

Don't try to use AM for parts which are dedicated to other manufacturing technologies!

AM is only economically if you can  
**add value** to the part!

29. Oktober 2019 - Dr. Eric Klemp

3D-Druck in der Anwendung - 6. Mitteldeutsches Forum

40

40

Danke  
Thank you

*How far can you imagine?*

41

## Kontakt

Dr. Eric Klemp

[eric@klemp-online.de](mailto:eric@klemp-online.de)

+49 172 4047030

42

3D-DRUCK IN DER ANWENDUNG - 6. MITTELDEUTSCHES FORUM

**DER GRÖßTE 3D-DRUCKER DER WELT, EIN VIRTUELLES MUSEUM UND SCITIZEN SCIENCE 2.0**

PERSPEKTIVEN EINER NATUR- WISSENSCHAFTLICHEN REVOLUTION



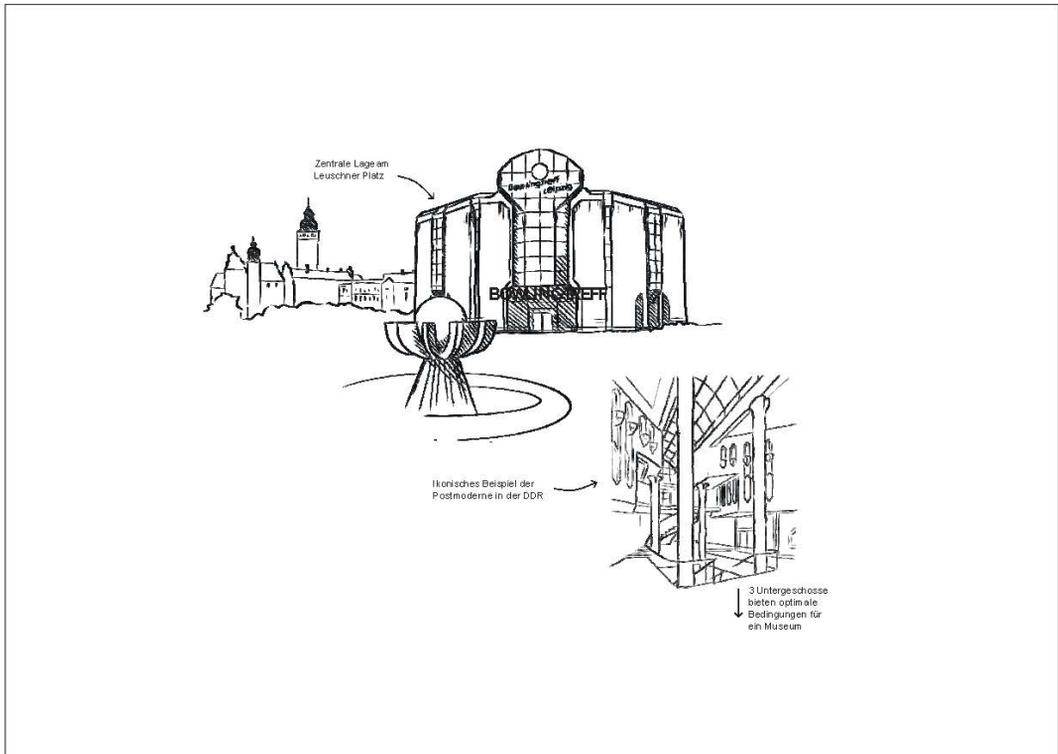
Dr. Ronny Maik Leder - Direktor NKM Leipzig 29.10.2019

Sämtliche Abbildungen © Naturkundemuseum Leipzig

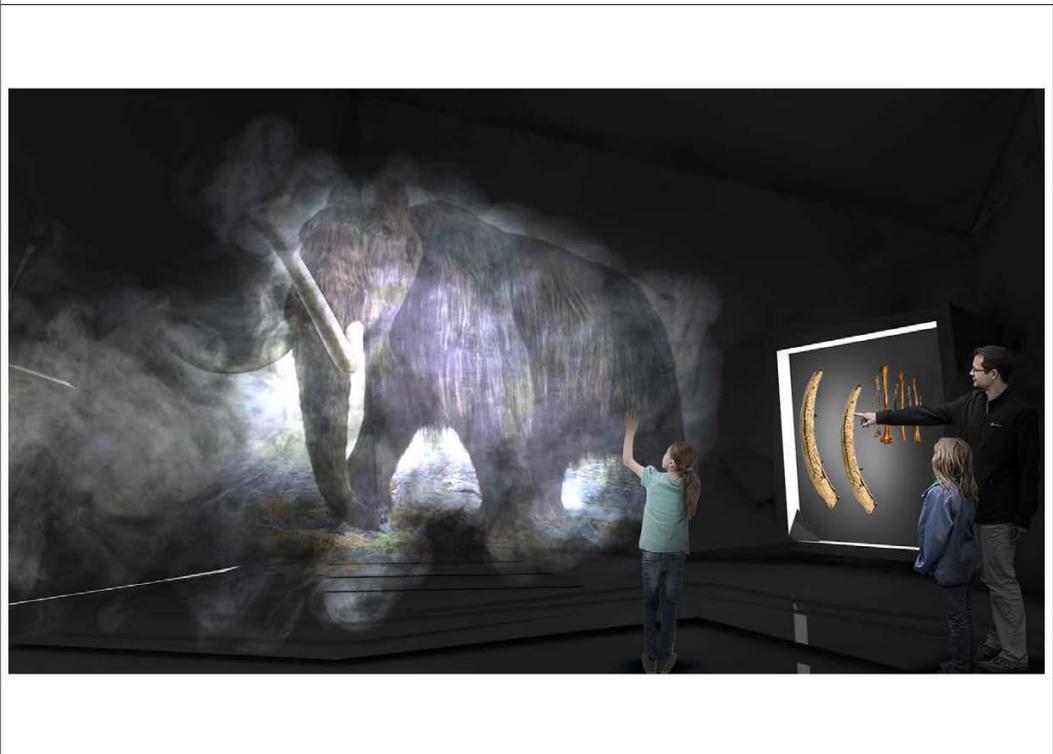
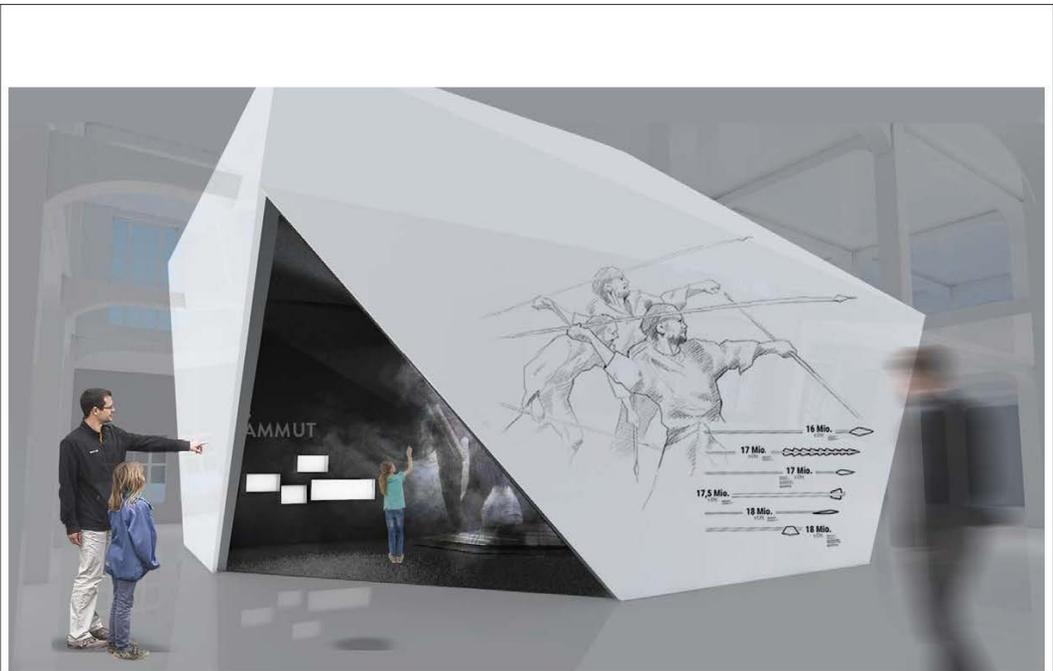


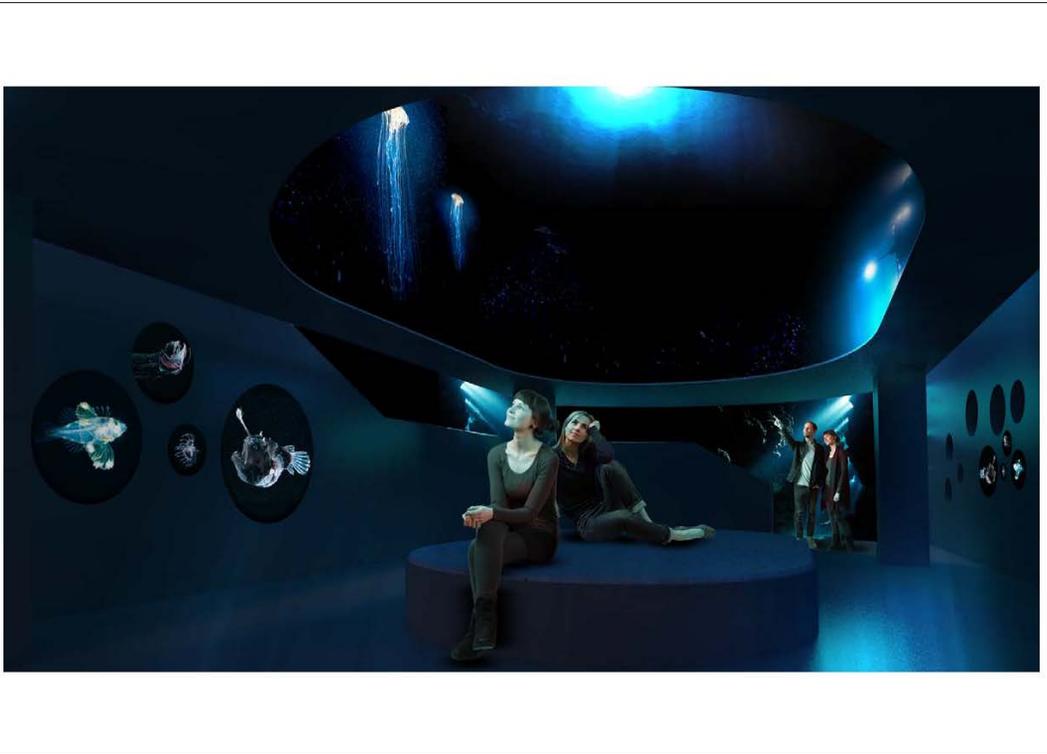
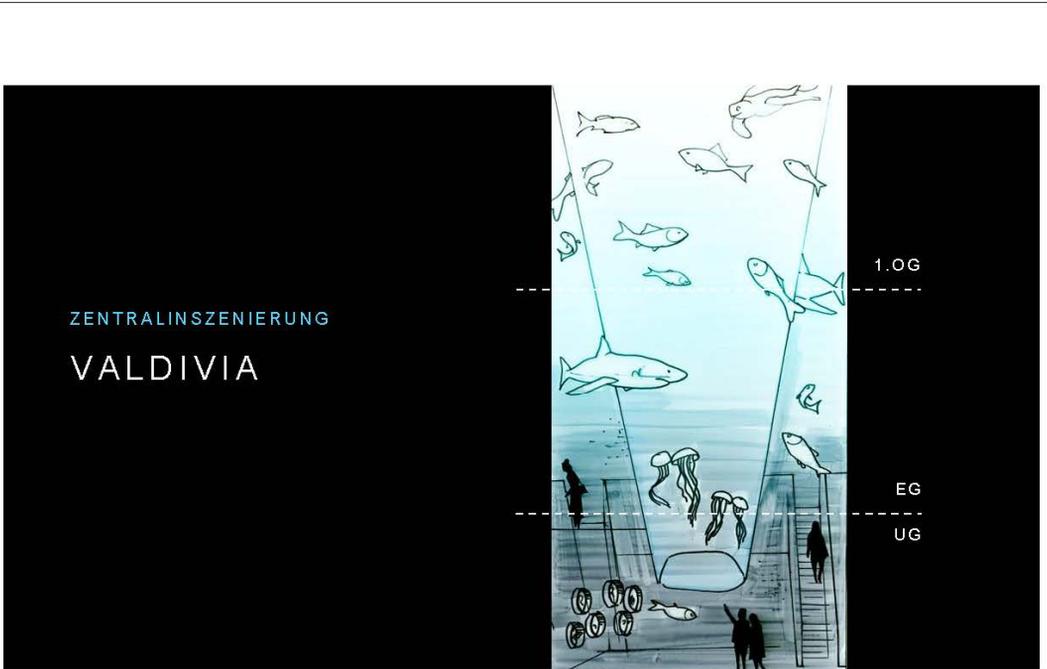
**AUF DEM WEG ZUM NEUEN NATURKUNDEMUSEUM LEIPZIG**

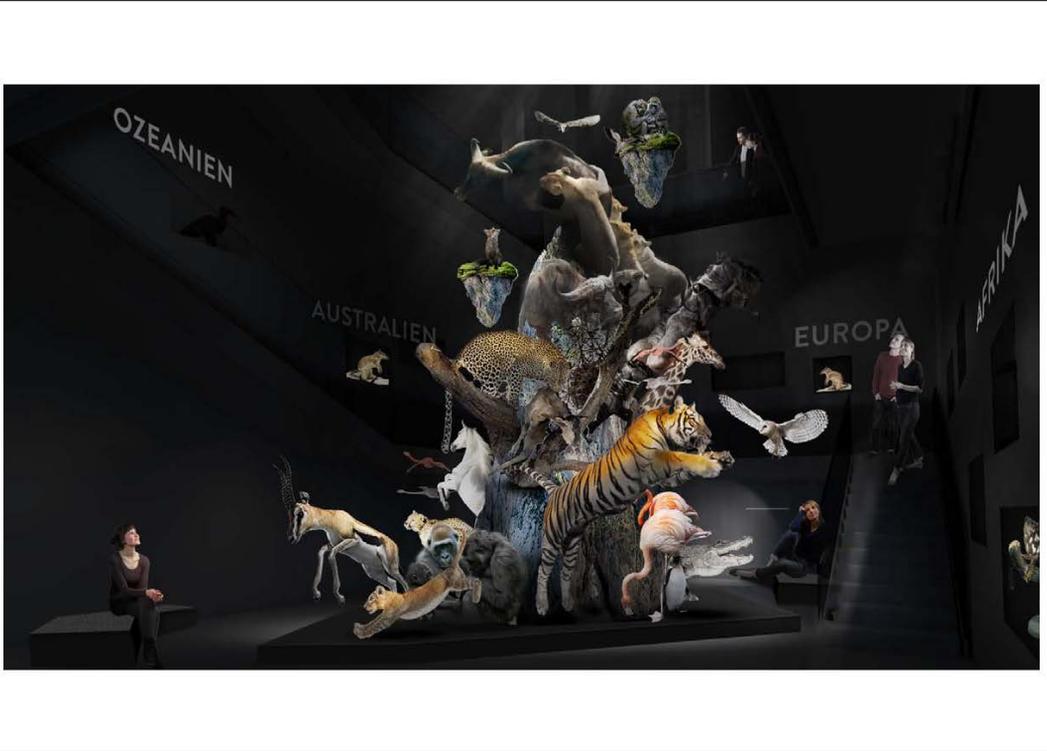
**WAS BISHER GESCHAH ...**









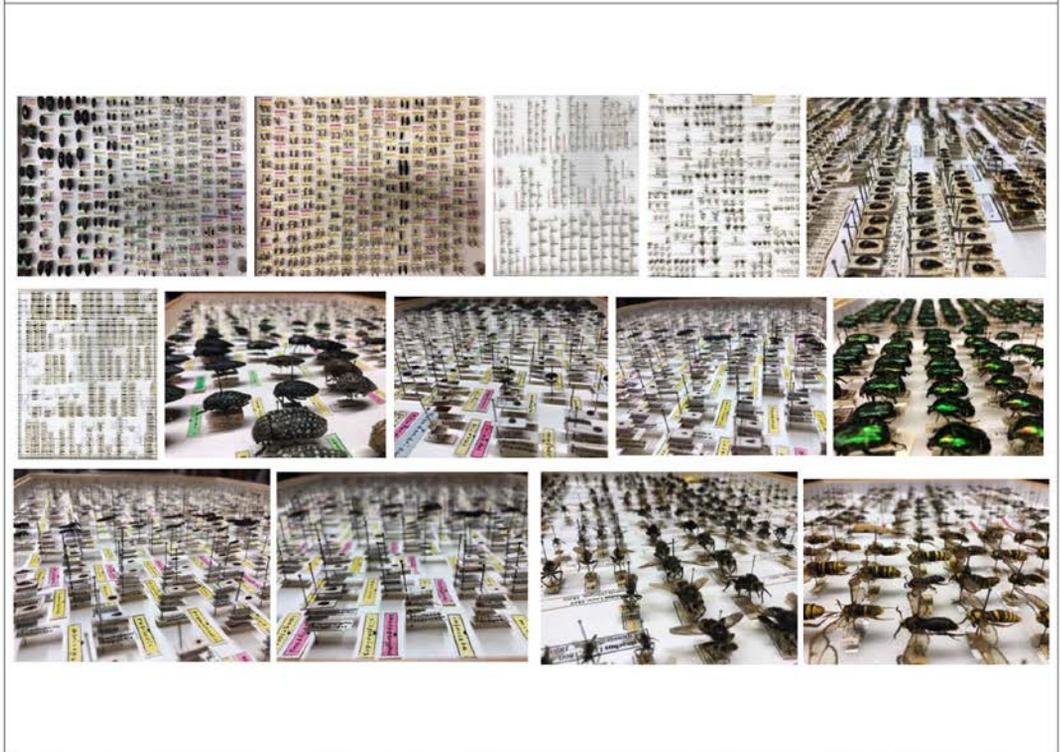
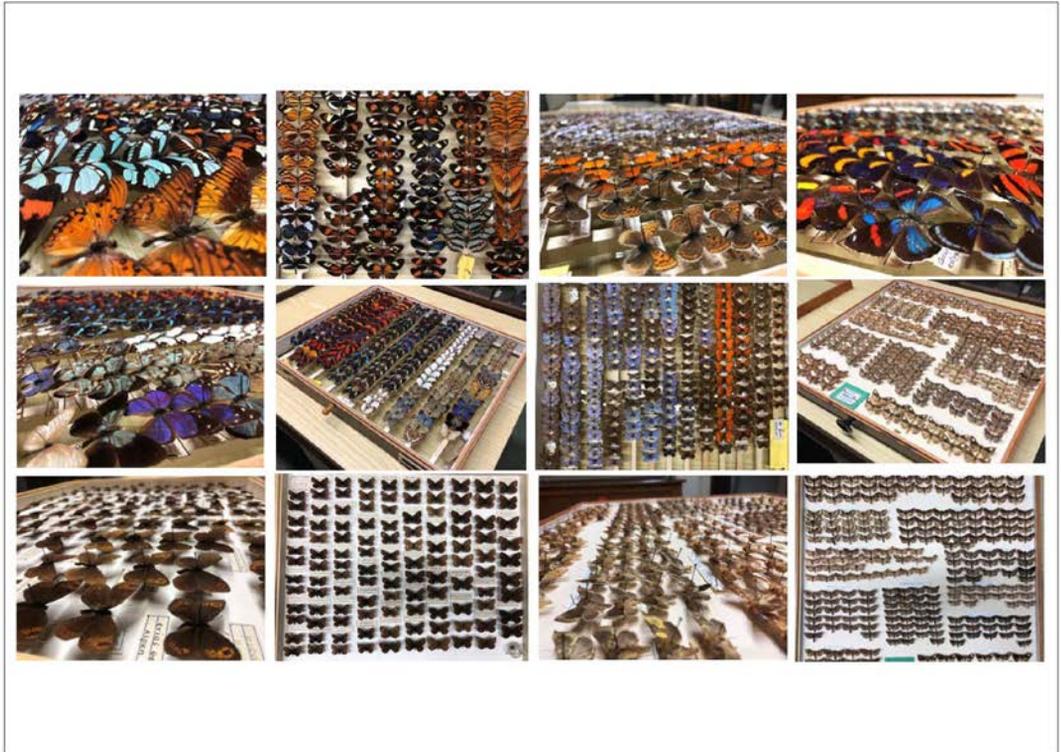


WAS IST ABER VON FUNDAMENTALER  
BEDEUTUNG???

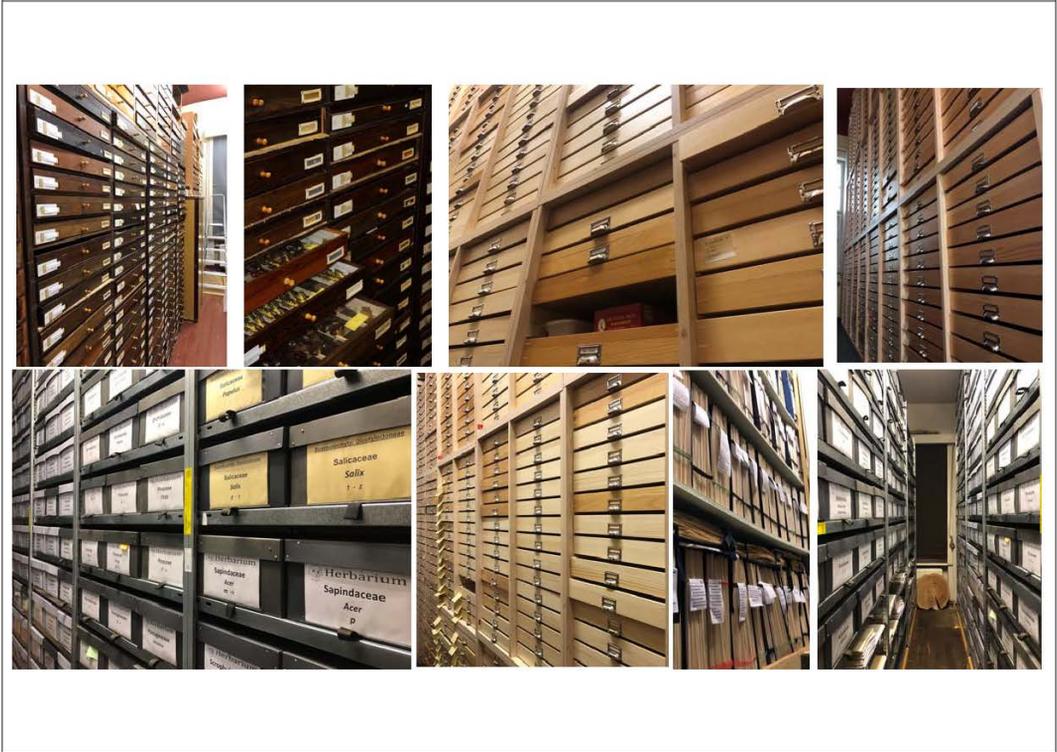
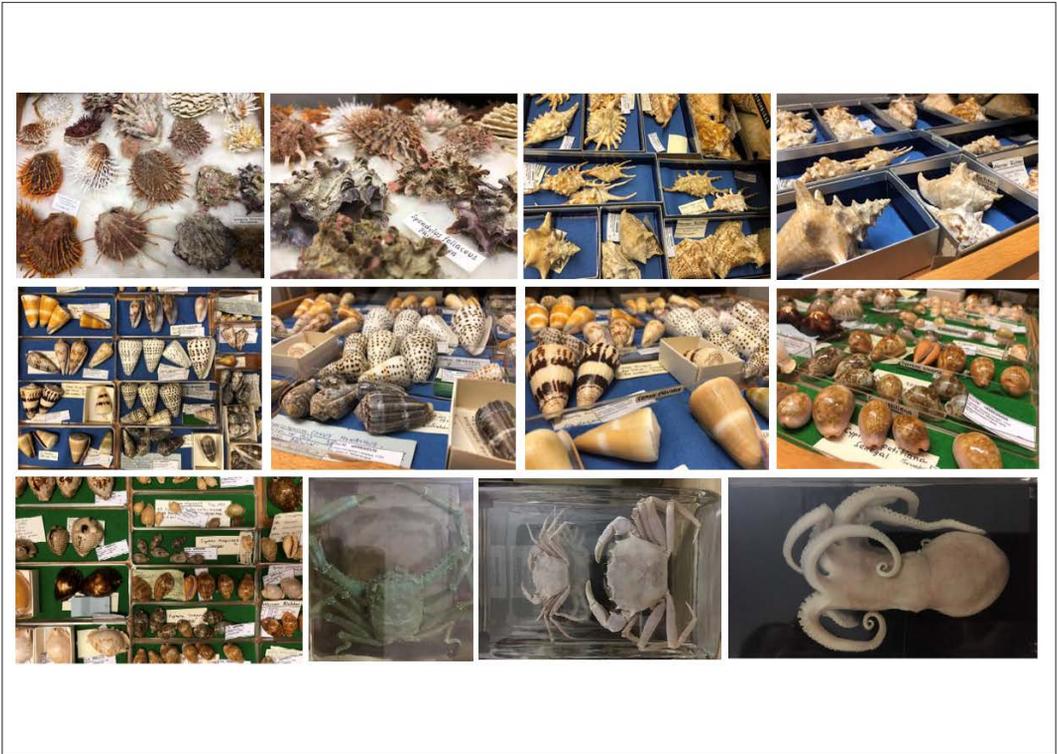
EIN NATURKUNDEMUSEUM  
DEFINIERT SICH IMMER  
ÜBER SEINE SAMMLUNG!!!

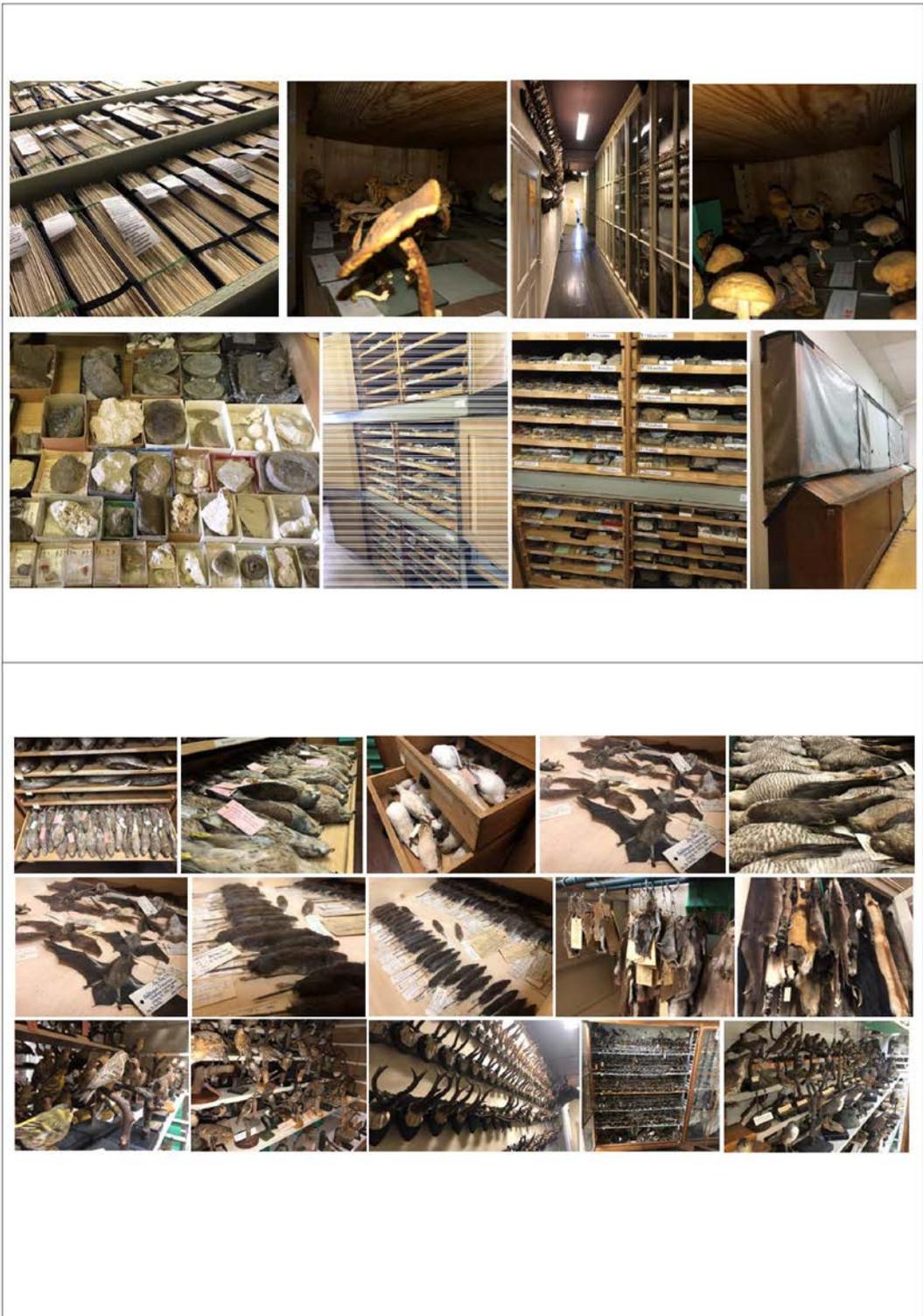
ACHTUNG! -  
FESTHALTEN!

„EINIGE“ IMPRESSIONEN











KURZ UND KNAPP

370.000 WIRBELLOSENZOOLOGIE  
200.000 GEOLOGIE/PALÄONTOLOGIE  
30.000 WIRBELTIERZOOLOGIE  
40.000 BOTANIK  
15.000 ARCHÄOLOGIE  
20.000 BIBLIOTHEK/DOKUMENTE

-----  
EIN GEWALTIGER SCHATZ!!!

DAS IST WICHTIG! SAMMLUNGEN BEINHALTEN:

REGIONALE UND ÜBERREGIONALE BELEGE - VOLLE  
BANDBREITE DER BELEBTEN UND UNBELEBTEN NATUR

ARCHIV DES REGIONALEN NATURRAUMES UND DER  
ENTWICKLUNG DESSEN ÜBER DEFINIERTE ZEITRÄUME

ZEUGEN DER VERGANGENHEIT UND VERÄNDERUNG

DATENPOOL UND GENARCHIV

ENTSCHEIDEND FÜR DIE ARBEIT MIT DER SAMMLUNG IST:

EINWANDFREIE DOKUMENTATION DER BELEGE

DIGITALISIERUNG UND ERFASSUNG IN DATENBANK

ONLINEVERFÜGBARKEIT



## FESTSTELLUNG

EIN GROßER TEIL DER SAMMLUNGEN GEHT AUF PRIVATE  
INITIATIVE ZURÜCK

80% DER IKONEN IN NATURKUNDEMUSEEN SIND AUS  
PRIVATER HAND

Zoologie Wirbellose - Gesamtzahl (2019, geschätzt): 15 000 Arten, 255 000 Proben und Exemplare, etwa 360 000 Individuen  
Mollusken

Hauptsammlung: ca. 5800 Proben (inventarisiert und als Kartei erfasst), ca. 25 000 Exemplare  
Sammlung Küster: ca. 2000 Proben (inventarisiert und als Kartei erfasst)  
Sammlung Richter: ca. 6500 Exemplare (zu 90% inventarisiert und auf Datenbank)  
Sammlung Ernst: ca. 150 Exemplare (zu 90% inventarisiert und auf Datenbank)  
Sammlung Zeißler: ca. 5400 Proben (zu 75% inventarisiert und auf Datenbank), ca. 50 000 Exemplare

### Insekten

Sammlung Reichert (alle Insektenordnungen): 130 Kästen (25.700 Insekten, Kursiver TextEntwicklungsstadien und Fraßbilder), als Kästen inventarisiert, etwa 10% unbestimmt  
Hauptsammlung Großschmetterlinge (inkl. Sammlungen Wagner, Müller, Glombitza, Heinicke, Jäkel, Offenauer und Schellhammer): ca. 210 Kästen, ca. 50.000 Exemplare  
(Inventarisierung: 70%, Katalogisierung: 80 % auf Karteikarten oder in Datenbank)  
Sammlung Pflaffe: 123 Kästen (815 Arten, ca. 16.200 Exemplare, inventarisiert und zu 55% in Datenbank erfasst)  
Sammlung Richter: 220 Kästen (ca. 18.000 Exemplare, inventarisiert und zu 40% in Datenbank erfasst)  
Sammlung Müller Kleinschmetterlinge: 3534 Exemplare (inventarisiert und als Kartei erfasst, Pyralidae als Datenbank)  
Hauptsammlung Käfer: ca. 26.000 Exemplare (45 % inventarisiert, 60 % auf Datenbank)  
Sammlung Naumann: 35 Kästen (1265 Arten, 5111 Individuen, inventarisiert und als Kartei erfasst)  
Wanzensammlung Michalk: 2000 Exemplare, davon ca. 19000 Exemplare (inventarisiert und als Kartei erfasst)  
Libellensammlung Tornier: 363 Exemplare, 115 Arten (inventarisiert und auf Datenbank)  
Sammlung Schellhammer: 545 Exemplare, 34 Arten (auf Datenbank)  
Heuschreckensammlung Tornier: 355 Exemplare, 46 Arten (auf Datenbank)  
Sammlung Schellhammer: 896 Exemplare, 32 Arten (auf Datenbank)  
Sammlung Ohrwürmer: 208 Individuen, 72 Arten, wird von D. Matzke betreut und erweitert  
Sammlung Schaben: 103 Individuen, 46 Arten, wird von D. Matzke betreut und erweitert  
Sammlung Dipteren: ca. 5000 Exemplare, davon ca. 3000 Exemplare inventarisiert  
Sammlung Hymenopteren: 1300 Exemplare, 234 Exemplare inventarisiert  
Sammlung Walberg: mindestens 900 Arten, 4500 Exemplare  
Sammlung Hayde: mindestens 588 Arten, 4300 Exemplare  
Sammlung Schiller: mindestens 930 Arten, 6000 Exemplare  
Sammlung Sandner KH: mindestens 7000 Arten, mindestens 45 000 Exemplare  
Sammlung Sandner Gerd: 900 Arten, 8000 Individuen  
Sammlung Croy: 500 Arten, 7000 Individuen  
Flüssigkeitspräparate (inkl. Material „Valdivia“) - Exponate und Proben, inventarisiert und als Kartei erfasst  
Trockenpräparate, Wirbellose (Schwämme, Korallen - 71 Exponate und Proben, inventarisiert und als Kartei erfasst  
Foraminiferensammlung Buchner - 1261 mikroskopische Präparate, inventarisiert

**Botanik****1.1. Gefäß- und Samenpflanzen (Herbarium)****Sammlung Weikert:**

Umfang: ca. 1.300 Belege, Sammlung bisher nur als Konvolut inventarisiert, komplett restauriert und in Hauptsammlung überführt

**Sammlung Karl Siecke:**

Umfang: ca. 1.420 Belege, Sammlung bisher nur als Konvolut inventarisiert

**Altes Herbar (Sammlung Fiedler):**

Umfang: ca. 6.000 Belege, inventarisiert, davon 75% auf Datenträger (Excel), 2 der 27 Faszikel wurden bereits restauriert und in die Hauptsammlung überführt

**Sammlung Robert Rafael:**

Umfang: ca. 675 Belege, noch nicht inventarisiert, wurden bereits restauriert und in die Hauptsammlung überführt

**Neues Herbar (Sammlung Schellhammer):**

Aktueller Umfang: ca. 12.000 Belege, davon ca. 7.000 (z.T. als Konvolute) inventarisiert, noch nicht digital erfasst; Format 26 x 40 cm<sup>2</sup>

**Gehölzherbar (Sammlung Schaarschmidt):**

Aktueller Umfang: ca. 1.446 Belege, inventarisiert, und vollständig auf Datenträger (Excel) erfasst; in Hauptsammlung einsortiert; Format: 28,5 x 48 cm<sup>2</sup>

**Hauptsammlung (incl. Sammlung Karl Heyde):**

Seit 2009 angelegt

Umfang: eingearbeitete Sammlungsteile vorangehend beschrieben; Neuzugänge bis heute 10.000 Belege

**1.2. Moose****Sammlung Nestler:**

Umfang: ca. 1.145 Belege

**Bryotheca Saxonica:**

Umfang: 600 Belege

**Sammlung Schellhammer:**

Umfang: 150 Belege bearbeitet und inventarisiert, ca. 130 Belege unbearbeitet

**weitere Moossammlungen:**

Umfang: 456 Belege von Alwin Voigt, 18 Belege von W. Große, 25 Belege von Siegbert Reinl.

**1.3. Pilze und Flechten****Pilzsammlung Rafael/Schellhammer:**

Umfang: ca. 422 Belege, inventarisiert, Herbarium Mycologicum Romanicum Prof. Dr. Tr. Savulescu Bände 25-28 & 31-33

Umfang: 352 Belege phytophager Pilze auf Wirtspflanzen, nicht inventarisiert

**Unbekannter Sammler****phytophager Pilze auf Wirtspflanzen**

Umfang: 286 Belege, nicht inventarisiert

**Flechtensammlung:**

Umfang: Große: 46 Belege, Nestler: 10 Belege, Siecke: 4 Belege

**1.4. Sonstige Sammlungen****Algae Helgolandiae:****kleinformatisches Algenherbarium von C. Hennig**

Umfang: 24 Belege, ohne Datum, nicht inventarisiert

**Xylothek:**

Enthält hauptsächlich heimische Hölzer in Form von Stammscheiben, aber auch in anderer Form (Quer-, Längs- und Tangentialschnitte) sowie Holzstücken in Kästen, eine Holzfeibel und eine Sammlung von Furnierbögen

Umfang: ca. 500 Belege, größtenteils inventarisiert, rund 50 % digital erfasst

**Früchte & Samen:****von Samenpflanzen in kleinen Tüten, Dosen oder Schalen**

Umfang: 335 Belege von Eugen Rey, 306 Belege von Dr. Horst Schaarschmidt, 20 Belege von Dr. Ludwig Schellhammer, teilweise inventarisiert

**Zapfensammlung:**

Umfang: ca. 83 Belege von Martin Nestler, 76 Belege von Dr. Horst Schaarschmidt, inventarisiert

**Naturrohstoffe und drogistische Pflanzenbestandteile:**

Umfang: 60 Belege von H.P. Linke, 72 Belege von Karl Siecke, 36 Belege von Schule aus Torgau, teilweise inventarisiert

Die präparatorische Herstellung (Pressen, Wechseln des Papiers, Aufkleben, Beschneiden) der Herbarbelege erfolgt durch den wissenschaftlichen Mitarbeiter.

**2. Sammlungszugänge**

(Stand: 2007) seit 2007 etwa 10.000

2004: 55 Objekte, darunter Belege zu 10 Weiden-Arten, 21 Hölzer in Form von Stammstücken

2005: 167 Objekte, darunter 47 einheimische und fremdländische Gehölze zu Vergleichszwecken gesammelt (Jahrestagung DDG in Meran). Ein Apotheker-Herbar mit rund 200 Belegen (angelegt 1951).

2006: 83 Objekte, darunter 7 Tannen-, 5 Kiefern-, 6 Ahorn- und 8 Eichen-Arten, meist von Kulturstandorten in Leipzig. Im Sammlungszugang sind auch Belege zu Vergleichszwecken gesammelt aus Holland und Italien (Tagungen der DDG)

Konvolut von diversen Unterlagen aus dem Nachlass des Leipziger Botanikers Robert Rafael

## Geologie

### 1. Sammlungsbeschreibung und Dokumentationsstand

Gläsel-Sammlung: Die nach dem früheren Direktor Dr. RUDOLF GLÄSEL benannte Kollektion bildete den Grundstock der geologischen Sammlung. Sie enthält vor allem Gesteine und Fossilien der Leipziger Region. Insbesondere der Anteil (3000 Proben) an determinierten eiszeitlichen Geschieben wird bei geologischen Studien immer wieder zu Vergleichszwecken herangezogen.

- Umfang: 7000 Inv.-Nummern, katalogisiert und inventarisiert.

Mineralogie: Diesen Fachbereich vertreten Mineralien von einheimischen aber auch von international bekannten Fundplätzen. Darunter befinden sich attraktive Schaustufen aus dem sächsischen Erzgebirge. Einen bedeutenden Platz nehmen die Achate und andere Quarzvarietäten aus Sachsen ein.

- Umfang: Signatur MIN, 6000 Inv.-Nummern, katalogisiert und inventarisiert.

Allgemeine Geologie / Petrographie: In dieser Sammlung sind neben wichtigen Gesteinstypen Europas vor allem einheimische Gesteine vertreten, darunter das breite Spektrum nordwestsächsischer Vulkanite.

Etwa 200 Inv.-Nummern entfallen auf regionale Bohrproben (Bohrkerne), die als Belege des kristallinen Untergrunds äußerst kostbar sind.

Erwähnenswert ist eine Kollektion von Gesteinsmaterial aus der Antarktis (ehemalige Forschungsstation „Georg Forster“) mit 300 Inv.-Nummern.

Charakteristischer Lagerungsstrukturen der Lockergesteine der Erdneuzeit dokumentieren ca. 50 haltbare Profile, die vor allem in den letzten Jahren mit Hilfe der Lackfilmmethode für die Sammlung angefertigt wurden.

- Umfang: Signatur GEO, 3700 Inv.-Nummern, katalogisiert, inventarisiert.

Paläontologie: Mit dem Erwerb der Fossilien-Sammlung von Wolfgang Frees (ca. 2700 Inv.-Nummern) ab dem Jahr 2000 erfuhr der Sammlungsteil Paläontologie einen bedeutenden quantitativen und qualitativen Zuwachs. Für die Regionalgeologie stellen die Tertiärfossilien aus dem Leipziger Raum, die während des Braunkohlebergbaus geborgen wurden, einen wichtigen Bestand dar (1100 Inv.-Nummern mit ca. 6000 Objekten).

Eine Besonderheit im paläontologischen Sammlungsgut sind Originalproben vom Beresowka-Mammut, das 1901 in Nordsibirien gefunden und später in St. Petersburg aufgestellt wurde.

- Umfang: Signatur PAL, 7400 Inv.-Nummern, katalogisiert, inventarisiert; davon auf Datenträger erfasst ca. 15 % (PARADOX).

Geschiebesammlung: Sie ist der wissenschaftlich wertvollste Sammlungsteil. Es handelt sich um fossilführende Sedimentgeschiebe, bzw. isolierte Fossilien. Das in mehreren Jahrzehnten vom Leipziger Sammler ERICH RICHTER zusammengetragene Material gestattet u. a. wichtige Aussagen zum Geschiebeinhalt der regionalen eiszeitlichen Moränen.

Gegenstand von etlichen Publikationen (Veröff. Naturkundemuseum Leipzig, Altenburger Nat.wiss. Forschungen, 3, 1986).

- Umfang: Signatur G, 8300 Inv.-Nummern mit ca. 15000 Objekten, katalogisiert, inventarisiert und vollständig auf Datenträger erfasst (PARADOX).

Bau- und Denkmalgesteine: Diese spezielle Sammlung wird in der Praxis bei Fragen des Denkmalschutzes genutzt.

- Umfang: Signatur B+D, 500 Inv.-Nummern, katalogisiert, inventarisiert.

Der präparatorische Zustand der Sammlungen ist befriedigend; Restaurierungsbedarf besteht bei den eiszeitlichen Großsäugerreste.

### 2. Sammlungs Zugänge:

- 2004: 76 Objekte und Proben
- 2005: 89
- 2006: 118
- 2019: Sammlung Trostheide mehrere 10.000 Fossilien national & international

## Zoologie (Wirbeltiere)

### 1. Sammlungsbeschreibung und Dokumentationsstand

Die 13.000 Stück umfassende Eiersammlung des bekannten Leipziger Ornithologen Richard Schlegel (1865-1933) enthält vor allem Vogeleier aus ganz Sachsen, aber auch aus der ganzen Palaearktis. Es gibt in Mitteldeutschland keine vergleichbare Sammlung.

Die Tierpräparate des international bekannten Präparators Herman H. ter Meer (1871-1934) im Naturkundemuseum gehören zur internationalen Spitzenklasse. Insbesondere die Präparate der weltweit ausgestorbenen Vogelarten Riesenalk, Lappenhopf und Wandertaube sind von höchster wissenschaftlicher Bedeutung und als Kulturgut internationalen Ranges einzustufen.

Für die Wissenschaftsgeschichte der Zoologie sind die in der Sammlung befindlichen 24 Vogel-Standpräparate aus Russland von Peter Simon Pallas (1741-1811) besonders zu nennen. Ebenso erwähnenswert sind die von Eduard Poeppig (1798-1868) während seiner Südamerika-Expedition gesammelten Belege. In der Museumssammlung befinden sich davon 38 Vogel- und 6 Säugetierpräparate.

Sammlung Säugetiere: 2580 Inv.-Nummern, inventarisiert, katalogisiert und vollständig auf Datenträger erfasst.

Sammlung Vögel: 6920 Inv.-Nummern, inventarisiert, katalogisiert und vollständig auf Datenträger erfasst

Sammlung Vogelgelege (Sammlung SCHLEGEL): 5070 Inv.-Nummern, inventarisiert, katalogisiert und vollständig auf Datenträger erfasst

Sammlung Amphibien/ Reptilien: 220 Inv.-Nummern, inventarisiert, katalogisiert und vollständig auf Datenträger erfasst.

Sammlung Fische: 155 Inv.-Nummern, inventarisiert, katalogisiert und vollständig auf Datenträger erfasst (EXCEL)

## Archäologie

### 1. Sammlungsbeschreibung und Dokumentationsstand

Die archäologische Sammlung umfasst 13.140 Inventarnummern. Dazu gehören Fundkomplexe wie die Silexartefakte von Markkleeberg, die bronzezeitlichen Gräberfelder von Großsteinberg und Battaune bis hin zu den mittelalterlichen Funde aus der Nikolaistraße in Leipzig.

Ca. 2/3 der Sammlungen sind auf Datenträger (EXCEL) erfasst, jedoch nur ein geringer Teil ist fotografisch und zeichnerisch dokumentiert.

Der Umfang der noch notwendigen präparatorischen und restauratorischen Arbeiten kann erst bei einer finalen Inventarisierung angegeben werden.

### 2. Sammlungs Zugänge

Durch die Gesetzgebung betr. archäologischer Bodenfunde des Sächsischen Landesamtes für Archäologie wird es keine Neuzugänge geben. Ausgenommen Ankauf alter Sammlungen.

## Bibliothek und Dokumentation

Der Abteilung unterliegt der Betrieb der Bibliothek und der Bearbeitung und Erweiterung der Sammlungen zur Wissenschafts und Hausgeschichte. Weiterhin gehört die Redaktion der „Veröffentlichungen Naturkundemuseum Leipzig“ zu den Tätigkeitsbereichen.

### 1. Sammlungsbeschreibung und Dokumentationsstand

Die Bibliothek umfasst ca. 17.500 Einheiten, darunter 396 Periodika, 163 davon noch laufender Bezug (152 Schriften im Tausch und 11 im Abonnement) Die Erschließung gestaltet sich aufgrund der Fülle des Materials und diverser Datenbankprobleme in der Vergangenheit eher schwierig. Ein Großteil des Bestandes ist auf Karteikarten erfasst. Seit 2000 wurden ein Teil dieser Daten schrittweise in eine Datenbank überführt.

Die Sammlung Dokumentation umfasst ca 28.000 Einheiten fotografische und geographische Dokumente, 6.000 historische Negativplatten und Diapositive.

ENTSCHEIDEND FÜR DIE ARBEIT MIT DER PRIVATSAMMLUNG  
IST:

EINWANDFREIE DOKUMENTATION DER BELEGE

DIGITALISIERUNG UND ERFASSUNG IN DATENBANK

ONLINEVERFÜGBARKEIT

KERNFRAGE

WIE BEKOMME ICH  
INSTITUTIONEN UND CITIZEN  
SCIENCE ZUSAMMEN?



## Forschung in der Gesellschaft – Citizen Science Wir schaffen ein Netzwerk der forschenden Welt



### KERNPROBLEM

WENN ES UM DIE ARBEIT MIT WISSENSCHAFTLICHEN SAMMLUNGEN GEHT, SIND WISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN MIT BELEGEN PRIVATER SAMMLUNGEN NICHT PUBLIKATIONSWÜRDIG

WISSENSCHAFTLICHE BELEGE (VOUCHER) MÜSSEN IN INSTITUTIONELLEN SAMMLUNGEN HINTERLEGT WERDEN UND JEDERZEIT WISSENSCHAFTLICH NUTZBAR SEIN

KERNPROBLEM

FINDE ICH EINE LÖSUNG  
PRIVATSAMMLUNGEN  
WISSENSCHAFTLICH NUTZBAR ZU  
MACHEN, SO HABE ICH ZUGRIFF AUF  
EINE GEWALTIGE DATENBANK

DENKAUFGABE AUS DER PALÄONTOLOGIE

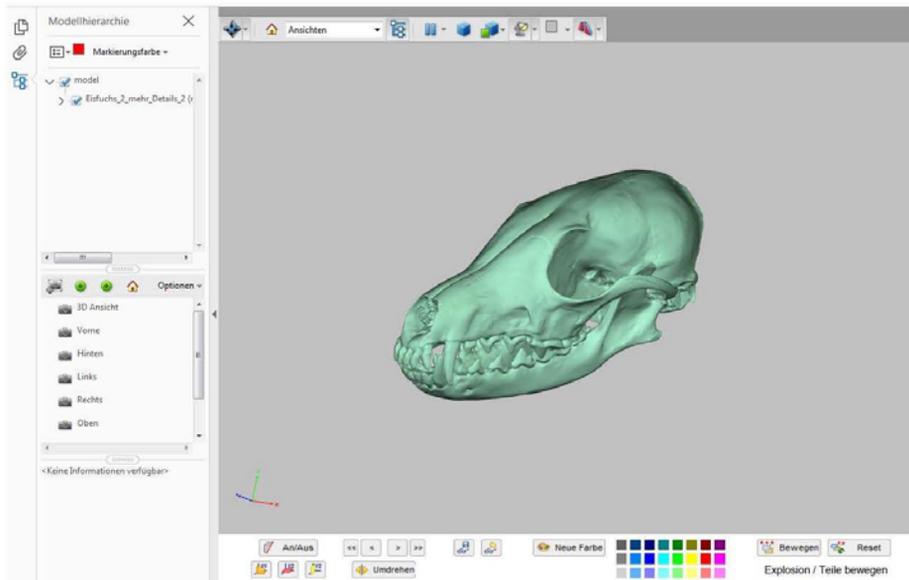
WAS IST DER UNTERSCHIED  
ZWISCHEN EINEM 3D-DRUCK UND  
EINEM FOSSIL?

DER GRÖßTE 3D-DRUCKER DER WELT IST ...

**DIE NATUR**

DER SCHLÜSSEL IST ...

**DER DIGITALE BELEG**



## FAHRPLAN

SAMMLER ZUR DIGITALISIERUNG EINLADEN

OBJEKTE SCANNEN UND ONLINE ZUR VERFÜGUNG STELLEN

VERNETZUNG DER DATEN MIT DER WELTGEMEINDE DER WISSENSCHAFTLER

SAMMLER BLEIBT IM BESITZ SEINER SAMMLUNG

DIE LOGISCHE KONSEQUENZ

PLATTFORM FÜR DAS VERFÜGBAR MACHEN DER  
DATEN GENERIEREN, DIE FÜR JEDERMANN  
ZUGÄNGLICH IST

PRIVATSAMMLER ERFAHREN WERTSCHÄTZUNG  
IHRER ARBEIT

WISSENSCHAFTLER HABEN ZUGRIFF AUF  
UNGLAUBLICHE MENGEN NEUER DATENRESSOURCEN



AUF DEM WEG ZUM NEUEN  
**NATURKUNDEMUSEUM  
LEIPZIG**

**DANKE!**  
FÜR IHRE  
AUFMERKSAMKEIT

Sämtliche Abbildungen © Naturkundemuseum Leipzig

## Sektion 1 - Hybride Fertigung

### **„Ganzheitliche Prozesskette im Additive Manufacturing - von der Idee bis zum Fertigteil“**

Rinje Brandis, DMG MORI Academy GmbH

### **„Additive Fertigung in der industriellen Prozesskette“**

Florian Feucht, DMG MORI REALIZER GmbH

Die Vorträge werden auf Wunsch der Autoren nicht veröffentlicht.

DIE HOCHSCHULE MIT 150JÄHRIGER TRADITION

## Vorstellung einer Prozesskette zur Fertigung von hochbelastbaren Funktionsflächen an SLM-Bauteilen

Matthias Horn (LHM); Marco Posdlich (TUC)






Europäische Union

Europa fördert Sachsen.



Europäischer Sozialfonds



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

## Gliederung

1. Vorstellung des Projektes HEIGHT
2. Additive Fertigung von Grundkörpern
  - Anlagentechnik
  - Material AISi10Mg
  - Optimierung Prozessparameter
  - Fertigung Demonstrator
3. TU Chemnitz






© HOCHSCHULE MITTWEIDA



Europäische Union

Europa fördert Sachsen.



Europäischer Sozialfonds



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

21.10.2019

2

## 1. Vorstellung des Projektes HEIGHT

**HEIGHT** = HochintEgrative Prozesskette zur Generativen Fertigung von metallischen HochleistungsbauTeilen



CAD Modell Bauteil



SLM Prozess - Bauteilfertigung



Virtueller Zwilling



Endbearbeitung - Glattwalzen

## 2. Additive Fertigung – Anlagentechnik

Bauraum (L x B x H):	280 x 280 x 365 mm <sup>3</sup>
Laserquelle:	400 W @ 1064 nm
Fokussdurchmesser:	80 µm
Scangeschwindigkeit:	max. 10 m/s
Schichtdicke:	20 – 75 µm
Bauraumheizung:	max. 200 °C
Bauraumverkleinerung:	100 x 100 x 160 mm <sup>3</sup>
Bauatmosphäre:	Argon bzw. O <sub>2</sub> < 0,1 %



© SLM Solutions

## 2. Additive Fertigung – Material

- **AlSi10Mg von m4p**
- **Korngrößenverteilung:**

Pulverkorn min. : 13  $\mu\text{m}$

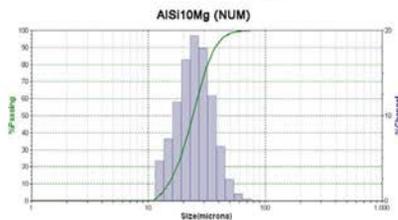
Pulverkorn max. : 124  $\mu\text{m}$

- **Eigenschaften:**

Kornform zumeist sphärisch

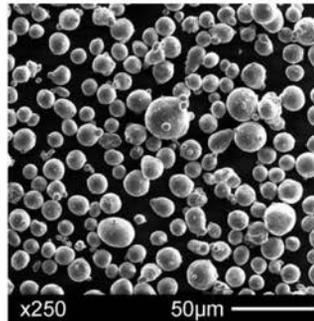
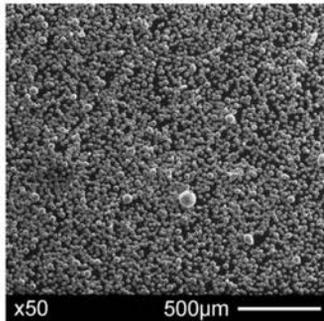
Farbe	silbergrau
Dichte	2,66 g/cm <sup>3</sup>
Schmelzpunkt	~ 550 °C
Entzündungstemperatur	~ 500 °C
Wärmeleitfähigkeit (20°C)	~ 100 ± 5 W/m °C
Spez. Wärmekapazität	~ 920 ± 50 J/kg °C
Zugfestigkeit	~ 460 MPa

Element	Anteil in %
Aluminium	80 - 99
Silizium	< 15
Zink	< 8
Magnesium	< 5
Mangan	< 5
Kupfer	< 5



## 2. Additive Fertigung – Material

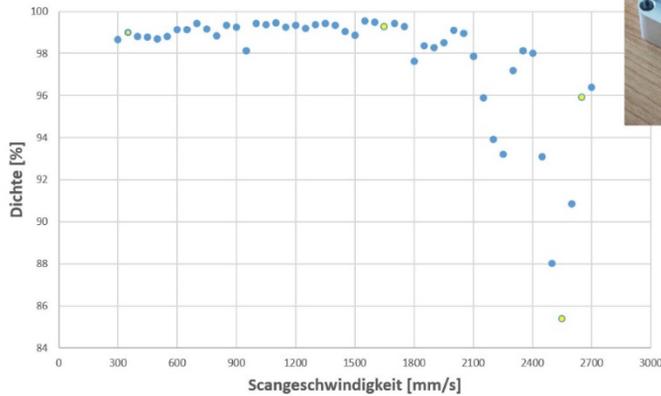
- REM-Aufnahmen des Pulvermaterial AlSi10Mg



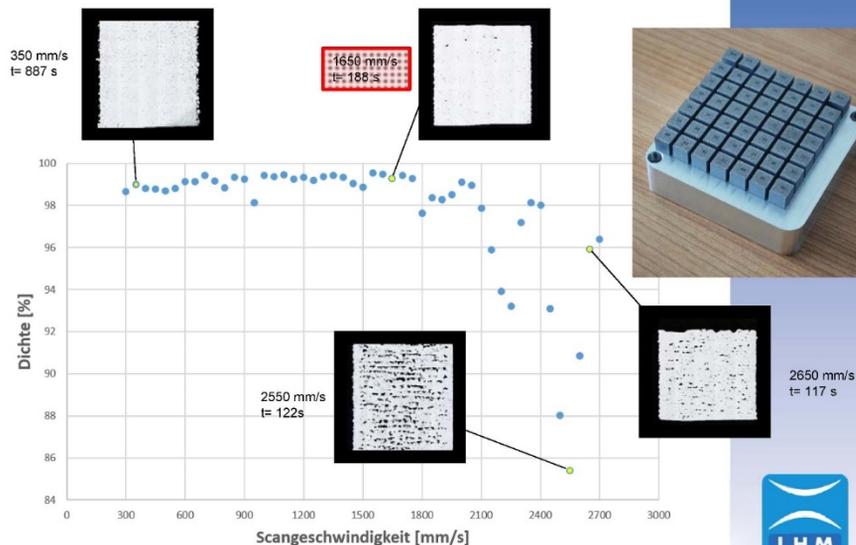
- sphärische Partikel
- kleineren Anhaftungen erhöhen die Fließfähigkeit des Pulvers
- keine Agglomeration erkennbar
- Mehrzahl der Partikel < 30  $\mu\text{m}$

## 2. Additive Fertigung – Optimierung Prozessparameter

- Variationen der Scangeschwindigkeit
- konstanter Laserleistung von 350 W
- Schichtstärke von 30  $\mu\text{m}$



## 2. Additive Fertigung – Optimierung Prozessparameter



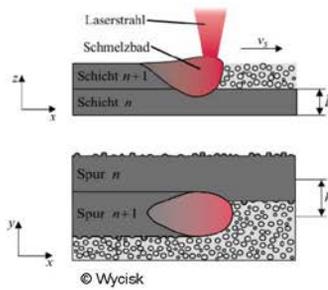
## 2. Additive Fertigung – Optimierung Prozessparameter

- **Volumenenergiedichte [J/mm<sup>3</sup>]**

Berechnungsformel (nach DIN 3405):

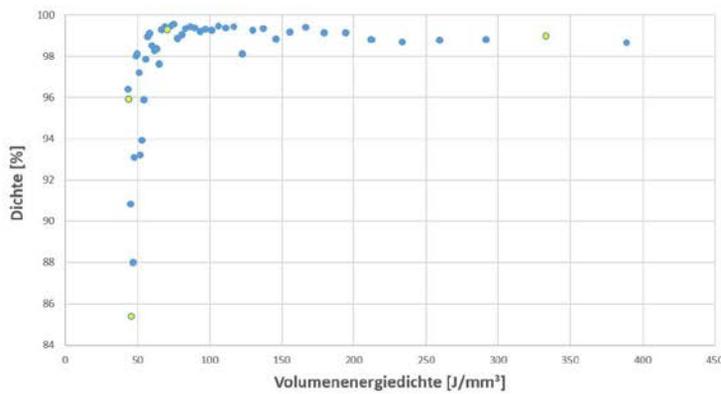
$$E_v = \frac{P_L}{v_s \cdot h_s \cdot l_z}$$

- $E_v$ : Volumenenergiedichte [J/mm<sup>3</sup>]
- $P_L$ : Laserleistung [W]
- $v_s$ : Scangeschwindigkeit [mm/s]
- $h_s$ : Spurbreite [mm]
- $l_z$ : Schichtdicke [mm]



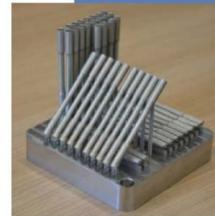
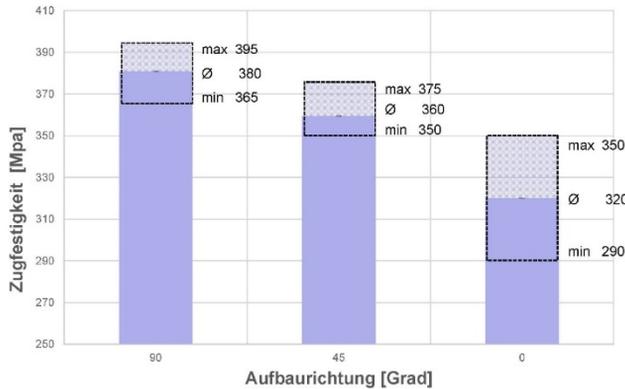
## 2. Additive Fertigung – Optimierung Prozessparameter

- Variationen der Scangeschwindigkeit
- konstanter Laserleistung von 350 W
- Schichtstärke von 30 µm



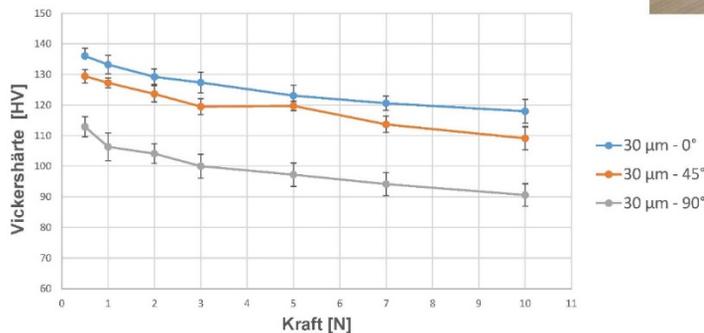
## 2. Additive Fertigung – Optimierung Prozessparameter

- Zugversuch mit dem Material AISi10Mg
  - 10 Probekörper je Aufbaurichtung vermessen
- > 90° erzielt höhere Werte als 45° und 0°

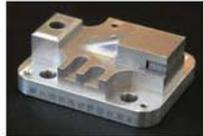


## 2. Additive Fertigung – Optimierung Prozessparameter

- Härtemessung mit dem Material AISi10Mg
  - Abhängigkeit der gemessenen Härte von der eingestellten Messkraft erkennbar
- > 0° erzielt höhere Werte als 45° und 90°



## 2. Additive Fertigung – Demonstrator



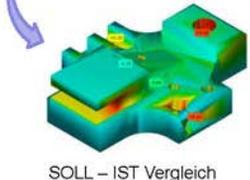
gefertigter Demonstrator



gescanntes 3D Modell



Arbeitsplatz 3D Scanner (Scan in a Box)



SOLL – IST Vergleich

- Vermessung des Demonstrators
- SOLL – IST Vergleich CAD Modelle
- > Ausgangslage für weitere Bearbeitungsschritte



## Endbearbeitung additiv gefertigter Freiformflächen durch Fräsen und Glattwalzen



**Marco Posdich**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Abteilung Fertigungstechnik / Spanen  
Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, TU Chemnitz  
Email: marco.posdich@mb.tu-chemnitz.de  
Tel.: +49 (0)371 / 531-30077

Foto: Fraunhofer IPT

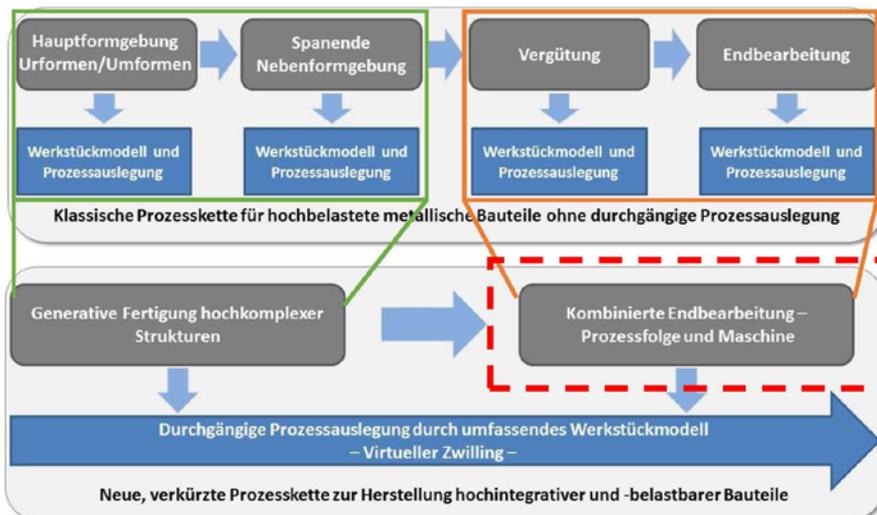
## Endbearbeitung additiv gefertigter Freiformflächen durch Fräsen und Glattwalzen

1. InnoTeam-Projekt HEIGHT
2. Ausgangspunkt / Motivation
3. Fertigungsverfahren Glattwalzen
4. Kombinierte Endbearbeitung additiv gefertigter Werkstücke
5. Virtueller Zwilling
6. Zusammenfassung

 Mikroprozessoren  
 Stand: 24.09.2016

 Endbearbeitung additiv gefertigter Freiformflächen durch  
 Fräsen und Glattwalzen


15


 Mikroprozessoren  
 Stand: 24.09.2016

 Endbearbeitung additiv gefertigter Freiformflächen durch  
 Fräsen und Glattwalzen


16

## Glattwalzen als Fertigungsverfahren

Bisher nur Bearbeitung von  
**rotationssymmetrischen** Bauteilen auf  
**Drehmaschinen** mittels **Glattwalzen** umgesetzt

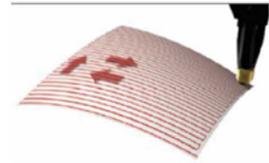


3D-Druck (SLM) ermöglicht  
komplexe Strukturen und  
Oberflächen, Defizite in der  
Oberflächenqualität

Adaption des Verfahrens zur Endbearbeitung  
von **prismatischen** Bauteilen (Plan- und  
Freiformflächen) sowie Integration in die  
Frästechnik



Quelle: Ecoroll



Quelle: Ecoroll



Quelle: Teamtec

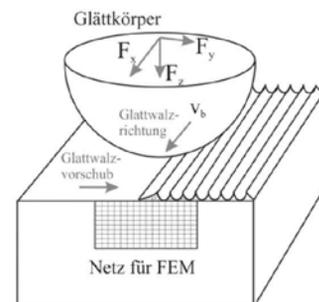
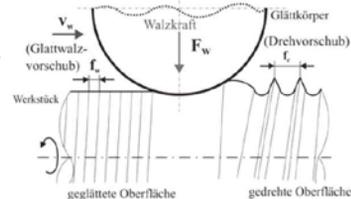
Endbearbeitung additiv gefertigter Freiformflächen durch  
Fräsen und Glattwalzen



17

## Glattwalzen als Fertigungsverfahren

- Abwälzen des Glättkörpers unter Druckkraft auf der Werkstückoberfläche
- Umformen der Oberflächenstruktur und Reduktion der Rauheit
- Verfahrensvorteile gegenüber spanenden Endbearbeitungen (z.B.: Schleifen):
  - **hohe Flexibilität** durch NC-Werkzeugpositionierung
  - in konventionelle Dreh- o. Frästechnik **integrierbar**
  - Geringere **Investitionskosten**
  - **Keine thermische Bauteilbelastung**
  - **hochqualitative Oberflächen** erzeugbar
  - Einbringen günstiger **Druckeigenspannungen**
  - Erhöhung der **Randschichthärte**
  - größere **Verschleißbeständigkeit**

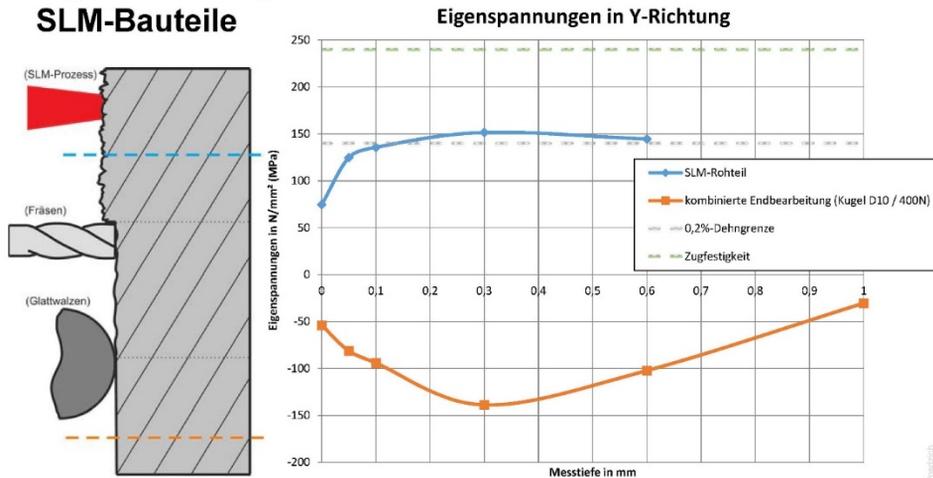


Endbearbeitung additiv gefertigter Freiformflächen durch  
Fräsen und Glattwalzen



18

## Eigenspannungen der SLM-Bauteile



Endbearbeitung additiv gefertigter Freiformflächen durch Fräsen und Glattwalzen

## Kombinierte Endbearbeitung auf einer Werkzeugmaschine

<b>Vorteile</b>	<b>Spanende Formgebung (Fräsbearbeitung)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erzeugen präziser Formen und Flächen (&lt; IT6)</li> <li>maschinelle Entfernung von SLM-Stützstrukturen</li> </ul>	<b>Finishprozess (Glatt- / Festwalzen)</b>
	<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Freilegen von Eigenspannungen des SLM → Bauteilverzug</li> <li>begrenzte Oberflächenqualität (Rz &gt; 5µm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>gezieltes Einbringen von positiven Druckspannungen</li> <li>Erreichbare Oberflächenqualität von Rz &lt; 1 µm</li> <li>Kombination aus kraftgesteuertem Prozess mit definierter Bahnbewegung</li> <li>bisher auf rotations-symmetrische Werkstücke beschränkt</li> </ul>

**Unterschiedliche Anforderungen an eine Werkzeugmaschine**

Endbearbeitung additiv gefertigter Freiformflächen durch Fräsen und Glattwalzen

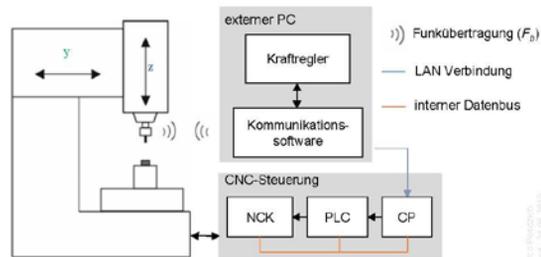


## Kombinierte Endbearbeitung - Kraftregelung

- Messung der Prozesskraft durch einen sensorischen Werkzeughalter → Funkübertragung (2,4GHz) an einen externen PC
- IST-Wert-Abfrage und Neuberechnung des Korrekturwertes ca. aller 20 ms (Ziel ist < 1 ms)
- Übertragung des Stellwertes an die Steuerung
- Realisierung der Kraftregelung simultan zur eigentlichen NC-Bewegung mittels Synchronaktionen

Sicherheitseinrichtungen:

- softwareseitige Überlastsicherung im Regler und in der Synchronaktion
- mechanische Überlastbereiche im Werkzeug und Maschinenseitig



Endbearbeitung additiv gefertigter Freiformflächen durch Fräsen und Glattwalzen



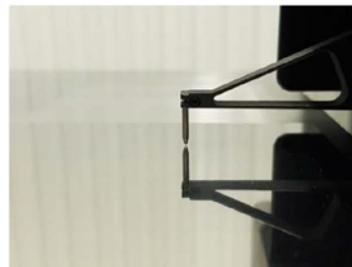
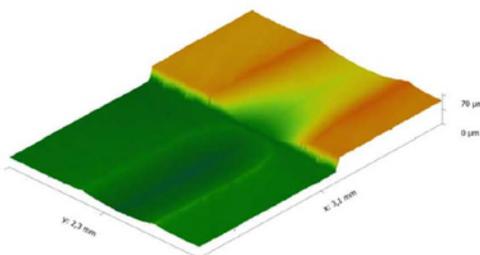
21



## Kombinierte Endbearbeitung - Kraftregelung

- Glättprozess ist bei gleichbleibenden Prozessbedingungen stabil und konstant
- Eindringtiefe in das Material bleibt gleich
- Vermessung der Oberflächengestalt über Steifigkeit des Gesamtaufbaus (Maschine + Werkstück + Werkzeug) und Messgenauigkeit der Kraft (Regelparameter)

### Integrierte Vermessung der Werkstückgestalt während des Prozesses



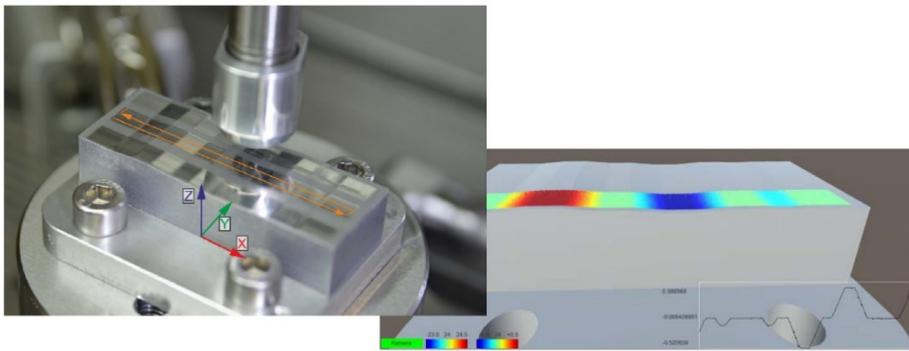
Endbearbeitung additiv gefertigter Freiformflächen durch Fräsen und Glattwalzen



22

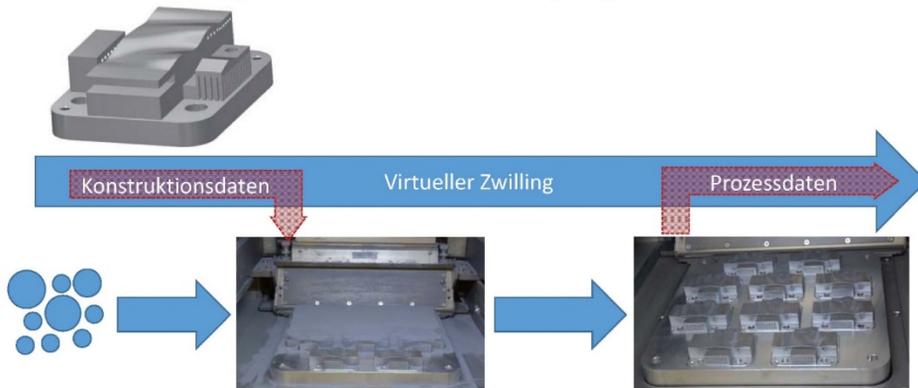
## Kombinierte Endbearbeitung - Kraftregelung

- Glättprozess ist bei gleichbleibenden Prozessbedingungen stabil und konstant
- Eindringtiefe in das Material bleibt gleich
- Vermessung der Oberflächengestalt über Steifigkeit des Gesamtaufbaus (Maschine + Werkstück + Werkzeug) und Messgenauigkeit der Kraft (Regelparameter)



Endbearbeitung additiv gefertigter Freiformflächen durch Fräsen und Glattwalzen

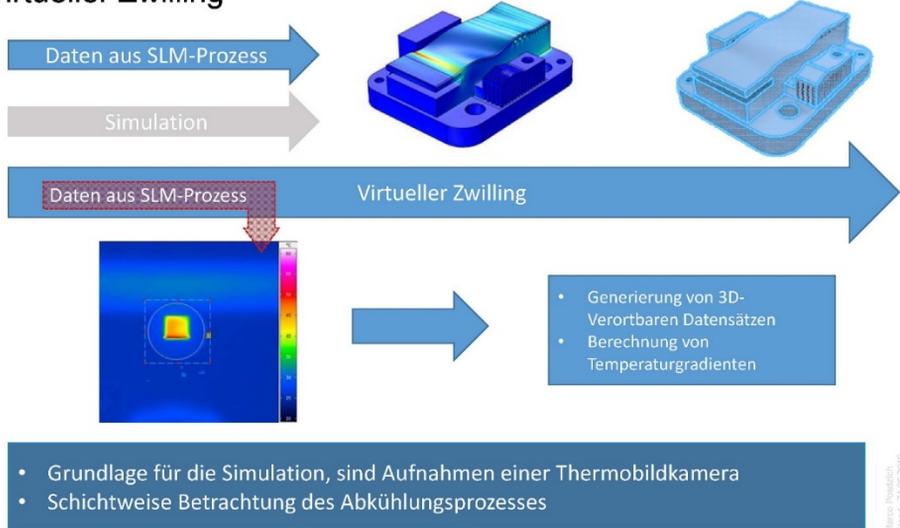
## Virtueller Zwilling in der additiven Fertigung



- Fertigung der Ausgangsdemonstratoren über Selectiv Laser Melting (SLM)
- Aufzeichnung von Produktionsdaten wie Laserleistung und genaue Verortung
- Daten können in den nächsten Prozessschritt übernommen werden

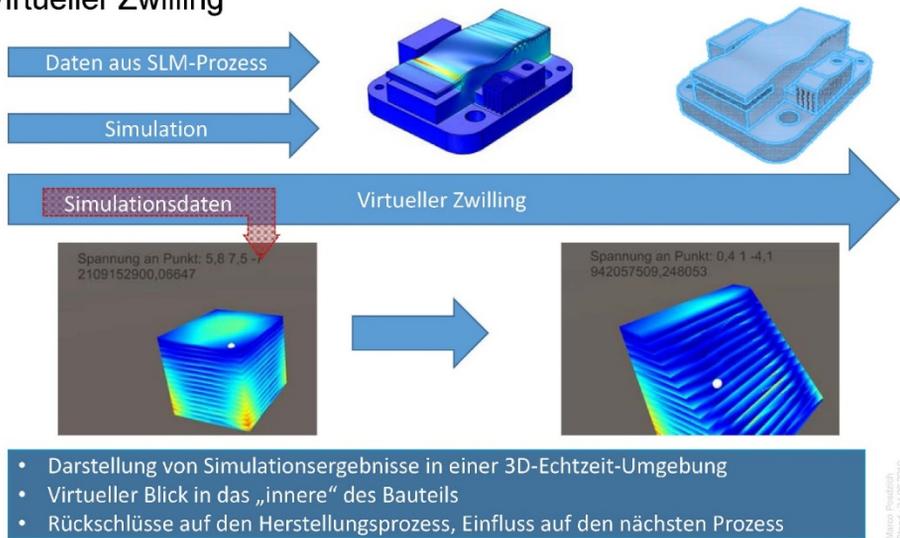
Endbearbeitung additiv gefertigter Freiformflächen durch Fräsen und Glattwalzen

### Virtueller Zwilling

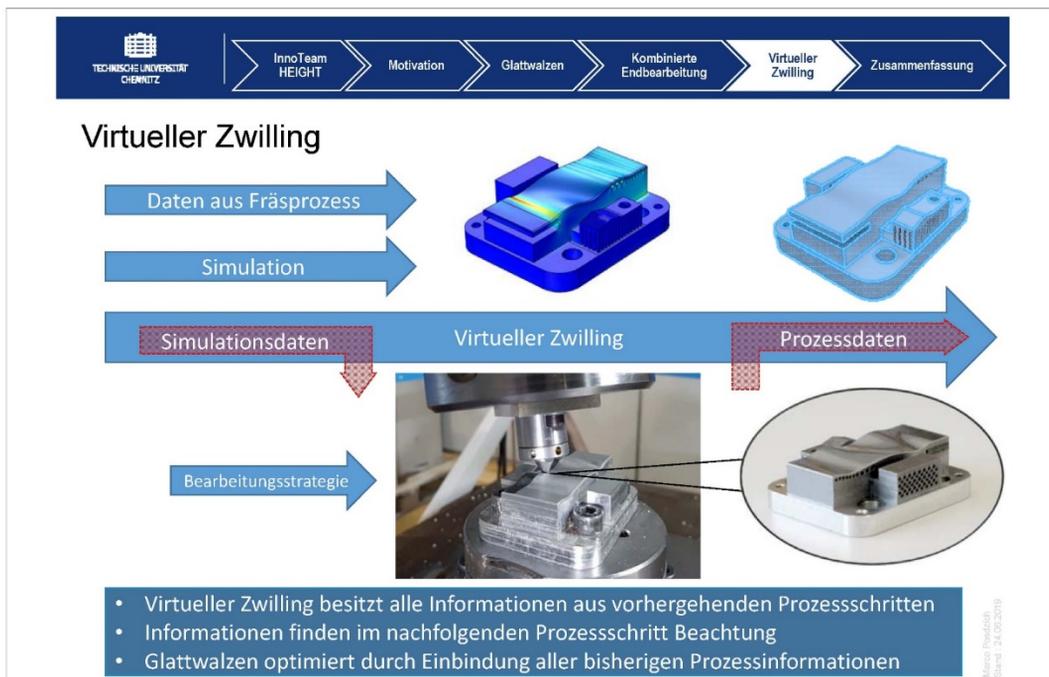


Endbearbeitung additiv gefertigter Freiformflächen durch Fräsen und Glattwalzen

### Virtueller Zwilling



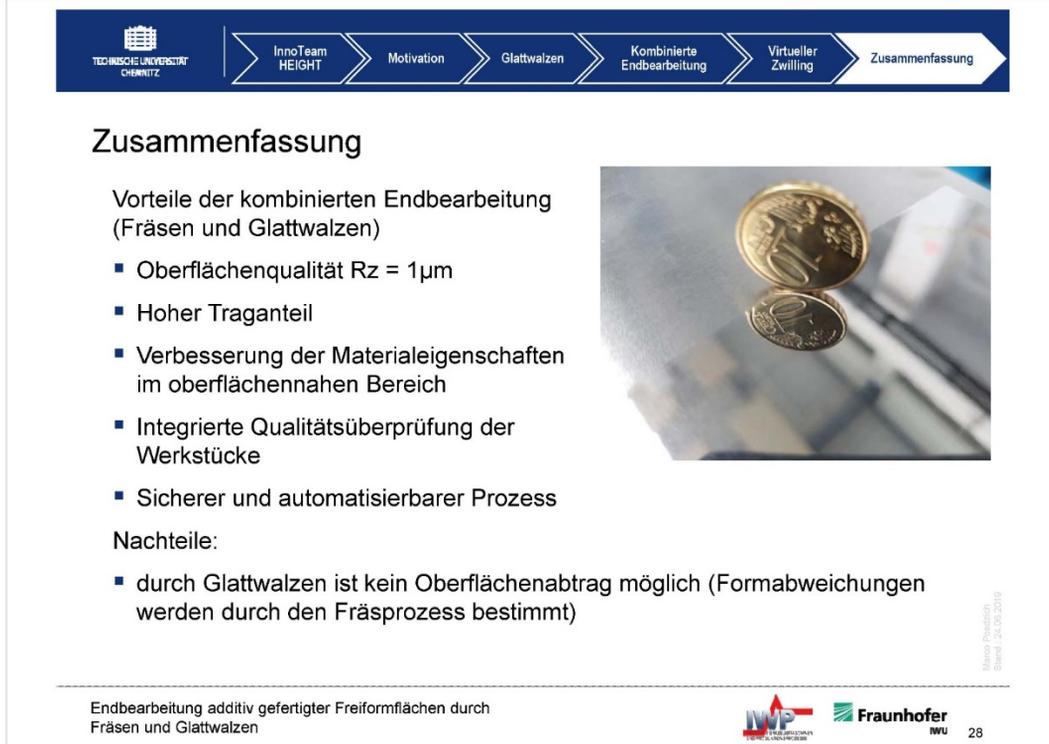
Endbearbeitung additiv gefertigter Freiformflächen durch Fräsen und Glattwalzen



Endbearbeitung additiv gefertigter Freiformflächen durch  
Fräsen und Glattwalzen



27



**3D-Druck in der Anwendung** **HTWK**  
6. Mitteldeutsches Forum Rapid Technologien  
mit Kooperationsbörse Hochschule für Technik,  
Wirtschaft und Kultur Leipzig

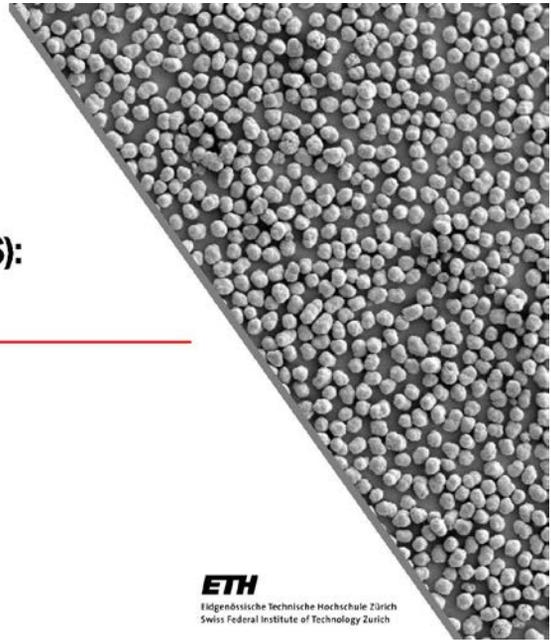
## Additive Fertigung mit Lasersintern (SLS): Pulverwerkstoffe und Bauteilqualität

**Manfred Schmid**

Head R&D SLS  
Inspire, icams - innovation center for additive manufacturing switzerland  
9014 St. Gallen, Switzerland

**inspire**

**ETH**  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



### Agenda

**3D-Druck in der Anwendung**

6. Mitteldeutsches Forum Rapid Technologien  
mit Kooperationsbörse

#### Kunststoff-Pulverwerkstoffe für Lasersintern (SLS):

- SLS-Pulver - Eigenschaften
- SLS-Pulver - Bauteilqualität

**inspire**

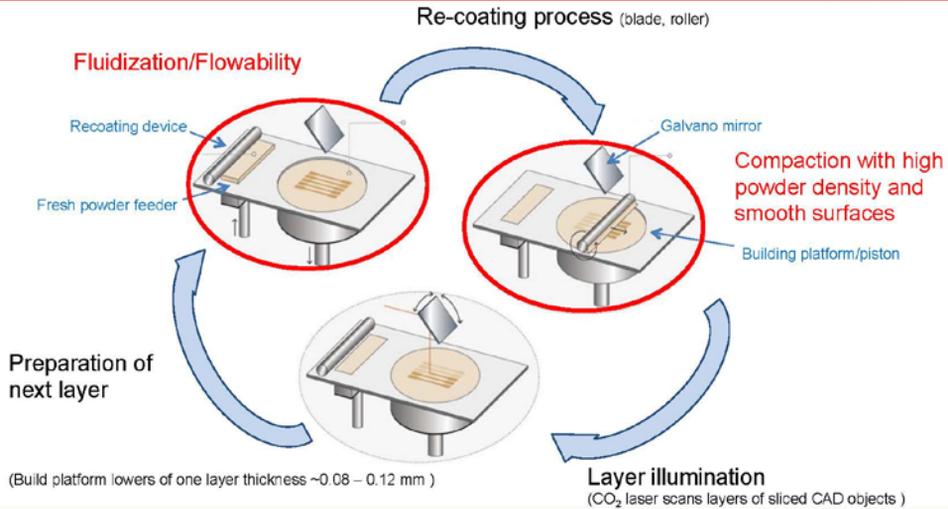
©2019 Inspire

**ETH**  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

## SLS-powder – process influences

3D-Druck in der Anwendung

6. Mitteldeutsches Forum Rapid Technologien mit Kooperationsbörse



inspire

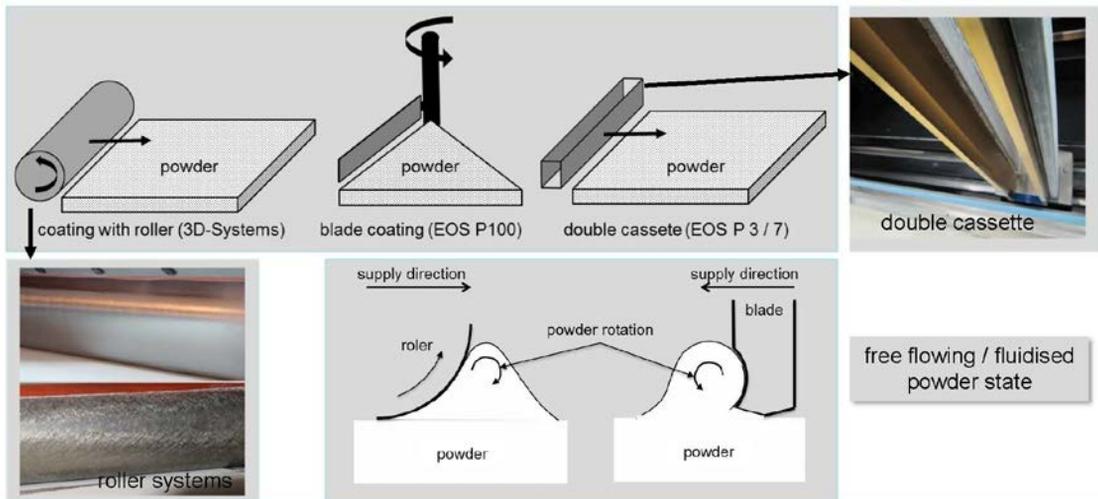
©2019 Inspire

**ETH**  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

## SLS-powder - application

3D-Druck in der Anwendung

6. Mitteldeutsches Forum Rapid Technologien mit Kooperationsbörse

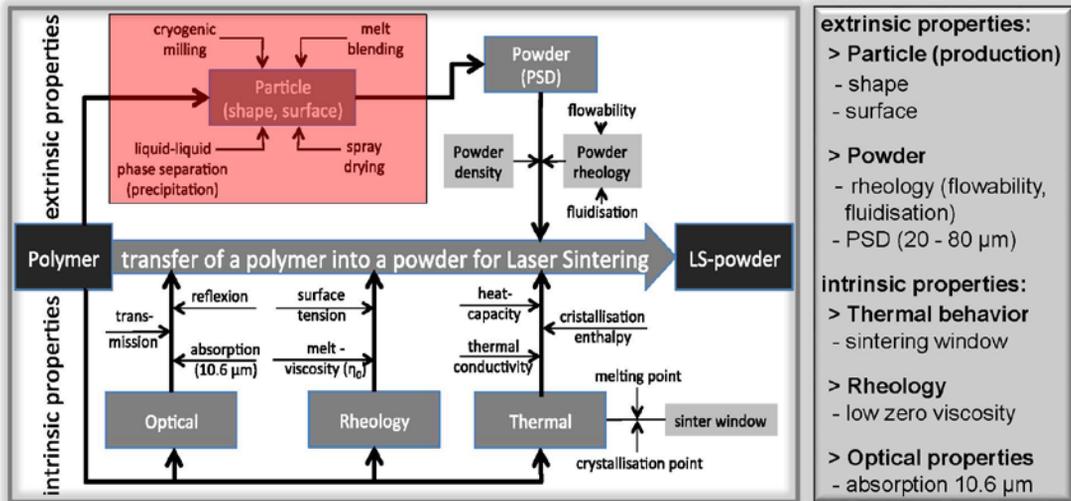


inspire

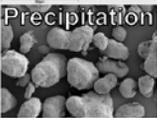
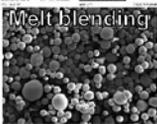
©2019 Inspire

**ETH**  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

## SLS-powder properties



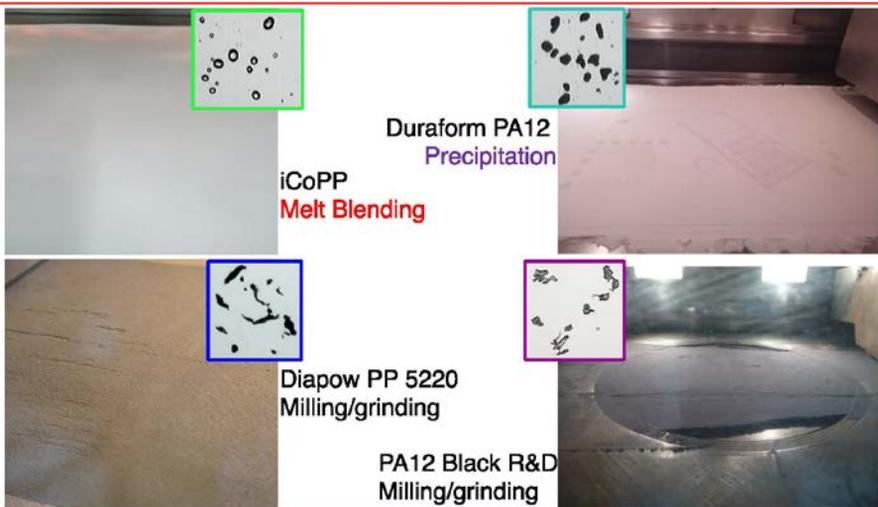
## SLS-powder - production

<p><b>Precipitation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Duraform/PA2200 (PA12)</b></li> </ul> <p><u>Technology summary</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dissolve polymer (PA12) in solvent (ethanol) at high temperature and pressure</li> <li>2. Reduce pressure to let polymer precipitate from solution</li> <li>3. Remove solvent by evaporation</li> <li>4. Collect powder</li> </ol>	<p>Milling/grinding</p> 	<p><b>Milling/grinding</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Duraform Flex</b></li> <li>▪ <b>Rilsan PA11</b></li> <li>▪ <b>PAEK</b></li> <li>▪ <b>Many others (non-commercialized)</b></li> </ul> <p><u>Technology summary</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cool polymer below <math>T_M</math> and/or <math>T_g</math> with <math>LN_2</math></li> <li>2. Grind in specialized mill</li> <li>3. Collect and classify powder</li> </ol>
<p><b>Solution polymerization</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Orgasol Invent Smooth PA12</b></li> </ul> <p><u>Technology summary</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Start with an incompatible mixture of monomer and solvent</li> <li>2. Add surfactant and stir</li> <li>3. Start polymerization</li> <li>4. Evaporate solvent and extract powder</li> </ol>	<p>Precipitation</p> 	<p><b>Melt blending</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Polypropylene (iCoPP)</b></li> </ul> <p><u>Technology summary</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mix polymer with a sufficiently large quantity (water-)soluble resin</li> <li>2. Melt blending</li> <li>3. Remove soluble phase with solvent</li> <li>4. Remove solvent and extract particles</li> </ol>
	<p>Polymerization</p> 	
	<p>Melt blending</p> 	

### SLS-powder – process influences

3D-Druck in der Anwendung

6. Mitteldeutsches Forum Rapid Technologien mit Kooperationsbörse



inspire

©2019 Inspire

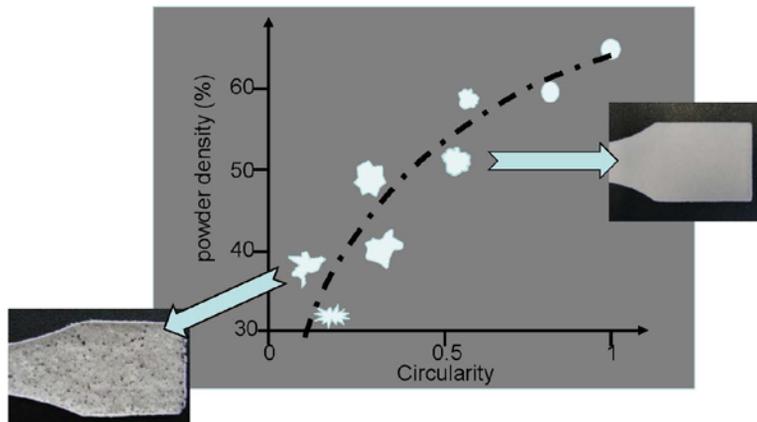
ETH  
 Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
 Swiss Federal Institute of Technology Zurich

### SLS-powder – shape (form factor)

3D-Druck in der Anwendung

6. Mitteldeutsches Forum Rapid Technologien mit Kooperationsbörse

→ poor flowability and poor powder density (part density!)



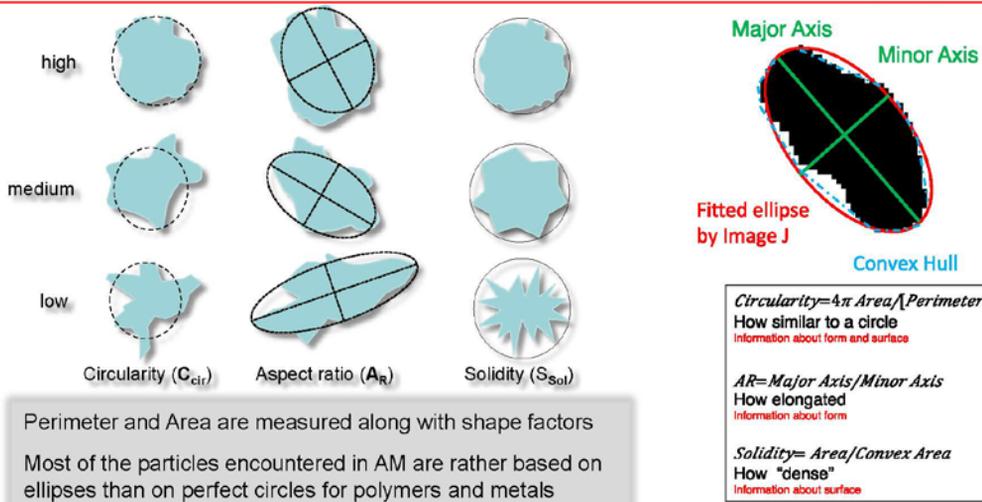
inspire

©2019 Inspire

ETH  
 Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
 Swiss Federal Institute of Technology Zurich

## SLS-powder – shape factors

3D-Druck in der Anwendung

6. Mitteldeutsches Forum Rapid Technologien  
mit Kooperationsbörse

inspire

©2019 Inspire

ETH  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zürich

## SLS-powder – elliptic smoothness

3D-Druck in der Anwendung

6. Mitteldeutsches Forum Rapid Technologien  
mit Kooperationsbörse

The *Elliptic Smoothness* gives a more accurate appreciation of the surface roughness of a particle than would circularity do. It gives an impression of how 'wrinkled' the particle's surface is.



$$E_{Smoothness} = \frac{\text{Particle Perimeter}}{\text{Ellipse Perimeter}} \geq 1$$

$$\text{Ellipse Perimeter} \approx \pi * (a + b) * \left(1 + \frac{3h}{10 + \sqrt{4 - 3h}}\right)$$

$$h = \frac{(a-b)^2}{(a+b)^2}; a = \text{Major Axis}; b = \frac{1}{2} \text{Minor Axis}$$

based on Ivory, Bessel, Ramanujan

Binary representation of a particle: **Perimeter** and **Area** can be obtained.

Interestingly, it is exactly the inverse of the smoothness parameters developed by Sugimoto in 1989

$$\zeta = \frac{\text{perimeter } P_E \text{ of the equivalent ellipse } E}{\text{perimeter } P_P \text{ of the particle image}} \quad (0 < \zeta \leq 1.0)$$

M. Sugimoto, N. Yokota and H. Nakazawa, Characterization of a particle by a pair of shape indexes, J. Soc. Powder Technol., Japan 26, 624-631 (1989).

inspire

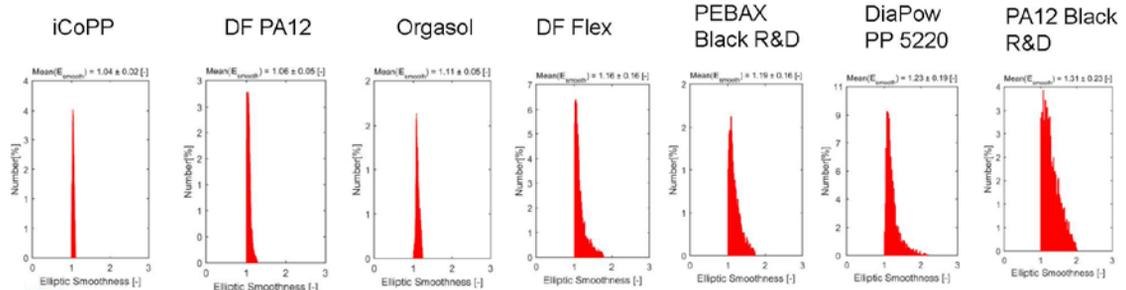
©2019 Inspire

ETH  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zürich

## SLS-powder – elliptic smoothness

3D-Druck in der Anwendung

6. Mitteldeutsches Forum Rapid Technologien  
mit Kooperationsbörse



## LS-PROCESSABILITY (qualitative)

The shape distribution described by elliptic smoothness ( $E_s$ ) of the powder impacts greatly on part bed formation and LS processability.

inspire

©2019 Inspire

ETH  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

## Agenda

3D-Druck in der Anwendung

6. Mitteldeutsches Forum Rapid Technologien  
mit Kooperationsbörse

### Kunststoff-Pulverwerkstoffe für Lasersintern (SLS):

- SLS-Pulver - Bauteilqualität

inspire

©2019 Inspire

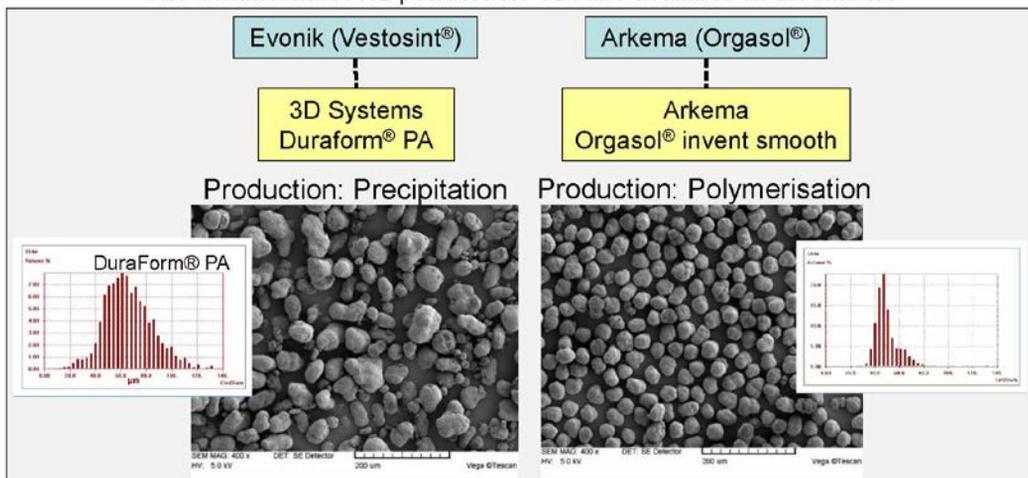
ETH  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

## SLS-powder – commercial solutions

3D-Druck in der Anwendung

6. Mitteldeutsches Forum Rapid Technologien mit Kooperationsbörse

Two commercial PA12 powders for SLS are available on the market



inspire

©2019 Inspire

ETH  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

## SLS-powder – mechanical properties

3D-Druck in der Anwendung

6. Mitteldeutsches Forum Rapid Technologien mit Kooperationsbörse

			Duraform® PA				Orgasol® invent smooth			
values from			MDS – 3DS		inspire values		MDS - Arkema		inspire values	
build direction			X	Z	X	Z	X	Z	X	Z
Young's modulus	ISO-527	MPa	1586	---	1677 ± 41	1611 ± 61	1800	---	1500 ± 25	1580 ± 21
		max. Tensile Strength	43	---	47.6 ± 1.5	40.6 ± 3.4	45	---	51.7 ± 0.7	29.3 ± 3.6
Elongation at Break		%	14	---	6.6 ± 0.7	3.7 ± 0.6	20	---	12.0 ± 0.4	1.9 ± 0.3
Charpy unnotched	ISO 197 1eA	kJ/m <sup>2</sup>	---	---	32.3 ± 2.6	10.2 ± 2.0	34	---	34.6 ± 2.0	2.8 ± 0.7
Charpy notched	ISO 197 1eA	kJ/m <sup>2</sup>	---	---	2.0 ± 0.5	2.1 ± 0.1	---	---	2.6 ± 0.5	1.3 ± 0.2

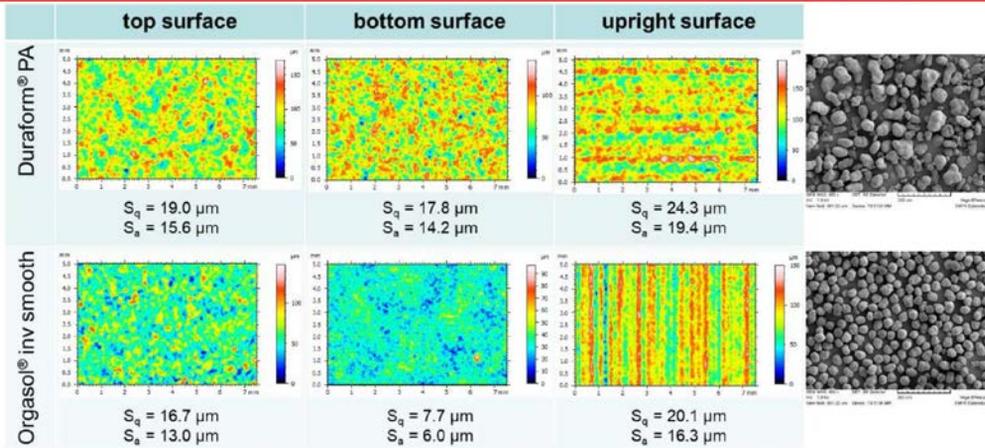
pronounced loss of mechanical properties in Z-direction for Orgasol® invent

inspire

©2019 Inspire

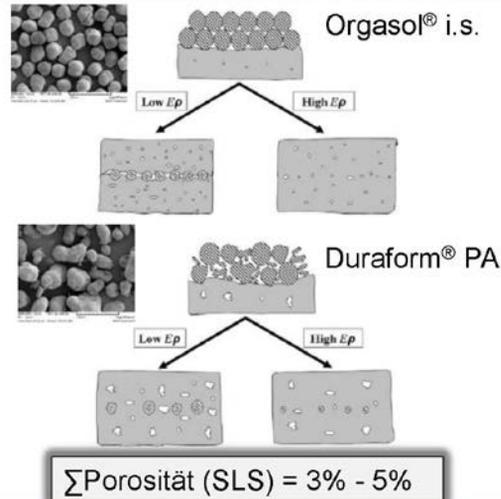
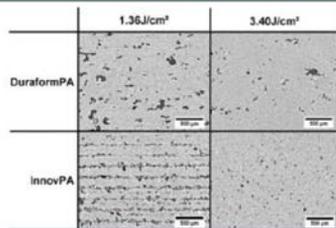
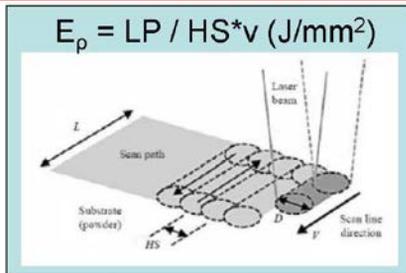
ETH  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

SLS-powder – surface quality



$S_a$  and  $S_q$  are the Average Roughness and Root Mean Square Roughness are evaluated over the complete 3D surface respectively.

SLS-powder – micro structure



S. Dupin et al./European Polymer Journal 48 (2012) 1611–1621

SLS-powder – molecular structure

**polymerisation of polyamide 12 (PA12)**

Lauryllactam + H<sub>2</sub>O → PA 12 (blocked chain ends) [Orgasol® invent smooth]

Lauryllactam + H<sub>2</sub>O → PA 12 (open chain ends) [Duraform® PA]

Legend:  
 ■ = reactive end groups -NH<sub>2</sub> and -COOH  
 → post condensation during SLS processing  
 → increasing chain length  
 → increasing melt viscosity

**MVR values (235 C / 2.16 kg):**

- Orgasol® IS: remain at about 15 cm<sup>3</sup>/10 min
- Duraform® PA: reduction 60 → 20 cm<sup>3</sup>/10 min

SLS-powder – part properties

**effects of unblocked chain ends of PA 12**

unwanted → post condensation of powder (aging)    low melt viscosity at process start    **increase of mechanical properties during process**    interlinkage of SLS-layers

**Increase of part properties during SLS build**

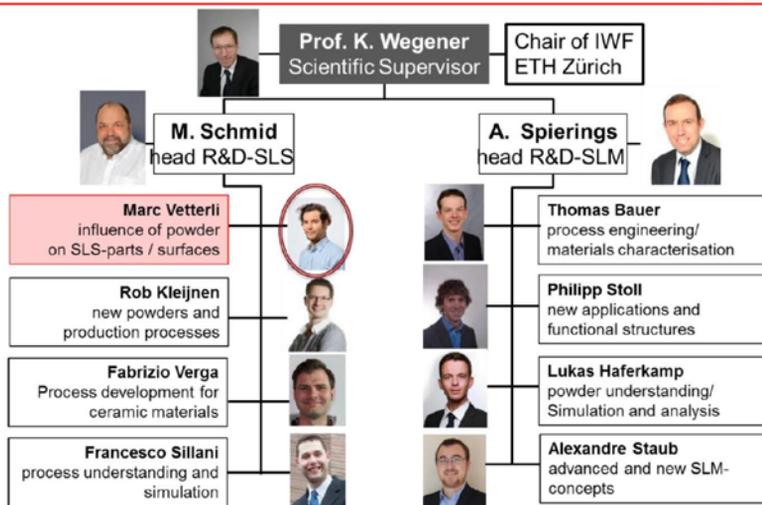
new part powder

SLS building chamber

→ avoid delamination!

	Duraform® PA	Orgasol® invent smooth
production	precipitation	direct polymerisation
Particle shape	„potato“ → compromise regarding flowability	spherical → more detailed parts → <b>better part surfaces</b>
Thermal situation	larger Sintering window → <b>easier processing</b> crystal size and structure!	needs more stable temp. situation during processing → thermal problems
Powder distribution	broad (bimodal)	narrow → high powder flowability → better powder density
PA12 chain ends	open → easy flowing melt → enhanced properties due to „post condensation“	blocked → <b>less powder „aging“</b> (economy)
mechanical properties	more homogenous in all directions	pronounced drop in z-direction

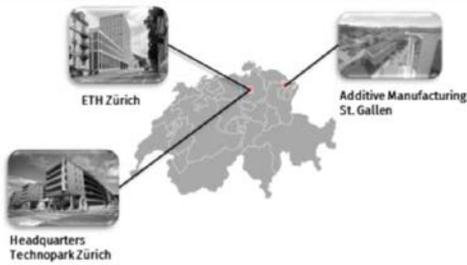
## icams team



## Introduction - inspire

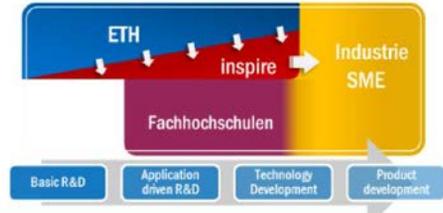
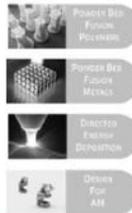
### 3D-Druck in der Anwendung

6. Mitteldeutsches Forum Rapid Technologien mit Kooperationsbörse



#### Facts & Figures

- Non-profit technology transfer institute
- Focus on production technology
- 10 MM CHF turnover
- 60 Employees, 15 working on AM (related) topic



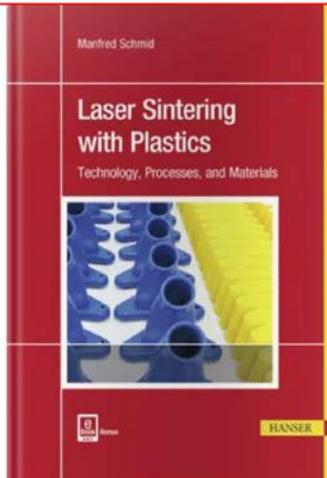
inspire

©2019 Inspire

ETH  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

### 3D-Druck in der Anwendung

6. Mitteldeutsches Forum Rapid Technologien mit Kooperationsbörse



Dr. Manfred Schmid  
Head R&D SLS

Inspire, icams  
Lerchenfeldstrasse 3  
9014 St. Gallen  
Switzerland

T: +41 71 274 73 16  
manfred.schmid@inspire.ethz.ch

inspire

©2019 Inspire

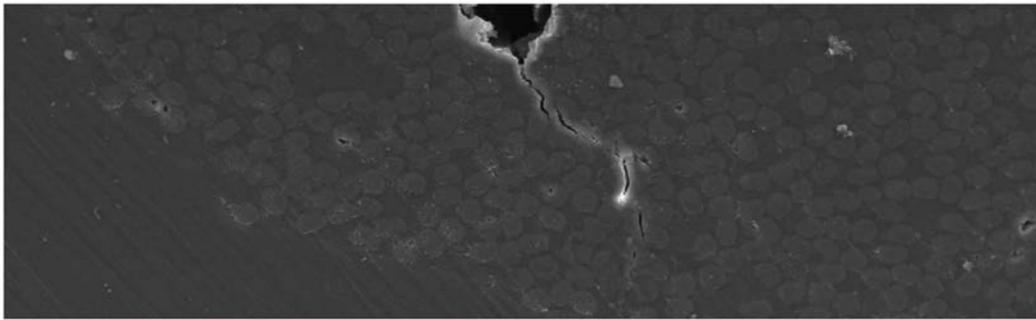
ETH  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

# 3D DRUCK MIT FASERVERSTÄRKTEN KUNSTSTOFFEN – EINBLICKE IN MATERIAL UND PROZESS

Forum 3D-Druck in der Anwendung

29.10.2019

Friedrich Zerling, R. Schlimper, R. Schäuble

1  
© Fraunhofer

## Motivation für Faserverstärkungen in Polymeren

- Anpassung der Eigenschaften von Verbundwerkstoffen an den Anwendungsfall mittels Füllstoffen [1]
  - spezifischer E-Modul ( $E/\rho$ ) ↑
  - Bruchdehnung ↓
  - Kristallinität ↑
  - Härte, Tribologie ↑
  - Schmelzeviskosität ↓
  - (Gezielte) Anisotropie (mechanisch, thermisch, elektrisch)
  - Kosten ↓
- Typische Füllstoffe:
  - Kugeln, Mehl, Puder, Fasern

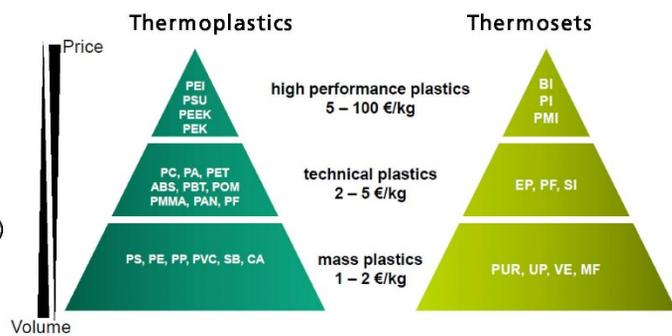


Abb. 1: Übersicht technischer Polymere

2  
© Fraunhofer

## Motivation für Faserverstärkungen in Polymeren

- Erhöhte Molekülorientierung in Längsrichtung der Faser durch Verstreckung
- Zäh-duktiler Matrix überträgt Spannungen an dehn- und biegesteife Faser über mitwirkende Länge

Tab. 1: Matrix-Eigenschaften vs. Fasereigenschaften [2]

	PA 6 (dry)	UP-resin	Glass fiber
Tensile strength [MPa]	80	60	< 1,200 – 1,500
Elastic modulus [MPa]	3,000	4,000	< 75,000
Poisson's ratio	0.4	0.35	0.18
Strain at failure [%]	5	2 - 8	> 2
Thermal expansion coefficient [1/°C]	$100 \cdot 10^{-6}$	$100 \cdot 10^{-6}$	$4.6 \cdot 10^{-6}$
Glass transition or melting temperature [°C]	75/220	40 - 140	600
Density [g/cm <sup>3</sup> ]	1.14	1.25	2.52

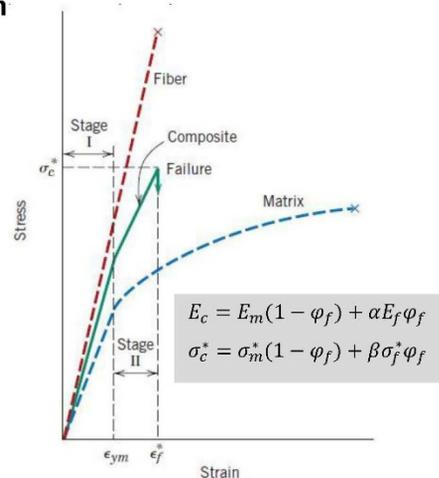


Abb. 2:  $\sigma$ - $\epsilon$ -Diagramm von unidirektional verstärkten Kompositen im Zugversuch [3]

3  
© Fraunhofer

Fraunhofer  
IMWS

## Motivation für Faserverstärkungen in Polymeren

- Bei gleicher Materialpaarung (Faser, Matrix):  
Beeinflussung der mechanischen Eigenschaften durch

- Faserlänge (L/D-Verhältnis)
  - Kurzfaser (< 1 mm)
  - Langfaser (1...50 mm)
  - Endlosfaser (> 50 mm)
- Faserorientierung
  - Unidirektional
  - Orientiert/gerichtet
  - Wirr/isotrop
- Faservolumengehalt

$$E_c = E_m(1 - \varphi_f) + \alpha E_f \varphi_f$$

$$\sigma_c^* = \sigma_m^*(1 - \varphi_f) + \beta \sigma_f^* \varphi_f$$

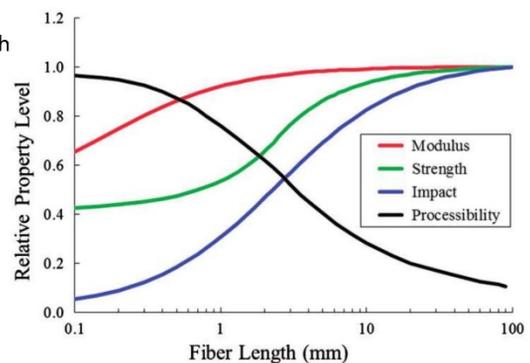
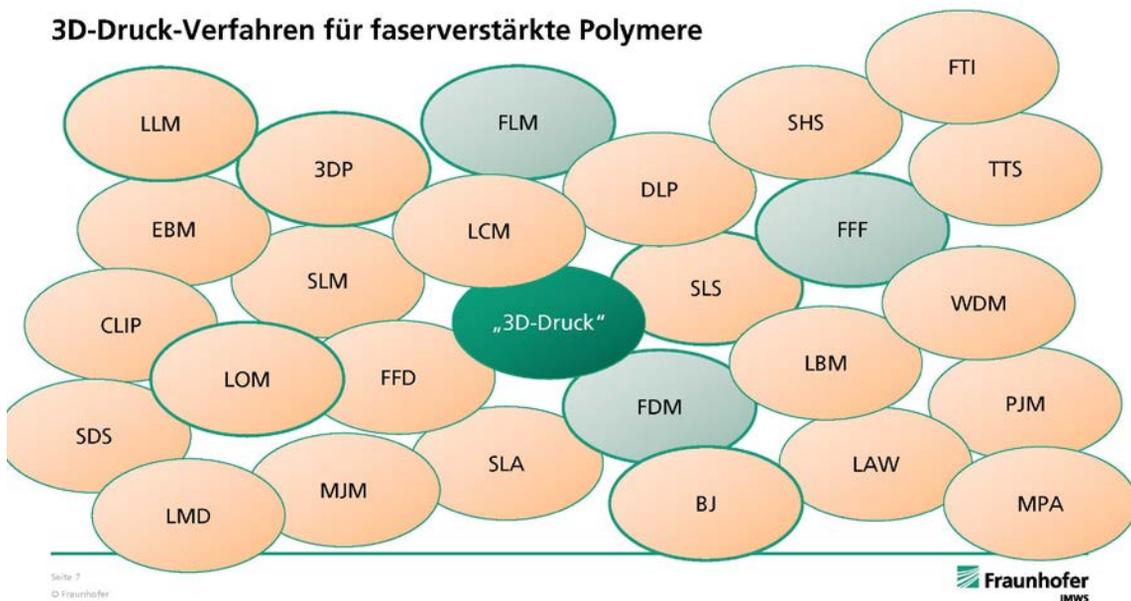


Abb. 3: FVK-Eigenschaften in Abhängigkeit der Faserlänge [4]

4  
© Fraunhofer

Fraunhofer  
IMWS

## 3D-Druck-Verfahren für faserverstärkte Polymere



## FLM - Prinzip und Herausforderungen

- Schichtdefinition (einschließlich Maschinenparameter) im Pre-Prozessor (Slicer)
  - Umwandlung von CAD-Volumenmodell in gcode
- Einfaches Grundprinzip der Kunststoffextrusion durch eine bewegliche Düse:
  1. Aufschmelzen des polymeren Halbzeugs (Filament)
  2. Transport der Schmelze durch noch erstarrtes Filament
  3. Selektives Ablegen des Schmelzestrangs auf Bauplattform
- Herausforderungen:
  - Nutzer-offene und -geschlossene Systeme (Parameteranpassungen)
  - Reproduzierbarkeit der Ergebnisse nicht gegeben aufgrund mangelnder Normung
  - Korrelation von Prozess-, Material-, Struktur- und Eigenschaftsmerkmalen

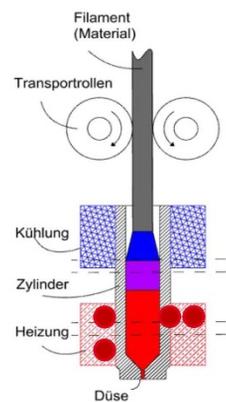


Abb. 4: Prinzip FFF/FDM/FLM



## Interdependenzen

- Eintrag von Kurzfasern in Filament beeinflusst primär die Materialparameter → Anpassung der Druckparameter wird notwendig

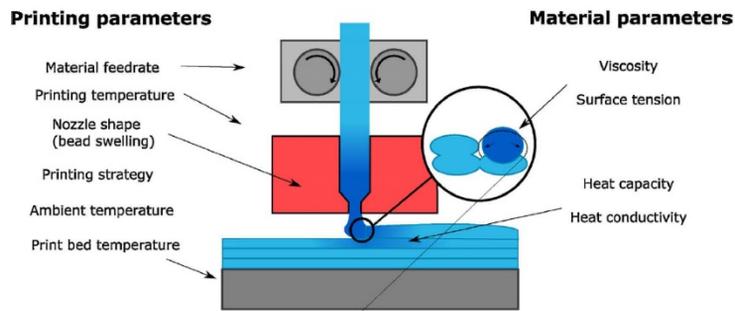


Abb. 5: Einflussparameter auf das Schmelzschichten [5]

## Besonderheiten beim faserverstärkten 3D-Druck

- Eintrag von Kurzfasern in Filament beeinflusst primär die Materialparameter → Anpassung der Druckparameter wird notwendig

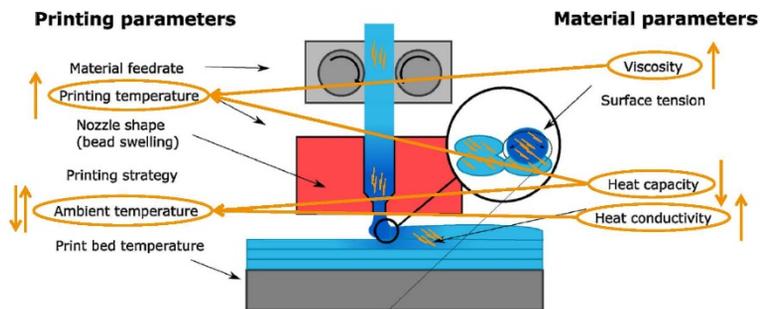


Abb. 5: Einflussparameter auf das Schmelzschichten [5]

## Besonderheiten beim faserverstärkten 3D-Druck

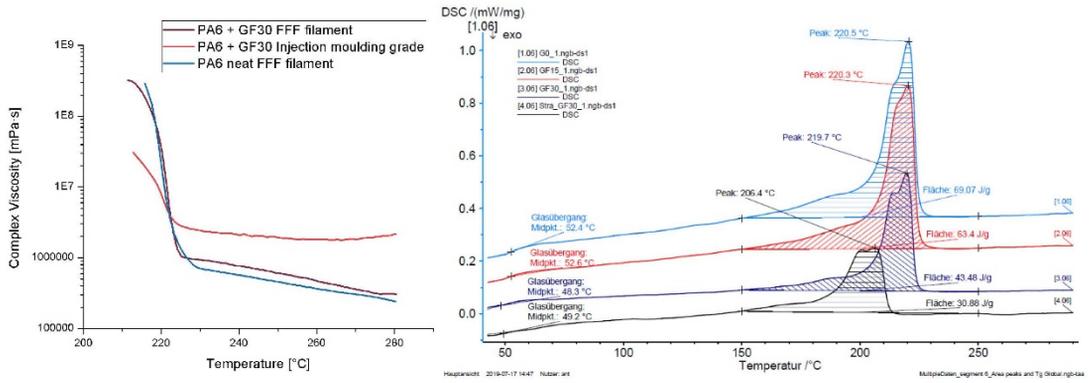
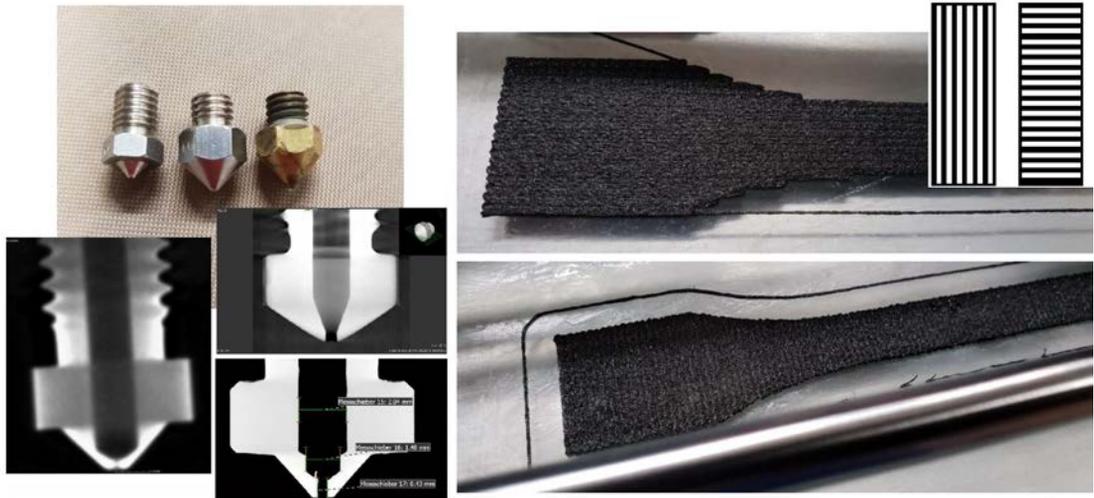
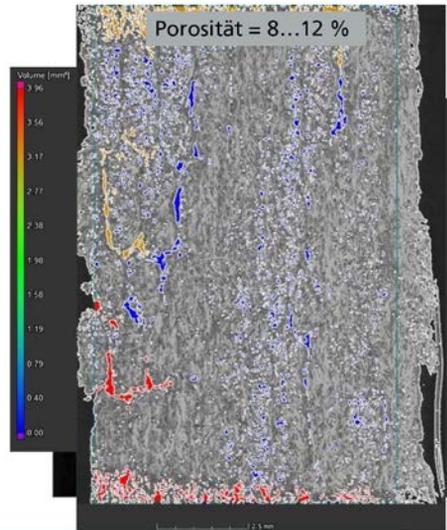
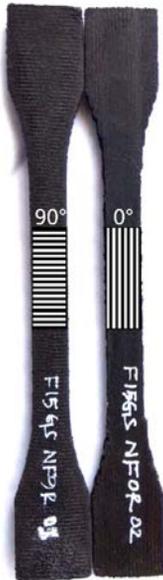
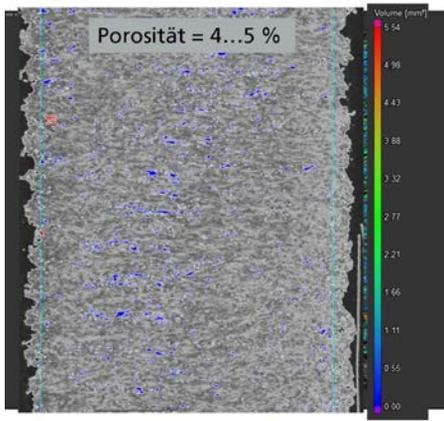


Abb. 6: Exemplarische Darstellung der Temperaturabhängigkeit faserverstärkter FFF-Filamente (Viskosität, I. und Schmelzenthalpie, r.)

## Besonderheiten beim faserverstärkten 3D-Druck



### Besonderheiten beim faser- verstärkten 3D-Druck



Seite 15  
© Fraunhofer

Fraunhofer  
IMWS

### Zugprüfung ISO 527; ISO 1110

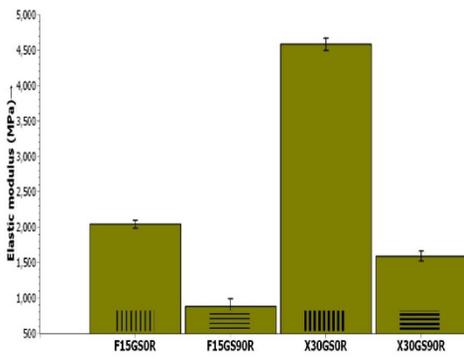


Abb. 7: E-Modul gedruckter PA/GF-Filamente

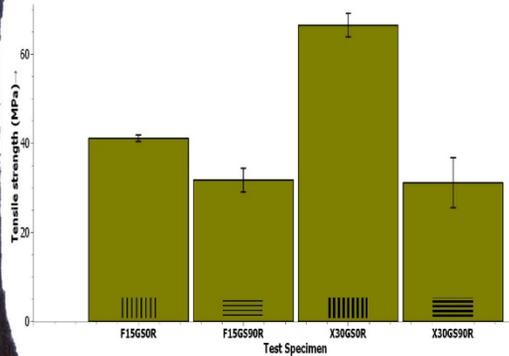
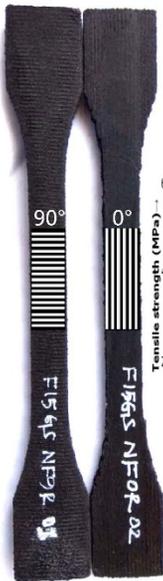


Abb. 8: Zugfestigkeit gedruckter PA6/GF-Filamente

Seite 18  
© Fraunhofer

Fraunhofer  
IMWS

## Untersuchung thermisch-morphologisch-mechanischer Zusammenhänge

Tab. 2: Übersicht Parametervariation zur Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Wärmequellen und -ströme

Bezeichnung Serie	Faservolumen- gehalt		Probenlängsachse zu Ablagerichtung		Heizstrategie			Beschleunigte Konditionierung nach ISO 1110
	15	30	parallel (0°)	orthogonal (90°)	Konduktion (konventionell)	zusätzliche Konvektions- und Strahlungsquelle	größerer Temperaturgradient, verringerte Druckgeschw.	
Y150	x		x		x			x
Y15M	x		x		x	x		x
Y300		x	x		x			x
Y30M		x	x		x	x		x
Z150	x			x	x			x
Z15M	x			x	x	x		x
Z15MHT	x			x	x	x	x	x
Z300		x		x	x			x
Z30M		x		x	x	x		x
Z30MHT		x		x	x	x	x	x

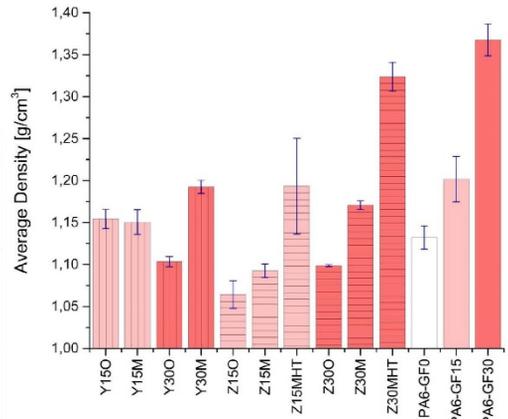


Abb. 9: Dichte gedruckter Probekörper mit unterschiedlicher Temperaturführungsstrategie (ISO 1183-1)

## Untersuchung thermisch-morphologisch-mechanischer Zusammenhänge

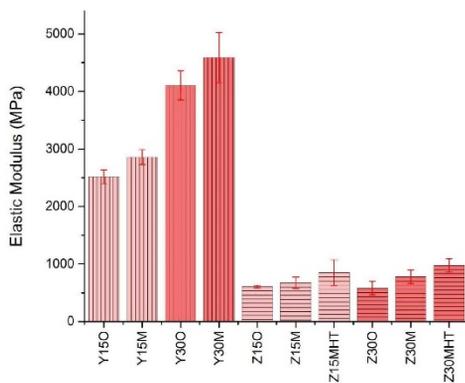


Abb. 10: Elastizitätsmodul gedruckter Probekörper mit unterschiedlicher Temperaturführungsstrategie (ISO 527)

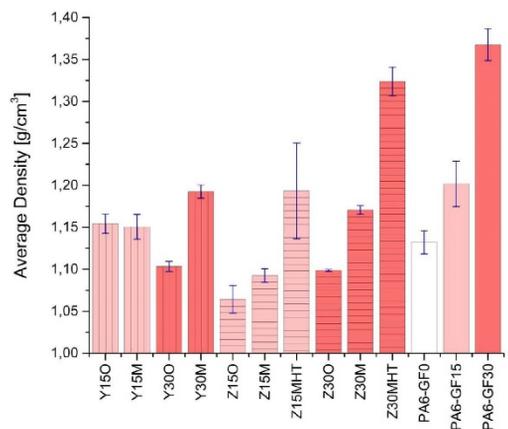


Abb. 9: Dichte gedruckter Probekörper mit unterschiedlicher Temperaturführungsstrategie (ISO 1183-1)

## Untersuchung thermisch-morphologisch-mechanischer Zusammenhänge

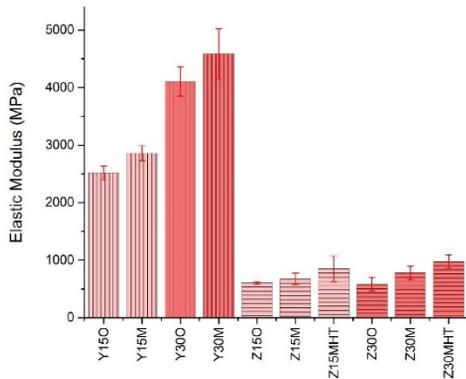


Abb. 10: Elastizitätsmodul gedruckter Probekörper mit unterschiedlicher Temperaturführungsstrategie (ISO 527)

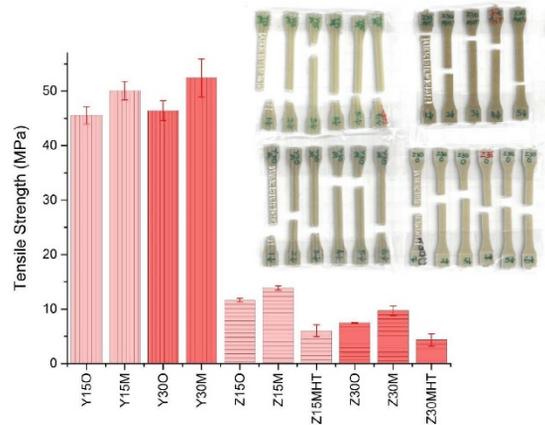


Abb. 11: Zugfestigkeit gedruckter Probekörper mit unterschiedlicher Temperaturführungsstrategie (ISO 527)

Seite 21  
© Fraunhofer

Fraunhofer  
IMWS

## Untersuchung thermisch-morphologisch-mechanischer Zusammenhänge

- Starke Anisotropie in der Molekül- und Faserorientierung → Orientierung der Proben im Bauraum ist entscheidend
- Faservolumengehalt steigert E-Modul, steigert Festigkeit longitudinal bedingt, reduziert Festigkeit transversal (schlechtere Schichtanbindung)
- Vorwärmen der unteren Schicht reduziert den Gradienten, der zum Verschmelzen der Stränge überwunden werden muss → geringere Enthalpie in abgelegtem Strang notwendig → positiver Effekt auf Modul und Festigkeit
- Plateau für zusätzlichen Temperatureintrag hinsichtlich Festigkeit → Optimierung des Prozessfenster notwendig

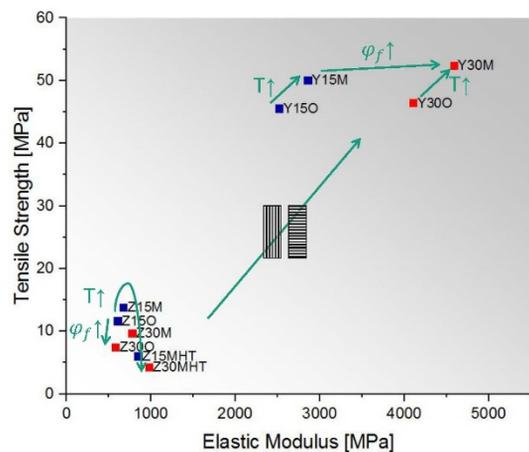


Abb. 12: Matrix mechanischer Eigenschaften faserverstärkter FFF-Proben

Seite 22  
© Fraunhofer

Fraunhofer  
IMWS

### Potential faserverstärkten 3D-Drucks

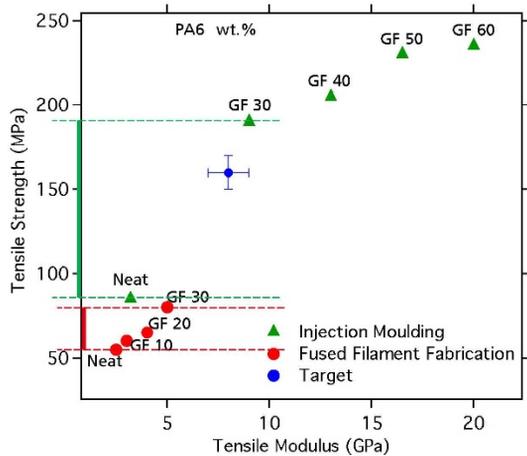


Abb. 13: Vergleich mechanischer Eigenschaften Spritzguss vs. FFF

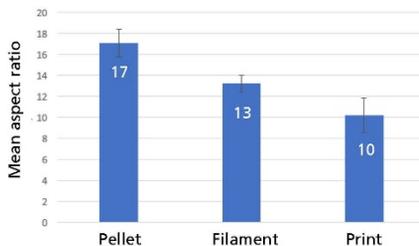
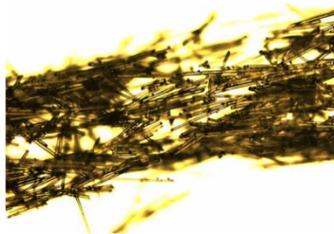


Abb. 14: Entwicklung von Faserlängen (LD-Verhältnis)

### Potential faserverstärkten 3D-Drucks

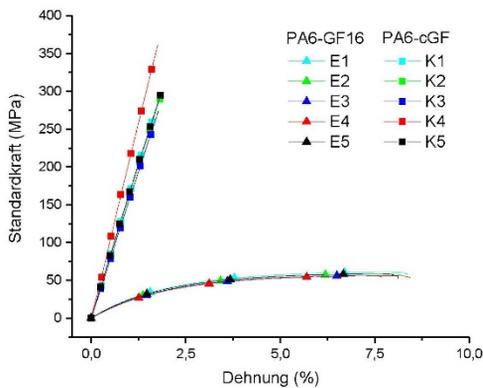
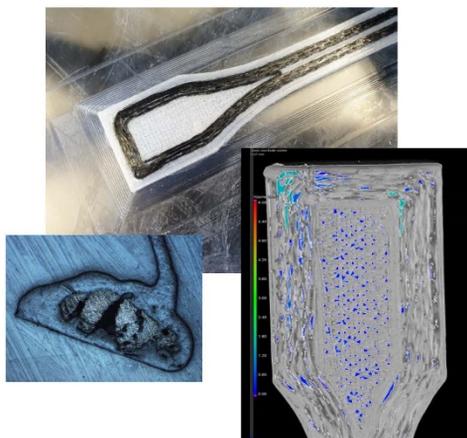


Abb. 15: Mechanische Eigenschaften kurz und endlosfaserverstärkter FFF-Proben, exemplarisch

## Fazit

- Faserverstärkung in FFF-Filamenten beeinflussen primär Materialparameter
- Typische Fehlerbilder resultieren aus FFF-Prozess und dessen Parameter-Set
- Komplexe Zusammenhänge und Interdependenzen verlangen nach gegenseitiger Entkopplung, beweisen jedoch hohes Forschungs- und Entwicklungspotential
- Temperaturführung ist für Prozess und Material essentiell
- Notwendigkeit der hinreichenden Sensorierung der Geräte
- Einführung von Regelkreisen (dimensionelles Messen, Nachregeln)
- Faser-Kunststoff-Compounds müssen speziell für die Anwendung im 3D-Druck angepasst werden (analog Spritzguss, Blasextrusion, etc.)
- Annäherung der mechanischen Eigenschaften an spritzgegossenes Material ist nur bedingt möglich

26

© Fraunhofer

intern



## Quellen

- [1] Münstedt, H.: Rheological and Morphological Properties of Dispersed Polymeric Materials: Filled Polymers and Polymer Blends. Hanser, München (2016)
- [2] Ehrenstein, G.: Polymeric material : structure – properties – application. Hanser, München (2001)
- [3] Callister, W.: Materials Science and Engineering. An Introduction. Wiley, New York (2006)
- [4] Wang, Q.; et al.: Development and characterization of high-performance kenaf fiber–HDPE composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites. 37. (2017)
- [5] Blok, L.; et al.: An investigation into 3D printing of fibre reinforced thermoplastic composites. Additive Manufacturing. Vol. 22. (2018)

27

© Fraunhofer



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung und den Projektpartnern im Projekt „Enhancement of reliability of 3D printed fibre reinforced polymer parts via material modelling and insitu 3D X-Ray inspection technology – Reliable GF-3D“

FKZ 03XP0165A



28

© Fraunhofer



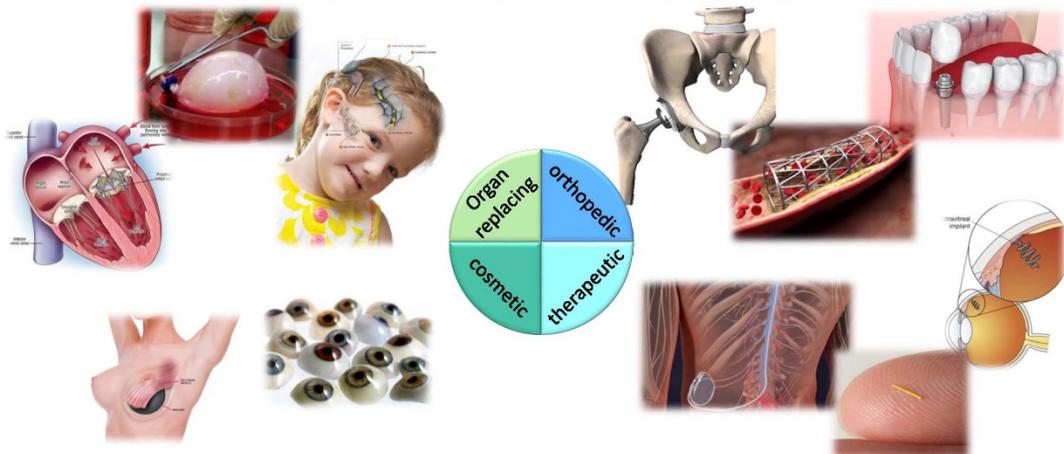
# BIO-INSPIRED PEPTIDE COATINGS FOR IMPROVED CELL-IMPLANT-INTERACTIONS

## BIOCHEMISCHE MODIFIZIERUNG VON CHIPS UND IMPLANTATEN

Prof. Dr. Annette Beck-Sickinger  
 Institute of Biochemistry  
 Faculty of Life Sciences, Leipzig University

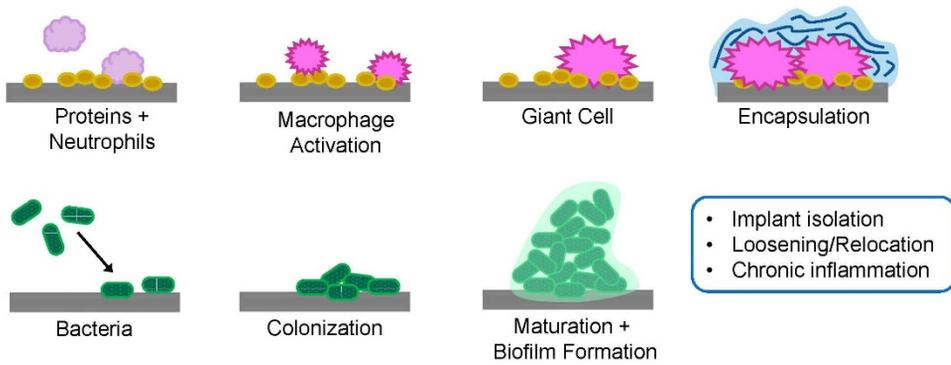
### BIOMATERIALS

IUPAC: Material exploited in contact with living tissues, organisms, or microorganisms



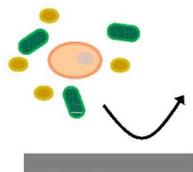
[https://www.uichildrens.org/uploadedimages/Uichildrens/Medical/Otolaryngology\\_Head\\_and\\_Neck\\_Surgery/Madison-Diagram-Large.jpg](https://www.uichildrens.org/uploadedimages/Uichildrens/Medical/Otolaryngology_Head_and_Neck_Surgery/Madison-Diagram-Large.jpg), <http://openwetware.org/images/ff/ff/Bladder.jpg>, <https://nyulibrary.org/news/remarkable-technique-replace-heart-valves-speres-patients-surgery>, <https://www.orthopedicist.com/total-hip-replace-ment/>, <https://www.northplaidental.com/blog/dental-implant-surgery-side-effects>, <https://www.spiegel.de/wissenschaft/medizin/stare-mehr-schlaganfaelle-als-bei-reinmedikamentoser-behandlung-a-906215.html>, <https://www.plasticsurgery.co.nz/procedure/sbreast-entertainment>, [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cf/\\_selection\\_of\\_glass\\_eyes\\_from\\_an\\_opticians\\_glass\\_eyr\\_case\\_-\\_Welcome\\_10036683.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cf/_selection_of_glass_eyes_from_an_opticians_glass_eyr_case_-_Welcome_10036683.jpg), <http://www.backandneckpains.com/orthopedic-pain-pumps/>, [http://www.opthalmologymanagement.com/content/article/2015/june/images/omd\\_image\\_a09\\_fg01.jpg](http://www.opthalmologymanagement.com/content/article/2015/june/images/omd_image_a09_fg01.jpg)

## “RACE FOR THE SURFACE”



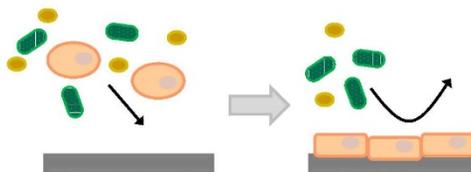
## DESIGNING SURFACE PROPERTIES TO GUIDE HEALING

### BIOINERT



Minimize unspecific adsorption of bacteria, proteins and cells

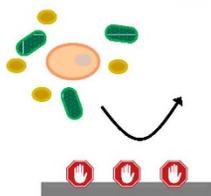
### BIOACTIVE



Adhesion of tissue cells leaves no place for bacteria and mediates implant integration

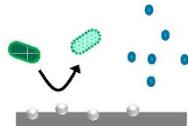
## DESIGNING SURFACE PROPERTIES TO GUIDE HEALING

### BIOINERT VS. BIOACTIVE VS. BIOMIMETIC



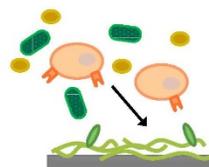
inert or protein/cell-repellent

- Passive effect
- Organic/inorganic coating



external modulators

- Surface hydrophilization/plasma treatment/...
- Drug incorporation/release
- Preseeded cells



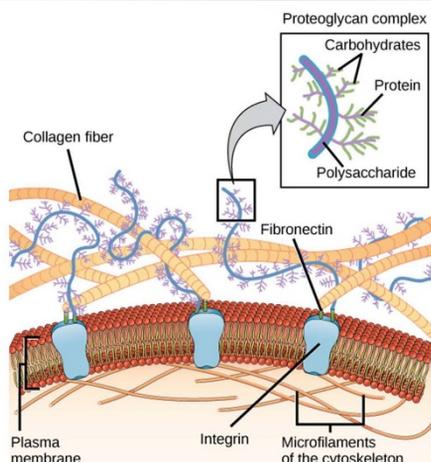
nature-derived coating to actively promote cell adhesion

- ECM components (adhesion ligands, GAGs, structural/mediator proteins)

ECM – extracellular matrix, GAG - glycosaminoglycan

Pagel M, Beck-Sickingler AG. Biol Chem. 2017 Jan 1;398(1):3-22.

## IMMOBILIZATION OF BIOMIMETIC COATINGS



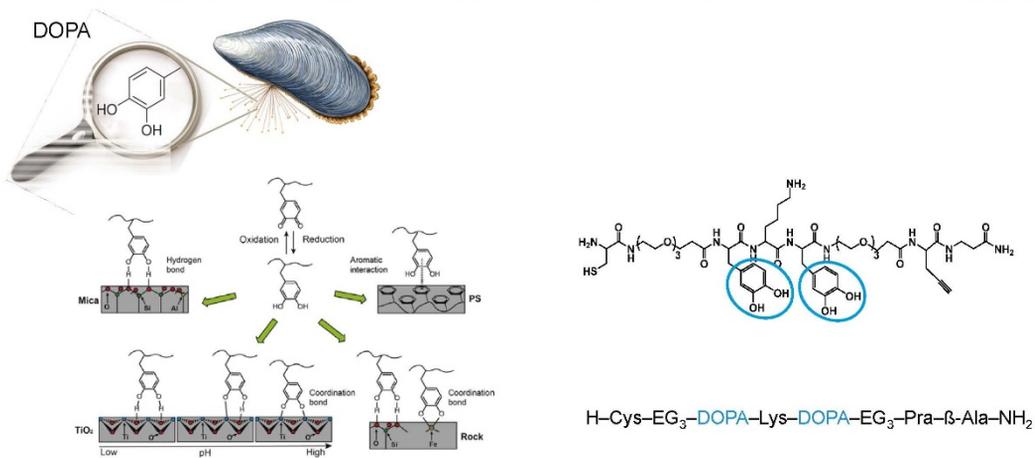
What kind of ECM components?

- Structural proteins, GAGs
- Cell/matrix recognition sites
- modulator proteins

How to immobilize them onto the material?

ECM – extracellular matrix, GAG - glycosaminoglycan  
<https://cdn.kastatic.org/ka-perseus-images/2743d345dabf639cfe83a7474260f3c23730d91.png>

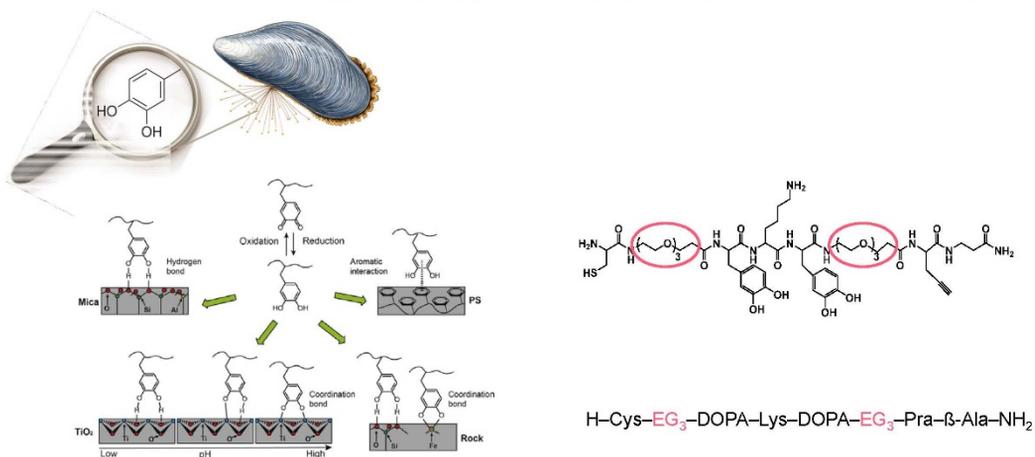
## CATECHOL CHEMISTRY FOR SURFACE BINDING PEPTIDES



DOPA – L-3,4-dihydroxyphenylalanine, EG<sub>3</sub> – ethylene glycole, Pra – L-propargylglycine, β-Ala – β-alanine

Pagel M, et al. Angew Chem Int Ed Engl. 2016;55:4826-30.

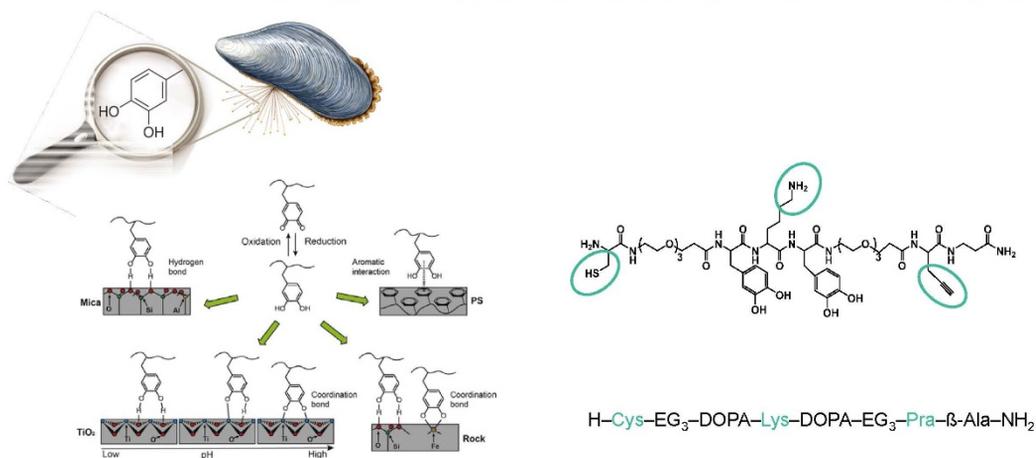
## CATECHOL CHEMISTRY FOR SURFACE BINDING PEPTIDES



DOPA – L-3,4-dihydroxyphenylalanine, EG<sub>3</sub> – ethylene glycole, Pra – L-propargylglycine, β-Ala – β-alanine

Pagel M, et al. Angew Chem Int Ed Engl. 2016;55:4826-30.

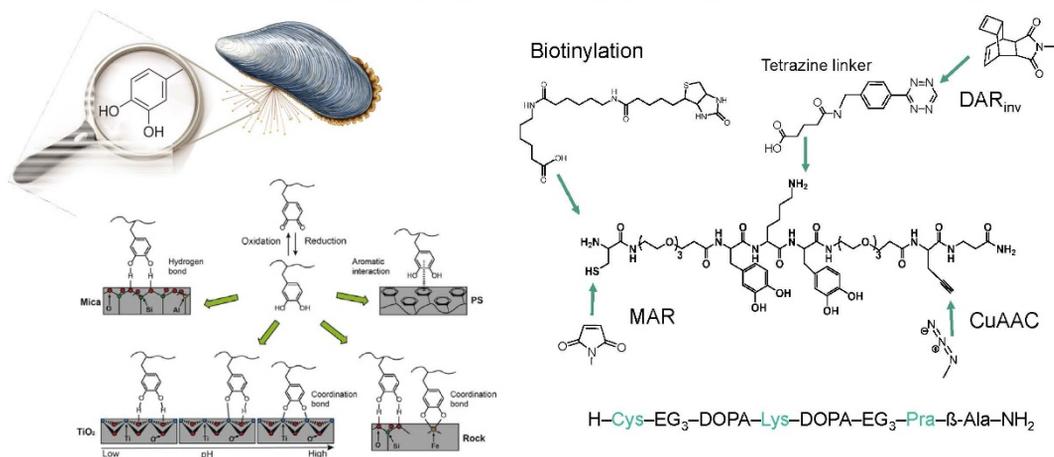
## CATECHOL CHEMISTRY FOR SURFACE BINDING PEPTIDES



DOPA – L-3,4-dihydroxyphenylalanine, EG3 – ethylene glycole, Pra – L-propargylglycine,  $\beta$ -Ala –  $\beta$ -alanine  
Lin Li. *Biotribology* (2016)

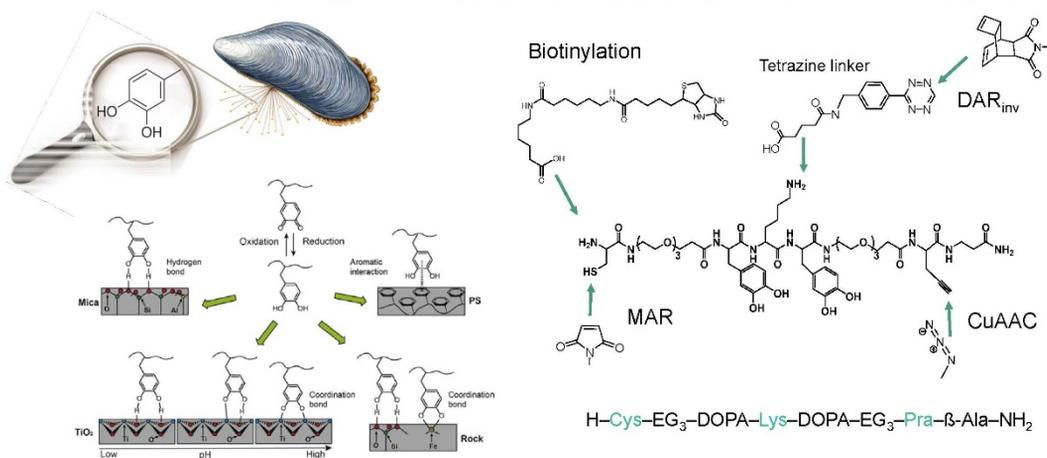
Pagel M, et al. *Angew Chem Int Ed Engl.* 2016;55:4826-30.

## CATECHOL CHEMISTRY FOR SURFACE BINDING PEPTIDES



DOPA – L-3,4-dihydroxyphenylalanine, EG3 – ethylene glycole, Pra – L-propargylglycine,  $\beta$ -Ala –  $\beta$ -alanine,  $\text{DAR}_{\text{inv}}$  – Diels-Alder reaction with inverse electron demand, CuAAC – Copper(I)-catalyzed azide alkyne cycloaddition, MAR – Michael addition reaction, PS – polystyrene

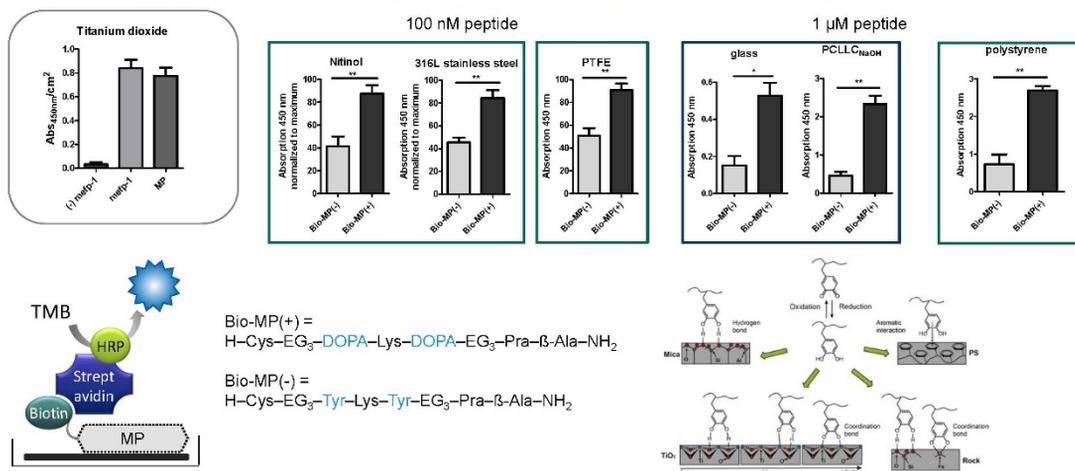
## CATECHOL CHEMISTRY FOR SURFACE BINDING PEPTIDES



DOPA – L-3,4-dihydroxyphenylalanine, EG<sub>3</sub> – ethylene glycole, Pra – L-propargylglycine, β-Ala – β-alanine, DAR<sub>inv</sub> – Diels-Alder reaction with inverse electron demand, CuAAC – Copper(I)-catalyzed azide alkyne cycloaddition, MAR – Michael addition reaction, PS – polystyrene.

Page1 M et al. Org Biomol Chem. 2016,14:4809-16.

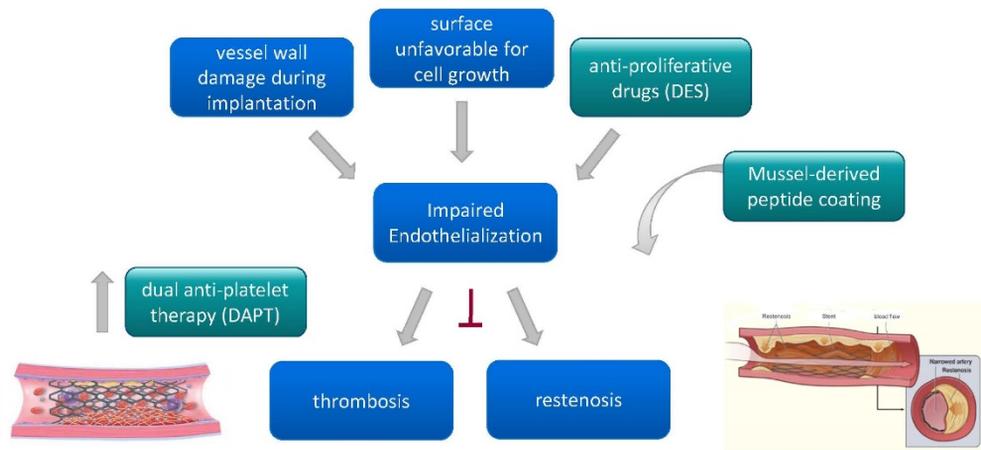
## SURFACE BINDING PROPERTIES



DOPA – L-3,4-dihydroxyphenylalanine, EG<sub>3</sub> – ethylene glycole, Pra – L-propargylglycine, β-Ala – β-alanine, PS – polystyrene, PTFE – polytetrafluoroethylene, HRP – horse radish peroxidase, TMB – 3,3',5,5'-Tetramethylbenzidine, n3, mean ± SEM.

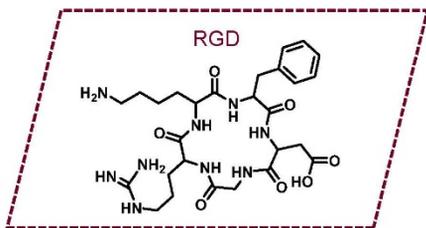
Clauder F, Czerniak AS, Friebe S, Mayr SG, Scheinerl D, Beck-Sickinger AG. Bioconjug Chem. 2019 Oct 16;30(10):2664-2674.

## CAUSES AND CONSEQUENCES OF IMPAIRED ENDOTHELIALIZATION ON STENTS

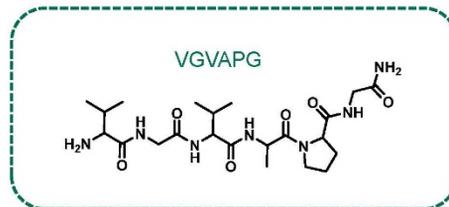


DES – drug eluting stent

## ECM-DERIVED ADHESION PEPTIDES

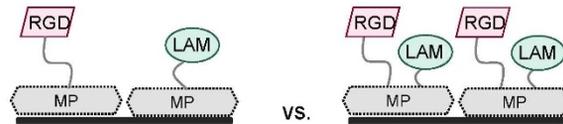
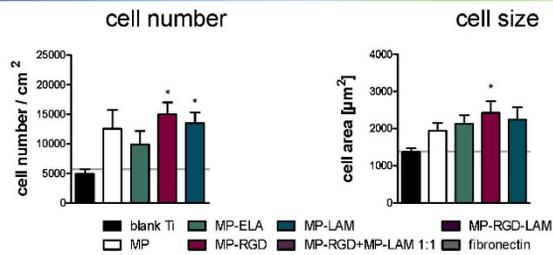
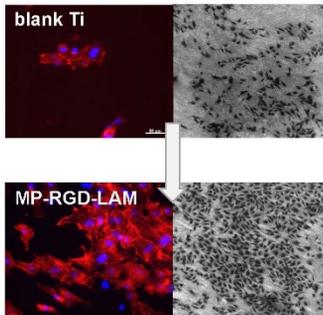


- RGD** fibronectin derived peptide
- LAM** laminin derived peptide
- ELA** elastin derived peptide



## CELL ADHESION

HUVEC = human umbilical vein endothelial cells

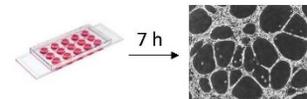
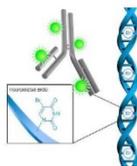
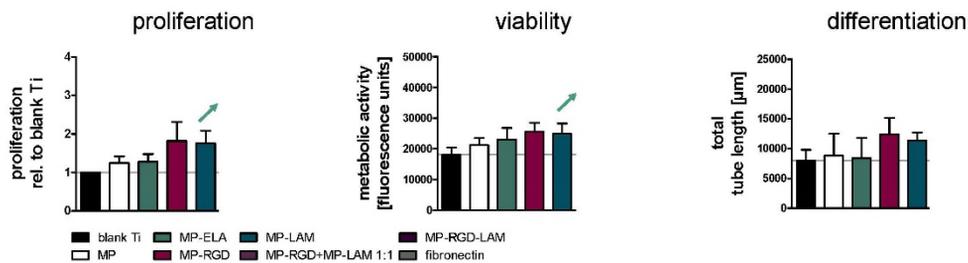


- Enhanced global ligand density
- Equal ligand distribution and spacing

n ≥ 3, mean ± SEM

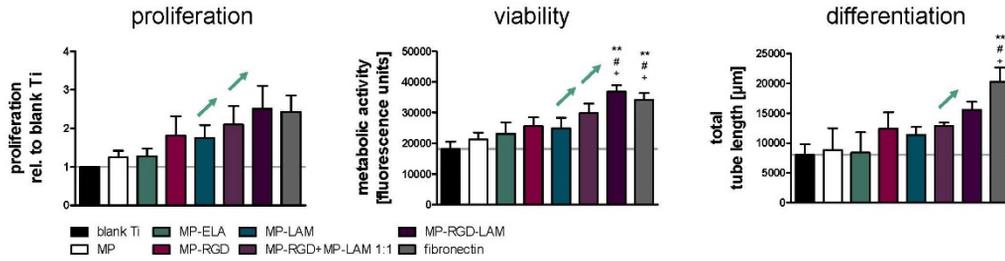
Clauder F, Czerniak AS, Friebe S, Mayr SG, Scheinert D, Beck-Sickingler AG. *Bioconjug Chem*. 2019 Oct 16;30(10):2664-2674

## PROLIFERATION AND DIFFERENTIATION



<http://slideplayer.com/slide/9379987/28/images/4/BrdU+Br+Br+Br.jpg>, <http://www.abpbio.com/wp-content/uploads/2017/11/Alamarblue-1.png>, [https://ibidi.com/536-large\\_default-slide-angiogenesis.jpg](https://ibidi.com/536-large_default-slide-angiogenesis.jpg)  
n ≥ 4, mean ± SEM

## PROLIFERATION AND DIFFERENTIATION

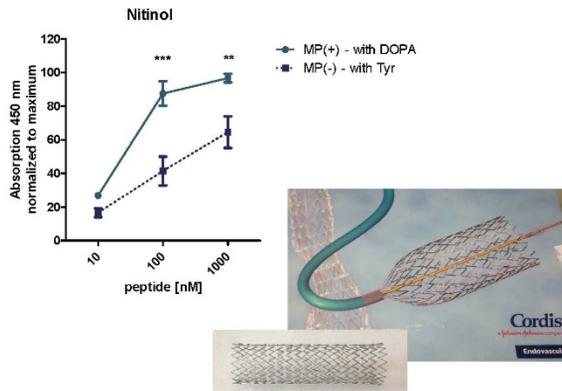


### MP-RGD-LAM:

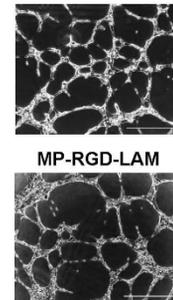
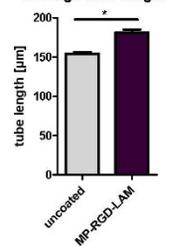
Cooperative signaling of RGD and LAM AND defined ligand distribution and spacing  
 ➤ Optimal coating for endothelialization on titanium

n ≥ 4, mean ± SEM

## TRANSFER TO COMMERCIALY AVAILABLE STENTS



### average tube length



Mussel-derived peptides beneficial for coating bare and possibly also drug-eluting nitinol stents

DOPA – L-3,4-dihydroxy phenylalanine, NITI – nitinol, n=4, mean ± SEM

n=2, mean ± SEM

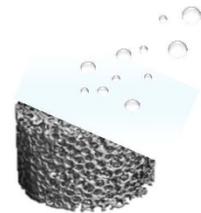
Clauder F, Czerniak AS, Friebe S, Mayr SG, Scheinert D, Beck-Sickingler AG. Bioconj Chem. 2019 Oct 16;30(10):2664-2674

## PCLLC – A BIODEGRADABLE IMPLANT MATERIAL

PCLLC = Polycaprolactone-co-Lactide copolymer

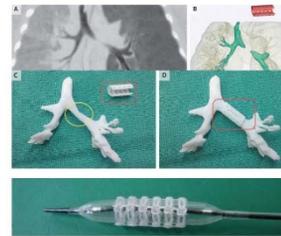
- + FDA approved
- + Easy formula, cost efficient
- + Superior rheological + viscoelastic properties

e. g. 3D printing  
for customized  
implants



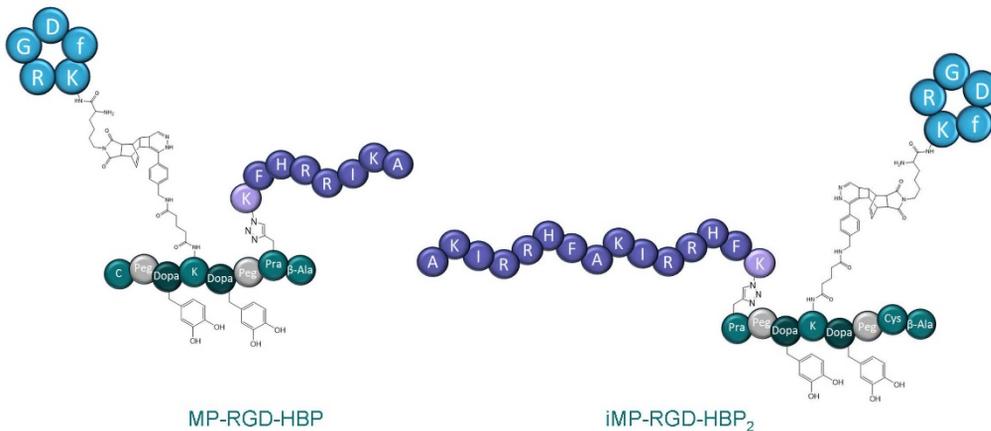
### BUT:

- Hydrophobic → NaOH treatment (PCLLC<sub>NaOH</sub>)
- Low cell-surface interactions



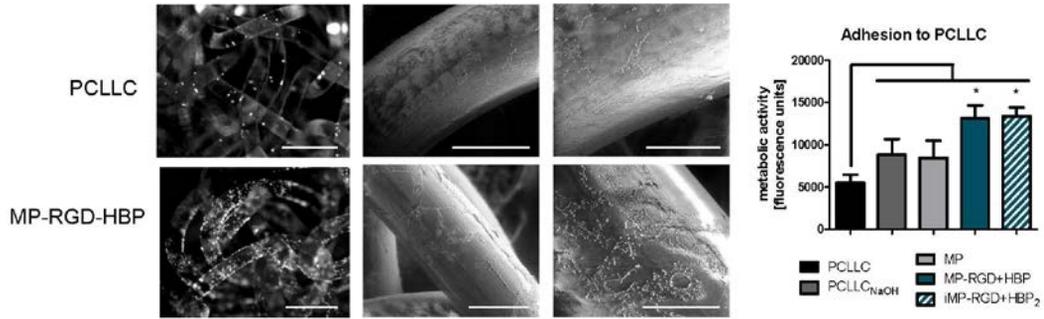
<https://nevatias.com/3d-printed-bone-replacements/43161/>, <https://learninglab.si.edu/resources/view/140667>, Shih-Jung Liu, Materials Science and Engineering, C (2011)

## COMBINATION OF CELL ADHESIVE AND CYTOKINE DELIVERY PROPERTIES



DOPA – L-3,4-dihydroxyphenylalanine, Peg – polyethylene glycole, Pra – L-propargylglycine, β-Ala – β-alanine, I – D-phenylalanine

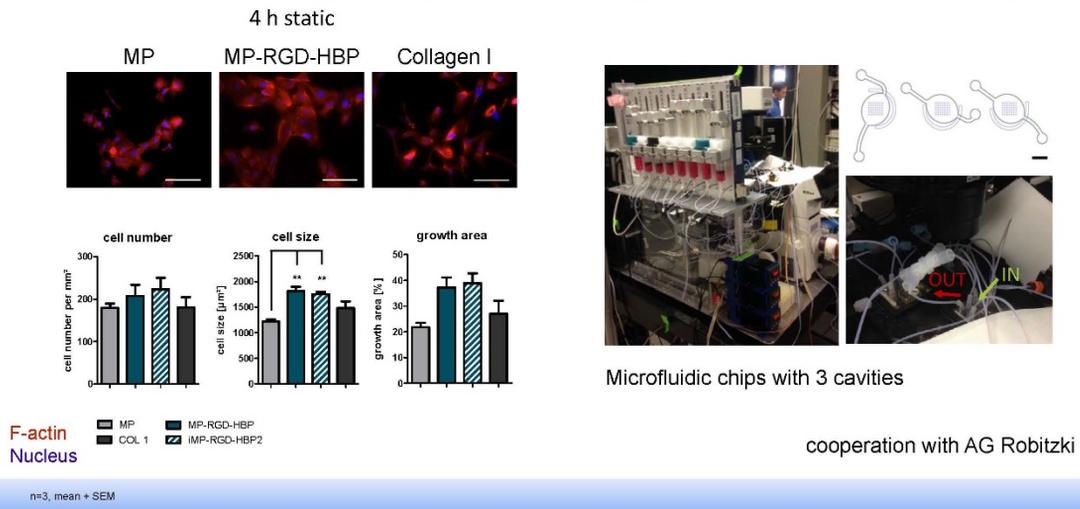
## ENDOTHELIAL CELL ADHESION – PCLLC-SCAFFOLDS



PCLLC - polycaprolactone-co-lactide, n=3, mean + SEM

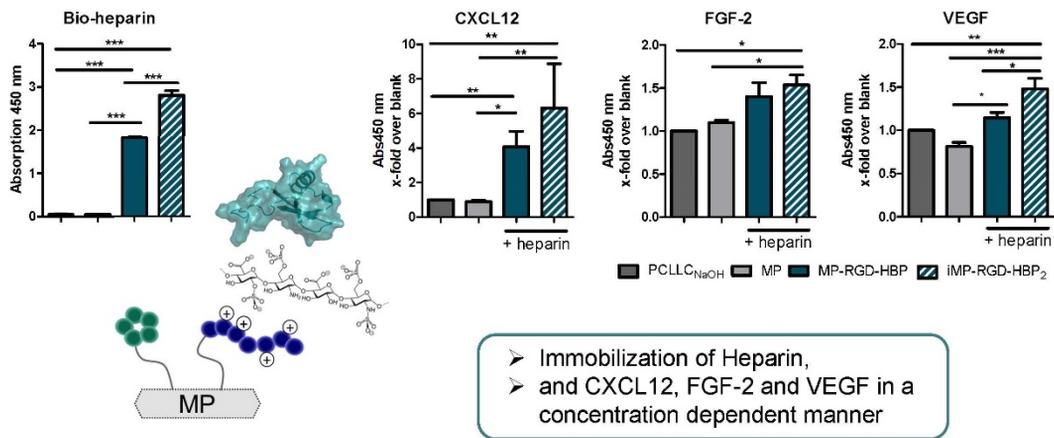
F. Clauder et al, 2019, submitted

## ENDOTHELIAL CELL ADHESION





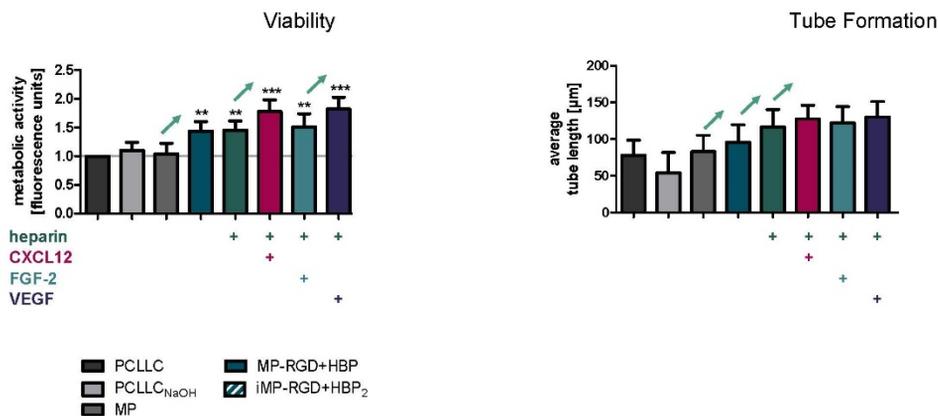
## LOADING WITH OTHER ECM COMPONENTS



FGF-2 - basic fibroblast growth factor, VEGF - Vascular endothelial growth factor, CXCL12 - C-X-C motif chemokine 12, PCLLC - polycaprolactone-co-lactide, n=3, mean + SEM

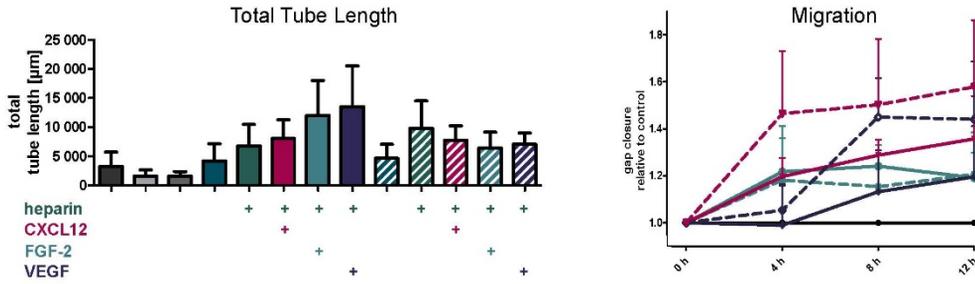
F. Clauder et al., 2019, submitted

## SURVIVAL AND DIFFERENTIATION



FGF-2 - basic fibroblast growth factor, VEGF - Vascular endothelial growth factor, CXCL12 - C-X-C motif chemokine 12, PCLLC - polycaprolactone-co-lactide, n=4, mean + SEM

## MIGRATION IN ANGIOGENESIS

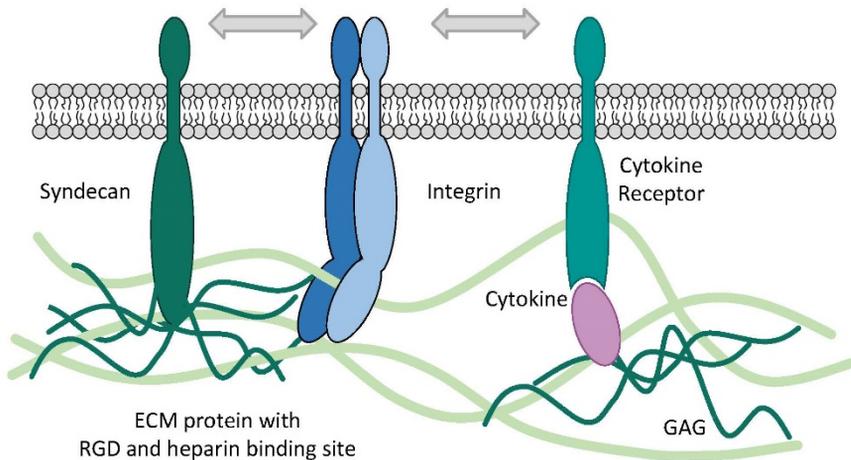


PCLLC  
 PCLLC<sub>NaOH</sub>  
 MP  
 MP-RGD+HBP  
 iMP-RGD+HBP<sub>2</sub>

- sprouting and new connections vs. stable networks
- enhanced migration beneficial for colonization of scaffold from the edges

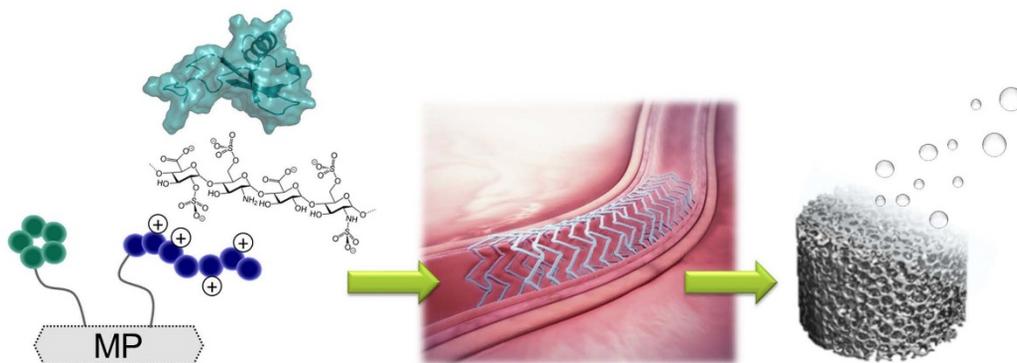
FGF-2 - basic fibroblast growth factor, VEGF - Vascular endothelial growth factor, CXCL12 - C-X-C motif chemokine 12, PCLLC - polycaprolactone-co-lactide, n=4, mean ± SEM n=3, mean ± SEM

## INTERPLAY OF CELL-ECM-INTERACTIONS



ECM - extracellular matrix, GAG - glycosaminoglycan

## SUMMARY



ECM – extracellular matrix, VEGF - Vascular endothelial growth factor, CXCL12 - C-X-C motif chemokine 12

## ACKNOWLEDGEMENT



### Collaborators

Prof. Dr. Andrea Robitzki and Franziska Zitzmann  
 Prof. Dr. Stefan Mayr and Sabrina Friebe  
 Prof. Dr. Jörg Rademann and Sebastian Köhling  
 Dr. Matthias Schnabelrauch and Dr. Stephanie Möller  
 Prof. Dr. Stefan Rammelt  
 Dr. Ute Hempel and Dr. Sarah Vogel



### Funding





UNIVERSITÄT  
LEIPZIG

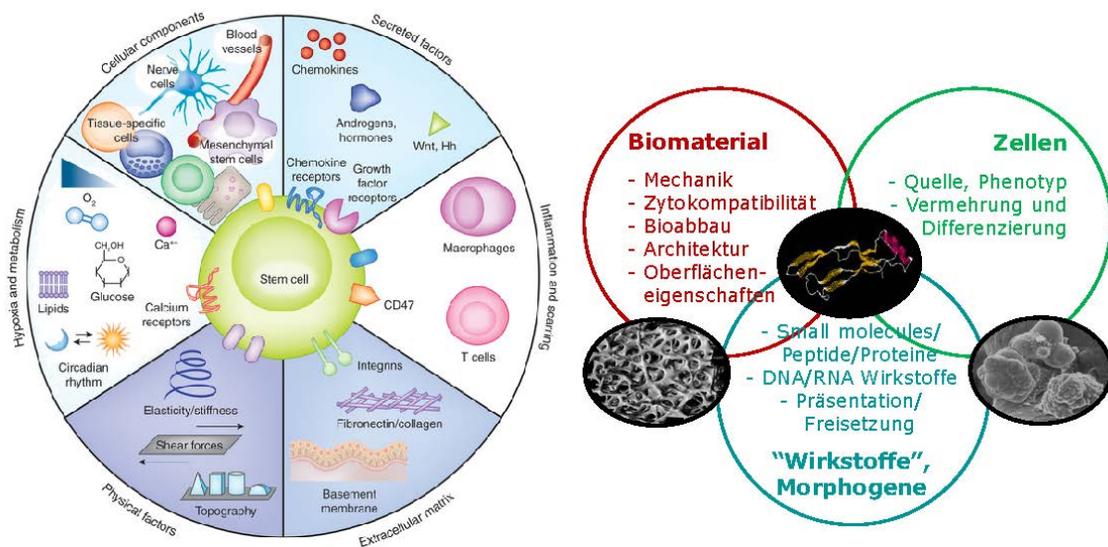
Medizinische Fakultät

# Neue technologische Strategien und Materialien für den 3D Druck in biomedizinischen Anwendungen

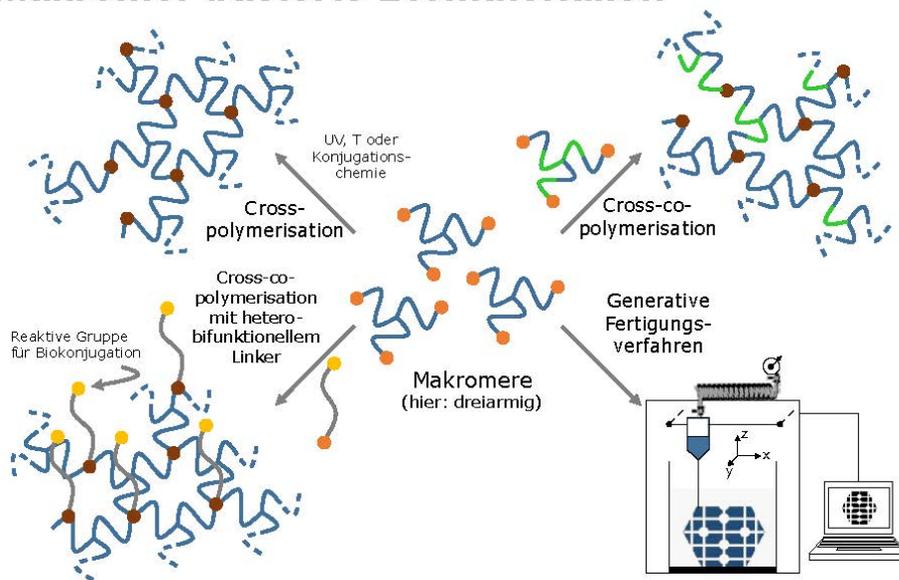
Leipzig, 29.10.2019,

PD Dr. Michael Hacker und Prof. Michaela Schulz-  
Siegmond

## Einflussfaktoren auf Stammzellendifferenzierung



## Makromer-basierte Biomaterialien

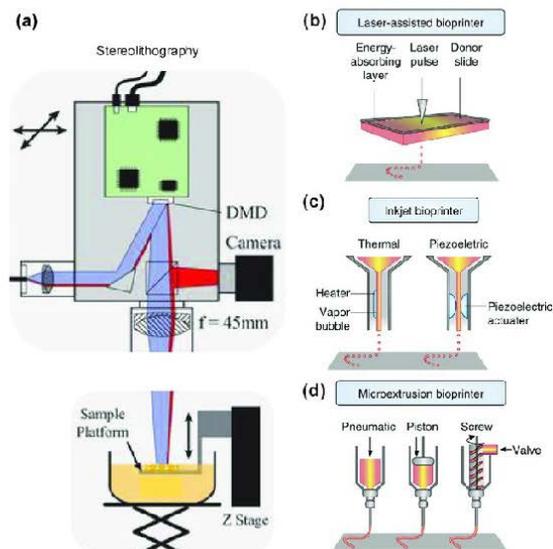


## NUTZUNG DES 3D-DRUCKS

### - Direkter Druck

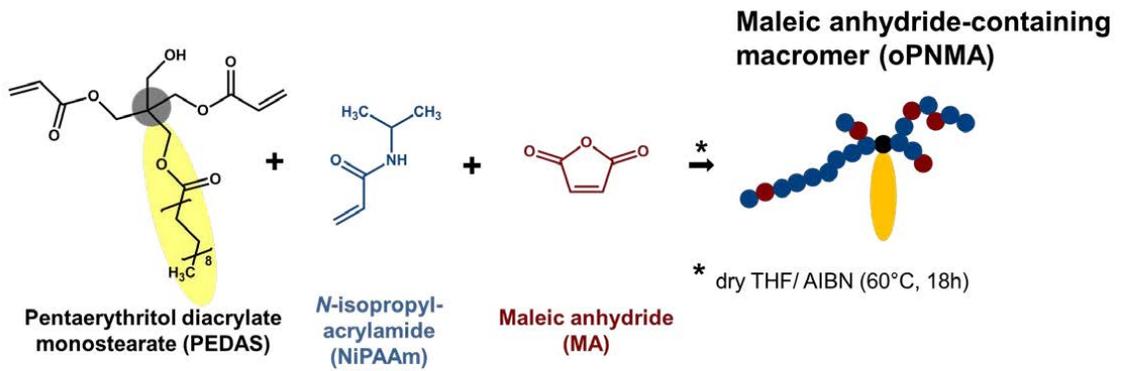
[https://www.researchgate.net/profile/Jeroen\\_Leijten/publication/318692971/figure/fig5/AS:614033635938310@1523408435792/Common-bioprinting-modalities-Schematics-showing-a-stereolithography-DMD-bioprinting\\_W640.jpg](https://www.researchgate.net/profile/Jeroen_Leijten/publication/318692971/figure/fig5/AS:614033635938310@1523408435792/Common-bioprinting-modalities-Schematics-showing-a-stereolithography-DMD-bioprinting_W640.jpg)

### - Indirekter Druck



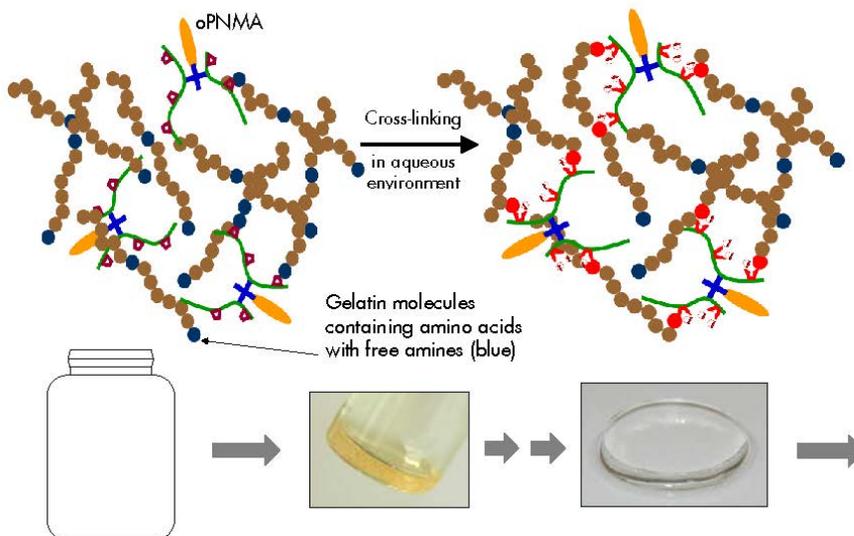


## HYDROGEL-BILDENDE MAKROMERE

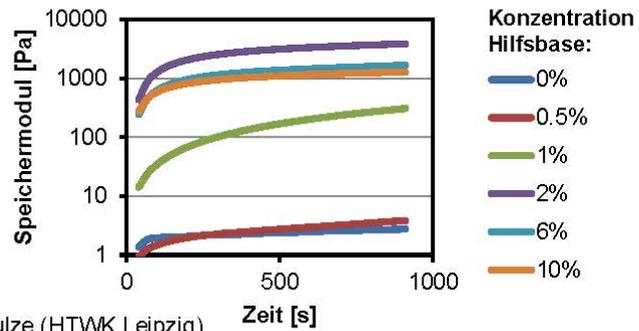


Loth T et al., Reactive and Functional Polymers 73 (2013): 1480–1492

## HYDROGEL-BILDENDE MAKROMERE



## STEUERUNG DER VERNETZUNGSREAKTION

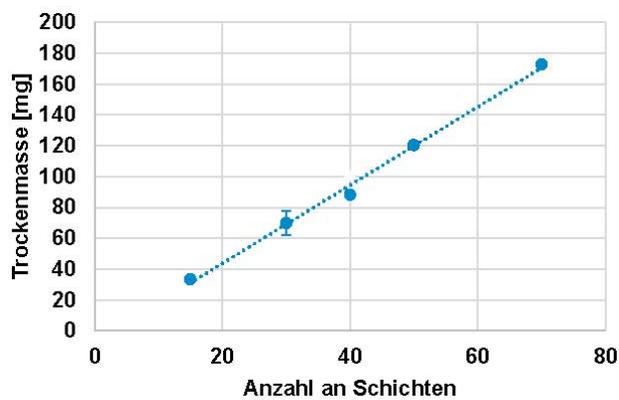


Kooperation mit AG F.P. Schulze (HTWK Leipzig)

UNIVERSITÄT  
LEIPZIG

9

## DRUCK 2K-HYDROGEL



Kooperation mit AG F.P. Schulze (HTWK Leipzig)

UNIVERSITÄT  
LEIPZIG

10

---

## MATERIALSTRATEGIEN ZUR KNOCHENREGENERATION

### 1. Sol-Gel-Hybridgläser als mechanisch stabile Knochenersatzmaterialien:

#### Ziele:

- verminderte Sprödigkeit
- Verarbeitung zu makroporösen Scaffolds durch indirektes 3D Printing über Polymer-Templates
- Bioaktivität zur Förderung der Einheilung in den Knochen

### 2. Makromerbasierte Polymermaterialien zum Scavenging von Proteinen:

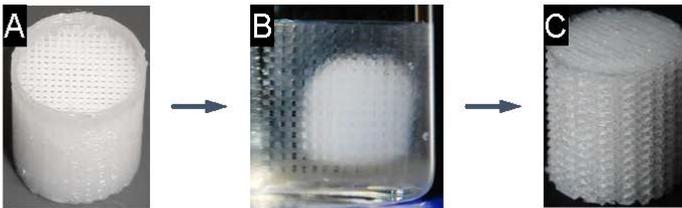
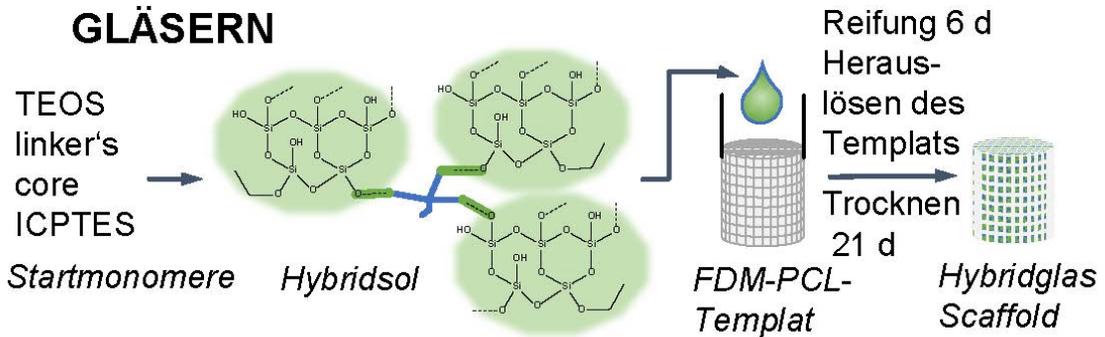
#### Ziele:

- Oberflächenmodifikation durch sulfatierte Hyaluronsäurederivate zur Abreicherung von hemmenden Proteinen des Knochendefektemikromilieus



## 1. SOL-GEL-HYBRIDGLÄSER ALS MECHANISCH STABILE KNOCHENERSATZMATERIALIEN

## INDIREKTES 3D DRUCKEN VON BIOAKTIVEN GLÄSERN



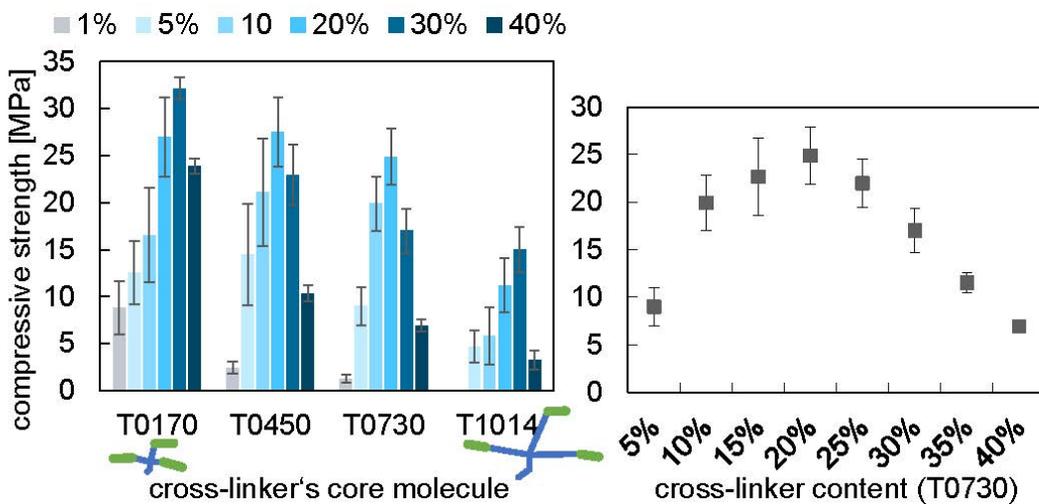
TEOS: Tetraethylorthosilikat, PCL: Polycaprolacton, FDM: Fused deposition modeling

UNIVERSITÄT LEIPZIG

Hendriks S. et al, Acta Biomater. 2016;35:318-29.

13

## MECHANIK DER HYBRIDGLAS-SCAFFOLDS MIT 44% POROSITÄT



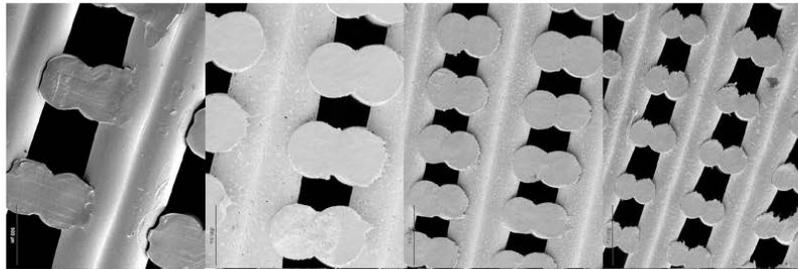
UNIVERSITÄT LEIPZIG

Hendriks S. et al, Acta Biomater. 2016;35:318-29.

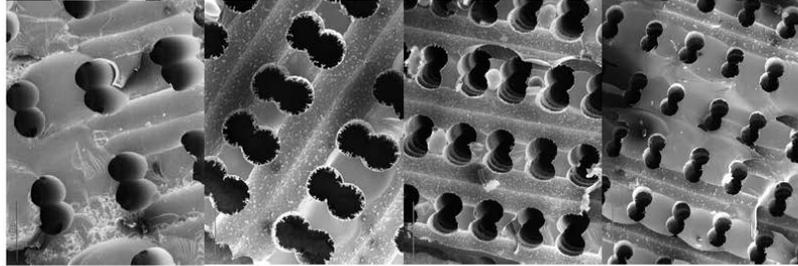
14

## TEMPLATE UND SCAFFOLDS

REM von  
Templaten  
aus PCL mit  
unterschied-  
lichen Strang-  
durchmessern

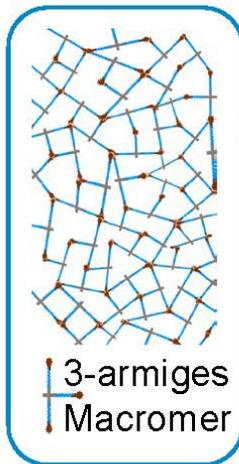


Aus den  
Templaten  
entstandene  
Scaffolds aus  
Hybridglas



## 2. MACROMERBASIERTE POLYMER MATERIALIEN ZUM SCAVENGING VON REGENERATIONSHEMMENDEN PROTEINEN

## OBERFLÄCHENMODIFIZIERTE MACROMER MATERIALIEN



3D-matrices used for in vitro and in vivo evaluation

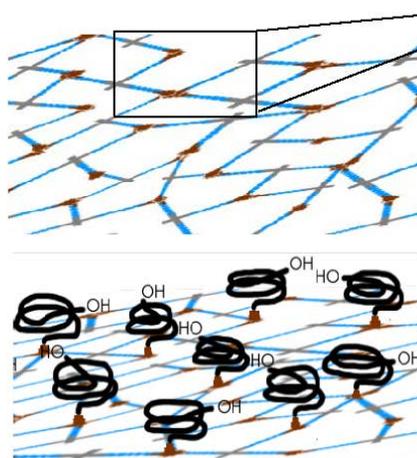
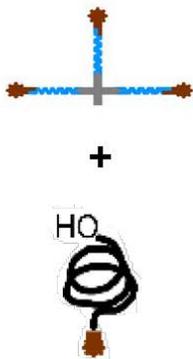
*R. Loth et al., Acta Biomater. 2015, 26: 82-96*

Polymer films as analytical tool to characterize surface properties

*Müller, B. et al., Acta Biomater. 2017;51:148-160*

## OBERFLÄCHENMODIFIZIERTE MACROMER MATERIALIEN

Macromer Einheiten → Quervernetztes Material → Polymerfilme



↑ Polymerisation

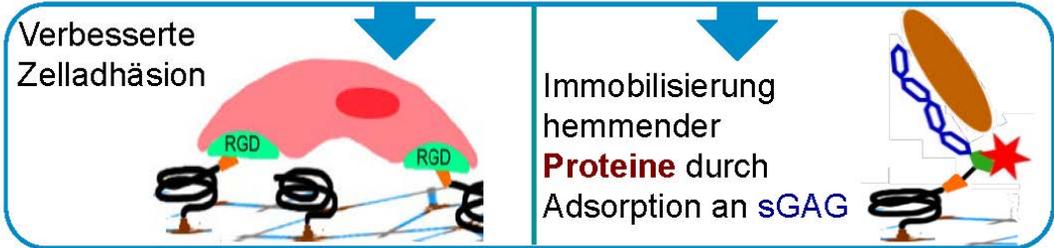
↑ Methacryl-Silan

# CHARACTERISIERUNG DER MODIFIZIERTEN FILME

## Gebundene NH<sub>2</sub>-functionalisierte Analyte



## Funktionelle Charakterisierung

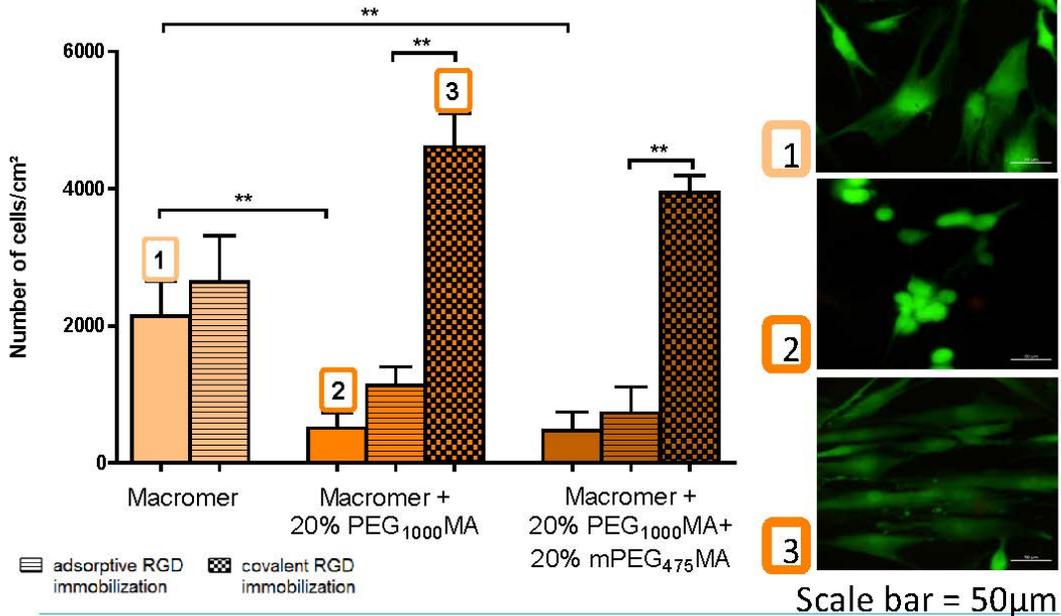


UNIVERSITÄT LEIPZIG

Müller, B.M. et al., Acta Biomat. 2017;51:148-160

19

# ADHÄSION VON hASC NACH MODIFIKATION MIT RGD PEPTIDEN



UNIVERSITÄT LEIPZIG

Müller, B.M. et al., Acta Biomat. 2017;51:148-160

20



UNIVERSITÄT  
LEIPZIG

Medizinische Fakultät

# VIELEN DANK!

## Transregio 67



**DFG** Deutsche  
Forschungsgemeinschaft

Europa fördert Sachsen.



Europäische Union

STAATSMINISTERIUM  
FÜR WISSENSCHAFT  
UND KUNST



Freistaat  
**SACHSEN**

## Collaboration partners:

- Prof. Peter Schulze und MEng. Tobias Flath
- Prof. Annette Beck-Sickinger
- Prof. Lorenz Hofbauer
- Prof. Tilo Pompe
- Prof. Achim Aigner und Dr. Alexander Ewe
- Dr. Andreas König und Prof. Sebastian Hahnel



## MIT HIGH SPEED VOM 3D-SCAN ZUM 3D-DRUCK VON ORTHOPÄDISCHEN HELMSCHALEN

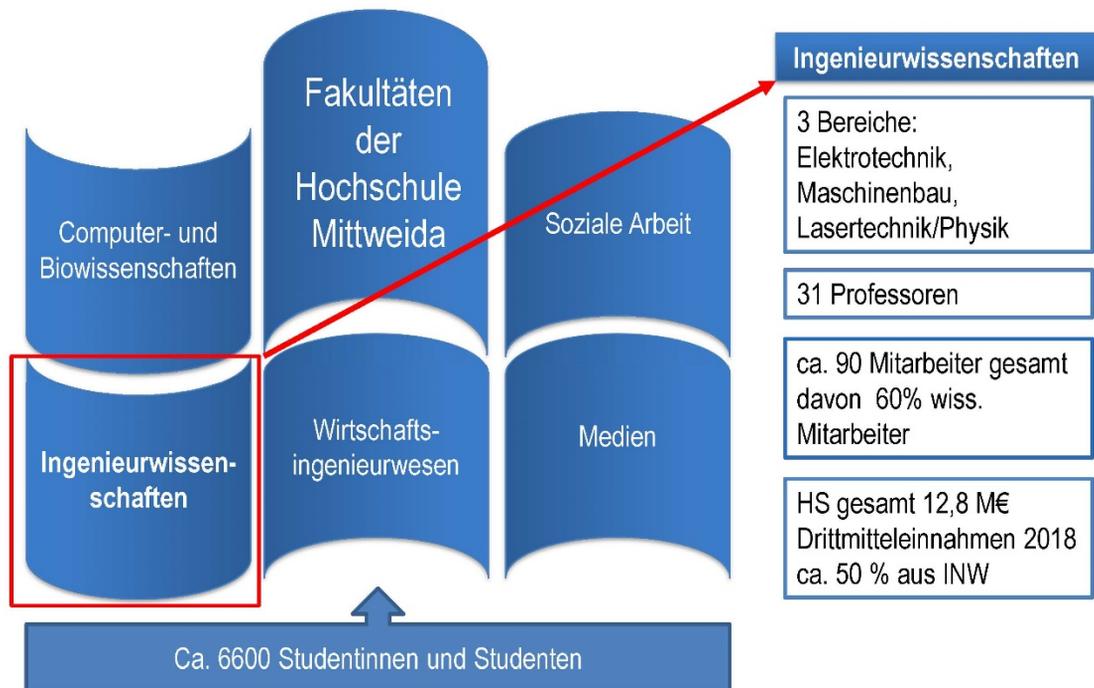
PROF. DR.-ING. JÖRG MATTHES; DIPL. ING.(FH) CLAUDIUS PETZOLD  
VALENTIN MAUERSBERGER

29.10.2019



## GLIEDERUNG

- EINLEITUNG
- FORSCHUNGSPROJEKT 3D-HRD
- 3D-SCAN EINES KOPFES
- HELMMODELLIERUNG
- ENTWURF EINES SLICINGPROGRAMMS UND BAHNKURVENBESTIMMUNG DER EXTRUDER
- ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK



## Ausstattung im Bereich AM - 3D-Druck

**FFF – Drucker,**

- Dimension Firma Stratasys (von 2003)
- Replicator Mini Firma Makerbot
- Prusa i3 MK3S kit + MultiMaterialUpgrade

**SLA (Stereolithographie)**

- Form 2 der Firma Formlabs + Form Wash + Form Cure  
Modelle aus flüssigem Epoxidharz, Aushärtung mittels Laserstrahl
- Polyjetdrucker Agilista 3100 der Firma Keyence,  
Modelle aus Acrylaten, hochauflösendes Drucken  
mit einer Schichtdicke ab 15 µm, wasserlösliches  
Supportmaterial



**SLS (Selektives Lasersintern)**

- S1 Firma Sintratec, Kunststoffpulver PA12
  
- SLM (Selektives Laserschmelzen) – SLM 280 Fa. SLM Solution im Laserinstitut Mittweida, verwendet Metallpulver

**3D-Scanner**

- handgeführter 3D-Farblichtscanner-Scanner (Artec Eva)
- Arbeitsabstand 0,4 – 1 m
- Auflösung 0,5 – 0,1 mm
- Eingabestift für haptisches Feedback zur Nachmodellierung

PROF. J. MATTHES, HOCHSCHULE MITTWEIDA – 29.10.2019 – 3D-DRUCK IN DER ANWENDUNG  
© HOCHSCHULE MITTWEIDA, 2019. ALLE RECHTE VORBEHALTEN

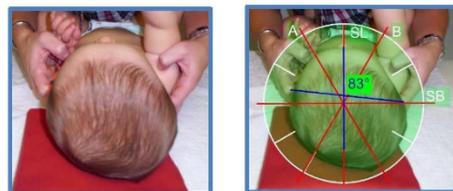
5

## FORSCHUNGSPROJEKT 3D-HRD

## ORTHOPÄDIETECHNIK

## FORSCHUNGSPROJEKT 3D-HRD

- Schwerpunkt Orthesenversorgung, speziell: Fertigung orthopädischer Helme
- Einsatz bei Behandlung von Krankheitsbildern z. B. KISS-Syndrom, Schädeldeformationen oder als Sturzhelm bei Patienten mit Epilepsie
- Passgenaue Anfertigung an die Kopfform der Patienten
- Hoher Aufwand bei Abnahme der Konturen mittels Gipsabdruck
- Fachpersonal zur Anpassung der Orthese erforderlich



Vermessung eines Kinderschädels



Konventionelle Fertigung:  
Gipsnegativ → ausgegossenes Negativ → tiefgezogener Helm auf Gipspositiv

PROF. J. MATTHES, HOCHSCHULE MITTWEIDA – 29.10.2019 – 3D-DRUCK IN DER ANWENDUNG  
BILDER © SAXCARE GMBH, 2019. ALLE RECHTE VORBEHALTEN

6

- Orthopädietechnik - individuelle Orthesen
- Prothesenstümpfe oder orthopädische Helme
- 3D-Scan anstelle Gipsmodell
- 3D-Modellierung der Orthese
- Einbringen von Fachwissen (Orthopädietechniker)
- 3D-Druck der Orthese (Nachbearbeitung, Polsterung, Haltegurte..)
- Keine Lagerung von Gipsmodellen
- Schnellere Fertigung
- Reproduzierbarkeit



Zeitersparnis, Lagerplatzgewinn, Kosteneinsparung



Quelle: <https://www.atz-zwickau.de/2019/>



Quelle: <https://saxicare.eu/startseite.html>



Quelle: <https://www.cadsys.de/>



Quelle: <https://www.maschinenbau-ehmert.de/>



FGMD GmbH Mittweida

Quelle: <http://www.fgmd.de/index.php/unternehmen.html>



Quelle: <https://www.jat-gmbh.de/>



Quelle: <https://www.kuz-leipzig.de/>

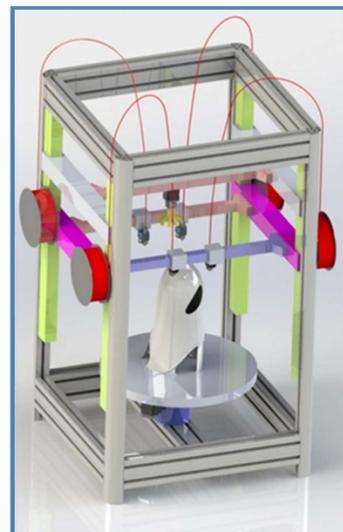


PROF. J. MATTHES, HOCHSCHULE MITTWEIDA – 29.10.2019 – 3D-DRUCK IN DER ANWENDUNG  
© HOCHSCHULE MITTWEIDA, 2019, ALLE RECHTE VORBEHALTEN

9

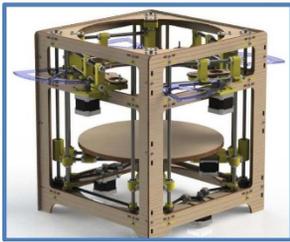
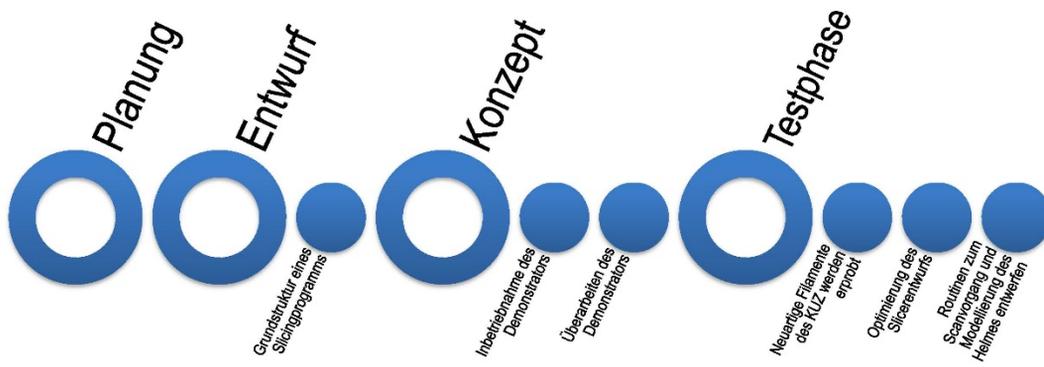
### 3D-Hochgeschwindigkeitsrotationsdrucker

- ✔ Einsatz einer rotierenden und beheizten Bauplatzform
- ✔ vier separat verfahrbare Extruder
- ✔ verschiedene Materialien
- ✔ Extruderdüse sitzt außermittig am Extruder
- ✔ Erarbeiten eines schnellen Druckprozesses zur Koordination der Bewegung der Extruder
- ✔ parallele Erzeugung von Modell-, Füll- und Stützstrukturen
- ✔ exakte Synchronisation und schnelle Ansteuerung der Antriebe

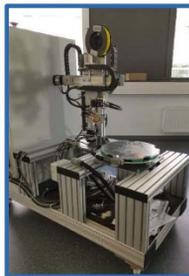


PROF. J. MATTHES, HOCHSCHULE MITTWEIDA – 29.10.2019 – 3D-DRUCK IN DER ANWENDUNG  
GRAFIK © FGMD GMBH, 2018, ALLE RECHTE VORBEHALTEN

10



Quelle: <https://hackaday.com/?s=Theta-printer>



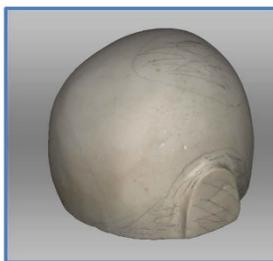
© Hochschule Mittweida, 2019, alle Rechte vorbehalten



Quelle: <http://www.fgmd.de/index.php/unternehmen.html>

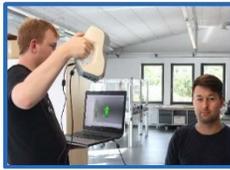
PROF. J. MATTHES, HOCHSCHULE MITTWEIDA – 29.10.2019 – 3D-DRUCK IN DER ANWENDUNG

3D-SCAN DES KOPFMODELLS  
 SCANN DER PATIENTENSCHÄDEL MITTELS HANDSCANNER



- Erfassung der realen Kontur eines Patientenkopfes (hier noch Gipsmodell)
- 3D-Farblicht - Handscanner der Firma Artec (Orthopädie)
- Problem: Scannen von Haaren
- Erfassen der Konturen und Texturen - Messfeldgenauigkeit
- Fachwissen des Orthopädietechnikers gefragt
- Definition der Datenschnittstelle und des Koordinatensystems
- Weiterverarbeitung der Daten

PROF. J. MATTHES, HOCHSCHULE MITTWEIDA – 29.10.2019 – 3D-DRUCK IN DER ANWENDUNG  
 © HOCHSCHULE MITTWEIDA, 2019, ALLE RECHTE VORBEHALTEN



- Erfassen der Kopfform ohne Trikotageschlauch



- Trikotageschlauch um Kopfkonturen deutlich darzustellen und Fehler beim Scanvorgang zu vermeiden



- Dunkle Strukturen und Haare können nicht verwertbar erfasst werden; mehrere Scans benötigt (Bild: Scannersoftware)



- Erfassen der kompletten Kopfkontur mit nur einem Scan (Bild: Scannersoftware)



- Kopfmodell in Geomagic Freeform
- Fehler beim fertigen Scanmodell, Löcher im Modell und starke Ausreißer



- Kopfmodell in Geomagic Freeform
- Haare angelegt, wie wenn Helm getragen wird
- Alle wichtigen Konturen sind klar dargestellt!

PROF. J. MATTHES, HOCHSCHULE MITTWEIDA – 29.10.2019 – 3D-DRUCK IN DER ANWENDUNG  
© HOCHSCHULE MITTWEIDA, 2019. ALLE RECHTE VORBEHALTEN

13

### Welche Software ist geeignet?

#### SolidWorks

- ScanTo3D-Tool nicht verfügbar
- ohne Einbuße der Qualität beim Export
- Import als Volumenkörper schlug fehl
- ...

→ Modellierung des Helmes mit SolidWorks nicht möglich

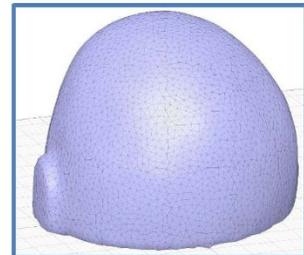


© Hochschule Mittweida, 2019, alle Rechte vorbehalten

#### Autodesk FUSION 360

- Anzahl von Facetten begrenzt
- Konvertierung in Körper mit Datenverlust
- Teilen des Netzkörpers zeitintensiv
- Ggf. Einsatz anderer Programme

→ Modellierung des Helmes mit Fusion 360 aufwendig



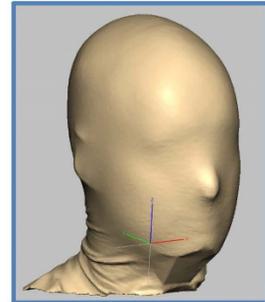
© Hochschule Mittweida, 2019, alle Rechte vorbehalten

## HELMMODELLIERUNG

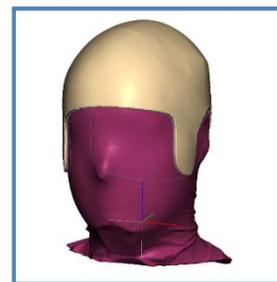
## MODELLIERUNG DES ORTHOPÄDISCHEN HELMES

## Software Geomagic Freeform

- Softwareumgebung zur Freiformmodellierung (Gaming, Designbereich; Orthopädietechnik)
- Netzmodell in Voxel in einer frei wählbaren Auflösung  
Voxel repräsentieren Materie auch in der Tiefe  
**„So einfach wie mit Ton arbeiten“**
- Offsets problemlos möglich (feste Bereiche, Schalen, Polsterung,... )
- haptisches Eingabegerät – optimale Formgebung



Kopfmodell umgewandelt in Voxel

Roter Bereich ist unveränderlich,  
beige ist modellierbar

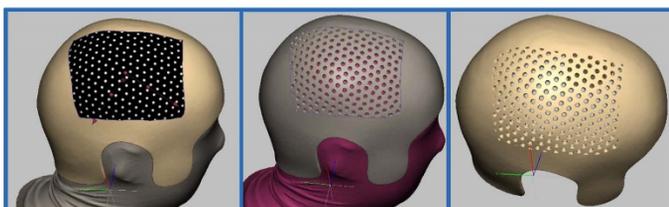
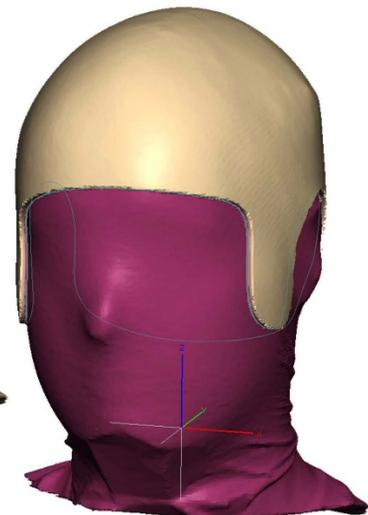
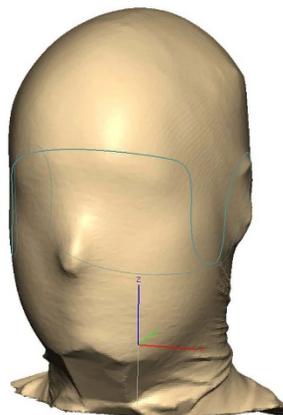
PROF. J. MATTHES, HOCHSCHULE MITTWEIDA – 29.10.2019 – 3D-DRUCK IN DER ANWENDUNG  
© HOCHSCHULE MITTWEIDA, 2019. ALLE RECHTE VORBEHALTEN

15

## HELMMODELLIERUNG

## MODELLIERUNG DES ORTHOPÄDISCHEN HELMES

- Modellerstellung mittels 3D-Kurven (sogenannte Fitkurven)
- Schnitte, Bohrungen, Verrundungen ... realisierbar
- Perforation durch Musterung, Kinderhelme mit Mustern in Form der Lieblingstiere gestaltet



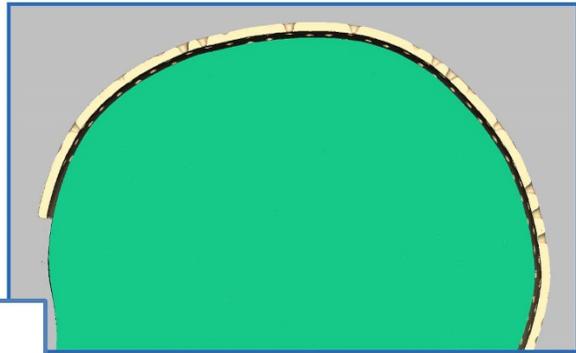
PROF. J. MATTHES, HOCHSCHULE MITTWEIDA – 29.10.2019 – 3D-DRUCK IN DER ANWENDUNG  
© HOCHSCHULE MITTWEIDA, 2019. ALLE RECHTE VORBEHALTEN

16

## HELMMODELLIERUNG

## MODELLIERUNG DES ORTHOPÄDISCHEN HELMES

- komplette Helmmodellierung in einer Software mit wenigen Schritten
- Scan des Kopfes (grün), Helmschale (beige) → Spalt für Schaumstoffpolsterung
- fertiger Helm im STL-Format, bereit zum Druck



PROF. J. MATTHES, HOCHSCHULE MITTWEIDA – 29.10.2019 – 3D-DRUCK IN DER ANWENDUNG  
© HOCHSCHULE MITTWEIDA, 2019, ALLE RECHTE VORBEHALTEN

17

## HELMMODELLIERUNG

## MATERIALTESTS DES NEUEN PP-FILAMENTS

- PP-Filament mit Glasfasern  
Glashohlkugeln
- Hoher Verzug beim Abkühlen des Filaments
- Haftung auf Plattform nur mit 5 mm PP-Unterlage möglich
- Geringe Haftung der Stützstrukturen führt vermehrt zu Fehldrucken, Materialanhäufungen sind die Folge



- PP-Filament mit Glasfasern brachte ersten kompletten Helm als Resultat
- 40% leichter als PETG-Helm
- Glasfasern gewährleisten permanente Filamentförderung
- Glashohlkugelfilament brach leichter ab
- Sehr gute Passform, Schichten untereinander sind nicht gut genug verbunden → Brechen der Helmschale in horizontaler Ebene

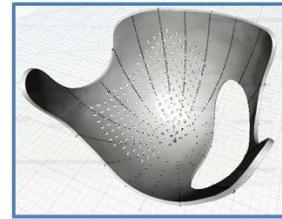
PROF. J. MATTHES, HOCHSCHULE MITTWEIDA – 29.10.2019 – 3D-DRUCK IN DER ANWENDUNG  
© HOCHSCHULE MITTWEIDA, 2019, ALLE RECHTE VORBEHALTEN

18



**GRUNDPROGRAMM DER HOCHSCHULE MITTWEIDA**

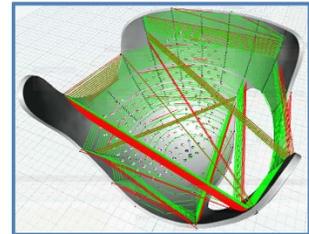
- Dynamo Studios dient zur Vorbereitung des eigentlichen Programmes
- Helmmodell wird in Schalen aufgeteilt
- Definition der Geschwindigkeiten der Extruder, die Höhe der Druckschichten und die Schrittgenauigkeit.
- Ausrichtung des Modells im Zylinderkoordinatensystem
- Slicingprogramm erzeugt die Drehebene, die Layer des Modells, die Schnittpunkte und verknüpft diese mit den zugehörigen Verfabrbefehlen
- Ausgabe der Steuerbefehle in G-Code ähnlicher Struktur
- Zylinderkoordinaten auf mehrere Extruder aufgeteilt



Schnittpunkte des STL-Modells mit den horizontalen und vertikalen Ebenen

```
R330.000000 XA3.492848 EA0.712890 XI2.817638 EI0.575080
R345.000000 XA3.497361 EA0.713811 XI2.820773 EI0.575720
Z 0.150000
R0.000000 XA4.095882 EA0.835970 XI3.684552 EI0.752017
R15.000000 XA4.095274 EA0.835845 XI3.682587 EI0.751616
R30.000000 XA4.096944 EA0.836186 XI3.681244 EI0.751342
```

Beispiel von Steuerbefehle für die Extruder



Vorschau der verschiedenen Extruderbahnen

## ZUSAMMENFASSUNG / AUSBLICK

**Zusammenfassung**

- aufeinander abgestimmtes System von 3D-Scanner, Software und dazugehöriger Hardware dient zur Generierung der 3D-Modelle
- Erfassung von Texturen mittels 3D-Scanner zur Kennzeichnung von speziellen Bereichen ist wichtig für die Arbeit an Patienten
- Modellerzeugung einer endkonturnahen Helmschale ermöglicht nachträgliche Anpassungen durch den Orthopädietechniker
- erster Entwurf des Grundprogrammes zur Erzeugung der „3D-Druckerdaten“
- Test des Demonstrators, Konstruktion des 3D-HRD, Tests des neuartigen PP-Filaments

**Ausblick**

- Schulung des Orthopädietechnikers am 3D-Scanner, dem Eingabetool und der Software
- Programmerstellung für den 3D-Drucker mit der Ansteuerung von vier Extrudern und rotatorischer Bauplattform



**Ernst-Abbe-Hochschule Jena**  
University of Applied Sciences

## Entwicklung einer Prozesskette zur Herstellung patienten-individueller 3D-Reichweitenmodulatoren für die Partikeltherapie

**Layher, M.<sup>1</sup>; Hopf, A.<sup>1</sup>; Just, D.<sup>1</sup>; Bliedtner, J.<sup>1</sup>; Weber, U.<sup>2</sup>; Schuy, C.<sup>2</sup>; Zink, K.<sup>3</sup>;  
Simeonov, Y.<sup>3</sup>; Weißer, J.<sup>4</sup>; Krause, H.<sup>5</sup>; Grimm, M.<sup>6</sup>; Kussäther, R.<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Ernst-Abbe-Hochschule Jena – AG Fertigungstechnik / Fertigungsautomatisierung  
<sup>2</sup> GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH – Abt. Biophysik – Darmstadt  
<sup>3</sup> Technische Hochschule Mittelhessen – Institut für Med. Physik u. Strahlenschutz – Gießen  
<sup>4</sup> Messtronik GmbH – St. Georgen-Langenschiltach  
<sup>5</sup> Portec GmbH – Zella-Mehlis  
<sup>6</sup> MedCom Gesellschaft für medizinische Bildverarbeitung mbH – Darmstadt

**3D-Druck in der Anwendung**  
 6. Mitteldeutsches Forum Rapid Technologien mit Kooperationsbörse  
 29. Oktober 2019  
 HTWK Leipzig

[www.eah-jena.de](http://www.eah-jena.de)

© EAH Jena







**Ernst-Abbe-Hochschule Jena**  
University of Applied Sciences

### Arbeitsgruppe von Prof. Bliedtner





Forschungsgebiete

- Optiktechnologien
- Lasermaterialbearbeitung
- Additive Fertigung

M. Layher

© EAH Jena

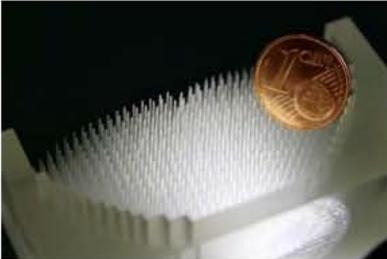
THAT Thüringer Zentrum für Additive Technologien

AGbliedtner

Ernst-Abbe-Hochschule Jena  
University of Applied Sciences

## Gliederung

1. Hintergrund / Motivation
2. Prozesskette
  - Datenerzeugung
  - Additive Herstellung
  - Qualitätskontrolle
3. Sensitivitätsanalyse
4. Kompositwerkstoffe
5. Zusammenfassung / Ausblick



M. Layher © EAH Jena

THAT Thüringer Zentrum für Additive Technologien

AGbliedtner

Ernst-Abbe-Hochschule Jena  
University of Applied Sciences

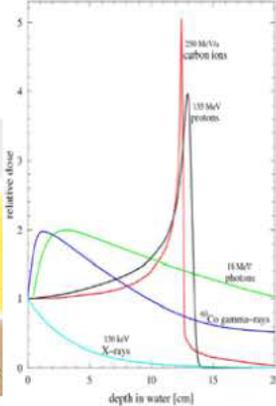
## 1. Hintergrund / Motivation

### Strahlentherapie

- Ziel: Vernichtung von Tumorzellen mit hochenergetischer Strahlung
- Einsatz folgender Strahlenarten:
  - hochenergetische Röntgenstrahlung
  - hochenergetisch geladene Partikel (Protonen, Ionen)



Quelle: GSI und THM



M. Layher © EAH Jena



Thüringer  
Zentrum  
für  
Medizinische  
Technologien



AGbliedtner  
Laser • Optik • 3D-Druck

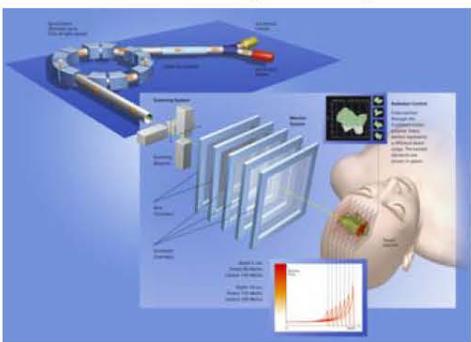


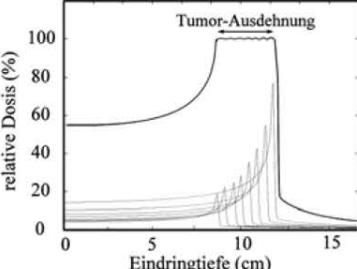
**Ernst-Abbe-Hochschule Jena**  
University of Applied Sciences

## 1. Hintergrund / Motivation

### Anwendung der hochenergetischen Partikelstrahlung

- Eindringtiefe der Partikel hängt von Energie der Partikel ab
- schichtweise Bestrahlung des Tumors (Pencil Beam Scanning)
- relativ langsam aufgrund Energiewechsel
- Unter- / Überdosierung bei bewegten Tumoren





An Tumorausdehnung angepasste spread-out Bragg-Peaks (SOBP) durch Überlagerung mehrerer Bragg-Peaks von Teilchen unterschiedlicher Energie

Quellen: GSI und THM

M. Layher
© EAH Jena



Thüringer  
Zentrum  
für  
Medizinische  
Technologien



AGbliedtner  
Laser • Optik • 3D-Druck

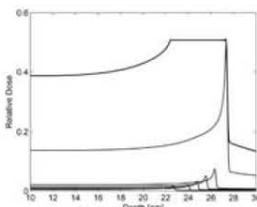


**Ernst-Abbe-Hochschule Jena**  
University of Applied Sciences

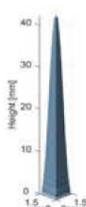
## 1. Hintergrund / Motivation

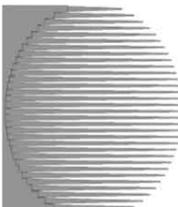
### Zielstellung: 3D-Reichweitenmodulator

- Behandlung von bewegten Tumoren mittels Partikeltherapie
- Herstellung eines Modulators für homogene und konformale Dosisverteilung
- individuelle, auf Tumorform abgestimmte Pinlänge und -anordnung
- Schutz des gesunden Gewebes, reduzierte Bestrahlungsdauer



Quellen: GSI und THM





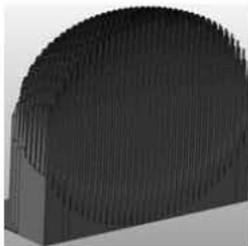
links: aufgeweiteter Bragg-Peak  
rechts: Pyramidenförmige Basisstruktur (Pin)

2D Ansicht eines sphärischen Modulators mit 5 cm Durchmesser

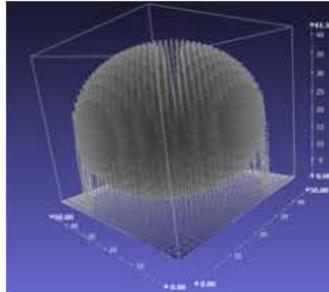
M. Layher
© EAH Jena

## 2. Prozesskette - Datenerzeugung

- Datenerfassung des Tumors (CT)
- Monte-Carlo Simulation der Strahlungsdosis für die Tumorbehandlung
- Auslegung der Pins auf Basis der Simulationsdaten
- Modellierung des 3D-Reichweitenmodulators
- Generierung des STL-Datensatzes

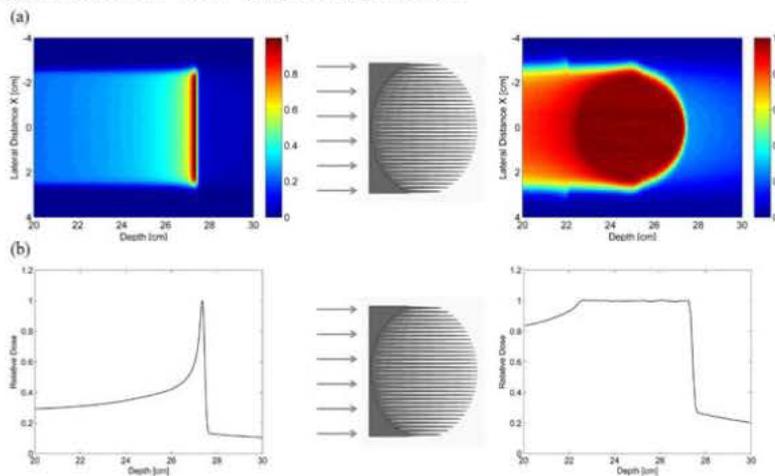


Quelle: GSI und THM



## 2. Prozesskette - Datenerzeugung

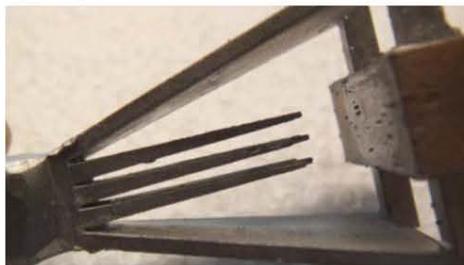
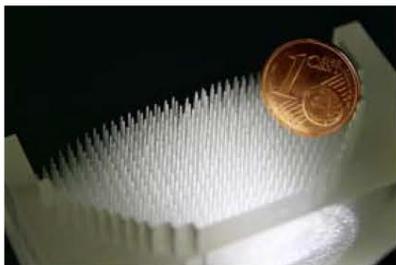
Monte-Carlo Simulation zur Dosisverteilung des 3D-Reichweitenmodulators und Auslegung der Pins für einen kugelförmigen Tumor



Quelle: GSI und THM

## 2. Prozesskette – Additive Herstellung

- Endformnahe Fertigung mittels Stereolithografie (SLA)
- Masterfertigung mittels Stereolithografie für den Vakuum-/Feinguss



Endformnahe Fertigung des Reichweitenmodulator mittels SLA (links) und Feinguss-Pinsegment (rechts)

Quelle: Portec

- SLA für höchste Bauteilgenauigkeit
- Feinguss (Al) zur Verringerung des Aspektverhältnisses

## 2. Prozesskette – Additive Herstellung

### Herausforderungen:

#### Stereolithografie:

- großes Aspektverhältnis (Pingeometrie)
- Lagetoleranzen der Pins
- Abbildungsgenauigkeit des Nadelfußes

#### Feinguss:

- Auswahl eines geeigneten Formstoffes / Untersuchung Formstoffqualität
- Formkavitäten werden ungenügend gefüllt
- spitzauslaufende Nadeln enden bei 97% ihrer Größe
  - z-Kompensation des Feinguss-Metalls
  - geeignete Skalierung gleicht reduzierte Nadelausbringung aus
- Abweichungen in Geometrie und Reproduzierbarkeit



THM Thüringer  
Technikum  
@ 04109 Jena



AG bliedtnr  
Laser 2, Optik 1, ED-Druck



**Ernst-Abbe-Hochschule Jena**  
University of Applied Sciences

## 2. Prozesskette – Qualitätskontrolle

### Erprobung eines 2D-Modulators im Wasserphantom (Dosimetrie)



Quelle: GSI

M. Layher
© EAH Jena



THM Thüringer  
Technikum  
@ 04109 Jena



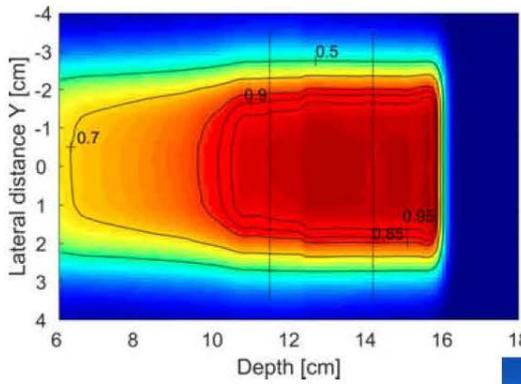
AG bliedtnr  
Laser 2, Optik 1, ED-Druck



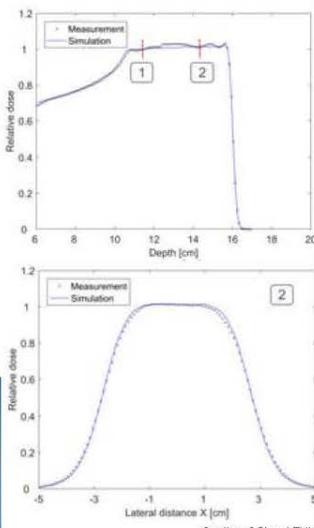
**Ernst-Abbe-Hochschule Jena**  
University of Applied Sciences

## 2. Prozesskette – Qualitätskontrolle

### Messung der Dosisverteilung mit Ionisationskammer-Array



➤ Bestimmung der räumlichen Dosisverteilung



Quellen: GSI und THM



M. Layher
© EAH Jena

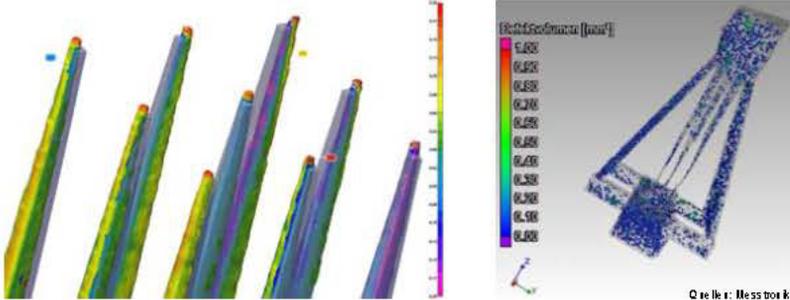
THAT Thüringer Zentrum für Additive Technologien

AGbliedtner

Ernst-Abbe-Hochschule Jena  
University of Applied Sciences

## 2. Prozesskette – Qualitätskontrolle

### Qualitätssicherung mittels Computertomographie (CT)



CT-Analyse (Soll-Ist-Vergleich) einer Stereolithografie-Pinstruktur (links) und via CT detektierte Einschlüsse in einem Feinguss-Pinsegment (rechts)

- Bestimmung der Bauteilqualität (Soll-Ist) des SLA-Prozesses
- Ermittlung des Defektvolumens der Gusskörper

M. Layher © EAH Jena

THAT Thüringer Zentrum für Additive Technologien

AGbliedtner

Ernst-Abbe-Hochschule Jena  
University of Applied Sciences

## 2. Prozesskette – Qualitätskontrolle

### Maßnahmen:

Stereolithografie:

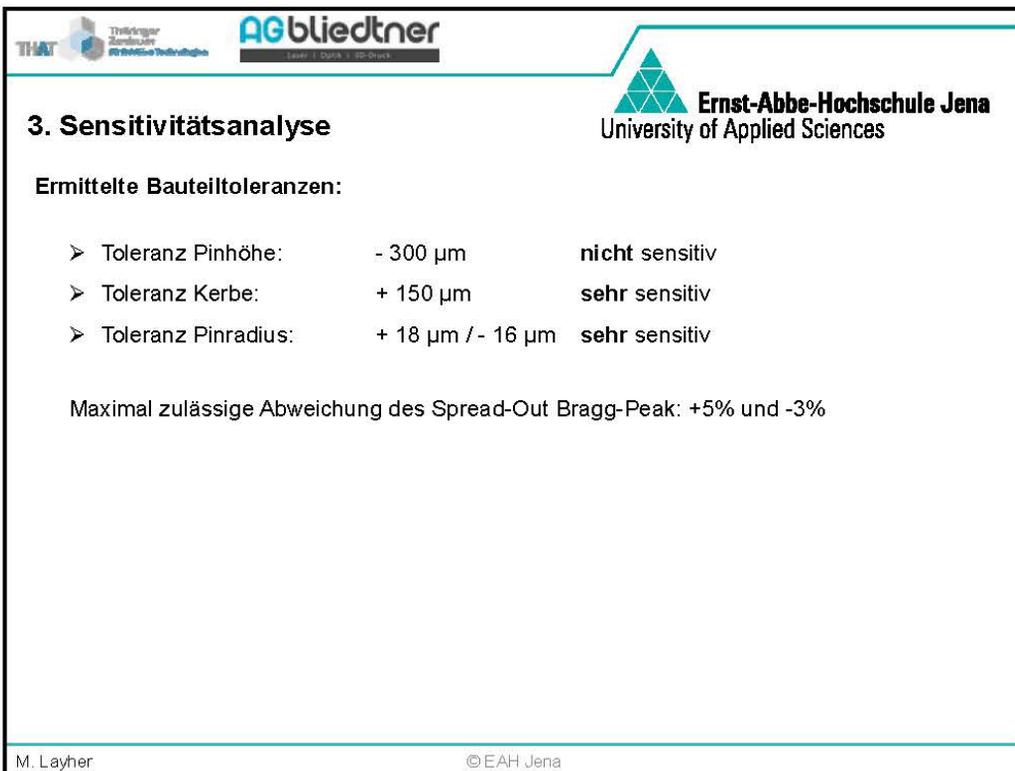
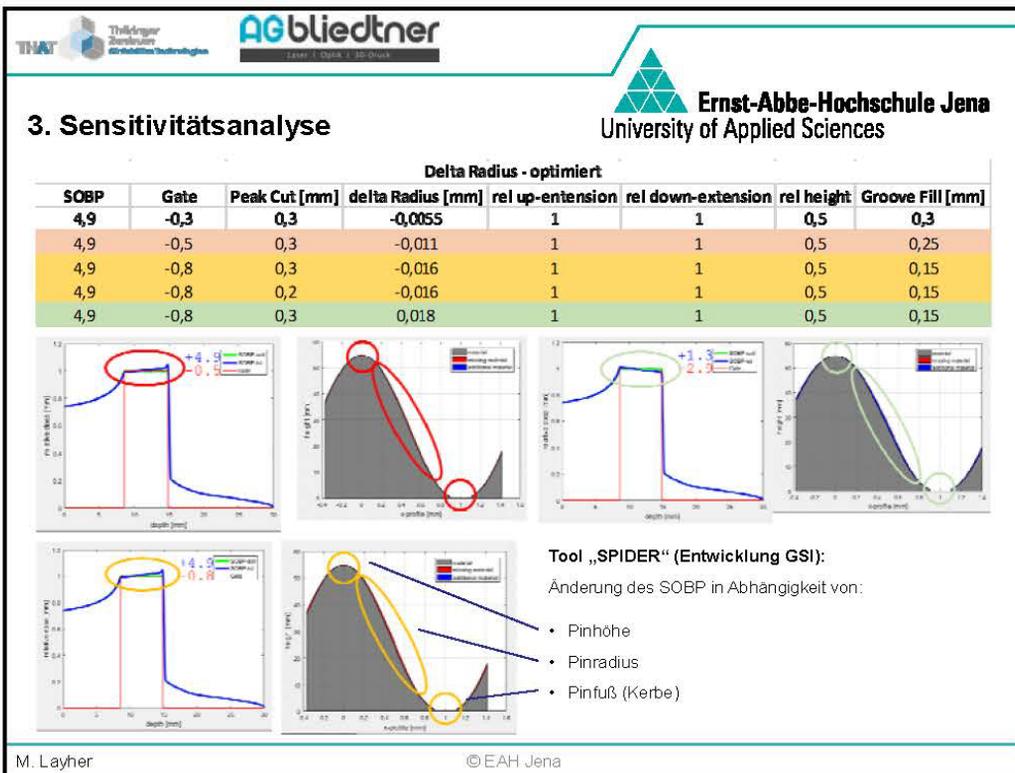
- Optimierung der Fertigungsparameter
- Minimierung von Störgrößen entlang der Prozesskette (Bauteilreinigung, Nachhärten)
- Bauteiltolerierung

Feinguss:

- Optimierung der Gießparameter
- Bauteiltolerierung

→ Sensitivitätsanalyse

M. Layher © EAH Jena



THAT Thüringer Zentrum für Additive Technologien

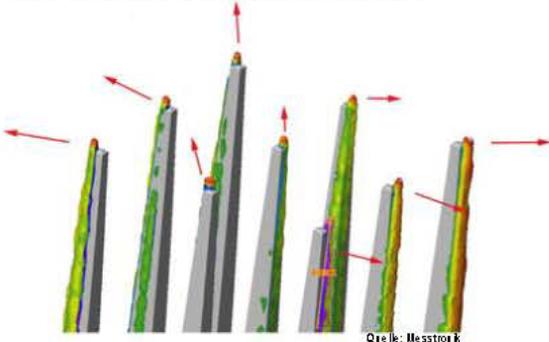
AGbliedtner

Ernst-Abbe-Hochschule Jena  
University of Applied Sciences

## 4. Kompositwerkstoffe

**Ansatz:**

- Erhöhung der Bauteildichte (derzeitig ca. 1 – 1,1 g/cm<sup>3</sup>)
- Reduzierung vom Aspektverhältnis
- reduzierte Form- und Lageabweichungen am Bauteil



Quelle: Messtrol K

Lageabweichungen an einem Pinsegment (Sol-It-Vergleich)

M. Layher © EAH Jena

THAT Thüringer Zentrum für Additive Technologien

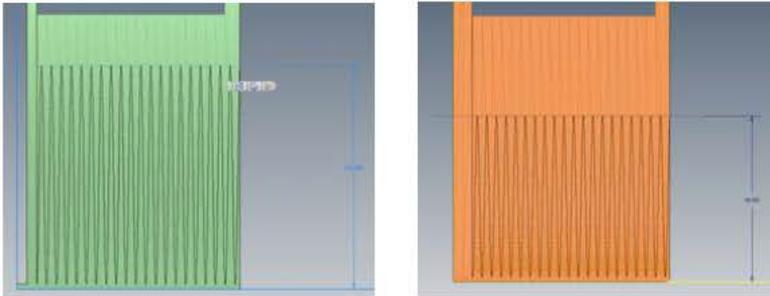
AGbliedtner

Ernst-Abbe-Hochschule Jena  
University of Applied Sciences

## 4. Kompositwerkstoffe

**Verfahren:**

- Erprobung eines geeigneten Substratmaterials
- Zumischen von Partikeln (Al) und Erreichen eines möglichst hohen Füllgrads
- erreichbare Dichte 1,5 – 1,8 g/cm<sup>3</sup>
- reduzierte Bauteilhöhe von bis zu 10 mm



Erzielte Bauteilreduzierung – CAD-Schnittansicht (links: Standardresin; rechts: Resin mit Al-Partikeln)

M. Layher © EAH Jena

## 4. Kompositwerkstoffe

### Vorversuch:

- aus SLA-Resin (EP-RR60CL) + Alu-Pulver von Ebalta
- Mischung: 50:50 Massenanteil; Material leicht zähflüssig; Partikelgröße <math>< 63\mu\text{m}</math>
- Abguss in offene Form und Aushärtung im UV-Schrank (mehrere Stunden)
- Dichte ca.  $1,58\text{ g/cm}^3$  (errechnet mit Resin:  $1,12\text{ g/cm}^3$ ; Al:  $2,7\text{ g/cm}^3$ )



UV-Ausgehärtete Proben (links: Oberseite; rechts: Unterseite)

## 4. Kompositwerkstoffe

### Zwischenergebnis:



Oberseite:

- gut verfestigt
- glatt und hart



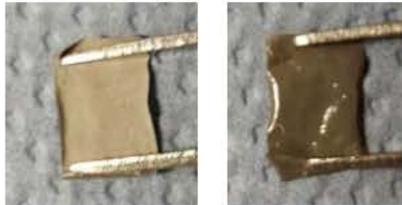
Unterseite:

- nicht verfestigt
- „gummiartig“

#### 4. Kompositwerkstoffe

##### Materialerprobung mittels UV-Laser:

- Parameterstudie
- erreichte Aushärtetiefe 40 - 50  $\mu\text{m}$



- links: Unterseite der Proben rau, matt, hell
- rechts: Oberseite glatt, glänzend, dunkel

#### 5. Zusammenfassung / Ausblick

- 3D-Reichweitenmodulatoren können erfolgreich simuliert und ausgelegt werden
- realistische Sensitivitätsabschätzung mittels SPIDER-Tool möglich
- Vermessung im Strahlengang bestätigt Simulationsergebnisse (Geometrie, Dosisverteilung)
- Bauteilfertigung mittels SLA trotz großem Aspektverhältnis möglich
- Feingießtechnologie erreicht Verfahrensgrenze bei Pinabformung
- CT unterstützt maßgeblich die Qualitätskontrolle der Bauteile
  
- erfolgreiche Aushärteversuche von Kompositmaterialien (Resin + Al)
- Übertragung auf SLA-Anlagentechnik ist große Herausforderung
- erforderliche Zulassung von 3D-RWM als Medizinprodukt

THAT Thüringer  
Zentrum  
für  
Additive  
Produktion

AGbliedtner  
Laser | Druck | 3D-Druck

 **Ernst-Abbe-Hochschule Jena**  
University of Applied Sciences

## Danksagung

Das Verbundvorhaben „3D-PATH - Entwicklung und Etablierung einer Prozesskette zur Herstellung patienten-individueller 3D-Reichweitenmodulatoren für die Bestrahlung bewegter Tumoren in der Partikeltherapie“ (Förderkennzeichen ZF4039610BA7) wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:

 Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

 **ZIM**  
Zentrales  
Innovationsprogramm  
Mittelstand

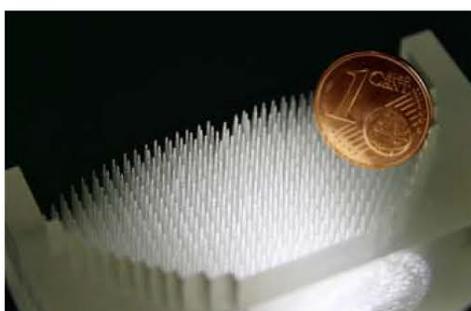
M. Layher © EAH Jena

THAT Thüringer  
Zentrum  
für  
Additive  
Produktion

AGbliedtner  
Laser | Druck | 3D-Druck

 **Ernst-Abbe-Hochschule Jena**  
University of Applied Sciences

## Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



M. Layher © EAH Jena



## Ausgedruckt in einem Guss – 3D-Druck im medizinischen Modellbau

Jana Klammer



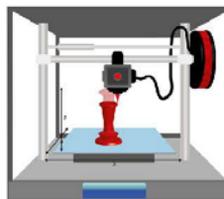
## Wie passt das zusammen?



Quelle: [www.fotolia.com](http://www.fotolia.com)



Quelle: [www.istockphoto.com](http://www.istockphoto.com)



Quelle: [www.notebookcheck.com](http://www.notebookcheck.com)

## Wie passt das zusammen?



Forschungszentrum  
Ultraschall



©FZ-U

3

## Der Lübeck EUS Trainer

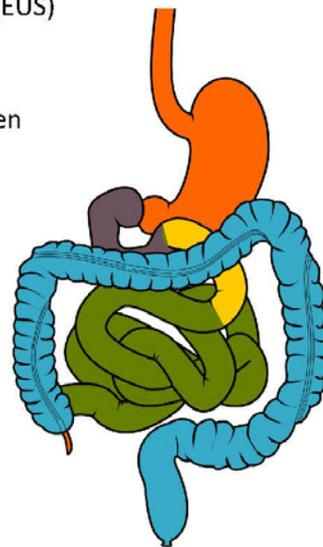


Forschungszentrum  
Ultraschall

- ⊕ Realitätsnahes Training der Endosonographie (EUS) außerhalb des Patienten
- ⊕ Gewebepunktionen und Interventionen (z.B. Setzen von Stents) können trainiert werden
- ⊕ HF-Chirurgie

### Eigenschaften

- ⊕ Transportabler, wasserdichter Koffer
- ⊕ Röntgen- und CT-tauglich
- ⊕ Verwendung tierischer Organe
- ⊕ Künstliche Punktionsobjekte



Quelle: [www.kissclipart.com](http://www.kissclipart.com)

4

## Röntgen



Forschungszentrum  
Ultraschall

- ⊗ Ultraschall in Kombination mit Röntgen, um metallische Komponenten sichtbar zu machen (z.B. HF-Instrumente, Stents)



©FZU

5



Forschungszentrum  
Ultraschall



©FZU

6

## Wie war es vor dem 3D-Druck?



Forschungszentrum  
Ultraschall

- Handgefertigtes Modell mit Styroporkern



©FZU

7

## Wie war es vor dem 3D-Druck?



Forschungszentrum  
Ultraschall

- Pappmaché und Lacküberzug
- Zubehör zum Ankleben



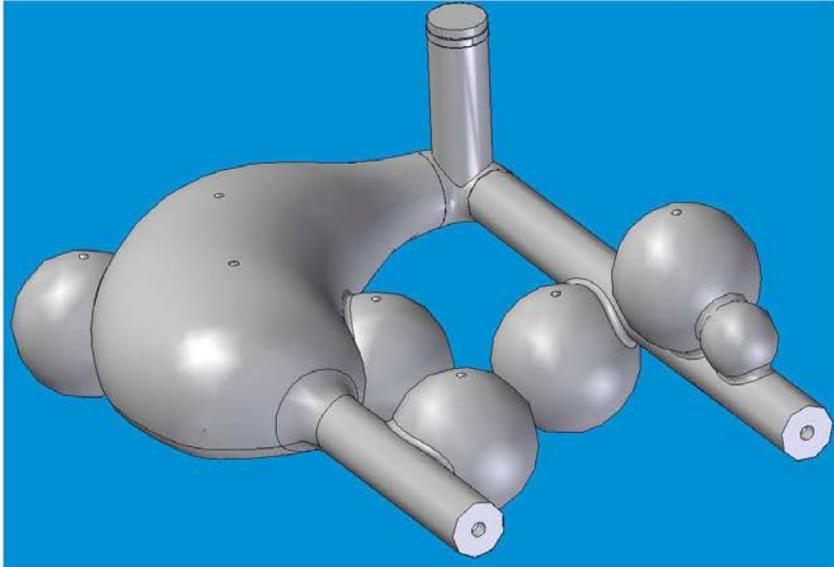
©FZU

8

## 3D-CAD-Modell



Forschungszentrum  
Ultraschall



©FZU

9

## Gedrucktes 3D-Modell



Forschungszentrum  
Ultraschall

### Modular aufgebautes 3D-Druck-Modell



©FZU

10

## Guss der LET-Matrix



Forschungszentrum  
Ultraschall



©FZU

11

## Entformen der LET-Matrix



Forschungszentrum  
Ultraschall



©FZU

12

## Fertige Matrix



©FZU

13

## Künstliche Punktionsobjekte



- Verschiedene Größen
- Unterschiedlich komplex
- Einfärbung erleichtert Kontrolle der Biopsie

©FZU

14

## Ultraschallaufnahme Punktionsobjekt



Forschungszentrum  
Ultraschall



© Burmester

15

## Vorteile 3D-Druck vs. Vorgängermodell



Forschungszentrum  
Ultraschall

- ⊕ Gleichmäßige Größenverteilung für Aussparungen (z.B. Zysten)
- ⊕ Keine zusätzliche Oberflächenbehandlung erforderlich
- ⊕ Modularer Aufbau (deutliche Zeiteinsparung)
- ⊕ Nacharbeiten reduziert
- ⊕ Bessere Reproduzierbarkeit
- ⊕ Keine zusätzliche Bearbeitung der Punktionsobjekte erforderlich

16

**LET bestückt**



Forschungszentrum  
Ultraschall

# Empfindliche Gemüter jetzt bitte wegschauen!

©FZ-U 17

**Dankeschön**



Forschungszentrum  
Ultraschall

Ein großes Dankeschön für die Entwicklung des LET und die permanente Weiterentwicklung gilt:

- ⊕ Dr. Eike Burmester (Sana Kliniken Lübeck)
- ⊕ Sabine Kern (Forschungszentrum Ultraschall)
- ⊕ Maria Preuß (Forschungszentrum Ultraschall)

...und Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt:  
Forschungszentrum Ultraschall gGmbH  
Dr. Jana Klammer (Medizintechnik)  
Köthener Str. 33a  
06118 Halle/ Saale  
jana.klammer@fz-u.de

18



## Anwendung des 3D-Druck in den Prozessen der Gießereiindustrie

6. Mitteldeutsches Forum 3D-Druck | 29.10.2019



Dipl.-Ing.  
**Norbert Demarczyk**

Geschäftsführer/CPO  
ACTech GmbH, Freiberg/Sa.

Darstellungen, Bilder und Fotos © ACTech GmbH

6. Mitteldeutsches Forum 3D-Druck | 29.10.2019



### Unternehmen | Überblick

<b>Gründung:</b>	1995
<b>Mitarbeiter:</b>	ca. 380
<b>Produktionsfläche:</b>	10.000 m <sup>2</sup>
<b>Kapazität:</b>	ca. 10.000 Prototypen pro Jahr



2

## Unternehmen | Standorte

### ACTech GmbH

Freiberg | Deutschland  
 Hauptsitz | Produktion  
 380 Mitarbeiter  
 alles in-house

### ACTech North America Inc.

Ann Arbor, MI | USA  
 Vertriebsbüro Amerika  
 8 Mitarbeiter

### ACTech GmbH Liaison Office

Bangalore | INDIEN  
 Vertriebsbüro Asien  
 3 Mitarbeiter



3

## Zahlen und Fakten



Mehr als 29.000 verschiedene Gussteilkonstruktionen.

Mehr als 204.000 Prototypen.

Mehr als 1.300 Kunden in 37 Ländern.

Jährliche Kapazität: Mehr als 10.000 Prototypengussteile.



4

# Technologien additiv-generativer Fertigung

5

## Verfahrenstechnik

ACTech konzentriert sich auf die Herstellung von gegossenen Einzelstücken in kürzest möglicher Zeit  
Technologischer Schlüssel zur Realisierung kurzer Fertigungszeiten ist die Formherstellung mit

### 1. Additiv-generative Verfahren:

#### *Sandguss-Formherstellung:*

- SLS (Direct Croning®)
- 3D-Printing (Furan, Phenol-Resol-Ester Bindersysteme)

#### *Feinguss, verlorene Modelle:*

- SLS (PS-Polystyrol)
- 3D-Printing (PMMA-Polymethylmethacrylat, Wachs)
- SLA (Muttermodelle für Silikonformen, Kernseelen)

6

## Verfahrenstechnik

### 2. Abtragende Verfahren:

*Sandguss-Formherstellung:*

- DMM® (Formstoff-Fräsen in allen gießereiüblichen Formstoffen)

*Feinguss, verlorene Modelle:*

- gefräste Modelle aus Wachs

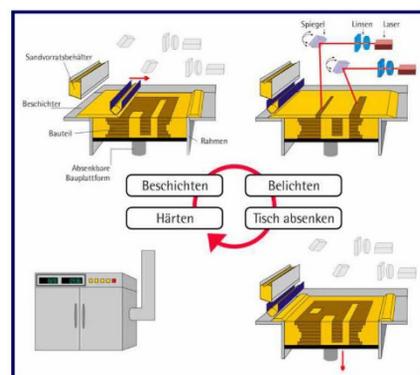
### 3. Konventionelle Verfahren:

*Sandguss-Formherstellung:*

- No-bake-Formerei mit CNC gefrästen Modellen
- Handgeformte Kerne
- Geschossenen Kerne

## Lasersintern von Croning®-Formstoff (Direct Croning®)

- Erstes bedeutendes Verfahren zur werkzeuglosen Gussteilfertigung
- schichtweiser Aufbau der Kerne und Formsegmente
- Schichtstärke ca. 0,2 mm
- Komplexe, filigrane Kernpakete mit geringsten Toleranzen in einem Stück
- Geringere Produktivität durch Punktleistung des Lasers
- Manuelles Finish und Post-Processing notwendig
- Hinterschnitte ohne Probleme herstellbar
- keine Verrundungen und Ausformschrägen nötig



## Lasersintern von Croning®-Formstoff (Direct Croning®)

- nahezu alle im Sandguss üblichen Werkstoffe können vergossen werden
- Varianz in den Formgrundstoffen
- hoher Bindergehalt (5,5 Gew-%), nur bedingt modifizierbar
- 20% der Endfestigkeit im Bauprozess, hoher Festigkeitssprung erst im Nachhärtungsprozess → spezielles Knowhow in der Supporttechnologie und Post-Processing
- hohe Festigkeiten bis über 1000 N/cm<sup>2</sup> → stabile Kerne aber hohe Restfestigkeiten besonders im Aluminiumguss → Knowhow Entkernung



9

## 3D Printen

- Hohe Gestaltungsfreiheit analog dem Lasersintern bei größerem Bauraum
- Schichtstärke 0,25 - 0,3 mm üblich
- Höhere Produktivität durch Linienleistung des Druckkopfes und breite Druckköpfe → Stückzahltauglich für Kleinserien
- 80% der Endfestigkeit im Bauprozess → einfaches Post-Processing
- Für fragile Kerne; Festigkeiten im Furanharz-System nicht auskömmlich
- Verfügbare Formstoffsysteme nehmen zu (Furan, Phenol, Anorganik in Kombination mit verschiedenen Formgrundstoffen)



Quelle: ExOne



Quelle: Voxeljet

10

## 3D Printen | Furanharz

- Furanharz-Prozess
- Zwei Job-Boxen für kontinuierliche Maschinenauslastung
- Bauraumgröße  
1800 x 1000 x 700 mm
- Hinterschnitte ohne Probleme herstellbar
- Anwendung: komplexe Formsegmente und voluminöse Kernen für Gussteile in Aluminium, Eisen und Stahl
- Einsatz des kostengünstigen Quarzsandes als Formgrundstoff



11

## 3D Printen | Phenolharz

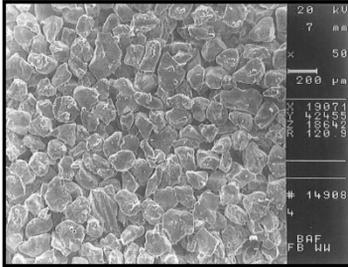
- Kalthärtender Phenolharz-Prozess (Phenol-Resol-Ester)
- Neuentwicklung ExOne 2015, ACTech weltweit erster Anwender
- Bauraumgröße:  
800 x 500 x 400 mm
- Anwendung: komplexe Kerne mit erhöhter Festigkeit, Kern in Kern-Lösungen
- Sehr gut „Trennschärfe“
- Synthetischer Mullit-Formgrundstoff: Materialkosten 25fach höher als bei Quarzsand
- Post-Processing aufwändiger ggü. Furan-Printen, beeinflusst durch Plastizität im „Grünzustand“



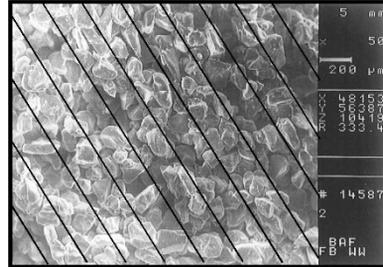
12

## Kernherstellungstechnologien

Exkurs Oberflächenstruktur: Textur im Formstoff führt zur Anisotropie von Eigenschaften



Oberfläche geschossener Croning®-Kern,  
Vergrößerung: 50-fach

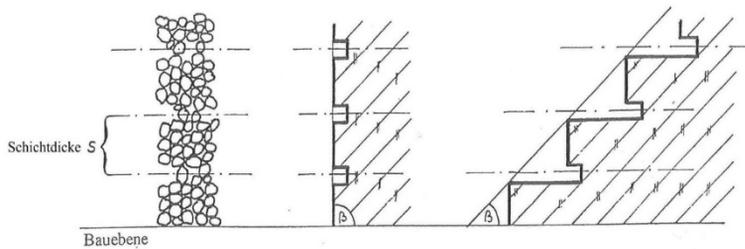


Oberfläche Direct Croning®-Kern (nachgehärtet),  
senkrecht zur Bauebene, Vergrößerung: 50-fach

13

## Kernherstellungstechnologien

Exkurs Oberflächenstruktur



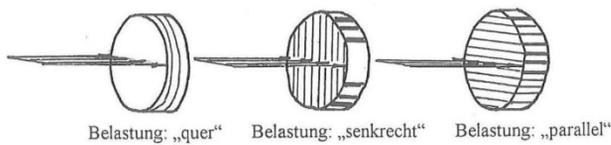
Modellvorstellung zu den Ausbruchstellen bei Schichtbauprozessen  
 In Abhängigkeit des Bauwinkels  $\beta$  zur Flächennormale der Bauplattform verändert sich die Oberflächenrauheit. Von Einfluss ist neben der Stufung die Ausbruchsstruktur in den Schichten.

14

## Kernherstellungstechnologien

### Exkurs Festigkeit

- Schichtbauweise führt zur Anisotropie der mechanischen Eigenschaften
- Geringe Verdichtung beim Schichtbauprozess
- Festigkeitsunterschiede bis zu 30% in Abhängigkeit von der Baurichtung

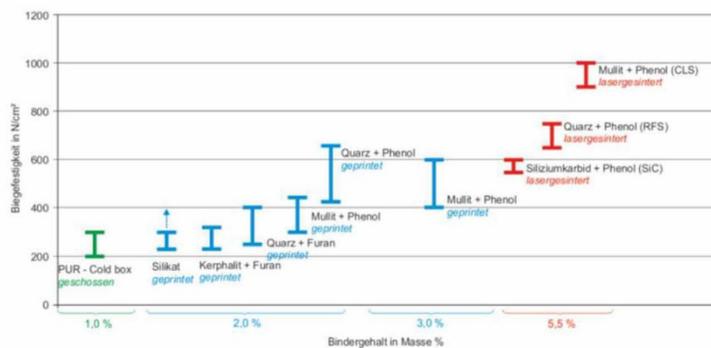


Mögliche Belastungszustände von Schichtbauteilen bei der Belastung durch eine Linienlast (Biegefestigkeitsprüfung)

15

## Kernherstellungstechnologien

### Exkurs Festigkeit: Festigkeiten der Formstoffe aus Schichtbauverfahren



16

## Direktes Formstoff-Fräsen (DMM®)

- keine Verrundungen und Ausformschrägen nötig
- Hinterschnitte begrenzt möglich, in Kombination mit Formteilen aus Schichtbauverfahren einfach lösbar
- einzelne Formsegmente bis 2.400 x 1.400 x 800 mm, durch Segmentierung nahezu beliebig große Formen herstellbar
- Verarbeitbarkeit aller gießereiüblichen Formstoffsysteme
- alle im Sandguss üblichen Werkstoffe können darin vergossen werden
- CAM-Programmierung notwendig, Offsets leichter im CAM-System realisierbar



17

## Direktes Formstoff-Fräsen (DMM®)

### Spezifik DMM®

- Höchste Varianz in den Formstoffsystemen
- Keine Anisotropie der Eigenschaften im Formstoff
- Kein aufwändiges Finish von anhaftenden Sandablagerungen
- Oberflächenqualität primär von der verwendeten Korngröße des Formgrundstoffes abhängig, es erfolgt kein Zerschneiden des Formgrundstoffes sondern ein Herausreißen aus der Bindung
- Produktionstaugliche und in der Gießerei übliche Handlings-Systeme einfach anwendbar (Formkasten, Armierungen)

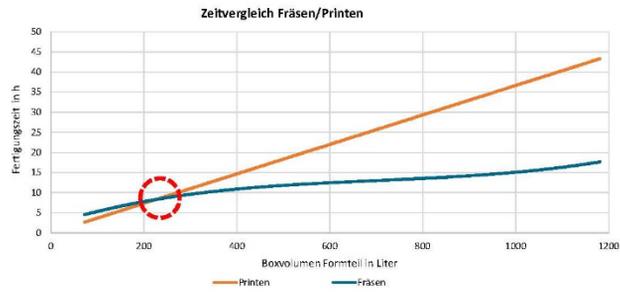


18

## Direktes Formstoff-Fräsen (DMM®)

### Spezifik DMM®

Effizienzvorteil ggü. dem 3D-Printen bei massiven Außenformen, da preiswerte Blockherstellung (Volumen) in konventioneller Formtechnologie



# Qualitätssicherung

## Qualitätssicherung

### Maßhaltigkeit

Die fehlende physische Begrenzung durch Werkzeugwandungen und das Post-Processing führen beeinflussen die Maßhaltigkeit gegenüber den konventionellen form- und Kernherstellungsverfahren.

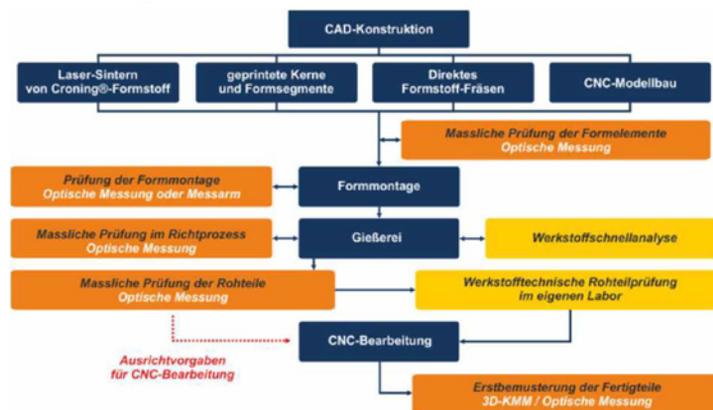
Die schnelle Einzelstückfertigung erfordert mehr prozessbegleitende Messung, da Einfahrprozesse nicht zur Verfügung stehen.

Die optischen Maßsysteme bieten seit über 10 Jahren eine zunehmend perfektionierte technische Lösung dafür.

### ACTech Performance:

- 6 optische 3D-Messsysteme
- 2 Backup-Systeme für prozessbegleitende Messungen und dimensionale Kontrolle der Rohteile

## Qualitätssicherung



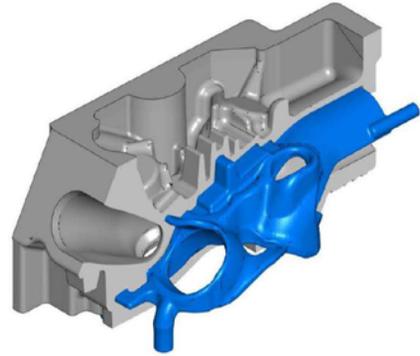
## Erprobung neuer Formstoffsysteme

### Testgussteil

- gießereitechnischer Test
- Adaption aus Zylinderkopf
- Abguss in AISi-Legierung und GJL

### Auswertung durch:

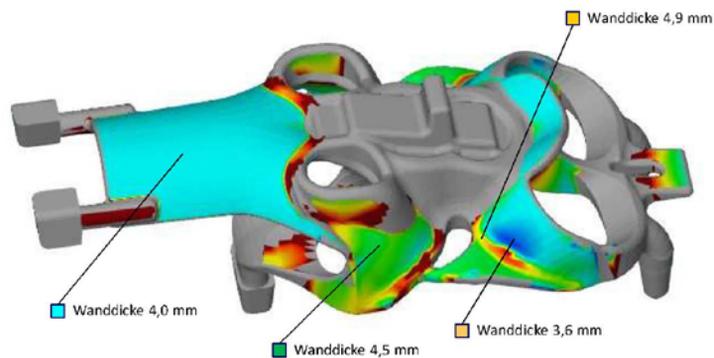
- Durchleuchtungsprüfung
- Geometrietest mit optischer Messung. Vergleich gegen Kern-Ist-Geometrie in Einbaulage
- Prüfung auf Gussfehler (Kernbruch, Kaltlauf, Oxide)
- Rissprüfung (Farbeindringprüfung)
- Dichtheitsprüfung mit Blasenerkennungsverfahren



23

## Erprobung neuer Formstoffsysteme

### Wanddicken am Wassermantelkern des Testgussteils



24

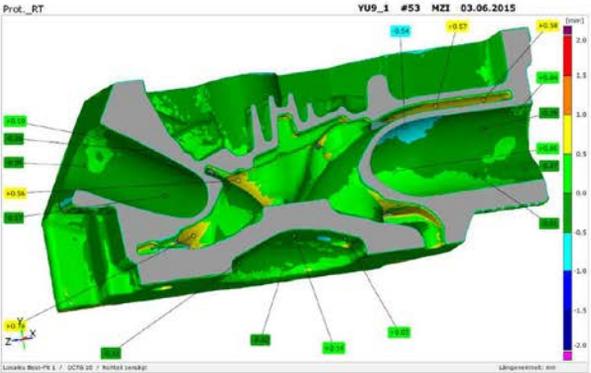
6. Mitteldeutsches Forum 3D-Druck | 29.10.2019

**ACTech**® all in  
a materialise company

## Erprobung neuer Formstoffsysteme

### Messergebnis

- Vergleich gegen Kern-Ist-Geometrie in Einbaulage



25

6. Mitteldeutsches Forum 3D-Druck | 29.10.2019

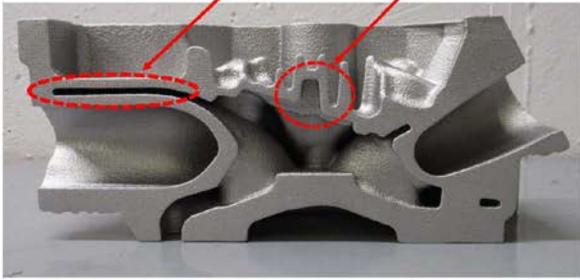
**ACTech**® all in  
a materialise company

## Erprobung neuer Formstoffsysteme

### Auswertungsmerkmale

Wanddickenkonstanz

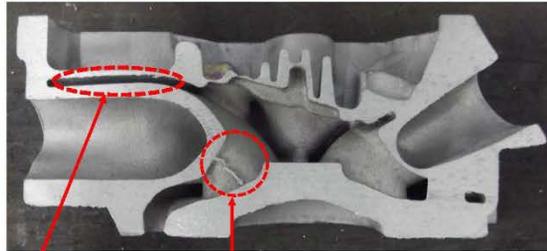
Oxidgefahr bei Aluminium



26

## Erprobung neuer Formstoffsysteme

Kern aufgeschwommen aufgrund Kernbruch



Wanddickenabweichung

Grat durch Kernbruch

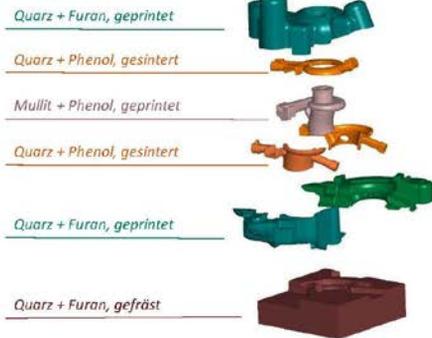
27

## Beispiele

28

## Anwendungsbeispiel

### Wassergekühltes Abgasturbinegehäuse



29

## Zylinderkopf mit integriertem Abgassammler

- Material: EN AC-ALSi7Mg0.3
- Abmaße: 510 x 360 x 340 mm
- Lieferung: 6 Wochen, inkl. Komplettbearbeitung mit Anbauteilen
- Anzahl: 2
- Formherstellung: Kalharzgeformt, Printen Furan und Phenol



30

## Zylinderblock

- Material: EN-GJL-250
- Abmaße: 355 x 341 x 269 mm
- Lieferung: erstes Teil 7 Wochen inkl. Komplettbearbeitung mit Anbauteilen und Honen
- Anzahl: 5
- Formherstellung: Lasersintern, Printen Furan und Phenol



31

## Integralturbinengehäuse

- Material: EN-GJSA-XNiSiCr35-5-2
- Abmaße: 110 x 103 x 65 mm
- Lieferung: 3,5 Wochen inkl. mech. Bearbeitung
- Anzahl: 2
- Formherstellung: Printen Furan und Phenol



32

## Kühlwasserverteilung

- Material: EN AC-ALSi7Mg0.3 T6
- Abmaße: 504 x 397 x 132 mm
- Lieferung: erste Teillieferung nach 5 Wochen inkl. mech. Bearbeitung
- Anzahl: 70
- Formherstellung: Kaltharzgeformt, Printen Furan



33

## Turbineneintrittsgehäuse

- Material: EN-GJS-400
- Abmaße: 1.200 x 1.200 x 550 mm
- Lieferung: 6 Wochen inkl. mech. Bearbeitung
- Anzahl: 1
- Formherstellung: Formstofffräsen, Printen Furan



34

## Getriebegehäuse (Hubschrauber)

- Material: EN AC-ALSi7Mg0.6 T6
- Abmaße: 1.347 x 1.065 x 544 mm
- Lieferung: 7,5 Wochen inkl. mech. Bearbeitung
- Anzahl: 1
- Formherstellung: Formstofffräsen, Printen Furan



35

## Verdichterlaufrad

- Material: EN AC-ALSi8Cu3
- Abmaße: 475 x 475 x 250 mm
- Lieferung: 3,5 Wochen
- Anzahl: 1
- Formherstellung: PS-Modell aus SLS, Gipsform



36

## Zusammenfassung

- Für die Einzelstückfertigung diverser Gussteile ist ein additiv-generatives Formherstellungs-verfahren nicht ausreichend. Die Kombination der Verfahren ermöglicht die Vielfalt.
- Zur Industrialisierung sind diverse technische und organisatorische Tools notwendig, die die Verfahrens-Spezifik der additiv-generativen Fertigung berücksichtigen um eine stabile, prozessichere Fertigung zu erreichen.
- Mono-Fertigung erlaubt die Qualifikation eines einzelnen additiv-generativen Verfahrens für die Serienfertigung.



37

## RAPIDEST PROTOTYPING

POSSIBILITIES UNLTD.

THE 1ST LIKE THOUSANDS

HIGH SPEED WORKFLOW

NO RISK STRATEGY



38

Sektion 3 - 3D-Druck und Urformtechnik

**„Vom Prototypen zur Serie – die Verbindung von Werkzeugbau, 3D-Druck und 3DScanning als technologische Chance für das Feingießen“**

Gert Pistol, Pistol GmbH

Dieser Vortrag kann unter Email: [info@pistol-gmbh.de](mailto:info@pistol-gmbh.de)  
Web: [www.pistol-gmbh.de](http://www.pistol-gmbh.de) abgefragt werden.



## Produktion einsatzfähiger Kleinserien

Abb.: rapidobject®



Vorstellung rapidobject



3D-Druckverfahren



3D-Druck Beispiele

### Vortragsinhalte

Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 2  
Abb.: rapidobject®



Vorstellung rapidobject



3D-Druckverfahren



3D-Druck Beispiele

**Vortragsinhalte** Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 3  
Abb.: rapidobject ©



- Full-Service 3D-Druck-Dienstleister aus Leipzig
- mehr als 13 Jahre Erfahrung
- TÜV-zertifiziert nach ISO 9001 und ISO 27001

**Vorstellung** Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 4  
Abb.: rapidobject ©



**Einführung - Anwendungsgebiete** Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 5  
Abb.: rapidobject ©



- Alle aus verschiedenen Branchen Maschinenbau, Medizintechnik, Architektur, Design, u.a.
- Jeder hat spezifische Anforderungen & andere Randbedingungen
- Jeder hat andere Vorstellungen vom 3D Druck

**Einführung** Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 6  
Abb.: rapidobject ©



Vorstellung rapidobject

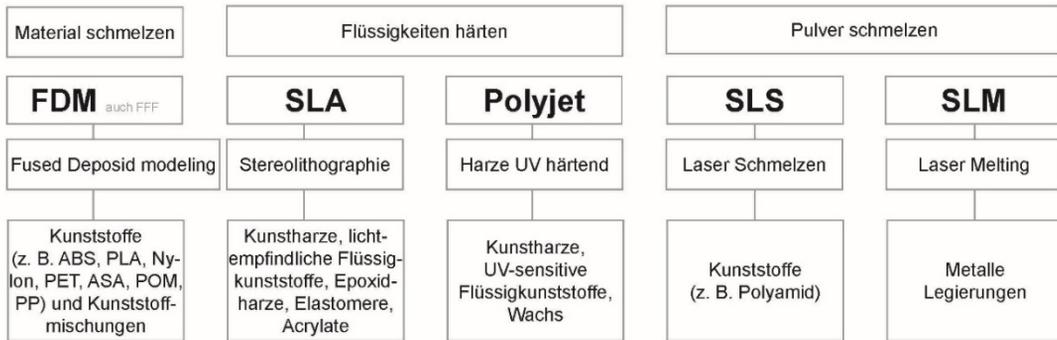


3D-Druckverfahren

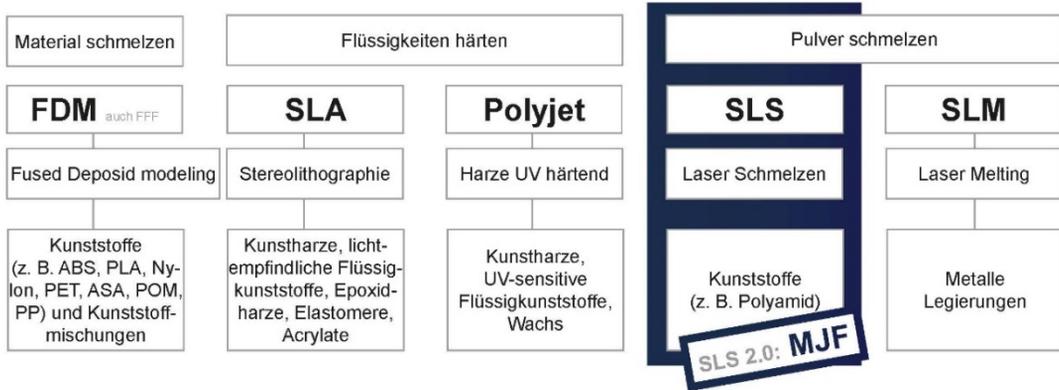


3D-Druck Beispiele

**Vortragsinhalte** Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 7  
Abb.: rapidobject ©



**3D Druckverfahren im Überblick** Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 8  
Abb.: rapidobject ©



### 3D Druckverfahren im Überblick

Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 9  
Abb.: rapidobject ©



Abb.: www.hp.com

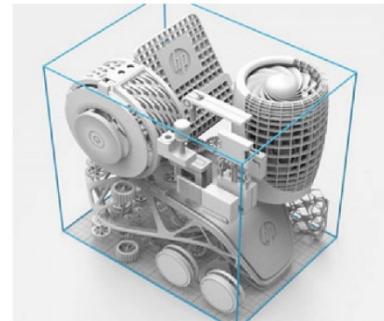
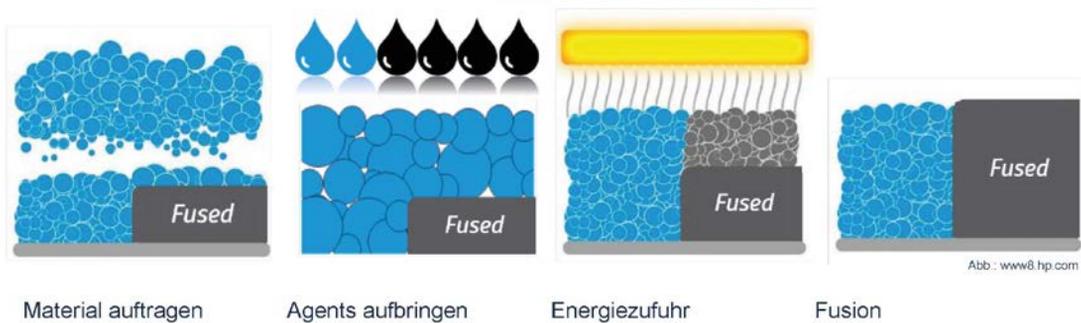


Abb.: www.hp.com

- 3D Drucker für die „digitale Produktion“
- Weiterentwicklung des SLS-Verfahrens, hohe Geschwindigkeit und Qualität
- Materialien: Polyamide PA12 (PA11, P12-GF, TPU)
- maximal verfügbare Bauraumgröße 380 x 280 x 380 mm

### 3D Druckverfahren: HP Multi Jet Fusion

Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 10  
Abb.: rapidobject ©



### 3D Druckverfahren: HP Multi Jet Fusion

Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 11  
Abb.: rapidobject®



- Bauraum packen am PC – Build-Unit vorbereiten
- Drucken – Abkühlung
- Entpacken – Bauteile strahlen
- Nachbearbeitung, Veredelung (Gleitschleifen, Färben, etc.)

### 3D Druckverfahren: HP Multi Jet Fusion

Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 12  
Abb.: rapidobject®

**Vorteile:**

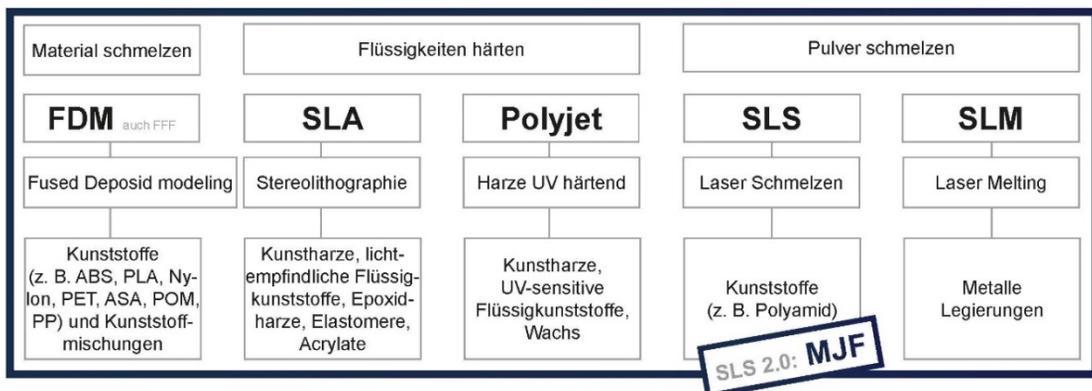
- Materialeigenschaften vergleichbar mit Spritzgussteilen, hohe Materialdichte
- Bessere Festigkeitseigenschaften und Oberfläche im Vgl. zu gesinterten Bauteilen
- Schichtstärken von 0,08mm abbildbar, dadurch scharfe Kanten und feinere Konturen abbildbar
- Bio-kompatibel
- Kürzere Fertigungszeiten im Vgl. zu SLS aufgrund der Fertigungstechnik
- Wasser- und Luftdicht ab einer Wandstärke von 1,25mm

**Nachteile:**

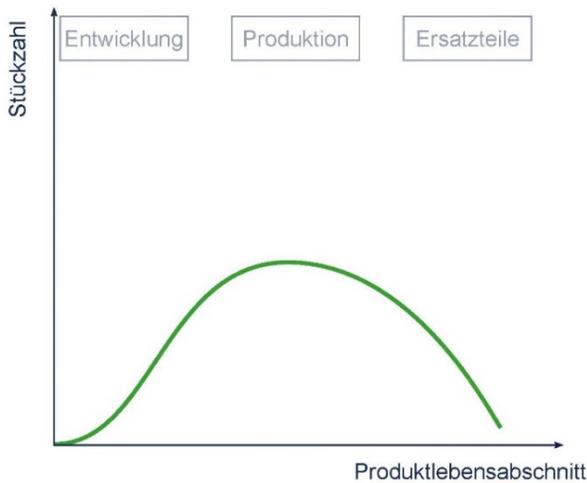
- Graue Grundfarbe – nur bedingt bunt färbbar
- Leicht raue Oberfläche
- Verzugsgefahr bei großen dünnen Bauteilen
- Erhöhte Materialanhäufungen können zu Maßabweichungen führen

**3D Druckverfahren: HP Multi Jet Fusion**

Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 13  
Abb.: rapidobject ©

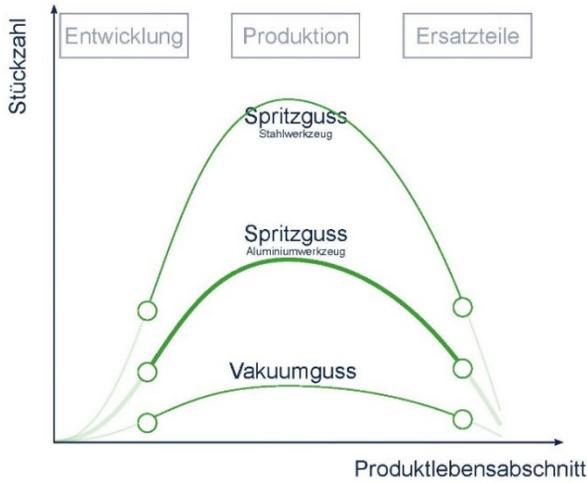
**3D Druckverfahren im Überblick**

Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 14  
Abb.: rapidobject ©



- Es gibt verschiedene Phasen im Leben eines Produktes
- verschiedene Phasen im Leben eines Produktes haben unterschiedliche Besonderheiten
- In den verschiedenen Phasen unterscheiden sich
  - Stückzahlen
  - Flexibilität
  - Planbarkeit



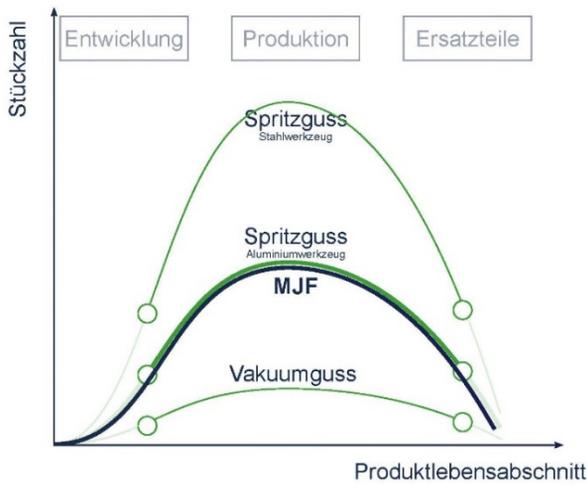


– in der Produktionsphase sind die Stückzahlen von Produkt zu Produkt unterschiedlich

– daraus ergeben sich verschiedene Fertigungsverfahren für die optimale Wirtschaftlichkeit

– Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Verfahren beginnt bei unterschiedlichen Stückzahlen

**3D Druckverfahren im Überblick - Verfahren im Vergleich** Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 17  
Abb.: rapidobject ©



– MJF „ohne“ Wirtschaftlichkeitslücke

– MJF als idealer Begleiter, um Lücken zu schließen (Prototypen, Vorserie, Ersatzteile)

– Stichwort „Digitale Produktion“

**3D Druckverfahren im Überblick - Verfahren im Vergleich** Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 18  
Abb.: rapidobject ©



Vorstellung rapidobject



3D-Druckverfahren

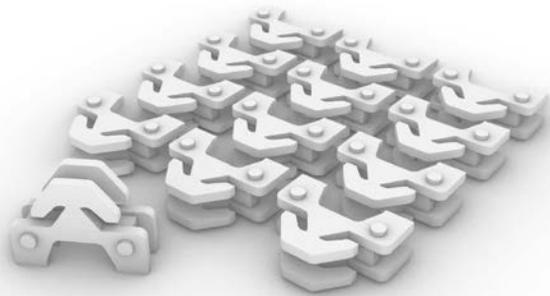
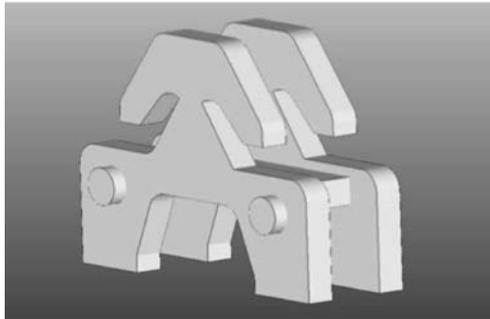


3D-Druck Beispiele

## Vortragsinhalte

Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 19

Abb.: rapidobject ©



- Einsatzfähiges Bauteil: Klemme (22mm x 28mm x 12mm)
- Temperaturbeständigkeit bis 100°C, gute chemische Beständigkeit
- 2.000 Stück pro Jahr
- biegsam, kein Bruch
- Oberflächenqualität sekundär

## 3D-Druck – Beispiele

Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 20

Abb.: rapidobject ©

Kriterium	Spritzguss	Preis	Preis	3D Druck (MJF)
Material	Polyamid PA 6			Polyamid PA 12
Farbe	Weiß			Grau
Toleranzen	+/- (0.08 mm + 0.005 mm/mm)			+/- 0,2% (mind. 0,2mm)
<b>1 Vorbereitung</b>				
Formbau	Alu-Schnellwerkzeug	4.500€	0€	Nicht erforderlich
Musterfertigung (25 Stück)	15-16 Werktage	100€	105€	6 Werktage
Geometrieänderung	Kaum möglich, Lieferverzögerung	500€	0€	Ohne Probleme möglich
<b>2 Produktion</b>				
Rüstkosten	vorhanden (Werkzeugprüfung & Reparatur)	550€	0€	Nicht vorhanden
Produktion	15-16 Werktage á 2,40 € / Stück	4.800€	5.720€	10 Werktage á 2,86 € / Stück
		10.450€	<b>5.825€</b>	
Lieferzeit inkl. Musterbau	Ab 30 Werktage			<b>Ab 12 Werktage</b>

### 3D-Druck – Beispiele

Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 21  
Abb.: rapidobject ©



Abb.: www.alexander-schleicher.de

Lüftungsmodul – abgewinkeltes Lüftungsrohr, gewichtsopimiert, mit Logo, Serie, MJF

### 3D-Druck – Beispiele

Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 22  
Abb.: rapidobject ©



Abb.: www.bst-eltromat.com

Träger einer Messoptik – mit Linsenklammer und Luftausblasung, Serie, MJF

### 3D-Druck – Beispiele

Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 23

Abb.: rapidobject ©



Abb.: www.convercycle.com



Convercycle – besonderes Give away

### 3D-Druck – Beispiele

Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 24

Abb.: rapidobject ©



Abb.: www.siebtechnik-tema.de



- Einsatzfähige Baugruppe für Anlagenbau
- einstellbarer Stabsaugeranschluss an einer Scheibemühle

3D-Druck – Beispiele

Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 25

Abb.: rapidobject ©



- 1 Zweiteilige Deckelausführung
- 2 Positionierstift
- 3 Feder
- 4 Zweiteilige Gehäuseausführung
- 5 Klappenelement
- 6 Gehäusefuß
- 7 Frontgitter
- 8 Abschlussgitter



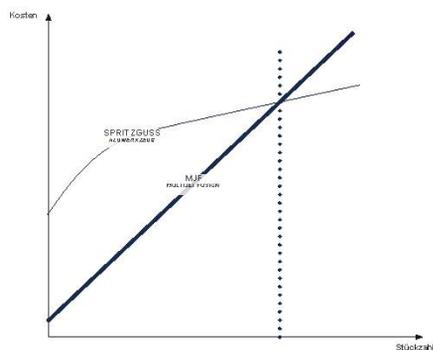
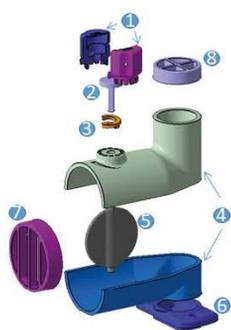
- konventionelle Fertigung in 8 Einzelteilen

- 1Teil als Baugruppe mit 3D Druck

3D-Druck – Beispiele

Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 26

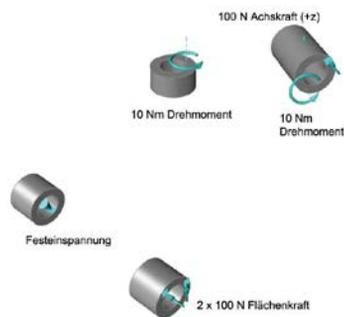
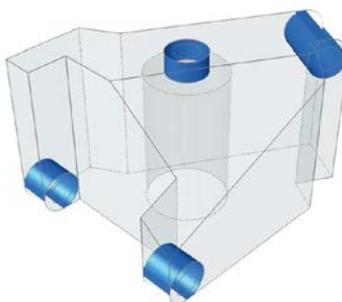
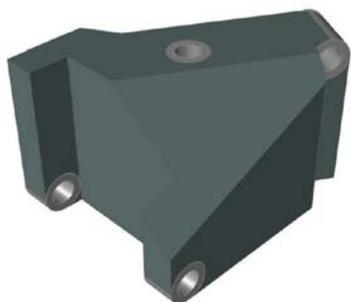
Abb.: rapidobject ©



- Kosten konventionelle Fertigung
- Einmalkosten Werkzeugfertigung
  - mind. 60.000€ netto zzgl. Formteillfertigung

Kosten 3D Druck pro Modell  
**110€ netto**

**3D-Druck – Beispiele** Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 27  
 Abb.: rapidobject ©



- Bionische Optimierung von Bauteilen
- geometrische Vorgaben, Anschlussmaße, Bauräume
- Auflager bestimmen, Lastfälle simulieren

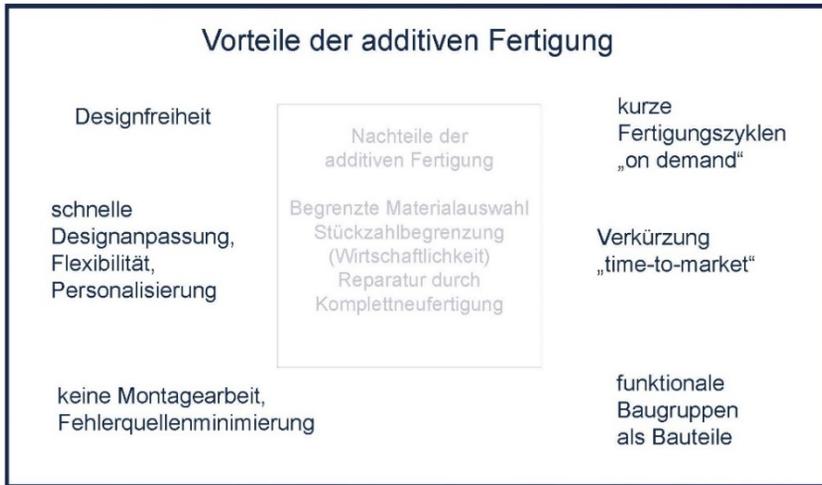
**3D-Druck – Beispiele – Bionische Bauteiloptimierung** Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 28  
 Abb.: rpi/object ©



– Zwischenstand

Einschränkungen der  
additiven Fertigung

Begrenzte Materialauswahl  
Stückzahlbegrenzung  
Bauraumbegrenzung



### Vorteile der additiven Fertigung

Designfreiheit

Neue Ideen sind gefragt!  
Wir freuen uns auf spannende Projekte mit Ihnen!

funktionale Baugruppen als Bauteile

 [www.rapidobject.com](http://www.rapidobject.com)

 [www.facebook.de/Rapidobject](https://www.facebook.de/Rapidobject)

Sie finden uns auch auf:  

Karl Hoppe  
karl.hoppe@rapidobject.com  
Rapidobject GmbH  
Weißenfelder Str. 84  
04229 Leipzig



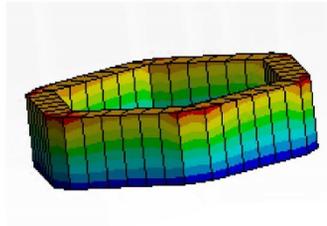
Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Rapidobject – „Produktion einsatzfähiger Kleinserien“ – 33  
Abb.: rapidobject ©

# NUMERISCHE SIMULATION PROZESSBEDINGTER EIGENSINNUNGEN IN 3D-DRUCKTEILEN

A. Krombholz, Dr. S. Schwan, Dr. J. Klehm

3D-Druck in der Anwendung, 6. Mitteldeutsches Forum, 29. Oktober 2019, HTWK Leipzig

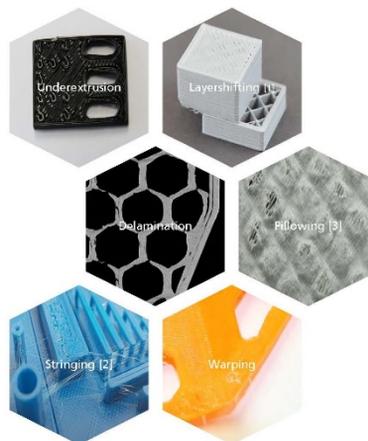


Seite 1

© Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS

Fraunhofer  
IMWS

## Schädigungen (phänomenologisch)



Seite 2

© Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS

[1] <https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/layer-shifting/>

[2] <https://tractus3d.com/de/3d-druckmaterialien/abs-materialia-im-3d-druck-stipps-und-tricks/>

[3] <https://ultimaker.com/en/resources/19503-how-to-fix-pillowing>

Fraunhofer  
IMWS

## Prozessbedingte mech. Spannungen

### Effekte von Eigenspannungen

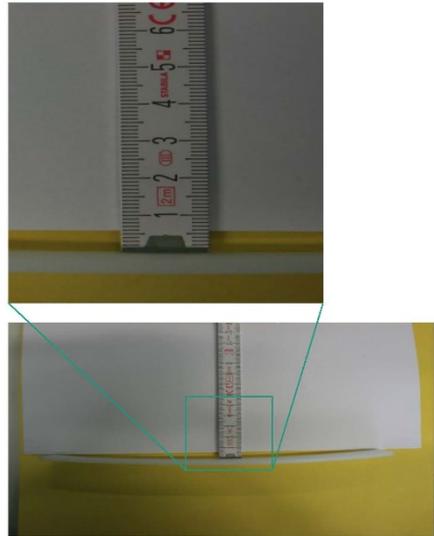
- verminderte Ermüdungsfestigkeit
- Rissinitiation und -ausbreitung (Delamination)
- Spannungsrelaxation kann zu Deformationen während der Fertigung führen ...

### Ursache für Eigenspannungen

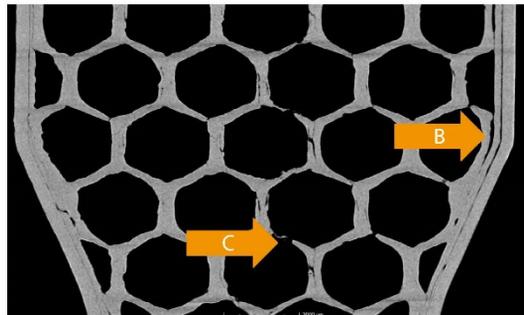
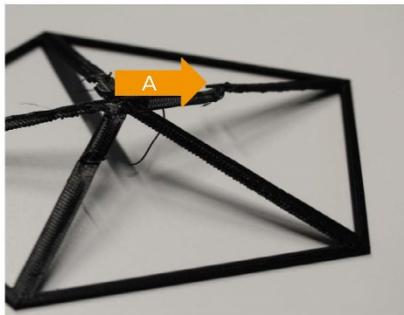
- Prozessbedingt (aktive Kühlung/ Heizbett/ Temperatur/Umgebung)
  - ungleiche thermische Belastung
  - Volumenänderungen während der Verfestigung

### Einteilung

- Druck-/Zugspannungen

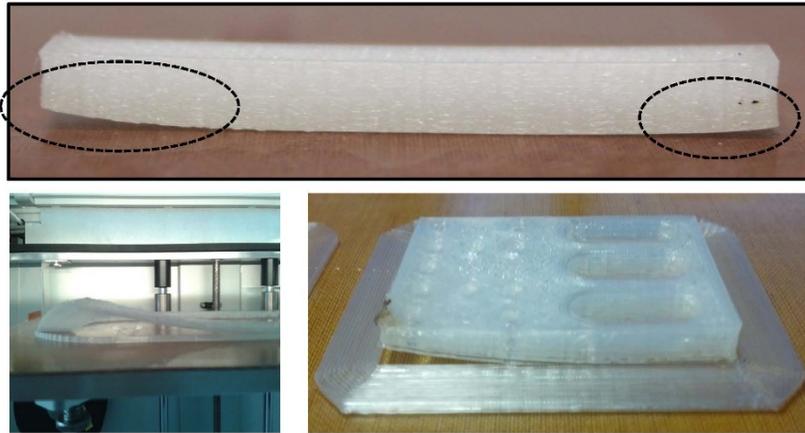


## Schädigungen infolge der Eigenspannungen



- A → Ausknicken
- B → Delamination
- C → Bruch (hier unter Zugbelastung)

## Schädigungen infolge der Eigenspannungen



© Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS

Fraunhofer  
IMWS

## Eigenspannungen – Definition\*

- „Eigenspannungen sind mechanische Spannungen, die in einem Körper herrschen, an dem keine äußeren Kräfte angreifen. Sie können durch plastische Verformungen, inhomogenes Gefüge oder thermische Einflüsse verursacht werden. Mit den Eigenspannungen eng verbunden sind auch Verformungen.“
- „Thermisch induzierte Eigenspannungen können dadurch entstehen, dass sich der Rand und der Kern eines Werkstücks nach entsprechender Erwärmung unterschiedlich schnell abkühlen. Durch die schnellere Abkühlung und Schrumpfung der randnahen Bereiche kann es dort zu Zugspannungen und zu einer lokalen Überschreitung der Streckgrenze kommen und damit zu plastischer Verformung. Nach erfolgtem Temperatenausgleich zwischen Rand und Kern kommt es dann zur Ausbildung von Druckeigenspannungen im Randbereich (Eigenspannung 1. Art).“

Seite 6  
© Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS

\* <https://de.wikipedia.org/wiki/Eigenspannung>

Fraunhofer  
IMWS

## Bestimmung der Temperaturfelder - Thermoelemente

- 130 x 130 x 3.302 mm<sup>3</sup> (13 Lagen 0.254 mm)
- ABS ( $T_M$  270 °C,  $T_G \approx 108$  °C)
- Kein Heizbett (75 °C Umgebung)
- Sensoren auf der 6. Lage abgelegt
- Ablage in Nut (kein Kontakt Düse ↔ Sensor)
- Sensor  $\varnothing$  0.25 mm
- Filamentablage pausiert zur Sensorintegration
- Füllung  $\pm 45^\circ$ , Startpunkt unten rechts
- Pro Layer ca. 500s

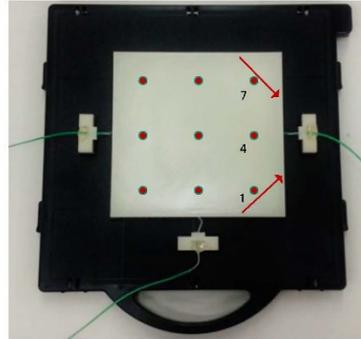


Abb. 1: Repräsentative Probe mit Messpositionen und Halterungen für Sensoren [angepasst nach \*]

Seite 7

© Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS

\* Kouliatza, Charoula, Nikoleta Chatzidai, and Dimitris Karalekas. "Temperature mapping of 3D printed polymer plates: experimental and numerical study." *Sensors* 17.3 (2017): 456.



## Bestimmung der Temperaturfelder - Thermoelemente

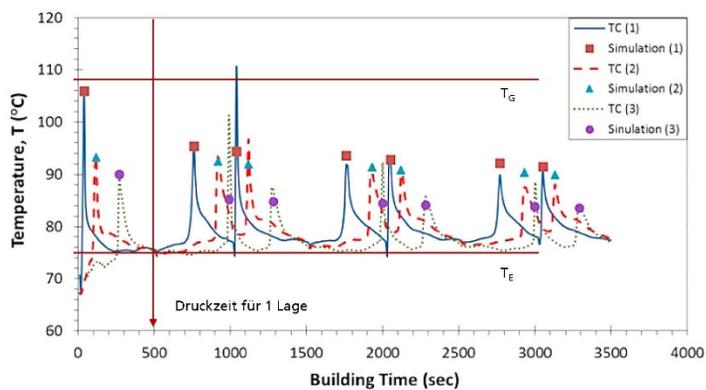
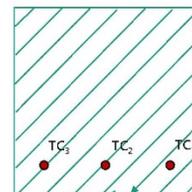


Abb. 2: Temperaturprofile in Abhängigkeit von der Sensorlage und der Druckzeit [angepasst nach \*]



Seite 8

© Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS

\* Kouliatza, Charoula, Nikoleta Chatzidai, and Dimitris Karalekas. "Temperature mapping of 3D printed polymer plates: experimental and numerical study." *Sensors* 17.3 (2017): 456.



### Bestimmung der Temperaturfelder - Thermographie

- Probe = Wand aus 2 Spuren
- 18 x 0.8 x 12 mm<sup>3</sup>
- Lagendicke 0,3mm
- PLA ( $T_M$  150-160 °C,  $T_G \approx 45-65$  °C)
- $T_{Nozzle}$  215 °C,  $T_E$  21 °C
- Heizbett 60 °C

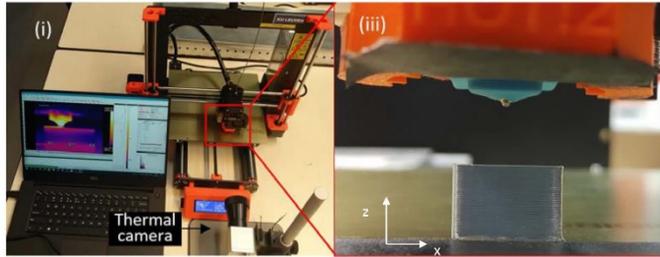


Abb. 3: Versuchsaufbau (i) und Probe nach Druck (iii) [angepasst nach \*]



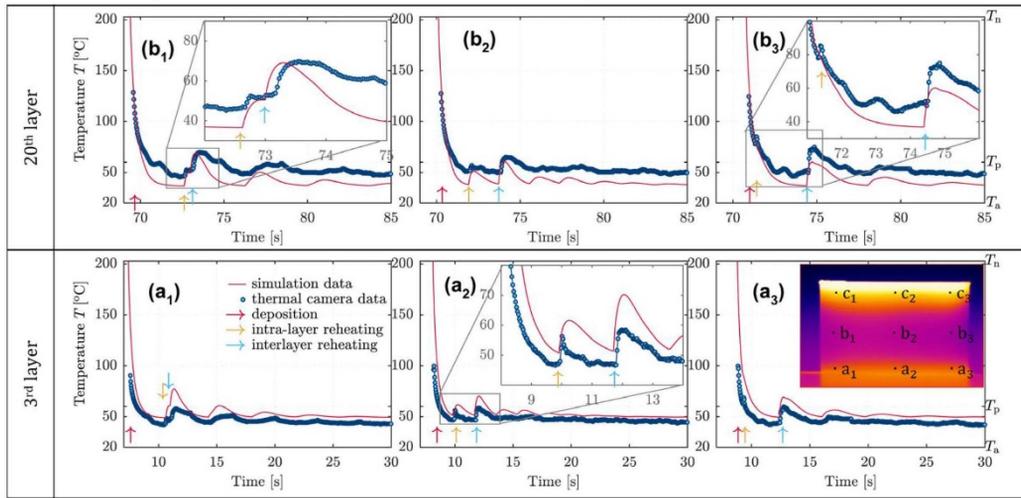
Seite 9

© Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS

\* Ferraris, E., J. Zhang, and B. Van Hooreweder. "Thermography based in-process monitoring of Fused Filament Fabrication of polymeric parts." CIRP Annals (2019).



### Bestimmung der Temperaturfelder - Thermographie



Seite 10

© Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS

\* Ferraris, E., J. Zhang, and B. Van Hooreweder. "Thermography based in-process monitoring of Fused Filament Fabrication of polymeric parts." CIRP Annals (2019).



### Bestimmung der Temperaturfelder - Thermographie

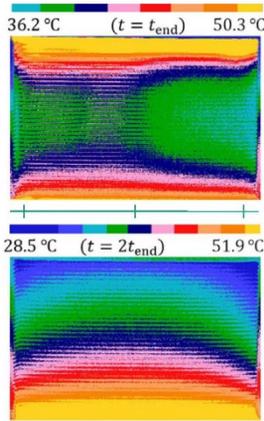


Abb. 4: Temperaturfelder nach Ende Druck  $t_{end}$  und  $2 t_{end}$  x-z-Ebene [angepasst nach \*]

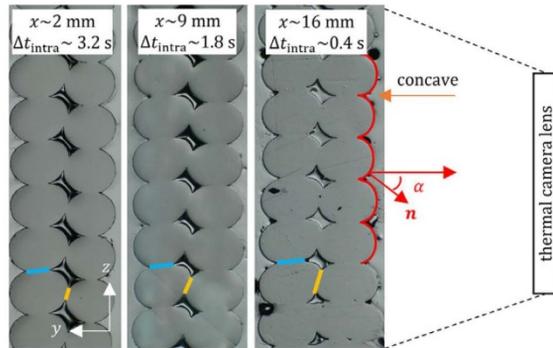
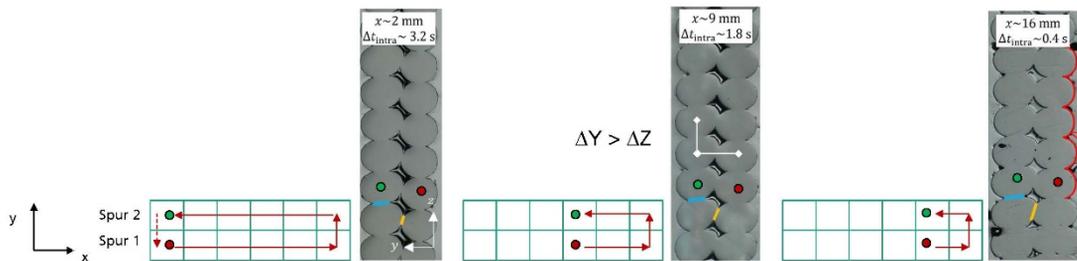


Abb. 5: Querschnitt in der y-z-Ebene zur Abschätzung der Adhäsionsgüte und Bondlänge [\*]

### Bestimmung der Temperaturfelder - Zusammenfassung

- Wiederaufheizung (Reheating) bindungstechnisch nur bis zu ca. 3 Lagen relevant
- Reheating Abhängigkeit vom Verfahrensweg (u.a.) beim Druck
- Reheating erfolgt intra- und interlaminar
- Adhäsionsqualität intralaminar besser bei „zeitnahen“ Reheating



Abbildungen angepasst nach [\*]

## Filament (PLA) – Realstrukturen (Bruch nach 3PB)

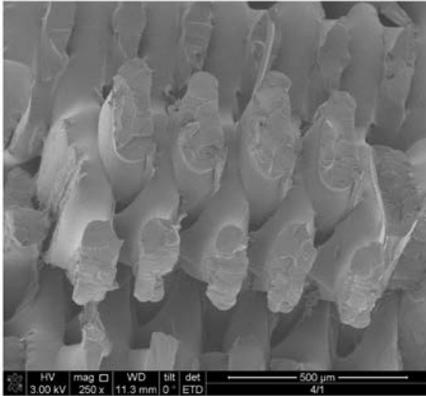


Abb. 6: REM Aufnahme, Filamente in  $\pm 45^\circ$  Ablage

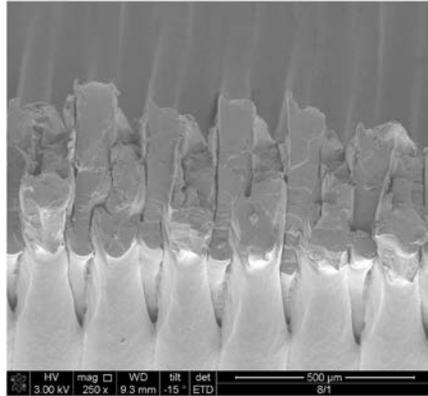
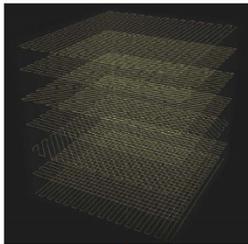


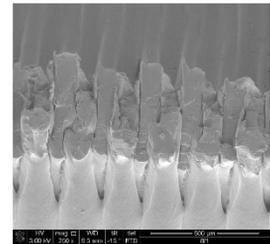
Abb. 7: REM Aufnahme unidirektionaler Filamente

## Routine zur Abschätzung von Haftung



```

4 M10 X10.00 Y47.60 Z4.00 W0
5 M10 Z0 W0
6 M104 Z220 W0
7 M104 R0 Z1
8 M107
9 G90
10 G28
11 M132 X Y Z A B
12 G1 Z30.000 F4200
13 G140 X Y Z3300
14 M6 W0
15 M951
16 M907 X100 Y100 Z40 A80 H20
17 M108 W0
18 G1 X10.00 Y47.70 Z48000
19 /prekettzuden0.20
20 /prekettzuden0
21 M108 Z0
22 G1 Z-300 F4200
23 G1 X10.00 Y47.70 Z48000
24 G1 X-10.00 Y47.70 Z2-9003 F1200
25 G1 X-10.00 Y-42.30 Z13.4516
26 G1 X-10.00 Y-42.30 Z17.4027
27 /rate
28 /layer:10.27
29 /del:1
30 M108
31 G1 X4.1017 Y1800
32 G1 Z-270 F4200
33 G1 X-4.40 Y-36.70 Z4200
34 G1 X17.4017 Y1800
35 G1 X-4.40 Y-36.70 Z4200
36 G1 X4.40 Y-36.70 Z17.8324 F1200
37 G1 X4.40 Y-36.70 Z17.8311
38 G1 X4.40 Y-25.50 Z18.3006
39 G1 X4.40 Y-15.50 Z18.8700
40 G1 X4.40 Y-5.50 Z19.3594
41 G1 X4.40 Y4.50 Z19.8488
42 G1 X4.40 Y42.10 Z21.0891
43 G1 X-4.40 Y42.10 Z22.1197
44 G1 X-4.40 Y-24.60 Z23.4921
    
```



## Bestimmung der Dehnungen – Fiber Bragg Sensoren

$$(\lambda_B - \lambda_{B0})/\lambda_{B0} = \Delta\lambda_B/\lambda_{B0} = (1 - p_e)\varepsilon_{\text{res}} + (1 - p_e)(\alpha_m - \alpha_f)\Delta T + (\alpha_f + \xi)\Delta T.$$



Anordnung und Integrationsmethodik für eine eingebettete faseroptische Schnittstelle zur Anwendung in dünnwandigen, polymeren Strukturen und Bauteilen

DE 10 2016 213 084

>Verfahren zum Einbetten bzw. Herstellen eines Faseroptikverbinders in einem Bauteil<

Seite 15

© Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS

Fraunhofer  
IMWS

## Bestimmung der Dehnungen - Probenaufbau

- 20 x 40 x 10.414 mm<sup>3</sup> (41 Lagen 0.254 mm)
- ABS P430 (P400SR für Support) (T<sub>M</sub> 270 °C, T<sub>G</sub> 94 °C)
- kein Heizbett (75 °C Umgebung)
- Thermoelemente ∅ 0.25 mm + FBG Sensoren ∅ 0.125 mm /1550 nm (Ablage in 3. und 20. Lage)
- Ablage Thermoelemente in Nut (kein Kontakt Düse ↔ Sensor)
- Filamentablage pausiert zur Sensorintegration
- Füllung ±45°

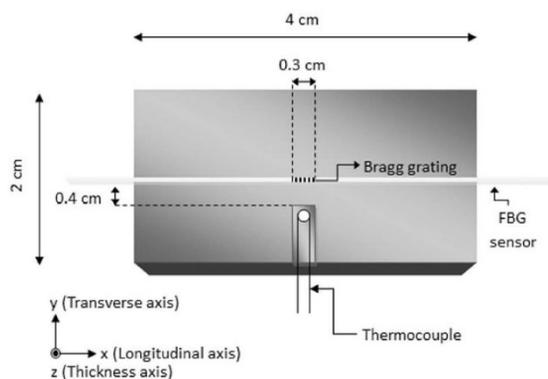


Abb. 8: Probengeometrie und Einbettung der Sensoren [\*]

Seite 16

© Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS

[\*] Kousiatza, Charoula, and Dimitris Karalekas. "In-situ monitoring of strain and temperature distributions during fused deposition modeling process." *Materials & Design* 97 (2016): 400-406.

Fraunhofer  
IMWS

## Bestimmung der Dehnungen - Temperaturen

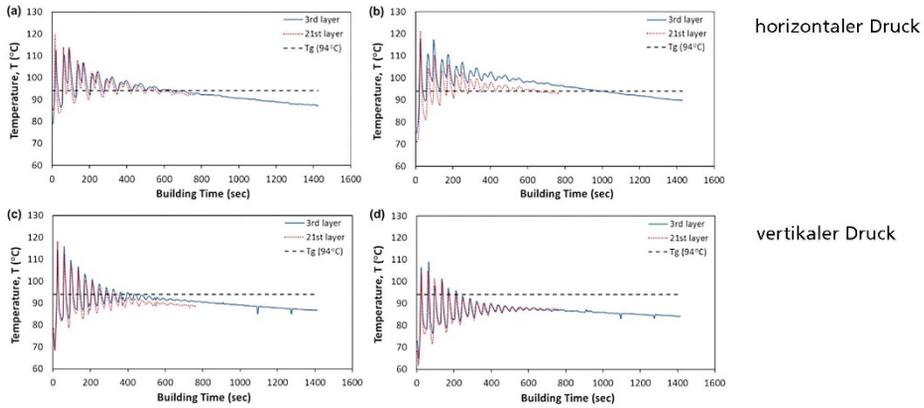


Abb. 9: Temperatur Messung Inline, Einlage der Sensoren (a, c) longitudinal (b, d) transversal [°]

## Bestimmung der Dehnungen

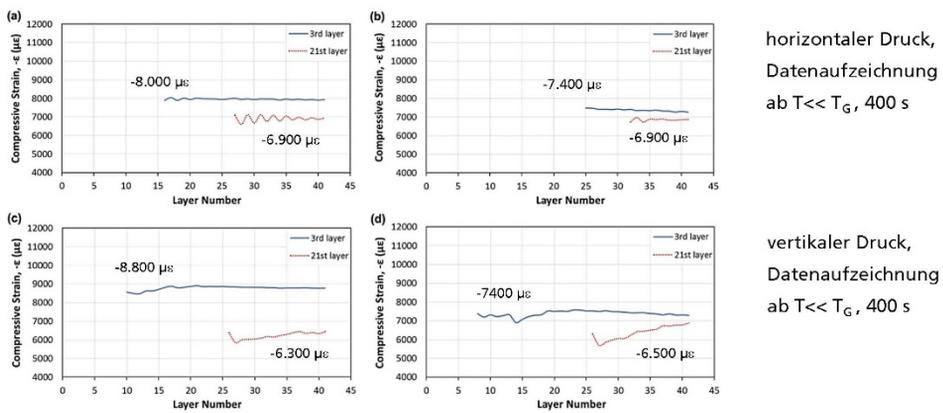


Abb. 10: Inlinemessung der Dehnungen, Einlage der Sensoren (a, c) longitudinal (b, d) transversal [angepasst nach \*]

## Bestimmung der Dehnungen – Postfabrication (20h)

Residual strains in 3rd layer	Residual strains in 21st layer	Residual strains in 39th layer
$\epsilon_{res}$ ( $\mu\epsilon$ )	$\epsilon_{res}$ ( $\mu\epsilon$ )	$\epsilon_{res}$ ( $\mu\epsilon$ )
-7336	-6245	-
-6534	-3191	-
-7722	-5382	-
-6635	-6239	-
-7384	-6435	-5526
-7093	-5579	-4181

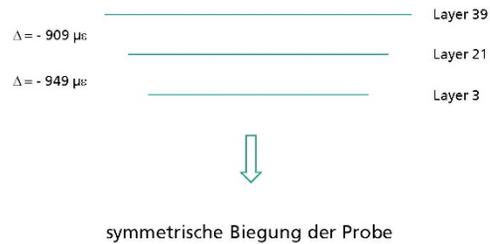


Tabelle 1: verbleibende Dehnungen in der Probe (free standing state) [\*]

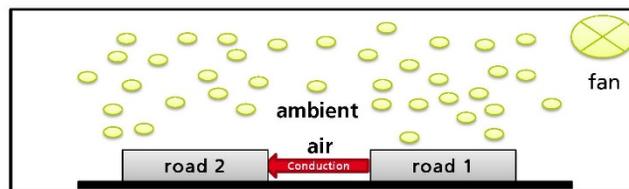
Seite 19

© Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS

Kouziatza, Cheroula, and Dimitris Karalekas. "In-situ monitoring of strain and temperature distributions during fused deposition modeling process." *Materials & Design* 97 (2016): 400-406.

Fraunhofer  
IMWS

## Simulationsmodell - Wärmetransport



$$\rho(\vec{u}) \cdot c_p(\vec{u}) \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla [k(T) \cdot \nabla T(\vec{u}, t)] - Q(T) = \dot{q}_v$$

- Phasenübergänge
- Wärmeleitung zwischen Filament und Heizbett
- Wärmeleitung zwischen Filament und Filament
- Konvektion zwischen Filament und Luft

© Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS

Fraunhofer  
IMWS

## Modellierungs-Strategie

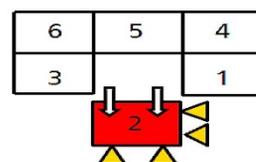
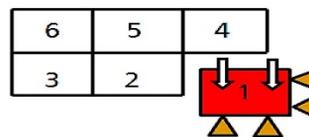
- Modellerstellung mittels CAD → Geometrie (STL)
- Meshing/Slicing → GCode (Richtung/Dimension/Volumen ...)
- FE → Neu-Nummerierung Elemente (gemäß Nozzle Pfad)
- Zuordnung Materialeigenschaften zu Elementen (FE)
- Deaktivierung aller Elemente (Death & Birth)
- Abgleich Zeitregime Druckkopf/Thermische Belastung → geeignete Linearisierung

6	3	2
5	4	1

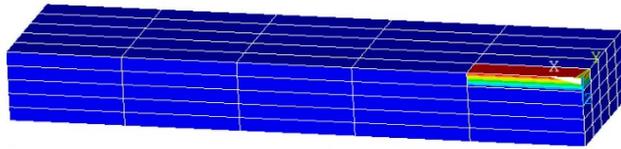
6	5	4
3	2	1

## Modellierungs-Strategie - Ablauf

- Aktivierung des ersten Elementes
- Applikation der Randbedingungen und Lasten
- Durchführung einer transienten thermischen Analyse bei gegebenen Temperaturverteilung
- Import der thermischen Lasten in das Struktur-Modell
- Aktivierung des zweiten Elementes
- Durchführung einer transienten thermischen Analyse bei gegebenen Temperaturverteilung
- Anpassung der Randbedingungen und der Lasten

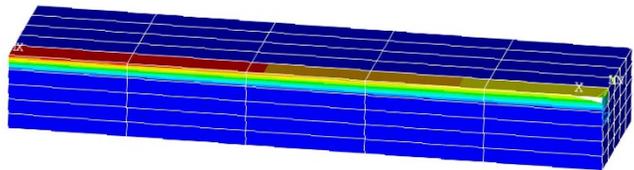


### Verifikation des Algorithmus



Temperaturverteilung (°C) im ersten Element  
(Druckrichtung von oben nach unten !)

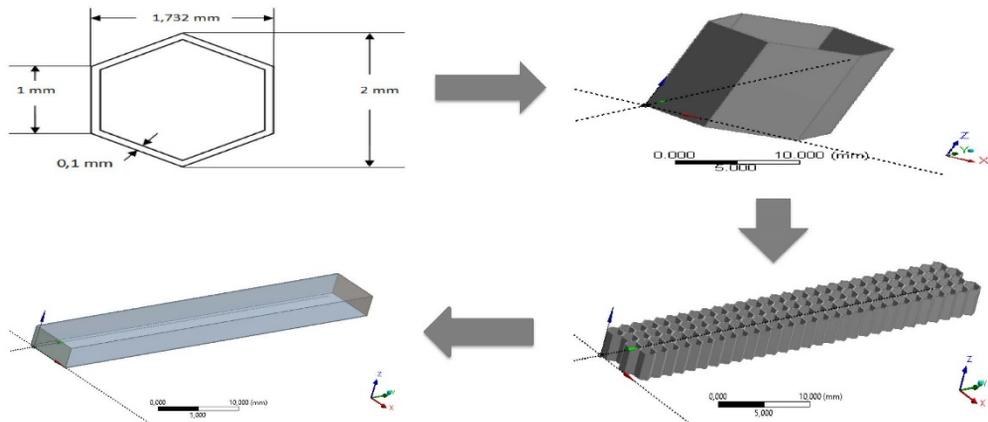
T in °C



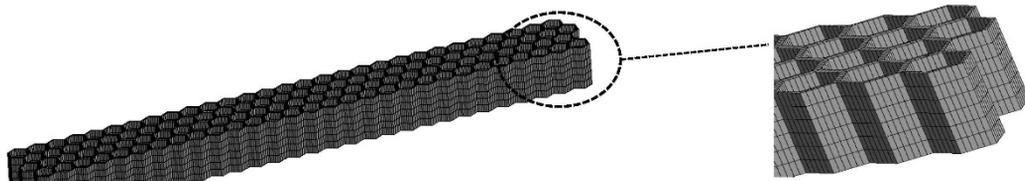
Aktivierung des 5. Elementes in Lage 1

T in °C

### Balken mit Honigwabenstruktur (Geometrie)



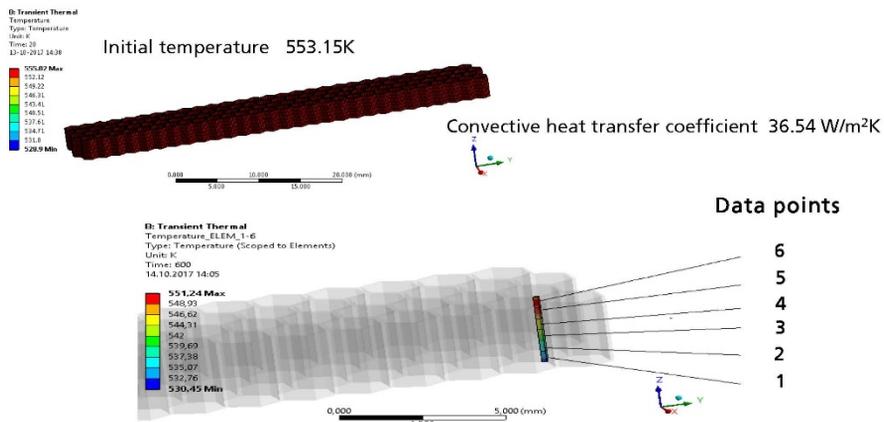
## Balken mit Honigwabenstruktur (Vernetzung/Elementierung)



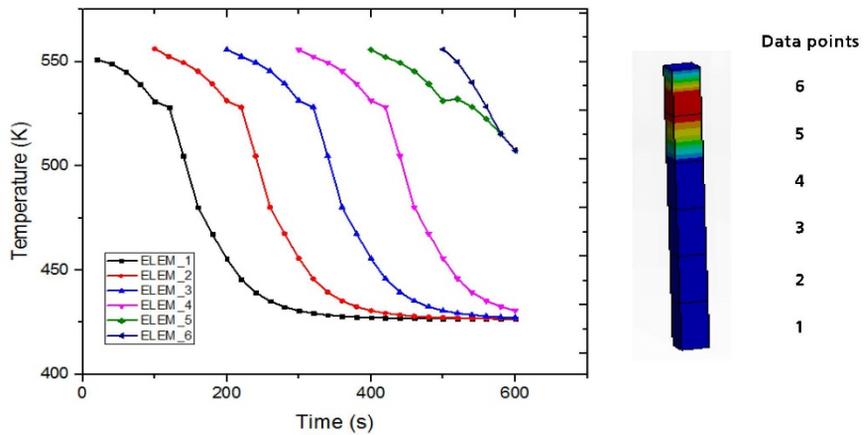
Number of elements	20658
Number of Nodes	147032
Element type	Solid 90 (Thermal), Solid 186 (Structural)
Mesh type	Hexahedral, Tetrahedral
Number of layers	6

- Teilung der Geometrie in verschiedene Lagen
- Kombination von hexahedralen und tetrahedralen Elementen zur Darstellung geschlossener Filamentablage
- Kopplung von 2 Element-Typen Thermal — Structural

## Balken mit Honigwabenstruktur ("Messpunkte")

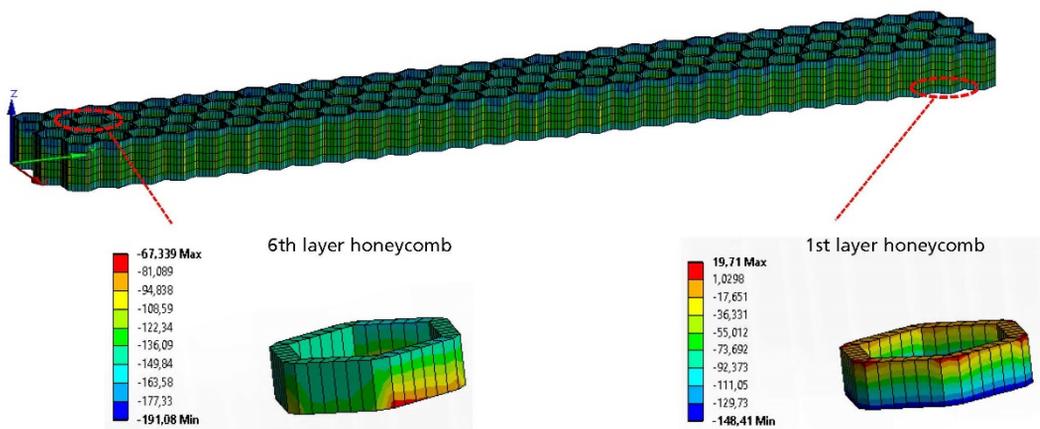


### Balken mit Honigwabenstruktur –Temperaturverteilung (lokal)

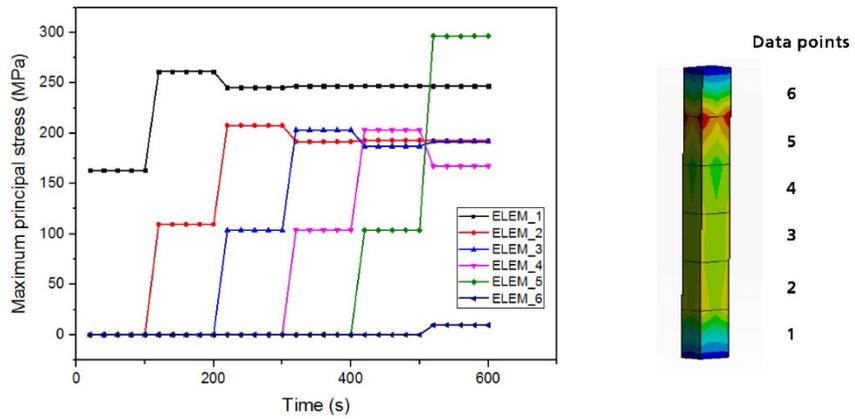


Temperature versus time plot for the 6 data points at 600 seconds

### Balken mit Honigwabenstruktur -Spannungsverteilung



## Balken mit Honigwabenstruktur – Hauptspannung

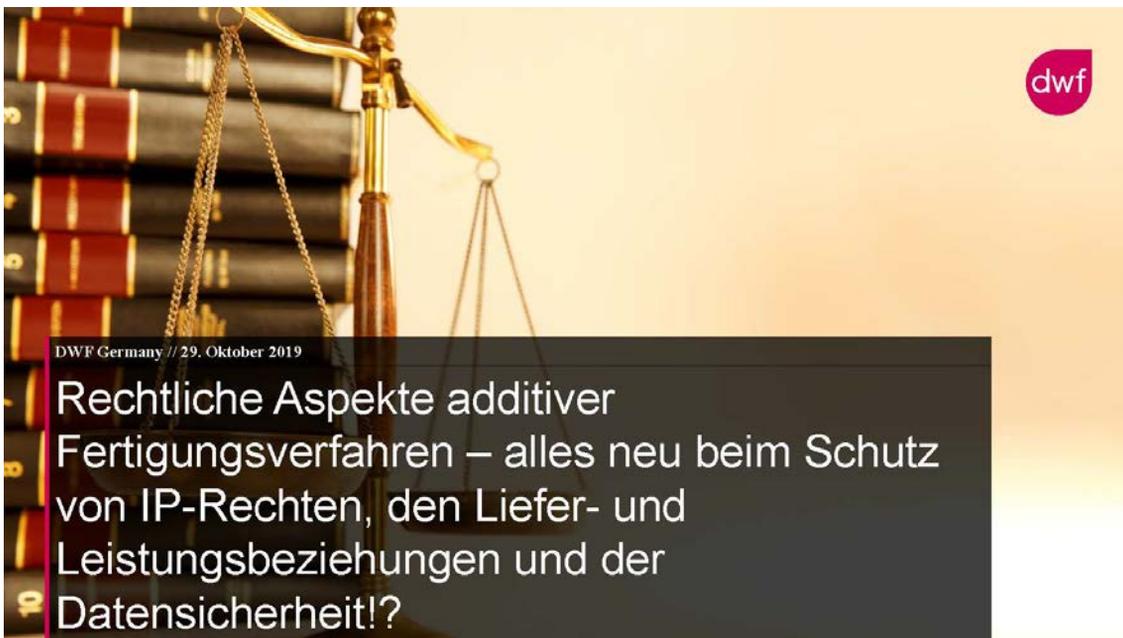


Principal stress versus time plot at 600seconds

Wir danken der Landesbank Sachsen Anhalt für die Unterstützung im Projekt „Prognose des Einsatzverhaltens 3D-gedruckter Bauteile mittels bruchmechanischer Ansätze - FFD-Crack“

FKZ 1704/00065

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !**



dwf

DWF Germany // 29. Oktober 2019

## Rechtliche Aspekte additiver Fertigungsverfahren – alles neu beim Schutz von IP-Rechten, den Liefer- und Leistungsbeziehungen und der Datensicherheit!?



## Industrieller Wertschöpfungsprozess mit 3D-Druck dwf



© DWF 2015 | Content: C&M/Mat



## IP-Rechte und 3D-Druck

© DWf 2015 | Contributor: CoolMetal



## Ausgangssituation



- **„Aus Daten werden Produkte“**
- Es besteht ein Bedürfnis am Schutz von Druckdateien einerseits und den Ergebnissen eines additiven Fertigungsprozesses andererseits
- 3D-Druck-Dateien sind ein Wirtschaftsgut
- Grundsätzlich: Digitale Produkte sind dem Schutz geistigen Eigentums zugänglich, wie z. B. E-Books, Musiksongs

© DWf 2015 | Contributor: CoolMetal



## Gewerbliche Schutzrechte und geistiges Eigentum



- Patent
- Gebrauchsmuster
- Design
- Marke
- Urheberrecht
  
- Unterschiedliche Schutzgegenstände und Schutzdauer
- Lizenzierung/Lizenzketten
- Ansprüche bei Rechtsverletzung
- Internationale Rechtsdurchsetzung
  
- IP-Schutz muss gerade angesichts der Digitalisierung technisch flankiert werden.

© DWf 2015 | Contributor: CoolMedia



## Generierung von Druckdaten



- **Woher kommen die Druckdateien?**
- Generierung von CAD-Daten durch
  - Digitalisierung eines existierenden physischen Modells (Reverse Engineering),
  - durch Modifikation,
    - fertigungsgerechte Umkonstruktion
    - Erzeugung von neuen Funktionalitäten
    - Erzeugung von neuen Designs, die nicht technisch bedingt sind
  - durch Neukonstruktion.

© DWf 2015 | Contributor: CoolMedia



## Urheberrechtlicher Schutz von CAD-Dateien?



- Kein Registerrecht ⇔ Entstehung mit Schaffung eines Werkes
  - Persönliche geistige Schöpfungen ⇔ rein handwerkliches Schaffen
- Schutzfähig sind u.a. Darstellungen wissenschaftlicher oder technischer Art sowie Entwürfe zu Werken der bildenden Künste/Baukunst, wie z. B.
  - Zeichnungen, Pläne, Karten, Skizzen, Tabellen und plastische Darstellungen
  - Figuren, Schmuck, Werkzeuge, Gegenstände des Industriedesigns etc.)
- Schutzfähigkeit der CAD-Datei ist Einzelfallprüfung
  - Das darin wiedergegebene Werk muss individuell sein
- Lizenzierung erforderlich, um Vervielfältigung, Bearbeitung etc. vornehmen zu dürfen

© DWf 2015 | Contributor: CookMedia



## Gesetzgeberische Entwicklung



- EU-Parlament hat am 26.6.2018 **Entwurf einer Entschließung zum dreidimensionalen Druck** veröffentlicht (wird noch beraten). Ziele u.a.:
  - Schutz der Inhaber von Patenten, Designrechten und sonstigem geistigen Eigentum, wenn Digitalvorlagen zu rechtlich geschützten Produkten massenhaft verbreitet oder ausgedruckt werden oder ausgedruckt werden können.
  - Besonderes Augenmerk auf Verschlüsselung und den Schutz von Dateien, um rechtswidrige Verbreitung von Digitalvorlagen zu verhindern.
  - Rückverfolgbarkeit der additiv erstellten Erzeugnisse und der Kette der beteiligten Personen hinsichtlich möglicher Verletzung des geistigen Eigentums.
- **Kritisch:** Einschätzung, eine durch Scanning generierte 3D-Druckdatei könne als (urheberrechtliches) Werk gelten.
- Ggf. Privilegierung für private Zwecke.

© DWf 2015 | Contributor: CookMedia



## IP-Rechtsverletzung?

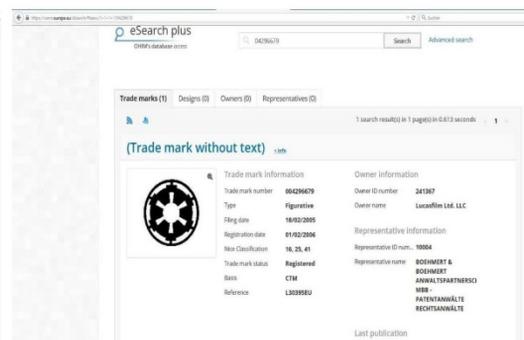
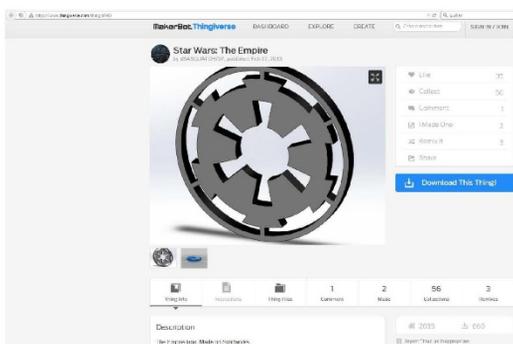
- **Abgrenzung:** Eingriff in bestehende gewerbliche/geistige Schutzrechte und/oder Schaffung neuer IP-Rechte
- Erstellung des 3D-Modells und Weitergabe *unkörperlicher* Informationen dürfte als bloße patentrechtlich nicht erfasste Vorbereitungshandlung einzuordnen sein.
- Aber: ggf. mittelbare Patentverletzung (fraglich, ob digitale CAD-Datei „Mittel“ i.S.v. § 10 Abs. 1 PatG)
- **Herstellung und Vertrieb von 3D-gedruckten Ersatzteilen = Patentverletzung?**
  - Lehre des Patents muss nicht hinsichtlich aller Merkmale identisch übernommen werden
    - Benutzung des Patents mit **äquivalenten Mitteln** reicht
    - Fertigung mittels 3D-Drucks als **Veränderung des Herstellungsverfahrens** und **Ersatz** des im Patent angeführten **Materials** durch eine für 3D-Druck geeignetes Material
      - Gleiche Wirkungen mit Blick auf das Endprodukt?
      - Endprodukt als Verwirklichung der Lehre des Patents anzusehen?
  - **Maßstab:** Neukonstruktion ist eine **andersartige Verwirklichung** der gleichen Lehre des Patents bzw. Neukonstruktion baut auf erfinderischer Leistung des ursprünglichen Schöpfers auf

© DWf 2015 | Co-Initiator: CuckMall



## Beispiel: Markenrechtsverletzung

**Auch Markenrechte können durch 3D-Druck-Vorlagen verletzt werden:**





## Exkurs: Neuer Know-How-Schutz



- Gesetz zum **Schutz von Geschäftsgeheimnissen** seit 26.04.2019 in Kraft (GeschGehG)
- **Begriff „Geschäftsgeheimnis“** = Informationen, die alle folgenden Kriterien erfüllen:
  - sie sind genau in dem Sinne geheim, dass sie weder in ihrer Gesamtheit noch in der genauen Anordnung und Zusammensetzung ihrer Bestandteile den Personen in den Kreisen, die üblicherweise mit dieser Art von Informationen umgehen, allgemein bekannt oder ohne Weiteres zugänglich sind;
  - sie sind von wirtschaftlichem Wert;
  - sie sind Gegenstand von den Umständen entsprechenden angemessenen Geheimhaltungsmaßnahmen durch die Person, die rechtmäßige Kontrolle über die Informationen besitzt.
  - es besteht ein berechtigtes Interesse an der Geheimhaltung.

© DWf 2019 | Contributor: CookMedia



## Exkurs: Neuer Know-How-Schutz



- **„Wirtschaftlicher Wert“** = keine belanglose Informationen
- **„Nicht ohne weiteres zugänglich“** = sorgfältig abzugrenzen, ob konkrete Informationen allgemein bekanntes Fachwissen der in der Additiven Fertigung tätigen Personenkreise sind
- **„Angemessene Geheimhaltungsmaßnahmen“** durch ihren rechtmäßigen Inhaber = neue objektive Schutzvoraussetzung (Beweislast!)
  - technische/physische Zugangsbeschränkungen und Vorkehrungen (z.B. Verschlüsselung oder sichere Aufbewahrung, Kontrolle des Zugriffs; Stand der Technik, z. B. ISO 27000 Familie),
  - organisatorische Maßnahmen (z.B. interne Handlungsanweisungen zur Klassifizierung und Behandlung von Informationen),
  - vertragliche Sicherungsmechanismen, z. B. gegenüber Dienstleistern

© DWf 2019 | Contributor: CookMedia



13



## Exkurs: Neuer Know-How-Schutz

- § 3 Abs. 1 Nr. 2 GeschGehG: „**Reverse Engineering**“ als **rechtmäßiger Erwerb** eines Geschäftsgeheimnisses normiert.
- Es gilt als rechtmäßiger Erwerb eines Geschäftsgeheimnisses, wenn es erlangt wurde durch
  - „ein Beobachten, Untersuchen, Rückbauen oder Testen eines Produkts oder Gegenstands, das oder der öffentlich verfügbar gemacht wurde, oder sich im rechtmäßigen Besitz des Beobachtenden, Untersuchenden, Rückbauenden oder Testenden befindet und dieser keiner Pflicht zur Beschränkung der Erlangung des Geschäftsgeheimnisses unterliegt.“
  - Werden nicht öffentlich verfügbare Gegenstände einem Dritten übergeben, darf somit Reverse-Engineering betrieben werden, wenn keine Geheimhaltungsvereinbarung geschlossen wurde, die dieses Vorgehen explizit ausschließt.
- **Empfehlung:** über konkret bestimmte technische Informationen entsprechende Geheimhaltungsvereinbarung abschließen bzw. bestehende NDAs an GeschGehG anpassen

© DWF 2015 | Contributor: Cookbook



Leistungspflichten der Beteiligten

© DWF 2015 | Contributor: Cookbook



## Bedeutung der Vertragsgestaltung in der additiven Fertigung



- Neue Geschäftsmodelle (Consulting und Auftragsdruck, Warehouse o.ä.)
- Leistungs-/ Vertragspflichten abhängig vom **Vertragstyp** (Kauf, Werk, Dienst, typengemischte Verträge etc.)
  - Kundenspezifische Anpassung des Produktes („Customizing“)
- Technische Wechselwirkungen
- Übergang der Verantwortlichkeiten zwischen den Beteiligten
- Entstehung und Lizenzierung von IP-Rechten

© DWF 2015 | Contributor: CoolMental



## Leistungspflichten



- Dezierte Beschreibung und vertragliche Fixierung der jeweiligen Leistungspflichten entlang der Prozesskette
- Dokumentationspflichten der Parteien; Zugriff auf Dokumentation
- Beratungs- und Mitwirkungspflichten
- Dokumentation der Anlieferung, Eingangskontrolle und Lagerung des Materials bis zur Verarbeitung; keine Rückstände in Anlage
- Maßstäbe der Qualitätssicherung und für die Mangelfreiheit
  - Prototyp (Referenzstück)
  - Lastenheft
  - Geeignetheit des Bauteils für den intendierten Zweck
  - „Stand der Technik“ => Anwendung relevanter technischer Standards und Normen

© DWF 2015 | Contributor: CoolMental



## Referenzstück

- Fertigung vor eigentlichem Herstellungsprozess
- **Freigabe** der Eigenschaften des Referenzstücks durch Auftraggeber
  - Vertragliche Referenzierung (Dokumentation)
- **Maßstab** für zu erreichende Eigenschaften des additiv herzustellenden Bauteils
- Bei geeigneter Überwachung der Prozessparameter und Einflussfaktoren – Dokumentation – kann mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass bei einem **gleichbleibenden Bauprozess** (Materialcharage, Druckdaten, Anlage) das additiv herzustellende Bauteil die Eigenschaften des Referenzstücks aufweist (**Nachweis der vereinbarten Beschaffenheit**)
- **Bsp.**: Folgeaufträge => neue Materialcharge => neues Referenzstück => neue Freigabe

© DWF 2015 | Classification: ConfMetall

## Test-Baukörper



- Für bestimmte AM-Verfahren wird der Aufbau eines Test-Baukörpers zu Prüfzwecken empfohlen
  - Vgl. VDI-Richtlinie 3405-2 Strahlschmelzen metallischer Bauteile: Qualifizierung, Qualitätssicherung und Nachbearbeitung
    - Empfehlung für Orientierung von Testkörpern (Zugproben)
    - Zugfestigkeit nimmt je nach Anordnung ab
  - Dieser steht zur Qualitätssicherung für eine „zerstörende“ Prüfung zur Verfügung
  - Welche Dokumentation wird hierüber geschaffen? Welche rechtliche Aussagekraft besitzt sie?

### Orientierung im Bauraum

Die Zylinderrohlinge sollen jeweils in einem Winkel von  $45^\circ$  (Azimutwinkel) zum Beschichter bei den drei Polarwinkeln  $0^\circ$  (stehend),  $45^\circ$  und  $90^\circ$  (liegend) aufgebaut werden (siehe Bild 7).

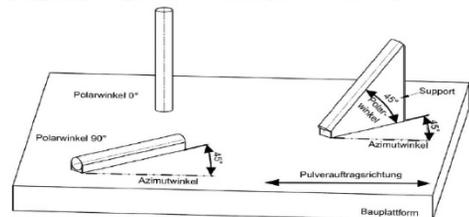


Bild 7. Orientierung der Proben im Bauraum

© DWF 2015 | Classification: ConfMetall



## Dokumentation und rechtliche Schlussfolgerungen



- Rechtlicher Mehrwert der Dokumentation – Nachweis für die Qualität des zu liefernden Bauteils?
  - Dokumentation über Anordnung der Baukörper?
  - Ermittelte Qualität des Prüfkörpers gilt zwingend auch für das gelieferte Bauteil?
  - Erst-Recht-Schluss möglich?
  - Dokumentation für eine Begutachtung durch einen neutralen Sachverständigen im Falle des Rechtsstreits ausreichend?

© DWf 2019 | Classification: Confidential



## Allgemeine Haftung und Produkthaftung



- Haftungsnormen des BGB (vertragliche und deliktische Verschuldenshaftung)
- Produkthaftungsgesetz = regelt die zivilrechtliche Verantwortlichkeit im Falle eines Schadens (ersetzt keine Sachschäden des Unternehmers)
  - keine Vertragsbeziehung zum Hersteller, ausgenommen Herstellergarantie
  - Gefährdungshaftung
- Weiter Herstellerbegriff => Quasi-Hersteller, Teilehersteller, Importeur, Lieferant
  - Beteiligte der Wertschöpfungskette in der additiven Fertigung = wer ist Hersteller, wer ist Anwender?
  - Materialhersteller, Zulieferer, Assembler, Entwickler der Druckvorlage und/oder Druckdienstleister erfasst?
    - 3D-Druckdienstleister („Copyshop“) = Montageunternehmen, da ohne Einfluss auf sicherheitsrelevante Merkmale?
- 3D-Druckvorlage als Produkt im Sinne des ProdHaftG?

© DWf 2019 | Classification: Confidential



## Produkthaftung



- Produkthaftung im **Drei-Personen-Verhältnis** = Vorlagenhersteller (Hersteller existierendes Produkt), Ersteller der CAD-Datei und Druck-Dienstleister
  - **Vorlagenhersteller** nicht unmittelbar verantwortlich für fehlerhaftes AM-Produkt:
    - aber ggf. Haftung als Hersteller eines Grundstoffs (§ 4 Abs. 1 ProdHaftG)
    - Enthaltung, wenn Ausgangsprodukt in Verkehr gebracht, er aber nicht davon ausging, dass es als Vorlage für mittels 3D-Druck hergestellte Produkte dienen würde
    - Haftung für Fehler der 3D-Kopien nur, wenn Ausgangsprodukt nach seinem Willen als Grundstoff für den 3D-Druck in Verkehr gebracht wurde
  - **Ersteller der CAD-Datei**
    - CAD-Datei online übermittelt (nicht auf Datenträger), kein Produkt, da keine bewegliche Sache (auch kein Grundstoff)
    - Haftung nach § 823 BGB wegen Verletzung einer Verkehrssicherungspflicht in Form einer Konstruktionspflicht möglich
  - **Druck-Dienstleister**
    - Grds. Haftung auch für solche Fehler, die Grundstoff (CAD-Datei) anhaften und sich im AM-Prozess lediglich fortsetzen (ggf. Enthaltung über § 1 Abs. 3 Nr. 1 ProdHaftG analog)

© DWf 2019 | Classification: Confidential



## Fazit



- „Recht haben und Recht bekommen ist zweierlei“
- **Rechtliche Absicherung und Vermeidung von Gewährleistung und Haftung beginnt bei der Vertragsgestaltung und vertraglich geschaffenen Dokumentation**
- **Je nach Geschäftsmodell gilt es frühzeitig zu erkennen, welche technische Dokumentation benötigt wird, um in rechtlicher Hinsicht Ansprüche effektiv geltend oder abwehren zu können**

© DWf 2019 | Classification: Confidential

# Kontakt



**Marco Müller-ter Jung, LL.M.**  
Partner

Fachanwalt für  
Informationstechnologierecht

**D:** +49 (0)221 534 098-0  
**M:** +49 (0)171 3034 116  
**E:** marco.mueller-terjung@dwf.law




© 2019 DWF | Clean Practice | Confidential



## Beyond borders, sectors and expectations

DWF is a global legal business, connecting expert services with innovative thinkers across diverse sectors. Like us, our clients recognise that the world is changing fast and the old rules no longer apply.

That's why we're always finding agile ways to tackle new challenges together. But we don't simply claim to be different. We prove it through every detail of our work, across every level. We go beyond conventions and expectations.

Join us on the journey.

dwf.law

© DWF 2019, all rights reserved. DWF is a collective trading name for the international legal practice and multi-disciplinary commercial business comprising DWF Group plc and all of its subsidiaries and subsidiary undertakings of which, the entities that practice law are separate and distinct law firms. Please refer to the Legal Notices page on our website located at [www.dwf.law](http://www.dwf.law) for further details. DWF's lawyers are subject to regulation by the relevant regulatory body in the jurisdiction in which they are qualified and/or in which they practise. This information is intended as a general discussion surrounding the topics covered and is for guidance purposes only. It does not constitute legal advice and should not be regarded as a substitute for taking legal advice. DWF is not responsible for any activity undertaken based on this information and makes no representations or warranties of any kind, express or implied, about the completeness, accuracy, reliability or suitability of the information contained herein.

Vortragstext zum Vortrag:

### **3D-Erfassung und 3DAusgabe in der Kriminaltechnik(Trassologie)**

#### **3D-Druckpotentiale bei gerichtsverwertbaren, kriminaltechnischen Untersuchungen**

Rainer Schubert  
Landeskriminalamt Sachsen

Dr.- Ing. Stefan Holtzhausen  
Technische Universität Dresden

Keinesfalls ist es etwas Ungewöhnliches, wenn ein kriminaltechnischer Sachverständiger die Beziehung zu einer universitären Einrichtung sucht.

Immerhin bedient sich die Kriminaltechnik nahezu ausschließlich naturwissenschaftlicher Methoden. Hinzu kommt, die in der Strafprozessordnung gesetzlich fixierte Verpflichtung, dass der Sachverständige im Strafverfahren nicht nur das Gutachten unparteiisch, sondern insbesondere auch nach besten Wissen und Gewissen erstatten muss (§ 79 Abs. 2 StPO).

Schaut man in die Geschichte der Kriminaltechnik, so wird man feststellen, dass sie letztendlich aus verschiedenen Zweigen der Naturwissenschaft entstanden ist.

Die „Dritte Dimension“ (3D) ist natürlich keinesfalls eine Erfindung der „neuen Zeit“, sie existiert, seitdem es die Natur bzw. das Universum gibt. Neu ist, dass die 3D seit einigen Jahren Einzug in den aktuellen Konsum aller Schichten der Gesellschaft gefunden hat.

So ist es nicht verwunderlich, dass insbesondere die 3D-Drucktechnik als ein Werkzeug für Straftaten genutzt wurde. Sie steht ja schon für relativ wenig Geld zur Verfügung.

Oftmals ist zuerst das Phänomen da und erst später erfolgt eine Reaktion. So gab es auch eine Vielzahl von Fällen, wo dies der Fall war.

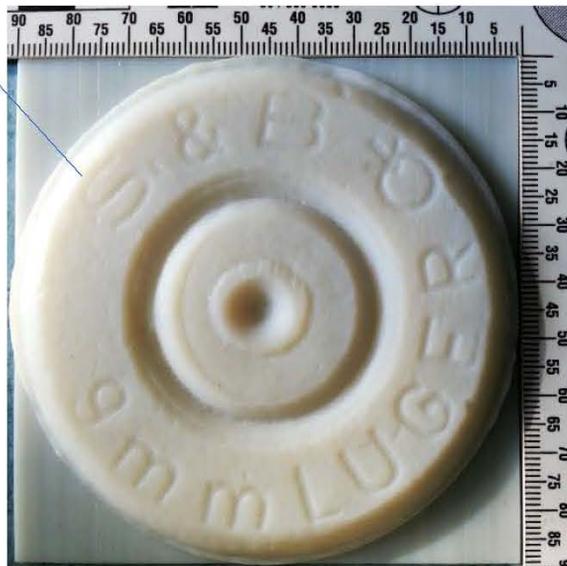
So erfolgten im Jahr 2015 die ersten Schritte zum Lehrstuhl Konstruktionstechnik/CAD der TU-Dresden. Durch einen neuen, jungen Kollegen aus dem Sachgebiet Schusswaffen unseres Fachbereiches kam die eigentliche Initialzündung. Mit seiner Bachelor-Arbeit befasste er sich mit dem Thema:

**„Materialisierung von 3D-Scan-Dateien zu 3D-Objekten zur besseren Sichtbarkeit von Spuren an Hülsen und Projektilen verursacht durch spurengabende Waffenteile und Erhöhung der Anschaulichkeit vor Gericht“**

Zu diesem Zeitpunkt war uns kein 3D-Druckverfahren bekannt, das geeignet war im Werkzeugspuren- und Schusswaffenspurenbereich die Feinheiten, die wir für eine Identifizierung eines sogenannten „Verursachers“ benötigen, 1:1 auszudrucken. Die Idee war, durch eine Vergrößerung des Ausdruckes, die Probleme der Auflösung zu umgehen.



9 mm Patronenhülse (rechts Original) links Ausdruck      Vergrößerte Darstellung des Hülsenbodens



Aufnahme des Schlagbolzens

Individuelle Merkmale



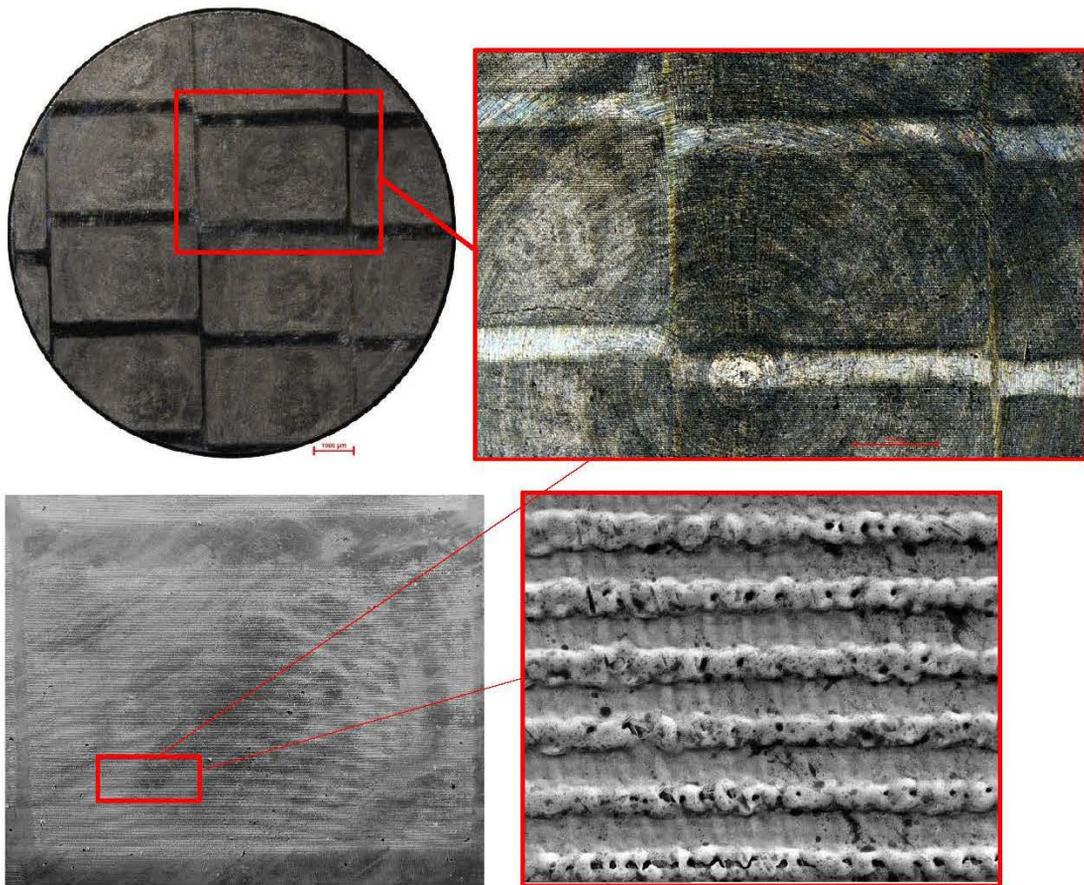
vergrößerter Ausdruck des Schlagbolzeneindrucks

Quellenangabe: Die Darstellungen/Fotos entstammen aus Dokumenten der Polizei des Freistaates Sachsen/Landeskriminalamt Sachsen/Rainer Schubert et al.

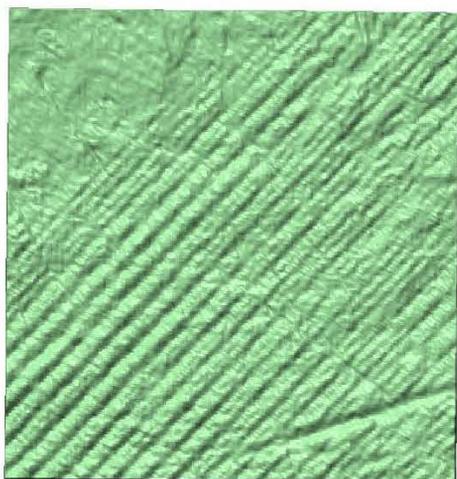
Durch den Kontakt mit der TU versprochen wir uns Hilfe:

1. bei Verarbeitung großer Rohdaten
2. beim (Programm) „Aufdicken“ des 3D-Flächen zu einem druckbaren Volumenkörper
3. Organisation von Probenkörpern zur Validierung:

In der TU-Dresden wurde ein Probekörper mit einer „sehr feinen Oberflächenrauigkeit“ angefertigt. Dieser wurde beim LKA mittels dem 3D-Oberflächenerfassungsgerät im Werkzeugspurenbereich (ToolScan, Auflösung bis zu 0.1  $\mu\text{m}$ ), im Folgenden als Referenzscan, erfasst. Ein Teilbereich des Modells wurde um Faktor 1000 vergrößert, druckbar aufbereitet und mittels Stereolithographie ausgedruckt. Zur Abschätzung der erreichten Abbildungsgenauigkeit wurde der Druck gescannt, rückskaliert und mit dem originalen Datensatz verglichen. Dabei zeigte sich eine Abbildungsgenauigkeit von unter einem Mikrometer!



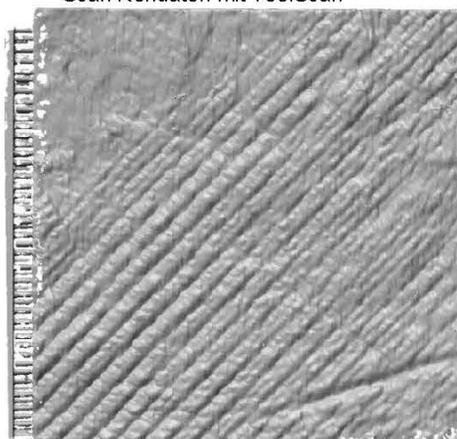
Testobjekt mit untersuchtem Bereich



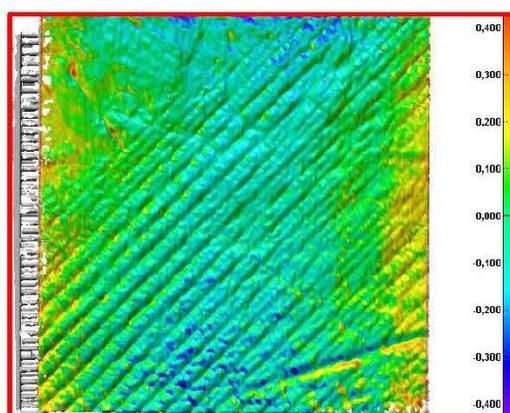
Scan Rohdaten mit ToolScan



3D-Druck mit SLA-Drucker Nobel 1.0 (vergrößert)



Scan des o.g. 3D-Druck TU-Dresden



Vergleich des Scandatensatzes und dem Referenzscans

Im Ergebnis dieser Untersuchungen wurde festgestellt:

1. die charakteristischen Merkmale sind im Druckobjekt erkennbar;
2. Abweichung zwischen den Scan Rohdaten und den an der TU-Dresden gescannten, hochskalierten (vergrößerten) 3D-Ausdrucke betragen ca.  $1\mu\text{m}$  (Rückskaliert in Originalmaßstab).

Für uns tauchte hierbei aber folgende Probleme auf:

Die Datenmengen waren entschieden zu groß, so dass für die Verarbeitung nur Ausschnitte von den Proben möglich waren. Die Probengröße und die Vergrößerung werden durch den Druckraum begrenzt.

Uns stand zum Zeitpunkt keine Software für die Umwandlung und Bearbeitung Rohdaten zur Verfügung.

Möglicherweise wäre bei diesem Stand unsere Zusammenarbeit zunächst erstmal beendet wurden, wenn nicht durch die Kollegen der TU-Dresden die Bemerkung gefallen wäre, dass zu Beginn des kommenden Jahres ein mobiler Streiflichtscanner (Artec EVA) zur Verfügung steht.

*Quellenangabe: Die Darstellungen/Fotos entstammen aus Dokumenten der Polizei des Freistaates Sachsen/Landeskriminalamt Sachsen/Rainer Schubert et al.*

Hierbei wurde ich doch sehr hellhörig, da ich offen gestanden eine Changs für die Lösung einiger Aufgaben als Sachverständiger sah.

Dazu möchte ich kurz ein paar Ausführungen zu einigen Aufgabenbereichen der Trassologie und den damit verbundenen Problemen machen.

Im Zusammenhang mit Körperverletzungs- und Tötungsdelikten kommt es sehr oft zu gewaltsamen Einwirkungen zum Beispiel durch Tritte mit den Füßen, Schlagen mit Gegenständen oder auf andere Art und Weise. Hierbei entstehen dann möglicherweise sogenannte Einblutungsmuster (musterförmige Hämatome) die auf den einwirkenden Gegenstand schließen lassen oder diesen sogar als Verursacher identifizieren können.

Derartige Muster werden in der Regel fotografisch gesichert, so dass ein zweidimensionales Bild entsteht. Leider werden hier bestimmte Regeln der kriminalistischen Fotografie aus verschiedensten Gründen nicht berücksichtigt.

Eine wichtige Voraussetzung für eine spätere Vergleichende Untersuchung ist, dass sich der Maßstab auf der unmittelbaren Spurenebene befindet. Nur dann ist es möglich, zu wissen, wie die exakten geometrischen Maße des verursachenden Gegenstandes sind.

Nachfolgend hierzu ein paar „unglückliche“ Aufnahmen derartiger Muster.



*Quellenangabe: Die Darstellungen/Fotos entstammen aus Dokumenten der Polizei des Freistaates Sachsen/Landeskriminalamt Sachsen/Rainer Schubert et al.*



Hier liegt doch der Gedanke nahe, dass bei einer dreidimensionalen Erfassung der Objekte die Probleme der exakten Maße gelöst sind. Die Auflösung des Streiflichtscanners, insbesondere die Möglichkeit die Oberflächentextur hochauflösend zu erfassen, machen das Gerät zum geeigneten Mittel für derartige trassologische Untersuchungen.

Als ich im Jahr 2016 im Zusammenhang mit einem Tötungsdelikt, bei dem eine zerstückelte Leiche aufgefunden wurde, nach Leipzig gerufen wurde, bat ich die TU-Dresden um Unterstützung und gemeinsam mit Dr. Holtzhausen führten wir gemeinsam zunächst die 3D-Scans sowie die anschließenden Untersuchungen durch.

An dieser Stelle möchte ich vorab anmerken, dass es seit dieser Zeit kaum eine Untersuchung im Zusammenhang mit einem Tötungsdelikt gibt, bei der Dr. Holtzhausen fehlte. Dies ist insbesondere dem Umstand geschuldet, dass sich diese Zusammenarbeit und auch die daraus resultierenden Ergebnisse qualitativ und quantitativ so gesteigert haben. Dies hat sich im Ergebnis auch in entsprechenden gerichtlichen Hauptverhandlungen gezeigt.

Im Vortrag werden Beispiele zu kapitalen Delikten gezeigt, bei denen die 3D-Erfassung, 3D-Datenverarbeitung (Auswertung) sowie 3D-Druck zum Einsatz gelangten.

Diese Beispiele zeigen deutlich das Potential dieser Technik. Dieses Potential zeigt sich in einer besseren Auswertbarkeit und somit hinsichtlich einer zielführenden Erarbeitung von Schlussfolgerungen im Rahmen des Sachverständigenbeweis. Es zeigt sich aber auch in einer besseren, insbesondere haptischen Nachvollziehbarkeit durch das Gericht.







Erfahrungsbericht:  
Eine SLM-Anlage Im universitären Einsatz aus Anwendersicht

© www.trumpf.com

**Fabian Laufer, M.Sc.**  
 Bereich Ur- und Umformtechnik  
 Otto-von-Guericke-Universität  
 Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung  
 Universitätsplatz 2, Gebäude 28 Raum 005  
 39106 Magdeburg  
 Tel: 0391-67-57168  
 fabian.laufer@ovgu.de  
[http://www.ifq.ovgu.de/Bereich\\_UT.html](http://www.ifq.ovgu.de/Bereich_UT.html)

**Tony Winkler, M.Sc.**  
 Bereich Ur- und Umformtechnik  
 Otto-von-Guericke-Universität  
 Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung  
 Universitätsplatz 2, Gebäude 12 Raum 005  
 39106 Magdeburg  
 Tel: 0391-67-52908  
 tony.winkler@ovgu.de  
[http://www.ifq.ovgu.de/Bereich\\_UT.html](http://www.ifq.ovgu.de/Bereich_UT.html)



---

## Agenda

1. Einsatzzweck im universitären Umfeld
2. Überblick über Funktionen und Aufbau der betrachteten Anlage
3. Vorarbeiten, Betriebsparameter und genutzte Materialien
4. Überblick über wissenschaftliche und studentische Arbeiten
5. Praktische Erfahrungen und Probleme
6. Fazit

© Alle nicht gekennzeichneten Abbildungen sind Eigenwerke





Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht  
 Leipzig, den 22.10.2019

2

## 1. Einsatzzweck im universitären Umfeld

Zielstellung ego.-Inkubatoren Programm allgemein:



- Akademische Unternehmensgründungen fördern
- Unternehmerisches Denken in Hochschulen ausbauen
- Entwicklung und Erprobung innovativer Geschäftsideen in praxisnahem Umfeld ermöglichen
- Insgesamt 26 ego.-Inkubatoren an verschiedenen Hochschulen in ganz Sachsen-Anhalt



SACHSEN-ANHALT



EUROPÄISCHE UNION

EFRE

Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

<http://www.ueberbruecke.uni-leipzig.de/ueberbruecke/>

© Alle nicht gekennzeichneten Abbildungen sind Eigenwerke



IFQ

INSTITUT FÜR FORTGESCHRITTENE  
HERSTELLUNGSTECHNIKEN

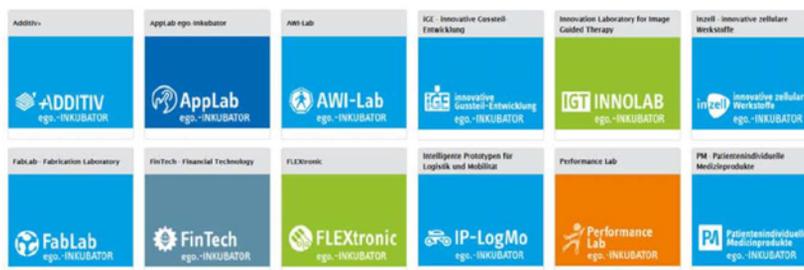
Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht

Leipzig, den 22.10.2019

3

## 1. Einsatzzweck im universitären Umfeld

- Dachmarke OVGU-Inkubatoren: MakerLabs
- Insgesamt 12 OVGU MakerLabs
- Spektrum: Elektrotechnik, Sportwissenschaften, Logistik, Medizin
- Beratungs- und Betreuungsangebote durch Transfer- und Gründerzentrum (TUGZ)



© Alle nicht gekennzeichneten Abbildungen sind Eigenwerke



IFQ

INSTITUT FÜR FORTGESCHRITTENE  
HERSTELLUNGSTECHNIKEN

Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht

Leipzig, den 22.10.2019

4

## 2. Überblick über Funktionen und Aufbau der betrachteten Anlage

### Trumpf TruPrint 1000 SLM/LMF-Anlage



Lab-Paket:

- Glovebox
- 50ppm Sauerstoffsensor
- Schutzgas-Feinfilter
- Wechselzylinder



© Alle nicht gekennzeichneten Abbildungen sind Eigenwerke



IFQ

INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK  
UND QUALITÄTSSICHERUNG

Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht

Leipzig, den 22.10.2019

5

## 2. Überblick über Funktionen und Aufbau der betrachteten Anlage



- Max. Bauvolumen: Durchmesser: 98 mm; Höhe: 100 mm
- Bauraumverkleinerung bis Durchmesser 34,5 mm
- Bearbeitungsparameter frei konfigurierbar

© Alle nicht gekennzeichneten Abbildungen sind Eigenwerke



IFQ

INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK  
UND QUALITÄTSSICHERUNG

Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht

Leipzig, den 22.10.2019

5

### 3. Vorarbeiten, Betriebsparameter und genutzte Materialien



- Laserleistung: 200 Watt
- Schichthöhe: 10 – 50  $\mu\text{m}$
- Schutzgas: Argon oder Stickstoff
- Steuerungssoftware: Trumpf OS
- Slicer: Magics Materialise, Trumpf Postprozessor
- Bearbeitbare Werkstoffe:
  - Edelstahl (1.4404, 316l)
  - Werkzeugstahl (1.2709)
  - Aluminium (AlSi10Mg)
  - Weitere Werkstoffe in Erprobung



© Alle nicht gekennzeichneten Abbildungen sind Eigenwerke



IFQ

INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK  
UND QUALITÄTSSICHERUNG

Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht

Leipzig, den 22.10.2019

7

### 4. Überblick über wissenschaftliche und studentische Arbeiten

#### Untersuchung der Zerspanbarkeit von SLM-gefertigten Bauteile

- Drehbearbeitung der Edelstahllegierung 1.4404 mit unterschiedlichen Parametern
- Untersuchungen hinsichtlich Schnittkräften, Rauheiten, Temperaturen und entstandener Späne



© Struzkiewicz, G., Zębala, W., Matras, A., Machno, M., Ślusarczyk, L., Hichert, S., Laufer, F.



IFQ

INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK  
UND QUALITÄTSSICHERUNG

Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht

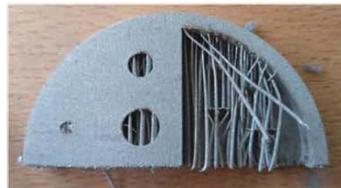
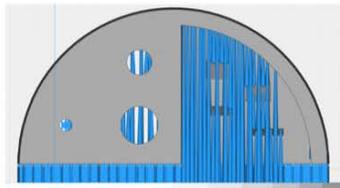
Leipzig, den 22.10.2019

8

#### 4. Überblick über wissenschaftliche und studentische Arbeiten

##### Untersuchungen zu Stützstrukturen

- Ziel ist es für Werkzeugstahl 1.2709 die Stützstrukturen mit einem minimalen Aufwand an Nacharbeit zu finden
- Getestet wurden Cone-, Tree-, Line-, Contur-, Web- und Gusset-Support
- Keine der Strukturen ist universell einsetzbar und bietet nur Vorteile
- Kompromiss aus guter Wärmeabfuhr und geringer Nacharbeit muss gefunden werden



© Schwiering, J.



IFQ

INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK  
UND QUALITÄTSSICHERUNG  
LEIPZIGER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE  
WISSENSCHAFTEN

Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht  
Leipzig, den 22.10.2019

9

#### 4. Überblick über wissenschaftliche und studentische Arbeiten

##### Experimentelle Optimierung von Prozessparametern für die laseradditive Fertigung von Aluminium-Bauteilen

- Ziel ist es für die Aluminiumlegierungen AlSi10Mg und AlMgSc geeignete Prozessparameter zu entwickeln
- Entscheidende Untersuchungskriterien sind Porosität und Zugfestigkeit im Vergleich mit gegossenen Proben

Scangeschwindigkeit [mm/s]	100	200	300
Fehlstellenanteil [%]	0,0045	0,0082	0,0055

Scangeschwindigkeit [mm/s]	400	500	600
Fehlstellenanteil [%]	0,0131	0,0352	0,0476

AlMgSc

Scangeschwindigkeit [mm/s]	700	800	900
Fehlstellenanteil [%]	0,0805	0,3382	0,1089

Scangeschwindigkeit [mm/s]	1000	1100	1200
Fehlstellenanteil [%]	0,6016	0,6654	0,6265

© Kandler, J., Richter, H., Merz, B. G.



IFQ

INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK  
UND QUALITÄTSSICHERUNG  
LEIPZIGER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE  
WISSENSCHAFTEN

Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht  
Leipzig, den 22.10.2019

10

#### 4. Überblick über wissenschaftliche und studentische Arbeiten

##### Additive Werkzeugherstellung

- Rapid Tooling von Messerköpfen mit innenliegenden Kühlkanälen aus Werkzeugstahl 1.2709
- Durchführung einer Topologieoptimierung zur Reduzierung der Masse um 45 Prozent
- Möglichst geringe Nacharbeiten erforderlich
- Abschließende Messung des Plan- und Rundlaufs



© Walter, M.



IFQ

INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK  
UND WERKZEUGE

Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht  
Leipzig, den 22.10.2019

11

#### 4. Überblick über wissenschaftliche und studentische Arbeiten

##### Rapid Tooling im Bereich Weichspritzgießen

- Ziel ist es Formeinsätze für eine Kunststoff-Spritzgießmaschine additiv zu fertigen
- Verschiedenste Probekörper zur Überprüfung von Detailgrad und Güte
- Fertigung aus Werkzeugstahl 1.2709 nach Herstellervorgaben



© Knopel, S.



IFQ

INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK  
UND WERKZEUGE

Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht  
Leipzig, den 22.10.2019

12

#### 4. Überblick über wissenschaftliche und studentische Arbeiten

##### Rapid Tooling im Bereich Weichspritzgießen

- Erste Nacharbeiten sind das Entfernen von Stützstrukturen und das Planfräsen der Trennflächen
- Anschließend Oberflächenbearbeitung durch Strahlen, elektrochemisches oder manuelles Polieren
- Abschließende Erprobung der Einsätze



Gestrahlt



Gestrahlt und elektropoliert



Gestrahlt und manuell poliert

© Knopel, S.



IFQ

INSTITUT FÜR PERFORMANZTECHNIK  
UND SCHULUNGSTECHNIK

Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht  
Leipzig, den 22.10.2019

13

#### 4. Überblick über wissenschaftliche und studentische Arbeiten

##### Untersuchungen zur Verwendung von Bleipulver

- Entwicklung und Erprobung von Parametern zur Verarbeitung von Bleipulver
- Testkörper lassen sich grundsätzlich fertigen
- Abschließende Ergebnisse stehen noch aus und die Erprobung muss auf weiteren Anlagen fortgesetzt werden



© Friese, M.



IFQ

INSTITUT FÜR PERFORMANZTECHNIK  
UND SCHULUNGSTECHNIK

Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht  
Leipzig, den 22.10.2019

14

## 5. Praktische Erfahrungen und Probleme



Unzureichende Motorenüberwachung:

- Beschädigung Bajonettbleche
- Beschädigung Wechselzylinder



© Alle nicht gekennzeichneten Abbildungen sind Eigenwerke



IFQ

INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK  
HOCHSCHULE LEIPZIG

Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht

Leipzig, den 22.10.2019

15

## 5. Praktische Erfahrungen und Probleme



Elastische Beschichterlippe:

- „Auftürmen“ der Schichten
- Hoher Verschleiß Gummilippe
- Ungleichmäßiger Pulverauftrag
- Kollision Bauteil <> Beschichter



© Alle nicht gekennzeichneten Abbildungen sind Eigenwerke



IFQ

INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK  
HOCHSCHULE LEIPZIG

Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht

Leipzig, den 22.10.2019

16

## 6. Fazit

### Pro:

- Workflow von CAD-Modell zu fertigem Bauteil durchdacht
- Detaillierte Bedienungs- und Wartungsanleitung, schnelle Einarbeitung auch für ungeübte Nutzer (Studierende)
- Freie Parametereinstellung
- Stabiles Maschinenbetriebssystem

### Kontra:

- Konstruktionsbedingte Probleme beim Auftrag der Pulverschichten
- Unzureichende interne Maschinenüberwachung
- Hohe Ersatzteilkosten

© Alle nicht gekennzeichneten Abbildungen sind Eigenwerke



IFQ

INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK  
UND QUALITÄTSSICHERUNG  
BEREICH UR- UND UMFORMTECHNIK

Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht  
Leipzig, den 22.10.2019

17



IFQ

INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK  
UND QUALITÄTSSICHERUNG  
BEREICH UR- UND UMFORMTECHNIK

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

## Backup

## Untersuchung der Zerspanbarkeit SLM-gefertigter Bauteile – Ergänzung

Prozessparameter SLM-Anlage	Werte
Schichtdicke [ $\mu\text{m}$ ]	20
Schutzgasumwälzung [ $\text{m/s}$ ]	2,5
Leistung des Lasers [ $\text{W}$ ]	90
Geschwindigkeit des Lasers [ $\text{mm/s}$ ]	500
Geschwindigkeit des Beschichters [ $\text{mm/s}$ ]	80
Rückstellgeschwindigkeit des Beschichters [ $\text{mm/s}$ ]	250
Sauerstoffgehalt [%]	0,3

Versuch	Vorschub f [ $\text{mm/U}$ ]	Schnittgeschwindigkeit $v_c$ [ $\text{m/min}$ ]	Schnitttiefe $a_p$ [ $\text{mm}$ ]	$F_c$ [ $\text{N}$ ]	$F_f$ [ $\text{N}$ ]	$F_p$ [ $\text{N}$ ]	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T_{\text{max}}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]
1	0,07	60	0,5	140	71	56	1,44	8,58	175,4
2	0,07	100	0,5	124	60	52	1,58	11,24	186,2
3	0,105	60	0,5	169	80	66	1,52	9,54	170,9
4	0,105	100	0,5	145	62	59	2,05	13,20	190,0
5	0,153	60	0,5	202	84	80	2,33	11,48	190,3
6	0,153	100	0,5	180	55	62	3,83	18,33	198,2
7	0,211	60	0,5	271	100	103	3,58	14,65	205,8
8	0,211	100	0,5	261	83	87	3,58	14,65	205,8

Alle nicht gekennzeichneten Abbildungen sind Eigenwerke



IFP

 INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK  
 BERGAKADEMIE FREIBERG

Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht

Leipzig, den 22.10.2019

21

## Backup

## Experimentelle Optimierung von Prozessparametern für die laseradditive Fertigung von Aluminium-Bauteilen – Ergänzung

Prozessparameter SLM-Anlage	Werte
Scangeschwindigkeit [ $\text{mm/s}$ ]	100 – 3000
Leistung des Lasers [ $\text{W}$ ]	150
Schichtdicke [ $\mu\text{m}$ ]	20
Sauerstoffgehalt [%]	0,01

AISI10Mg			
Scangeschwindigkeit [ $\text{mm/s}$ ]	1000	1200	1400
Fehlstellenanteil [%]	0,0386	0,0420	0,0504
Scangeschwindigkeit [ $\text{mm/s}$ ]	1600	1800	2000
Fehlstellenanteil [%]	0,0707	0,0121	0,1967
Scangeschwindigkeit [ $\text{mm/s}$ ]	2600	2800	3000
Fehlstellenanteil [%]	1,6555	2,2097	3,3746

© Kandler, J., Richter, H., Merz, B. G.



IFP

 INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK  
 BERGAKADEMIE FREIBERG

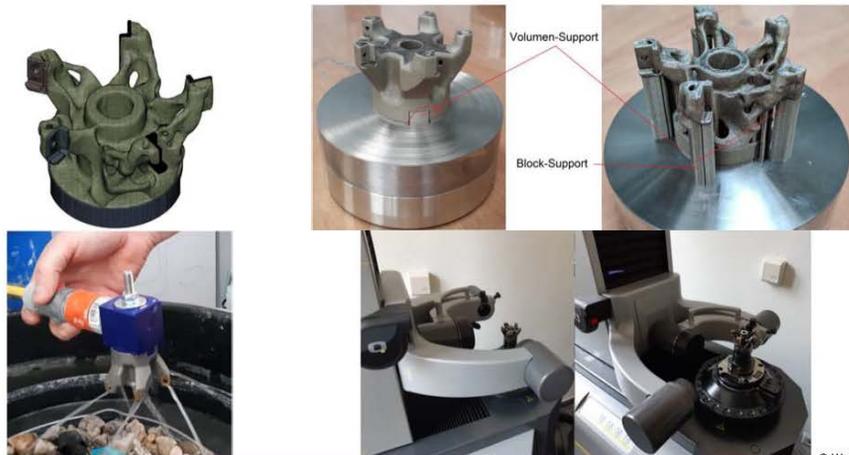
Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht

Leipzig, den 22.10.2019

22

### Backup

#### Additive Werkzeugherstellung – Ergänzung



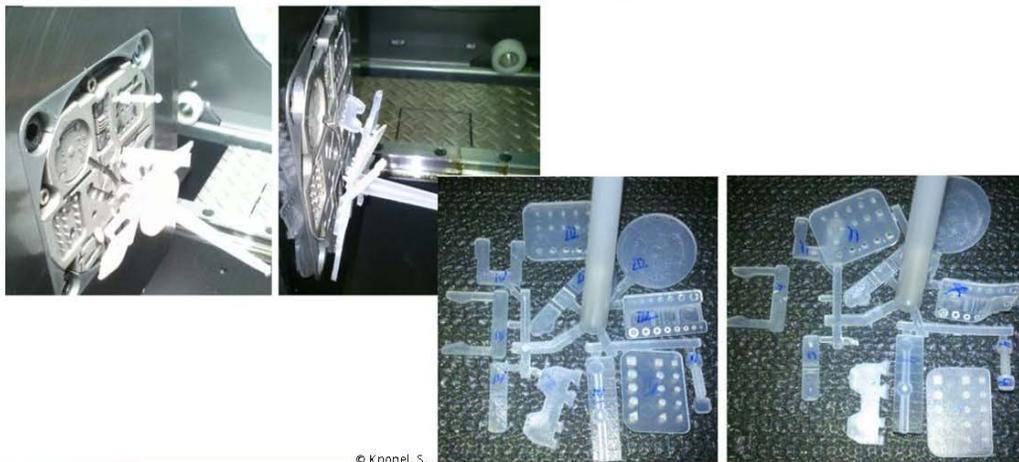
© Walter, M.



Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht  
Leipzig, den 22.10.2019

### Backup

#### Rapid Tooling im Bereich Weichspritzgießen – Ergänzung



© Knopel, S.



Erfahrungsbericht: Eine SLM-Anlage im universitären Einsatz aus Anwendersicht  
Leipzig, den 22.10.2019

## **Impressum**

Herausgeber: HTWK Leipzig, Fakultät Ingenieurwissenschaften

Postadresse: Postfach 30 11 66, 04251 Leipzig

Sitz: Karl-Liebknecht-Straße 134, 04277 Leipzig

Ausgabe: Erstellt für das Forum 3D-Druck in der Anwendung,  
29.10.2019

ISBN-Nummer: 978-3-948058-07-4, Hochschulverlag Merseburg

Foto: Deckblatt: DMG MORI Academy GmbH

Inhalt: Inhalte, Fotos, Grafiken und Tabellen ohne Quellenangaben  
liegen in der Verantwortung der jeweiligen Autoren