

---

# Formgedächtnis – Ein Material, das zaubern kann.

## > Das Potential einer spannenden Legierung <

Tobias Gustmann, Hannes Korn, Florian Gutmann<sup>1</sup>, Franziska Wenz<sup>2</sup>, Christian Rotsch, Thomas Töppel, Peter Koch<sup>3</sup>, Ralph Stelzer<sup>3</sup> und Welf-Guntram Drossel

---

<sup>1</sup>Fraunhofer-Institut für Kurzezeitdynamik EMI (Gruppe Additive Design & Manufacturing)

<sup>2</sup>Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM (Gruppe Meso- und Mikromechanik)

<sup>3</sup>Technische Universität Dresden - Fakultät Maschinenwesen (Professur für Konstruktionstechnik / CAD)





**„Uri Geller will mehr als nur Löffel verbiegen. Der Magier hat angeboten, die deutsche Fußball-Nationalmannschaft zur Europameisterschaft 2008 zu führen“**

*<https://www.pointer.delfitness/sport/1373/uri-geller-euro-2008.htm>*

---

# Formgedächtnis – Ein Material, das zaubern kann.

## > Das Potential einer spannenden Legierung <

---

### AGENDA



- 01 Fraunhofer IWU – Standort Dresden  
Innovationen durch additive Fertigung
- 02 Additive Fertigung von Metallen  
Märkte – Vorteile - Zukunftstechnologie
- 03 Der Werkstoff NiTi(NOL)  
Besonderheiten und Herausforderungen
- 04 Fertigung filigraner NiTi-Strukturen mittels Laser-Strahlschmelzen  
Einfluss der Prozess- und Belichtungsparameter
- 05 Zusammenfassung und künftige Projektvorhaben  
Potentiale, filigrane Strukturen und neue Verfahren

### Forschung unter dem Leitthema »Ressourceneffiziente Produktion«

- Gründung am 1. Juli 1991
- Aktuell rund 530 MitarbeiterInnen
- ~ 40 Mio. Euro Forschungsvolumen
- Standorte: Chemnitz (Hauptsitz)  
Dresden, Zittau und Wolfsburg

### Wissenschaftsbereiche

<p>Mechatronik und Funktionsleichtbau</p> 	<p>Umformtechnik</p> 	<p>Werkzeugmaschinen, Produktionssysteme und Zerspanungstechnik</p> 
---	---	---



# Fraunhofer IWU – Standort Dresden

## Innovationen durch additive Fertigung



Standort Dresden

- **Dresden** ist Deutschlands Stadt mit der größten Forschungsdichte
- Institutsstandort mit **1000 m<sup>2</sup> großem Technikum** in unmittelbarer Nähe zur TU Dresden
- Erforschung und Entwicklung von **material-** und **energieeffizienten** Technologien und Produkten
  - **Forschungsschwerpunkte** sind Adaptronik, Akustik, Funktionsintegrierter Leichtbau, **Additive Fertigung (AM)**, Mechanische Füge-technik, **Medizintechnik** sowie Cyber-physische Produktionssysteme
  - Besonderheit Technikum: Reflexionsarmer Raum für akustische Untersuchungen an Maschinen, Fahrzeugen und Anlagen



### Laser-Strahlschmelzanlage mit Siebstation (Anlagensystem für additive Fertigung )

- 250 x 250 x 250 mm<sup>3</sup>
- 400 W
- 3D-Scansystem
- 300 °C Plattformheizung
- Schmelzbad- und Pulverbettüberwachung

# Additive Fertigung von Metallen

## Märkte – Vorteile – Zukunftstechnologie

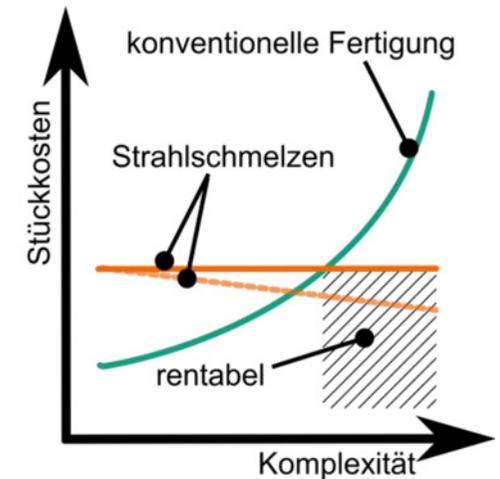
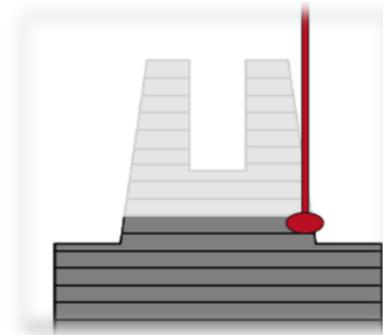
- **Additive Fertigung (AM):** Herstellung von 3D-Objekten durch Auftragen und **Verbinden** einzelner **Schichtlagen** auf Basis von CAD-Daten
- Märkte:
  - Luft- und Raumfahrt
  - **Medizintechnik**
  - Energiesektor
  - Automobilbau
  - Elektrotechnik, Architektur, Heimanwendungen, ...



©Implantcast GmbH

**Knochenimplantate**

Prinzip des Strahlschmelzens



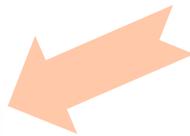
basierend auf: W. Meiners

AM-Verfahren	Werkstoffe
Stereolithografie	Kunststoff, Keramik
Fused Layer Modelling	Kunststoff, Keramik, <b>Metall</b>
Binder Jetting	Keramik, <b>Metall</b>
Lasersintern	Kunststoff, Formsand, Keramik, <b>Metall</b>
<b>Strahlschmelzen</b>	<b>Metall</b>
Auftragschweißen	(z.B.: Ti-6Al-4V/„Ti-64“, CoCr)

# Additive Fertigung von Metallen

## IWU Dresden (Laser-Strahlschmelzen)

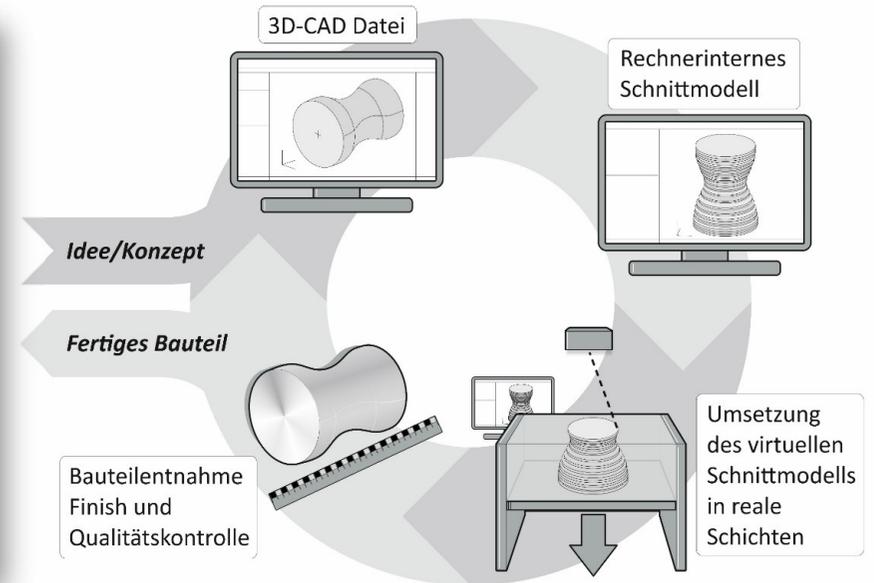
Ti-64: Von einer Machbarkeitsstudie hin zu einem funktionalisierten, laserstrahlgeschmolzenen Hüftimplantat (Einbau von FGL-Aktorblechen)



- ✓ Optimale Kraftverteilung
- ✓ Lockerung des Implantats verhindern
- ✓ Widerstand gegenüber translatorischer und rotatorischer Bewegung



**Bauteilzyklus bei der additiven Fertigung**



### Kernthemen der Abteilung Generative Verfahren

- i. Werkzeug- und Formenbau
- ii. Funktionsleichtbau
- iii. Funktionalisierung/Hybride Fertigung
- iv. Prozessentwicklung
- v. Qualifizierung neuer Metalllegierungen



**3D Pioneers Challenge**



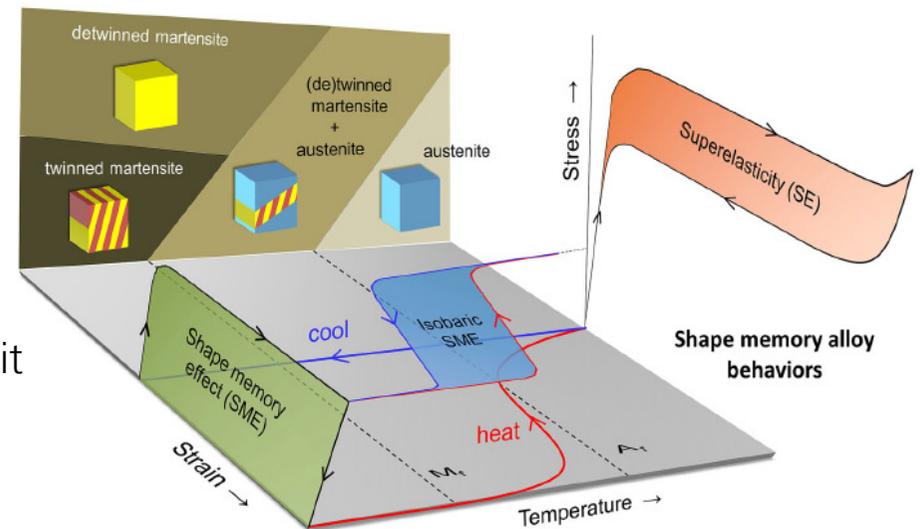
# Der Werkstoff NiTi(NOL)

## Besonderheiten und Herausforderungen

- NiTi:**
  - **Etabliertes Material** in der **Medizin**
  - Biokompatibilität
  - Hohe **Verformbarkeit** und Formrückstellfähigkeit
  - Mechanisches Verhalten ähnelt Knochen (**Superelastizität**)

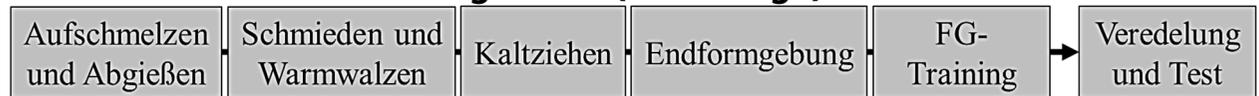
schwer zu beherrschender Werkstoff  
(Prozess-Gefüge-Eigenschaften)

- Herstellung:**
  - Umformung/Strukturierung  
(Drahtziehen, Stanzen, Lasertrennen, EDM)
  - Beschichtung  
(PVD, CVD, Galvanik)
  - **Urformung**  
(Pressen+Sintern, **Additive Fertigung**)

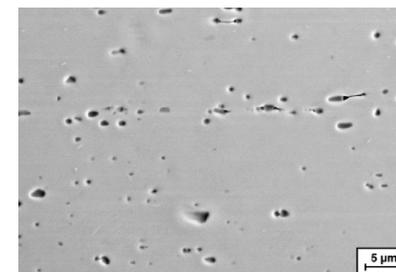


P. Chowdhury, Shape Memory and Superelasticity (2018)

### Konventionelle Herstellungsrouten (Halbzeuge)



© IngPuls GmbH



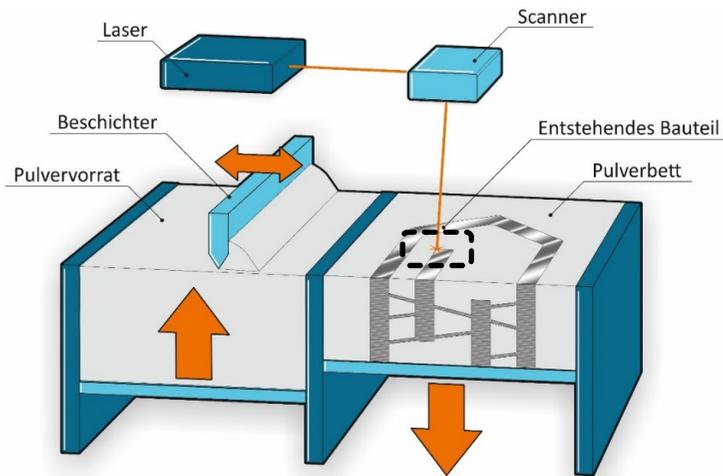
M. Rahim, Acta Materialia (2013)

- Spröde Zweitphasen im Gefüge (herstellungsbedingt)
- Abweichung der Materialeigenschaften
  - Lebensdauer sinkt

# Fertigung filigraner NiTi-Strukturen mittels Laser-Strahlschmelzen

## Einfluss der Prozess- und Belichtungsparameter

### Laser-Strahlschmelzen (LBM/SLM/L-PBF)

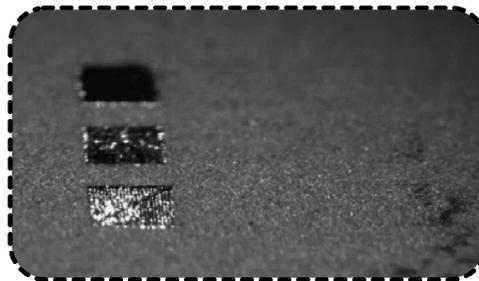


#### Energieeintrag $E_V$

$$E_V = \frac{P_L}{v_s \cdot h_c \cdot l_z}$$

$P_L$  ... Laserleistung  
 $v_s$  ... Scangeschwindigkeit  
 $h_c$  ... Spurbreite  
 $l_z$  ... Schichtdicke

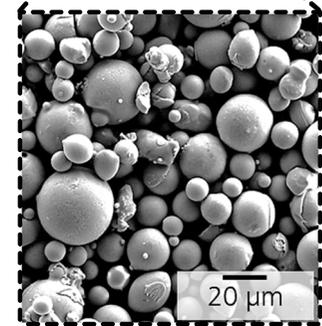
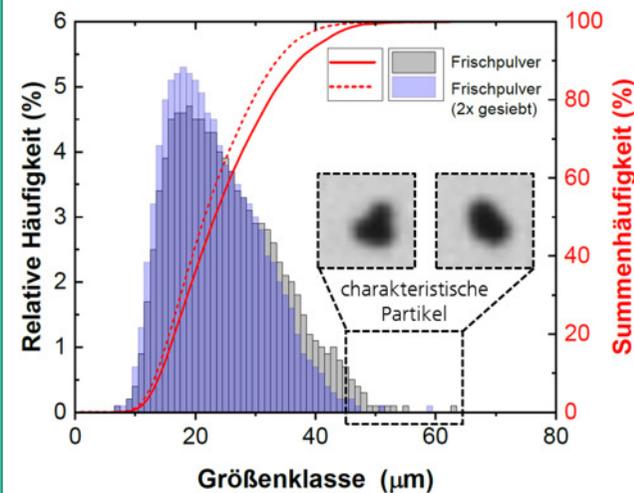
Belichtungsabfolge  
(Beispiel: Würfelprobe)



### NiTi-Pulver als Ausgangsmaterial

T. Gustmann, unveröffentlicht (2019)

- Rundmaterial ( $\varnothing = 50 \text{ mm}$ ): **Ni<sub>50,9</sub>Ti<sub>49,1</sub>** (at.%)
- Schmelzverdüsung via Argon (Tiegel frei - **EIGA**)
- Charakterisierung des sphärischen Pulvermaterials (Prozesseignung, **A<sub>f</sub> = 12 ± 1 °C**)

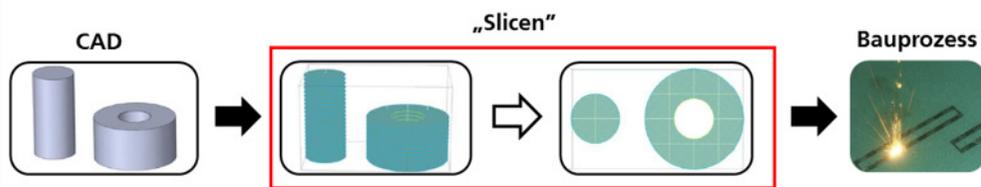


# Fertigung filigraner NiTi-Strukturen mittels Laser-Strahlschmelzen

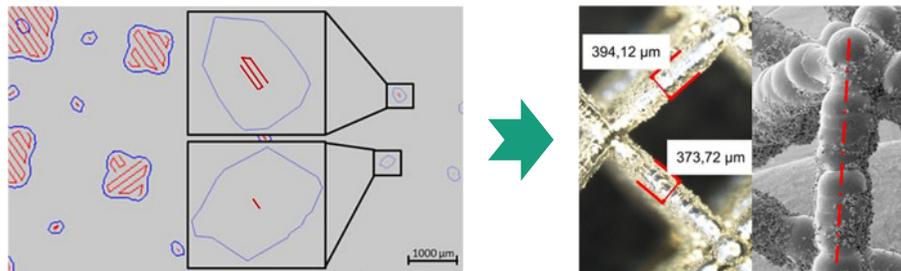
## Einfluss der Prozess- und Belichtungsparameter

### Herkömmliche Belichtung („Kontur-Hatch“)

- Nutzung unterschiedlicher Softwarelösungen



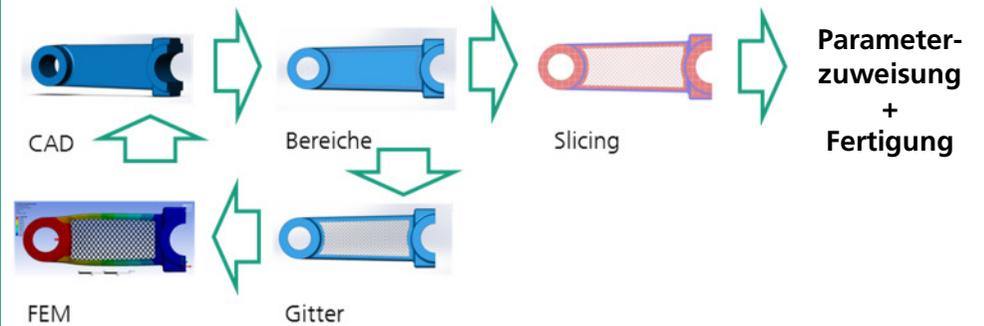
- Belichtung am Beispiel Ti-64 ( $\varnothing_{\text{Laser}} \sim 100 \mu\text{m}$ )



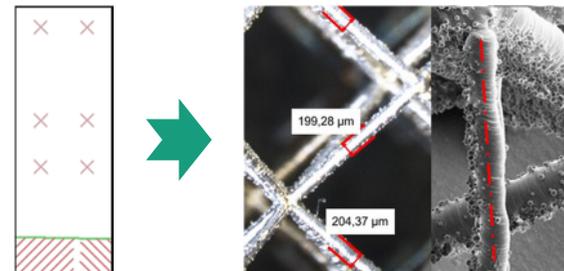
– Fehlerhafte Vektorbelegung → Ungleichmäßige Strukturen

### Adaptive Belichtung („Pseudo-Punkt“)

- Durchgängiger Workflow (TU Dresden)



- Belichtung am Beispiel Ti-64 ( $\varnothing_{\text{Laser}} \sim 100 \mu\text{m}$ )



– Punktgenaue Vektorbelegung → Gleichmäßige Strukturen

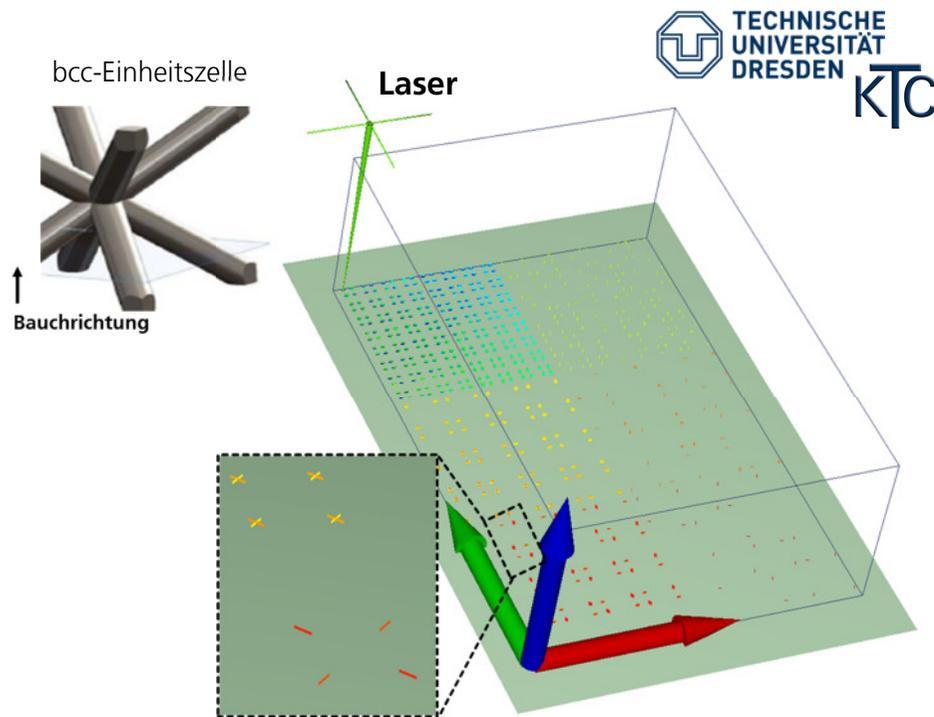
**Übertrag-  
barkeit  
auf NiTi?**

# Fertigung filigraner NiTi-Strukturen mittels Laser-Strahlschmelzen

## Einfluss der Prozess- und Belichtungsparameter

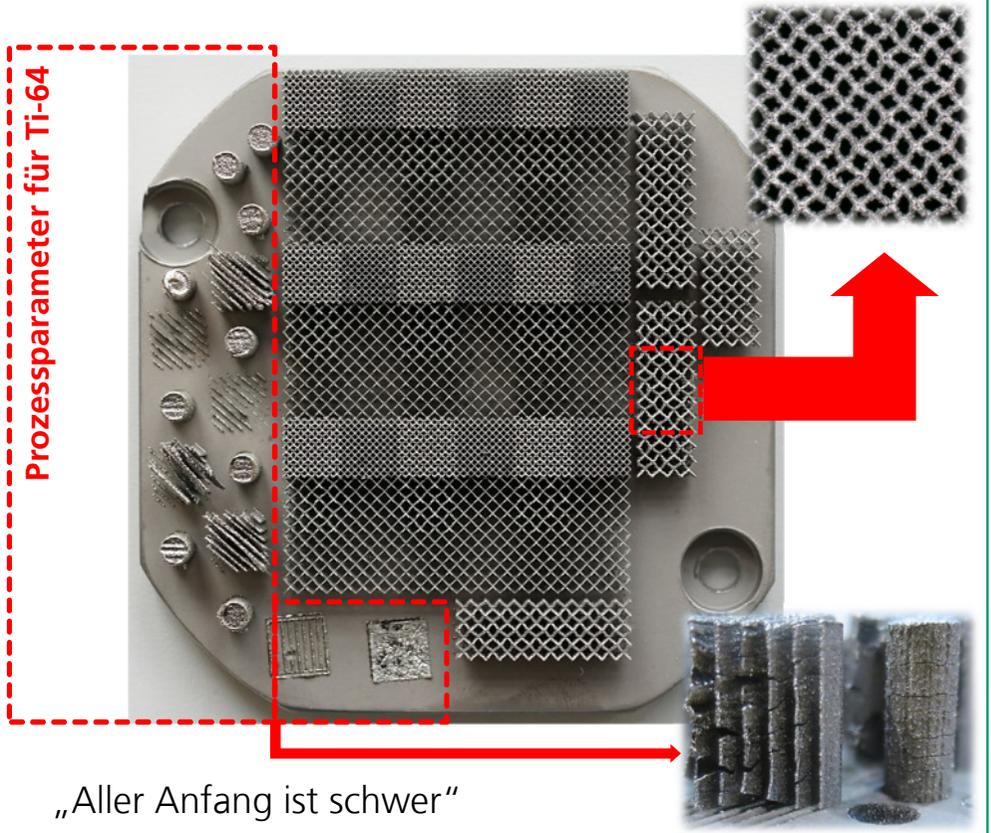
### Planung der Belichtungsversuche

- X-Y-Z-Informationen (CLI-basierte Datei)



### Übersichtsaufnahme Baujob-1

T. Gustmann, unveröffentlicht (2019)

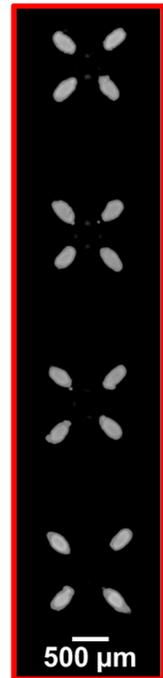


# Fertigung filigraner NiTi-Strukturen mittels Laser-Strahlschmelzen

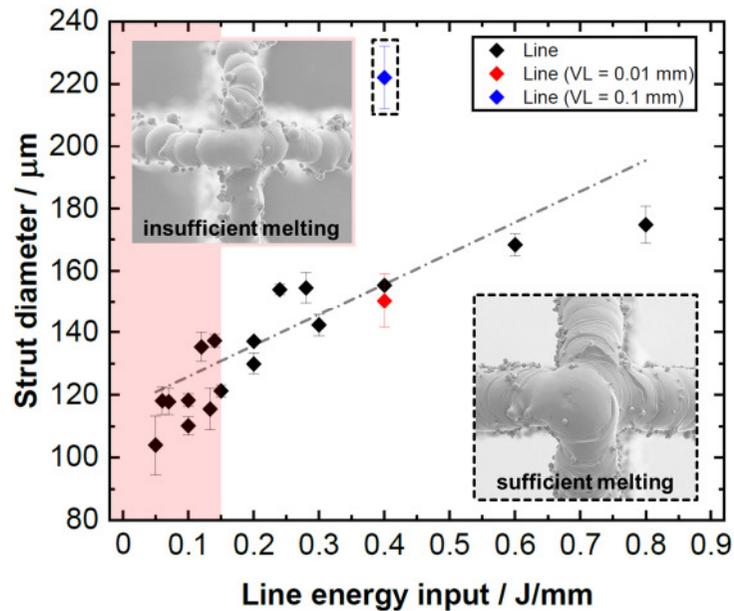
## Einfluss der Prozess- und Belichtungsparameter

### Erfassung des Prozessfensters

T. Gustmann, unveröffentlicht (2019)



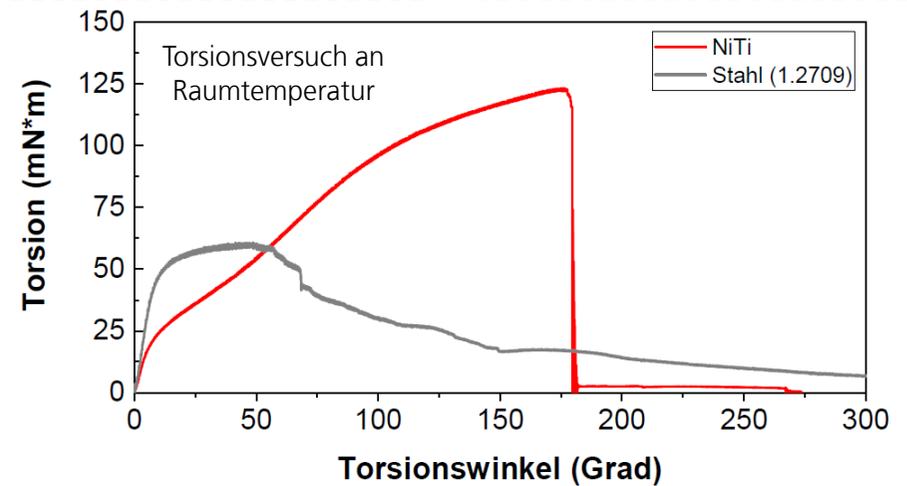
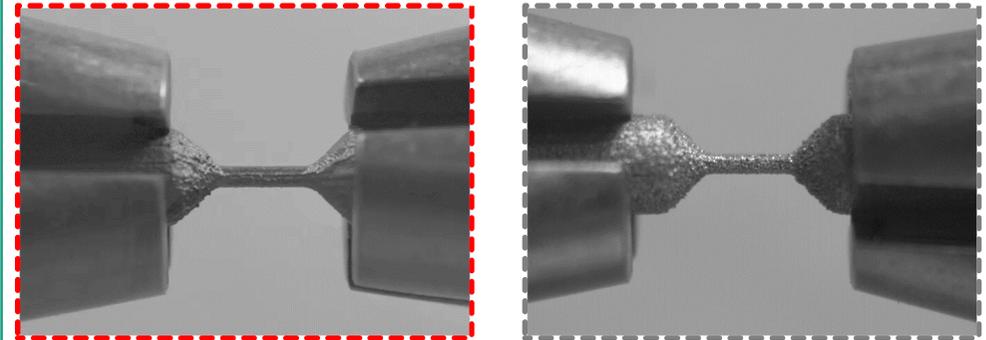
CT-Aufnahme  
(2D-Schnitt)



- Variation der Strutstärke über **Energieeintrag** und **Belichtung**
- Weitreichende Beeinflussung bei **geringer Pulveranhaftung**

### Bestimmung der Eigenschaften

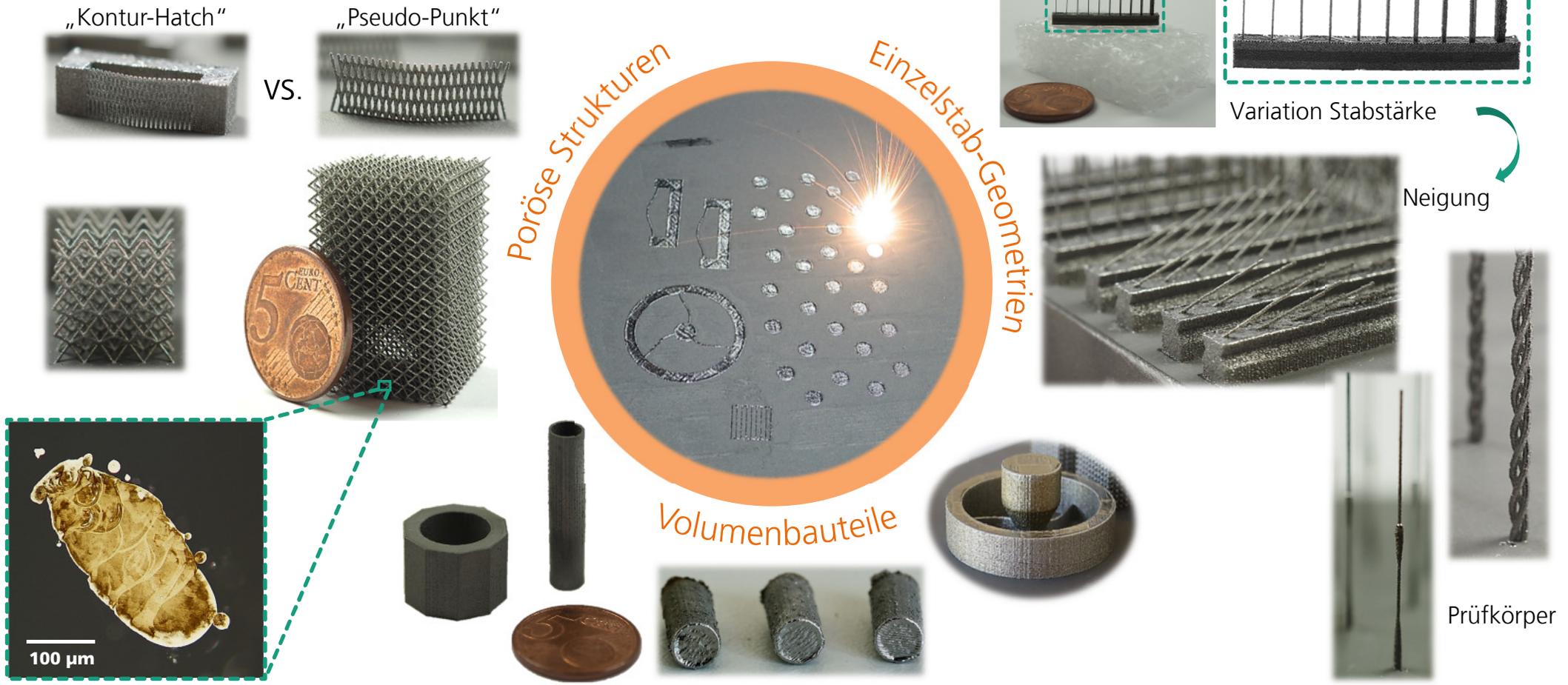
T. Gustmann, unveröffentlicht (2019)



# Fertigung filigraner NiTi-Strukturen mittels Laser-Strahlschmelzen

## Am Fraunhofer IWU gefertigte Strukturen

T. Gustmann, unveröffentlicht (2019)



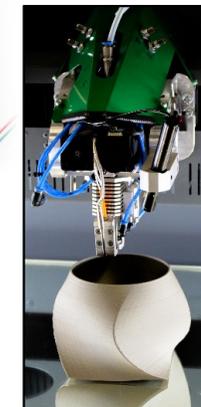
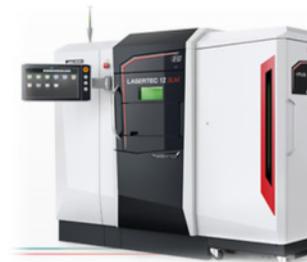
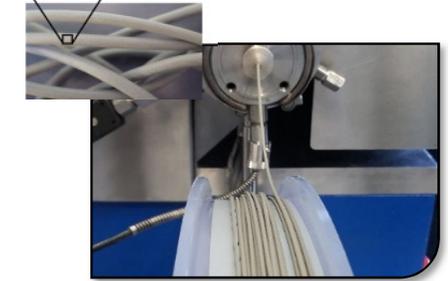
# Zusammenfassung und künftige Projektvorhaben

## Potentiale, filigrane Strukturen und neue Verfahren

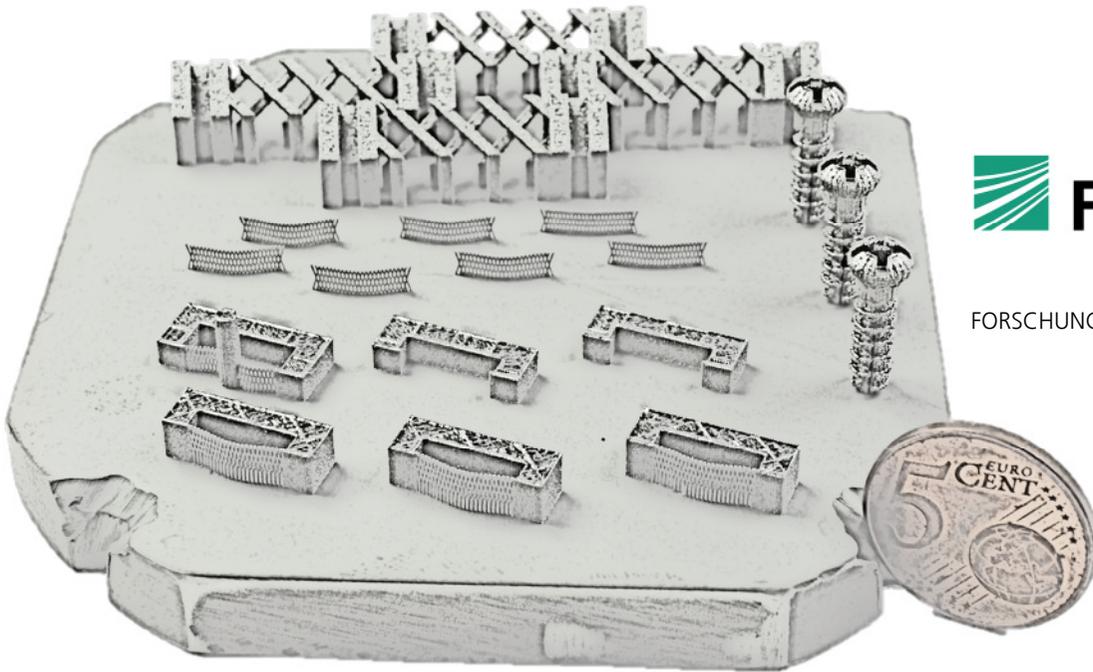
**NiTi** ist und bleibt ein **hochinteressanter Werkstoff** für medizinische Anwendungen

**Adaptive Belichtungsstrategien** sind ein Schlüssel bei der additiven Fertigung filigraner **NiTi-Strukturen**

- Fraunhofer IWU:
  - Erweiterung der Laborkapazitäten (**Erfahrungsgewinn, Anlagensysteme mit kleinen Strahldurchmessern, Endbearbeitung**)
- Künftige Projektvorhaben (Fraunhofer Forschungscluster):
  - **NiTi-Festkörpergelenke** und Auslegung der Prozesskette
  - Erforschung **binderbasierter Formgebungsverfahren** (Fused-Filament-Fabrication - FFF)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



 **Fraunhofer**  
CPM

FORSCHUNGSCLUSTER PROGRAMMIERBARE MATERIALIEN

 **Fraunhofer**  
EMI

 **Fraunhofer**  
IWM



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

*„Was wir wissen, ist ein Tropfen;  
was wir nicht wissen, ein Ozean.“*

**Isaac Newton**