



**Interessenkreis  
Mitteldeutsches Netzwerk Rapid Prototyping enficos**

Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

**Merseburger Herbstforum  
07.11.2018**



www.rp-netzwerk.de | phone: +49 (0) 34 61 / 46 20 33 | fax: +49 (0) 34 61 / 25 99 909 | email: info@rp-netzwerk.de

Das Mitteldeutsche Netzwerk Rapid Prototyping enficos, die GMBU Gesellschaft zur Förderung von Medizin-, Bio- und Umwelttechnologien e.V. und die Technologiebrücke e.V. waren die Gastgeber zum **Merseburger Herbstforum**

**„Möglichkeiten des 3D-Druckes für Unternehmen in Mitteldeutschland“**

am **7. November 2018** im Ständehaus Merseburg.

Die Veranstaltung richtete sich an alle Unternehmen und Interessenten, an Unternehmen der industriellen Fertigung, Ingenieurdienstleister und Konstruktionsbüros, Handwerksbetriebe und Forschungsinstitute, die sich mit der Querschnittstechnologie des 3D-Druckes näher beschäftigen oder neue Anwendungsmöglichkeiten kennen lernen wollen.

## Programm

15:00 Uhr Begrüßung Prof. Wolfgang Lukas, Technologiebrücke e.V. Halle

1. Einführungsvortrag zum Thema  
**"Technologien und Entwicklungen in der additiven Fertigung"**  
Dr. Oliver Neudert, GMBU e.V. Halle
2. Vorstellung Netzwerk enficos  
**„10 Jahre Plattform für Wirtschaft, Wissenschaft und Forschung“**  
in der Region Mitteldeutschland, Kathrin Schaper-Thoma, mitz GmbH Merseburg
3. **„Von der Idee zum fertigen Produkt - 3D Druck Verfahren und Materialien in der Anwendung“**  
Sophia Röder, Rapidobject GmbH Leipzig

16:15 Uhr Eröffnung Ausstellung mit Kaffeepause

16:45 Uhr Fortsetzung Vorträge

4. **„3D-Druck mit Metallen im Layer Arc Welding (schichtweises Lichtbogenschweißen)“**  
Dietmar Glatz, Hochschule Merseburg
5. **„I believe in Liquid, or what is HyADD-3D?“**  
Uwe Brick, BURMS - 3D Druck Jena GmbH & Co.KG
6. **„Werkstoffmechanische Bewertung additiv gefertigter Bauteile“**  
Andreas Krombholz, Fraunhofer Institut IMWS Halle

Für die Beiträge zum Tagungsband und die freundliche Unterstützung der Veranstaltung durch das Ständehaus Merseburg bedanken sich die Organisatoren.

Zusätzlich wurden 3 Beiträge in den Tagungsband aufgenommen, die anlässlich der Veranstaltung

### **„5. Mitteldeutsches Forum Rapid Technologien mit Kooperationsbörse“**

am 05. September 2018 an der Ernst-Abbe-Hochschule Jena gehalten wurden.

1. **„Rauch- und Spritzerbildung beim SLM-Verfahren: Entstehung, Einfluss auf Prozessparameter, Qualität und Reproduzierbarkeit“**  
Bauer, T.; Spierings, A.B.; Wegener, K.\*; inspire AG, icams – Innovation Center Additive Manufacturing Switzerland, St. Gallen, Schweiz  
\*inspire AG, IWF – Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung, Zürich, Schweiz
2. **„Rechtliche Rahmenbedingungen des 3D-Drucks“**  
Christian Kusulis, Rechtsanwalt, Frankfurt am Main
3. **„When the body speaks.“**  
**Voraussetzungen und Möglichkeiten der digitalen Orthetik**  
Andreas Mühlenberend, Bauhausuniversität Weimar

# **GMBU**

**Gesellschaft zur Förderung von  
Medizin-, Bio- und  
Umweltechnologien e. V.**

**Technologien und  
Entwicklungen in der  
additiven Fertigung**



# Fertigungsverfahren

- Umformen:  
Walzen, Schmieden, Pressen, Tiefziehen, Biegen, ...
- Trennen (subtraktiv):  
Sägen, Fräsen, Hobeln, Drehen, Bohren, Stanzen, ...
- Fügen, Beschichten
- Urformen:  
Gießen, Extrudieren, Sintern  
→ **additive / generative Fertigungsverfahren (3D-Druck)**

# Additive Fertigung

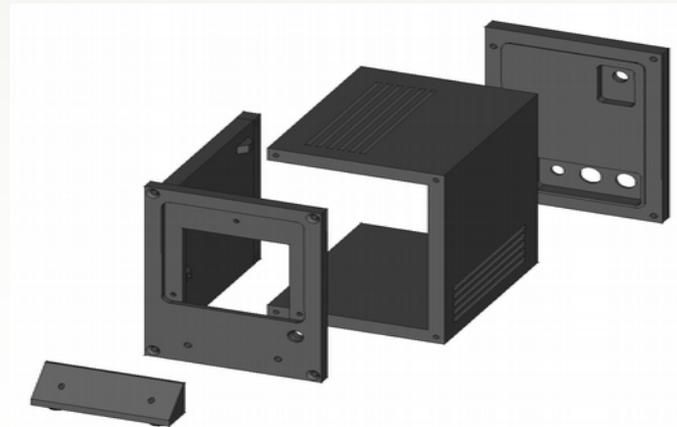
- sukzessiver, häufig schichtweiser Aufbau
- Materialbereitstellung unabhängig von der zu fertigenden Teile
- (nahezu) beliebig geformte Objekte
- Ausgangsmaterial: flüssigen, plastischen oder festen
- Prinzip:
  - lokalisierte Materialausbringung (Extrusion, Tropfen):  
**FDM/FFF, MJM, NPJ, DOD, Robocasting**
  - lokalisierte Modifikation (Vernetzen, Sintern, Schmelzen, Schneiden):  
**SLA, CLIP, SLS/SLM, EBM, MJF, Binder Jetting, LOM**

# Vorteile, Chancen und Anwendungen

- Fertigungsmethode für beliebige Formen
  - universelles Werkzeug für vielfältige Anwendungen
- komplexe Geometrien, Materialkombination
  - größere Konstruktions- und Designfreiheiten
  - Funktionsintegration
  - automatisierter Fertigungsprozess
  - geringerer Montageaufwand und Arbeitskosten
- Dezentrale Fertigung / Vor-Ort-Fertigung:
  - vermeidet Transport- und Lagerhaltungskosten
  - schnelle Verfügbarkeit (< 24h)
- direkte Fertigung („Losgröße 1“)
  - Spezialanfertigungen
  - individuelle Anpassung (z.B. Medizinprodukte)
- additiver Aufbau der Bauteile
  - effizienter Materialeinsatz
  - weniger Abfall

# Anwendungsbeispiele

- **Prototypen, Anschauungs- und Demonstrationsmodelle**
  - **Funktionsmuster**
  - **Einzelanfertigungen**
  - **Gerätegehäuse**
- 
- schnelle Erprobung, kurze Entwicklungszyklen
  - kurzfristige und flexible Anpassung der Konstruktion
  - kleinere Bauteilanzahl durch Funktionsintegration

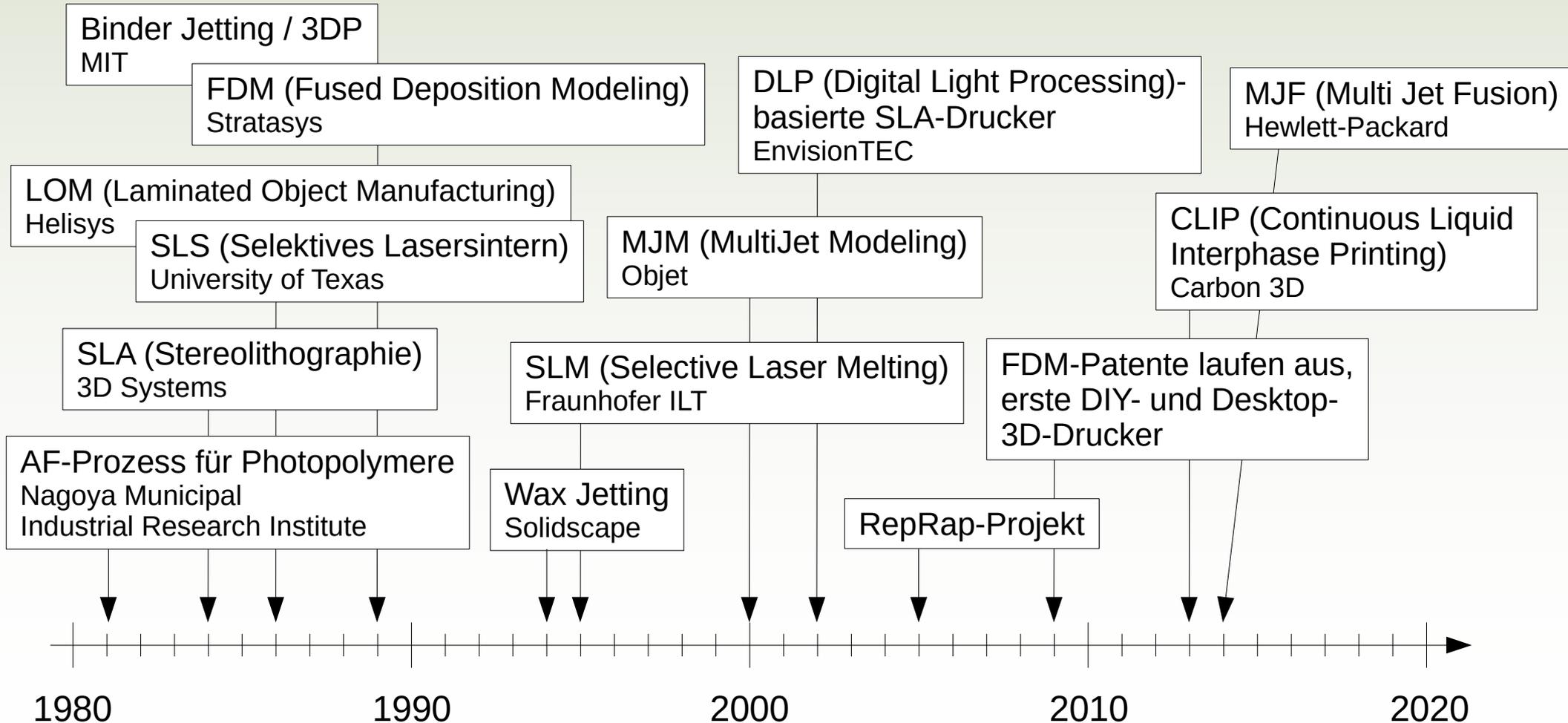


# Anwendungsbeispiele

- Montagevorrichtungen
  - Halterungen
  - Versuchsaufbauten
  - Vorrichtungen für Messgeräte
- kurzfristige Realisierung / Anpassung von Hilfsmitteln oder Mess- und Versuchsaufbauten
- schnelle Fertigung angepasster Werkzeuge



# Geschichte und Technologien

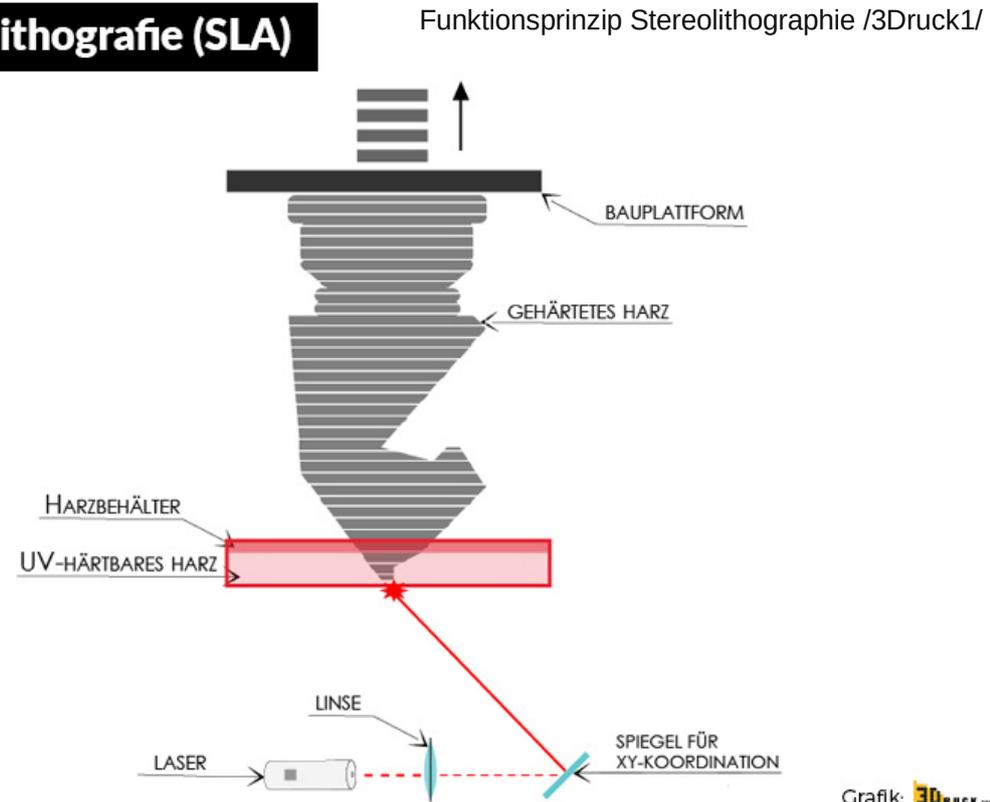


# Stereolithographie (SLA)

- **Material:** Kunststoffe (Photopolymer-Harze)
- **Prinzip:** lokale Aushärtung im Harzbad durch UV-Licht
- **Lichtquelle:** UV-Laser (Laser-SLA)



## Stereolithografie (SLA)



# Stereolithographie (SLA)



## Vorteile:

- hohe Auflösung ( $> 30\mu\text{m}$ )
- transparente Teile
- hohe Oberflächengüte

## Nachteile:

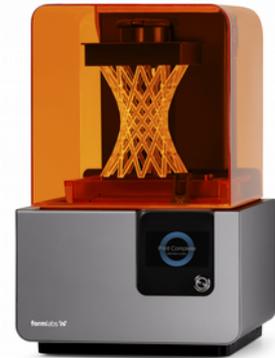
- Materialbeschränkung:  
Photopolymere; Keramik-Grünkörper
- geringe UV-Beständigkeit
- Stützstruktur und Nachbehandlung stets nötig
- relativ hohe Materialkosten
- keine Materialkombinationen

## Beispielanwendungen:

- Gussmodelle (z.B. Schmuck)
- Mikrofluidik
- medizinische Modelle
- Zahnmedizin



3D Systems ProX 950, >250k€  
Bauraum 1500mm x 750mm x 550mm  
/3DSystems/



Formlabs Form 2, ca. 4k€  
Bauraum 145mm x 145mm x 175mm  
/Formlabs/

# Selektives Lasersintern (SLS)

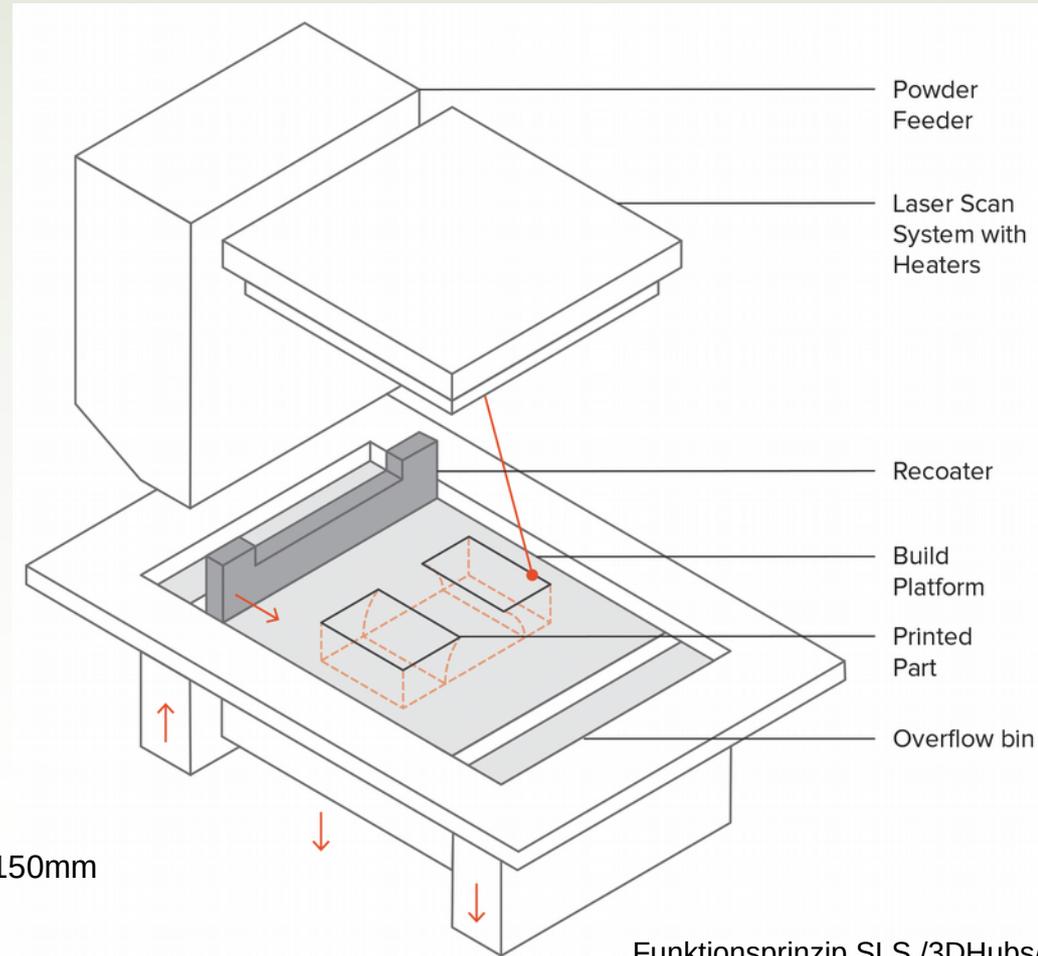
- **Material:** Kunststoffe (Thermoplaste), Metalle, Glas, Keramik
- **Prinzip:** Verfestigung (Sintern) durch lokales Erhitzen im Pulverbett
- **Energiequelle:** Laser



3DSystems ProX DMP 300, > 250k€  
Bauraum: 250mm x 250mm x 330mm  
Material: Metalle  
/3DSystems2/



Sinterit Lisa, ca. 6k€  
Bauraum: 150mm x 200mm x 150mm  
Material: Thermoplaste  
/Sinterit/



Funktionsprinzip SLS /3DHubs/

# Selektives Lasersintern



Kunststoffklammer  
hergestellt im SLS-Verfahren /Protocam2/



Metallklammer  
hergestellt im SLS-Verfahren /Protocam3/

## Vorteile:

- Materialvielfalt: direkte Herstellung aus Kunststoff, Glas, Metall und Keramik
- isotrope Bauteileigenschaften
- gute mechan. Eigenschaften
- geeignet für Kleinserien

## Nachteile:

- Oberflächenrauigkeit
- Porosität der Teile
- hohe Investitionskosten (besonders Metall)
- keine Materialkombination \*
- Bauraumgröße (Metall: <300mm)

## Beispielanwendungen:

- Prototypenentwicklung
- funktionelle Bauteile, Kleinserien
- Medizin (Implantate)
- Luft- und Raumfahrt



Metallteile, hergestellt im SLS-Verfahren /Mkstech/

# Fused Filament Fabrication (FFF/FDM)

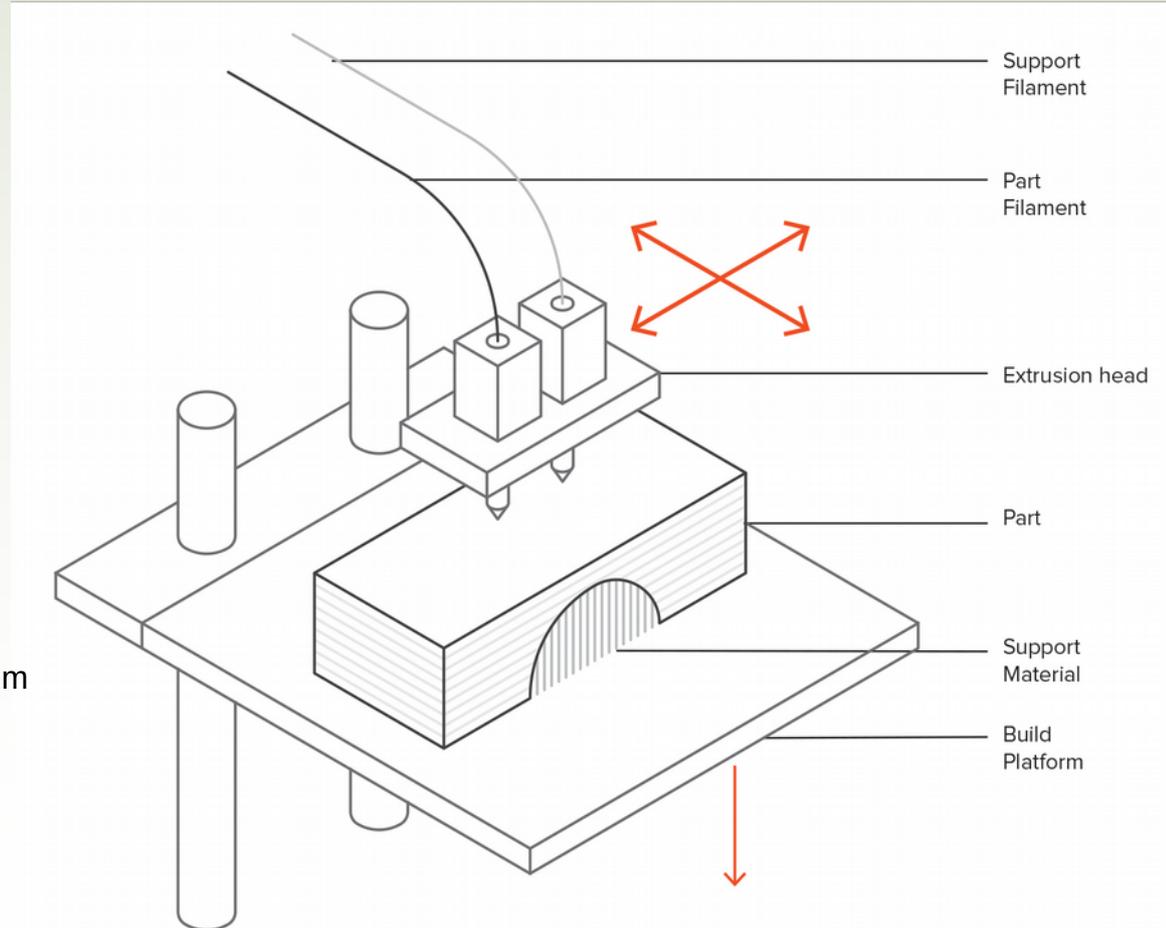
- **Material:** Kunststoffe (Thermoplaste)
- **Prinzip:** Aufschmelzen und lokaler Materialauftrag durch Düse ( $D=0.2-1\text{ mm}$ )



Stratasys Fortus 900, < 250k€  
Bauraum: 914mm x 609mm x 914mm  
(geschlossen, beheizt)  
/Stratasys1/



Prusa i3 MK3 MMU2, ca. 1300€  
Bauraum: 250mm x 210mm x 210mm (offen)  
/Prusa/



# Fused Filament Fabrication (FFF/FDM)



Kunststoffteil  
hergestellt im FFF-Verfahren /Coletek/



Detailansicht der Schichtstruktur im  
FFF-Verfahren /3DHubs3/

## Vorteile:

- Materialvielfalt (alle Thermoplaste)
- Materialkombinationen möglich
- gleiche Materialien wie in industrieller Fertigung
- geringe Material- und Investitionskosten
- große Teile (>1m)

## Nachteile:

- geringe Auflösung (> 0.5mm)
- Oberflächenrauigkeit / -welligkeit
- anisotrope mechan. Eigenschaften
- Stützstruktur für Überhänge (löslich)

## Beispielanwendungen:

- Prototypen, Funktionsmodelle
- Gehäuse, Vorrichtungen
- Deko- und Anschauungsobjekte



PEEK-Bauteil, hergestellt im FFF-  
Verfahren /Engineerlive/

# Multi-Jet-Modeling (MJM) / PolyJet

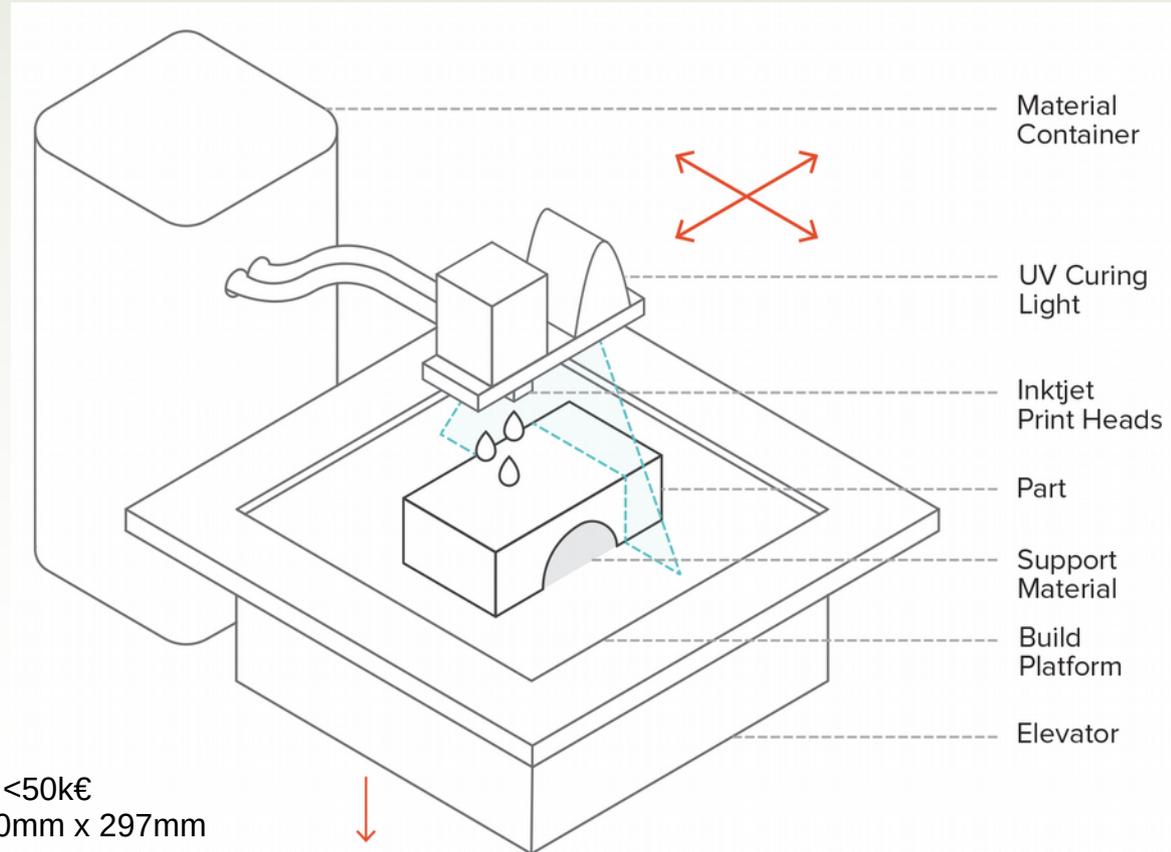
- **Material:** Kunststoffe (Photopolymer-Harze)
- **Prinzip:** Lokaler Materialauftrag mit Inkjetdüsen ( $D < 0.1\text{mm}$ ) und globales Aushärten mit UV-Licht



3D Systems MJP 5600, <250k€  
Bauraum: 518mm x 381mm x 300mm  
/3DSystems3/



Keyence Agilista 3100, <50k€  
Bauraum: 200mm x 210mm x 297mm  
/Kem/



Funktionsprinzip Multi-Jet-Modeling /3DHubs4/

# Multi-Jet Modeling (MJM) / PolyJet



Anatomisches Modell hergestellt im MJM-Verfahren /Stratasys2/

## Vorteile:

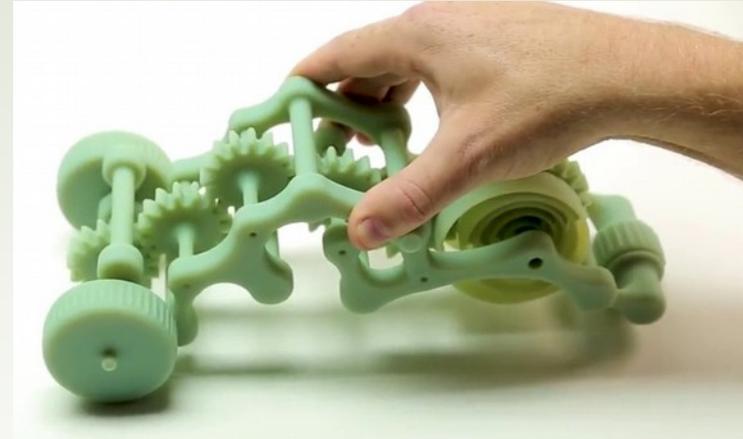
- hohe Druckgeschwindigkeit
- hohe Auflösung und Oberflächengüte
- Materialkombinationen möglich
- Vollfarbmodelle möglich
- transparente Teile
- isotrope Bauteileigenschaften

## Nachteile:

- Materialbeschränkung:  
Photopolymer-Harze
- ungünstige mechan. Eigenschaften,  
z.B. geringe Bruchdehnung
- geringe UV-Beständigkeit
- hohe Investitions- und Materialkosten

## Beispielanwendungen:

- Rapid Prototyping
- Anschauungsmodelle
- optische Bauteile



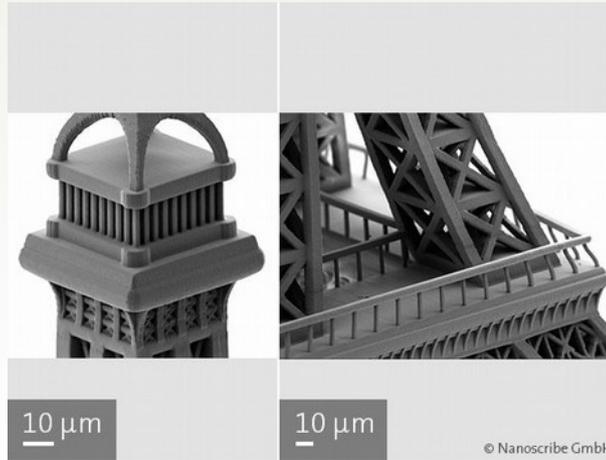
Mechanisches Modell  
hergestellt im MJM-Verfahren /Stratasys3/



Optische Bauteile  
hergestellt im MJM-Verfahren /Luxexcel/

# aktuelle Entwicklungen: Stereolithographie

- Femtosecond Laser Direct Writing (FsLDW)
  - **Material:** Kunststoffe (Photopolymer-Harze)
  - **Prinzip:** stark lokalisierte Aushärtung über Zweiphotonen-Polymerisation (nichtlinearer Effekt proportional zum Quadrat der Lichtintensität)
    - Voxelgröße  $\ll$  Wellenlänge
  - **Lichtquelle:** Femtosekundenlaser (NIR) mit sehr hoher Intensität ( $10^{13} \text{ W}/\mu\text{m}^2$ )
  - ermöglicht sehr hohe Auflösungen ( $\sim 100\text{nm}$ )



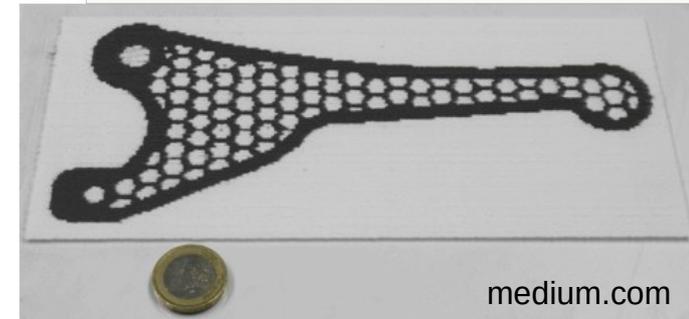
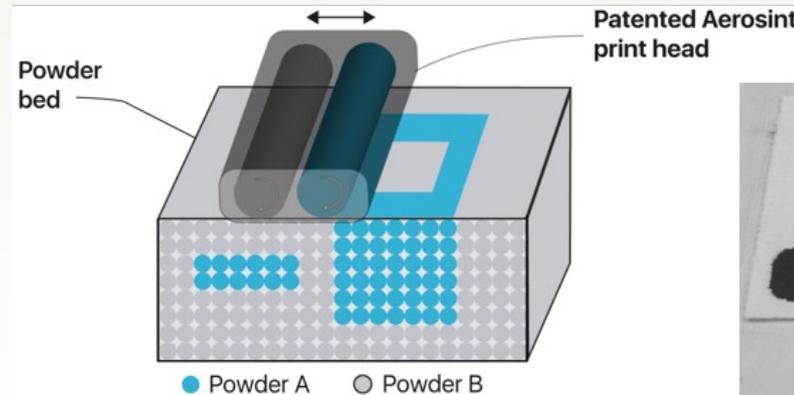
Miniaturmodell hergestellt mit Zweiphotonen-Polymerisation /Nanoscribe/

# aktuelle Entwicklungen: Lasersintern

- Multi-Powder Deposition: Materialkombination für Pulverbettverfahren
  - 1999: erste Arbeiten mit Pipette + Vibration  
[Pegna et al., Solid Freeform Fabrication Proceedings, 1999, pp. 695-710]
  - 2016: Aerosint (Liège, Belgien)
    - Druckkopf zum orts aufgelösten Auftagen zweier Pulvermaterialien
    - Entwicklung eines SLS-Druckers für zwei Pulvermaterialien



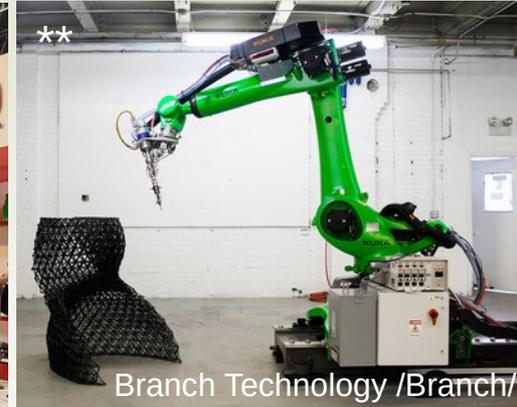
SLS-Drucker mit Multi-Powder Deposition /Aerosint1/



Funktionsprinzip und Beispiel Multi-Powder Deposition /Aerosint2/

# aktuelle Entwicklungen: FFF/FDM

- große Objekte (> 1m) \*
- Mehrachsroboter \*\*
- parallele Fertigung \*\*\*  
(unabhängige Druckköpfe)
- Materialkombinationen  
(z.B. steif/flexibel)
- funktionelle Materialien  
(z.B. Leitfähigkeit, Tribologie,  
Flammschutz, Dielektrika)
- Hochtemperaturmaterialien  
(z.B. PEI, PPS, PEEK)
- Verfahrenskombination \*\*\*\*  
(z.B. Fräsen)



# Arbeitsschwerpunkte GMBU

## Materialmodifizierung

- funktionalisierte Materialien für technisch anspruchsvolle Bauteile mit speziellen Anwendungseigenschaften
- mechanische, akustische, optische, mikrobiologische, elektrische, thermische, flammgeschützte u. a. Materialausrüstungen
- Makro-, Mikro- und Nano-Modifizierung

## Oberflächenmodifizierung

- Funktionalisierung von Materialoberflächen im AF-Prozess
- Oberflächenbehandlung additiv gefertigter Bauteile (Glätten, Beschichten, Veredeln, Verschleißschutzausrüstung, usw.)

## Verfahrensentwicklung

- Verfahrensmodifizierung: Energieeintrag, Sensorik, Steuerung
- material- und anwendungsspezifische Prozessoptimierung
- Verarbeitung von Spezialwerkstoffen (Naturstoffe, Fasern, Hochtemperatur, spezielle Funktionalitäten, ...)

## Prüfung und Anwendung

- anwendungsorientierte Bewertung additiv gefertigter Bauteile bzw. Prüfkörper (mechanisch, thermisch, akustisch, elektrisch, tribologisch, optisch, topografisch, Alterung, Medienbeständigkeit usw.)

# Bildnachweise

/3DHubs1/	<a href="https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/introduction-sls-3d-printing/3-sls-schematic.png">https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/introduction-sls-3d-printing/3-sls-schematic.png</a> , 28.11.2018
/3DHubs2/	<a href="https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/intro-fdm-3d-printing/3-fdm-schematic.png">https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/intro-fdm-3d-printing/3-fdm-schematic.png</a> , 28.11.2018
/3DHubs3/	<a href="https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/intro-fdm-3d-printing/6-fdm-sample-layers.jpg">https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/intro-fdm-3d-printing/6-fdm-sample-layers.jpg</a> , 28.11.2018
/3DHubs4/	<a href="https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/introduction-material-jetting/3-mj-schematic.png">https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/introduction-material-jetting/3-mj-schematic.png</a> , 28.11.2018
/3Druck1/	<a href="https://3druck.com/wp-content/uploads/2018/03/sla-stereolithografie-3d-druck.jpg">https://3druck.com/wp-content/uploads/2018/03/sla-stereolithografie-3d-druck.jpg</a> , 28.11.2018
/3DSystems1/	<a href="https://de.3dsystems.com/sites/default/files/styles/thumbnail_social_media_940_x_494_/public/2017-02/ProX%20950-Angle-940px_tn.png">https://de.3dsystems.com/sites/default/files/styles/thumbnail_social_media_940_x_494_/public/2017-02/ProX%20950-Angle-940px_tn.png</a> , 28.11.2018
/3DSystems2/	<a href="https://de.3dsystems.com/sites/default/files/styles/thumbnail_social_media_940_x_494_/public/2017-02/ProX_300_Angle_940px_tn.png">https://de.3dsystems.com/sites/default/files/styles/thumbnail_social_media_940_x_494_/public/2017-02/ProX_300_Angle_940px_tn.png</a> , 28.11.2018
/3DSystems3/	<a href="https://www.3dsystems.com/sites/default/files/styles/thumbnail_social_media_940_x_494_/public/2017-05/3d_systems_3dprinter_pj5600_tn.png">https://www.3dsystems.com/sites/default/files/styles/thumbnail_social_media_940_x_494_/public/2017-05/3d_systems_3dprinter_pj5600_tn.png</a> , 28.11.2018
/Aerosint1/	<a href="https://3druck.com/wp-content/uploads/2018/01/aerosint_sls_3d_drucker_multi_pulver.png">https://3druck.com/wp-content/uploads/2018/01/aerosint_sls_3d_drucker_multi_pulver.png</a> , 28.11.2018
/Aerosint2/	<a href="https://cdn-images-1.medium.com/max/809/1*7o87vCc1CoDePO_blz6rpg.png">https://cdn-images-1.medium.com/max/809/1*7o87vCc1CoDePO_blz6rpg.png</a> , 28.11.2018
/Branch/	<a href="https://3dprint.com/wp-content/uploads/2018/08/BranchTechnology-RUDYCORN.jpg">https://3dprint.com/wp-content/uploads/2018/08/BranchTechnology-RUDYCORN.jpg</a> , 28.11.2018
/Coletek/	<a href="https://engineering.coletek.org/media/fdm-abs.jpg">https://engineering.coletek.org/media/fdm-abs.jpg</a> , 28.11.2018
/Engineerlive/	<a href="https://www.engineerlive.com/sites/engineerlive/files/Fig1%20b.jpeg">https://www.engineerlive.com/sites/engineerlive/files/Fig1%20b.jpeg</a> , 28.11.2018
/Enomoto/	<a href="https://www.enomoto-net.co.jp/img/product/own_products/3d_printer/3d_printer01.jpg">https://www.enomoto-net.co.jp/img/product/own_products/3d_printer/3d_printer01.jpg</a> , 28.11.2018
/Formlabs/	<a href="https://formlabs.com/media/upload/_thumbs/form2_mobile_hero.jpg.1280x1024_q80_crop-smart.jpg">https://formlabs.com/media/upload/_thumbs/form2_mobile_hero.jpg.1280x1024_q80_crop-smart.jpg</a> , 28.11.2018
/Kem/	<a href="https://kem.industrie.de/wp-content/uploads/A/G/AGILISTA-3000_1C9D9768-D599-41E3-B93E-BA1CEA045A71.jpg">https://kem.industrie.de/wp-content/uploads/A/G/AGILISTA-3000_1C9D9768-D599-41E3-B93E-BA1CEA045A71.jpg</a> , 28.11.2018
/Kudo/	<a href="https://kudo3dzone-qvtvw6b193qlqida8iy5.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/09/Kudo3d-3D-Print-Diamond-Structure-Bracelet-using-3DSR-UHR-Resin-1.jpg">https://kudo3dzone-qvtvw6b193qlqida8iy5.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/09/Kudo3d-3D-Print-Diamond-Structure-Bracelet-using-3DSR-UHR-Resin-1.jpg</a> , 28.11.2018
/Luxexcel/	<a href="https://www.trinkle.com/blog/wp-content/uploads/2015/09/Luxexcel_various_optics_shapes.jpg">https://www.trinkle.com/blog/wp-content/uploads/2015/09/Luxexcel_various_optics_shapes.jpg</a> , 28.11.2018
/Mkstech/	<a href="http://www.mkstechgroup.com/wp-content/uploads/2017/03/7e6fe5bcc8d251edee8dd741a70d93bc.jpg">http://www.mkstechgroup.com/wp-content/uploads/2017/03/7e6fe5bcc8d251edee8dd741a70d93bc.jpg</a> , 28.11.2018
/Nanoscribe/	<a href="https://www.nanoscribe.de/files/cache/c165192d232fbbdbbc87a3f0a03cdca8.jpg">https://www.nanoscribe.de/files/cache/c165192d232fbbdbbc87a3f0a03cdca8.jpg</a> , 28.11.2018
	<a href="https://www.nanoscribe.de/files/cache/250a29f495df6bcb2e75f7fe91af0fea.jpg">https://www.nanoscribe.de/files/cache/250a29f495df6bcb2e75f7fe91af0fea.jpg</a> , 28.11.2018
/Protocam1/	<a href="https://www.protocam.com/wp-content/uploads/2014/07/sla_clear.jpg">https://www.protocam.com/wp-content/uploads/2014/07/sla_clear.jpg</a> , 28.11.2018
/Protocam2/	<a href="https://www.protocam.com/wp-content/uploads/2014/07/SLS-Prototyping.jpg">https://www.protocam.com/wp-content/uploads/2014/07/SLS-Prototyping.jpg</a> , 28.11.2018
/Protocam3/	<a href="https://www.protocam.com/wp-content/uploads/2014/07/DMLS_Scale.jpg">https://www.protocam.com/wp-content/uploads/2014/07/DMLS_Scale.jpg</a> , 28.11.2018
/Prusa/	<a href="https://www.prusa3d.de/wp-content/uploads/2018/04/MMU_2.0.png">https://www.prusa3d.de/wp-content/uploads/2018/04/MMU_2.0.png</a> , 28.11.2018
/Sicnova/	<a href="https://3dprintingindustry.com/wp-content/uploads/2015/07/P1040006.jpg">https://3dprintingindustry.com/wp-content/uploads/2015/07/P1040006.jpg</a> , 28.11.2018
/Sinterit/	<a href="https://www.sinterit.com/wp-content/uploads/2016/10/drukarka-poprawna-2.jpg">https://www.sinterit.com/wp-content/uploads/2016/10/drukarka-poprawna-2.jpg</a> , 28.11.2018
/SLA1983/	<a href="http://theinstitute.ieee.org/image/MTA2Mzc0.jpeg">http://theinstitute.ieee.org/image/MTA2Mzc0.jpeg</a> , 28.11.2018
/Stratasys1/	<a href="https://www.stratasys.com/-/media/features/tabbed-billboard/tabbedbillboards_stratasysf900.png">https://www.stratasys.com/-/media/features/tabbed-billboard/tabbedbillboards_stratasysf900.png</a> , 28.11.2018
/Stratasys2/	<a href="https://www.stratasysdirect.com/-/media/features/tabbed-billboard/direct/technologies/polyjet/tabs-head-polyjet.png">https://www.stratasysdirect.com/-/media/features/tabbed-billboard/direct/technologies/polyjet/tabs-head-polyjet.png</a> , 28.11.2018
/Stratasys3/	<a href="https://i.ytimg.com/vi/1g12QVQoqCU/maxresdefault.jpg">https://i.ytimg.com/vi/1g12QVQoqCU/maxresdefault.jpg</a> , 28.11.2018
/Tractus3D/	<a href="https://pbs.twimg.com/media/DoBmUU6XgAATW8Y.jpg">https://pbs.twimg.com/media/DoBmUU6XgAATW8Y.jpg</a> , 28.11.2018



**10 JAHRE  
NETZWERK**

3D-Druck Rapid Prototyping Rapid Technologies Rapid Tooling Rapid Manufacturing  
Generative Verfahren Additive Verfahren Medizintechnik Design Produktdesign  
Architektur 3D-Konstruktion Stereolithografie Lasersintern Vakuumguss Metall  
Kunststoff Silikonstoff Papier CAD/CAM Prototypenbau Foren Fachmessen  
Fachveranstaltungen Workshops Technologietransfer Wissenstransfer Projekte  
Interdisziplinäre Zusammenarbeit Netzwerkarbeit Netzwerkmanagement Marketing

enficos

www.rp-netzwerk.de

# Interessenkreis Mitteldeutsches Netzwerk Rapid Prototyping enficos

**Merseburger Herbstforum  
07.11.2018**

Gefördert vom Bundesministerium  
für Wirtschaft und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses des  
Deutschen Bundestages



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie



GMBU



Gesellschaft zur Förderung  
von Medizin-, Bio- und  
Umweltechnologien e.V.





# Das Mitteldeutschen Netzwerk Rapid Prototyping enficos

**enficos** = **e**nergy-efficient, **c**ost-saving and innovative  
product development by RP Technologies

Gefördert vom Bundesministerium  
für Wirtschaft und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses des  
Deutschen Bundestages

Netzwerkmanagementeinrichtung:  
Merseburger Innovations- und Technologiezentrum GmbH

Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

Sachsen-Anhalt

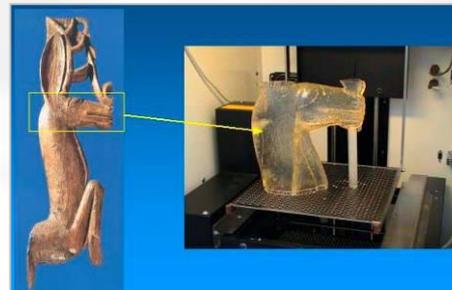
impulse  
für wachstum  
Zentrales Innovationsprogramm  
Mittelstand



## Mitteldeutsches Netzwerk Rapid Prototyping\* Netzwerk ENFICOS – Kosteneffiziente energiesparende innovative Produktentwicklung durch RP-Technologien

- 2008 gefördert als Innovationsforum durch das bmbf
- 2009-2013 gefördert vom BMWi im Rahmen des „Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand ZIM“
- seit 2014 unabhängig tätig und wachsend

\*) Extrem rasche und effiziente Herstellung von Mustern, Modellen und Prototypen aus Kunststoffen, Metallen und anderen Werkstoffen zur Beschleunigung von Produktentwicklungen sowie Validierung, Evaluierung, Optimierung, Abstimmung und Freigabe bestimmter Produktentwicklungszustände und ausgewählter Produktmerkmale. (Definition der Fraunhofer-Allianz Rapid Prototyping)



Gefördert vom Bundesministerium  
für Wirtschaft und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses des  
Bundestages

Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

ZIM  
Innovationsprogramm

## Mitglieder im Interessenkreis RP Netzwerk enficos Stand: 05-2018

**15 Unternehmen**

**7 FuE-Einrichtungen/2 Netzwerke**

Unternehmen/Sonstige	FuE-Partner und Sonstige
Großkopf Kunststofftechnik	Hochschule Merseburg
Köthener Spezialdichtungen GmbH KSD	Hochschule Magdeburg-Stendal
Future Training & Consulting GmbH Halle	GMBU e.V.
BTZ Handwerkskammer Halle	IKTR e.V.
Förderkreis mitz e.V.	HTWK Leipzig
rapidobject GmbH	KKZ Halle-Merseburg
3D&Acoustic Projects, Volker Eichhorst	Hochschule Mittweida mit Laserzentrum
Formicum 3D-Service GmbH, Gunter Bigl	Mitteldeutsches Netzwerk für Gesundheit e.V. *)
Makerspace Leipzig *)	BioEconomy e. V. Halle *)
BURMS Jena, Herr Uwe Brick	*) <i>gegenseitige Mitgliedschaft</i>
Dick & Dick GmbH Generative Fertigung	<b>NEUES MITGLIED</b>
3D METALL THEOBALD	<b>Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS (Halle)</b>
VEZ Fischer Vorrichtungsbau und Entwicklungszentrum	
JUREC Jürgen Reinemuth Consulting	
SONOTEC Ultraschallsensorik GmbH Halle	





## 2. Forum an der HTWK in Leipzig



Ministerpräsident  
Tillich und OB Jung ließen sich  
gestern an der HTWK erklären, wie  
3D-Drucker unser Leben  
verändern werden

Wer guckt denn  
da in die Röhre?



Protonetz



3. Mitteldeutsches Forum

# 3D-Druck in der Anwendung

Hochschule Merseburg 18. Mai 2016

## TAGUNGSBAND

10 Jahre Rapid Prototyping Forum an der Hochschule Merseburg

Vorankündigung



2. Mitteldeutsches Forum - 27. Mai 2015



„Prototypen in der virtuellen Welt“

## 3D-Druck in der Anwendung

Polymere - Metalle - Folgeverfahren

Schwerpunkthemen

- Digitalisierung in der Produktion der Zukunft
- Life Science - vernetzte Strukturen
- Gestaltung, Leichtbau, Ressourcen

Kooperationsbörse

Ihre Vorträge melden Sie bitte bis zum 27.02.2015 an, die Teilnahme an der Kooperationsbörse bis zum 31.03.2015.

4. Mitteldeutsches Forum am 17. Mai 2017

# 3D-Druck in der Anwendung

Hochschule Mittweida

www.hs-mittweida.de www.rp-netzwerk.de



1. und 5. Forum an der EAH Jena





- Hervorzuheben sind die aus dem Netzwerk enficos heraus initiierten **Forschungsprojekte**. Hier wirkten sich die Synergien mit neu entfaltetten Kooperationen zwischen den Unternehmen und den Forschungseinrichtungen beidseitig sehr positiv aus und das nicht nur ökonomisch, sondern auch durch Erkenntniszuwachs und Erschließung neuer Arbeitsgebiete für die beteiligten Partner.

Gefördert vom Bundesministerium  
für Wirtschaft und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses des  
Deutschen Bundestages

- Das Projekt des Saalekreises gemeinsam mit der Stadt Leipzig **3D-Modellregion Mitteldeutschland** wurde im Rahmen der BMWi-Initiative „Unternehmen Revier“ bewilligt.



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie



impulse **ZIM**  
für wachstum  
Zentrales Innovationsprogramm  
Mittelstand



## Petrischale mit integriertem Ausstrich

Projektpartner:

Großkopf Kunststofftechnik, Gajewi  
Bautenschutz GmbH, GMBU e.V.,  
Hochschule Merseburg



Bei dieser Entwicklung handelt es sich um ein mikrobiologisches Kultivierungssystem mit einem integriertem Ausstrichelement nach dem Vorbild der klassischen Petrischale, welches sich durch einfache Anwendung durch den Laien auszeichnet. Das Projekt wurde Ende 2011 erfolgreich abgeschlossen und mit Hilfe einer ZIM-DL-Förderung zur Marktreife gebracht. Es entstand ein verkaufsfähiges Test-Kit mit Kulturschale, sterilen Spritzen und Probenahmebechern für die unterschiedlichsten Anwendungsfälle.

Gefördert vom Bundesministerium  
für Wirtschaft und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses des  
Deutschen Bundestages





in Bundesministerium  
schaft und Technologie  
nes Beschlusses des  
tschen Bundestages

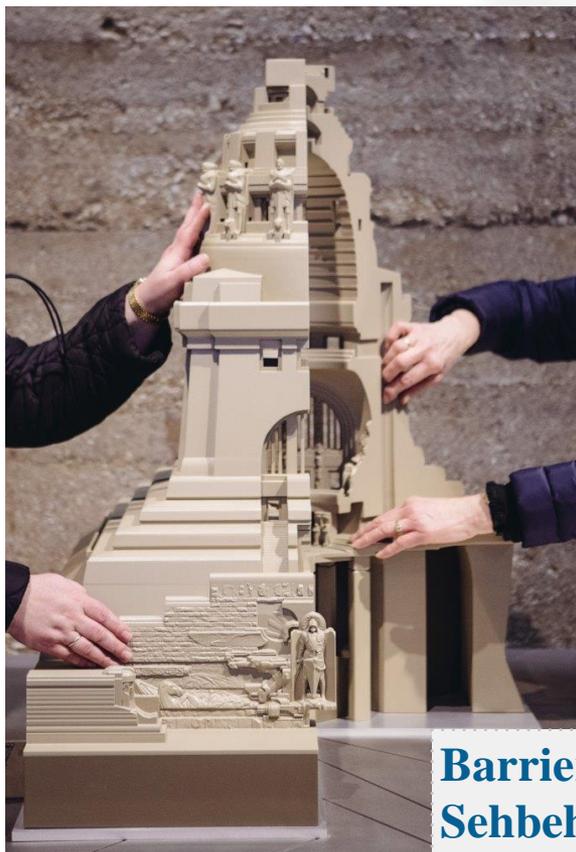
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

## Explosionsmodell eines Hauses von Formicum GmbH Leipzig





## 3D Druck Tastmodell des Völkerschlachtdenkmals Leipzig



**Barrierefreies Tastmodell des Völkerschlachtdenkmals für Blinde & Sehbehinderte, gefertigt durch die Rapidobject GmbH, Leipzig**



## 3D-Druck mit Metall

Potentiale im gesamten Unternehmen heben



### Zielgruppe

Das Seminar richtet sich an leitende Angestellte und Ingenieure aus Konstruktion, Entwicklung und Produktion im Maschinen- und Anlagenbau, die die neuen Chancen ergreifen möchten.

### Inhalte

- Die **Technologie** additiver Fertigung (AM) mit Metallen
- **Anwendungsmöglichkeiten** von AM
- Optimierung von **Geschäftsprozessen** durch AM
- **Auswahlkriterien** von Komponenten für AM
- Darstellung der **gesamten Prozesskette** vom Entwurf bis zum fertigen Bauteil anhand einer konkreten Aufgabe
- Besprechung individueller Fragestellungen und Umsetzung eigener Lösungen

### Referenten

- **Dr. Jürgen Reinemuth** (Maschinenbau-Ingenieur)  
>7 Jahre Erfahrung im Bereich Additive Fertigung mit Metall und Kunststoffen, Entwicklung und Konstruktion additive Teile
- **Hans-Werner Theobald** (Industriemechaniker, Dipl. Wi.-Ing.)  
>10 Jahre Erfahrung mit Prozessen in der Produktion im mittelständischen Anlagenbau, Umsetzung additive Fertigung

### Zeit und Ort

Das 2-tägige Seminar wird in den Räumen von 3D-Metall Theobald e.K. in Leipzig durchgeführt. Zeitpunkt und detaillierte Inhalte werden mit Ihnen abgestimmt. Melden Sie sich bei JUREC!

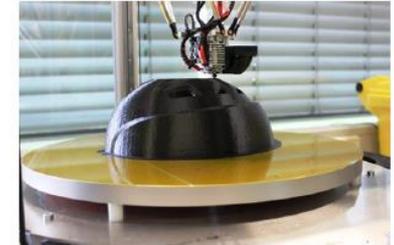
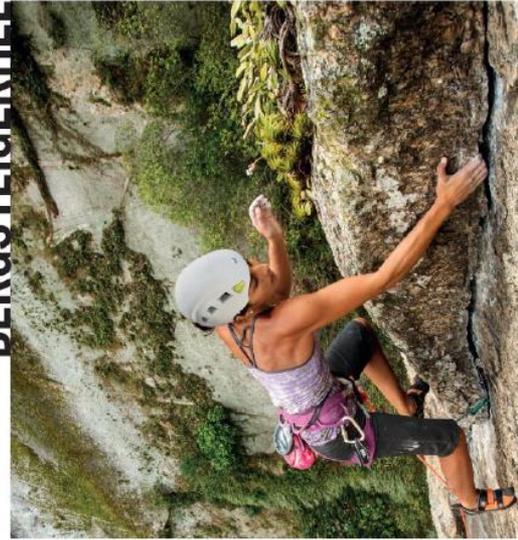


# Projekt der Hochschule Magdeburg-Stendal

Ziel des Projekts Bergsteigerhelm war es, ein innovatives und nachhaltiges Designkonzept zu entwickeln. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf der Gestaltung der Helmschale.

In Zusammenarbeit mit dem Kompetenzzentrum Ingenieurwissenschaften/Nachwachsende Rohstoffe der Hochschule Magdeburg-Stendal generierten wir hierzu Ideen und setzten diese in verschiedenen Konzepten um. Dabei wurde stark auf Nachhaltigkeit geachtet, denn im Mittelpunkt des Projektes stand ein Biokunststoff, welcher einen guten, ökologischen »footprint« hinterlässt.

## BERGSTEIGERHELM



### Parameter für den 3D-Druck

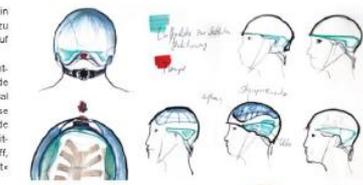
- Material: PLA 2,85 mm, schwarz
- Ø Düse: 0,6 mm
- Schichtdicke: 0,1 mm
- Geschwind.: 50 mm/s
- Temperatur: 210°C
- Druckzeit: ca. 38 Stunden (1/2 Helm)

### NACHHALTIGES KONZEPT LUFTPOLSTER ANPASSUNG

Ziel des Projekts Bergsteigerhelm war es, ein innovatives und nachhaltiges Designkonzept zu entwickeln. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf der Gestaltung der Helmschale. In Zusammenarbeit mit dem Kompetenzzentrum Ingenieurwissenschaften/Nachwachsende Rohstoffe der Hochschule Magdeburg-Stendal generierten wir hierzu Ideen und setzten diese in verschiedenen Konzepten um. Dabei wurde stark auf Nachhaltigkeit geachtet, denn im Mittelpunkt des Projektes stand ein Biokunststoff, welcher einen guten, ökologischen »footprint« hinterlässt.



Während der Konzeptentwicklung stellen wir fest, dass der perfekte Helm nicht existiert. Die richtige Wahl des Helmes ist immer von den herrschenden Einsatzbedingungen abhängig, außerdem ist jedes Kopfform verschieden. Als Projektziel habe ich mir vorgenommen, den Tragekomfort des Helmes zu erhöhen. Bei der Analyse fiel auf, dass der Helm viel Spielraum zum seitlichen Verrutschen bietet. In Längsrichtung ist ein Verrutschen des Helmes durch die Ergonomie des Kopfes nicht so einfach möglich. Ein seitlich angebrach-



tes Luftpolster könnte für den optimalen Halt sorgen, da es sich an jede Kopfform anpasst und den seitlichen Spielraum zwischen Helm und Kopf verringert. Während des Projektes entstanden mehrere Konzepte, von denen jeweils eines weiter verfolgt wurde. Eine Vielzahl von Skizzen zu Schalenvarianten, Seitenansichten, Lochrisen und Parabolisierungen wurden im Erprobungsprozess angefertigt. Als Veranschaulichung für die Konzeptidee dienten Vormodelle. Diese halfen bei der nachfolgenden 3D Konstruktion. Aus der Konstruktion entstanden ein 1:1 Modell als 3D Druck, sowie die unten abgebildeten Renderings.





## Ausblick 2018/19

- **Zuliefermesse „Z“ 5.-8. Februar 2019** in Leipzig mit Gemeinschaftsstand „enficos“
- **6. Mitteldeutsches Forum 3D-Druck 2019** im September an der HTWK Leipzig

Gefördert vom Bundesministerium  
für Wirtschaft und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses des  
Deutschen Bundestages



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie





Herzlichen Dank

*Das Netzwerkmanagement Rapid Prototyping enficos*

[www.rp-netzwerk.de](http://www.rp-netzwerk.de)

*Ansprechpartner:*

Kathrin Schaper-Thoma, Dr. Bernd Schmidt

Merseburger Innovations- und Technologiezentrum GmbH (mitz)

Fritz-Haber-Str. 9, D-06217 Merseburg

Tel.: +49 (0)3461 2599-100

Fax: +49 (0)3461 25 99-909

info@rp-netzwerk.de

info@mitz-merseburg.de

www.mitz-merseburg.de

Gefördert vom Bundesministerium  
für Wirtschaft und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses des  
Deutschen Bundestages

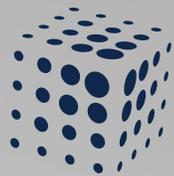


Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie





# Von der Idee zum fertigen 3D Modell – Verfahren, Materialien, Anwendungsfälle



**rapidobject**<sup>®</sup>  
ideenzumanfassen



**rapidobject**<sup>®</sup>  
ideenzumanfassen

## Rapidobject GmbH 3D Druckdienstleister aus Leipzig:

- Mehr als 11 Jahre Erfahrung im Bereich Rapid Prototyping / 3D Druck
- Funktionale Prototypen und Kleinserien, komplexe Messemodelle oder Ersatzteile
- Metall, Kunststoff und farbigen Polymergips
- TÜV-zertifizierter Full-Service-Dienstleister
- Alles aus einer Hand – von der 3D Datenerstellung bis hin zum fertigen 3D Druck Modell inkl. Modellveredelung & 3D Vermessung
- Online-Upload mit Sofortpreis & Datenreparatur



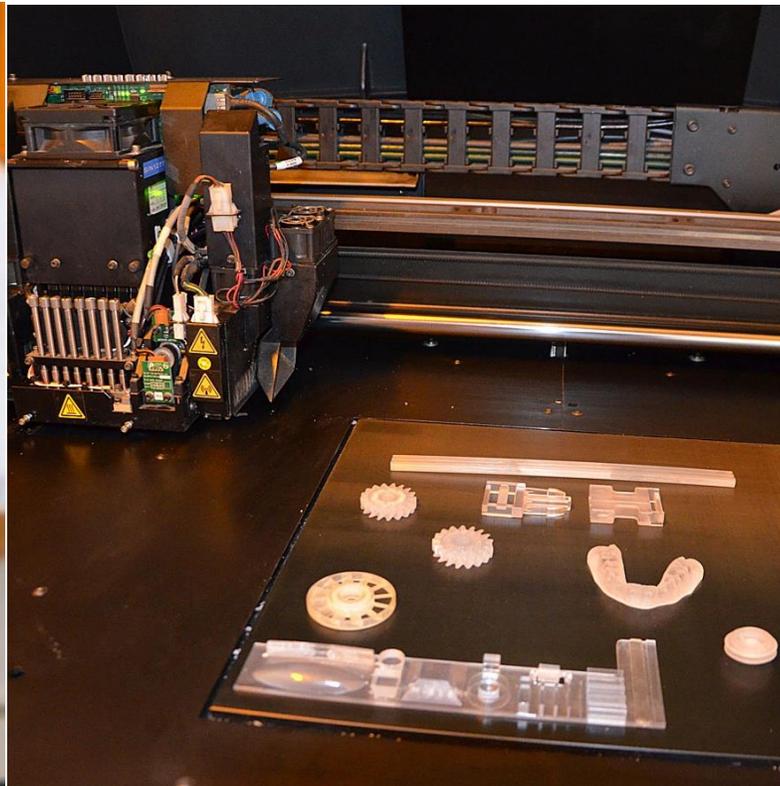
3D DATEN HOCHLADEN >



ISO 9001:2015  
ISO 27001:2013

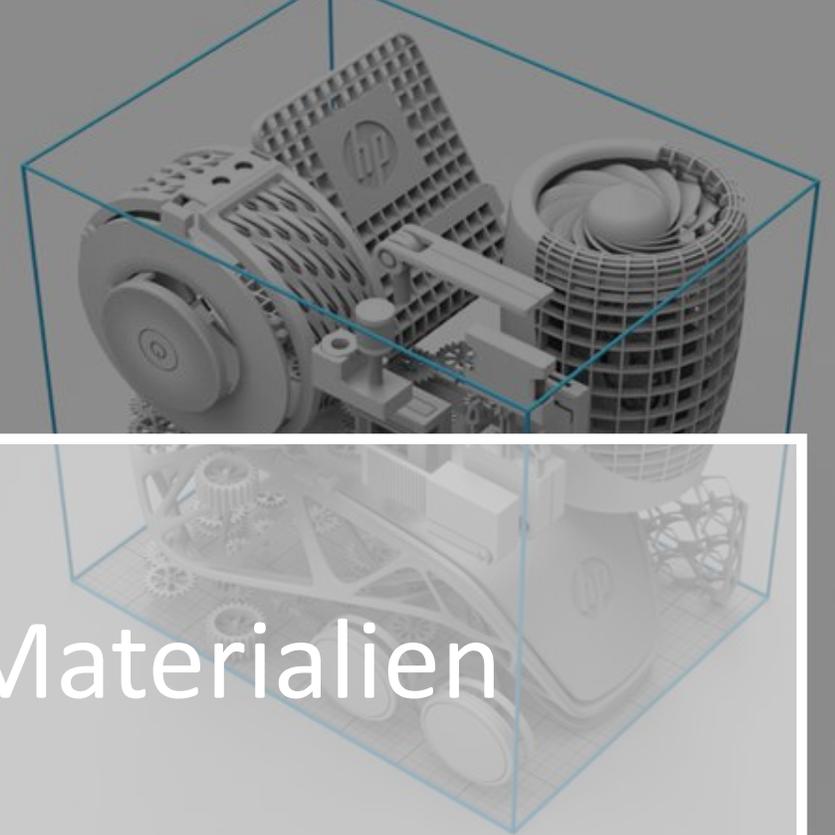


**rapidobject**<sup>®</sup>  
ideenzumanfassen



Alles aus einer Hand:

1. Datenerstellung (2) 3D Druck Fertigung (3) Modellveredelung (4) Vermessung



# 3D Druck Verfahren und Materialien



**rapidobject**<sup>®</sup>  
ideenzumanfassen





**rapidobject**<sup>®</sup>  
ideenzumanfassen

# Stereolithografie



Quelle: <https://formlabs.com>

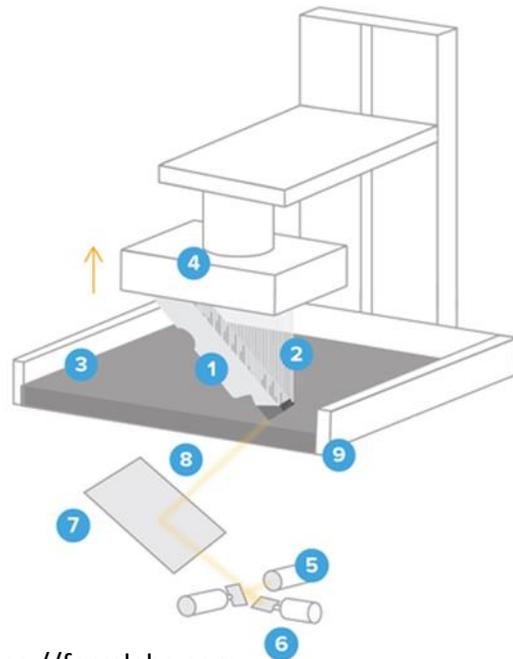


Quelle: <https://Plasteverarbeiter.de>



**rapidobject**<sup>®</sup>  
ideenzumanfassen

# Stereolithografie



Quelle: <https://formlabs.com>

## Upside-Down (Inverted) SLA

- 1 Printed Part
- 2 Supports
- 3 Resin
- 4 Build Platform
- 5 UV Laser
- 6 Galvanometers
- 7 X-Y Scanning Mirror
- 8 Laser Beam
- 9 Resin Tank

Schichtweiser Aufbau von UV-Harzen durch Photopolymerisation (d.h. selektives Aushärten) mittels einer Lichtquelle  
Häufiger Einsatz bei der Erstellung von Modellen, Prototypen, Mustern in Branchen wie Zahntechnik, Schmuckherstellung, Ingenieurwesen (Produktdesign)

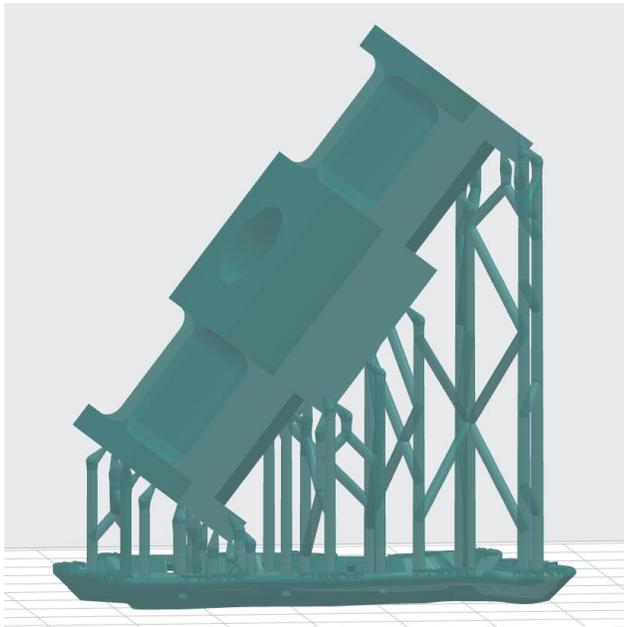
**Standardmaterialien:** Clear, Black, White, Tough / Accura Si 60

**Verfügbare Bauraumgrößen:** 145 x 145 x 175 mm / 250 x 250 x 250 mm

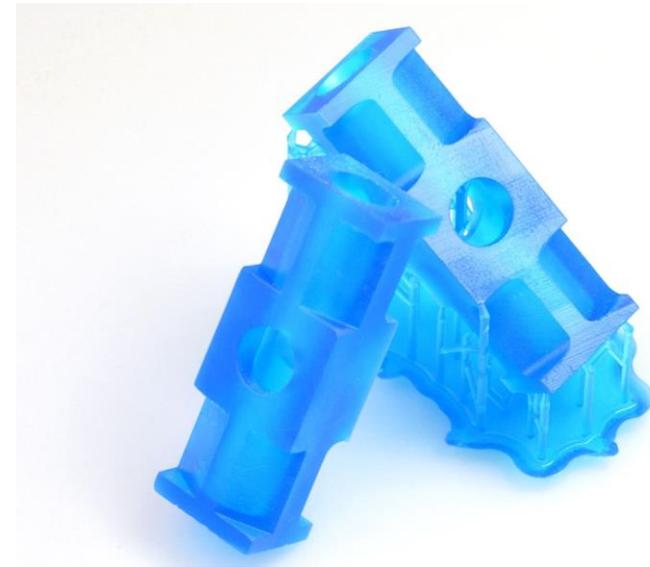


**rapidobject**<sup>®</sup>  
ideenzumanfassen

## Stereolithografie



Baujobvorbereitung: Auslegung der Supportstrukturen

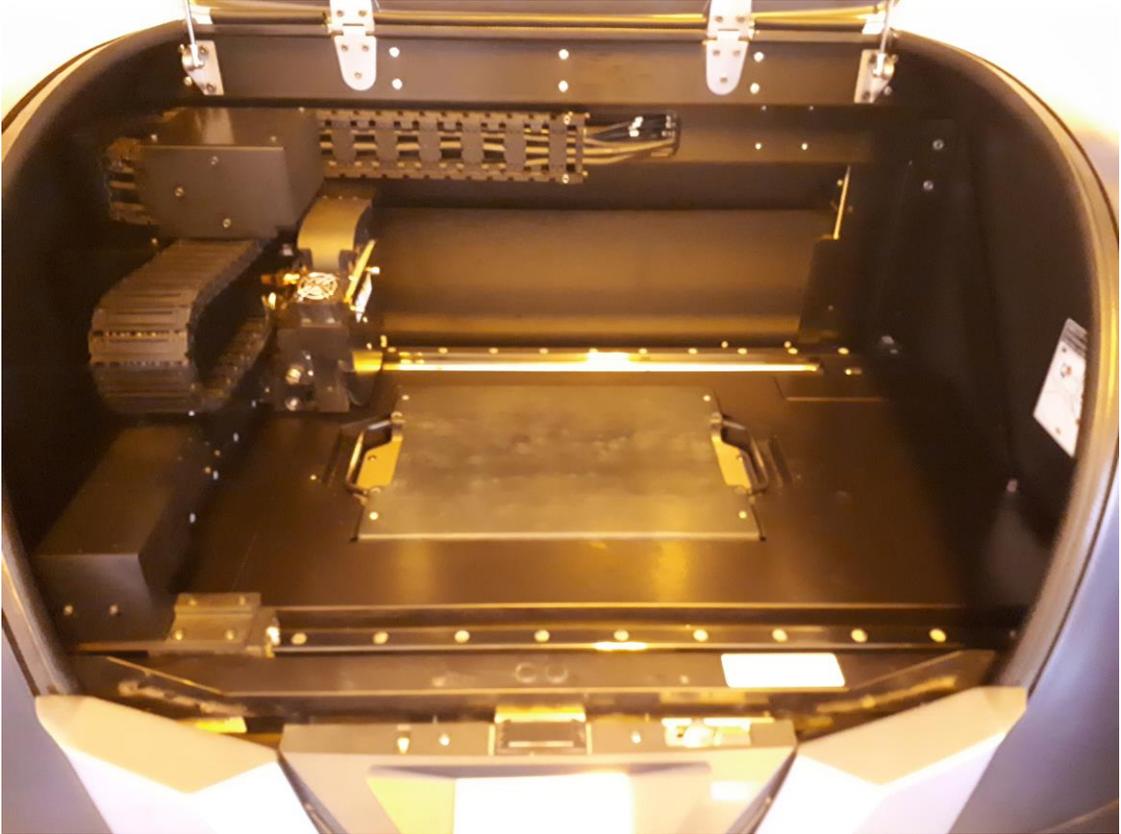


Additiv gefertigtes Bauteil in dem Material Tough



**rapidobject**<sup>®</sup>  
ideenzumanfassen

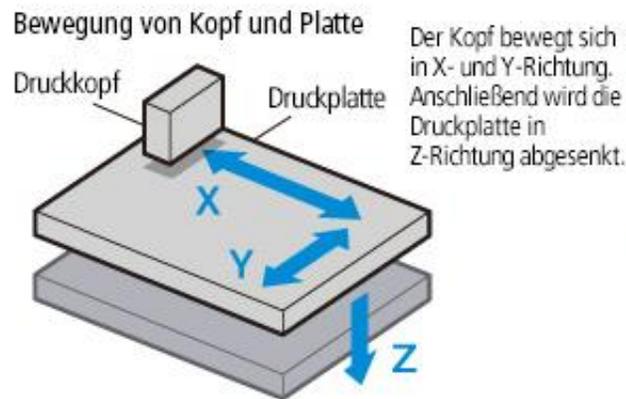
Polyjet





**rapidobject**<sup>®</sup>  
ideenzumanfassen

# Polyjet



Quelle: <https://keyence.de>

Schematische Darstellung des Druckprinzips



Der Kopf bewegt sich in X- und Y-Richtung über die Druckplatte. Gemäß der durch die Daten für die betreffende Schicht vorgegebenen Form wird ein flüssiges UV Harz tröpfchenweise aufgetragen. Das Material wird mit der neben dem Druckkopf angebrachten UV-Lampe ausgehärtet.

**Standardmaterialien:** AR-M2, AR-H1, Silikon Shore 65A / Shore 35A

**Verfügbare Bauraumgröße:** 297 x 210 x 200 mm

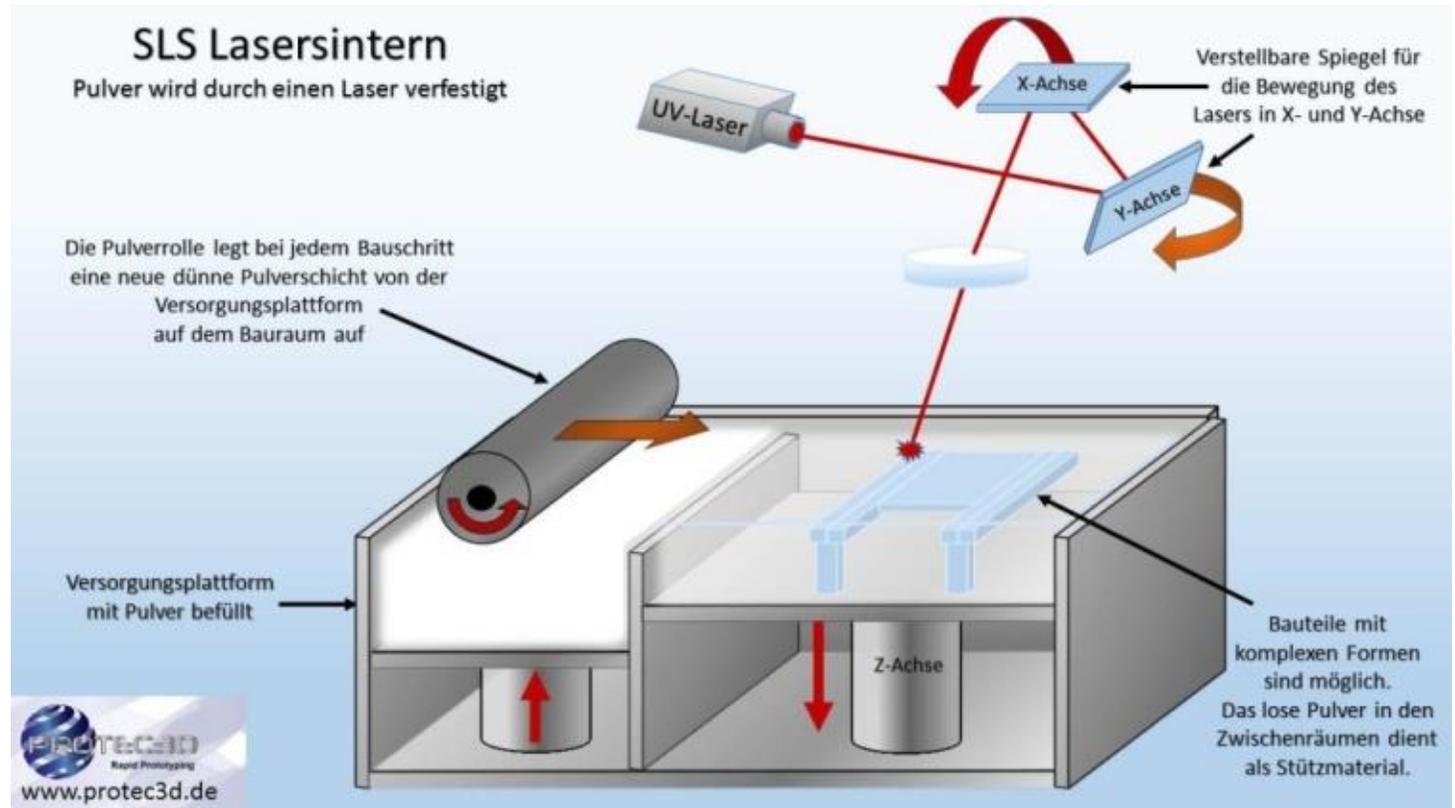


**rapidobject**<sup>®</sup>  
ideenzumanfassen



Quelle: <https://www.eos.info>

## Selektives Lasersintern



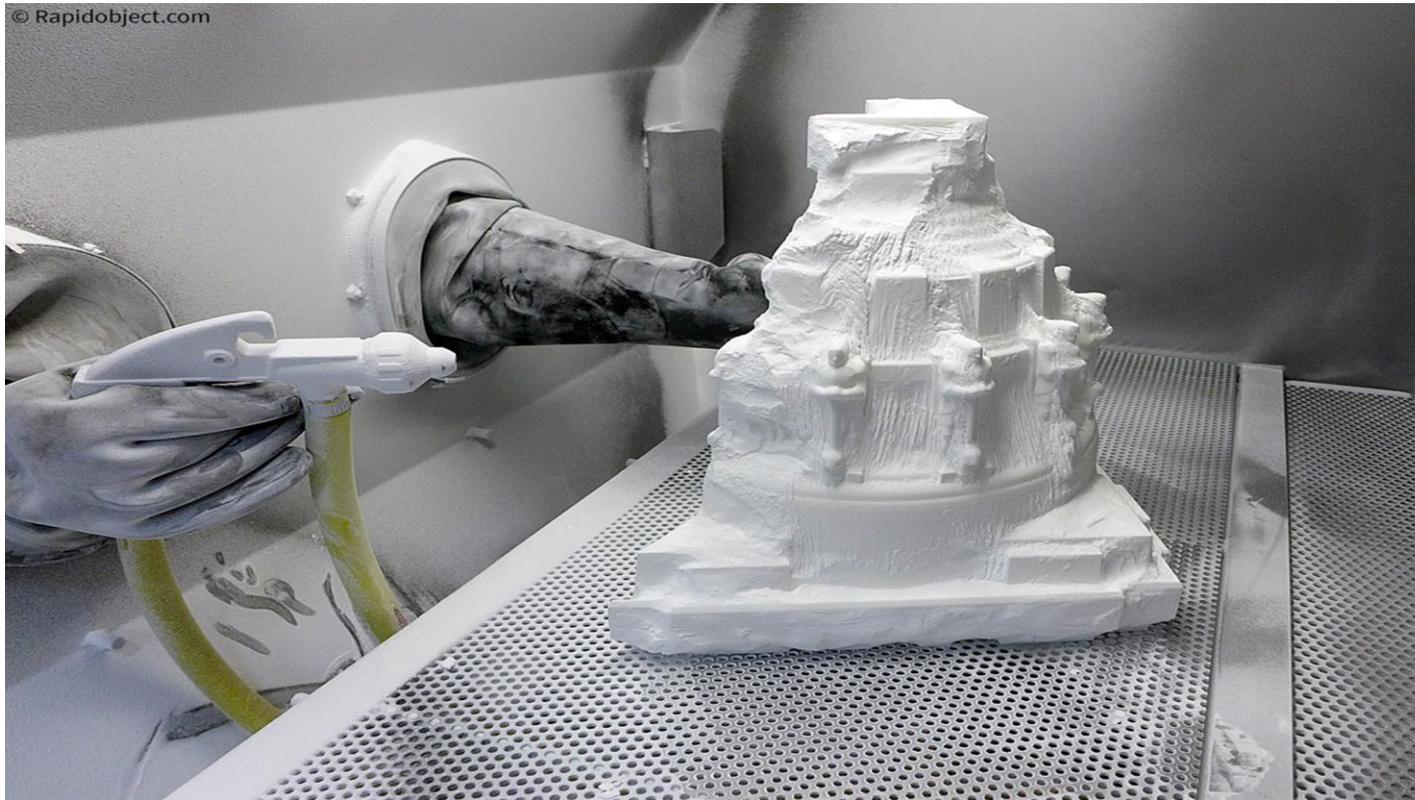
Das Bauteil wird Schicht f. Schicht aus feinem Pulver „additiv“ aufgebaut  
Ein Laserstrahl schmilzt das in dünnen Schichten aufgetragene Kunststoffpulver und baut so schrittweise das Bauteil auf  
**Standardmaterialien:** PA 12, PA3200, Alumide  
**Verfügbare Bauraumgröße:** 700 x 380 x 560 mm





**rapidobject**<sup>®</sup>  
ideenzumanfassen

## Selektives Lasersintern

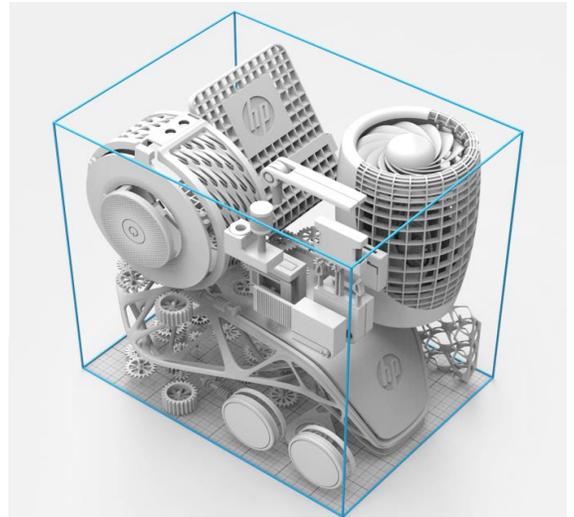


Völkerschlachtdenkmal in der Strahlkabine nach dem Entpacken



**rapidobject**<sup>®</sup>  
ideenzumanfassen

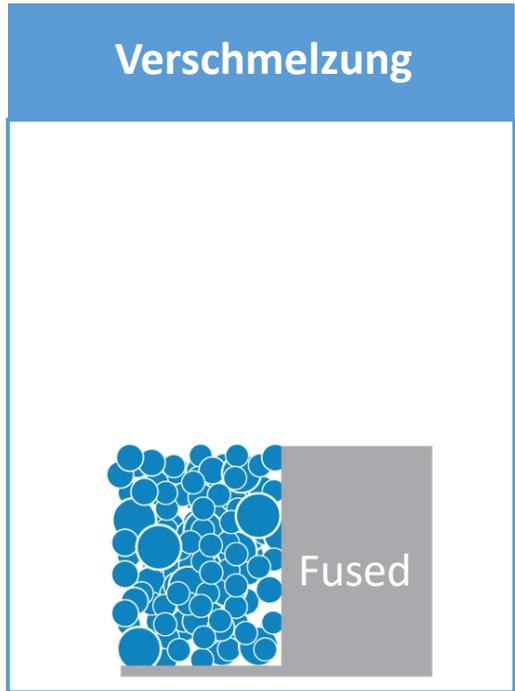
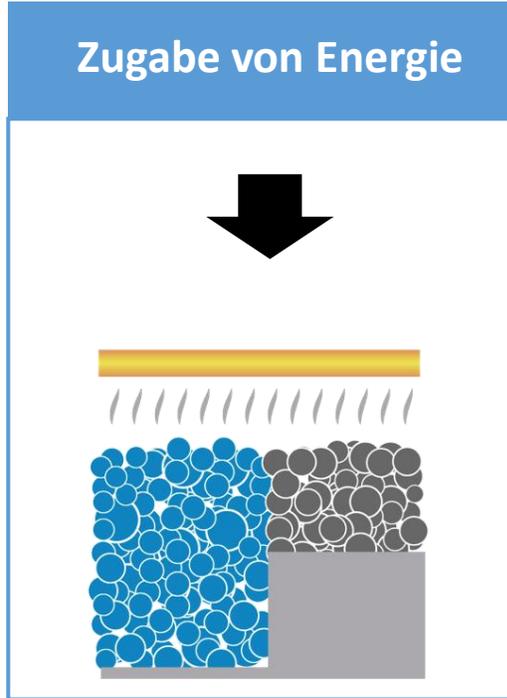
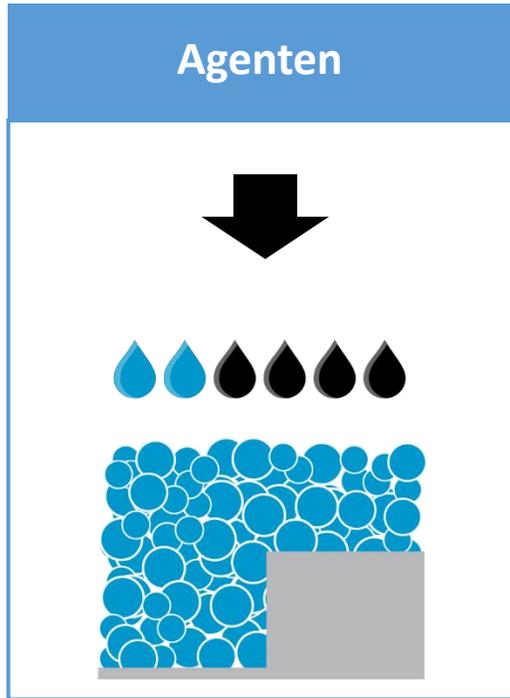
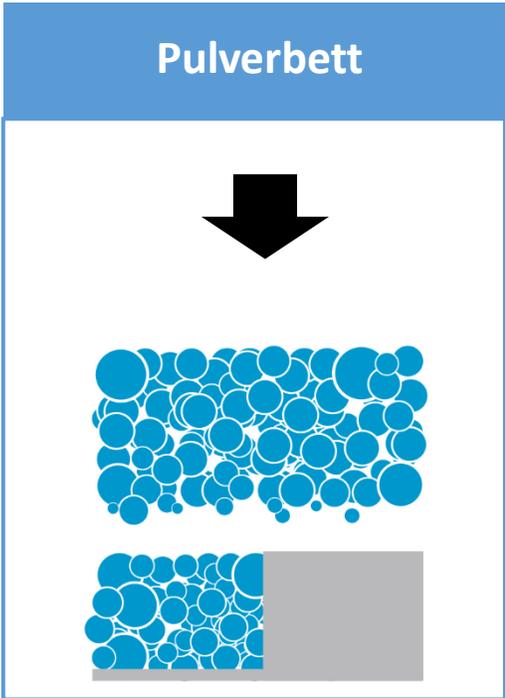
# Multi Jet Fusion





**rapidobject**<sup>®</sup>  
ideen**z**umanfassen

# Multi Jet Fusion



Die Basiselemente des MJF Druckprozesses

Auftragen einer dünnen Pulverschicht

Abgabe funktioneller Agents (Fusing Agent zur Konturerzeugung, Detailing Agent zur Darstellung der Konturen)

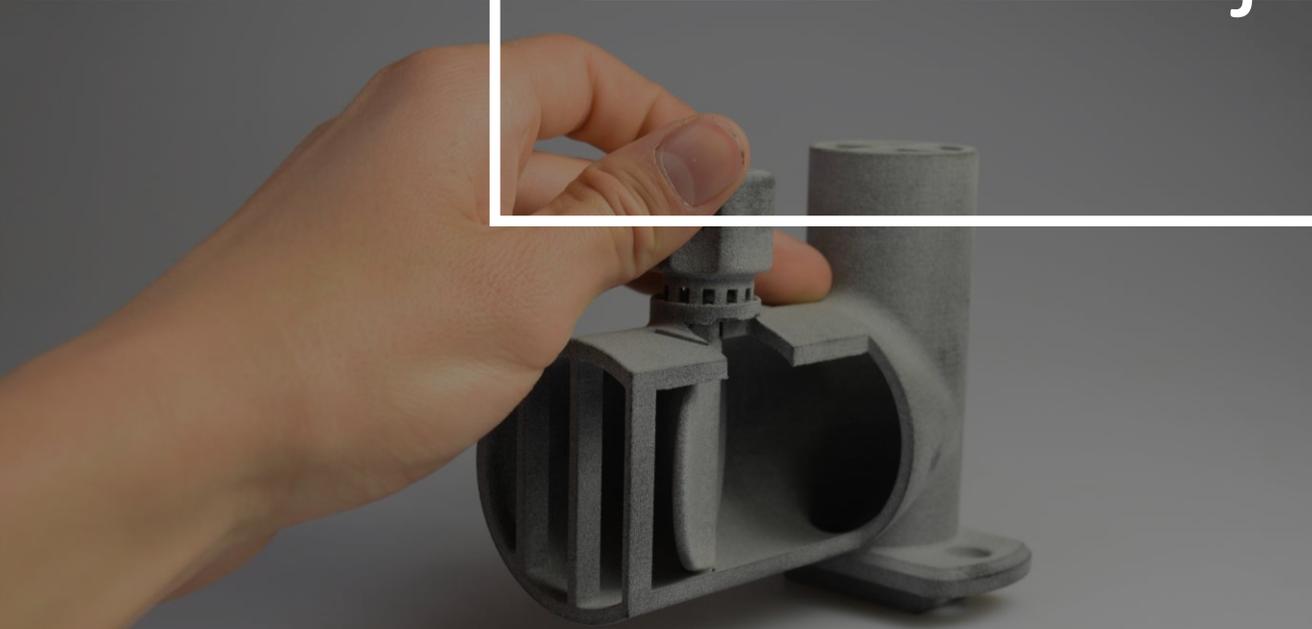
Druckschlitten mit einer HP Thermo-Inkjet-Druckkopfanordnung und Energiequellen überfährt den Arbeitsbereich von rechts nach links

**Standardmaterial:** PA12

**Verfügbare Bauraumgröße:** 380 x 280 x 380 mm



3D Druck für jede Anwendung

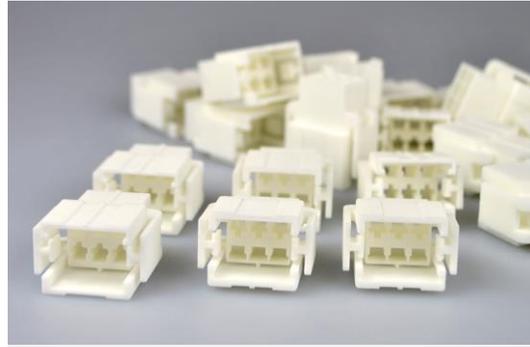




**rapidobject**<sup>®</sup>  
ideenzumanfassen



Prototypen



Kleinserien



Messemodelle



Ersatzteile



Tastmodelle



Architekturmodelle



Forschungsexponate



Werbegeschenke

“...aus Kunststoff, Metall oder Polymergips.”

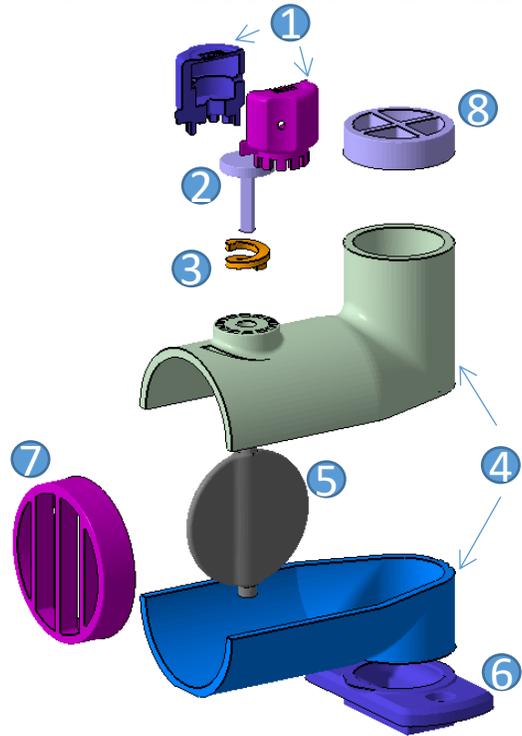


## Einsatzfähiges Bauteil im Anlagenbau

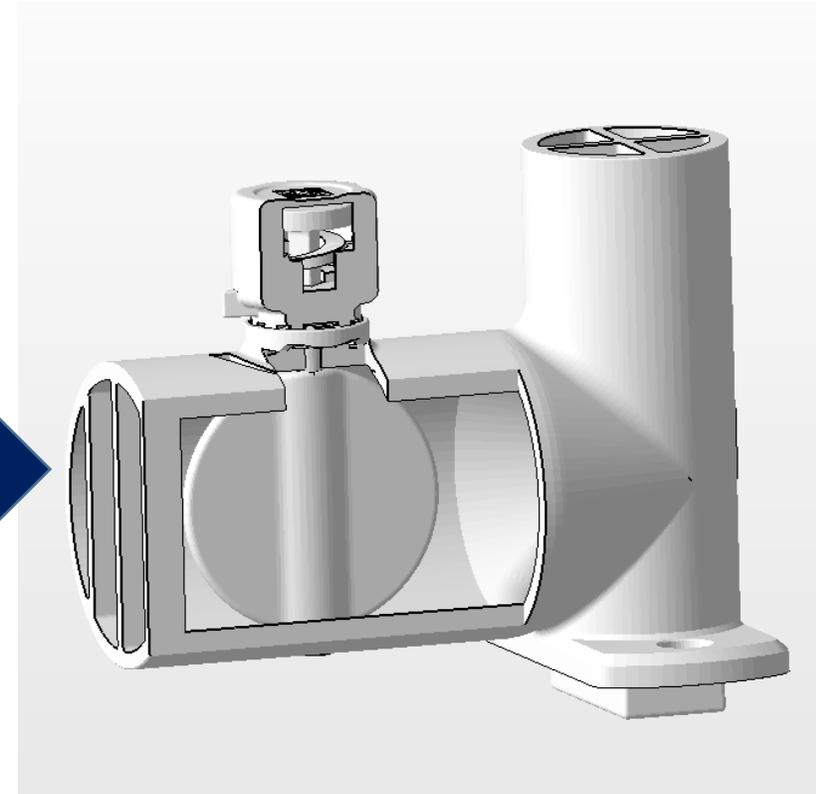
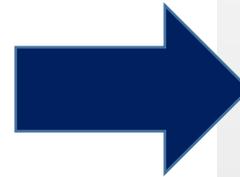
Fertigung des Staubsaueranschlusses einer Scheibenmühle zur Feinzerkleinerung von weichen bis harten Materialien wie Baustoffe, Glas oder Keramik



**rapidobject**<sup>®</sup>  
ideenzumanfassen



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



Separierung der Einzelteile  
für konventionelle Fertigung

vs.

3D Datenerstellung des Staubsauger-  
anschlusses beim 3D Druck

= 8 Einzelteile mit konventioneller Fertigung

= 1 Teil mit 3D Druck



# IHR **3D** DRUCK- DIENSTLEISTER

FÜR PROTOTYPEN UND KLEINSERIEN



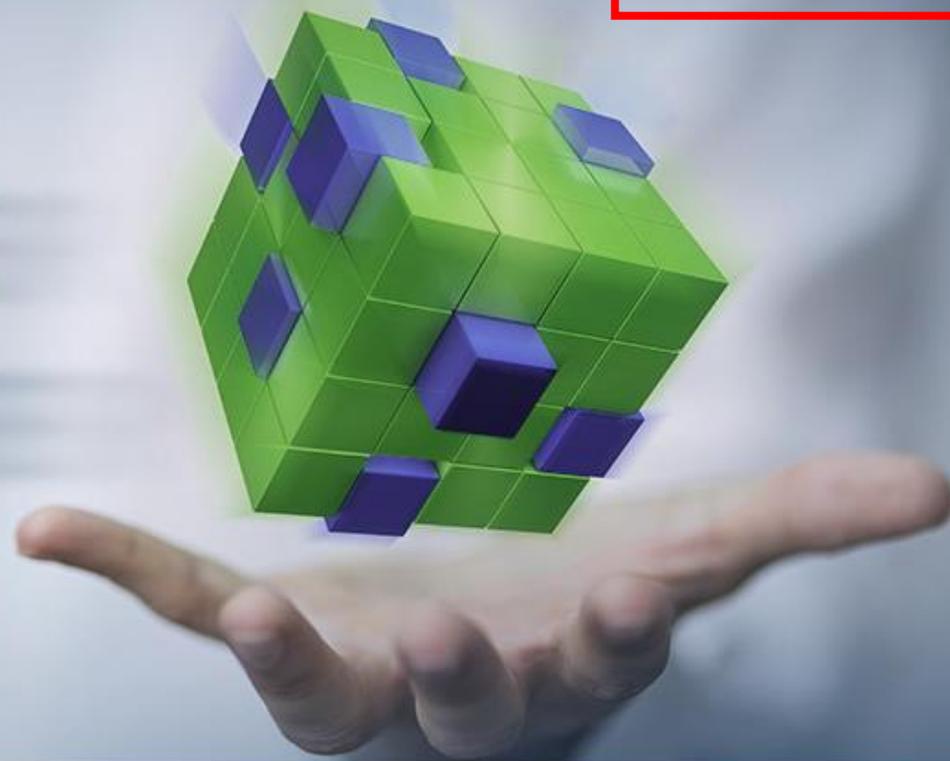
**Von Ihrer Idee**

Schnell und flexibel Preisvergleiche für die einzelnen Materialien durchführen  
Einsehung der verfügbaren Bauraumgrößen, Veredlungsoptionen und Lieferzeiten



# IHR 3D DRUCK- DIENSTLEISTER

FÜR PROTOTYPEN UND KLEINSERIEN



## Von Ihrer Idee zum fertigen 3D Modell

### VOR DEM DRUCK

Sie benötigen 3D Daten? Ihnen fehlen druckbare Daten? Wir realisieren diese für Sie.

### DER 3D DRUCK

Sie haben Fragen zu Materialien & Verfahren für Ihre Anwendung? Wir beraten Sie gerne.

### NACH DEM DRUCK

Sie möchten Ihr 3D Druck Modell veredeln? Wir machen Ihre 3D Modelle zum Blickfang.

## 3D Daten hochladen und Materialien auswählen

Laden Sie jetzt eine oder mehrere 3D-Dateien gleichzeitig im STL- oder OBJ-Format hoch. Anschließend können Sie Materialien und Oberflächenveredelungen bestimmen.

 3D DATEN HOCHLADEN >



Drag'n'Drop:

Ziehen Sie Ihre 3D Modelle direkt auf unsere Uploadfläche - hier  
Multiupload: Gleichzeitiges Hochladen von mehreren Modellen möglich  
Max. Dateigröße: 4 GB

Sie benötigen Hilfe? Wir sind für Sie da.



Heiko Ruffert

Beratung & Support

support@rapidobject.com

Mo. - Do.:

8.00 - 18.00 Uhr

Fr.:

8.00 - 17.00 Uhr

Tel.:

+49 (0) 341 2318 3732

Sicher & bequem zahlen



PayPal



Rechnung



MasterCard



VisaCard



Vorkasse



SSL - Sichere Datenübertragung

## 3D Daten hochladen und Materialien auswählen

Laden Sie jetzt eine oder mehrere 3D-Dateien gleichzeitig im STL- oder OBJ-Format hoch. Anschließend können Sie Materialien und Oberflächenveredelungen bestimmen.

[+ Neues Angebot erstellen](#)

[🗑️ Warenkorb leeren](#)

 3D DATEN HOCHLADEN >



Drag'n'Drop:

Ziehen Sie Ihre 3D Modelle direkt auf unsere Uploadfläche - hier  
**Multiupload:** Gleichzeitiges Hochladen von mehreren Modellen möglich  
Max. Dateigröße: 4 GB

**Bitte beachten Sie:**

Sie befinden sich im Geschäftskunden-Shop. Bitte beachten Sie, dass die Preise exkl. MwSt. angezeigt werden.

[zur Privatkundenansicht wechseln](#)

Ihre 3D-Modelle

Angebotsnummer:

Ihre Bestellbezeichnung:

	<p>147449_289406_Testteil_fein.stl</p> <p>Status: Modellparameter ermittelt</p> <p>Abmessung: 117,08 x 40,00 x 30,00 mm</p> <p>Volumen: 29,70 cm<sup>3</sup></p> <p>Einzelkörper: 1</p> <p><a href="#">▶ 3D Vorschau</a></p> <p><a href="#">Hinweis hinterlegen...</a></p>	<p><a href="#">📄 Material auswählen</a></p>	<p>Stückzahl:</p> <p><input type="text" value="1"/> <a href="#">+</a> <a href="#">-</a></p> <p><a href="#">📄</a> <a href="#">🗑️</a></p>	<p>Einzelpreis:</p> <p>N/A</p> <p>exkl. MwSt.</p>	<p>Gesamtpreis:</p> <p>N/A</p> <p>exkl. MwSt.</p>
---	--	---	---	---	---

Summe: N/A

[🖨️ Angebot drucken](#)

[📄 Angebot speichern](#)

[Weiter](#)

## 3D Daten hochladen und Materialien auswählen

Laden Sie jetzt eine oder mehrere 3D-Dateien gleichzeitig im STL- oder OBJ-Format hoch. Anschließend können Sie Materialien und Oberflächenveredelungen bestimmen.

[+ Neues Angebot erstellen](#)

[🗑️ Warenkorb leeren](#)

 3D DATEN HOCHLADEN >



Drag'n'Drop:

Ziehen Sie Ihre 3D Modelle direkt auf unsere Uploadfläche - hier  
**Multiupload:** Gleichzeitiges Hochladen von mehreren Modellen möglich  
Max. Dateigröße: 4 GB

**Bitte beachten Sie:**

Sie befinden sich im Geschäftskunden-Shop. Bitte beachten Sie, dass die Preise exkl. MwSt. angezeigt werden.

[zur Privatkundenansicht wechseln](#)

Ihre 3D-Modelle

Angebotsnummer:

Ihre Bestellbezeichnung:



147449\_289406\_Testteil\_fein.stl

Status: Modellparameter ermittelt

Abmessung: 117,08 x 40,00 x 30,00 mm

Volumen: 29,70 cm<sup>3</sup>

Einzelkörper: 1

[▶ 3D Vorschau](#)

[Hinweis hinterlegen...](#)

 Material auswählen

Stückzahl:

+

-



Einzelpreis:

N/A

exkl. MwSt.

Gesamtpreis:

N/A

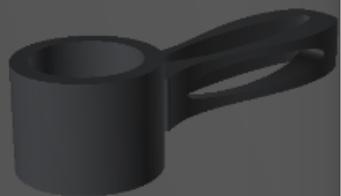
exkl. MwSt.

Summe: N/A

[🖨️ Angebot drucken](#)

[📁 Angebot speichern](#)

[Weiter](#)



## Materialauswahl

Material	Verfahren	Oberflächenveredelung	Einzelpreis (exkl. MwSt.)	Produktionszeit (voraussichtlich)	Bestellen
Express	Express		ab 32,43 €	ab 1 Tag	
Polyamide	MJF / SLS		ab 20,41 €	ab 6 Tage	
Polymere Polyjet	Polyjet		ab 62,79 €	ab 5 Tage	
Polymere Polygrafie	Polygrafie		ab 70,15 €	ab 5 Tage	
Polymere SLA	SLA		ab 61,78 €	ab 5 Tage	
Metalle	SLM		ab 164,19 €	ab 5 Tage	
ABS,PLA,PETG, Onyx	FDM		ab 33,41 €	ab 6 Tage	
Polymergips	3DP		ab 118,80 €	ab 7 Tage	
Keramik	LCM		ab 1613,21 €	ab 30 Tage	
Flexible Materialien	Verschiedene		ab 59,85 €	ab 1 Tag	
Transparente Materialien	Verschiedene		ab 62,79 €	ab 1 Tag	
Lebensmittelechte Materialien	Verschiedene		ab 20,41 €	ab 6 Tage	

[+ Neues Angebot erstellen](#)[Warenkorb leeren](#)

Abbildung:

Einzelpreis:

N/A

exkl. MwSt.

Gesamtpreis:

N/A

exkl. MwSt.

[3D DATEN HOCHLADEN >](#)

Drag'n'Drop:

Ziehen Sie Ihre 3D Modelle direkt auf unsere Uploadfläche - hier  
**Multiupload:** Gleichzeitiges Hochladen von mehreren Modellen möglich  
Max. Dateigröße: 4 GB

**Bitte beachten Sie:**

Sie befinden sich im **Geschäftskunden-Shop**. Bitte beachten Sie, dass die Preise exkl. MwSt. angezeigt werden.

[zur Privatkundenansicht wechseln](#)

Ihre 3D-Modelle

Angebotsnummer:

Ihre Bestellbezeichnung:

147449\_289406\_Testteil\_fein.stl

Status: Modellparameter ermittelt

Abmessung: 117,08 x 40,00 x 30,00 mm

Volumen: 29,70 cm<sup>3</sup>

Einzelkörper: 1

[▶ 3D Vorschau](#)

[Hinweis hinterlegen...](#)



Methode: MJF (ähnlich SLS, von HP)

Material: PA12 Schwarz

Produktionszeit  
(voraussichtlich): 6 Tage

[Material ändern](#)

Stückzahl:

+

-



Einzelpreis:

23,41 €

exkl. MwSt.

Gesamtpreis:

23,41 €

exkl. MwSt.

Summe: 23,41 € exkl. MwSt.

[Angebot drucken](#)

[Angebot speichern](#)

[Weiter](#)



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



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

Sie finden uns auch auf:



Sophia Röder  
[sophia.roeder@rapidobject.com](mailto:sophia.roeder@rapidobject.com)

Rapidobject GmbH  
Weißenfelser Str. 84  
04229 Leipzig



**rapidobject**<sup>®</sup>  
ideenzumanfassen

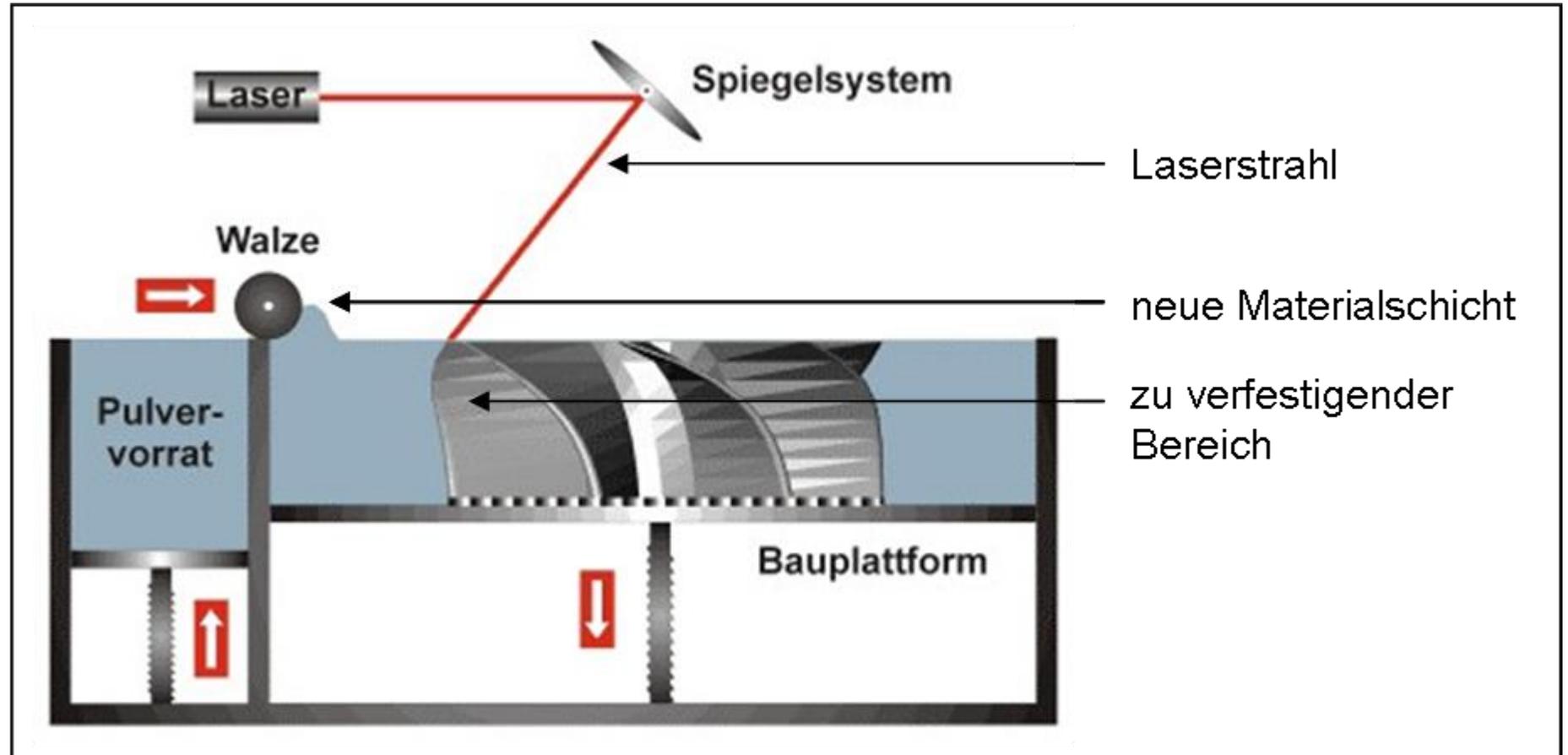
# Agenda

1. Historie
2. Stand der Technik
3. Warum ein zusätzliches Verfahren
4. Gegenüberstellung
5. Ausblick

# Historie

- Um 1900 Lichtbogenschweißen
- 1998 SLM Selektive Laser Melting entwickelt von Fraunhofer ILT und Fockele&Schwarze

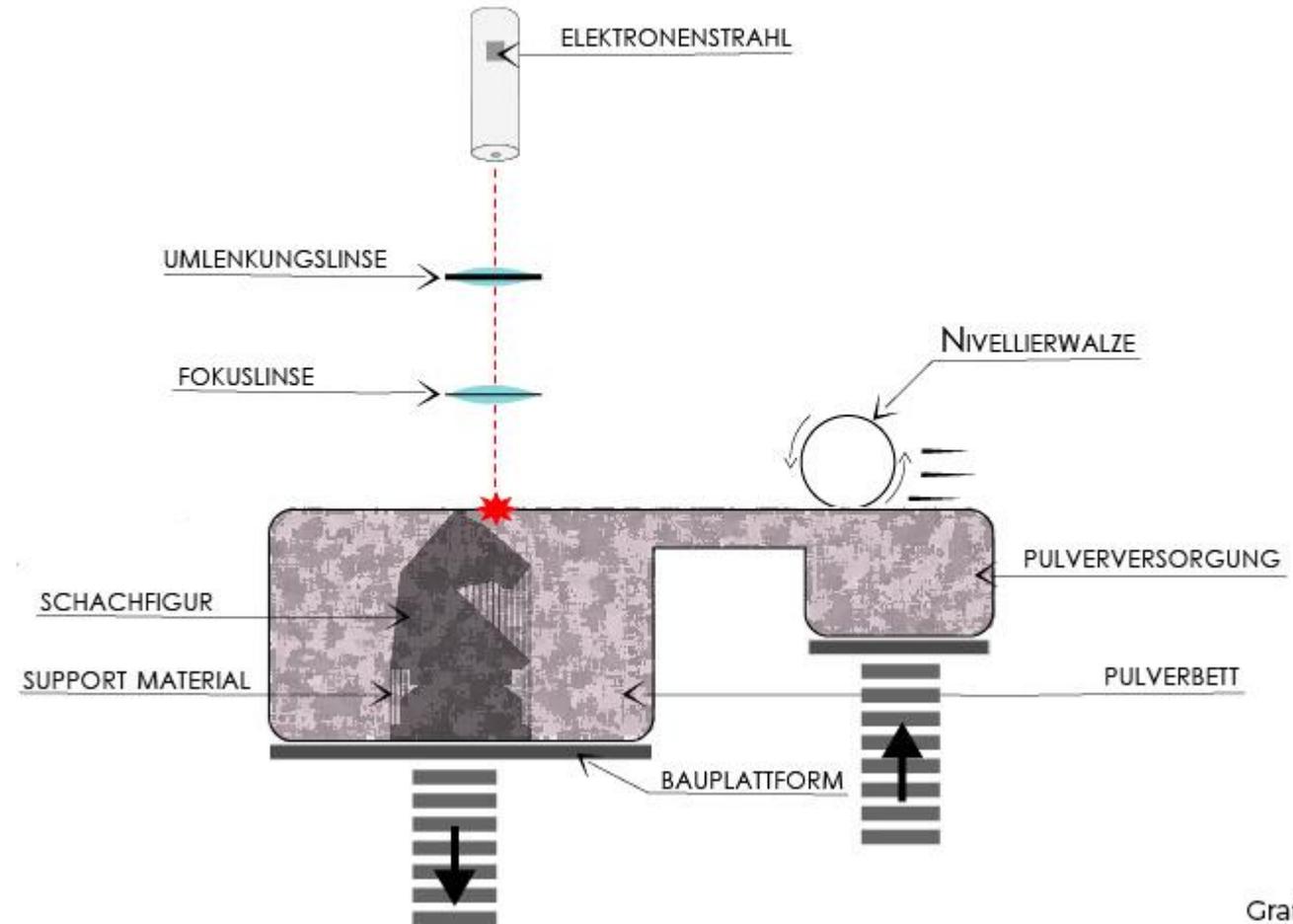
SLM-Verfahren  
Selektive Laser Melting



[https://www.google.de/search?q=slm+verfahren+geschichte&client=opera&hs=mMO&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewi1raWljsLeAhXwposKHdcWCVIQ\\_AUIDigB&biw=1880&bih=939#imgdii=mcHMJUIV\\_bngCM:&imgrc=AUDouQWDM5Te7M](https://www.google.de/search?q=slm+verfahren+geschichte&client=opera&hs=mMO&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewi1raWljsLeAhXwposKHdcWCVIQ_AUIDigB&biw=1880&bih=939#imgdii=mcHMJUIV_bngCM:&imgrc=AUDouQWDM5Te7M): 02.11.18

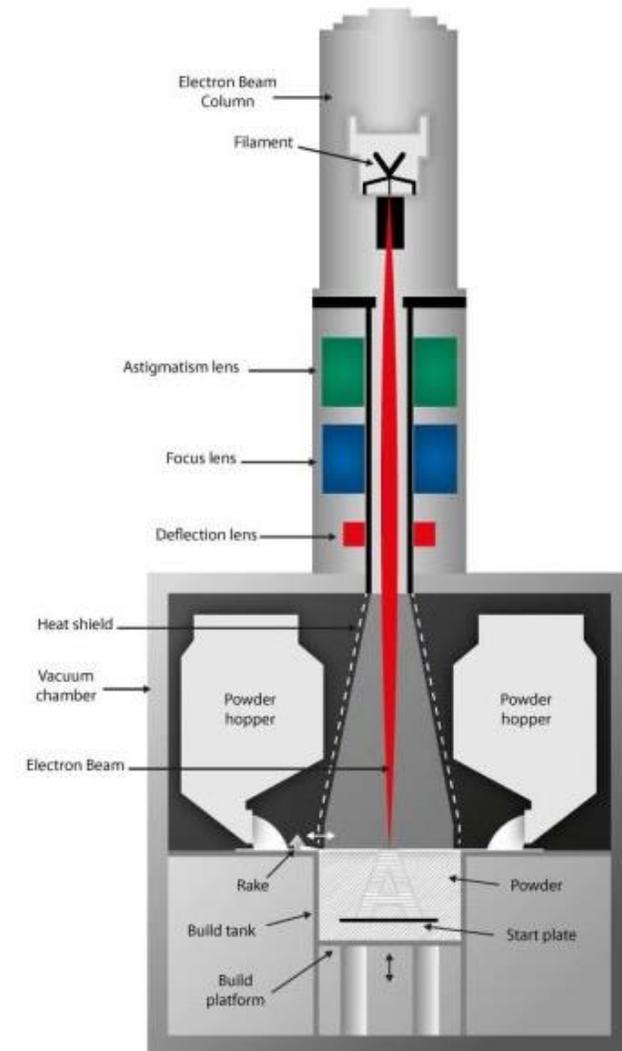
Elektronenstrahlschmelzen  
Von Arcam, Schweden, entwickelt  
und von GE gekauft

## Electron Beam Melting (EBM)



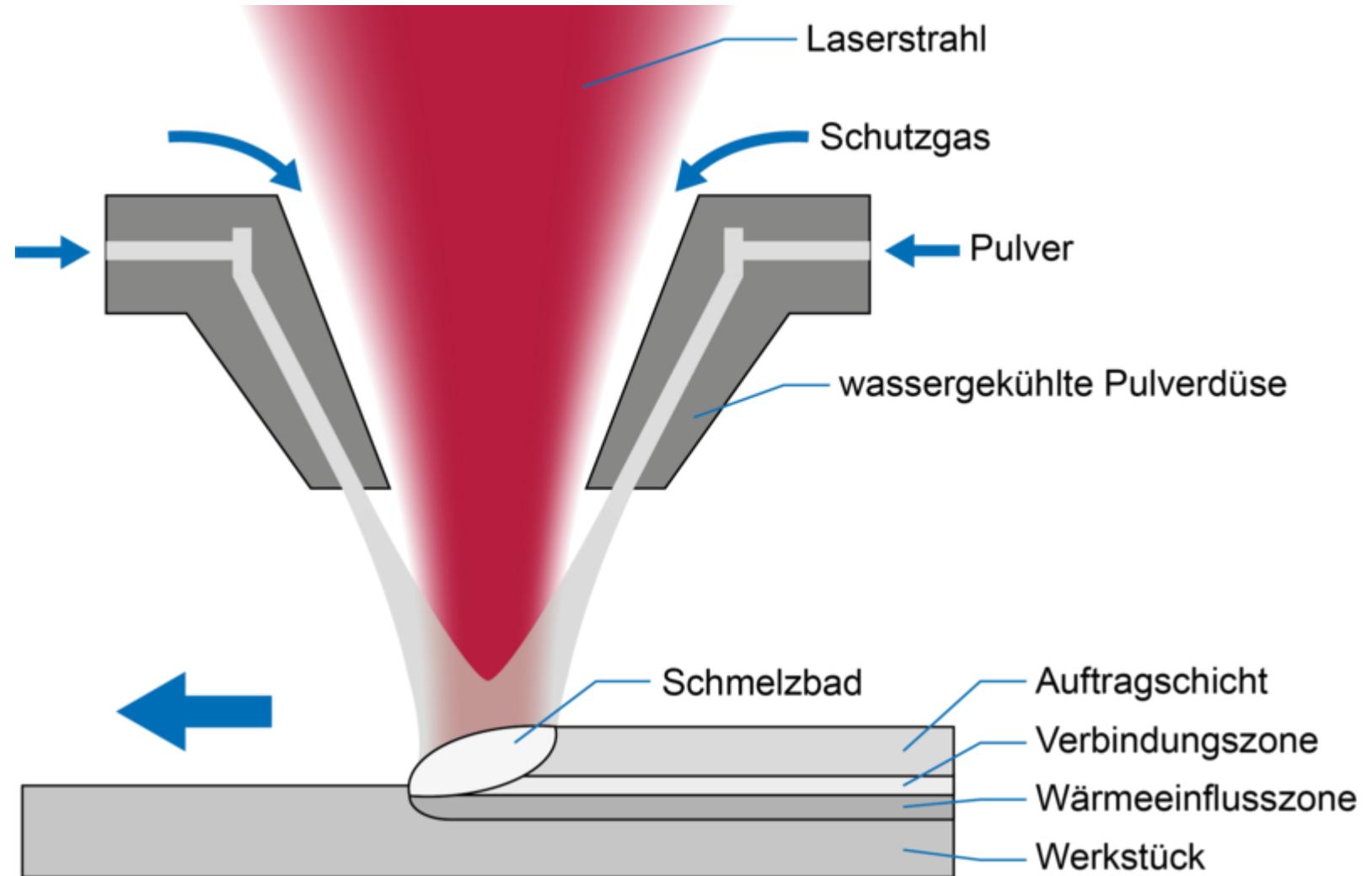
Grafik: **3Ddruck.com**

Schema: EBM im Hochvakuum



## Pulver-Düse-Verfahren

Wir von mehreren Herstellern eingesetzt



<https://www.laserline.com/de-int/additive-fertigung/> 02.11.18

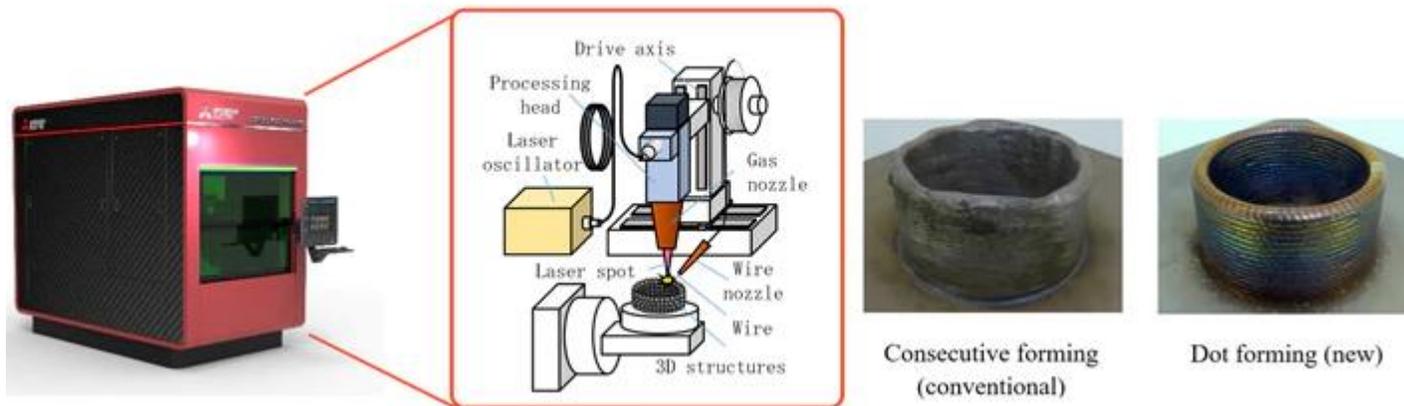
DMG Mori 3D Hybrid

5achs Laser (Pulver-Düse)  
mit 5achs Fräsmaschine



<https://de.dmgmori.com/resource/image/21364/article/xlg/3/lasertec-65-3d-hybrid-highlight-picture-2.jpg> 02.11.18

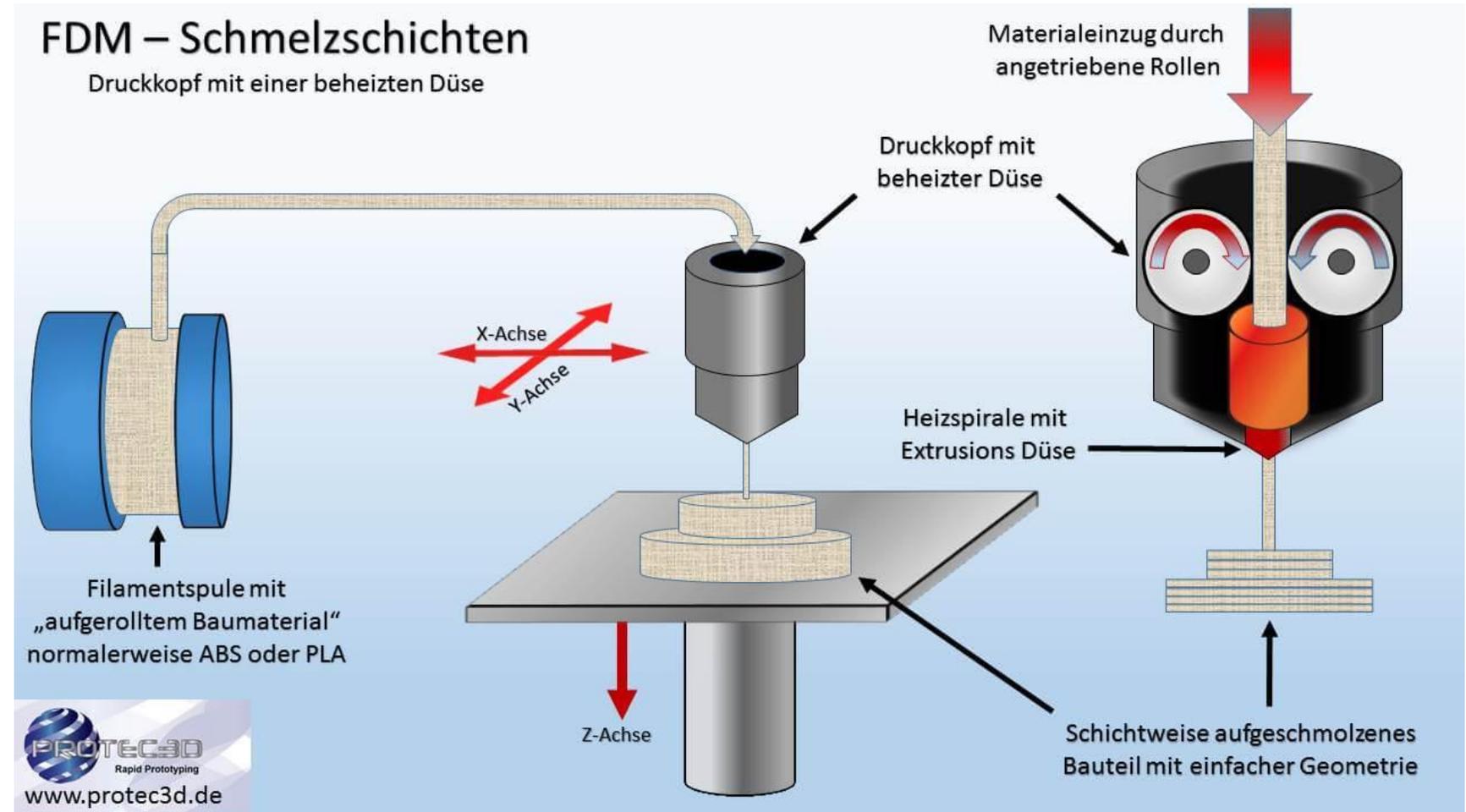
laser wire directed-energy deposition (DED) Mitsubishi Electric Japan



<https://www.3d-grenzenlos.de/magazin/3d-druckverfahren/mitsubishi-electric-direct-energy-deposition-ded-27449173/> 02.11.18

## Metalldruck im MIM-Verfahren

- MIM Metal Injection Moulding
- Metallpulver umhüllt von einer Polymermasse
- Hier als Draht im FDM-Verfahren
- Sinter-Prozess



<http://www.protec3d.de/wp-content/uploads/FDM-3D-Drucken-Schmelzsichten.jpg> 02.11.18

## HP Metal Jet (MIM – Prozess)

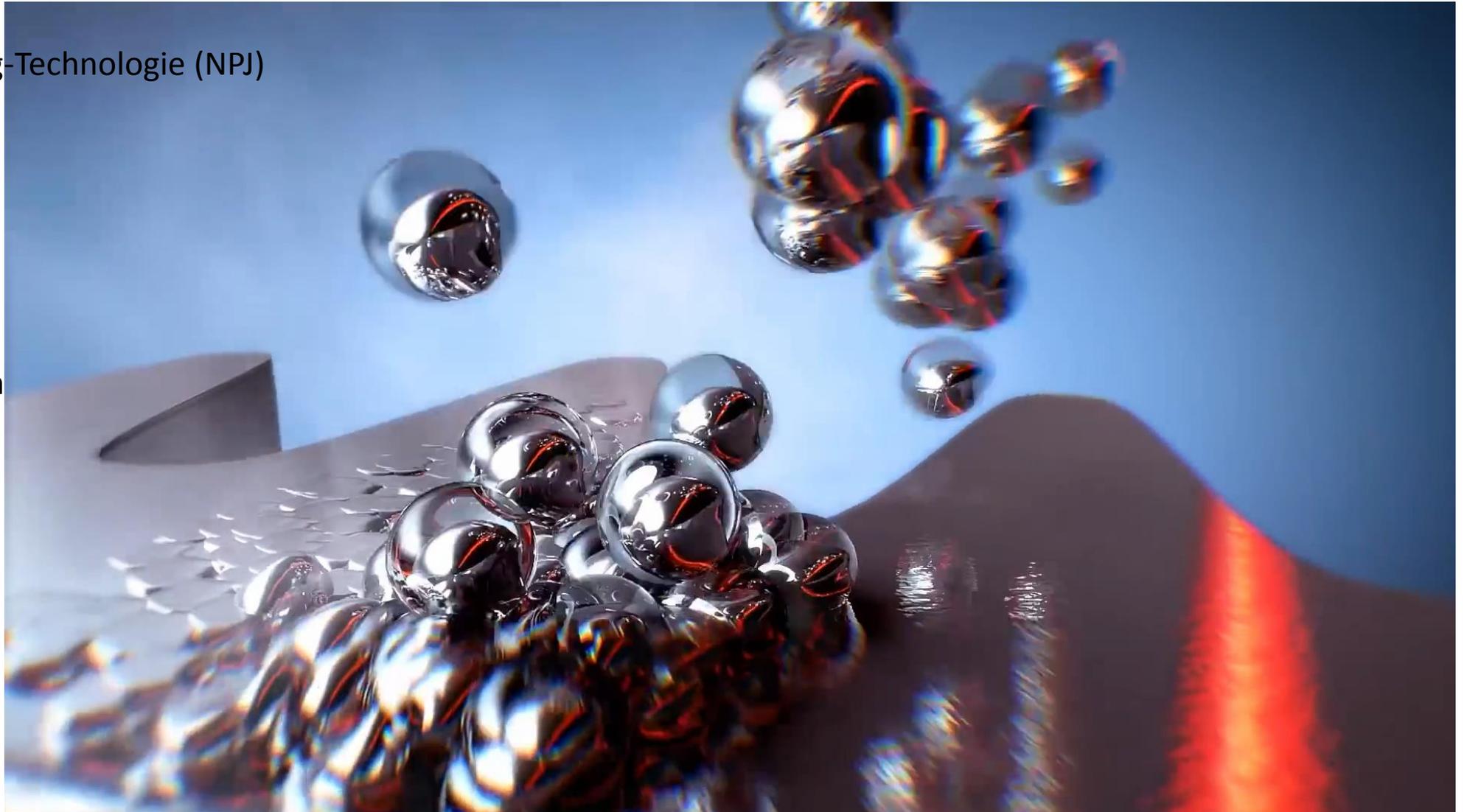
- Pulverbett und Druckköpfe
- Binding Agent
- Metall-Pulver
- Sinter-Prozess



<https://youtu.be/Igg8gQuXfR4> 02.11.18

## Nanopartikel Jetting-Technologie (NPJ) von Xjet, Israel

- Metall wird mechanisch auf die Größe von Nanopartikel gebracht und in einer Suspension verdrückt.
- Bei ca. 300°C verdampft die Suspension und die Nanopartikel bilden einen festen Körper

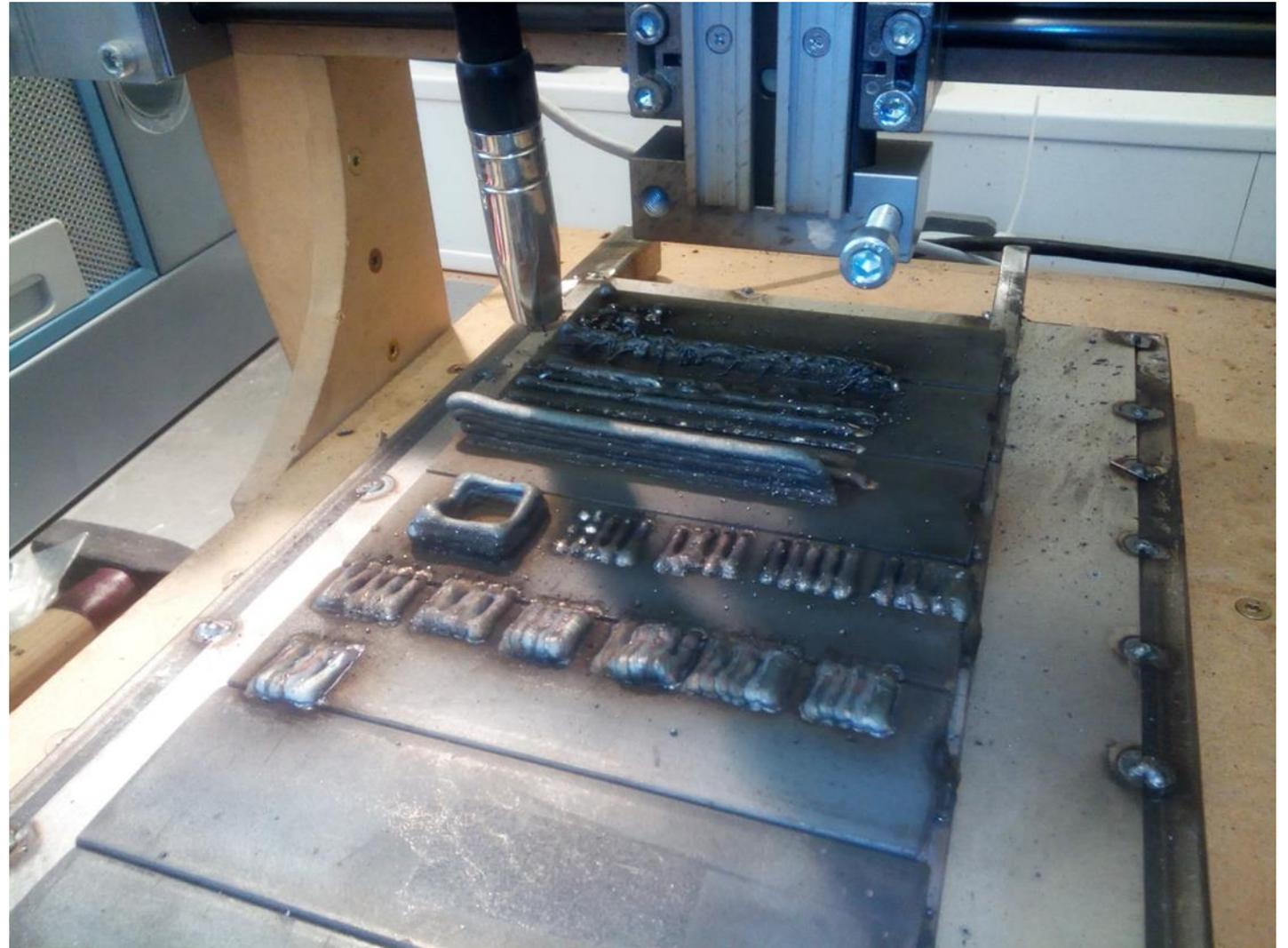


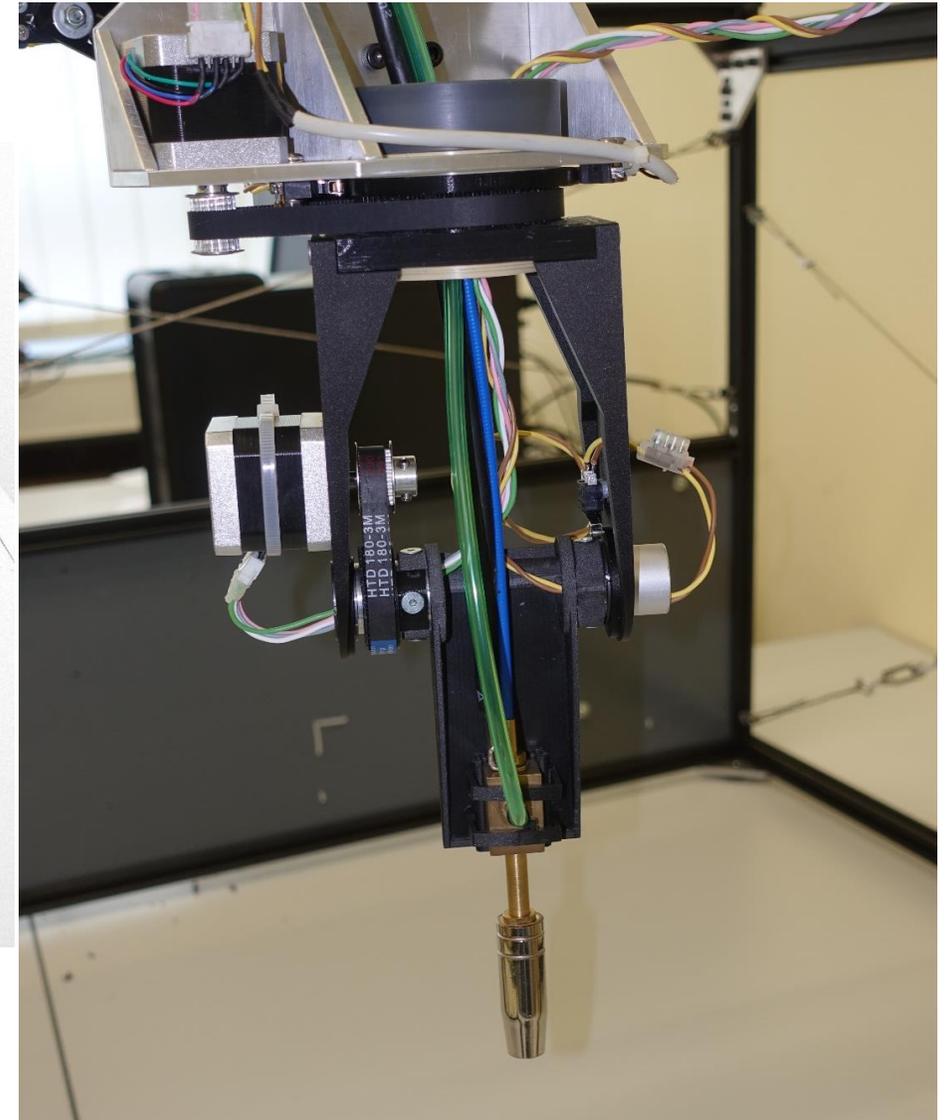
<https://youtu.be/GVGgwXwS8Aw> 02.11.18

- Vergleich klassisches AF vs. 3D-Rep

	klassisches AF	3D-Rep	LAW
Spurweite	0,5 - 1,0 mm	2 - 4 mm	~ 1,0
Schichthöhe	0,04 – 0,25 mm	1,5 – 3 mm	~ 1,0
Querschnitt	0,02 – 0,25 mm <sup>2</sup>	3 – 12 mm <sup>2</sup>	~ 1,0 mm <sup>2</sup>
		Faktor 50 – 150 gröber	

LAW Versuche 3achsrig





### Vorteile:

- Kostengünstiges Verfahren
- Keine signifikanten Größenbeschränkungen
- 5achs einsetzbar
- Kann auf bestehende Konturen aufbauen

### Nachteile:

- Detailierungsgrad deutlich schlechter als bei den anderen Verfahren

## I believe in Liquid, or what is Hyadd 3D

The logo for burms features the word "burms" in a bold, lowercase, sans-serif font. To the right of the text is a graphic of a grid of light blue squares, with a single red square at the top right corner. Below the main text, the tagline "brick uwe rapid manufacturing solutions" is written in a smaller, lowercase, sans-serif font.

burms  
brick uwe rapid manufacturing solutions

- Es gibt mehrere unterschiedliche 3D Druckverfahren. Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal, sind die zu verarbeitenden Werkstoffe.
  - Pulver ( Metall oder Plast)
  - Folien (Plast, Papier)
  - Flüssigkeiten ( Fotopolymere aus Acrylaten, Epoxiden, Tylen etc. und Mischungen aus den Grundstoffen und Zugabe von Füllstoffen)
  - Draht und Granulat (Metall und Plast)

# Hybrides Verfahren für die additive Multimaterialbearbeitung von individualisierten Produkten mit hoher Auflösung

## „HyAdd-3D“



# Ausgangssituation

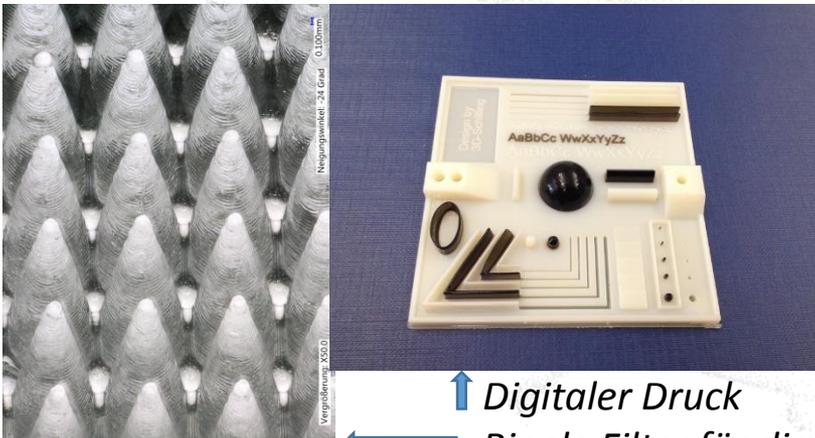
## Vorteile des 3D-Drucks

- Hohe Entwicklungsdynamik
- Hohes Innovationspotential
- Außerordentliche Flexibilität hinsichtlich fertiger Geometrien
- Vielfältige Prozesstechnologien bekannt und weit fortgeschritten
  - > Stereolithografie
  - > Multi-Jet-Modeling
  - > Inkjet 3D Printing



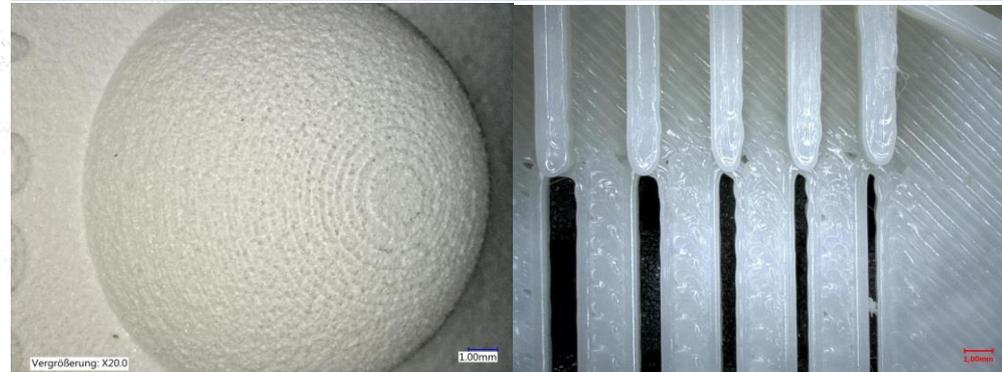
## Probleme

- **Eingeschränkte Anzahl** verarbeitbarer Werkstoffe
- **Bauteilqualität** zumeist ungenügend und genügt selten den Anforderungen der Anwendung
  - > Verlängerung der Prozesskette durch **Nachbearbeitung**
  - > hohe Stückkosten
  - > unerschlossene **Anwendungsfelder**
- Verarbeitung unterschiedlicher Werkstoffe mit variierenden Bauteileigenschaften kaum oder nicht möglich



↑ Digitaler Druck

← Ripple Filter für die Strahlentherapie



# Zielstellung - Innovation

➔ **Entwicklung eines hybriden Verfahrens für die additive Multimaterialbearbeitung von individualisierten Produkten mit hoher Auflösung**

## Exakt

- ✓ Polymerisation durch Laser und/oder DLP-Projektor ermöglicht hohe XY-Auflösungen ( $\approx 20\mu\text{m}$ )
- ✓ Endformnahe Produkte

## Vielseitig

- ✓ Umsetzung einer Verfahrenskombination mit den Vorzügen von SLA, MJM und IJM
- ✓ Verwendung von verschiedenen Materialreservoirs zur Bereitstellung verschiedener Basispasten
- ✓ Individuell angepasste Bauteile
- ✓ Maßgeschneiderte Bauteileigenschaften

## Ausbaubar

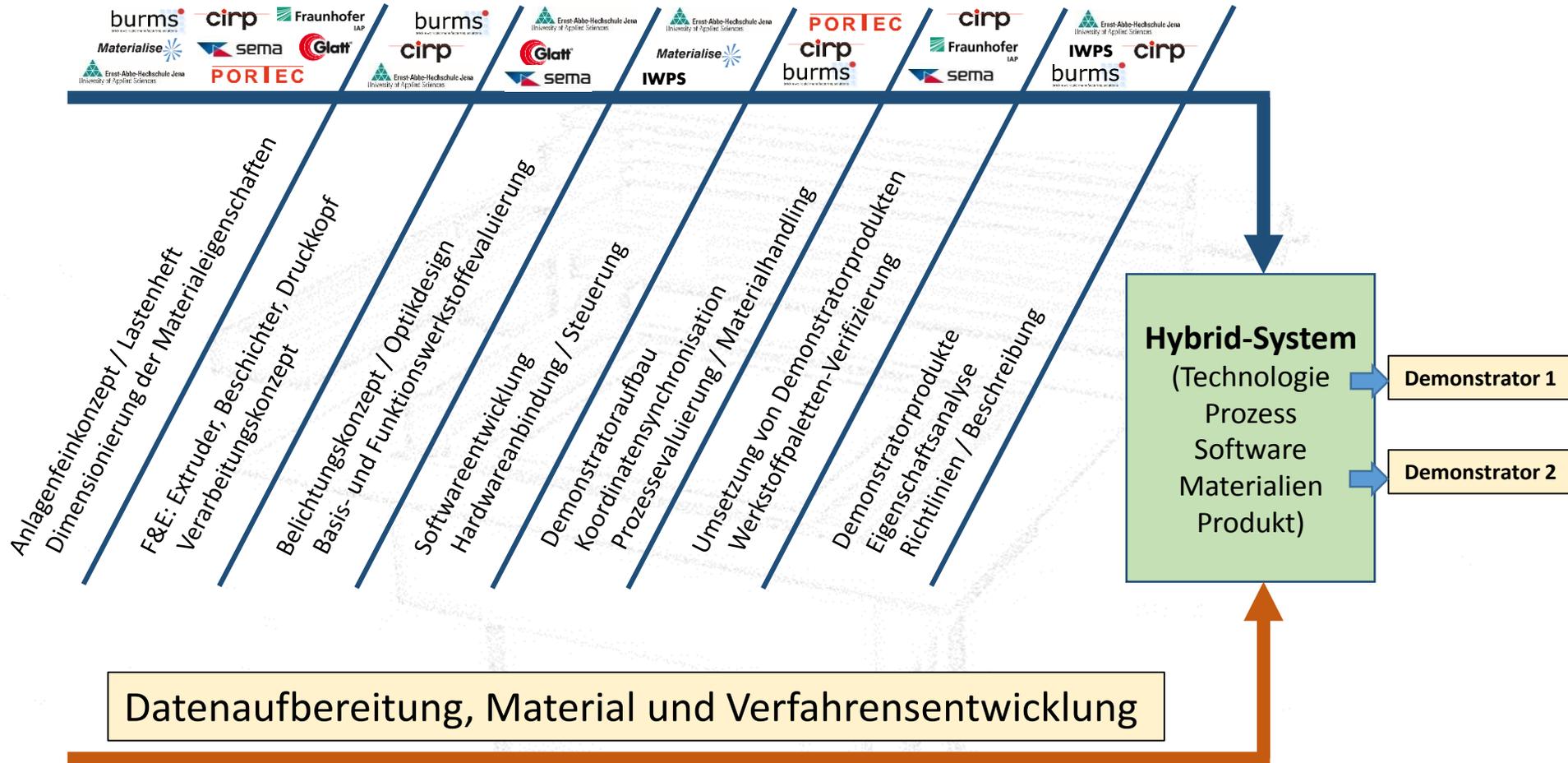
- ✓ Synchronisation von Druckkopf und Stereolithografie eröffnet Optionen für die jeweilige multiple Verwendung dieser beiden Systeme

**Patent/Offenlegungsschrift: (EAH/Burms): DE102014111559 A1**

# Zielstellung - Funktionalitäten

	<b>HyAdd3D hybrid</b>	<b>MJM</b>	<b>IJM</b>	<b>Laser-SLA</b>	<b>Projektor- SLA</b>
Auflösung	<b>XY = 20µm Z = 20µm</b>	XY > 34µm Z > 15µm	XY > 100µm Z > 90µm	XY = 10µm Z > 50µm	XY = 30-150µm Z > 5µm
Prozess- Geschwindigkeit	<b>++(+)</b>	-	+++	-	+++
Material- spektrum	<b>hybrid</b>	begrenzt	begrenzt	begrenzt	begrenzt
Materialwechsel	<b>++</b>	+	-	-	+++
Multicolor	<b>Yes</b>	Yes	Yes	No	No
Multimaterial	<b>Yes</b>	Yes	No	No	No
Materialmenge	<b>++</b>	+	+	-	(+++)
Nacharbeit	<b>++</b>	-	+	-	+

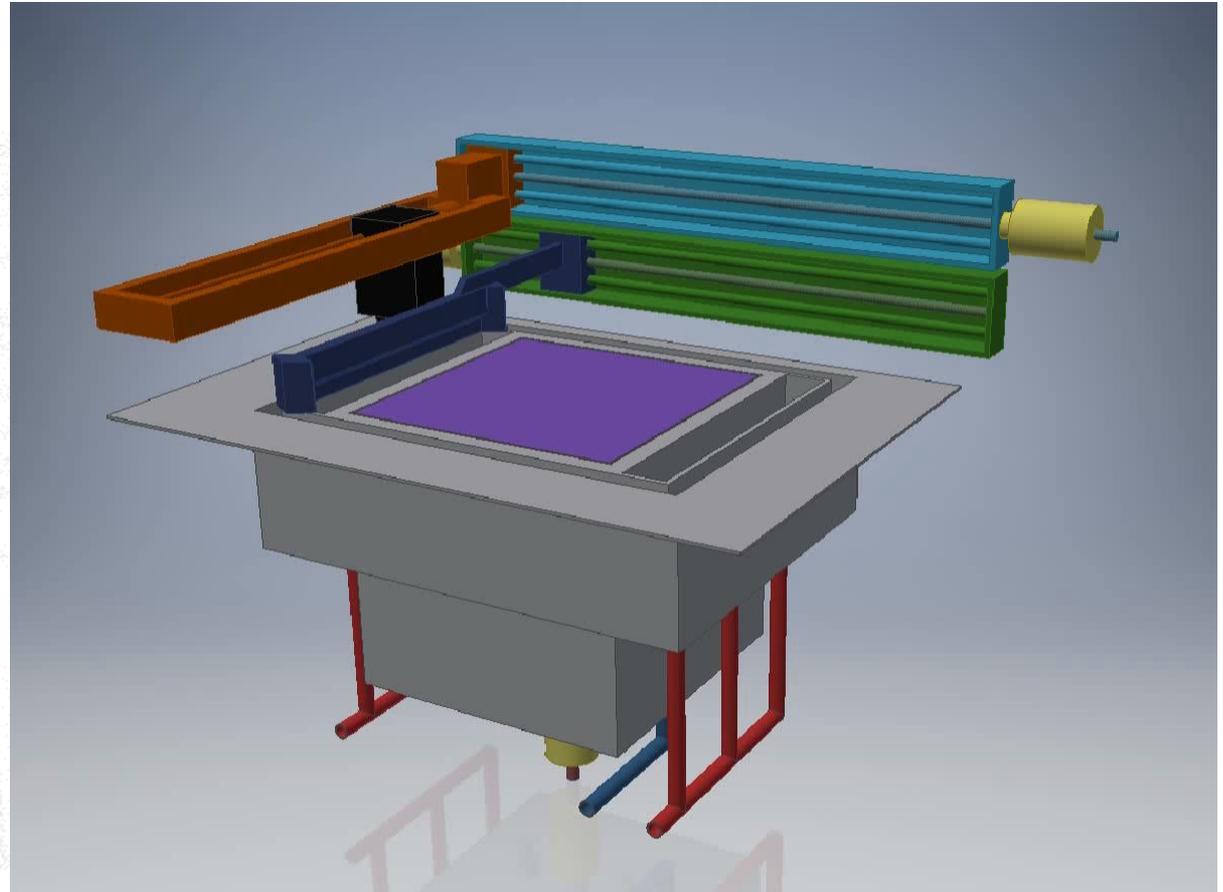
# F&E-Stufen/ Aufgabenteilung



# F&E-Stufen – Lösungsweg

## ➔ Umsetzung eines hybriden Druckverfahrens

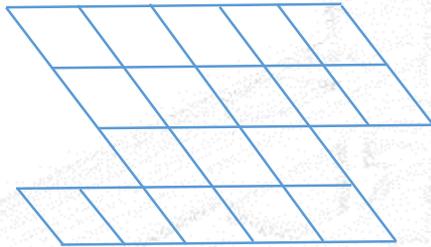
- F&E eines hochpräzisen Speed-Coaters zum Auftrag von 20µm-Schichten
- Dimensionierung eines Materialbereitstellungssystems mit Rückführsystem
- Auslegung einer 2-achsigen Druckkopfaufnahme



# Ausgewählte F&E-Stufen – Lösungsweg

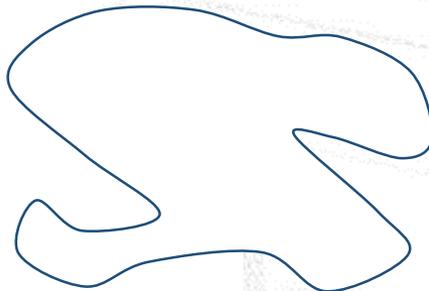
## ➔ Implementierung eines multiplen Belichtungssystems

### LCD-Projektion



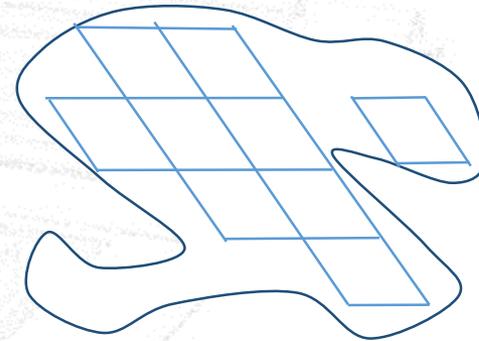
- ✓ Schnell
- ✓ Niedrige Auflösung auf größeren Flächen

### HD-Laserscanning



- ✓ Präzise
- ✓ Niedrige Geschwindigkeit auf größeren Flächen

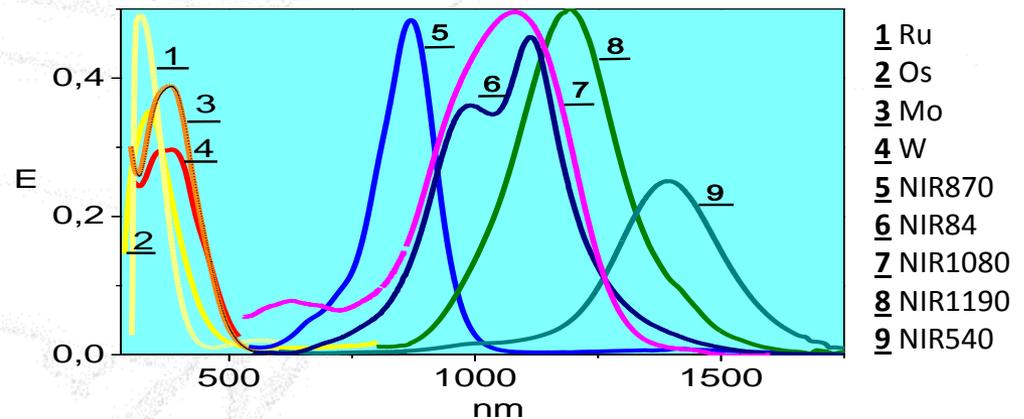
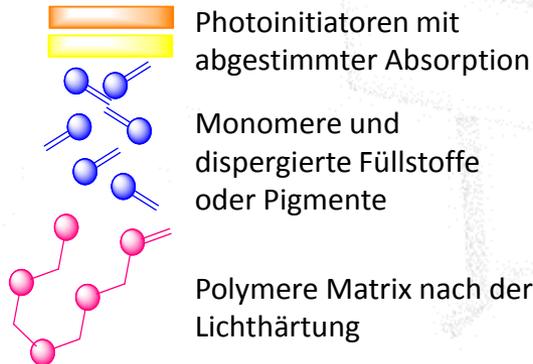
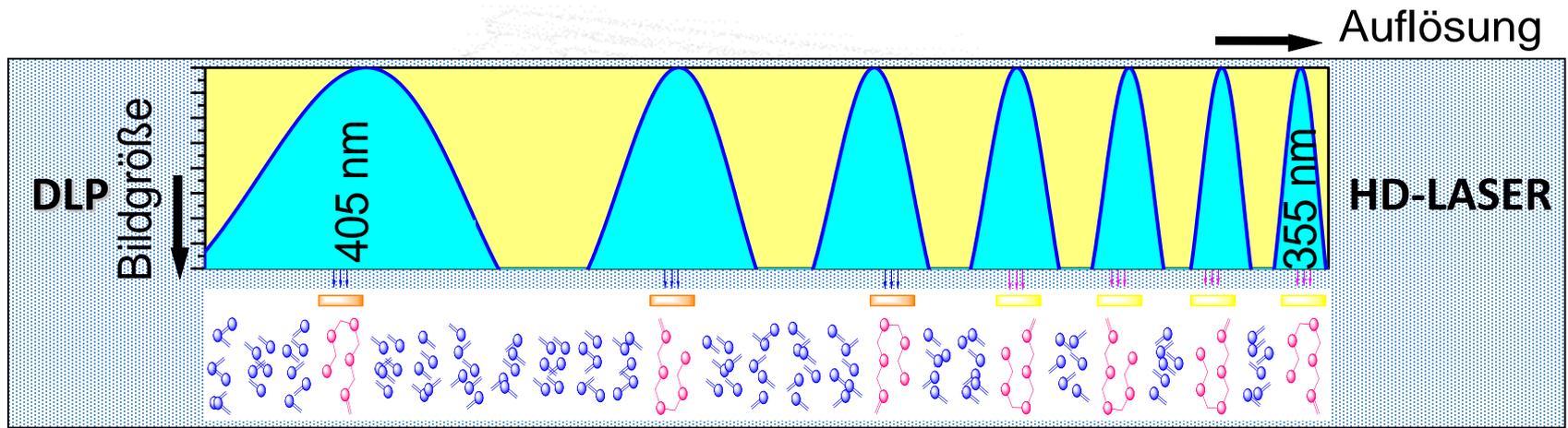
### Two-Way-System



- ✓ Schnell
- ✓ Präzise
- ✓ Höchste Auflösung bei größeren Flächen
- ✓ Höchste Geschwindigkeit bei größeren Flächen

# Ausgewählte F&E-Stufen – Lösungsweg

➔ Entwicklung geeigneter Photoinitiatoren



# Ausgewählte F&E-Stufen – Lösungsweg

## → Entwicklung geeigneter Photoinitiatoren

Funktion / Farbe	Material	Anwendung
Elastizität Hart → weich	Photocrosslinker mit definierten molekularen Massen $M_n$ (klein) → $M_n$ (groß)	Integrierte Druckknöpfe (Fenster) in stabiler Wand
Elektrische Leiter	CNT, Nanometall, PEDOT, ... disperse Phototinten; Electrochrome Polymere, photocurable Elektrolyte.	Integrierte Leiterbahnen, Elektrodenflächen, Batterien, Electrochrome schaltungen
Formgedächtnis	Photocrosslinker mit semikristallinen Eigenschaften	Thermischer Auslöser
Quellbarkeit	Hydrophile / hydrophobe Reaktivverdünner	Schutz / Sensorik



## Entwicklung von Hochleistungsfüllstoffen

### Einstellbare Größe & Oberfläche

- von nano bis mikro
- besonders enge Partikelgrößenverteilung
- anpassbare spezifische Oberfläche

### Besonders hohe Homogenität

- die gleiche chemische und mineralogische Zusammensetzung resultiert aus der identischen Behandlung der Partikel

### Nahezu frei einstellbare chemische Zusammensetzung

- die chemische Zusammensetzung ist frei einstellbar bei Verwendung von Rohstofflösungen
- einfache oder dotierte Oxide, Mischoxide

### Einstellbare Phasenzusammensetzung

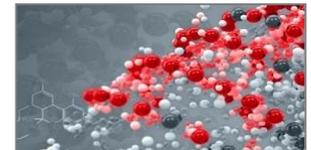
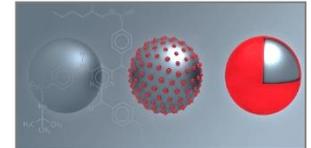
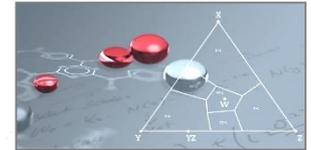
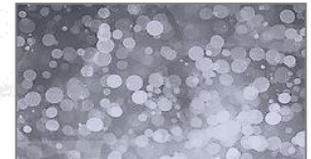
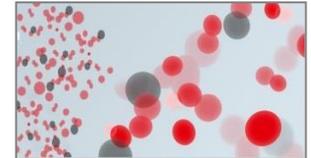
- einstellbar über Prozessparameter
- auch Hochtemperaturphasen wie Korund oder Mischoxide wie Spinell oder Mullit möglich

### Coatings & Core-shell

- kundenspezifische Core – Shell - Partikel möglich
- definierte Schichtdicke, Porosität und Aktivität

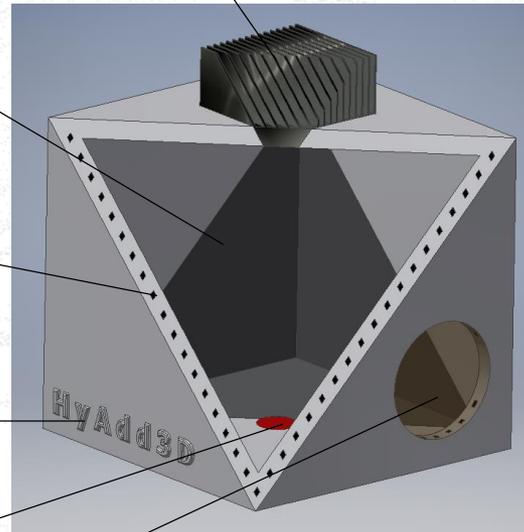
### Sphärische Morphologie

- sphärische Partikel resultieren aus der Art der Rohstoffkomponente (Rohstofflösung)

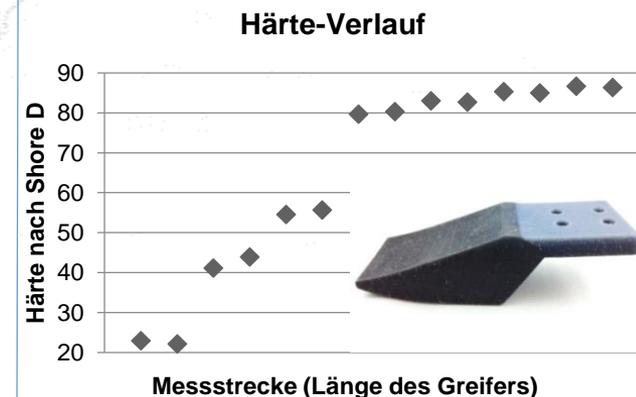


# Hybride der Anwendung - Potenzial

- ✓ Wärmeleitschichten/-isolierungen
  - Kühlkreisläufe
- ✓ Batteriekomponenten
  - Autonome Systeme
  - Versorgung integrierter Aktoren
- ✓ Multimaterialsysteme
- ✓ Farbstoffsolarzellen
  - Integrierte Versorgung
  - Nachladefunktionen
- ✓ Mech./elektr. Matrizen
  - Faraday'scher Käfig
  - Interne Stützstrukturen
  - Leiterbahnen
- ✓ Gedächtniswerkstoffe
  - Echtheitszertifikate
  - Mechanische Warnsysteme
- ✓ verlorene Formen
- ✓ Elektrochrome Schichten
  - Abdunkelung



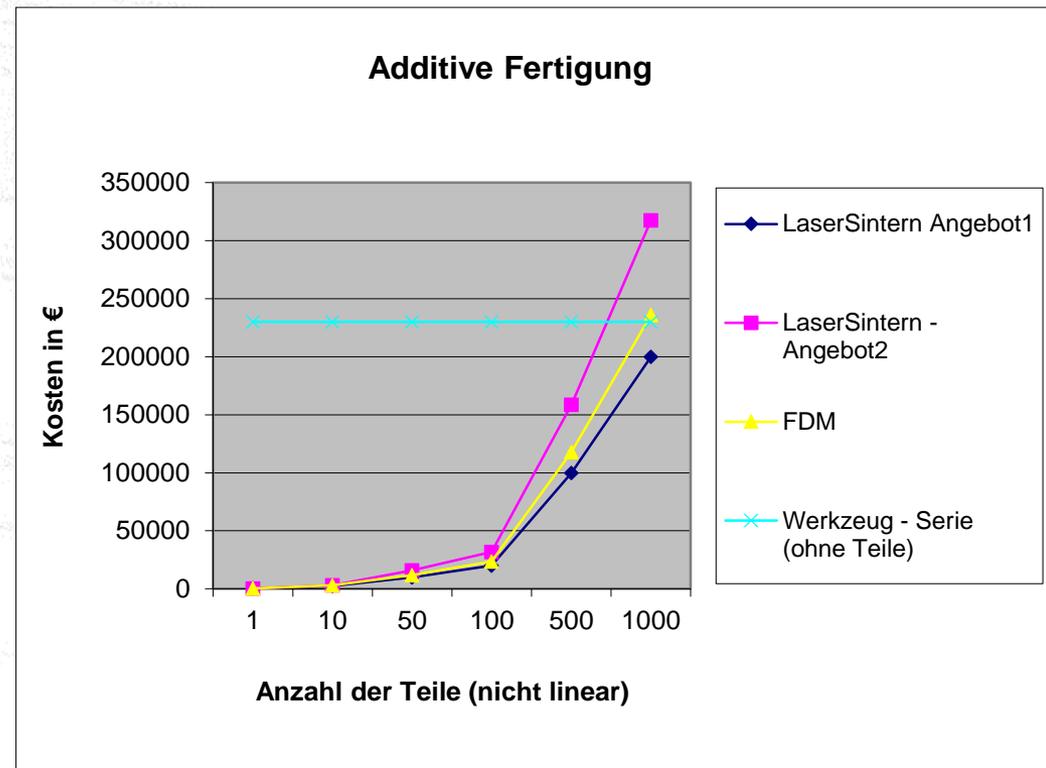
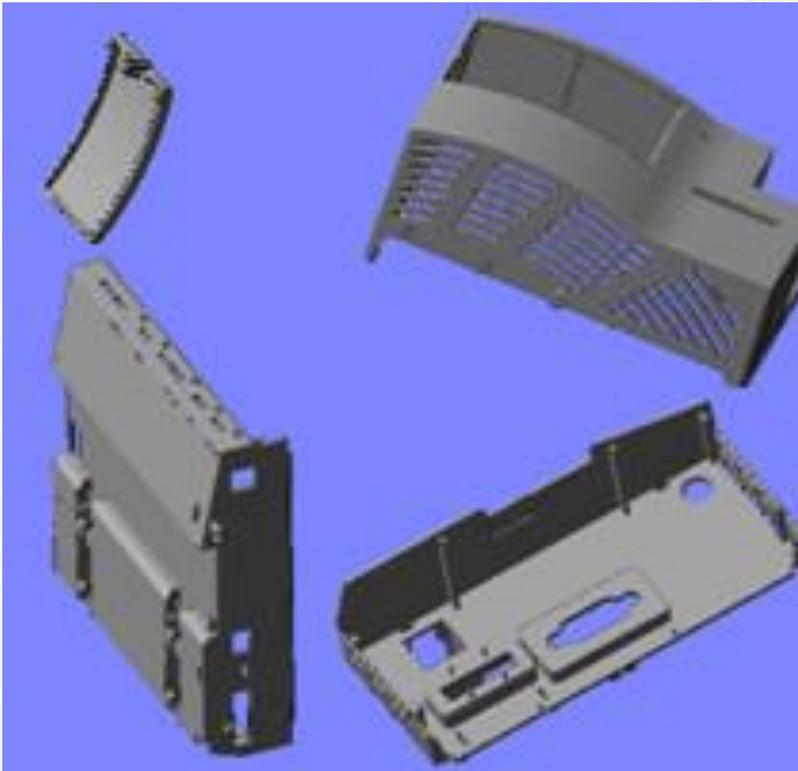
**Trachealkanülen aus Kunststoffen mit Makro-Material-Gradienten, formangepasste Herstellung mittels 3D-Druck**



# Verwertung - Potenzial/ zukünftige Märkte

## ➔ Gehäuseanwendungen - Elektronik

Realanalyse am Beispiel eines 4-teiligen Gehäuse in der Automatisierungstechnik



Werkzeugkosten: 230.000 €

Analyse Kostenverlauf bei kommerziellen Additiven Fertigungsverfahren

# Verwertung - Potenzial/ zukünftige Märkte

➔ Gehäuseanwendungen – Kameras in kleinen Stückzahlen

Ausgewählte Prozessschritte für Frontgehäuse einer IR-Kamera



Einsparung von Prozessstufen,  
Direkter Weg zu funktionsangepassten Gehäusen

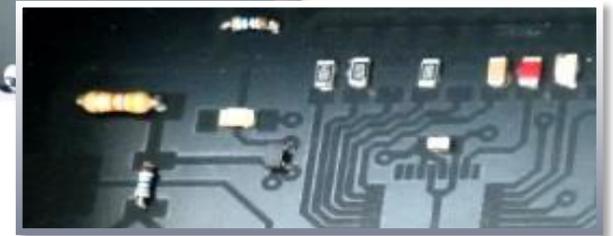


Quelle: Bliedtner, J. Lasermaterialbearbeitung. Hanser 2013

# Verwertung - Potenzial/ zukünftige Märkte

## → Gehäuseanwendungen – MID

MID (Molded Interconnected Devices) Anwendungen - individualisiert



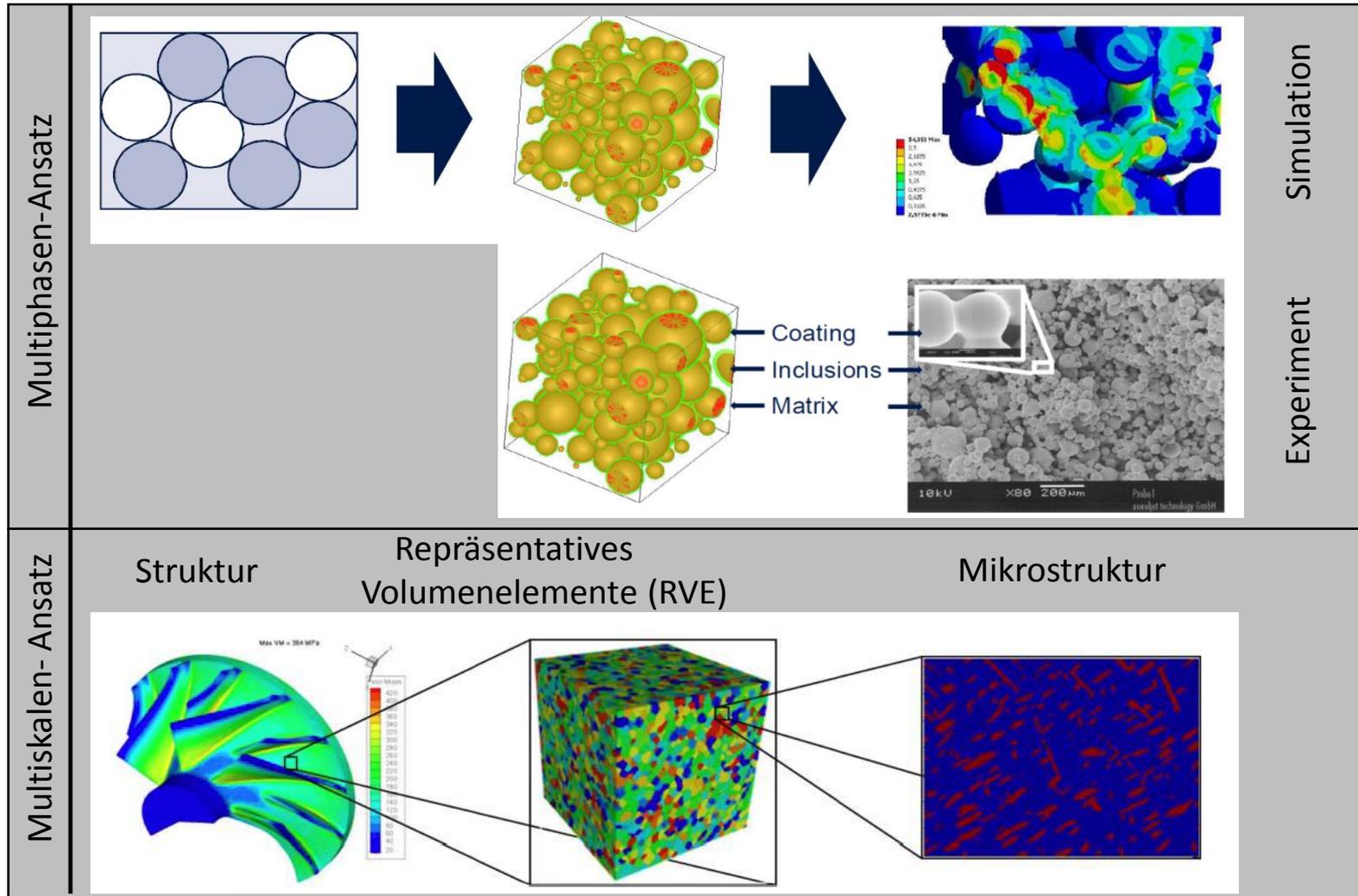
Funktionalisierung: orts aufgelöste elektrische Leitfähigkeit im Bauteilvolumen

# Verwertung - Potenzial/ zukünftige Märkte

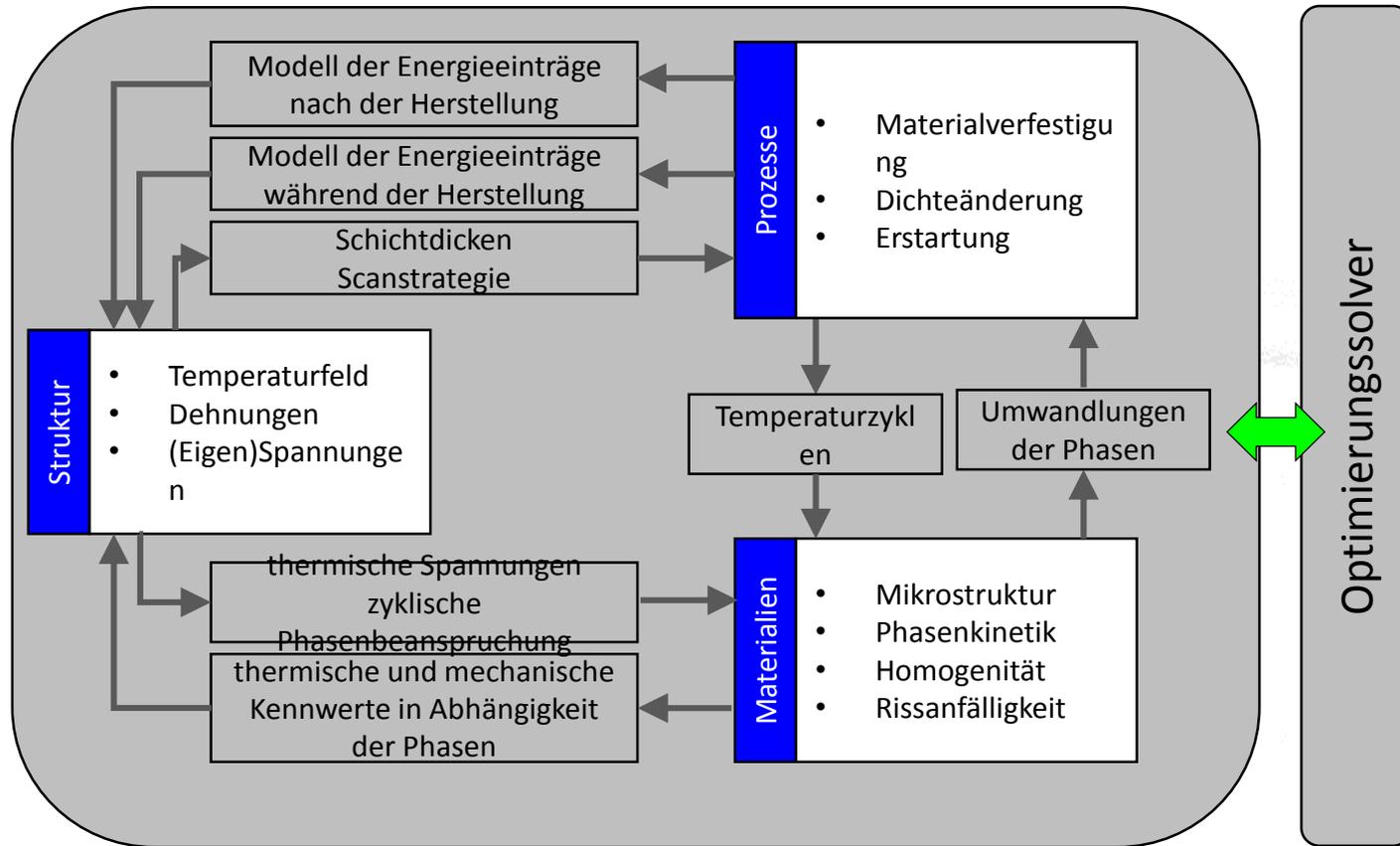
- ➔ **Additive Fertigung mit Multimaterialsystemen/Hochleistungsfüllmaterialien**
- ➔ **Erzeugen von Volumenkörpern mit Gradienteneigenschaften**
- ➔ **Einsparung von Werkzeugkosten bei kleinen Losgrößen ( z. B. < 100 Teilen)**
- ➔ **durchgängige Softwarelösung mit Zuweisung bauteilspezifischer Funktionen**
- ➔ **Märkte:**
  - **Elektronikindustrie**
  - **Medizintechnik**
  - **Hausgerätetechnik**
  - **MID-Anwendungen**
  - **Kommunikationstechnik**
  - **Kamerasysteme**
  - **digitale Systemtechnik**
  - **Pumpentechnik**
  - **.....**



# Methodische Vorgehensweise zur Simulation der Füllstoffe, des lokalen und globalen Materialverhaltens



# Ansätze zur FE-Simulation additiver Fertigungsprozesse



- Bestimmung von zeit- und ortsabhängigen Dehnungen und Spannungen in der Struktur
- Anpassung des Prozesses durch Kopplung mit Optimierungssolver

---

# Werkstoffmechanische Bewertung additiv gefertigter Bauteile“

Merseburger Herbstforum

---

“A Revolution in the Making,”<sup>1</sup>

1. Korten J. A revolution in the making. *The Wall Street Journal*, June 11, 2013.

“Print Me a Stradivarius,”<sup>2</sup>

2. The Economist. Print me a Stradivarius. *The Economist*, February 11, 2011.

“3D  
Printing Is Revolutionizing Product  
Development.”<sup>3</sup>

3. Shinal J. 3D printing is revolutionizing product development. *USA Today*, March 20, 2013.

# Fraunhofer IMWS



# Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick

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



**25 527** Mitarbeitende



**72** Institute und  
Forschungseinrichtungen

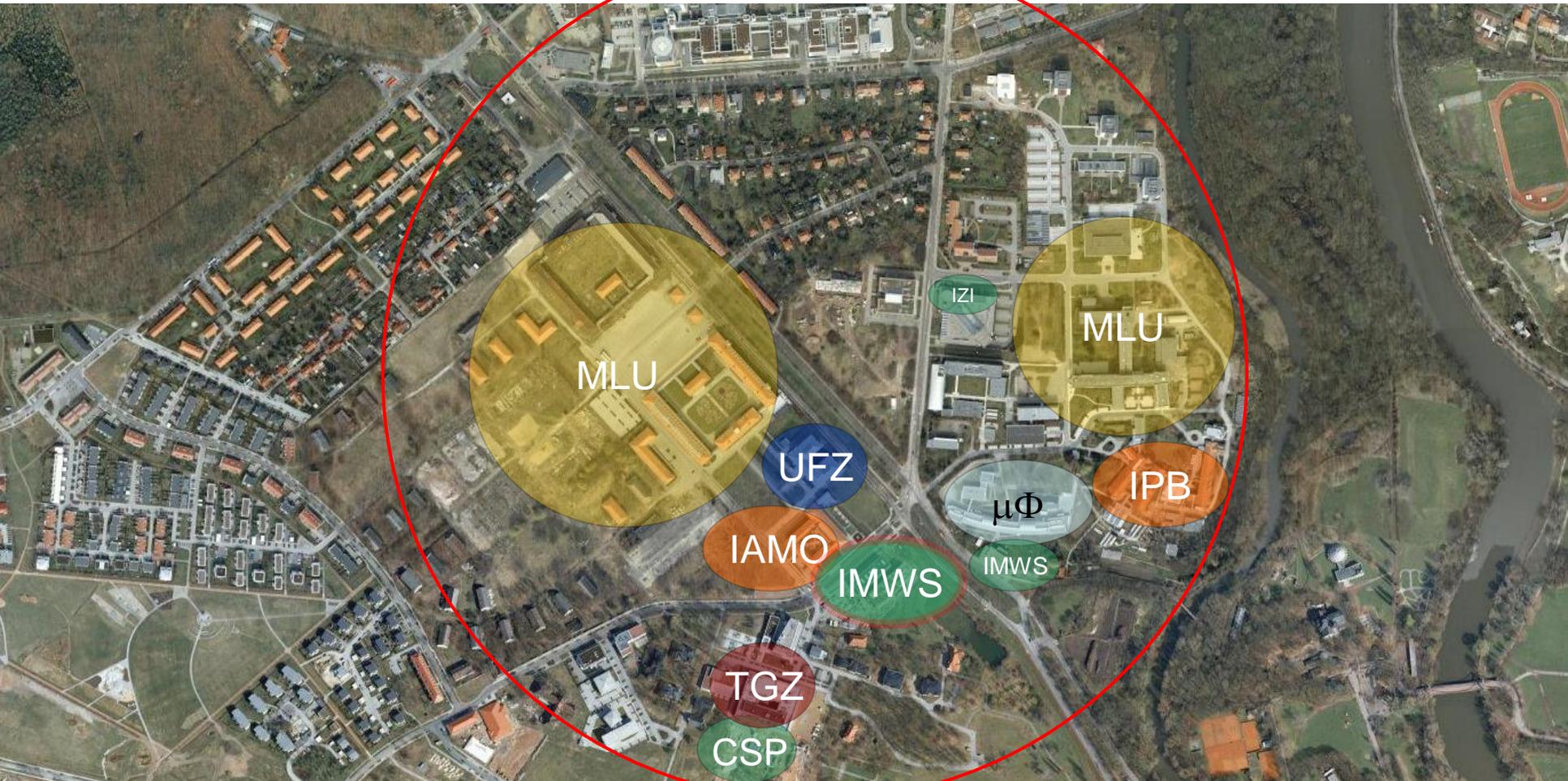


**2,3 Mrd. Euro**  
Forschungsvolumen



# Standort Weinberg Campus Halle (Saale)

weinberg  
campus  
GERMANY HALLE (SAALE)



# Fraunhofer IMWS auf einen Blick

## Institutsleiter:

- Prof. Ralf B. Wehrspohn

## Standorte:

- Halle (Saale)
- Schkopau
- Freiberg
- Soest
- Leuna (ab 2019)

## Kennzahlen (2017)

- 284 Beschäftigte
- 20,4 Mio.€ Betriebshaushalt
- 25,4 % Industrieertrag
- Qualitätsmanagement ISO 9001-2017



Fraunhofer IMWS Halle

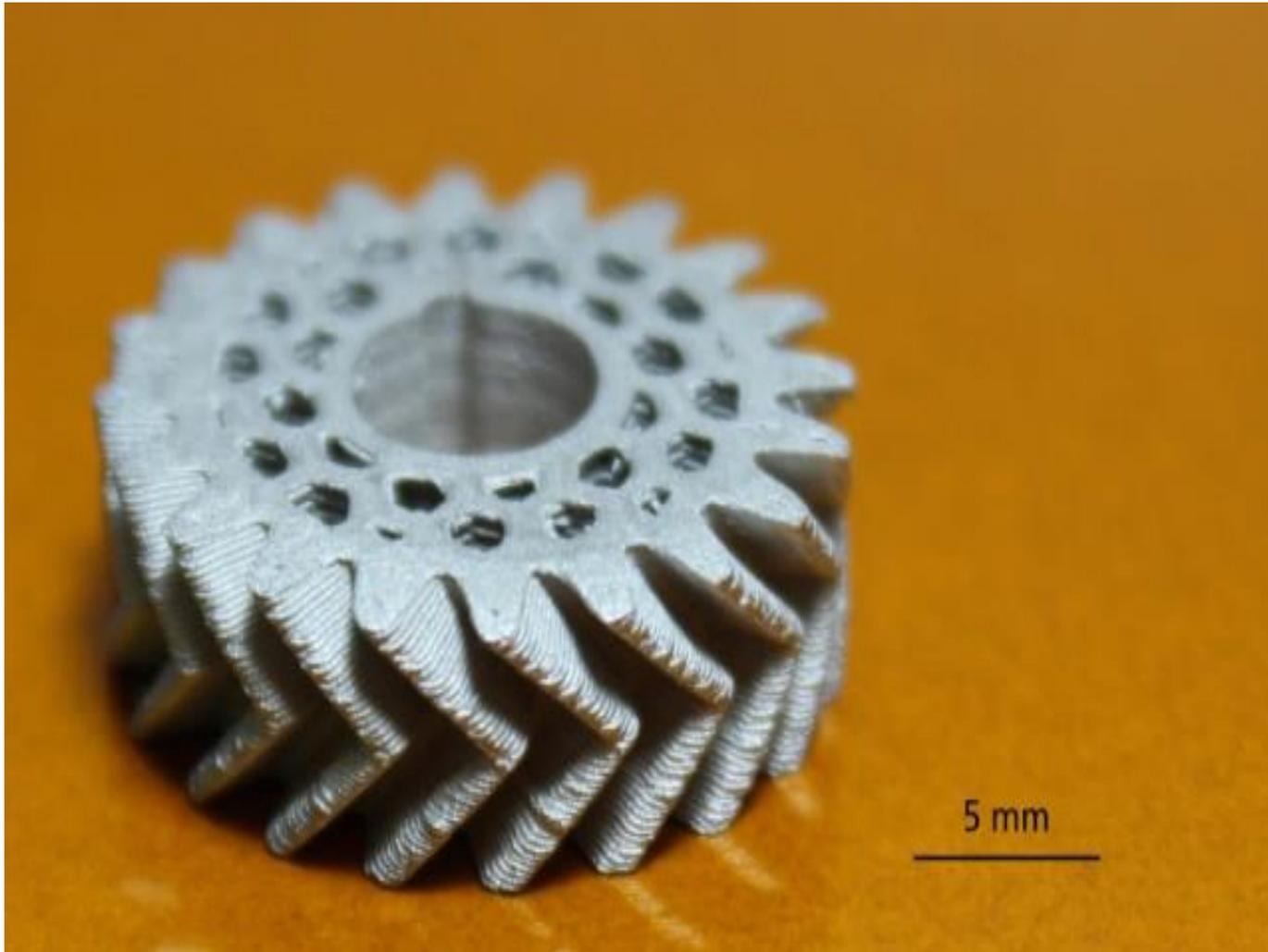


Fraunhofer IMWS Schkopau



Fraunhofer IMWS Soest

## 3D-Druck mit Filamenten ...

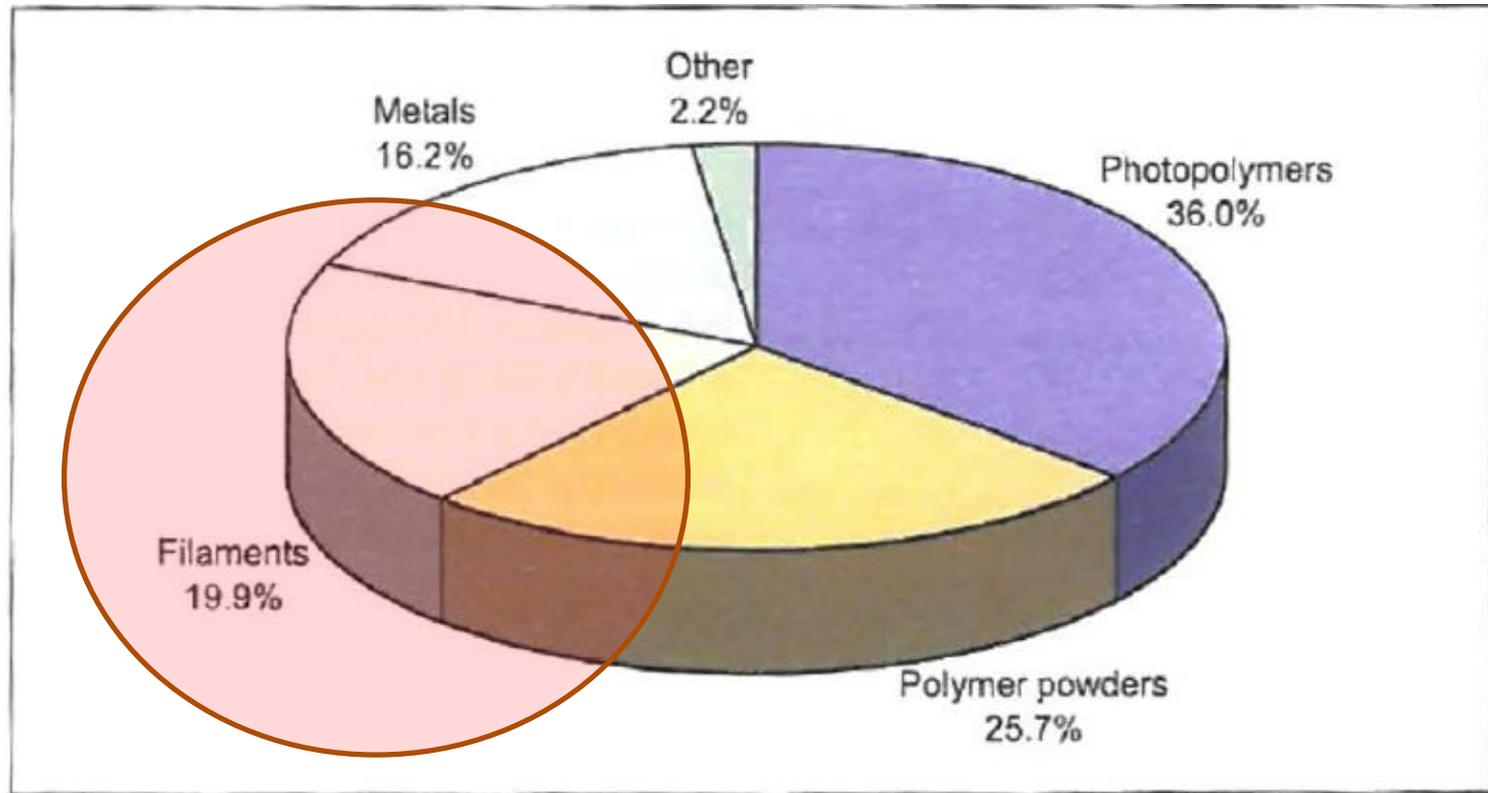


© Fraunhofer IFAM Dresden Fused Filament Fabrication - gedrucktes und gesintertes Getrieberad

# Treibende Kräfte für Entwicklung

- Patente für Fertigungstechniken fallen
  - FDM (FFF)
  - Stereolithographie
  - SLS, SLM
- Kostengünstigere Anlagen
  - FDM: ab € 1000
  - STL, SLS: ab ca. € 10 000
- »offene« Maschinenkonzepte
  - freiere Wahl der Prozessparameter
  - offen für neue Werkstoffe
- Höhere Akzeptanz der AM-Verfahren
  - AM nicht mehr als »Nische« gesehen
- »Präsenz« von AM
  - Anwender (Airbus, GE, ...)
  - Grundstofflieferanten (Heraeus, ...)
  - Anlagenbauer (HP, Trumpf, ...)
  - Standardisierung

# Materialien ?

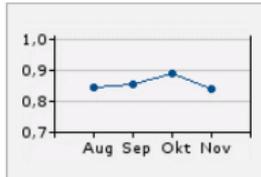


Source: Wohlers Associates, Inc.

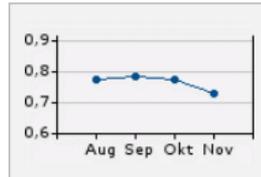
# Kosten ?

## Commodities - Granulat

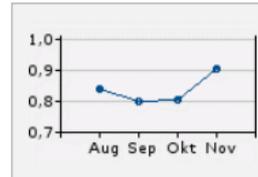
PE-HD



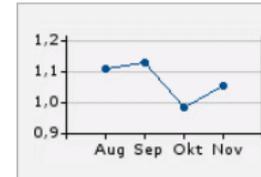
PE-LD



PP

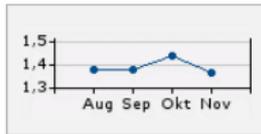


PS

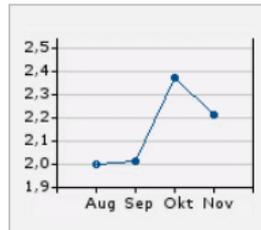


## Technische Kunststoffe - Granulat

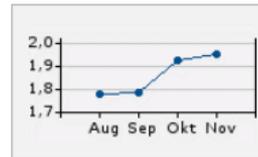
ABS



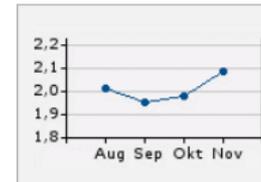
PC



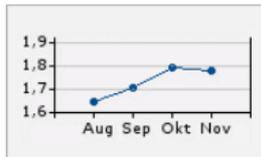
PA 6



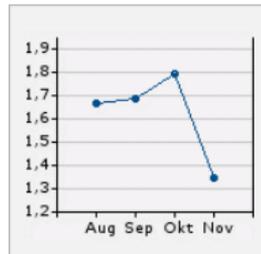
PA 6.6



PBT



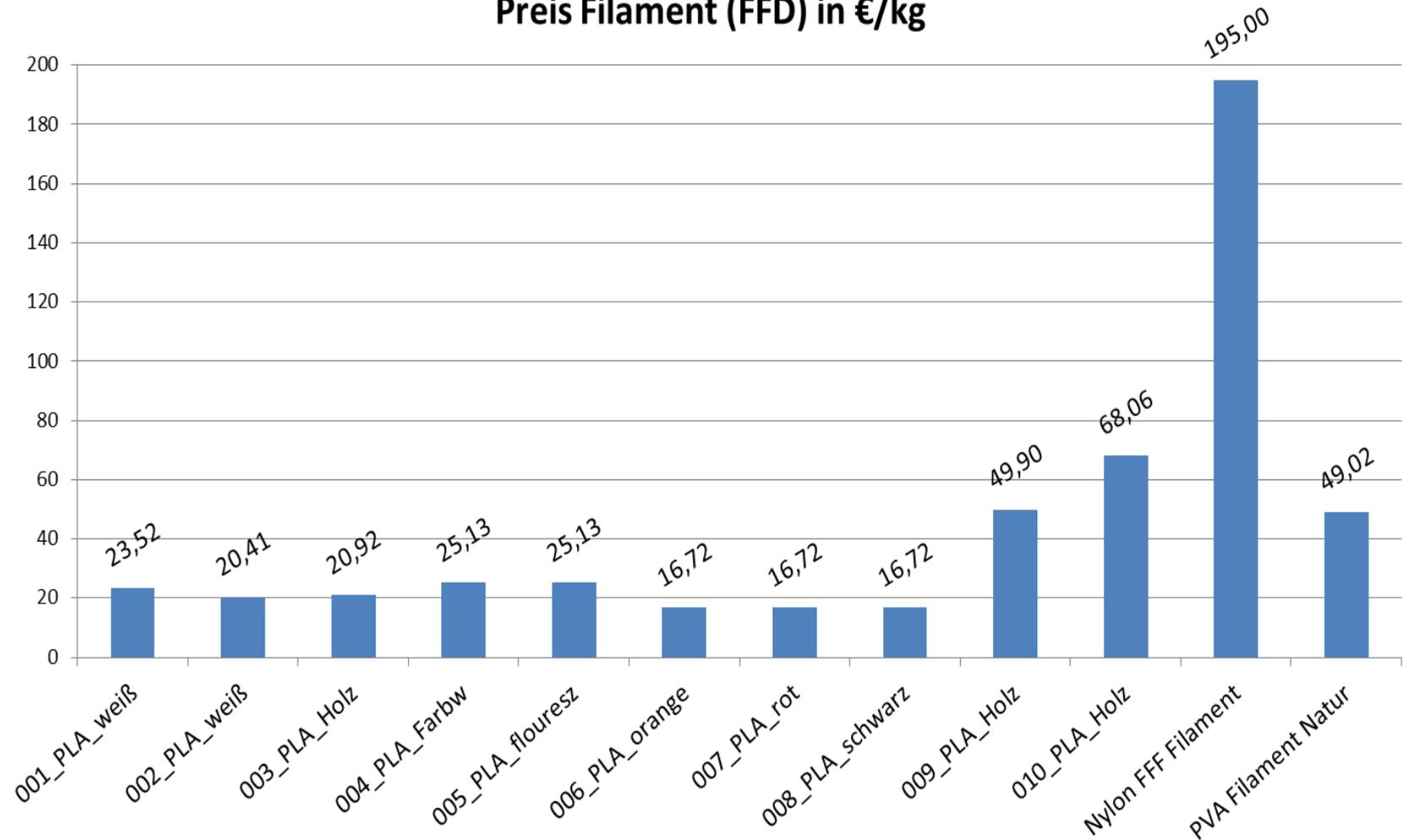
POM



Quelle: [https://plasticker.de/preise/preise\\_monat.php?group=gran](https://plasticker.de/preise/preise_monat.php?group=gran)

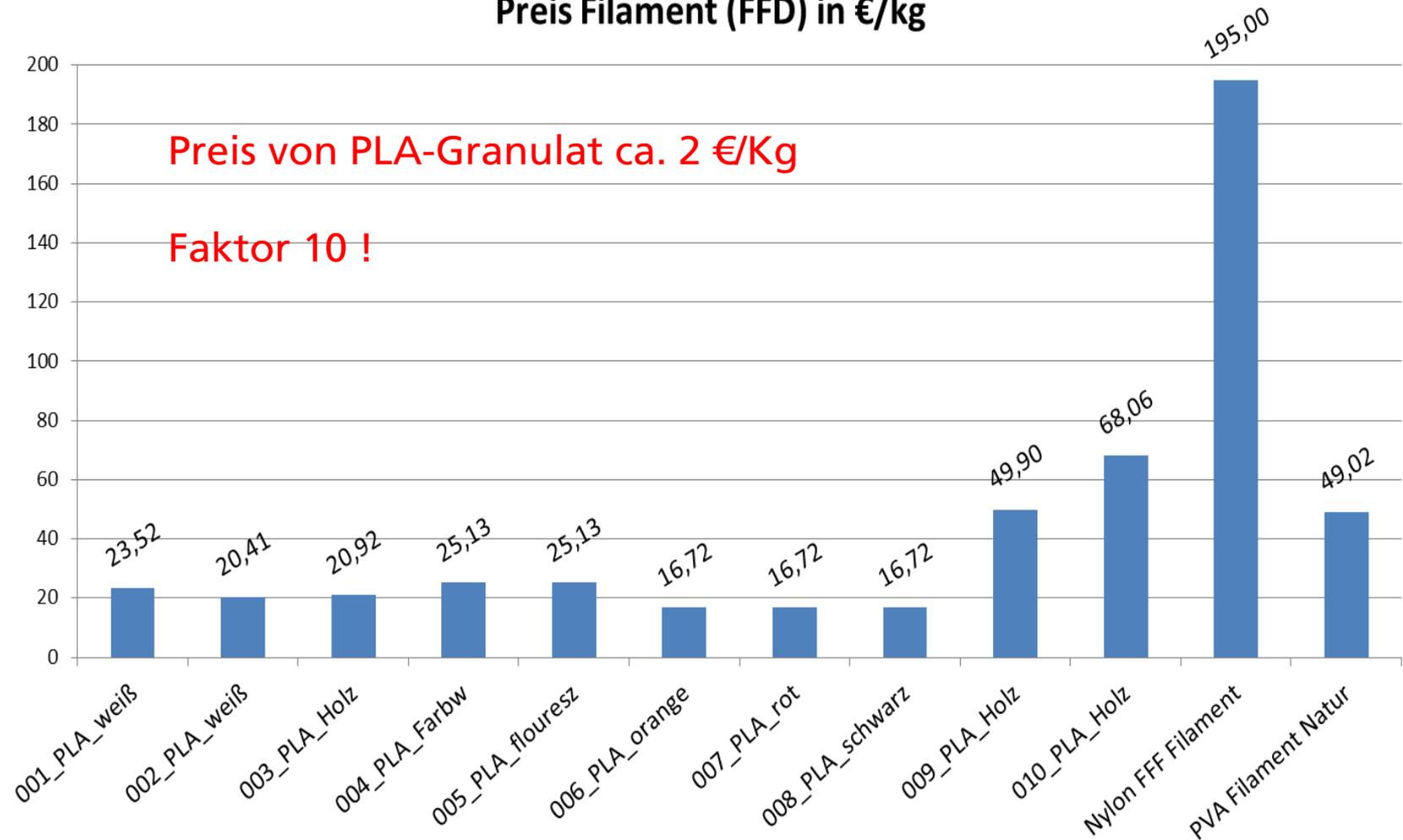
# Kosten ?

## Preis Filament (FFD) in €/kg

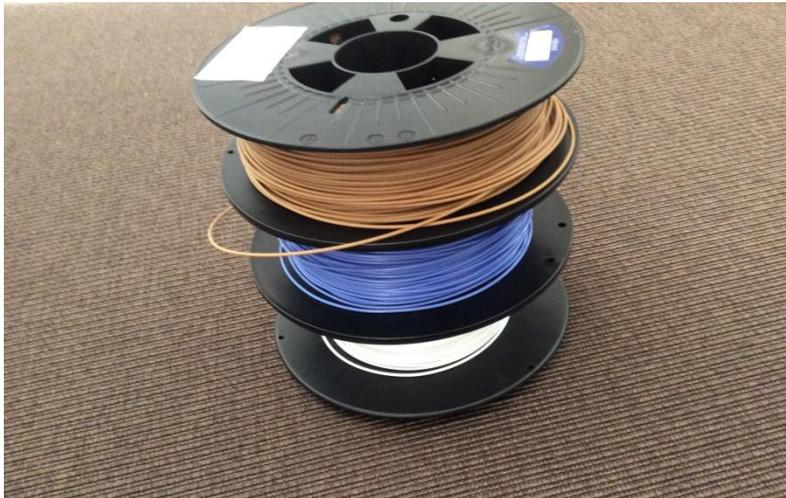


# Kosten ?

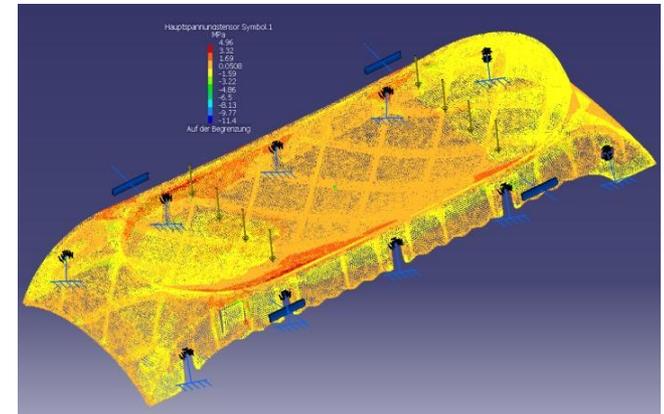
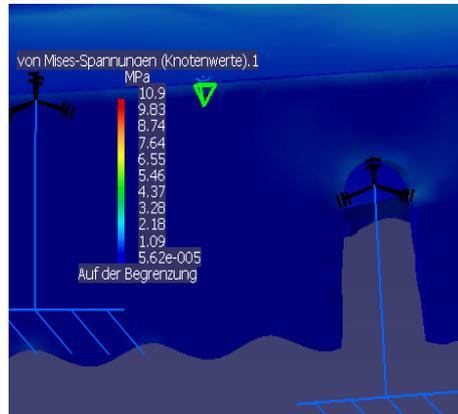
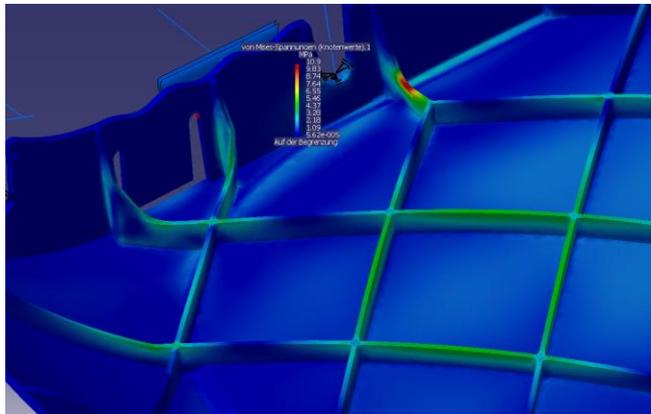
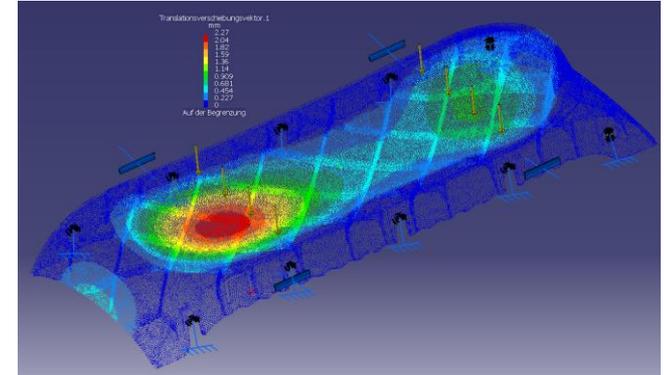
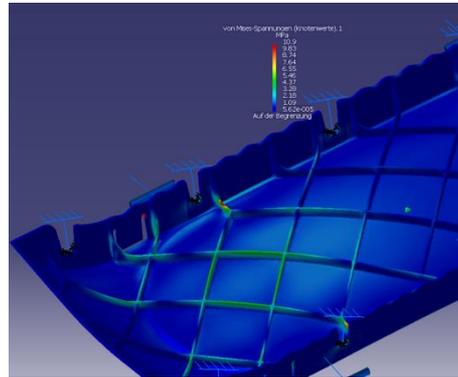
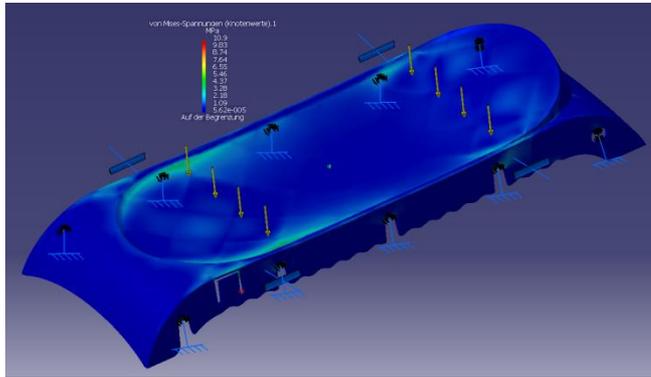
Preis Filament (FFD) in €/kg



# Material-Eigenschaften der Filamente



# Werkstoffmechanik ?



# Werkstoffmechanik – lineare Elastizitätstheorie

$$\begin{pmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (2\nu + \lambda_L) & \lambda_L & \lambda_L & 0 & 0 & 0 \\ & (2\nu + \lambda_L) & \lambda_L & 0 & 0 & 0 \\ & & (2\nu + \lambda_L) & 0 & 0 & 0 \\ & & & G & 0 & 0 \\ & \text{Sym.} & & & G & 0 \\ & & & & & G \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \epsilon_{11} \\ \epsilon_{22} \\ \epsilon_{33} \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{13} \\ \gamma_{12} \end{pmatrix}$$

$$\mu_L = \frac{E}{2(1+\nu)} = G, \quad \lambda_L = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \text{Sym.} & & \sigma_{33} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{12} \end{pmatrix} \quad \epsilon_{kl} = \begin{bmatrix} \epsilon_{11} & \epsilon_{12} & \epsilon_{13} \\ & \epsilon_{22} & \epsilon_{23} \\ \text{Sym.} & & \epsilon_{33} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} \epsilon_{11} \\ \epsilon_{22} \\ \epsilon_{33} \\ 2\epsilon_{23} \\ 2\epsilon_{13} \\ 2\epsilon_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \epsilon_{11} \\ \epsilon_{22} \\ \epsilon_{33} \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{13} \\ \gamma_{12} \end{pmatrix}$$

# Werkstoffmechanik - Versagenskriterien?

$$f(\sigma_{ij}) = 0$$

$$g(\epsilon_{ij}) = 0$$

$$f(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) = 0$$

$$f = \frac{1}{6} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] - k^2 = 0$$

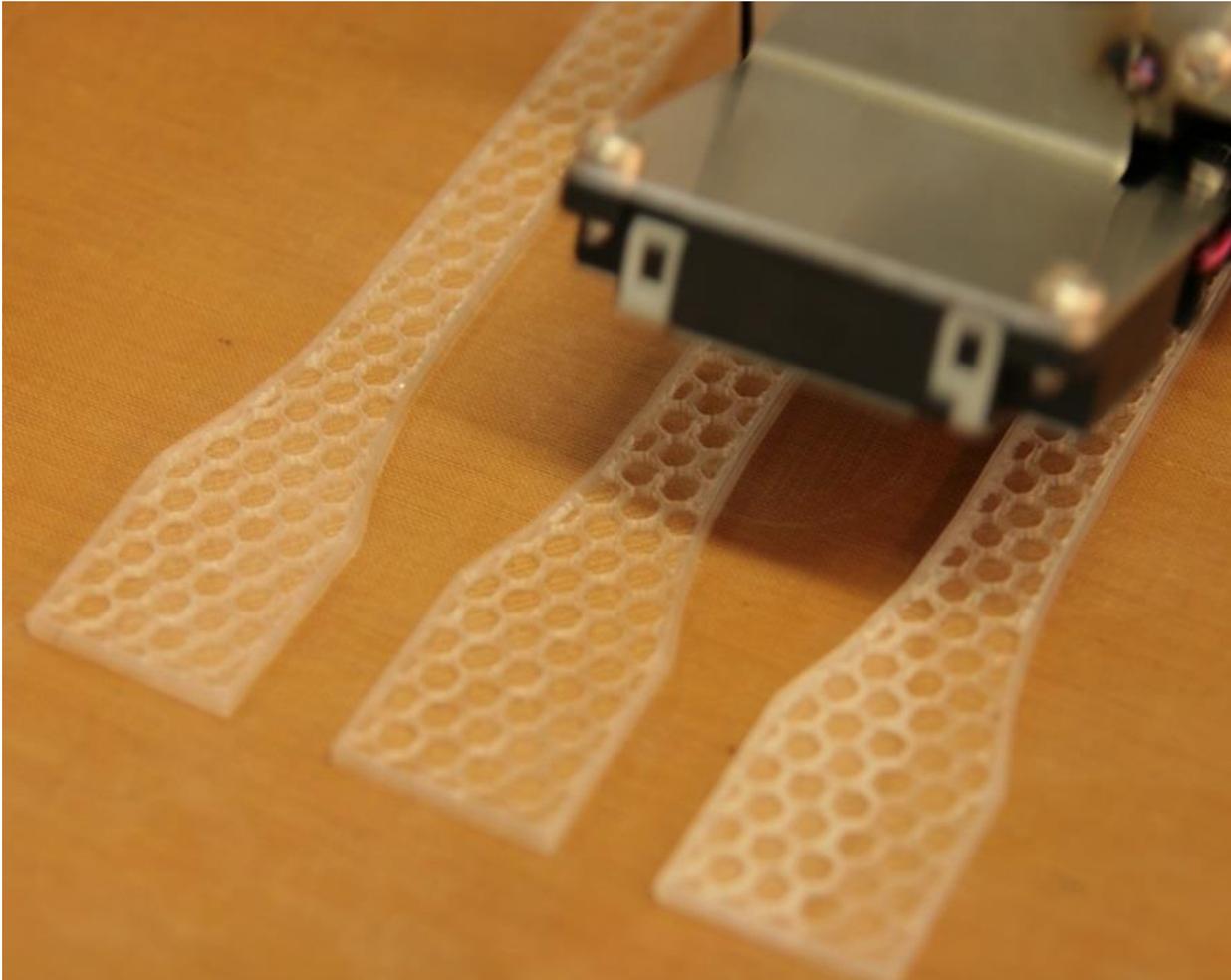
$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \text{Sym.} & & \sigma_{33} \end{bmatrix}$$

$$\epsilon_{kl} = \begin{bmatrix} \epsilon_{11} & \epsilon_{12} & \epsilon_{13} \\ & \epsilon_{22} & \epsilon_{23} \\ \text{Sym.} & & \epsilon_{33} \end{bmatrix}$$

# Werkstoffmechanik - Rezept zur Auslegung

- Durchführen einer FE-Analyse
- Ermitteln kritischer Spannungen
- Bilden einer Vergleichsspannung  $s$  (je nach Versagensmodell)
- Sicherheitsfaktor  $(S) * s$
- Vergleich dieses Wertes mit experimentell ermittelter Festigkeit
  
- Vergleichsspannung  $* S < \text{Festigkeit}$  → 

# Materialverhalten – 3D-Druck (FFF)



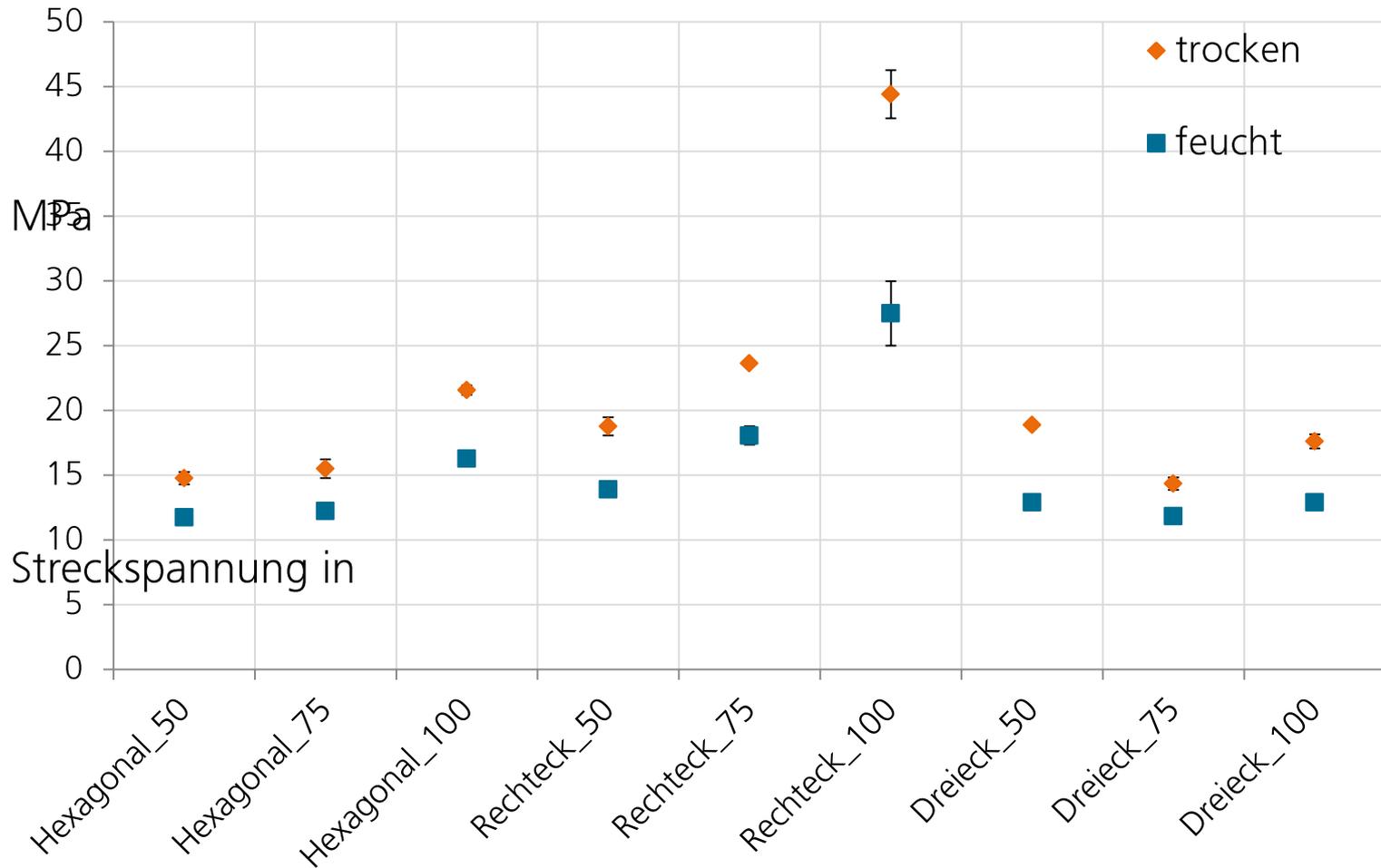
# Materialverhalten – Prüfung (Zugversuch)

Streckspannung

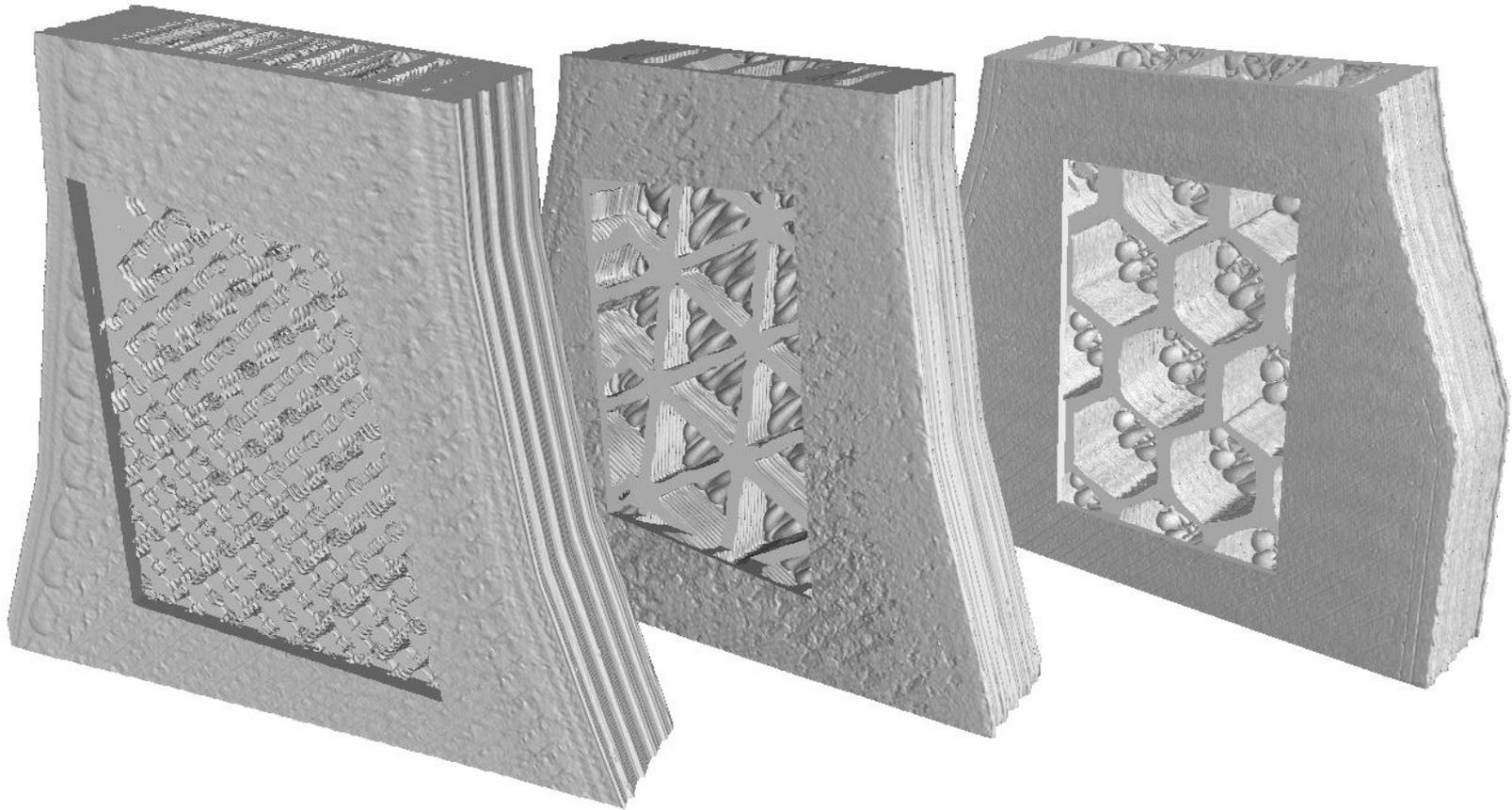
ISO 527

85 / 50

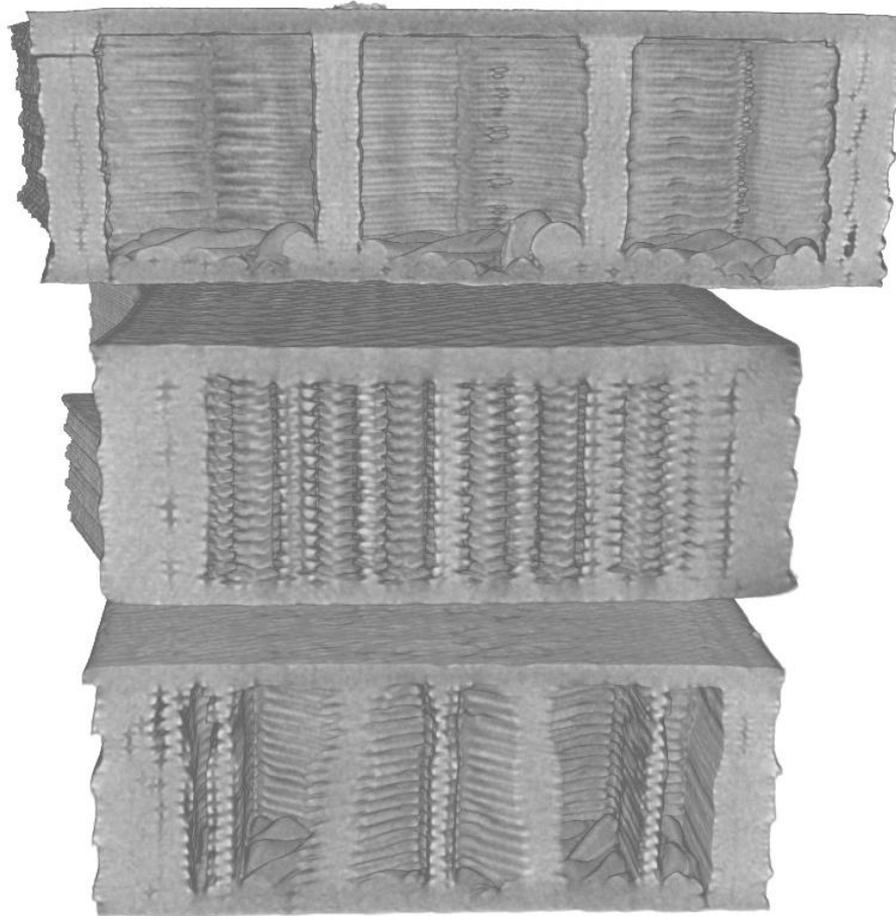
MPa



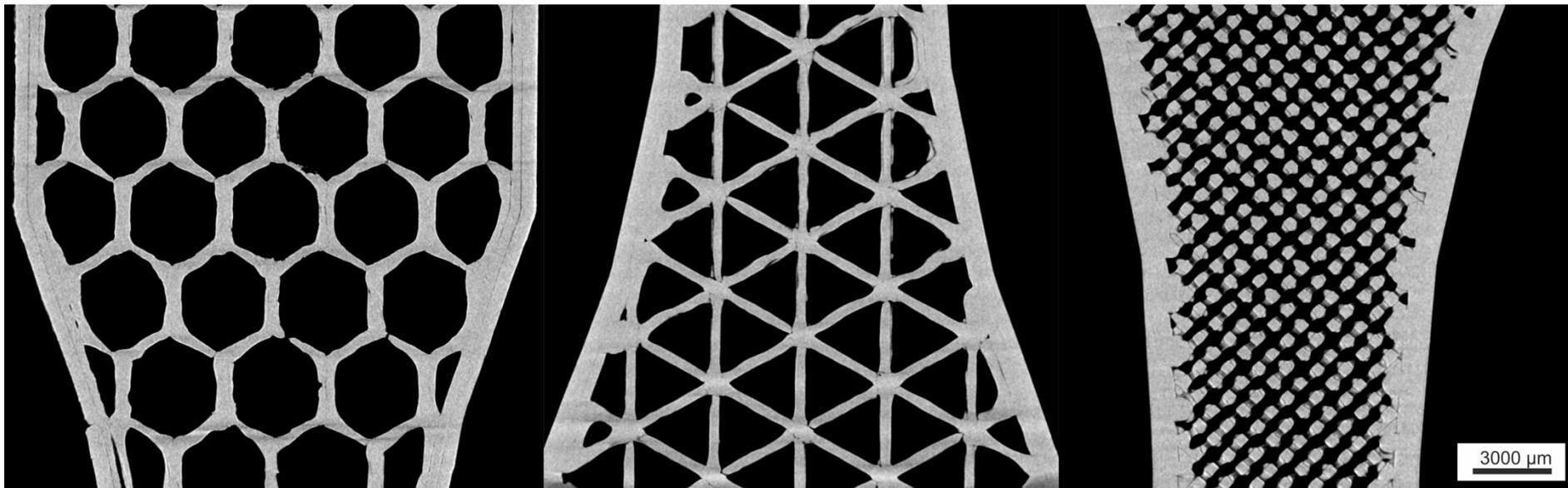
# Materialverhalten – Struktur (CT)



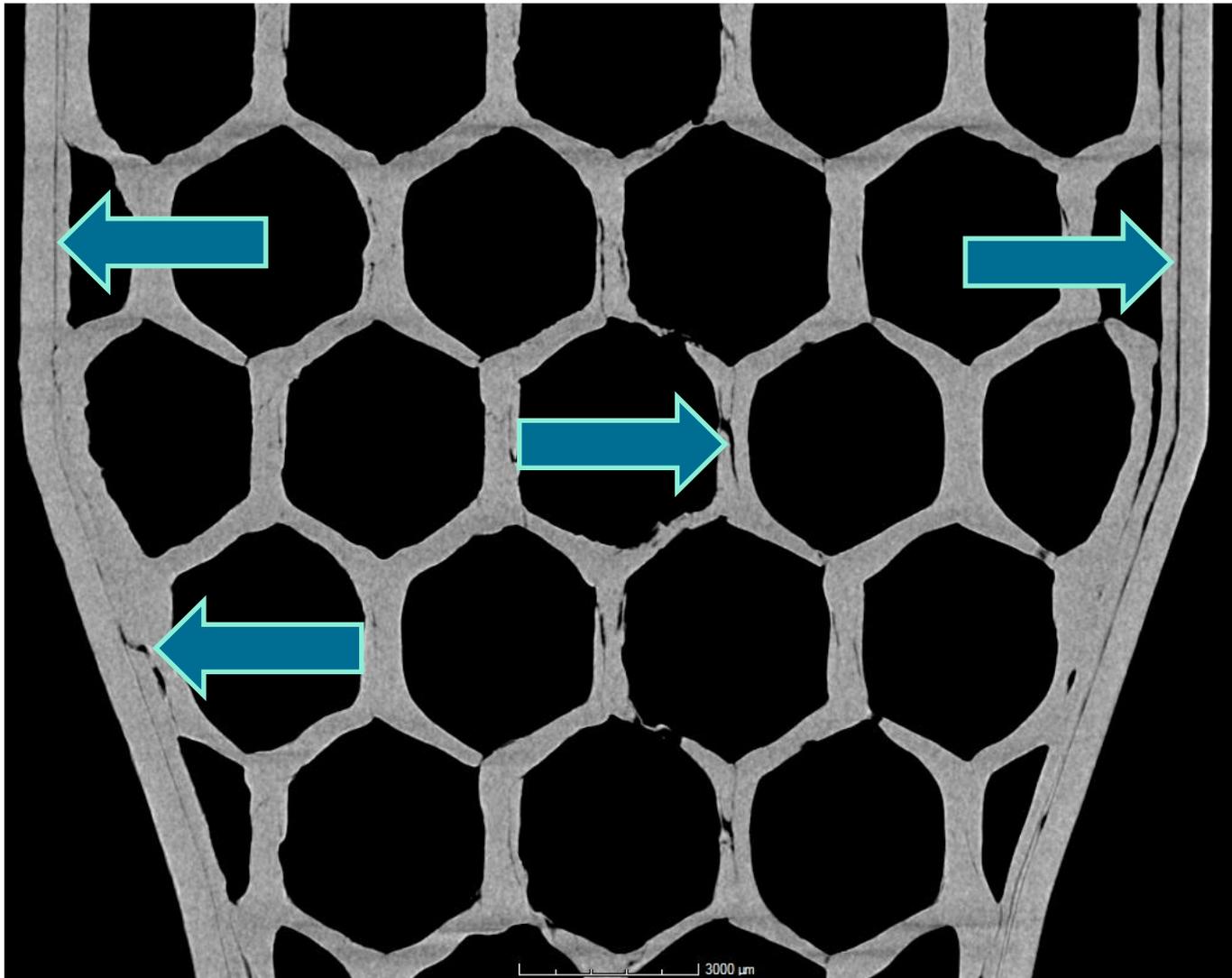
# Materialverhalten – Struktur (CT)



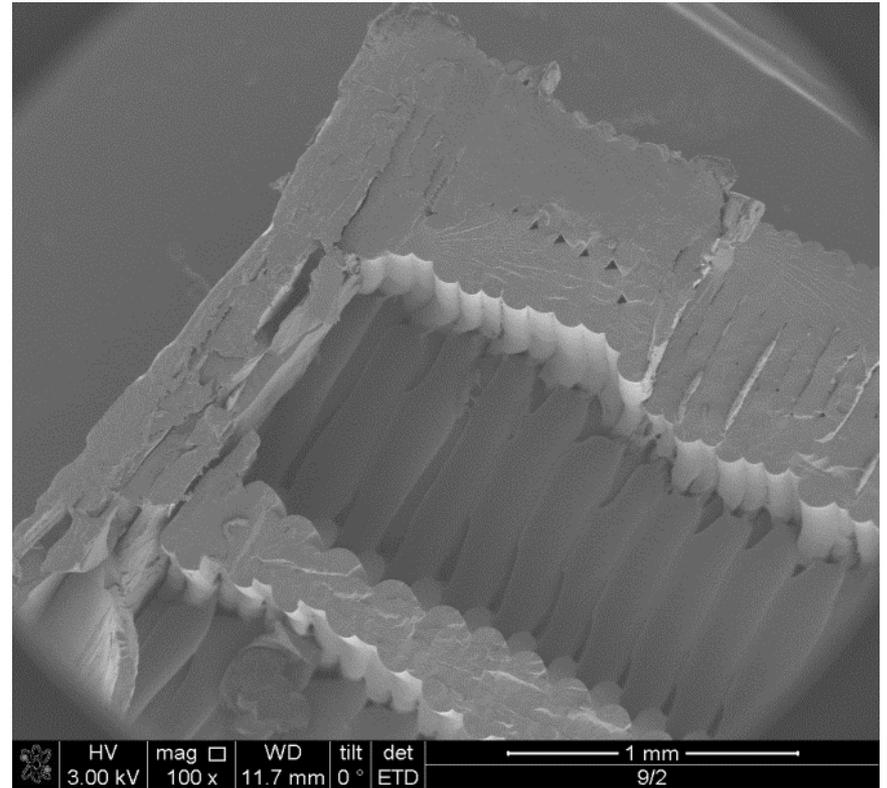
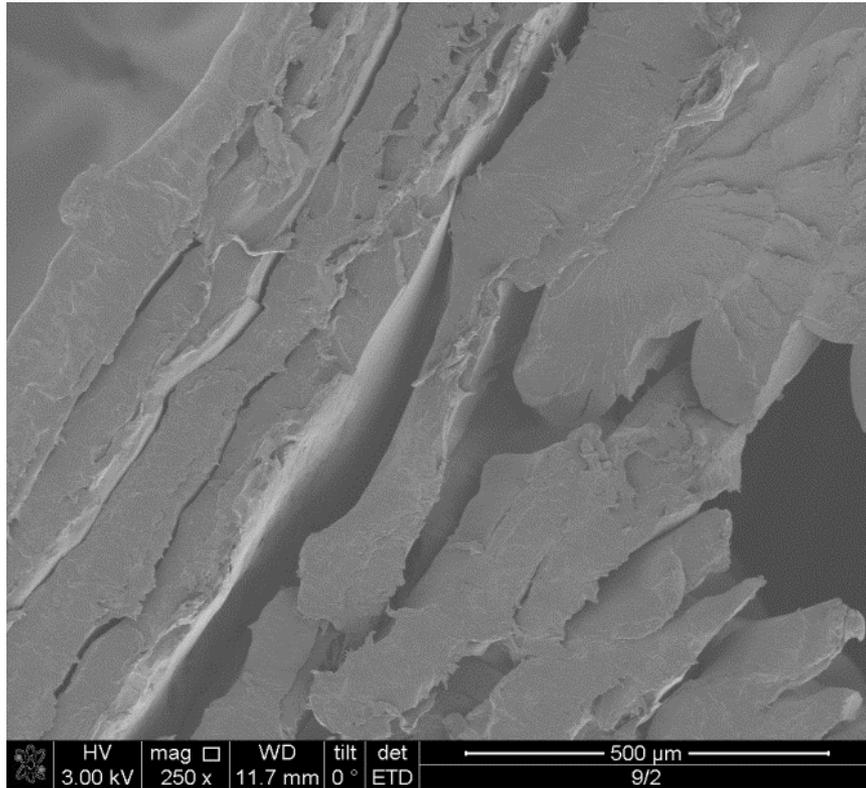
# Materialverhalten – Struktur (CT)



# Bruchmechanik - Risse

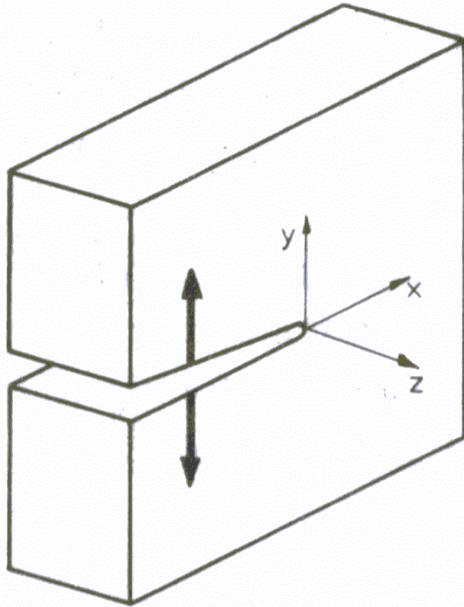


# Materialverhalten – Struktur (SEM)

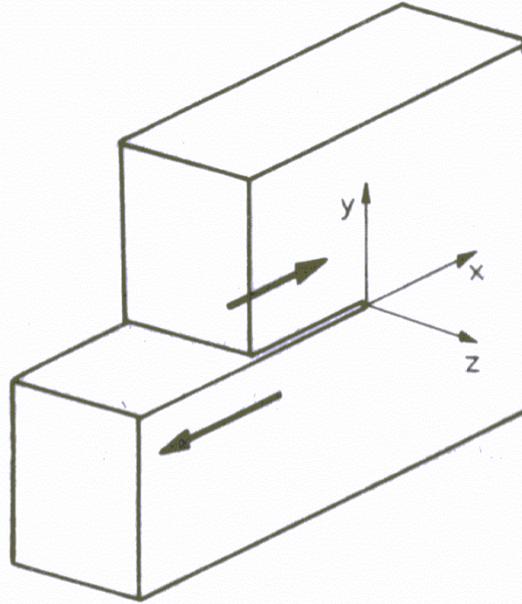


# Bruchmechanische Ansätze ?

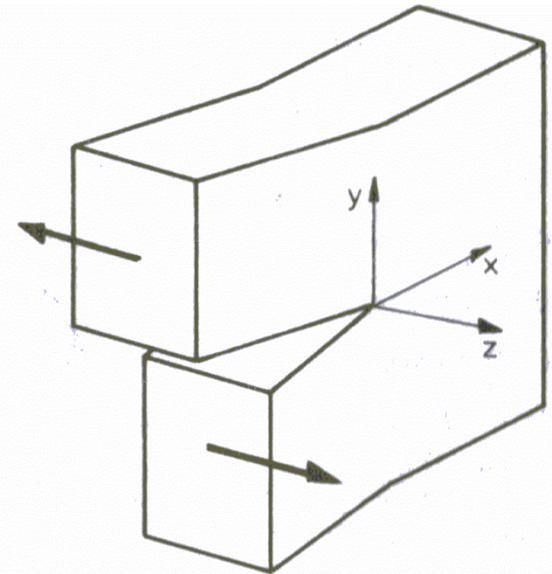
# Bruchmechanik



I



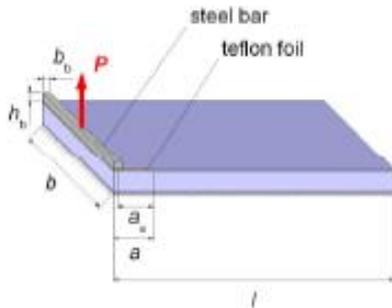
II



III

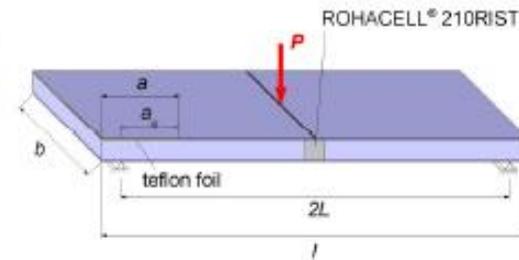
# Experimentelles Vorgehen

SCB test  
single cantilever beam



Specimen length:  $l = 350 \text{ mm}$   
 Specimen width:  $b = 250 \text{ mm}$   
 Initial crack length:  $a = 50 \text{ mm}$   
 Cross section area steel bar:  $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$

CSB test  
cracked sandwich beam

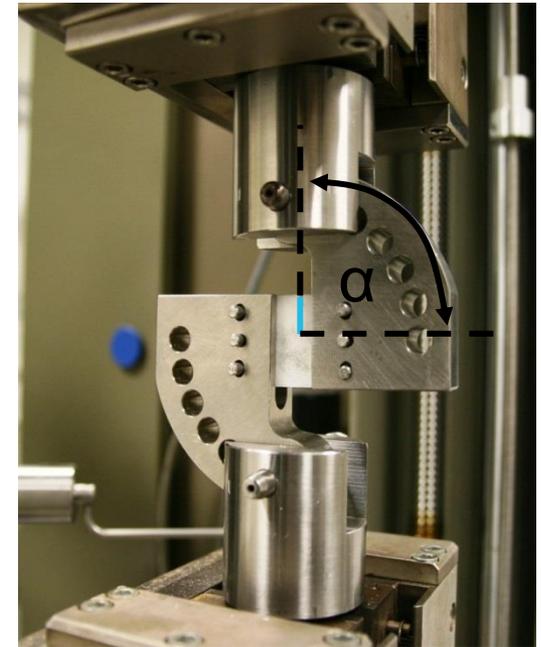
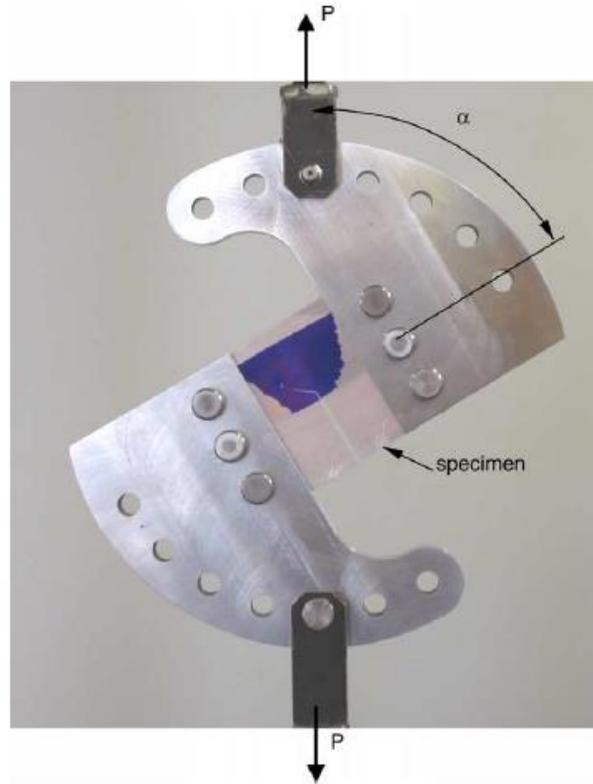
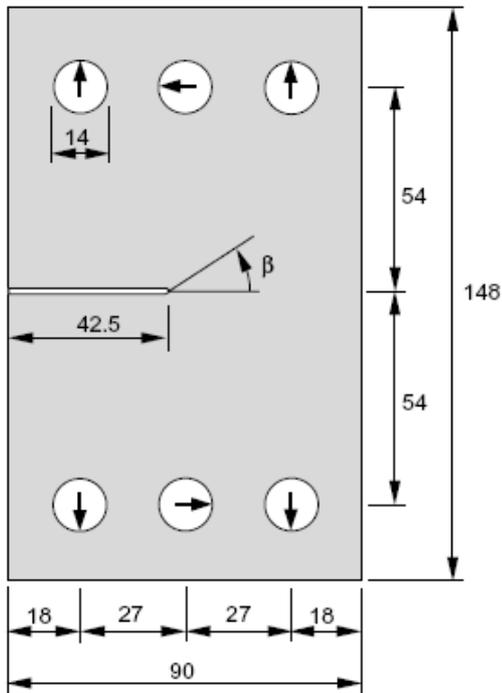
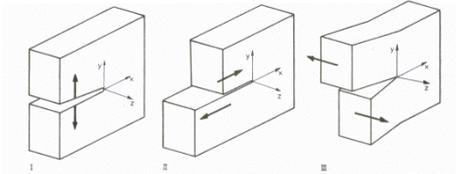


Specimen length:  $l = 550 \text{ mm}$   
 Bearing distance:  $2L = 500 \text{ mm}$   
 Specimen width:  $b = 250 \text{ mm}$   
 Initial crack length:  $a = 100 \text{ mm}$

Determination of fracture toughness and Paris crack growth parameter  
under global



# Experimentelles – Richard Test (Arcan Prüfkörper)



# Bruchmechanik - Rezept zur Auslegung

- Durchführen einer FE-Analyse
- Ermitteln von Energiefreisetzungsraten  $G_{I, II, III}$  (Belastungszustand)
- Bestimmung von Werkstoffkenndaten (kritische Energiefreisetzungsraten,  $G_{IC, IIC, IIIC}$ )
- Vergleich Belastungszustand im Bauteil mit experimentell ermittelten kritischen Kenndaten (Einbeziehung Sicherheitsbeiwert  $S$ )
- $G_{I, II, III} * S < G_{IC, IIC, IIIC} \rightarrow$  

# Angebot zum Einsatz und zur Weiterentwicklung eines Bewertungskonzepts für „FFD – Bauteile“





„Prognose des Einsatzverhaltens 3D-gedruckter Bauteile mittels bruchmechanischer Ansätze“

wurde gefördert durch das Land Sachsen Anhalt , Projektnummer: 1704/00065



**SACHSEN-ANHALT**



EUROPÄISCHE UNION

**EFRE**

Europäischer Fonds für  
regionale Entwicklung

# Rauch- und Spritzerbildung beim SLM-Verfahren

---

Entstehung, Einfluss auf Prozessparameter,  
Qualität und Reproduzierbarkeit

---

**Thomas Bauer**

**5. Mitteldeutsches Forum Rapid Technologien**

05.09.2018

Jena

## Thomas Bauer

Geboren am 07.03.1987 in Karl-Marx-Stadt

### Ausbildung:

- 2013 - Heute                   Doktoratsstudium ETH Zürich
- 2005 - 2012                 Bachelor & Master Maschinenbau an der TU Chemnitz

### Beruflicher Werdegang

- 2013 - Heute                 Wissenschaftlicher Mitarbeiter/ Stellv. Gruppenleiter inspire - icams
- 2010 - 2013                 Wissenschaftliche Hilfskraft Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung, TU Chemnitz
- 2008 - 2010                 Wissenschaftliche Hilfskraft Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau (Konstruktion und Entwicklung)



### Thomas Bauer

*Scientific assistant R&D SLM*  
 Lerchenfeldstrasse 3  
 9014 St.Gallen

bauer@inspire.ethz.ch  
 +41 71 274 73 28

www.inspire.ethz.ch

## **Rauch- und Spritzerbildung beim SLM-Verfahren: Entstehung, Einfluss auf Prozessparameter, Qualität und Reproduzierbarkeit**

Bauer, T.; Spierings, A.B.; Wegener, K.\*;

inspire AG, icams – Innovation Center Additive Manufacturing Switzerland, St. Gallen, Schweiz

\*inspire AG, IWF – Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung, Zürich, Schweiz

### **Kurzfassung**

Pulverbettbasiertes Laserschmelzen von Metallen (auch: Selektives Laserschmelzen (SLM)) wandelt sich vom reinen Prototypen- zur Produktionstechnologie. Produktivität, sowie Reproduzierbarkeit von Prozess und Bauteileigenschaften (Bauteilqualität) stehen daher vermehrt im Fokus zukünftiger Entwicklungen.

Die Erhöhung der Produktivität erfolgt dabei unter anderem über die Steigerung der Laserleistung bis in den Bereich zwischen etwa 400W bis 1kW, sowie die Verwendung von Mehrstrahlsystemen. Die Verwendung fein fokussierter Laserquellen führt zu hohen Spitzenintensitäten im Fokusbereich (typischerweise zwischen 50  $\mu\text{m}$  bis 120  $\mu\text{m}$ ), was zu einer Vielzahl nicht-linearer Phänomene führt. Besonders das Verdampfen von Material sowie das assoziierte Tiefenschweißen („Key-Hole“-Schweißen) nehmen eine zentrale Rolle in Bezug auf Prozessparameter, Qualität und Reproduzierbarkeit ein. Dem Anwender werden diese Phänomene durch die Bildung von Rauchgasen (Schmauch) und Funkenflug bzw. Spritzerbildung während des SLM-Prozesses sichtbar.

Der vorliegende Artikel zeigt anhand einer Fallstudie die Auswirkung der oben genannten Phänomene auf den SLM Prozess sowie die Bauteileigenschaften.

### **1. Einführung**

Pulverbettbasiertes Laserschmelzen von Metallen (auch: Selektives Laserschmelzen (SLM)) wandelt sich vom reinen Prototypen- zur Produktionstechnologie. Produktivität, sowie Reproduzierbarkeit von Prozess und Bauteileigenschaften (Bauteilqualität) stehen daher vermehrt im Fokus zukünftiger Entwicklungen.

Die Erhöhung der Produktivität erfolgt dabei unter anderem über die Steigerung der Laserleistung bis in den Bereich zwischen etwa 400W bis 1kW, sowie die Verwendung von Mehrstrahlsystemen. Die Verwendung fein fokussierter Laserquellen führt zu hohen Spitzenintensitäten im Fokusbereich (typischerweise zwischen 50  $\mu\text{m}$  bis 120  $\mu\text{m}$ ), was zu einer Vielzahl nicht-linearer Phänomene führt. Besonders das Verdampfen von Material sowie das assoziierte Tiefenschweißen („Key-Hole“-Schweißen) nehmen eine zentrale Rolle in Bezug auf Prozessparameter, Qualität und Reproduzierbarkeit ein. Dem Anwender werden diese Phänomene durch die Bildung von Rauchgasen (Schmauch) und Funkenflug bzw. Spritzerbildung während des SLM-Prozesses sichtbar.

Generell ist die Problematik der Rauchgas- und Spritzerbildung bei Maschinenherstellern bekannt und wird mit entsprechenden technischen Massnahmen gemindert. Im Fokus steht hier vor allem die Bauraumpülung für das Rauchgas, die Optimierung der Scanstrategie und die Überkornabsiebung des Pulvers vor der Wiederverwendung im nächsten Baujob. Hersteller wie SLM Solutions [1] oder Concept Laser [2] bewerten diese Punkte im Rahmen der Qualitätssicherung des Prozesses als essentiell.

Die Entstehungsmechanismen des Rauchgases sind aus den Untersuchungen der klassischen Laserschweisstechnik bekannt. In Abhängigkeit von Laserintensität unterscheiden beispielsweise Hügel und Graf [3] im Wesentlichen zwischen 2 Laserschweis-Moden: Dem

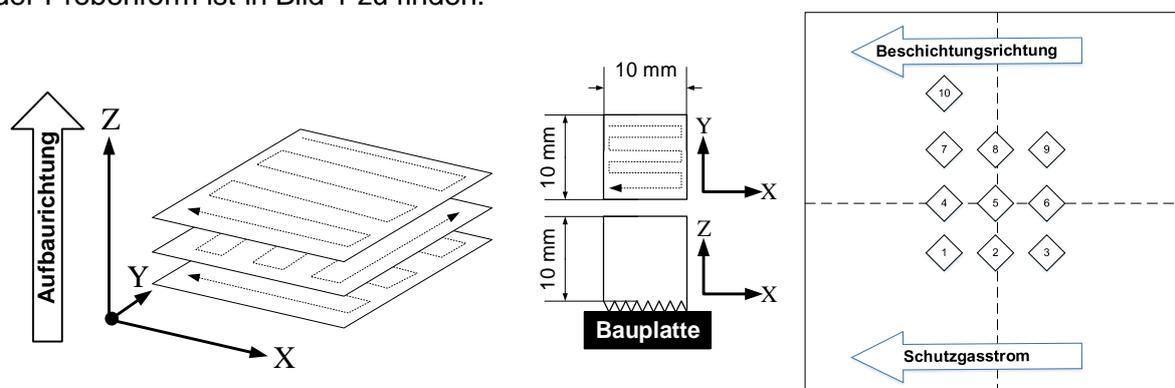
Wärmeleitungsschweißen, was bis zu Laserintensitäten bis etwa  $10^5 \text{ W/cm}^2$  auftritt, sowie dem daran anschliessenden Tiefenschweißen bei Intensitäten zwischen etwa  $10^5 \text{ W/cm}^2$  bis  $10^7 \text{ W/cm}^2$ . Hierbei wird eine sogenannte Dampfkapillare („Key-hole“) ausgebildet, die aufgrund einer kontinuierlichen Verdampfung von Material und Gasexpansion entsteht. Weiterhin ist aus Arbeiten von Bertoli et al. [4] bekannt, dass im Fokuspunkt des Lasers lokal Temperaturen weit über den Verdampfungstemperaturen der verarbeiteten Legierung bzw. derer Bestandteile liegen können. Der Metalldampf verändert bei Interaktion mit dem Laser zum einen die Strahlform (z.B. Defokussierung, Kippung), wie in der Abhandlung von Hügel und Graf [3] dargestellt ist. Zum anderen stellt der Metalldampf ein unterschiedliches optisches Medium im Vergleich zur Prozessatmosphäre dar, wodurch der Laserstrahl bereits vor dem Auftreffen in der Bearbeitungszone teilweise absorbiert wird.

In den letzten Jahren wurden vermehrt Anstrengungen unternommen, die Mechanismen zur Spritzerbildung simulativ und analytisch abzubilden, was die Arbeiten von Khairallah et al. [5] und Gunenthiram et al. [6] zeigen. Im Wesentlichen ist sich die Forschung einig, dass durch die immensen Druckunterschiede, aufgrund der schnellen Ausdehnung der Metalldämpfe in der Bearbeitungszone umliegende, ungeschmolzene Partikel weggeschleudert und dabei durch den Laser zumindest teilweise aufgeschmolzen werden. Weiterhin kommt es zu einem Herausschleudern von Material direkt aus der Schmelze und somit zu Partikelbildung mit unkontrollierter Form und Grösse, die besonders kritisch für die Prozessführung sein können. Diese Schweiss-spritzer werden aus der Bearbeitungszone geschleudert, und können sich auf benachbarten, noch zu bearbeitenden, Flächen ablagern. Insbesondere bei Baujobs mit erhöhter Packungsdichte oder grossen Querschnittsflächen ist dieses Risiko erhöht.

In der Praxis tritt eine Überlagerung von Spritzer- und Rauchgasbildung auf, so dass ein sich selbst verstärkender Effekt auftreten kann. Die folgende Fallstudie gibt einen Einblick in dieses Wechselspiel.

## 2. Versuchsaufbau

Die vorliegende Studie wurde auf einer Concept Laser M2 mit einer 200 W Nd:YAG-Laserquelle durchgeführt. Es wurden 10 Würfel aus einem Nickel-Basis-Werkstoff mit einem Kantenmass von 10 mm mit den identischen Prozessparametern und Scanstrategien aufgebaut. Die primären Prozessparameter zur Herstellung der Würfel waren eine Scangeschwindigkeit von 900 mm/s, ein Hatchabstand von  $90 \mu\text{m}$  und einer Laserleistung von 200 W, was in einer Belichtungszeit von ca. 1.2 s pro Würfel resultierte. Zwischen den einzelnen Schichten, mit einer Stärke von  $30 \mu\text{m}$ , wurde die Scanrichtung jeweils um  $90^\circ$  gedreht. Eine schematische Darstellung der Scanstrategie und der Probenform ist in Bild 1 zu finden.



**Bild 1: Schematische Darstellung der Belichtungsstrategie, Probenform und Ausrichtung der Proben**

Bild 1 zeigt weiterhin die Anordnung der 10 Würfel in Relation zur Beschichtungsrichtung und dem

Schutzgasstrom. Diese Anordnung erlaubt, dass die Proben sich bzgl. der Schweiss-spritzer gegenseitig beeinflussen, wie es in einem dicht gepackten Baujob zu erwarten wäre. Die Nummerierung entspricht der Scanreihenfolge.

Entscheidend für die Durchführung des Versuches war der Zustand des Schutzgasfilters, welcher sich dem Ende seiner typischen Standzeit näherte. So konnten bewusst ungünstige Randbedingungen für den Prozess geschaffen werden, da zudem keine automatische Nachregelung des Schutzgasstromes erfolgte.

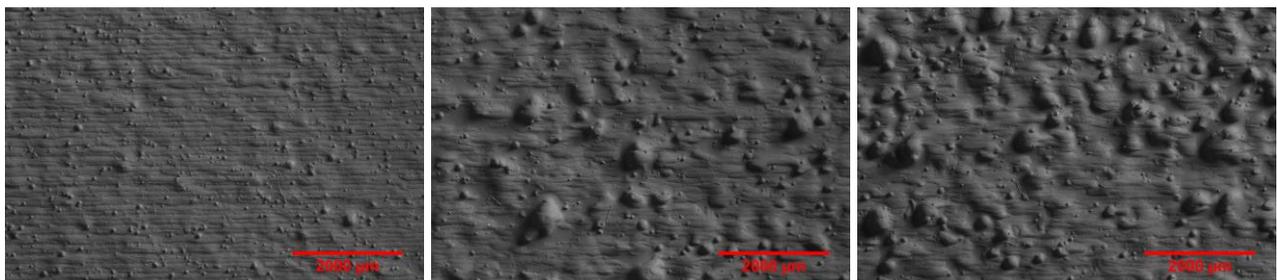
### 3. Ergebnisse

Bereits die optische Beurteilung der Probenoberfläche zeigt eine dunkle Verfärbung, die mit (von links nach rechts) steigender Scanzeit immer intensiver wird, wie gut in Bild 2 zu beobachten ist.



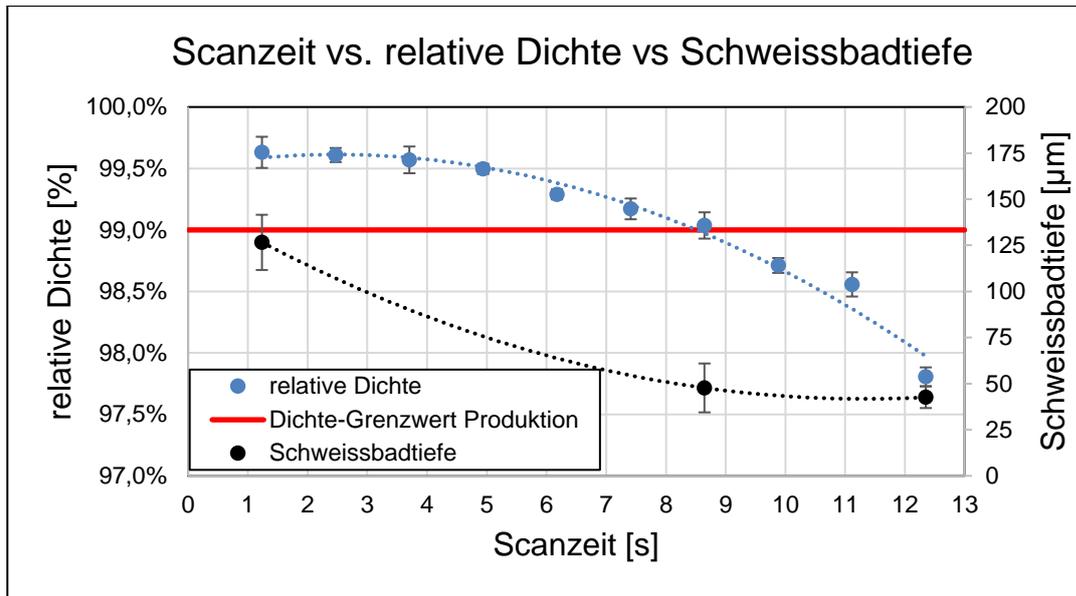
**Bild 2: Übersicht der Würfeloberflächen von 1.2s (ganz links) bis 12.4s (ganz rechts) Scanzeit**

Neben der Verfärbung zeigt Bild 3, dass auch die Anzahl der Spritzer auf der Oberfläche, und damit deren Rauheit sowie Welligkeit ansteigen. Diese Verschlechterung der Oberfläche führt bei den nächsten Schichten zu einer Verschlechterung der Pulverablagequalität (z.B. Pulverschichtdicke, Homogenität) und bildet damit die Grundlage für Prozessinstabilität und Porenbildung im aufgebauten Material.



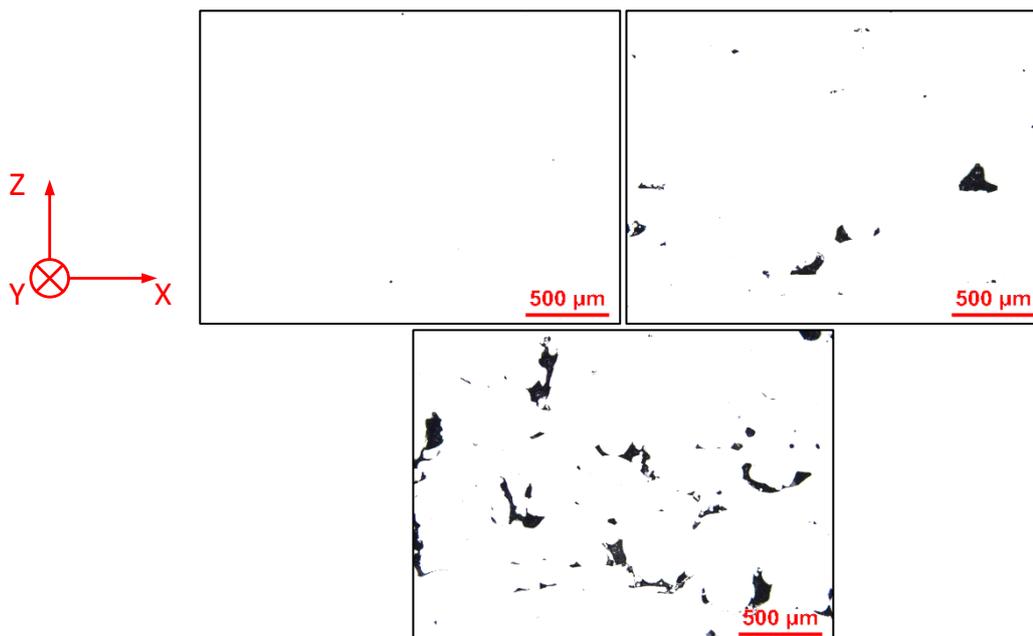
**Bild 3: Zunahme von Spritzern, der Rauheit und Welligkeit der Oberfläche mit steigender Scanzeit (links 1.2 s, mitte 8.6 s, rechts 12.4 s)**

Die archimedische Dichtemessung ist eine der effizientesten Qualitätssicherungsmaßnahmen für die additive Fertigung, da sie die Messung einer gemittelten Dichte über das gesamte Bauteilvolumen ermöglicht, wie Spierings et al. in einer Studie [7] zeigen. Bild 4 stellt die Ergebnisse der archimedischen Dichtemessung der 10 Würfel dar. Es ist deutlich zu erkennen, dass bis ca. 5 s Scanzeit nur ein geringer Dichteabfall zu verzeichnen ist. Daraufhin verringert sich die Dichte zwischen 5 s und 8.6 s bereits deutlich, so dass ein typischer Grenzwert von 99 % relative Dichte erreicht wird. Bauteile mit einer Dichte unterhalb dieser Grenze besitzen häufig deutlich reduzierte mechanische Kennwerte vor allem in Bezug auf die Bruchdehnung. In der folgenden Scanzeit zwischen 8.6 s und 12.4 s erfolgt eine weitere Reduktion der relativen Dichte auf rund 97.8 %.



**Bild 4: Vergleich von Scanzeit zu relativer Dichte bei schlechtem Rauchgasfilterzustand im Falle eines Nickelbasis-Werkstoffes**

Die optische Analyse der Schliiffproben gibt Aufschluss über die Art und Verteilung der Defekte im Bauteil, was ein wichtiger Hinweis auf deren Entstehungsmechanismen darstellt. Bild 5 vergleicht exemplarisch Schliiffproben nach 1,2 s, 8,6 s und 12,4 s Scanzeit, aus denen hervorgeht, dass sich die Anzahl irregular geformter Anbindungsfehler deutlich erhöht. Weiterhin sind mit steigender Scanzeit vereinzelt Partikelförmige Einschlüsse mit einer Grösse zwischen 200 µm und 500 µm zu erkennen.



**Bild 5: Gegenüberstellung von Schliiffproben (xz-Ebene) nach Scanzeiten von 1.2 s (links, 99.6 % rel. Dichte), nach 8.6 s (mitte, 99.0 % rel. Dichte) und 12.4 s (rechts, 97.8 % rel. Dichte)**

Beides, die Reduktion der relativen Dichte und das vermehrte Auftreten grosser Defekte, sollten bei einer stabilen Prozessführung nicht auftreten. Jedoch decken sich die Beobachtung aus der optischen Betrachtung der Proben mit den Ergebnissen der Schliiffbildanalyse.

Die Auswertung der Schweissbaddimensionen, insbesondere der Schweissbadtiefe, zeigt eine deutliche Reduktion der Abmessungen mit zunehmender Scanzeit. In Bild 4 sind exemplarisch einige entscheidende Werte nach 1.2 s, 8.6 s sowie 12.4 s dargestellt. Die Schweissbadtiefe reduziert sich signifikant innerhalb von 12.4 s von anfänglich rund 125  $\mu\text{m}$  auf ca. ein Drittel mit 43  $\mu\text{m}$ . die Schlussfolgerung ist, dass aufgrund der Rauchgasbildung bzw. des entstehenden Metallampfes die Energieeinbringung in das Material negativ beeinflusst wird.

Eine Ätzung der Schliifproben gibt weiteren Aufschluss über den Ursprung der Defekte. Die in Bild 6 zu sehenden Poren sind in klarem Zusammenhang mit eingeschlossenen Schweisserspritzern zu sehen. Diese Spritzer haben Abmessungen (ca. 200-300 $\mu\text{m}$ ) welche ein Vielfaches der Schweissbadtiefe und Schichtstärke darstellen. In der Folge werden Spritzer zwar angeschmolzen und in die Matrix eingebunden, jedoch stellen diese ein Hindernis für einen stabilen Schmelz- und Beschichtungsprozess dar.

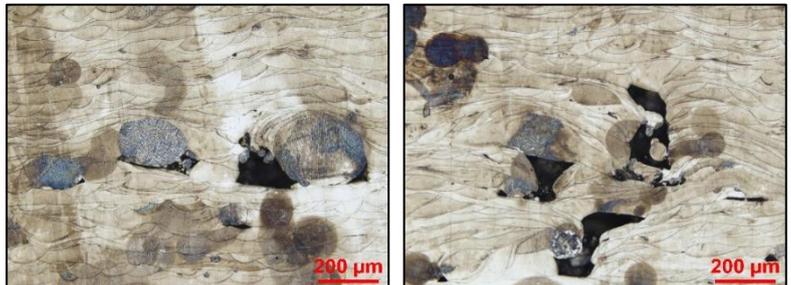


Bild 6: Beispielhafte geätzte Schliifbilder nach 8.6s und 12.4s Scanzeit zeigen den vermehrten Einschluss von Schweisserspritzern und daraus resultierenden Prozessinstabilitäten

#### 4. Schlussfolgerungen

Abschliessend kann festgehalten werden, dass die die Art und Weise der Rauchgasabfuhr sowie die Spritzerbildung einen signifikanten Einfluss auf den Prozess und damit auf die finale Bauteilqualität haben. Infolge beider Erscheinungen kann es zu einer signifikanten Reduktion der Schweissbaddimensionen und der Bauteildichte kommen. Dies verdeutlicht, dass im Rahmen eines Qualitätsmanagement Systems wesentliche Anlagenkomponenten eine wichtige Rolle spielen, und als essentielle Bestandteile eines QM-Systems betrachtet werden müssen.

Weiterhin ist es wichtig derartige Phänomene durch geeignete Massnahmen, wie die archimedische Dichtemessung von Testkörpern, zu dokumentieren und entsprechend zu bewerten. Durch die Anlagenhersteller werden bereits zahlreiche Aktivitäten unternommen, um diesen Herausforderungen besser gerecht zu werden. Gänzlich vermeiden lassen sich diese Phänomene jedoch nicht, da die grundlegenden physikalischen Prinzipien dem Prozess inhärent sind, weshalb sie durch geeignete Prozessführung nur reduziert werden können. Generell kann festgehalten werden, dass die beschriebenen Phänomene insbesondere für Grenzfälle des Prozesses, wie sehr hohen Scangeschwindigkeiten oder Materialien mit hohen Wärmeleitfähigkeiten, in besonderem Masse relevant sind.

#### 5. Quellenangaben

1. N., N. *Selective Laser Melting Maschine SLM@280 2.0*. 2018 [20.08.2018]; Available from: <https://slm-solutions.de/produkte/maschinen/selective-laser-melting-maschine-slmr280-20>.
2. N., N. *Qualitätsmanagement*. 2018 [20.08.2018]; Available from: <https://www.concept-laser.de/produkte/qualitaetsmanagement.html>.
3. Hügel, H. and T. Graf, *Laser in der Fertigung*. 2. Auflage ed. 2009, Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
4. Scipioni Bertoli, U., et al., *In-situ characterization of laser-powder interaction and cooling rates through high-speed imaging of powder bed fusion additive manufacturing*. *Materials & Design*, 2017. **135**: p. 385-396.
5. Khairallah, S.A., et al., *Laser powder-bed fusion additive manufacturing: Physics of complex*

*melt flow and formation mechanisms of pores, spatter, and denudation zones.* Acta Materialia, 2016. **108**: p. 36-45.

6. Gunenthiram, V., et al., *Experimental analysis of spatter generation and melt-pool behavior during the powder bed laser beam melting process.* Journal of Materials Processing Technology, 2018. **251**: p. 376-386.
7. Spierings, A.B., M. Schneider, and R. Eggenberger, *Comparison of density measurement techniques for additive manufactured metallic parts.* Rapid Prototyping Journal, 2011. **17**(5): p. 380-386.

## Rechtliche Rahmenbedingungen des 3D-Drucks

von Christian Kusulis, Rechtsanwalt, Frankfurt am Main

Sehr verehrte Damen und Herren,

mir kommt es zu, Ihnen nun ein klein wenig die rechtlichen Rahmenbedingungen des 3D-Drucks nahe zu bringen. Dies werde ich in drei Teilen tun:

- Im ersten Teil werde ich mich mit der Frage befassen, ob und inwieweit sich durch die Nutzung additiver Fertigungstechnologien durch den Hersteller eines Produkts Änderungen ergeben. Es geht hier mit anderen Worten um die Umstellung von herkömmlichen Herstellungsverfahren auf additive Fertigungstechnologien.
- Im zweiten Teil möchte ich auf die immaterialgüterrechtliche Situation aus der Sicht desjenigen eingehen, der sein Produkt gegen Nachahmung absichern möchte. Gewissermaßen werde ich die Perspektive ändern, also mich mit der Frage befassen, wie sich der Rechteinhaber gegen Dritte schützen und zu Wehr setzen kann, die additive Fertigungstechnologien einsetzen, um die Erzeugnisse des Rechteinhabers nachzubauen.
- Schließlich möchte ich im dritten Teil mit einem Blick auf alternative digitale Geschäftsmodelle enden. Insoweit geht es insbesondere um die Frage, ob und wie sich der Pflichtenkreis des Anbieters verschiebt, wenn er anstelle eines physischen Produkts digitale Datensätze vertreibt, mit denen der Kunde das Produkt selbst unter Einsatz eines 3D-Druckers herstellt. Den Schwerpunkt dieser Überlegungen bildet die Frage der Haftung.

Bitte sehen Sie mir nach, wenn ich im Folgenden „3D-Druck“ oder „additive Fertigungstechnologien“ als generischen Oberbegriff verwende. Die genauere Bestimmung der Technologie ist für meine heutigen juristischen Zwecke im Einzelnen nicht von Bedeutung, so dass ich von technologischen Differenzierungen absehen werde.

### 1. Einleitung

Gestatten Sie mir einleitend eine kurze Einordnung des Themas in die rechtliche Praxis:

Wir haben in den letzten Jahren viel gesehen, insbesondere eine doch einigermaßen rasante Entwicklung, die manche Zukunftsvorstellung Realität zu werden scheinen

ließ. Angefangen mit kleinen Figürchen aus einem Fantasy-Spiel<sup>1</sup>, hin zu Nudeln aus dem Drucker<sup>2</sup>, schussfähigen Waffen<sup>3</sup>, Prothesen für Mensch und Tier<sup>4</sup>, mehr oder weniger lebensecht wirkenden Nachbildungen von Menschen<sup>5</sup>, 3D-Drucke aus Biomaterial, namentlich<sup>6</sup>, ferner Schmuck im 3D-Druck-Verfahren<sup>7</sup> und natürlich industriellen Anwendungen, ob für die Herstellung von Prototypen, den Nachbau nicht mehr auf Lager gehaltener Ersatzteile<sup>8</sup> bis zum Serienbetrieb. Additive Fertigungstechnologien schienen und scheinen nicht nur einem überschaubaren Kreis von Forschern und Technik-Freaks vorbehalten, sondern Teil der allgemeinen gesellschaftlichen Wahrnehmung und Diskussion zu sein.

Parallel – Sie werden es in der Literaturliste im Skript sehen – macht sich auch die Rechtswissenschaft seit einigen Jahren Gedanken zu den möglichen Implikationen, verstärkt in den letzten 3 bis 4 Jahren. Ob zu immaterialgüterrechtlichen Fragen, zu Haftungsthemen oder zum dieser Tage unvermeidlichen Bereich des Datenschutzes: Sie finden zwischenzeitlich zu den wohl meisten juristischen Fragestellungen einen Text, eher sogar zwei oder drei Abhandlungen – wenn auch nicht immer mit denselben Ergebnissen.

Flankiert werden diese Aufsätze und mittlerweile sogar ganzen Bücher von Leitfäden jedenfalls der wichtigen Branchenorganisationen, die selbstverständlich auch in juristischer Hinsicht Hilfestellung zum Umgang mit dem Thema geben<sup>9</sup>.

Interessant ist aber, dass sich bis heute eigentlich keine Entscheidungen der Judikative oder Maßnahmen der Exekutive finden. Eigentlich sage ich, um Ihnen nicht den Eindruck zu vermitteln, dass Jura im Kontext additiver Fertigungstechnologie jeglicher Relevanz entbehrte. Festzustellen ist aber, dass technische und gesellschaftliche Relevanz (jedenfalls in Kategorien des Potentials gesprochen) und praktische juristische Relevanz auseinanderzuklaffen scheinen.

Warum ist das so? Ich darf noch einmal auf die vorhandene Literatur verweisen: Wir sind – das mag Sie erstaunen – in der juristischen Diskussion auf der Höhe der Zeit. Es ist also nicht so, dass wir keine Antworten hätten oder noch nicht einmal die

---

<sup>1</sup> <https://www.wiwo.de/technologie/druck-technik-tausende-3d-figuerchen-aus-dem-netz/9613622-2.html>.

<sup>2</sup> <https://3druck.com/drucker-und-produkte/barilla-stellt-nudel-3d-drucker-vor-2444928/>.

<sup>3</sup> [https://www.welt.de/newsticker/dpa\\_nt/infoline\\_nt/brennpunkte\\_nt/article180268062/Geisterwaffen-in-den-USA-Die-Pistole-aus-dem-3D-Drucker.html](https://www.welt.de/newsticker/dpa_nt/infoline_nt/brennpunkte_nt/article180268062/Geisterwaffen-in-den-USA-Die-Pistole-aus-dem-3D-Drucker.html).

<sup>4</sup> <https://www.3d-grenzenlos.de/magazin/thema/prothesen-3d-drucker/>.

<sup>5</sup> Vgl. nur <https://www.3dgeneration.com/3d-figuren-frankfurt/>.

<sup>6</sup> <https://www.3d-grenzenlos.de/magazin/zukunft-visionen/ohr-aus-3d-drucker-ueberlebt-und-waechst-27351713/>.

<sup>7</sup> Vgl. nur <https://monomer.com/>.

<sup>8</sup> <http://www.spiegel.de/auto/fahrkultur/auto-ersatzteile-aus-dem-3d-drucker-plotter-statt-schotter-a-1044050.html>.

<sup>9</sup> Vgl. nur BITKOM <https://www.bitkom.org/Themen/Technologie/3D-Druck/index.jsp>.

Fragen kennen. Ich glaube ferner nicht, dass es nicht ausreichend Anlässe gäbe, den einen oder anderen Fall vor Gericht zu bringen. Ich glaube aber, dass die Möglichkeiten additiver Fertigungstechnologien noch immer unterschätzt werden.

Ein Parallelbeispiel aus der jüngeren Geschichte: Im Jahr 2001 wurden in Deutschland noch rund 134 Millionen CDs verkauft, 2017 waren es noch rund 63 Millionen<sup>10</sup>. Vorhergesehen hat diese Entwicklung natürlich niemand. Man hat vor allem aber das Potential digitaler Kommunikation und digitaler Netzwerke nicht ernst genug genommen, sondern geglaubt, das legt sich schon wieder. Insbesondere hat die Industrie, keine jedenfalls hinreichenden Anstrengungen unternommen, um digitale Geschäftsmodelle zu entwickeln, sondern im Wesentlichen die (Hoch-)Preispolitik weiterverfolgt, die schon Anfang/Mitte der 1990-er Jahre ruchbar geworden war, um sich dann plötzlich von der technischen Entwicklung überholt zu sehen: Die digitalen Vervielfältigungs- und Verbreitungsmöglichkeiten, insbesondere eine Vielzahl von peer-to-peer-Netzwerken, auf denen ganze Chart-Container abgerufen werden konnten, haben der Industrie das Fürchten gelehrt und zu massiven Einbußen geführt. So dauerte es Jahre, bis sich die Industrie auf die digitale Wirtschaft im Musik-Business eingestellt hatte und erst 2018 konnte sie vermelden, erstmals mehr Geld mit Streaming-Diensten verdient zu haben als mit physischen Tonträgern<sup>11</sup>.

Ob additive Fertigungstechnologien ein vergleichbares disruptives Potential haben, werden wir noch sehen. Ich glaube aber, dass sie durchaus die Eignung mitbringen, die eine oder andere Branche, das eine oder andere gute Geschäft von Grund auf umzukrempeln, und ich sage Ihnen im Folgenden auch warum.

## **2. Teil 1: Rechtliche Implikationen bei dem Einsatz additiver Fertigungstechnologien**

Ich will nun mit Teil 1 beginnen, also der Frage: Was ändert sich für den Hersteller bei dem Einsatz additiver Fertigungstechnologien, also etwa bei der Umstellung von spanenden Fertigungsverfahren auf den 3D-Druck bzw. ändert sich aus rechtlicher Sicht überhaupt etwas?

Die Antwort ist relativ simpel: Nein, es ändert sich nichts. Mit welcher Technologie Sie das von Ihnen vertriebene Erzeugnis herstellen, ist gleich. Sie müssen das richtig machen, das Produkt muss also sicher sein, das Produkt muss mangelfrei sein, Sie müssen die Rechte Dritter und natürlich das geltende Recht auch im Übrigen beachten.

<sup>10</sup> <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/4099/umfrage/musikindustrie-absatz-von-cd-alben/>.

<sup>11</sup> <https://www.n-tv.de/wirtschaft/Deutsche-wenden-sich-von-der-CD-ab-article20535148.html>.

Es gelten also die Vorgaben des Produkthaftungsrechts, des Gewährleistungsrechts, Sie müssen insbesondere Patente, Gebrauchsmuster, Designs und Marken Dritter beachten und natürlich dürfen Sie entgegen den Waffengesetzen oder sonstigen Bestimmungen keine verbotenen Dinge herstellen und dann vertreiben. Das ist letztlich so trivial wie es klingt: Es ist aus rechtlicher Sicht egal, ob Sie das Werkstück additiv aufbauen oder aus dem Block herauschneiden.

Sie kennen den David von Michelangelo. Der Block, aus dem David gehauen wurde, hatte Löcher und war zuvor schon von zwei anderen Künstlern bearbeitet worden, die aber beide aufgegeben hatten, da der Block zu schwer zu bearbeiten war. Es geht nun die Legende, dass Michelangelo anlässlich der feierlichen Enthüllung des David gefragt wurde, wie es ihm denn möglich gewesen sei, eine Statue solcher Schönheit zu erschaffen. Darauf antwortete Michelangelo: „Der David war immer schon da gewesen. Ich musste lediglich den überflüssigen Marmor um ihn herum entfernen.“ Warum erzähle ich Ihnen diese Geschichte? Aus technischer Sicht mag die Wahl des Herstellungsverfahrens einen möglicherweise großen Unterschied bedeuten. Insbesondere ermöglichen Ihnen additive Herstellungsverfahren u.U. Ergebnisse, die mit anderen Mitteln gar nicht oder nur unter Einsatz ganz erheblichen Aufwandes erreicht werden können. Zurück zum Bild: Vor Michelangelo sind zwei Künstler an dem Block gescheitert. Aus Ton oder einem modernen Granulat aufbauen hätten sie eine Statue sicherlich gekonnt. Aus rechtlicher Sicht ist die Wahl des Herstellungsverfahrens dagegen, jedenfalls weitestgehend, ohne Bedeutung.

Zurück zum Thema: Lassen Sie uns den Fokus etwas verschieben, reden wir nicht über die Umstellung der Produktion auf ein anderes Herstellungsverfahren, sondern denken wir an einen Defekt in der Fertigungsstraße, eine gebrochene oder verschlissene Walze oder ein anderes Ersatzteil, das Sie benötigen und das sich der Hersteller eingedenk des Umstandes teuer bezahlen lässt, dass eben dieses Bauteil patentgeschützt ist. Hätte es in der Vergangenheit einigen Aufwandes bedurft, dieses Teil nachzubauen, ist dies heute vielleicht recht einfach, da Sie ohnehin einen Scanner und einen 3D-Drucker zur Hand haben. Da mag es verlockend erscheinen, die Walze kurz aus dem Drucker herauslaufen zu lassen und so einiges an Zeit und Geld zu sparen.

Das dürfen Sie natürlich aber nicht, denn nur weil etwas technisch (einfacher) möglich ist, heißt dies nicht, dass es auch erlaubt ist. In diesem Sinne sind auch die sonstigen rechtlichen Rahmenbedingungen zu beachten, die für den Einsatz jedes Fertigungsverfahrens gelten. Das Waffenrecht habe ich schon genannt. Das versteht sich von selbst. Auch den Datenschutz habe ich schon angesprochen, in Zeiten der DSGVO ein unvermeidbares Thema.

Was bedeutet der Datenschutz an einem Beispiel praktisch? U.U. mag es sich anbieten, kundenspezifische Angaben unmittelbar auf dem Erzeugnis festzuhalten, etwa bei bzw. auf Zahn- oder sonstigen Implantaten, die individuell hergestellt werden. Ein solches Produkt muss dann gemäß den datenschutzrechtlichen Vorgaben behandelt werden, denn wenn es nicht selbst ein personenbezogenes Datum darstellt, enthält es jedenfalls ein solches.

Was nehmen Sie nun aus Teil 1 mit? Das konkrete Herstellungsverfahren ist rechtlich in dem Sinne neutral, dass sich aus dem Einsatz von additiven Technologien anstelle von anderen Herstellungsverfahren keine Besonderheiten ergeben. Anderes mag zwar gelten, wenn etwa das konkrete Herstellungsverfahren in einem regulatorischen Kontext festgelegt ist. Das ist aber nicht 3D-Druck-spezifisch, so dass ich diesen Themenkreis heute nicht weiter behandeln, sondern lediglich in dieser Kürze ansprechen möchte.

### **3. Teil 2: Möglichkeiten des Rechteinhabers, sich gegen die Nachahmung seiner Produkte zu schützen**

Im zweiten Teil meiner Keynote möchte ich mich mit den Möglichkeiten befassen, die sich zum Schutz vor Nachahmung bieten. Wir begeben uns also in die Position des Herstellers eines eingeführten Produkts, der sich plötzlich der Situation ausgesetzt sieht, dass sein teures Produkt, das in der Vergangenheit nur mit einigen Anstrengungen nachempfunden werden konnte, nun mit überschaubarem Aufwand mit einem 3D-Drucker nachgebaut werden kann. Was kann ein solcher Hersteller tun, und vor allem gegen wen?

Zur Einordnung möchte ich ein paar Worte zu den wesentlichen verfügbaren Schutzrechten nach deutschem Recht sagen. Dabei geht es mir um typischerweise wiederkehrende Fragen bei der Erlangung dieser Schutzrechte.

Ich beginne mit den technischen Schutzrechten Patent und Gebrauchsmuster. Patente und Gebrauchsmuster werden für Erfindungen auf allen Gebieten der Technik erteilt. Wichtig ist insoweit – und vielen von Ihnen sicherlich bekannt –, dass Patente und Gebrauchsmuster nur erteilt bzw. aufrechterhalten werden, wenn die Erfindung die Voraussetzung der Neuheit erfüllt<sup>12</sup>, also nicht bloß dem Stand der Technik entspricht<sup>13</sup>. Ist der Hersteller mit seinem Produkt bereits auf dem Markt und hat in der Vergangenheit keinen Patentschutz nachgesucht, wird er solchen also mit einiger Wahrscheinlichkeit nicht mehr erlangen können. Denn sein Produkt mit allen Ausstattungsmerkmalen zählt zum Stand der Technik, und der ist neuheitsschädlich, jedenfalls wenn sich die Funktionsweise ohne große Mühen von einem Fachmann

---

<sup>12</sup> § 1(1) PatentG; § 1(1) GebrMG.

<sup>13</sup> § 3 PatentG; § 3 GebrMG.

ableiten lässt (was insbesondere bei 3D-Druck-relevanten Erzeugnissen regelmäßig der Fall sein dürfte).

Lassen Sie uns des Weiteren einen Blick auf die etwas despektierlich auch „Lifestyle-Rechte“ genannten Marken und Designs werfen: Als Marke können alle Zeichen, insbesondere Wörter einschließlich Personennamen, Abbildungen, Buchstaben, Zahlen, Hörzeichen, dreidimensionale Gestaltungen einschließlich der Form einer Ware oder ihrer Verpackung sowie sonstige Aufmachungen einschließlich Farben und Farbzusammenstellungen geschützt werden, die geeignet sind, Waren oder Dienstleistungen eines Unternehmens von denjenigen anderer Unternehmen zu unterscheiden<sup>14</sup>. Es sind jedoch solche Marken vom Schutz ausgeschlossen, deren ausschließliche Form durch die Art der Ware selbst bedingt oder zur Erreichung einer technischen Wirkung erforderlich ist<sup>15</sup>.

Entsprechend verhält es sich bei Designs. Ein Design ist die zweidimensionale oder dreidimensionale Erscheinungsform eines ganzen Erzeugnisses oder eines Teils davon, die sich insbesondere aus den Merkmalen der Linien, Konturen, Farben, der Gestalt, Oberflächenstruktur oder der Werkstoffe des Erzeugnisses selbst oder seiner Verzierung ergibt<sup>16</sup>. Von Schutz ausgeschlossen sind aber Designs, wenn die Erscheinungsmerkmale ausschließlich durch deren technische Funktion bedingt sind<sup>17</sup>.

Handelt es sich um ein technisches Bauteil, wird Schutz als Marke oder Design daher oftmals nur schwer erreichbar sein. Denn oftmals werden Form und Erscheinungsmerkmale technisch bedingt sein oder aber verbieten sich gestalterische Elemente, das sie der Nutzung entgegenstehen.

Hinzukommen weitere Schwierigkeiten wie eine große Fülle bereits vorhandener Schutzrechte, dies gilt für Designs ebenso wie für Marken. Allerdings hat unser Hersteller bei entsprechenden Schwierigkeiten, sein Erzeugnis zu schützen, u.U. ein weiteres Problem, denn er verletzt möglicherweise Rechte Dritter.

Zu denken wäre noch an die dreidimensionale Marke. Allerdings ist deren Eintragung häufig schwer durchzusetzen. Denn insbesondere das Deutsche Patent- und Markenamt ist zurückhaltend mit der Annahme, dass eine äußere Form auf die Herkunft des Produkts hinweist. Umso schwieriger wird es, je mehr das Produkt durch seine technische Funktion geprägt ist<sup>18</sup>.

---

<sup>14</sup> § 3(1) MarkenG.

<sup>15</sup> § 3(2) MarkenG.

<sup>16</sup> § 1 Nr. 1 DesignG.

<sup>17</sup> § 3(1) Nr. 1 DesignG.

<sup>18</sup> Vgl. BPatG, 27.12.2016 - 25 W (pat) 59/14 zur Löschung der 3D-Marke für Traubenzuckertäfelchen.

Dem gewerblichen Rechtsschutz zugehörig ist ferner der ergänzende wettbewerbsrechtliche Leistungsschutz, der insbesondere dann in Betracht kommt, wenn das Produkt des Herstellers Wertschätzung am Markt erlangt hat, die ein Mitbewerber durch Nachahmung ausnutzt, oder wenn die Nachahmung über die betriebliche Herkunft des nachempfundenen Erzeugnisses täuscht, also den Anschein des Originals erweckt<sup>19</sup>. Diese Voraussetzungen erfüllt nicht ohne weiteres jedes Erzeugnis. Insbesondere muss der Verkehr mit dem Original eine besondere Vorstellung verbinden und muss sich die Nachahmung nach der Rechtsprechung der deutschen Gerichte sehr nahe an das Original anlehnen<sup>20</sup>. Ferner lässt sich u.U. eine Herkunftstäuschung durch einen klaren Herkunftshinweis vermeiden<sup>21</sup>.

Gesprochen habe ich jetzt kurz über die gewerblichen Schutzrechte Patent, Gebrauchsmuster und Design und den ergänzenden wettbewerbsrechtlichen Leistungsschutz. Parallel kann zum Schutz des Herstellers an das Urheberrecht gedacht werden. Geschützt werden nach dem UrhG als Werke nur persönliche geistige Schöpfungen<sup>22</sup>. Was heißt das? Es muss zunächst eine persönliche Schöpfung des Urhebers vorliegen – D.h. das Werk muss ein solches eines Menschen sein. Die Schöpfung muss ferner einen geistigen Gehalt haben – Es muss somit der menschliche Geist zum Ausdruck kommen (man spricht auch von einer geistig-ästhetischen Wirkung). Die Schöpfung muss des Weiteren eine wahrnehmbare Formgestaltung aufweisen. Schließlich muss in ihr die Individualität des Urhebers zum Ausdruck kommen – Es ist damit eine gewisse Gestaltungshöhe erforderlich, nach der sich etwa eine künstlerische Fotografie von einem Schnappschuss aus dem Urlaub abhebt; dies erfordert Gestaltungsspielraum, der fehlt, wenn die Form durch technische Zwänge vorgegeben ist<sup>23</sup>.

Bei der *l'art pour l'art*, der reinen Kunst ohne praktischen Nutzen, sind diese Voraussetzungen unabhängig von Stil- und Geschmacksfragen regelmäßig gegeben, es kann also von einem urheberrechtlich geschützten Werk ausgegangen werden. Etwas schwieriger ist dies bei den Werken der angewandten Kunst, Erzeugnissen also, die einen praktischen Nutzen haben, zugleich aber auch einen künstlerischen Anspruch erheben wollen. Infolge einer Änderung des Designgesetzes sind die Anforderungen nach der Rechtsprechung zwar denen angeglichen worden, die auch für die *l'art pour l'art* gelten. D.h. nach den Grundsätzen der so genannten kleinen Münze genügt auch ein geringfügiger gestalterischer Unterschied, um aus der einfachen Fotografie ein Werk zu machen bzw. aus einem Spielzeug wie einem Geburtstagszug – Sie kennen diese kleinen Holz-Züge, bei denen die einzelnen Wagen

---

<sup>19</sup> § 4 Nr. 3 UWG.

<sup>20</sup> Vgl. BGH, Urt. v. 22. 3. 2012 – I ZR 21/11 – Sandmalkasten.

<sup>21</sup> Siehe aber z.B. OLG Köln, Urteil vom 17. 11. 2006 - 6 U 78/06.

<sup>22</sup> § 2(2) UrhG.

<sup>23</sup> Dreier/Schulze/Schulze UrhG § 2 Rn. 6 ff. beck-online.

Buchstaben sind und aus denen man den Namen des Geburtstagszuges bildet – ein Werk. Ein solcher Geburtstagszug kann also als angewandte Kunst den Werkbegriff des Urheberrechtsgesetzes erfüllen<sup>24</sup>. Aber stellen Sie sich den Hersteller eines Erzeugnisses vor, das durch seinen praktischen Nutzen geprägt ist und bei dem jede gestalterische Anwendung, wenn überhaupt durchführbar, nur stören würde.

Was will ich Ihnen mit diesen Ausführungen vermitteln? Es mag u.U. für einen Hersteller sehr schwierig sein, ein Schutzrecht für sein Produkt zu erlangen, insbesondere wenn dies bereits auf dem Markt eingeführt oder das Erscheinungsbild durch die technische Funktion geprägt ist. Immaterialgüterschutz ist mit anderen Worten nicht immer nach Belieben verfügbar.

Unterstellen wir im Weiteren, der Hersteller verfügte bereits über ein gewerbliches Schutzrecht oder war in der glücklichen Position, ein solches erlangen zu können. Gegen was und vor allem gegen wen kann er sich wie zur Wehr setzen? Zunächst gewähren Immaterialgüterrechte dem Inhaber ein Ausschließlichkeitsrecht<sup>25</sup>. Grundsätzlich geltend machen kann der Inhaber eines Patents, einer Marke, eines Designs oder eines Urheberrechts daher Unterlassung, Auskunft und Schadensersatz<sup>26</sup>, Unterlassung u.U. auch im Wege einer einstweiligen Verfügung. Das gilt – jedenfalls in dieser Allgemeinheit – auch im Lauterkeitsrecht<sup>27</sup>.

Sämtliche gewerblichen Schutzrechte erfordern aber ein Handeln im geschäftlichen Verkehr bzw. zu gewerblichen Zwecken<sup>28</sup>; d.h. ein privater Nachbau eines Erzeugnisses zu nichtgewerblichen Zwecken kann nicht untersagt werden. Dies dürfen Sie als die wichtigste Aussage meiner Keynote mitnehmen.

Ob geschützt durch ein Patent oder Gebrauchsmuster, eine Marke oder ein Design: Wird ein Kunststoffteil eines Autos wie etwa der Handschuhfachdeckel, das Gehäuse eines Mixers oder ein sonstiges Erzeugnis von einem Privatmann für seine nichtgewerblichen Zwecke nachgebaut, kann sich der Inhaber des Schutzrechts dagegen nicht wehren, und das gilt unabhängig von der Anzahl der Nachbauten: Sie dürfen sich also den Deckel für das Handschuhfach oder – ein vielleicht etwas überzeugenderes Beispiel – die patentgeschützte Kunststoffleuchte 10-, 100- oder 1000-fach ausdrucken und in ihr Wohnzimmer stellen. Dagegen kann der Schutzrechtsinhaber nichts tun.

Die Grenze des Erlaubten bildet allein der geschäftliche Verkehr. Die Rechtsprechung legt dieses Merkmal daher auch tendenziell eng aus. Es bedeutet daher zunächst einen

---

<sup>24</sup> BGH, Urt. v. 13. 11. 2013 – I ZR 143/12 – Geburtstagszug.

<sup>25</sup> Vgl. § 9 PatentG, §§ 14, 15 MarkenG, § 38 DesignG, § 11 UrhG.

<sup>26</sup> Vgl. § 139 PatentG, §§ 14, 15 MarkenG, § 97 UrhG.

<sup>27</sup> §§ 8, 9 UWG.

<sup>28</sup> § 11 PatentG, §§ 14, 15 MarkenG, § 40 DesignG, § 3 UWG.

Unterschied, ob Sie die Kunststoffleuchten in ihr Wohnzimmer oder in das Besprechungszimmer Ihres Ingenieurbüros stellen. Eine solche Nutzung verlässt den privaten persönlichen Rahmen und kann also untersagt werden. Wenn Sie des Weiteren Nachahmungen markengeschützter Ware nach Deutschland einführen, macht es einen Unterschied aus, ob Sie beispielsweise eine oder gleich ein Dutzend derselben Tasche einführen. Gleichermäßen sprechen Bewertungen ihrer eBay-Aktivitäten im oberen drei- oder vierstelligen Bereich für Artikel der gleichen Art eher gegen eine rein private Tätigkeit. Veräußern Sie also die 1000 Kunststoffleuchten nach und nach über eBay, weil es Ihnen im Wohnzimmer dann doch etwas zu eng oder zu warm wird, kann man natürlich sagen, dass Sie bloß Ihre private Einrichtung verkaufen. Vor Gericht müssten Sie aber doch einige Überzeugungsarbeit leisten, dass Sie nicht gewerblich tätig sind<sup>29</sup>.

Wichtig ist aber, diesen Punkt möchte ich in besonderer Weise herausheben, dass private Handlungen zu nicht-gewerblichen Zwecken auf Grundlage der gewerblichen Schutzrechte nicht unterbunden werden können. Dies ist, wie gesagt, der wichtigste Satz, den Sie mitnehmen.

Im Urheberrecht ist dies anders: Das Urheberrecht schützt den Urheber in seinen geistigen und persönlichen Beziehungen zum Werk und in der Nutzung des Werks. Es dient zugleich der Sicherung einer angemessenen Vergütung für die Nutzung des Werkes<sup>30</sup>. Sofern nicht erlaubt, ist daher auch die private Kopie verboten. Das Urheberrecht ist damit, jedenfalls in der abstrakten Theorie, ein wichtiger Ansatzpunkt für Rechteinhaber, um sich gegen die Nachahmung ihrer Produkte im privaten Rahmen zu wehren. Allerdings stellt sich in der Praxis oftmals die Frage der Schutzfähigkeit: Viele Bereiche bieten sich für eine künstlerische Gestaltung schlicht nicht an.

Insgesamt schreibe ich dem Bereich der privaten Vervielfältigung daher eine Bedeutung zu, von der ich nicht sicher bin, dass diese in ihrer potentiellen Tragweite bereits vollständig erfasst wurde. Dies ist nun auch bereits der Verweis auf die einleitenden Worte zur Frage der Relevanz des 3D-Drucks in der juristischen Entscheidungspraxis. Verstehen Sie dies gerne auch als Aufruf an die Hersteller, das eigene Risikopotential zu ergründen und Strategien zum Schutz des eigenen Geschäftsmodells zu entwickeln.

Lassen Sie uns aber noch einen Schritt weiter gehen: Vielleicht haben Sie sich ja schon gefragt, wovon der Mann da vorne eigentlich die ganze Zeit redet, vom Ausdruck, also dem physischen Erzeugnis, oder von dem dahinterstehenden Datensatz. Sie ahnen vielleicht noch gar nicht, wie gut diese Frage wirklich ist: Zwar kennen das Patent-

---

<sup>29</sup> Vgl. etwa BGH, Urteil vom 4. 12. 2008 - I ZR 3/06 – Ohrclips.

<sup>30</sup> 11 UrhG.

und Gebrauchsmusterrecht und das Designrecht auch die mittelbare Rechtsverletzung<sup>31</sup>. Eine solche beispielsweise mittelbare Patentverletzung liegt vor, wenn unberechtigt ein Mittel, das sich auf ein wesentliches Element der Erfindung bezieht, angeboten oder geliefert wird. Nun ließe sich mit guten Gründen argumentieren, dass gerade ein Datensatz ein solches Mittel darstellt, denn es enthält alle Informationen zur Form des patentgeschützten Erzeugnisses. Wer den Datensatz hat und über 3D-Drucker und das erforderliche technische Know-how verfügt, kann das Erzeugnis mit dem Datensatz nachbauen. Allerdings verlangt die Rechtsprechung bislang, dass es sich bei dem Mittel um ein körperliches handelt<sup>32</sup>. Insoweit muss aus meiner Sicht zwingend ein Paradigmenwechsel erfolgen, denn diese Sichtweise ist zwar Stand der Rechtsprechung, genügt den Anforderungen der digitalisierten Wirtschaft jedoch nicht (mehr), da sie die Erstellung und Verbreitung eines Datensatzes, auch im gewerblichen Rahmen, nicht sanktioniert.

Anders verhält es sich im Urheber- und auch im Markenrecht: Urheberrechtlich relevant ist eine Vervielfältigung unabhängig von ihrer Form<sup>33</sup>. Es spricht somit viel dafür, von einer urheberrechtlich relevanten Handlung auszugehen, wenn ein unberechtigter Dritter ein urheberrechtlich geschütztes Werk digital nachbildet und insbesondere einen entsprechenden 3D-Datensatz erstellt, der zunächst am Bildschirm und dann auch per Ausdruck wahrnehmbar gemacht werden kann.

Ähnlich verhält es sich bei der Marke, wenn diese in dem 3D-Datensatz enthalten ist. In vergleichbarer Weise haben bereits vor einigen Jahren das Landgericht und das Oberlandesgericht Frankfurt am Main eine Markenverletzung durch ein Computerspiel angenommen, in dem die Marken der Vereine und Kapitalgesellschaften der ersten beiden deutschen Fußball-Bundesligen wiedergegeben waren<sup>34</sup>.

Was will ich Ihnen mit diesen Ausführungen sagen? Es ist unter Umständen nicht nur schwierig, überhaupt Immaterialgüterschutz für das eigene Produkt zu erlangen. Darüber hinaus stellt sich für den Rechteinhaber die Frage, ggf. er sich gegen welche Art von Nutzungshandlungen zur Wehr setzen kann. Denn nicht jede Art der Nutzung ist auf der Grundlage eines bestimmten Schutzrechts auch sanktionsfähig. Wie ausgeführt, ist insbesondere zwischen geschäftlichen und rein nicht-gewerblichen Zwecken zu unterscheiden, ferner zwischen unterschiedlichen Nutzungen, insbesondere der Anfertigung eines Drucks und der Erstellung und Verbreitung einer Vorlage. Dieser zweite Punkt ist für den Rechteinhaber von herausragender

---

<sup>31</sup> Vgl. § 10 (1) PatentG.

<sup>32</sup> Benkard PatG/Scharen PatG § 10 Rn. 4 mwN.

<sup>33</sup> Spindler/Schuster Elektron. Medien/Wiebe UrhG § 16 Rn. 3-6.

<sup>34</sup> OLG Frankfurt Ur. v. 22.11.2005 – 11 U 6/05.

Bedeutung, denn hiernach entscheidet sich, gegen wen er vorgeht bzw. überhaupt vorgehen kann.

Um den Themenkreis abzuschließen, bedarf es aber noch eines weiteren Gedankens. Denn es stellt sich die Frage, ob der Schutzrechtsinhaber auch gegen Dritte wie die Betreiber von Internetportalen und Tauschbörsen oder gegen Copyshop-Betreiber vorgehen kann. Ist die private Vervielfältigung jedenfalls auf der Grundlage der gewerblichen Schutzrechte nicht angreifbar, liegt der Gedanke nahe, gegen die Beteiligten vorzugehen, die nicht allein zu privaten Zwecken handeln und die überdies die Rolle desjenigen einnehmen, der die Vorlagen verbreitet oder jedenfalls die Infrastruktur dafür bereitstellt. Die Reichweite eines solchen Vorgehens ist damit u.U. größer als bei der Abmahnung des letzten Gliedes in der Kette.

Insoweit gilt im Grundsatz: Wer an der Rechtsverletzung bewusst und gewollt mitwirkt, haftet als (Mit)Täter oder Teilnehmer. Im Übrigen kommt eine Störerhaftung bei der Verletzung von Prüfpflichten in Betracht<sup>35</sup>. Was konkret die Hersteller von 3D-Druckern betrifft, ist von einer solchen Mitwirkung nicht auszugehen, insbesondere da es auch legitime Einsatzmöglichkeiten gibt. Auch fehlt es an Prüfpflichten, die eine Störerhaftung begründen könnten. Bei Dienstleistern wie Copyshop-Betreibern gilt im Grundsatz, dass von einer Haftung des Betreibers nicht auszugehen ist, stellt dieser nur die technische Einrichtung zur Verfügung. Anders verhält es sich im konkreten Fall möglicherweise bei weitergehenden Leistungen, insbesondere bei technischer Beratung und der Ausführung des Drucks. Der Betreiber eines Internetportals oder einer Tauschbörse wiederum haftet nicht, wenn er nur die Infrastruktur zur Verfügung stellt. Eine Haftung kommt nur bei der Verletzung von Prüfpflichten in Betracht, die grundsätzlich aber nicht per se bestehen, sondern erst auf entsprechenden Hinweis eines Rechteinhabers.

Am Ende des zweiten Teils sehen Sie: Es gibt durchaus Ansatzpunkte, insbesondere steht das geltende Recht auch nicht mit leeren Händen da. Ob das Recht jedoch alle Fragen sachgerecht beantwortet, wird sich noch weisen müssen. Jedenfalls sollte sich das produzierende Gewerbe mit dem Gefahrenpotential befassen, das der 3D-Druck für das eigene Geschäftsmodell darstellen kann und die richtigen Schlüsse ziehen.

#### **4. Teil 3: Digitale Geschäftsmodelle**

Ein solcher Schluss, und damit komme ich zum dritten und letzten Teil meines Vortrags, kann die Umstellung bzw. Erweiterung auf ein digitales Geschäftsmodell sein, das heißt insbesondere den Vertrieb von Datensätzen bei Auslagerung des tatsächlichen Herstellungsprozesses in den Bereich des Abnehmers.

---

<sup>35</sup> BGH, Urt. v. 5.2.2015 – I ZR 240/12 – Hochstühle im Internet.

Betrachten wir zunächst die Haftung des Anbieters für Mängel, verhält es sich bei dem Vertrieb von Datensätzen entsprechend zum Vertrieb eines fertigen Erzeugnisses, d.h. der Verkäufer hat für die Mängelfreiheit einzustehen. Welche Pflichten des Verkäufers bzw. Rechte des Käufers im Einzelnen bestehen, ist im konkreten Fall insbesondere nach der Art der Leistung zu bestimmen, d.h. nach dem Vertragstyp. Denn unter Umständen handelt es sich nicht wie beim Verkauf eines fertigen Produkts um einen Kaufvertrag, sondern möglicherweise um eine zeitlich beschränkte Lizenz, die eher mit einem Mietverhältnis vergleichbar ist. Das ändert aber im Grundsatz nichts daran, dass der Verkäufer (den man dementsprechend in Anführungsstriche setzen müsste) für die Mangelfreiheit des von ihm vertriebenen Datensatzes haftet.

Im Produkthaftungsrecht ist zu unterscheiden zwischen der verschuldensunabhängigen Haftung nach dem Produkthaftungsgesetz und der verschuldensabhängigen deliktsrechtlichen Haftung gem. den zivilrechtlichen Vorschriften über die unerlaubte Handlung. Insofern kommt es u.U. zu einer Privilegierung des digitalen Geschäftsmodells, da auf dieses möglicherweise nur die deliktsrechtliche, nicht aber die Haftung nach dem Produkthaftungsgesetz Anwendung findet. Denn Produkt im Sinne des Produkthaftungsgesetzes ist zunächst nur eine bewegliche Sache, darüber hinaus Elektrizität. Ein Datensatz qualifiziert sich damit erst einmal nicht als taugliches Produkt im Sinne des Produkthaftungsgesetzes. Diskutiert wird aber, dass der Datensatz einen Grundstoff bildet, der Anbieter damit als dessen Hersteller anzusehen ist<sup>36</sup>. Letztlich wird dies die Rechtsprechung zu entscheiden haben; ändern kann der Anbieter daran nichts.

Im Rahmen der verschuldensabhängigen deliktsrechtlichen Haftung hingegen kommt es zu einer deutlichen Verschiebung, was den Fokus der Pflichten des Anbieters betrifft. Unterschieden werden üblicherweise Fabrikationsfehler, Konstruktionsfehler und Instruktionsfehler. Wird der Fabrikationsprozess auf den Abnehmer übertragen, liegt es auf der Hand, dass dieser Bereich beim Vertrieb von Datensätzen deutlich an Relevanz abnimmt. Zugleich gewinnen die Instruktionspflichten des Anbieters deutlich an Bedeutung, denn wie Ihnen allen bekannt, ist die Ausführung eines 3D-Drucks möglicherweise alles andere als trivial. Ob die richtige Auswahl des Materials, dessen Reinheit und Temperatur, der richtige Umgang mit der Maschine, das Abkühlen des Werkstücks oder dessen Nachbehandlung, insbesondere bei komplexeren Strukturen und größeren Bauteilen bedarf es genauester Angaben zur Erreichung des gewünschten Ergebnisses und insbesondere der Vermeidung von Gefahren. Anbieter von Datensätzen werden daher

---

<sup>36</sup> Jürgen Oechsler, Produkthaftung beim 3D-Druck, NJW 2018, 1569, 1570.

ganz erhebliche Anstrengungen darauf verwenden müssen, den richtigen Umgang mit der Datei sicherzustellen. Dies gilt natürlich auch mit Blick auf Maße, Toleranzen etc.

## **5. Fazit**

Damit möchte ich denn auch schließen. Wie Sie gehört haben, ist das geltende Recht insofern hinreichend, als es sicherlich die meisten Fragen beantworten kann, die sich im Kontext von additiven Fertigungsverfahren aus rechtlicher Sicht stellen. Ob die Fragen angemessen beantwortet werden, muss die Zukunft weisen. Das hängt sicherlich auch vom Umgang der Hersteller mit dem Thema ab.

Bitte sehen Sie mir nach, dass ich nicht jede mögliche rechtliche Implikation angesprochen habe. Dies hätte der zeitliche Rahmen nicht zugelassen. Aber natürlich gibt es weitere spannende Fragen, die wir vielleicht im kommenden Jahr diskutieren können.

Literatur zum Thema:

- Lambert Grosskopf, 3D Druck – Personal Manufacturing, CR 2012, 618
- Dinusha Mendis, “The Clone Wars”: Episode 1 – The Rise of 3D Printing and its implications for Intellectual Property Law: Learning Lessons from the Past?, European Intellectual Property Review 2013, 155
- Martin Mengden, 3D-Druck – Droht eine „Urheberrechtskrise 2.0“? Schutzzumfang und drohende Rechtsverletzungen auf dem Prüfstand, MMR 2014, 79
- Martin Mengden, 3D-Druck aus ordnungs- und strafrechtlicher Perspektive, Schutzzumfang des Waffenrechts und staatliche Handlungsoptionen, MMR 2014, 150
- Christian Kusulis, Dr. Kristofer Bott, „3D-Druck“: Immaterialgüterrechtliche Rahmenbedingungen additiver Fertigungstechnologien, IPRB 2014, 113
- Christian Solmecke, Rechtliche Aspekte des 3D-Drucks, DSRITB 2014, 287
- Nordemann/Rüberg/Schaefer, 3D-Druck als Herausforderung für die Immaterialgüterrechte, NJW 2015, 1265
- Philipp Lehmann, 3D-Druck und Marken – MarkenR 2015, 146
- Schmoll/Graf Ballestrem/Hellenbrand/Soppe, Dreidimensionales Drucken und die vier Dimensionen des Immaterialgüterrechts – GRUR 2015, 1041
- Anne-Kathrin Müller, Jessica Mihalyi, Körper nach Maß – Rechtliche Aspekte des Bioprinting, InTeR 2016, 134
- Martin Haase, Anne-Kathrin Müller, Haftungsrechtliche Aspekte des 3D-Drucks, InTeR 2017, 65, 124
- Markus Wiedemann, Dr. S. Dennis Engbrink, Rechtliche Auswirkungen des 3D-Drucks auf Immaterialgüterrechte und gewerbliche Schutzrechte, InTeR 2017, 71
- Andreas Gebhardt, 3D-Drucktechnologie in der Automobilindustrie, RAW 2016, 41
- Martin Rothermel, Die vierte Dimension – Rechtsfragen im 3D-Druck 2.0, RAW 2016, 125
- Andreas Leupold/Silke Glossner (Hrsg.). 3D Printing

- Katharina Mitterer, Dr. Markus Wiedemann, Dr. Thomas Zwissler, BB-Gesetzgebungs- und Rechtsprechungsreport zu Industrie 4.0 und Digitalisierung, BB 2017, 3
- Constantin Blanke-Roeser, 3D-Druck und das Patentrecht in Europa, GRUR 2017, 467
- Positionspapier 3D-Druck, Erfolgsgeschichte für den Digitalstandort, Bitkom 2017
- Jessica S. Mihalyi, Risiken und Rechtspflichten: Das Zusammenspiel von 3D-Druck-Technologie und IT-Sicherheitsrecht, InTer 2017, 193
- Gaspare Loderer, 3D-Druck und Urheberrecht in der Schweiz, GRUR Int. 2018, 20
- Jürgen Oechsler, Produkthaftung beim 3D-Druck, NJW 2018, 1569
- Merve Kristin Oberneyer, Normadressat und Produktbegriff des ProdSG im Kontext des 3D-Drucks, InTer 2018, 80

Christian Kusulis

Rechtsanwalt und Partner der Sozietät GvW Graf von Westphalen am Standort Frankfurt am Main. Spezialisiert auf die Bereiche Wettbewerbsrecht (Kartellrecht und Recht des unlauteren Wettbewerbs) und IP.

Geboren 1971. Aufgewachsen in Baden-Württemberg. Abitur 1990. 1990 bis 1991 Zivildienst. 1991 bis 1998 Studium in Gießen und Hamburg. 1998 bis 2001 Referendariat in Schleswig-Holstein. 2001 bis 2003 Rechtsanwalt in Ramat Gan, Israel. 2003 bis 2010 Rechtsanwalt in einer mittelständischen Sozietät in Frankfurt. Seit 2010 bei GvW Graf von Westphalen, Partner seit 2016.

**„When the body speaks.“**

## **Voraussetzungen und Möglichkeiten der digitalen Orthetik**

// Andreas Mühlenberend

Der Beitrag basiert auf einer dreimonatigen Machbarkeitsstudie, die wir an der Bauhaus-Universität Weimar in der Fakultät Kunst und Gestaltung in Kooperation mit der Fa. Jaeger Orthopädie 2017 durchgeführt haben. Das Ziel unserer Forschung ist die Entwicklung eines voll integrierten digitalen Design- und Herstellungsworkflows für patienten- und indikationsgerechte Knöchel-Fuß-Orthesen (AFOs). Wir nutzen für unsere Forschung die CAD-Umgebung Rhinoceros (McNeel) und dazu das Programmier-Plugin Grasshopper.

Der Beitrag gliedert sich in vier Bereiche: Merkmale der Teamarbeit, Orthesen und ihre Eigenschaften, Potenziale der Digitalisierung sowie Designstudien. Er diskutiert nicht die technischen Verfahren im Detail, sondern branchenspezifische Voraussetzungen für den Einsatz der digitalen Orthetik und jene neuen Möglichkeiten, die den menschlichen Körper und somit auch den erfolgreichen Einsatz einer Orthese betreffen. Abschließend demonstrieren die im Laufe der Studie entstandenen Fußorthesen exemplarisch, welche funktionalen und gestalterischen Potentiale für die Gestaltung von Orthesen entstehen, wenn eine durchgehende digital gestützte Prozesskette zum Einsatz kommt (Daten generieren / manipulieren / materialisieren).

Die Urheber und Beteiligten der Studie sind: Prof. Jan Willmann, ausgewiesener Experte für Digitale Methoden, der Biomechaniker und Meister für Orthopädieschuhtechnik Martin Jaeger, der Produktdesigner und Spezialist für Computational Design and Geometry Henning Seide, der Produktdesigner und künstlerische Mitarbeiter der Bauhaus Universität Weimar Niklas Hamann sowie meine Person, Professor für Industriedesign mit einem breiten Forschungs-, Entwicklungs- und Designoeuvre zu Prothetik und Orthetik.

### **1. Merkmale der Teamarbeit**

Wir wählen für unsere Forschung eine Arbeitsmethode, die wir gemäß medizintechnischen Erfahrungen im körpernahen Bereich für zwingend notwendig erachten. So ist das Team interdisziplinär zwischen Handwerk, Forschung und Design aufgestellt. Innerhalb des Teams werden alle Medien oder Mittel der Erkenntnis gleich geachtet. Ein händisch gefertigtes Entwicklungsmodell steht beispielsweise gleichberechtigt neben der Skizze, dem CAD-Modell oder dem Algorithmus. Das Ziel ist die Kreation von besseren Möglichkeiten der orthetischen

Versorgung. Die dafür notwendigen Erkenntnisse können nur durch den gleichzeitigen Einsatz von analogen und digitalen Mitteln erzeugt werden.

Abb. 01: Verschiedene Medien der Entwicklung: CAD, Skizzen, Modelle / © Bauhaus-Universität Weimar und Jaeger Orthopädie, 2017

Abb. 02: Abformung und 3-D-Scannen eines Patientenfußes / © Bauhaus-Universität Weimar und Jaeger Orthopädie, 2017

Ein weiteres Merkmal unserer Arbeit ist die sofortige Einbeziehung von Testpersonen und Patienten in unsere Forschung und Entwicklung. Oft steht zu Beginn einer körpernahen Produktentwicklung eine theoretische Grundannahme oder eine „eigentlich gute Idee“. Aber ohne die Spiegelung dieser Idee am Menschen bestehen viele Studien leider nur in der nachfolgenden Bebilderung der Ausgangsidee. Eine Adaption der Idee an die Realität oder ihre notwendige empirische Reifung findet dann bedauerlicherweise nicht statt. Insbesondere in der Orthetik trifft jede Idee auf eine hohe Anzahl von bestehenden Anforderungen. Diese Anforderungen sind von dynamischer Natur und beeinflussen sich wechselseitig, denn sie resultieren aus der Beweglichkeit und der Anpassungsfähigkeit (Adaptivität) des menschlichen Körpers selbst. Ergo ist es uns wichtig, möglichst früh ein Gefühl für die Plausibilität zu entwickeln, die jede Design- oder Prozessidee im Bezug zu ihrem dynamischen Umfeld hat. Nicht nur aus diesem Grund beginnen wir unsere Arbeit mit einem Patientenkontakt. Diese Begegnung hat den Zweck, die Maße des Patientenfußes als konkrete Basis für weitere Entwicklungsschritte zu ermitteln. Das Maßnehmen erfolgt – ebenfalls passend zu unserem Ansatz – einerseits analog durch Abformung und andererseits digital durch den Scanner. Durch die Begegnung mit dem Patienten wird allen Entwicklern obendrein klar, in welchem Zusammenhang die Ziele unserer Forschung stehen und für wen wir arbeiten.

Jeder der Projektbeteiligten würde hier einen anderen Beitrag über die Ergebnisse geben, und das ist gut so. Denn jeder Teilnehmer leistet sowohl seine Mitwirkung als auch die Ergebnisbewertung vor dem eigenen fachlichen Hintergrund.

## **2. Orthesen und ihre Eigenschaften**

Es ist die Aufgabe von Orthesen, funktionsgestörte Körperteile zu halten, zu führen oder zu entlasten. Dies geschieht zumeist über Kräfte, die im Drei-Punkt-Prinzip auf den Körper wirken. Weitere Funktionen können die Beeinflussung der Selbstwahrnehmung des Körpers

(Propriozeption) durch Stimulation sein sowie der Einsatz von Wärme oder Kälte. Im Gegensatz zu Prothesen ersetzen Orthesen keine Körperteile. Orthesen ersetzen oder unterstützen Körperfunktionen. Orthesen werden gemäß medizinischer Indikation an allen Extremitäten des Körpers sowie am Rumpf des Menschen eingesetzt.

Abb. 03: Knieorthese: Genu-Arthro / Ottobock und Resolutdesign / Foto: Michael Ehrhrit, 2005

Abb. 04: Rückenorthese: Lumbo Tristep / Ottobock und Resolutdesign / Foto: Michael Ehrhrit, 2007

Die Größe einer Orthese reicht hierbei von einer Fingerorthese bis zur reziproken Gehorthese, d.h. einem Gehapparat, der den Körper von der Fußsohle bis zum Rumpf einschließt.

Ursprünglich wurden Orthesen ausschließlich handwerklich durch den Orthopädietechniker für den einzelnen Patienten angefertigt. Rund um diese individuelle Maßanfertigung hat sich eine Zuliefererindustrie entwickelt, die den Techniker mit Materialien, Werk- und Halbzeug beliefert sowie mit vorgefertigten Komponenten wie Verschlusssystemen, Schienen oder kompletten Gelenksystemen. Neben der heute noch gängigen Maßanfertigung hat sich in vielen Bereichen die vorkonfektionierte Orthese etabliert. Es handelt sich hierbei um fertige Produkte in unterschiedlichen Größen, die durch den Orthopädietechniker an den Patienten angepasst werden. Anpassen bedeutet in diesem Zusammenhang, die vorhandenen Einstellungen der Orthese für den Patienten vorzunehmen und mitunter den individuellen Zuschnitt von mitgelieferten Produktkomponenten (Gurten, Gurtabdeckungen, Polstern usw.).

Nun beansprucht die digital gestützte Orthesenfertigung ihren Platz zwischen Maßfertigung und Vorfertigung. Wir müssen nicht prognostizieren, ob die digitale Orthese sich in „Reinstform“ durchsetzt – als fertiges Produkt, das ohne weiteres Hinzutun am Patienten eingesetzt wird oder ob sie ein Bestandteil der genannten Vorfertigung wird. Wir stellen aber fest, dass die digitale Fertigung gleichermaßen die Individualisierbarkeit der Maßanfertigung beinhaltet als auch die Reproduzierbarkeit der Vorfertigung (und dies – zumindest konzeptionell – ohne erheblichen Mehraufwand).

Abb. 05: Oberschenkelorthesen in den Materialien Leder, Kunststoff, Kohlefaser aus der Sammlung des Deutschen Hygiene-Museums Dresden / Bildrechte: DHMD

Parallel zur Entwicklung neuer Fertigungs- oder Vertriebsmöglichkeiten entwickelten sich auch die eingesetzten Materialien weiter. Die ersten Orthesen wurden in Leder, Textil, Fischbein, Holz und Stahl gefertigt. Später kamen Kunststoffe wie Thermoplaste und Schäume hinzu. Es folgten glas- und kohlefaserverstärkte Kunststoffe. Diese chronologische Aufzählung der Materialien bedeutet allerdings nicht, dass die „alten“ Materialien oder handwerklichen Bauweisen nicht mehr eingesetzt werden, gerade auch angesichts der neuen digitalen Fertigungstechniken. Die Orthetik bietet auch heute noch eine große Bandbreite von sowohl traditionellen als auch High-Tech betonten Lösungen.

Obwohl eine Orthese ein physisch vorhandenes Objekt ist, sollte eine Orthese am besten gar kein Gegenstand sein. Warum? Wir erkennen einen Gegenstand daran, dass wir sein Gewicht und seine Trägheit gegenüber Bewegung spüren. Wir bemerken seine Steifigkeit, d.h. seinen Widerstand gegenüber dem Verbiegen oder ertasten ihn durch seine Ränder und Kanten. Wir bemerken ebenfalls die Temperatur eines Gegenstands oder ob er unser eigenes Körperklima beeinflusst. Wenn wir einen Gegenstand entwerfen, dann planen wir guten Gewissens eine Sicherheitszugabe an Festigkeit oder Fähigkeit ein, und wenn er noch besser sein soll, dann planen wir noch mehr Sicherheit ein. Leider sind all diese genannten Merkmale eines Gegenstands verantwortlich dafür, dass eine Orthese oft nicht gerne oder gar nicht benutzt wird. Denn das Gewicht oder die Trägheit einer Orthese führen zu Mühen in der Bewegung eines ohnehin belasteten Patienten. Eine unnötige Steifigkeit führt zu harten Auseinandersetzungen zwischen Körper und Orthese. Alle Kanten und Ecken ziehen schmerzhaft Druckstellen am Körper nach sich, und die abschirmende Wirkung einer Orthese führt schlichtweg zum Schwitzen und erheblichen hygienischen Problemen. Es erscheint somit plausibel, alle gegenständlichen Merkmale einer Orthese, wie Wärmewirkung, Gewicht, Volumen, Ränder und Form zu minimieren. Im Gegensatz zur fest definierten Form einer Orthese haben wir bereits in anderen Projekten erfolgreiche Erfahrungen mit autoadaptiven Orthesen gemacht, d.h. mit Geometrien, die sich selbstständig an den menschlichen Körper anpassen. Auch für die Minimierung der genannten physikalischen Eigenschaften bieten uns digitale Methoden und Techniken neue Möglichkeiten, die wir in unseren Designstudien erforschen und demonstrieren.

Eine weitere orthesenspezifische Problematik besteht darin, dass eine Orthese dem zwar dysfunktionalen, aber nichtsdestotrotz vorhandenen Körperglied hinzugefügt wird. Durch die Orthese findet also eine Art Verdoppelung von Körperfunktionen statt. So muss z.B. ein orthetisches Gelenk im Zusammenhang mit dem menschlichen Gelenk funktionieren. Jedes Missverständnis über die Anatomie des Menschen, seine Bewegungen oder sein Verhalten führt

somit zu einem Punkt, wo die Orthese den Körper nicht mehr unterstützt, sondern gegen den Körper arbeitet – ihn also schädigt.

Des Weiteren reagiert der menschliche Körper auf alles, was ihm hinzugefügt oder anbei gestellt wird – auch auf Orthesen. Wird der Körper durch eine Orthese gestützt, so baut er schnell jene Haltemuskulatur ab, die er selbst zum Stützen besitzt. Natürlich muss eine Orthese zum Zweck der Schmerzlinderung einen entlastenden (mechanischen) Einfluss auf den Körper nehmen. Aber eine unnötige Überdimensionierung oder die Ruhigstellung von nicht betroffenen Körperregionen führt nicht zu einer besseren Entlastung, sondern dramatischerweise zu einem stärkeren und unerwünschtem Muskelabbau. Dies bedeutet, auch „gut gemeinte“ Sicherheitszugaben bezüglich Steifigkeit oder Größe besser nicht großzügig einzusetzen, sondern eher sparsam, bestenfalls minimal und auf jedem Fall in dem Wissen, dass die schädlichen Nebenwirkungen einer Orthese sich dadurch erhöhen können.

Zusammenfassend zeigt sich das Spannungsfeld zwischen dem, was eine Orthese leisten soll und dem, was eine Orthese nicht „anrichten“ darf. Dieses Spannungsfeld durchzieht körperliche und technische Funktionen, die Konstruktion sowie nicht zuletzt: den Alltag eines Patienten. Da eine Orthese in einem dynamischen Umfeld funktionieren muss, ist es schwer, den optimalen Zustand einer Orthese zu definieren. Es erscheint daher zielführender, nicht den optimalen Zustand einer Orthese zu erforschen, sondern ihren optimalen Spielraum.

### **3. Potentiale der Digitalisierung**

Der „WEIMAR CATALOGUE FOR CAD/CAM ORTHOSES“ ist eine Übersicht über alle relevanten Funktionen, Eigenschaften und Geometrien einer Orthese. Der Katalog zeigt den Zusammenhang von Funktionen und ihrer Art sowie Verortung auf der physischen Orthese sowie deren Bedeutung für digitale Strategien. Insbesondere die Kombination der notwendigen Eigenschaften mit ihrer jeweiligen Verortung auf der Orthese dient uns als eine der Grundlagen für unsere eingesetzten Algorithmen. In der Konsequenz entstehen manipulierbare, d.h. individuell auf den Patienten und seine Indikation einstellbare Wirkungs- und Funktionszonen.

Abb. 06: Weimar Catalogue for CAD-CAM orthoses / © Bauhaus-Universität Weimar und Jaeger Orthopädie, 2017

Das SLS-3D-Druckverfahren bietet dem Designer die Möglichkeit, eine Orthese nicht nur als Ganzes oder als Summe ihrer Komponenten zu betrachten. SLS (also 3D-Druck mittels Lasersintern) erlaubt es uns, unterschiedliche Wirkungen und Funktionen innerhalb einer einzelnen Fläche zu projektieren. Dies bedeutet nicht nur, dass Patienten gemäß unterschiedlich stark ausgeprägten Funktionsstörungen hochspezifisch versorgt werden können. Wir können auch unterschiedliche Orthesen für unterschiedliche Stadien des Genesungsprozesses erzeugen. Es ist eine bekannte Praxis, die mit dem Therapieerfolg einhergehende Mobilitätssteigerung des Patienten durch mehrstufige Orthesen zu unterstützen. Dies wird bei herkömmlichen Orthesen üblicherweise durch das Wegnehmen von Produktkomponenten erreicht. Anders formuliert: man hat zunächst eine steifere Orthese und baut diese dann Stück um Stück ab mit dem Ziel, einen erweiterten Bewegungsspielraum zu erzeugen. Im Falle der digitalisierten Prozesskette ist dies nicht notwendig. Wenn die individuellen Daten eines Patienten vorliegen, so kann der Patient auch mehrere – sukzessive schwächer wirkende – Orthesen im Laufe seiner Therapie erhalten. Denn der Herstellungsaufwand des physischen Produktes ist verhältnismäßig gering. Der wesentliche Vorteil hierbei ist, dass die Orthese auch dann ein Produkt mit den Vorteilen der Einteiligkeit bleiben kann (geringer Auftrag, Leichtbau, Hygiene), wenn die Orthese ihren maximalen Wirkungsgrad entfalten soll – nämlich zu Beginn der Therapie.

Abb. 07: Maßgefertigte Leisten der Jäger Orthopädie GmbH / © Bauhaus-Universität Weimar und Jaeger Orthopädie, 2017

Unsere Forschungen betreffen den Fuß und damit eine der – orthopädisch gesehen – anspruchsvollsten Körperregionen. Denn im Gegensatz zu allen anderen Bereichen des Körpers erfährt der Fuß die volle Last des gesamten Körpergewichts. Die Geometrieveränderungen zwischen dem belasteten und unbelasteten Fuß sind eklatant und deren Bewältigung ist entscheidend für den Tragekomfort einer Fußorthese. Im Gegensatz zur Bewegung des Knie- oder Ellenbogengelenks erscheint das Fußgewölbe als räumlich-bewegliches Gesamtsystem wesentlich komplexer. Ebenfalls anspruchsvoll ist die geometrisch sehr eingeschränkte Umgebung einer Fußorthese. Gegenüber dem Rumpf oder anderen Extremitäten, die durch weite Kleidung bedeckt werden können, wird eine Fußorthese durch die Enge des Schuhs begrenzt.

#### **4. Designstudien**

Die Designstudien der Machbarkeitsstudie zeigen eine Bandbreite von geschlossenen über geöffnete Schalen bis hin zu Tragstrukturen und letztlich gewebeartigen Ansätzen. Die Orthesen sind auf Basis eines Scans und deren digitaler Manipulation individuell an den Fuß angepasst.

##### **A) „Funktionsintegration“**

Abb. 08: Designstudie mit Funktionsintegration / © Bauhaus-Universität Weimar und Jaeger Orthopädie, 2017

Abb.09: Designstudie am Menschen / © Bauhaus-Universität Weimar und Jaeger Orthopädie, 2017

Die Abbildungen zeigen eine AFO als durchgehende und einteilige Schale. Die Herstellung im SLS-Verfahren ermöglicht einen integrierten Verschluss für den leichten Einstieg in die Orthese. Die atmungsaktive Funktionszone kann durch den programmierten Algorithmus angepasst werden.

##### **B) „Platzhalter“.**

Abb. 10: Designstudie: Funktionsintegration / © Bauhaus-Universität Weimar und Jaeger Orthopädie, 2017

Abb.11: Designstudie am Menschen / © Bauhaus-Universität Weimar und Jaeger Orthopädie, 2017

Diese Designstudie zeigt eine weitere Form der Funktionsintegration. Neben dem integrierten Gelenk im Fersenbereich beinhaltet das Produkt integrierte Seilführungen sowie einen Platzhalter für weitere Verschlusskomponenten. Somit steht diese Designstudie exemplarisch für die digital gestützte Möglichkeit, auch Mischbauweisen zu projektieren, d.h. vorgefertigte Komponenten oder andere Zuliefererteile in den Herstellungsprozess zu integrieren.

##### **C) „Ränder“**

Abb. 12: Designstudie: Hart-/Weichkombinationen / © Bauhaus-Universität Weimar und Jaeger Orthopädie, 2017

Die Studie zeigt die besondere Beachtung des Randbereiches einer Orthese. Hier gilt es herauszufinden, inwieweit Strukturänderungen und / oder Materialkombinationen zielführend sind

für einen komfortablen und minimal belastenden Übergang der Orthese zum Körper. Bisherige Materialsysteme sind hier noch nicht befriedigend. In herkömmlicher Serienproduktion würde man ein Zweikomponentenspritzgussverfahren einsetzen. Wir denken hier aber natürlich auch an mehrkomponentige 3D-Druckverfahren wie beispielsweise PolyJet- oder MultiJet-Verfahren.

#### **D. „Offene Strukturen“**

Abb. 13: Designstudie: offene Struktur / © Bauhaus-Universität Weimar und Jaeger Orthopädie, 2017

Abb. 14 Designstudie am Menschen / © Bauhaus-Universität Weimar und Jaeger Orthopädie, 2017

Abb. 15 Designstudie in Anwendung / © Bauhaus-Universität Weimar und Jaeger Orthopädie, 2017

Die Designstudie zeigt eine offene und somit durchgehend atmungsaktive Struktur. Ebenfalls demonstriert die Studie den Einsatz von Funktionszonen. Im Bereich des Fußgewölbes sowie dem mittleren Bereich der Orthese sind partielle Verstärkungen der Struktur implementiert. Diese Verstärkungen sind in Größe, Position und Umfang gleichermaßen manipulierbar wie kontrollierbar. Gemäß Entscheidung des Therapeuten kann die Steifigkeit der Orthese nun reproduzierbar gesteuert werden. Die Verstärkungen befinden sich nicht am Rand, sondern im inneren Bereich der Orthese. So entsteht ebenfalls eine statische Entlastung des Randes.

Da es sich bei dieser Designstudie um eine Orthese handelt, die lediglich die Beugung des Fußes begrenzt, ist es nicht nötig, den Fuß in alle Richtungen zu fixieren. Im Gegenteil ist es für den Bedienungs- und Tragekomfort von Vorteil, wenn jene Bewegungen möglich bleiben, welche die eigentliche Orthesenwirkung nicht betreffen oder beeinträchtigen. (Es mag lapidar klingen, aber jeder Orthopädietechniker kennt das Problem, dass Orthesenträger nicht selten Probleme mit dem Autofahren haben. Da diese Orthese ausschließlich die Beugung des Fußes begrenzt, ist es nicht nötig, auch die Streckung des Fußes zu unterbinden, d.h jene Bewegung des Fußes, die man während des Autofahrens zum Gas-Geben und Bremsen nutzt.)

#### **E) „Adaptierte Netze“**

Abb. 16: Designstudie: Adaptiertes Netz / © Bauhaus-Universität Weimar und Jaeger Orthopädie, 2017

Abb. 17: Designstudie: Adaptiertes Netz am Menschen / © Bauhaus-Universität Weimar und Jaeger Orthopädie, 2017

Abb. 18: Designstudie: Adaptiertes Netz am Menschen / © Bauhaus-Universität Weimar und Jaeger Orthopädie, 2017

Das Netz: Wir zeigen einen Designansatz, der auf dem Gitter oder Netz basiert. Per se durchlässig und atmungsaktiv wollen wir uns aber nicht mit der Faszination des Netzes als raumbildendes Gefüge begnügen, denn wir nehmen auch funktionalen Einfluss auf die Netzstruktur. Die Designstudie zeigt daher partielle Verdichtungen der Struktur. Dies geschieht – wie im Falle der vorher gezeigten Aufdickungen kontrolliert und reproduzierbar. Somit entsteht eine weitere Möglichkeit, das statische Verhalten und somit die potentielle Beweglichkeit der Orthese zu beeinflussen.

#### **F) „Kraftlinien“**

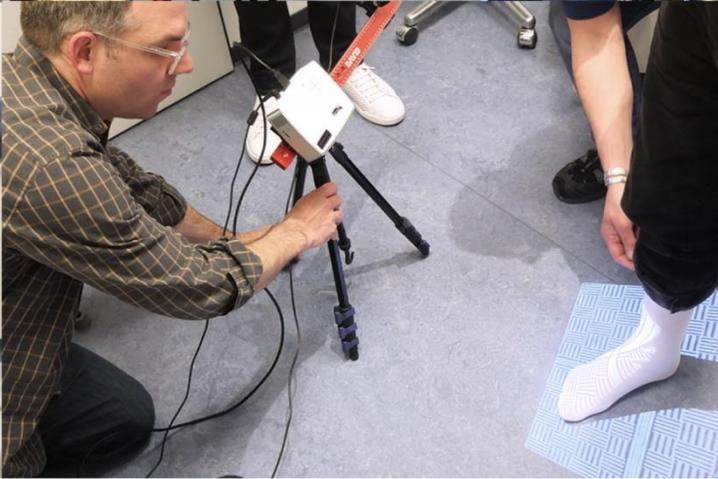
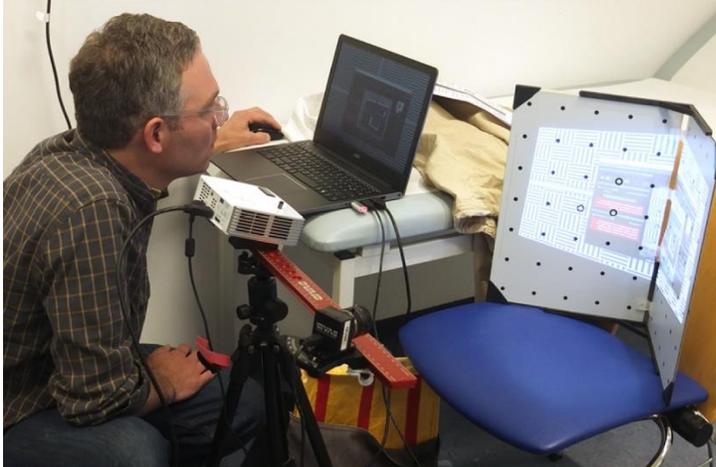
Abb. 19: Designstudie: Kraftlinien / © Bauhaus-Universität Weimar und Jaeger Orthopädie, 2017

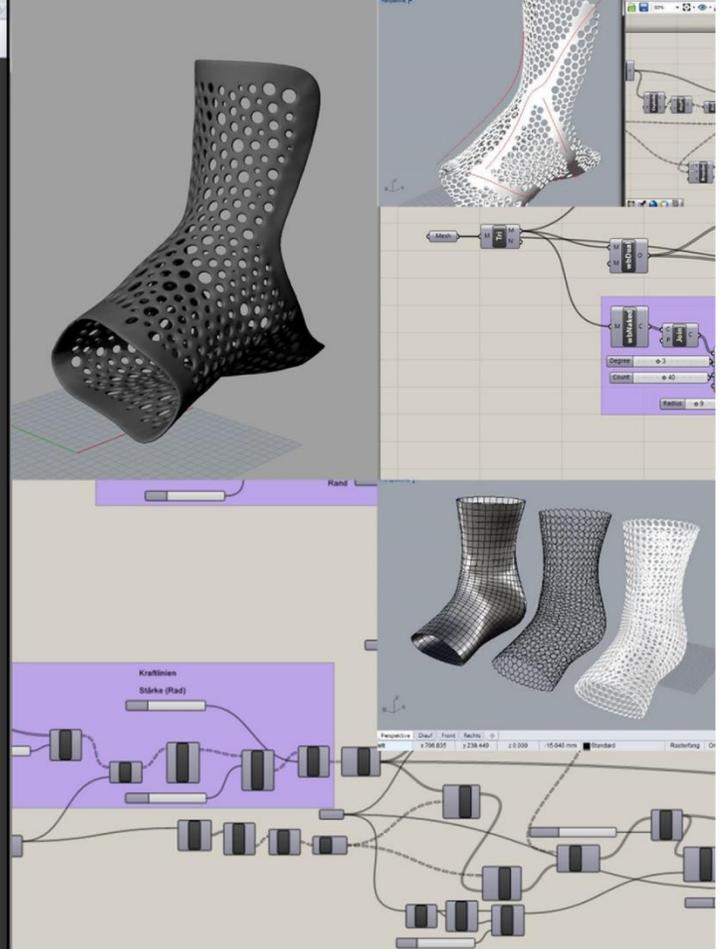
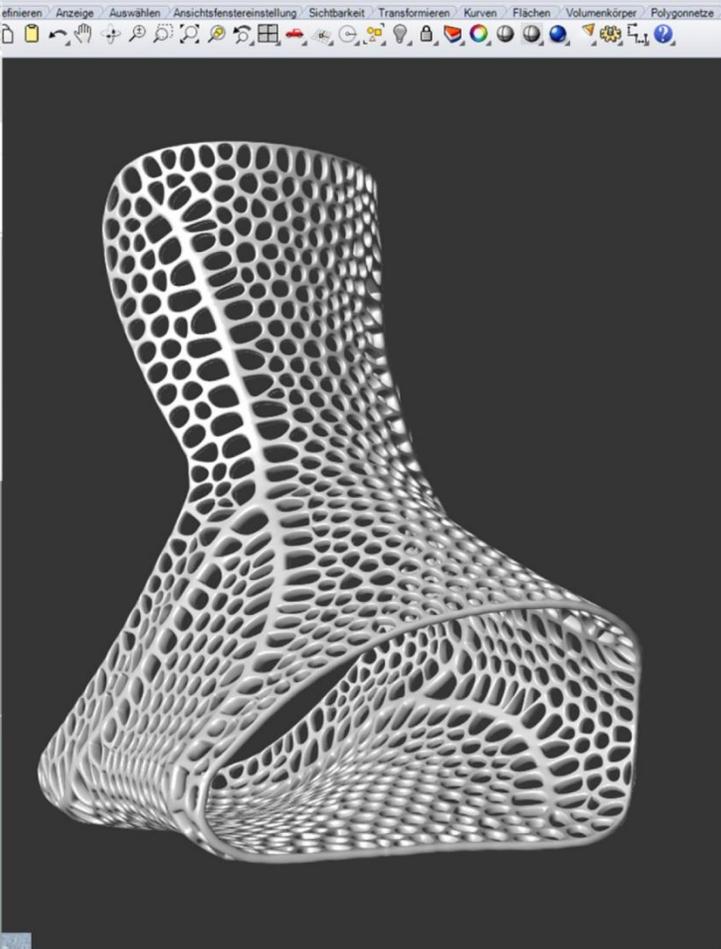
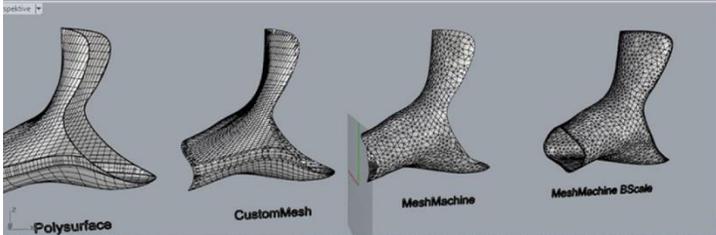
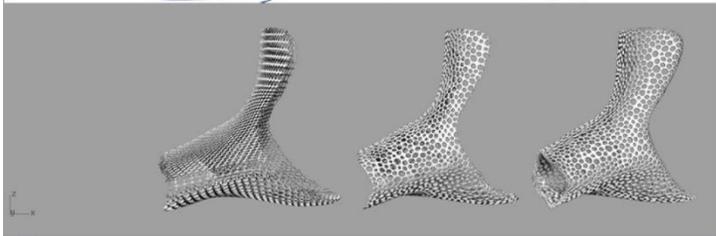
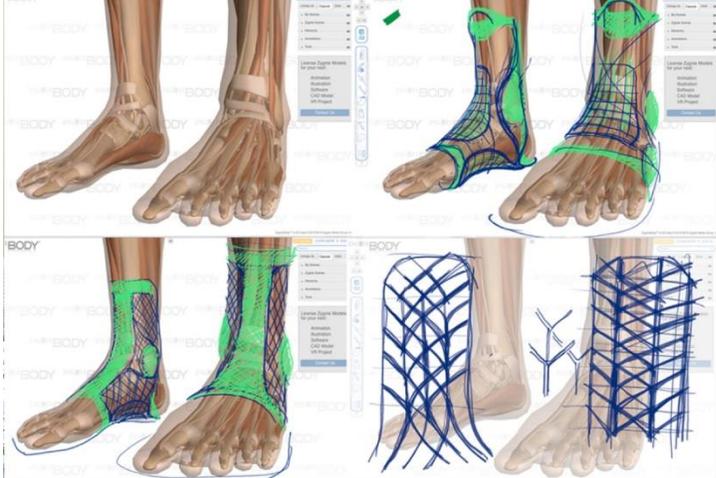
Abb. 20: Designstudie: Kraftlinien am Menschen / © Bauhaus-Universität Weimar und Jaeger Orthopädie, 2017

Das letzte Beispiel widmet sich einer weiteren Strukturvariante. Die Umfassung des Fußes geschieht hier mit einer besonderen Form des Netzes. In diesem Fall ist das Netz die Konsequenz von Linien, die einer anderen – in diesem Fall statischen Logik folgen.

Mit diesen Designstudien, die auf der Machbarkeitsstudie beruhen, kann ein vertiefendes, weiterhin interdisziplinäres Forschungsprojekt beginnen. Die Orthetik ist durch die Vielzahl der eingesetzten Materialien und Herstellungsprozesse ein lohnendes Ziel der Ideen- und Methodenentwicklung. Stärker als in anderen Disziplinen ist hier der Wert einer Idee von der erfolgreichen Anpassung an den Menschen und seinen Körper geprägt. Somit sollte auch jede Idee eine gewisse Anpassungsfähigkeit besitzen, wenn der Körper spricht.

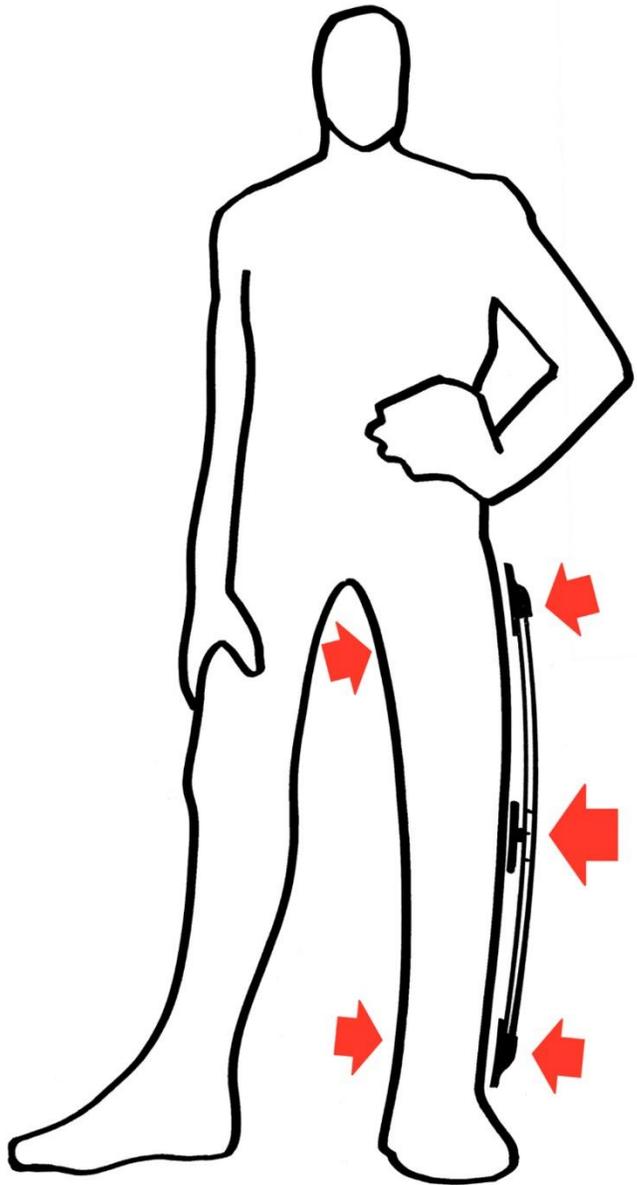
In dankbarer Widmung: Ulf Wellershaus (einem großen Mentor und Freund)





Bauhaus-Universität Weimar  
Fakultät Kunst und Gestaltung









# WEIMAR CATALOGUE FOR CAD-CAM ORTHOSES / TARGET: CARE - PROTECTION - COMFORT

1.	2.	3.	4.
<p>FUNKTION UND WIRKUNG VON ORTHESEN / FUNCTIONS AND EFFECTS OF ORTHOSES</p> <p>1.1. FÜHREN / GUIDING</p> <p>1.2. HALTEN / SUPPORTING</p> <p>1.3. ENTLASTEN / RELIEF</p> <p>1.4. SELBSTWAHRNEHMUNG* / PROPRIOCEPTION**</p> <p>1.5. WÄRMEN, KÜHLEN / HEATING, COOLING</p>	<p>EIGENSCHAFTEN VON ORTHESEN / PROPERTIES OF ORTHOSES</p> <p>2.1. STEIFIGKEIT / STIFFNESS</p> <p>2.2. FLEXIBILITÄT und FEDERUNG FLEXIBILITY and RESILIENCE</p> <p>2.3. ZUG- und DRUCKKRÄFTE / TENSILE and COMPRESSIVE FORCES</p> <p>2.4. DÄMPFEN und POLSTERN / DAMPING and CUSHIONING</p> <p>2.5. ATMUNGSAKTIVITÄT / BREATHABILITY</p> <p>2.6. ANSCHLUSSFÄHIGKEIT für vorgefertigte Zulieferteile* CONNECTIVITY to prefabricated parts of suppliers**</p> <p>2.7. SELBSTANPASSUNG AN KÖRPERTEIL / SELF-ADAPTION ON LIMB</p> <p>2.8. ANPASSUNGSFÄHIGKEIT DURCH OT und PATIENT/ADAPTABILITY ON PATIENT BY OT AND PATIENT</p>	<p>ORTE UND GEOMETRIEN AN ORTHESEN / LOCATIONS, GEOMETRIES OF ORTHOSES</p> <p>3.1. RÄNDER / EDGES</p> <p>3.2. ZONEN / ZONES</p> <p>3.3. PLATZHALTER* / PLACE HOLDER**</p> <p>3.4. LINIEN und KURVEN*** / LINES and CURVES****</p>	<p>GEOMETRIEN IN CAD-CAM GEOMETRIES IN CAD-CAM</p> <p>4.1. PUNKTE / POINTS</p> <p>4.2. LINIEN und KURVEN / LINES and CURVES</p> <p>4.3. ZONEN / ZONES</p> <p>4.4. ÜBERGÄNGE / TRANSITIONS</p>
<p>* stimulieren</p> <p>** stimulate</p>	<p>*Gurte, Verschlüsse usw.</p> <p>**belts, closures and so forth</p>	<p>* für vorgefertigte Zuliefererteile</p> <p>**for prefabricated supplier parts</p> <p>***Lotlinie, Kraftlinien, Wirkungslinien, Bewe- gungslinien</p> <p>****perpendicular lines, lines of force, torsion lines, effect lines, course of motions</p>	





























# Impressum

**Herausgeber:**

Hochschule Merseburg  
Eberhard-Leibnitz-Straße 2, 06217 Merseburg

**Ausgabe:**

Erstellt für das Merseburger Herbstforum

**„Möglichkeiten des 3D-Druckes für Unternehmen in Mitteldeutschland“**

am 7. November 2018 im Merseburger Ständehaus

ISBN-Nr.: 978-3-942703-97-0

**Inhalt:**

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